پژوهش‌های بذر ایران/ سال ششم/ شماره اول/ ۱۳۹۸ صفحات: ۱۸۴-۱۷۳

مقاله علمی کوتاه

اثر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر جوانه‌زنی و رشد اولیه بارانک لرستانی (*Sorbus luristanica*)

سید وحید سیدنا [۱]، بابک پیله‌ور [۲،*]، کامبیز ابراری واجاری [۳]، مهرداد زرافشار [۴] و حمید رضا عیسوند [۲]

چکیده مبسوط

مقدمه: تولید نانوذرات و کاربرد آنها در جنبه‌های مختلف علوم گیاهی در حال افزایش است و علی‌رغم تولید روزافزون آنها، بررسی‌های محدودی در خصوص اثر مواد مختلف نانو بر زیست شناسی گیاه وجود داد. در این تحقیق سعی شد از پتانسیل نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در ارتقاء صفات جوانه‌زنی گونه بارانک لرستانی استفاده گردد، لذا اثرات متعاقب آنها بر رشد و تولید زیست‌توده گیاهچه‌های تولیدی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در ابتدا بذر گونه بارانک لرستانی از توده‌های طبیعی آن جمع‌آوری شد. در همین راستا بذرهای این گونه با غلظت‌های صفر، ۷۵، ۱۵۰، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید تیتانیوم به مدت ۲۴ ساعت پرایم شدند. سپس بذرها ابتدا به مدت ۲ هفته در دمای اتاق و سپس به مدت ۳ ماه در ماسه مرطوب و در سرما قرار گرفتند. آزمایش در قالب یک طرح آماری کاملا تصادفی با چهار تکرار انجام شد. بذرهای لایه‌گذاری شده بعد از گذشت سه ماه به درون ژرمیناتور منتقل و با شروع جوانه‌زنی، اطلاعات روزانه در یک دوره ۲۲ روزه ثبت شد. در انتهای آزمایش صفات درصد، سرعت و میانگین زمان جوانه‌زنی محاسبه شد. همچنین در ادامه صفات رویشی گیاهچه‌ها از قبیل تعداد برگ، طول گیاهچه و زیست‌توده تر و خشک اندام‌های ساقه و برگ و ریشه نیز اندازه‌گیری گردید. همچنین از میکروسکوپ الکترونی نیز برای بررسی حضور و چسبندگی نانوذرات در سطح خارجی بذرها استفاده شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، تمامی صفات جوانه‌زنی شامل درصد، سرعت و میانگین زمان جوانه‌زنی تحت تاثیر تیمارهای نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بهبود یافت، ولی در این میان تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بطور قابل ملاحظه‌ای صفات جوانه‌زنی را افزایش داد. عدم حضور و در مقابل حضور و چسبندگی نانوذرات روی پوسته بذر توسط میکروگراف‌های حاصل از میکروسکوپ الکترونی مشاهده و تایید شد. در ادامه نتایج آنالیز واریانس یکطرفه نشان داد که تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر از بالاترین موفقیت و در مقابل تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از کم‌ترین درصد موفقیت در بهبود رشد (طول ساقه‌چه) و تولید زیست‌توده برخوردار بود.

نتیجه‌گیری: درنهایت می‌توان اذعان داشت که تاثیر پرایمینگ بذر بارانک لرستانی سبب ارتقاء صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های این گونه شد ولی روند تاثیرات در دو مرحله متفاوت بود بطوریکه در مرحله جوانه‌زنی بالاترین غلظت و در مرحله رشد، تیمارهای کم تا متوسط موفق‌تر بودند. ضمناً با توجه به اینکه تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسید تیتانیوم هم در بهبود جوانه‌زنی و هم در ارتقاء صفات رشد گیاهچه‌ها موفقیت قابل قبولی کسب کرده و از سوی دیگر با توجه به غلظت متوسط آن از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد، لذا به عنوان یک تیمار موفق در رفع خواب بذر و تولید نهال‌های بارانک لرستانی قابل توصیه می باشد.

واژه‌های کلیدی: لایه‌گذاری سرد، پرایم، خواب بذر، زیست‌توده، بارانک لرستانی

جنبه‌های نوآوری:

۱- مطالعه جوانه‌زنی بذر گونه بارانک لرستانی برای اولین بار

۲- استفاده از فناوری نانو مواد و پتانسیل قابل توجه این مواد در شکست خواب و بهبود صفات جوانه‌زنی بارانک لرستانی

۳- استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) به منظور مطالعه حضور و چسبندگی نانوذرات در سطح پوسته بذر

[۱] دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

[۲] دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

[۳] استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

[۴] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

[*] رایانامه نویسنده مسئول: pilehvar.b@lu.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1398.6.1.5.5

http://dx.doi.org/10.29252/yujs.6.1.173

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۳)

مقدمه

تولید نانوذرات و کاربرد آنها در جنبه‌های مختلف علوم گیاهی در حال افزایش است و علی رغم تولید روزافزون آنها، بررسی‌های محدودی در خصوص اثر مواد مختلف نانو بر زیست‌شناسی گیاه وجود داد. طبق نظر متخصصین زیست گیاهی تنها نانوذراتی با قطر کمتر از ۲۰ نانومتر قادر هستند از دیواره سلولی عبور کنند چرا که قطر متوسط حفرات در دیواره سلولی گیاهان در محدود ۵ تا ۲۰ نانومتر است لذا نانوذرات با قطر در این محدوده می‌توانند وارد فضای درونی سلول و غشای سلولی بشوند (موری[1]، ۲۰۰۶)، اما اینکه این نانومواد در چه مسیرهایی و چگونه سبب تغییرات می‌شود هنوز مورد بحث است. مطالعه نانوذرات و اثر آنها بر رشد گیاهان بسیار پیچیده است چرا که گزارشهای متفاوتی مبنی بر اثرات نانوذرات بر گیاهان مختلف وجود دارد (گائو[2] و همکاران، ۲۰۱۳). مهم‌ترین نانوذراتی که در علوم گیاهی مدنظر قرار می‌گیرند عبارتند از نانوتیوب کربن‌ها، سیلیکون و تیتانیوم که با این وجود هنوز تحقیقات کافی در رابطه با آنها وجود ندارد (حقیقی و پسرکلی[3]، ۲۰۱۳). بطور کلی تاثیر نانوذرات بر گیاهان منفی و یا مثبت می‌باشد (مونیکا و سرمونینی[4]، ۲۰۰۹) ولی مهم‌ترین نگرانی در رابطه با اثر سمیت نانوذرات بر گیاهان و اکوسیستم‌ها بوده که بطور روز افرونی در حال تحقیق می‌باشد (خوت[5] و همکاران، ۲۰۱۲).

استفاده از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم اخیرا به علت ویژگی‌های منحصربفرد آن به شدت مورد توجه متخصصین فیزیولوژی گیاهی قرار گرفته است (گائو و همکاران، ۲۰۱۳). پژوهش لی[6] و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که تیتانیوم می‌تواند عملکرد فتوسنتزی گیاه بامبو[7] را بهبود ببخشد. ظاهرا در مورد اثرات نانو دی اکسید تیتانیوم بر گیاهان اتفاق نظر وجود ندارد چرا که در اکثر تحقیقات گیاهان مختلف با غلظت‌های متفاوت و در شرایط مختلف مورد توجه قرار گرفته است (سیگر[8] و همکاران، ۲۰۰۹؛ سونادا[9] و همکاران، ۲۰۰۳). به عنوان مثال فان[10] و همکاران (۲۰۱۴) اثرات منفی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در همزیستی قارچ و باکتری در خانواده لگومینوز را گزارش کردند. در تحقیقات سیگر و همکاران (۲۰۰۹) مشخص شد که نانوذرات تیتانیوم با غلظت‌های ۰، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تاثیر منفی بر رشد، نرخ تعرق و ضریب بهره‌وری آب گیاه بید[11] نداشته است ولی با این وجود استفاده وسیع از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در کشاورزی و علوم گیاهی موضوع بحث است (کوریپا[12] و همکاران، ۲۰۱۰). در صورتی که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت‌های مناسب و کم مورد استفاده قرار بگیرند اثرات سودمندی خواهند داشت و بالعکس در صورتی که با غلظت‌های بالا استعمال شوند اثرات سمیت دارند که این مورد در گیاه گندم به طور واضح مشاهده شده است (فیضی[13] و همکاران، ۲۰۱۲). کی[14] و همکاران (۲۰۱۳) معتقدند در صورتی که نانوذرات تیتانیوم با غلظت مناسب مورد استفاده قرار بگیرد نه تنها اثر سمیت ندارد بلکه باعث القای تاثیرات مثبتی نظیر بهبود عملکرد فتوسنتزی و افزایش میزان تبادلات گازی در برگهای گیاه گوجه‌فرنگی می‌شود.

اخیرا استفاده از نانوذرات برای بهبود صفات جوانه‌زنی نیز مورد توجه قرار گرفته است (حقیقی و همکاران، ۲۰۱۲). اثر مثبت نانو دی اکسید تیتانیوم بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه اسفناج و متابولیسم بهتر نیتروژن گزارش شده است (یانگ[15] و همکاران، ۲۰۰۶) اما همچنان اطلاعات کافی در خصوص اثر و تغییرات فیزیولوژی ناشی از این عنصر مفید بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان بویژه گیاهان چوبی و جنگلی محدود است.

تحقیق حاضر برای اولین بار به مطالعه اثر نانو دی اکسید تیتانیوم بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گونه بارانک

[1] Moore
[2] Gao
[3] Haghighi and Pessarakli
[4] Monica and Cremonini
[5] Khot
[6] Li
[7] *Indocalamus barbatus*
[8] Seeger
[9] Sunada
[10] Fan
[11] *Salix alba*
[12] Kurepa
[13] Feizi
[14] Qi
[15] Yang

لرستانی، بعنوان یک گونه اندمیک (منحصر به فرد) برای ایران، پرداخته است. شایان ذکر است که وجود خواب فیزیولوژیک عمیق برای گونه‌های جنس بارانک تأیید شده است بطوری‌که میزان جوانه‌زنی بذرهای بارانک ایرانی (*Sorbus persica* Hedl.) بدون اعمال تیمارهای شکست خواب ۱٪ گزارش شده است (اسماعیلی شریف[1] و همکاران، ۲۰۱۶). هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات احتمالی (مثبت و یا منفی) این نانومواد بر مراحل حساس جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه بارانک لرستانی بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

به منظور تهیه بذرهای مورد نیاز از گونه بارانک لرستانی، در اوایل آبان ماه (زمان رسیدن میوه‌ها) به رویشگاه طبیعی این گونه در منطقه گهر دورود لرستان مراجعه و از درون تاج پایه‌های مادری مشابه، شاداب و سالم (حدوداً ۱۰ پایه) بذرگیری انجام شد. بعد از انتقال بذرها به محیط آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، پریکارپ میوه‌ها جداسازی شده و بذرها درون یخچال و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به منظور انجام آزمایش‌های مربوطه نگهداری گردید.

مشخصات نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

نانودی اکسید تیتانیوم مورد استفاده ساخت کشور ایران و از شرکت نئونانو بوده که از مهم‌ترین مشخصات آن می‌توان به میانگین ابعاد ۳۰-۲۰ نانومتر، درجه خلوص ۹۹/۹ درصد و سطح ویژه ۲۰۰ مترمربع بر گرم اشاره کرد.

اعمال تیمارهای آزمایش

براساس تحقیق اسماعیلی شریف و همکاران (۲۰۱۶) بهترین تیمار برای جوانه‌زنی گونه بارانک ایرانی (*Sorbus persica* Hedl.) لایه گذاری در گرما (چینه گرمایی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت دو هفته و سپس لایه‌گذاری در سرما (چینه سرمایی در دمای یک تا چهار درجه سانتی‌گراد) به مدت حداکثر چهار ماه گزارش شده است که با توجه به شباهت گونه بارانک لرستانی با گونه مذکور، در این پژوهش نیز مدنظر قرار گرفت.

به منظور بررسی اثر نانومواد بر مولفه‌های جوانه‌زنی این گونه، بذرهای بارانک لرستانی به مدت ۲۴ ساعت با غلظت‌های ۰، ۷۵، ۱۵۰، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نانودی‌اکسید تیتانیوم پرایم شد. برای ایجاد سوسپانسیون و جدا کردن ذرات نانو از یکدیگر، محلول‌های مورد نظر ابتدا توسط دستگاه التراسونیک همگن شدند (پژوهان[2] و همکاران، ۲۰۱۶). سپس بذرهای تیمار شده در لایه‌ای از ماسه مرطوب الک شده و سترون در درون ظروف پلاستیکی به مدت دو هفته در دمای اتاق (حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و پس از آن در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در درون یخچال تحت چینه سرمایی (لایه‌گذاری) قرار گرفتند (ناصری و طبری[3]، ۲۰۱۵). بازدید، رطوبت‌دهی و هوادهی بذرها نیز به طور مستمر انجام شد. پس از گذشت حدود سه ماه از شروع لایه‌گذاری سرد و با ظهور علائم شکست خواب بذرها نظیر برجستگی و تورم، بذرهای لایه‌گذاری شده، از یخچال خارج شده و پس از کشت هر تیمار در چهار تکرار ۲۵ تایی در ظروف پتری با استفاده از دو لایه کاغذ صافی، درون ژرمیناتور (دمای ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، شدت نور ۱۰۰۰ لوکس و رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد) قرار داده شدند (هانگ[4] و همکاران، ۲۰۰۳). معیار شروع جوانه‌زنی نیز، ظهور ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر در نظر گرفته شد (سیداری[5] و همکاران، ۲۰۰۸). شمارش بذرهای جوانه‌زده هر ۲۴ ساعت یک بار انجام گرفت و اطلاعات مربوطه ثبت شد (احمدلو[6] و همکاران، ۲۰۱۱). شمارش بذرهای جوانه‌زده تا زمانی که در بیش از سه بازدید جوانه‌زنی جدیدی مشاهده نگردید، ادامه یافت (لافوند و بیکر[7]، ۱۹۸۶). در این مرحله پارامترهای

[1] Esmaeili Sharif

[2] Pazhouhan
[3] Naseri and Tabari
[4] Huang
[5] Sidari
[6] Ahmadloo
[7] Lafond and Baker

درصد، سرعت و میانگین زمان جوانه‌زنی با استفاده از رابطه‌های ۱-۳ محاسبه گردید:

رابطه۱: درصد جوانه‌زنی $GR = n/N \times 100$

(پانووار و باردواج[1]، ۲۰۰۵).

رابطه ۲: سرعت جوانه‌زنی $GS = \sum (ni/ti)$

(پانووار و باردواج، ۲۰۰۵).

رابطه۳:

میانگین زمان جوانه‌زنی $MTG = \sum(ni.ti)/\sum n$

(کولکارنی[2] و همکاران، ۲۰۰۷).

در این رابطه‌ها: n: تعداد کل بذرهای جوانه زده در طی دوره، N: تعداد بذرهای کاشته شده، ni: تعداد بذرهای جوانه زده در فاصله زمانی مشخص ti و ti: تعداد روزهای پس از شروع جوانه زنی می‌باشد.

پس از اتمام جوانه‌زنی بذرها و ثبت داده‌های مربوطه، پتری‌ها تا زمان خروج کامل گیاهچه‌ها از بذرهای جوانه‌زده و رشد آنها که حدود ۱۵ روز بطول انجامید، در ژرمیناتور نگهداری شدند. در پایان این مدت گیاهچه‌ها از پتری‌ها خارج و پارامترهای رویشی آنها شامل تعداد برگ‌ها، طول ساقه و ریشه به وسیله خط‌کش و با دقت میلی‌متر و وزن‌تر و خشک اندام هوایی و ریشه آنها (پس از قرار دادن در آون در دمای ۶۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت) به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت میلی‌گرم اندازه‌گیری شد (یانگ[3] و همکاران، ۲۰۰۷).

مطالعات میکروسکوپی

بعد از اعمال پیش تیمارهای نانوپرایمینگ، از هر تیمار یک عدد بذر به منظور مطالعه سطح خارجی (پوسته) بذر به آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی دانشگاه لرستان انتقال داده شد. از میکروسکوپ الکترونی مدل FE-SEM ساخت کشور چک استفاده شد و تصاویر با بزرگنمایی‌های مختلف از پوسته بذر تهیه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

تحقیق حاضر در قالب یک طرح آزمایشی کاملا تصادفی انجام گرفت. به منظور تجزیه و تحلیل آماری ضمن رعایت فرضیات همگنی واریانس‌ها و نرمال بودن داده‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه در فضای نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون توکی انجام گردید.

نتایج

مطالعات میکروسکوپی

به منظور درک هر چه بیشتر اثر پیش تیمار نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، فقط تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار شاهد (غلظت صفر دی‌اکسید تیتانیوم) مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفت. مطالعه پوسته خارجی بذر گونه بارانک لرستانی نشان داد که در شرایط کنترل، پرایمینگ با آب مقطر و بدون حضور نانو ذرات، سطح پوسته بذر دارای برجستگی‌های مشبک به حالت لانه زنبوری می‌باشد. در مقابل بررسی تصاویر تهیه شده از بذرهای پیش تیمار شده با نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، نه تنها حضور، تجمع و چسبندگی نانوذرات در سطح پوسته مشهود است بلکه تحلیل و کاهش برجستگی‌های مشبک پوسته نیز قابل رویت است (شکل ۱). ابعاد ذرات نانو در تصاویر با سایز اصلی نانوذرات مطابقت دارد.

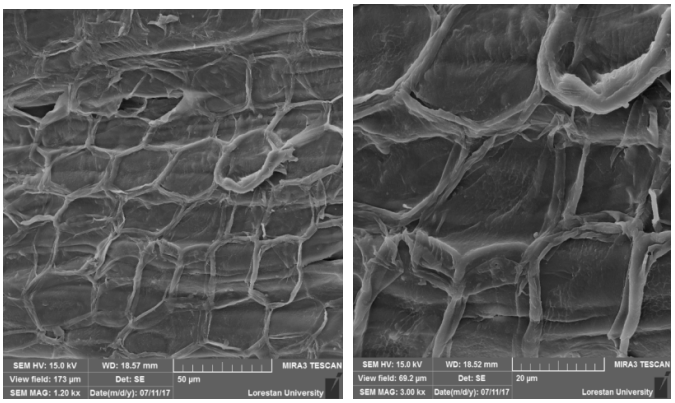
تاثیر پیش تیمارهای نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر صفات جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای اعمال شده سبب تغییرات معنی‌دار آماری در تمامی صفات جوانه‌زنی شد. پایین‌ترین نرخ جوانه‌زنی به میزان ۲۸٪ در تیمار شاهد ثبت شد در حالی که بین تیمار شاهد با تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد (شکل ۲). بالاترین درصد جوانه‌زنی (۷۸٪) مربوط به تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. بین تیمارهای ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوتی از این لحاظ مشاهده نشد (شکل ۳). بالاترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به‌ترتیب مربوط به تیمارهای ۵۰۰، ۱۵۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. بین تیمارهای ۷۵ و ۲۵۰ با بذرهای شاهد اختلافی مشاهده نگردید (شکل ۴).

[1] Panwar and Bhardwaj
[2] Kulkarni
[3] Yang

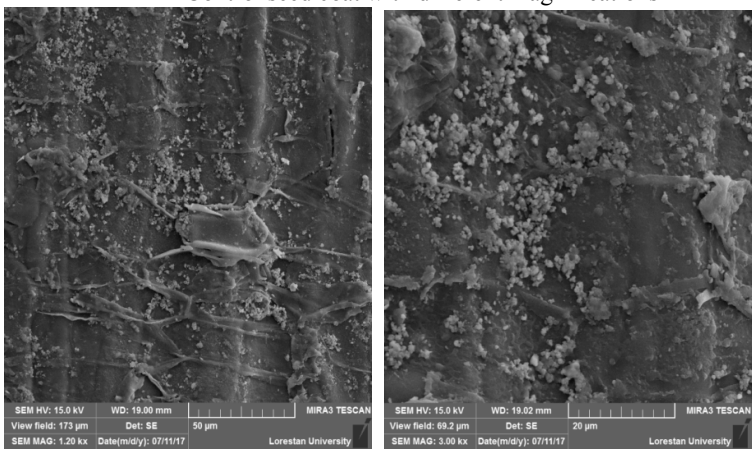
تاثیر پیش تیمارهای نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر صفات رشد و زیست‌توده

نتایج نشان داد که تمامی صفات رشد و زیست‌توده گیاهچه‌ها به غیر از صفات تعداد برگ، طول ریشه و همچنین طول کل گیاهچه ها تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده قرار گرفت (جدول ۱). از لحاظ طول ساقه کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد بوده و بین سایر تیمارها اختلاف معنی دار آماری مشاهده نشد ولی بیشترین مقدار میانگین در تیمار ۷۵ ثبت شد. آزمون توکی نشان داد که کمترین میزان زیست‌توده تر اندام‌های مختلف (برگ، ساقه و ریشه) و همچنین زیست‌توده کل تر به ترتیب با مقادیر ۶۶/۳، ۷، ۱۳/۲ و ۸۶/۶ میلی‌گرم مربوط به گیاهچه‌های شاهد بود. در مقابل تیمارهای ۲۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر در تمامی این صفات دارای حداکثر مقادیر بودند. از لحاظ زیست‌توده خشک اندام‌های گیاهی نیز نتایج و روند مشابه مشاهده شد بطوری‌که همواره کمترین میانگین‌ها متعلق به تیمار شاهد بود. اگرچه بین میانگین زیست‌توده خشک برگ و ساقه در میان تیمارهای نانوذرات اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی بیشترین مقادیر در گیاهچه‌هایی اندازه‌گیری شد که بذر آنها با غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر تیمار شده بود. بین تیمار شاهد و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از لحاظ زیست‌توده خشک ریشه اختلافی مشاهده نشد در حالی که سایر غلظت‌ها سبب افزایش معنی‌دار این صفت شدند. در نهایت حداکثر میانگین زیست‌توده خشک کل گیاهچه‌ها مربوط به تیمار ۷۵ میلی گرم در لیتر بود (جدول ۲).



الف- پوسته بذر شاهد با بزرگنمایی های مختلف

A- Control seed coat with different magnifications

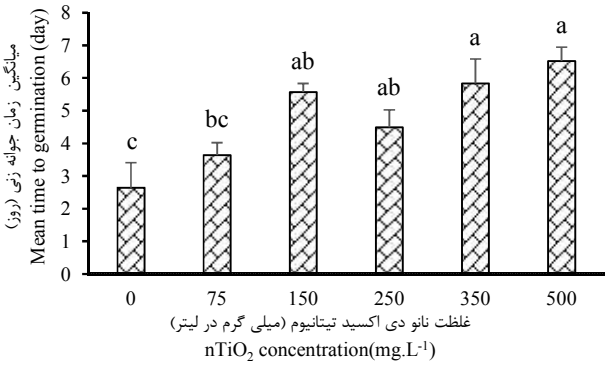


ب- پوسته بذر تیمار شده با نانو دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم برلیتر با بزرگنمایی های مختلف

B- 500 $mg.L^{-1}$ $nTiO_2$ seed coat treatment with different magnifications

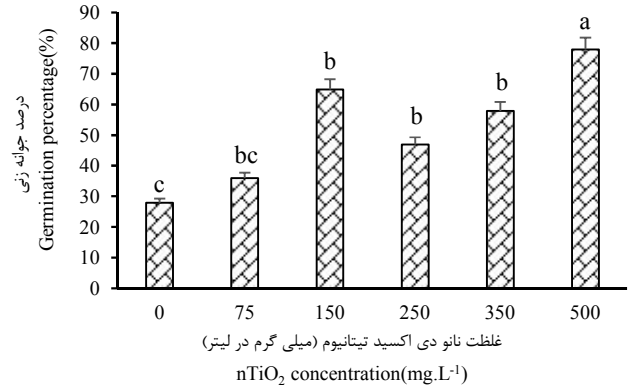
شکل ۱. تصاویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی از پوسته بذر گونه بارانک لرستانی

Fig. 1. Seed coat images of *S. luristanica* by SEM



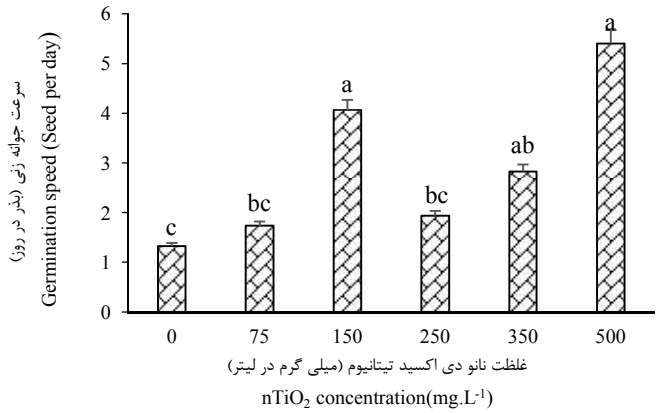
شکل ۲. تاثیر تیمارهای نانو دی اکسید تیتانیوم بر زمان جوانه زنی بذر گونه بارانک لرستانی. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار با آزمون توکی در سطح احتمال ۹۵ درصد می باشد.

Fig. 2. Effect of $nTiO_2$ treatments on mean time of germination of *S. luristanica* seed



شکل ۳. تاثیر تیمارهای نانو دی اکسید تیتانیوم بر درصد جوانه زنی بذر گونه بارانک لرستانی. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار با آزمون توکی در سطح احتمال ۹۵ درصد می باشد.

Fig. 3. Effect of $nTiO_2$ treatments on germination percentage of *S. luristanica* seed



شکل ۴. تاثیر تیمارهای نانو دی اکسید تیتانیوم بر سرعت جوانه زنی بذر گونه بارانک لرستانی. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار با آزمون توکی در سطح احتمال ۹۵ درصد می باشد.

Fig. 4. Effect of $nTiO_2$ treatments on germination speed of *S. luristanica* seed

جدول ۱. مقایسه میانگین اثر غلظت‌های نانو اکسید تیتانیوم بر صفات گیاهچه بارانک لرستانی

Table 1. Mean comparison of studied parameters under the effect of the treatments

صفات parameters	غلظت‌های نانو دی‌اکسید تیتانیوم (میلی‌گرم در لیتر) $nTiO_2$ concentration ($mg.L^{-1}$)					
	0	75	150	250	350	500
تعداد برگ‌های اولیه Number of leaves	5±0.1 a	5.6±0.1 a	5±0.1 a	5.3±0.2 a	5.2±0.2 a	5.5±0.1 a
طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Root length	72.2±4.2 a	95.2±9.8 a	77.8±10.3 a	84±4.1 a	92.2±11.9 a	88.8±5.0 a
طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Shoot length	10.7±0.3 b	17.7±0.9 a	17.1±1.6 a	16±0.8 a	15.3±1.3 a	15.7±0.3 a
طول گیاهچه (میلی‌متر) Seedling length	83±4.4 a	111.6±9.2 a	90.1±9.9 a	100±4.2 a	100.3±11.1 a	104.6±4.9 a
زیست‌توده تر برگ (میلی‌گرم) Fresh biomass of leaves	66.3±5.5 c	115.8±10.9 ab	109.8±7.3 ab	132.1±9.5 a	106.5±7.0 ab	94.1±4.66 b
زیست‌توده تر ساقه (میلی‌گرم) Fresh biomass of stem	7±0.6 b	16.5±1.3 a	15.5±1.2 a	16±1.3 a	12.2±1.0 a	13.7±1.0 a
زیست‌توده تر ریشه (میلی‌گرم) Fresh biomass of root	13.2±1.2 b	24.7±1.4 a	24.5±3.5 a	27.6±3.7 a	24.6±1.8 a	23.3±2.4 a
زیست‌توده تر کل (میلی‌گرم) Total fresh biomass	86.6±6.3 c	157.1±12.0 ab	149.8±10.5 ab	175.7±11.7 a	143.3±7.9 ab	131.2±6.5 b
زیست‌توده‌خشک‌برگ (میلی‌گرم) Dry biomass of leaves	14.1±0.8 b	20.2±1.6 a	17.6±0.9 ab	19.6±0.9 a	18.8±1.4 a	16.1±0.7 ab
زیست‌توده‌خشک‌ساقه (میلی‌گرم) Dry biomass of stem	1.1±0.1 b	2.3±0.2 a	2.2±0.2 a	2±0.1 a	2.1±0.2 a	2±0.1 a
زیست‌توده‌خشک‌ریشه (میلی‌گرم) Dry biomass of root	2.3±0.1 b	4.3±0.3 a	4.1±0.5 a	4.3±0.4 a	4.6±0.5 a	3.7±0.2 b
زیست‌توده خشک کل (میلی‌گرم) Total dry biomass	15.2±2.3 b	27±1.8 a	24±1.3 a	26±1.1 a	25.6±1.7 a	21.8±0.6 a

اعداد درون جدول به ترتیب نشان‌دهنده میانگین و ± اشتباه معیار می باشند. حروف مشابه در هر ردیف بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی در سطح احتمال ۹۵ درصد می باشد.

بحث

سطح ویژه بالا در نانوذرات عملکرد سطحی و قدرت چسبندگی آنها را بیشتر می‌کند (مونیکا و سرمونینی، ۲۰۰۹). حضور و چسبندگی نانوذرات توسط میکروسکوپ الکترونی تایید شد ولی ورود و نفوذ نانوذرات به داخل بذر بواسطه مشاهده تغییرات در صفات جوانه‌زنی و همچنین صفات رشد و زیست‌توده گیاهچه ها قابل تایید است. مطالعه محمدی[1] و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از آنالیز TEM ورود نانوذرات تیتانیوم را در سلول گیاهی تایید کرد. بی شک با ورود نانوذرات به داخل بذر، ضمن افزایش نفوذپذیری، مسیر ورود آب و اکسیژن فراهم شده لذا تغییرات جوانه‌زنی

[1] Mohammadi

قابل انتظار است (فتحی[1] و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج آزمون جوانه‌زنی نشان داد که در تیمار ۵۰۰ میلی گرم از نانوذرات تیتانیوم حدود ۶۵٪ ارتقاء درصد جوانه زنی در مقایسه با بذرهای شاهد رخ داده است. همچنین تیمار ۱۵۰ میلی گرم در لیتر حدود ۵۵٪ افزایش جوانه زنی در مقایسه با شاهد داشت. در نگاه کلی تمامی تیمارها سبب بهبود جوانه‌زنی در مقایسه با بذرهایی شدند که از نانوذرات بهره مند نبودند. همراستا با نتایج این تحقیق، کمالی و صادقی‌پور[2](۲۰۱۵) در پژوهشی نشان دادند که غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سبب افزایش جوانه‌زنی دو گونه *Eurotia ceratoides* (از ۲۸ درصد به ۵۱ درصد) و *Kochia prostrate* (از ۶۸ درصد به ۸۴ درصد) در مقایسه با شاهد شده است. همچنین سرعت جوانه‌زنی در دو تیمار ۵۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب ۷۳ و ۶۶ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. از لحاظ افزایش میزان زمان جوانه‌زنی نیز تیمارهای یادشده دارای بیشترین مقادیر بودند لذا می توان اذعان داشت که تیمار ۵۰۰ میلی گرم و پس ازآن تیمار ۱۵۰ میلی گرم در لیتر از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم دارای بیشترین اثر بخشی در ارتقاء جوانه‌زنی این گونه درختی داشتند. پیش از این تاثیرات مثبت نانو دی‌اکسید تیتانیوم در افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای مریم‌گلی (حاتمی[3] و همکاران، ۲۰۱۴)، پیاز (لاوار و راسکار[4]، ۲۰۱۴) و رازیانه (فیضی و همکاران، ۲۰۱۳) نیز گزارش شده است.

تیتانیوم به عنوان یک عنصر سودمند باعث افزایش و تحریک رشد می‌شود (پایس[5]، ۱۹۸۳). لذا اثرات متعاقب این نانوذرات بر رشد و زیست‌توده گیاهچه‌ها نیز بررسی شد (شکل ۵).

گائو[6] و همکاران (۲۰۰۸) اعتقاد دارند که نانوذرات تیتانیوم می‌تواند از طریق افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو موجب افزایش رشد زیست‌توده در برگ گیاه اسفناج

شکل ۵. تاثیر پیش تیمارهای نانو دی اکسید تیتانیوم بذر گونه بارانک لرستانی بر رشد گیاهچه‌های آن

Fig. 5. Effect of $nTiO_2$ pretreatments on growth of *S. luristanica* seedlings

(منظور از Control یا شاهد، همان غلظت صفر نانو دی‌اکسید تیتانیوم Ti-0 می باشد.)

شود. ارزیابی اولیه نشان داد که نتایج جوانه‌زنی و رشد و زیست‌توده با یکدیگر همخوانی و تطابق ندارد. در ارتقاء صفات جوانه‌زنی تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بعنوان موفق ترین تیمار معرفی گردید ولی نتایج رشد و زیست‌توده نشان داد که نه تنها بعنوان بهترین تیمار عمل نکرده بلکه نسبت به سایر غلظت‌های اعمال شده دارای کمترین اثر بود. نتایج حاکی از آن بود که تیمار ۷۵ میلی‌گرم در لیتر در بیشتر صفات مورد بررسی دارای بیشترین تاثیر مثبت بود بطوری که زیست‌توده خشک کل گیاهچه‌ها در این تیمار حدود ۴۳٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. همچنین زیست‌توده خشک ساقه و برگ در این تیمار به ترتیب ۵۵ و ۳۰٪ بیشتر از گیاهچه‌های شاهد بود. نکته قابل تامل افزایش حدود ۲ برابری زیست‌توده تر کل گیاهچه در تیمار ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بود. در نگاه کلی تیمار ۲۵۰ و ۷۵ به ترتیب در ارتقاء زیست‌توده تر و خشک موفق تر بودند. اثرات مثبت تیتانیوم بر رشد گیاهانی مانند لوبیا چشم بلبلی با افزایش تعداد و طول غلاف‌ها و افزایش تعداد دانه در هر غلاف (اولاد[7] و همکاران، ۲۰۰۸)، گیاهچه اسفناج با افزایش جذب

[1] Fathi
[2] Kamali and Sadeghipoor
[3] Hatami
[4] Laware and Raskar
[5] Pais
[6] Gao
[7] Owolade

نیترات و زیست‌توده برگ ها (یانگ و همکاران، ۲۰۰۶) و سیب با افزایش تعداد برگ‌ها (وجسیک و کلامکووسکی[1]، ۲۰۰۴) نیز گزارش شده است. در تحقیقی جابرزاده[2] و همکاران (۲۰۱۰) نیز افزایش عملکرد دانه گندم را تحت تنش خشکی بعد از اسپری دی اکسید تیتانیوم با غلظت ۰/۰۲ درصد گزارش کردند. تحقیقات نشان داده است که اسپری کردن نانوذرات تیتانیوم بر برگ گیاه خیار بعد از چند ساعت سبب افزایش فتوسنتز شده که این نیز به نوبه خود سبب افزایش رشد ریشه شده است (ژانگ[3] و همکاران، ۲۰۰۸).

درنهایت می‌توان اذعان داشت که تاثیر پرایمینگ بذر بارانک لرستانی سبب ارتقاء صفات جوانه زنی و رشد گیاهچه‌های این گونه شد، ولی روند تاثیرات در دو مرحله متفاوت بود، بطوریکه در مرحله جوانه زنی بالاترین غلظت و در مرحله رشد تیمارهای کم تا متوسط موفق‌تر بودند، لذا با تعیین هدف می‌توان غلظت مناسب را انتخاب کرد بدین معنی که اگر هدف افزایش درصد جوانه زنی این گیاه باشد، باید از غلظت بالا و در صورتی که هدف دستیابی به افزایش رشد و زیست‌توده بیشتر باشد باید از غلظت‌های کم تا متوسط استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر تقریبا شرایط متوسطی از هر دو حالت را با هم دارد یعنی هم در بهبود جوانه‌زنی و هم در ارتقاء صفات رشد گیاهچه ها موفقیت قابل قبولی کسب کرده و از سوی دیگر با توجه به غلظت متوسط آن از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد، لذا به عنوان یک تیمار موفق قابل توصیه می‌باشد. برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر پیشنهاد می‌گردد که نانوذرات تیتانیوم در مراحل مختلف به این گیاه اعمال گردد تا بتوان تصمیم دقیق تری اتخاذ نمود.

منابع

Ahmadloo, F., Tabari, M., Rahmani, A., and Yousefzadeh, H, 2011. Effect of cattle manure and decomposed litter to improve germination and survival of *Cupressus arizonica* and *C. sempervirens* var. horizontalis in nursery. Journal of Forest and Wood Products (JFWP) (Iranian Journal of Natural Resources), 63(4): 317-330. [In Persian with English Summary].

Esmaeili Sharif, M., Hosseini Nasr, S.M., Ghamari Zare, A., and Talebi, M. 2016. Appropriate methods for breaking seed dormancy of Iranian mountain ash (*Sorbus persica* Hedl.). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23(4): 694-706. [In Persian with English Summary].

Fan, R., Huang, Y.C., Grusak, M.A., Huang, C.P., and Sherrier, D.J. 2014. Effects of nano-TiO_2 on the agronomically-relevant Rhizobium-legume symbiosis. Science of the Total Environment, 466-467: 503-512. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.032

Fathi, Z., Khavari Nejad, R.A., Mahmoodzadeh, H., and Nejad Satari, T. 2017. Investigating of a wide range of concentrations of multi-walled carbon nanotubes on germination and growth of castor seeds (*Ricinus communis* L.). Journal of Plant Production Research, 57(3): 228-236. https://doi.org/10.1515/jppr-2017-0032

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. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.12.012

Feizi, H., Rezvani Moghaddam, P., Shahtahmassebi, N., and Fotovat, A. 2012. Impact of bulk and nanosized titanium dioxide (TiO_2) on wheat seed germination and seedling growth. Biological Trace Element Research, 146(1): 101-106. https://doi.org/10.1007/s12011-011-9222-7

[1] Wojcik and Klamkowski
[2] Jaberzadeh
[3] Zhang

Gao, F., Liu, C., Qu, C., Zheng, L., Yang, F., Su, M., and Hong, F. 2008. Was improvement of spinach growth by nano-TiO_2 treatment related to the changes of Rubisco activase? Biometals, 21(2): 211-217. https://doi.org/10.1007/s10534-007-9110-y

Gao, J., Xu, G., Qian, H., Liu, P., Zhao, P., and Hu, Y. 2013. Effects of nano-TiO_2 on photosynthetic characteristics of *Ulmus elongata* seedlings. Environmental Pollution, 176: 63-70. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.027

Haghighi, M., Afifipour, Z., and Mozafarian, M. 2012. The effect of N-Si on tomato seed germination under salinity levels. Journal of Biological and Environmental Sciences, 6(16): 87-90.

Haghighi, M., and Pessarakli, M. 2013, Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulturae, 161: 111-117. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.034

Hatami, M., Ghorbanpour, M., and Salehiarjomand, H. 2014. Nano-anatase TiO_2 modulates the germination behavior and seedling vigority of some commercially important medicinal and aromatic plants. Journal of Biological and Environmental Sciences, 8(22): 53-59.

Huang, Z., Zhang, X., Zheng, G., and Gutterman, Y. 2003. Influence of light, temperature, salinity and storage on seed germination of *Haloxylon ammodendron*. Journal of Arid Environments, 55(3): 453-464. https://doi.org/10.1016/S0140-1963(02)00294-X

Jaberzadeh, A., Moaveni, P., Tohidi Moghadam, H.R., and Modari, A. 2010. Effects of TiO_2 NPs foliar spraying on the wheat under drought stress. Iranian Journal of plant Eco- Physiology, 4(2): 295-301. [In Persian with English Summary].

Kamali, N., and Sadeghipoor, A. 2015. Effects of different concentrations of nano TiO_2 on germination and early growth of five range plant species. Journal of Rangeland, 9(2): 170-181. [In Persian with English Summary].

Khot, L.R., Sankaran, S., Maja, J.M., Ehsani, R., and Schuster, E.W. 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection a review. Crop Protection, 35: 64-70. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.01.007

Kulkarni, M.G., Street, R.A., and Staden, J.V. 2007. Germination and seedling growth requirements for propagation of *Diosscorea dregeana* (Kunth) Dur.and Schinz-A tuberous medicinal plant. South African Journal of Botany, 73(1): 131-137. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2006.09.002

Kurepa, J., Paunesku, T., Vogt, S., Arora, H., Rabatic, B.M., Lu, J., Wanzer, M.B., Woloschak, G.E., and Smalle, J.A. 2010. Uptake and distribution of ultra-small anatase TiO_2 Alizarin red S nanoconjugates in Arabidopsis thaliana. Nano letters, 10(7): 2296-2302. https://doi.org/10.1021/nl903518f

Lafond, G.P., and Baker, R.J. 1986. Effects of temperature, moisture stress, and seed size on germination of nine spring wheat cultivars. Crop Science, 26(3): 563-567. https://doi.org/10.2135/cropsci1986.0011183X002600030028x

Laware, S.L. and Raskar, S.V. 2014. Effect of titanium dioxide nanoparticles on hydrolytic and antioxidant enzymes during seed germination in onion. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 3(7): 749-760.

Li, B., Xie, Y., Zhang, Q., Zhang, C., Lu, K. and Tao, G. 2011. Effects of nano-TiO_2 on photosynthetic characteristics of *Indocalamus barbatus*. Journal of Northeast Forestry University, 39: 22-25.

Mohammadi, R., Maali Amiri, R., and Abbasi, A. 2013. Effect of TiO_2 Nanoparticles on Chickpea Response to Cold Stress. Biological Trace Element Research, 152: 403-410. https://doi.org/10.1007/s12011-013-9631-x

Monica, R.C., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62(2): 161-165. https://doi.org/10.1080/00087114.2004.10589681

Moore, M.N. 2006. Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment? Environment International, 32(8): 967-976. https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.06.014

Naseri, B., and Tabari, M. 2015. Effects of GA3 and stratification on seed germination of field maple (*Acer campestre* L.). Forest and Wood Products, 68(2): 419-428. [In Persian with English Summary].

Owolade, O.F., Ogunleti, D.O., and Adenekan, M.O. 2008. Titanium dioxide affects diseases, development and yield of edible cowpea. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry, 7(5): 2942-2947.

Pais, I. 1983. The biological importance of titanium. Journal of Plant Nutrition, 6(1): 3-131. https://doi.org/10.1080/01904168309363075

Panwar, P., and Bhardwaj, S.D. 2005. Handbook of practical forestry. Agrobios (India), 191p.

Pazhouhan, I., Jalali, S.Gh.A., Atabati, H., Zarafshar, M., and Sattarian, A. 2016. Comparison of carbon nanotubes with chemical and physical treatments to break seed dormancy of *Myrtus communis*.L. Journal of Botany Research, 29(2): 300-308. [In Persian with English Summary].

Qi, M., Liu, Y. and Li, T. 2013. Nano-TiO_2 improve the photosynthesis of tomato leaves under mild heat stress. Biological Trace Element Research, 156(1-3): 323-328. https://doi.org/10.1007/s12011-013-9833-2

Seeger, E.M., Baun, A., Kästner, M., and Trapp, S. 2009. Insignificant acute toxicity of TiO_2 nanoparticles to willow trees. Journal of Soils and Sediments, 9(1): 46-53. https://doi.org/10.1007/s11368-008-0034-0

Sidari, M., Mallamaci, C., and Muscolo, A. 2008. Drought, salinity and heat differently affect seed germination of *Pinus pinea*. Journal of Forest Research, 13(5): 326-330. https://doi.org/10.1007/s10310-008-0086-4

Sunada, K., Watanabe, T., and Hashimoto, K. 2003. Bactericidal activity of copper-deposited TiO_2 thin film under weak UV light illumination. Environmental Science and Technology, 37(20): 4785-4789. https://doi.org/10.1021/es034106g

Wojcik, P., and Klamkowski, K. 2004. "Szampion" apple tree response to foliar titanium application. Journal of Plant Nutrition, 27(11): 2033-2046. https://doi.org/10.1081/PLN-200030108

Yang, F., Hong, F., You, W., Liu, C., Gao, F., Wu, C., and Yang, P. 2006. Influences of nano-anatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research, 110(2): 179-190. https://doi.org/10.1385/BTER:110:2:179

Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao,Y.Z., Yao, X.Q., and Yin, H.J. 2007. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. Photosynthetica, 45(4): 613-619. https://doi.org/10.1007/s11099-007-0106-1

Zhang, P., Cui, H.X., Zhang, Z.J., and Zhong, R.G. 2008. Effects of nano-TiO_2 photo-semiconductor on photosynthesis of cucumber plants. Chinese Agricultural Science Bulletin, 24: 230-233.

Iranian Journal of Seed Research, 2019, 6(1): 173-184

Short Research Paper

Effects of TiO_2 Nanoparticles on Germination and Primary Growth of Mountain Ash (*Sorbus luristanica*)

Sayed Vahid Sayedena [1], Babak Pilehvar [2, *], Kambiz Abrari-vajari [3], Mehrdad Zarafshar [4], Hamid Reza Eisvand [2]

Extended Abstract

Introduction: Production of nanoparticles and their use are on the rise in different areas of plant science. However, in spite of their increasing production, there is limited information about their effects on plant biology. In the current study, the potential of TiO_2 nanoparticles was investigated for the purpose of improving seed germination of *Sorbus luristanica* and then subsequent effects of nanoparticles on the growth and biomass of the plants were determined.

Materials and Methods: Seeds of *S. luristanica* were collected from its natural stands. The seeds were primed with different concentrations of 0, 75, 150, 250, 350 and 500 TiO_2 nanoparticles miligeram per liter for 24 h. The treated seeds were placed in wet sand at room temperature for 2 weeks and then in cold for 3 months. The expriment was set as a completely randimized design with 4 replications. Aftre 3 months of stratification in moistened sand, the stratified seeds were put in the germinator and with the appearance of seed germination signs, germination data were recorded daily during 22 days. At the end of the seed germination experiment, some germination parameters such as seed germination percentage, seed vigority and mean time to germination were calculated. Moreover, some growth and biomass parameters including leaf number, plant height and dry and fresh biomass of leaf, stem as well as roots were measured. In addition, scaning electron microscopic (SEM) was used for observation of presence and adhesiveness of TiO_2 nanoparticles on the seed coat.

Results: Based on the results, all the germination parametres including seed germination percentage, seed vigoroty and mean germination time were improved by the TiO_2 nanoparticles treatments. In addition, 500 $mg.L^{-1}$ treatment considerably improved seed germination characteristics. The peresence of TiO_2 nanoparticles on the treated seeds and lack of the nanomatreials on the conrtol seeds were obsereved by scaning electron microscopic pictures. The One-way ANOVA showed that 75 $mg.L^{-1}$ treatment was more succesful for improving the grwoth (such as shoot length) and biomass production (fresh and dry biomass of leaf, stem and root and total biomass as well).

Conclusion: It can be concluded that priming of the seeds of this species with different concentrations of TiO_2 nanoparticles leads to improvement of seed germination and growth and biomass parameters. However, the patterns of effects were different in each phase. Therefore, the objectives should be formulated first and then the best concentration should be chosen. It seems that with appropriate concentrations, nanoparticles can be useful for breaking seed dormancy and production of the species. Given the promising resutls of 150 $mg.L^{-1}$ treatment, it can represent a successful treatment for breaking seed dormancy and seedling production of *S. luristanica*.

Keywords: Cold stratification, Priming, seed dormancy, Biomass, Seedling, Sorbus luristanica

Highlights:

1- Study of seed germination of *Sorbus luristanica* for the first time
2- Using Nano-materials and their potentials in breaking seed dormancy and improving the species germination
3- Using SEM in order to study presence and adhesiveness of nanoparticles on the seed coat

[1] Ph.D. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Lorestan, Iran
[2] Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Lorestan, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Lorestan, Iran
[4] Assistant Professor, Research Division of Natural Resources, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

[*] Corresponding author, E-mail: pilehvar.b@lu.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1398.6.1.5.5

http://dx.doi.org/10.29252/yujs.6.1.173

(Received: 23.05.2018 ; Accepted: 04.12.2018)