تأثیر نانو دی‌اکسید تیتانیوم و نانو تیوب کربن بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر برخی ارقام جو پوشینه‌دار (*Hordeum vulgare*)

محمودرضا تدین [۱،*]، محمد رحیمی [۲]

[۱] دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه شهرکرد
[*] پست الکترونیک نویسنده مسئول: tadayyon-m@agr.sku.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۵)

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم ($Nano\ TiO_2$) و نانو تیوب کربنی (CNT) بر برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر ارقام گیاه جو بود. آزمایش در سال ۱۳۹۳ در آزمایشگاه دانشگاه شهرکرد اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم و نانو تیوب کربن در چهار غلظت (صفر، ۱۰، ۳۰، ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود که بر روی بذرهای ارقام جو پوشینه‌دار بهمن، ماکویی و نصرت اعمال گردید. صفات مورد اندازه‌گیری شامل: وزن خشک گیاهچه، طول گیاهچه، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، درصد مقاومت ریشه‌چه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر بودند. نتایج نشان داد تیمار نانو تیوب کربن با غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به سایر تیمارها تأثیر مثبت بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص طولی و وزنی بنیه و وزن خشک گیاهچه داشت. در این آزمایش، بیشترین درصد مقاومت ریشه‌چه، شاخص وزنی بنیه و وزن خشک گیاهچه رقم نصرت تحت تیمار نانو تیوب کربن با غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب معادل ۷، ۱۲۲/۲ و ۶۴/۹ درصد به دست آمد. همچنین، تیمار نانو تیوب کربن با غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش شاخص بنیه بذر در رقم ماکویی به میزان ۳۹/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. می‌توان نتیجه گرفت که رقم نصرت در صفات شاخص طولی و وزنی بنیه بذر، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه و درصد مقاومت ریشه‌چه نسبت به ارقام بهمن و ماکویی عملکرد مورفولوژیکی بهتری در شرایط آزمایشگاهی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بنیه بذر، رقم نصرت، رقم بهمن، وزن‌تر گیاهچه، وزن خشک گیاهچه

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare*) از خانواده گندمیان Poaceae (تاجبخش و پورمیرزا، ۱۳۸۲) و یکی از اولین گیاهان زراعی اهلی شده است (تاجبخش و پورمیرزا، ۱۳۸۲). جو از لحاظ اهمیت به‌عنوان گیاه زراعی رتبه چهارم پس از گندم، ذرت و برنج را دارا است (آکار[1] و همکاران، ۲۰۰۴). فناوری نانو به فن طراحی، توصیف، تولید و کاربرد ساختار، ابزار و سامانه‌ها در اندازه نانو گفته می‌شود (ویس[2] و همکاران، ۲۰۰۶). استفاده از فناوری نانو در کلیه عرصه‌ها از جمله کشاورزی در حال گسترش است (مونیکو و کرمونین[3]، ۲۰۰۹). برای به

[1] Akar

[2] Weiss
[3] Monica and Cremonini

حداقل رساندن تلفات مواد مغذی و افزایش عملکرد گیاهان زراعی نیاز به مدیریت کاربرد مواد نانو می‌باشد (سیدیگوی[1] و همکاران، ۲۰۱۵). محققین دریافته‌اند که تأثیرات مثبت و منفی نانو ذرات بر رشد و توسعه گیاه بستگی به ترکیب، غلظت، اندازه و خواص فیزیکی و شیمیایی نانو ذرات و همچنین نوع گونه گیاهی دارد (می[2] و همکاران، ۲۰۱۰). در آزمایشی، میزان رشد ریشه‌چه، نسبت به ساقه‌چه در گندم تحت تأثیر عناصر نانو بیشتر است و همچنین، تفاوت در رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه، تحت عناصر نانو ذرات TiO_2 و ZnO نسبت به شاهد مشاهده شده است (ونچاو[3] و همکاران، ۲۰۱۰). جابرزاده[4] و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که نانو TiO_2 سبب بهبود رشد گندم و اجزای عملکرد آن تحت شرایط تنش آبی شده است. نانو تیوب کربنی ماده است که کربن با قطر یک اتم و به شکل استوانه‌های توخالی ساخته‌شده در سال ۱۹۹۱ توسط سامیوایجیما تولید شده است (عبدل گود و پوتسچک[5]، ۲۰۰۵). نانو تیوب‌های کربنی، باعث افزایش جوانه‌زنی بذرها و رشد و توسعه گیاهان می‌شود (لاهیانی[6] و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین، در آزمایشی، نانو تیوب‌های کربن به علت نفوذ بهتر به غشای بذر، باعث افزایش جوانه‌زنی و رشد اولیه گوجه‌فرنگی شده است (خوداکوسکایا[7] و همکاران، ۲۰۰۹). در پژوهشی، مشخص گردید که ترکیبی از نانو ذرات SiO_2 و TiO_2 در سویا فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز، جوانه‌زنی و رشد را افزایش می‌دهد (مهاژان[8] و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به گستردگی کاربرد و استفاده از مواد نانو در بخش کشاورزی و تولید گیاهان و فراوری محصولات غذایی، هدف از این پژوهش، بررسی اثرات نانو دی‌اکسید تیتانیوم و نانو تیوب کربنی بر جوانه‌زنی بذر چند رقم جو بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه گروه علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه شهرکرد اجرا گردید. تیمارهای مورد استفاده در آزمایشگاه، شامل تیمار نانو تیوب‌های کربن و تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم در سه غلظت از هر نانوذره شامل: غلظت‌های ۱۰، ۳۰، ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر و به همراه تیمار شاهد و سه رقم جو پوشینه‌دار و در چهار تکرار بود. علت انتخاب ارقام جو پوشینه‌دار بررسی این موضوع بوده است که آیا امکان نفوذ مواد نانو در ارقام پوشینه‌دار با یکدیگر متفاوت می‌باشد و کدام رقم تأثیر بیشتری از این موضوع می‌پذیرد. در ابتدا بذرهای جو پوشینه‌دار نصرت (کارون در کویر) از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و ارقام جو پوشینه‌دار بهمن و ماکویی از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی (اراک) تهیه گردید. ابتدا بذرهای جو با الکل ۱۰ درصد به مدت ۱۰ ثانیه و هیپو کلریت سدیم ۱۵ درصد تجاری به مدت ۳ دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. بذرهای ضدعفونی شده داخل ظروف پتری دیش حاوی کاغذ صافی قرار داده شدند. تعداد ۲۵ عدد بذر در هر ظرف پتری دیش قرار داده شد. میزان ۸ میلی‌لیتر از محلول حاوی هر کدام از نانو ذرات با غلظت‌های متفاوت به‌صورت جداگانه، برای هر کدام از ارقام مختلف جو به ظروف پتری دیش اضافه گردید. سپس طبق قوانین ایستا[9] (۱۹۹۹) بذرهای، در داخل ظروف پتری و در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت هفت روز در داخل ژرمیناتور قرار داده شدند. از روز دوم آزمایش، برای مشخص نمودن تعداد بذرهای جوانه‌زده، شمارش بذرها انجام شد. در پایان روز هفتم، صفاتی نظیر طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه با استفاده از خط‌کش و ترازو اندازه‌گیری گردید. درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، میزان مقاومت ریشه‌چه، ویگور (بنیه) ۱ و ۲، با استفاده از فرمول‌های زیر مورد بررسی، اندازه‌گیری و محاسبه قرار گرفت: رابطه ۱ معادله درصد جوانه‌زنی به شرح زیر می‌باشد: که در آن GP درصد جوانه‌زنی و Ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز i ام و S تعداد کل

[1] Siddiqui
[2] Ma
[3] Wenchao
[4] Jaberzadeh,
[5] Abdel-Goad
[6] Lahiani
[7] Khodakovskaya
[8] Mahajan
[9] ISTA

بذرهای کشت شده می‌باشد (باجی[1] و همکاران، ۲۰۰۲).

رابطه ۱: $GP = (Ni/S) \times 100$

رابطه ۲ معادله سرعت جوانه‌زنی که در آن GR سرعت جوانه‌زنی Ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز موردنظر و Di تعداد روزهای سپری‌شده از شروع آزمایش می‌باشد (عبدالرحمنی و همکاران، ۱۳۸۸).

رابطه ۲: $GR = \sum_{1}^{i} \frac{Ni}{Di}$

رابطه ۳ معادله میانگین زمان جوانه‌زنی که در آن MGT میانگین زمان جوانه‌زنی و n تعداد بذرهای جوانه‌زده و d روز موردنظر و D تعداد کل روز می‌باشد (گیرولا[2] و همکاران، ۲۰۱۱).

رابطه ۳: $MGT = \frac{(n1 \times d1)+(n2 \times d2)+\cdots}{D}$

رابطه ۴ معادله شاخص طولی بنیه بذر که در آن SV1 شاخص طولی بنیه بذر، حاصل جمع RL طول ریشه‌چه و PL طول ساقه‌چه در GP درصد جوانه‌زنی می‌باشد (مصطفوی و حیدریان، ۱۳۹۱).

رابطه ۴: $SV1 = (PL+RL) \times GP$

رابطه ۵ معادله شاخص وزنی بنیه بذر که در آن SV2 شاخص وزنی بنیه بذر، مجموع RW وزن ریشه‌چه و PW وزن ساقه‌چه در GP درصد جوانه‌زنی می‌باشد (ایستا، ۱۹۹۹؛ بارانی دستجردی و همکاران، ۱۳۹۳؛ عظیمی[3] و همکاران، ۲۰۱۴).

رابطه ۵: $SV2 = (PW + RW) \times GP$

رابطه ۶ معادله مقاومت ریشه‌چه به شرح زیر می‌باشد (راسکار و لاواری[4]، ۲۰۱۳).

رابطه ۶: ۱۰۰× (طول ریشه‌چه در شاهد / طول ریشه‌چه در تیمار)

در این آزمایش داده‌ها با نرم‌افزار SAS و MSTAT_C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و میانگین داده‌ها با نرم‌افزار EXCEL نمایش داده شد. مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی در (جدول ۱) نشان داده شده است. اثر متقابل تیمار نانو و ارقام جو بر میانگین درصد مقاومت ریشه‌چه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر، طول و وزن گیاهچه در سطح یک درصد و میانگین زمان جوانه‌زنی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر معنی‌دار تیمار نانو و ارقام جو قرار گرفت اما اثر متقابل آن‌ها برای این صفات معنی‌دار نگردید (جدول ۱). طبق جدول ۲، بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر مربوط به تیمار نانو تیوب کربن با غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین درصد جوانه‌زنی به تیمارهای شاهد و نانو دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر تعلق داشت. تمامی تیمارهای اعمال‌شده نسبت به شاهد، سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی شدند. طبق نتایج جدول ۳، بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی بذر، به ارقام بهمن و نصرت تعلق داشت. همچنین رقم نصرت نسبت به سایر ارقام دارای کمترین سرعت جوانه‌زنی بود. طبق جدول ۳، رقم بهمن دارای بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی بذر نسبت به سایر ارقام بود. همچنین بیشترین و کمترین درصد مقاومت ریشه‌چه به ارقام نصرت و بهمن تعلق داشت (جدول ۳).

طبق جدول ۴ بیشترین درصد مقاومت ریشه‌چه به تیمار نانو تیوب کربن با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر و رقم نصرت، کمترین درصد مقاومت ریشه‌چه به تیمار نانو تیوب کربن با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و رقم ماکویی تعلق داشت. لاهیانی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر گیاه جو، مربوط به عنصر نانو تیوب کربن با غلظت ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و کمترین درصد جوانه‌زنی، مربوط به تیمار شاهد بوده است.

[1] Bajji
[2] Gairola
[3] Azimi
[4] Raskar and Laware

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد مقاومت ریشه‌چه، طول گیاهچه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر، وزن خشک گیاهچه ارقام جو تحت تأثیر غلظت نانو ذرات

تیمار	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین زمان جوانه‌زنی	درصد مقاومت ریشه‌چه	شاخص طولی بنیه بذر	شاخص وزنی بنیه بذر	طول گیاهچه	وزن خشک گیاهچه
تیمار نانو	۶	۱۵۴/۲*	۱۲/۱**	۴۳۲/۷**	۴۱۲۹/۵**	۵۴۰۱۳۳**	۲۴۷۷۷۸۶۳**	۴۷/۳ **	۱۹/۱ **
نوع رقم	۲	۲۵۶۶**	۴۷/۸**	۷۳۴/۹**	۳۵۸۲۳/۳**	۱۰۱۴۲/۶^{ns}	۳۷۷۴۰۴۵۲**	۸۹/۱ **	۱۵۳/۴ **
نانو × رقم	۱۲	۴۳/۹^{ns}	۱/۵^{ns}	۱۱۳/۶*	۱۷۳۳/۲**	۱۹۴۹۴۱**	۱۰۴۹۲۸۷۷**	۲۱/۲ **	۷/۴ **
خطا	۶۳	۵۸/۱	۰/۹	۴۹/۹	۸۳/۲	۲۰۲۶۳/۲	۱۵۷۷۶۰۸/۴	۰/۳	۰/۴
ضریب تغییرات (٪)		۸/۶	۱۰/۷	۱۱/۶	۷/۱	۱۰/۲	۱۱/۶	۳/۳	۶/۱

ns عدم معنی‌داری ** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

جدول ۲- مقایسه اثر اصلی تیمار نانو ذرات بر میانگین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی گیاه جو

تیمار (میلی‌گرم بر لیتر)	جوانه‌زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)
(۰) شاهد	۸۵/۰۰b	۶/۶۳ b
Tio_2 (۱۰)	۸۹/۳۳ab	۹/۴۵ a
Tio_2 (۳۰)	۸۸/۶۶ ab	۹/۰۵a
Tio_2 (۶۰)	۸۳/۶۶b	۸/۶۹ a
CNT(۱۰)	۸۹/۶۶ ab	۸/۹۷ a
CNT(۳۰)	۹۱/۶۶a	۹/۴۰ a
CNT(۶۰)	۹۴/۰۰ a	۹/۴۵ a

حروف مشابه در هر ستون عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد بین تیمارها را نشان می‌دهد. Tio_2 (نانو دی‌اکسید تیتانیوم)،CNT (نانو تیوب کربن)

جدول ۳- مقایسه اثر اصلی ارقام مختلف جو بر میانگین درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی گیاه جو

ارقام جو	جوانه‌زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)
رقم بهمن	۹۸/۲۸a	۹/۷۵ a
رقم ماکویی	۸۹/۱۴b	۹/۳۶ a
رقم نصرت	۷۹/۱۴ c	۷/۳۱ b

حروف مشابه در هر ستون عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقایسه اثر متقابل تیمارهای نانو در ارقام جو برای میانگین زمان جوانه‌زنی، درصد مقاومت ریشه‌چه، طول و وزن خشک گیاهچه و بنیه بذر

تیمار نانو (میلی‌گرم بر لیتر)	ارقام جو	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)	مقاومت ریشه‌چه (درصد)	شاخص طولی بنیه بذر	شاخص وزنی بنیه بذر	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم)
	بهمن	۸۴ a	۱۰۰ fg	۱۱۲۷ g	۹۷۹۴ de	۱۱/۵۰ l	۷/۸۷ k
(۰) شاهد	ماکویی	۷۳ b	۱۰۰ fg	۱۳۵۳ d-f	۷۶۶۹f	۱۵/۹۰ gh	۸/۹۷ ij
	نصرت	۶۰/۵۰ c-f	۱۰۰ fg	۸۴۰/۷ h	۷۰۴۹f	۱۱/۶۸ l	۹/۶۱ hi
	بهمن	۵۹/۵۰ c-f	۱۵۸/۹ bc	۱۶۵۲ bc	۱۰۱۸۰ de	۱۶/۸۶ ef	۹/۹۷ h
Tio_2 (۱۰)	ماکویی	۵۵/۷۵ ef	۸۸/۲۴ gh	۱۴۸۱ cd	۱۰۵۶۰ c-e	۱۵/۹۲ gh	۱۰/۱۵ gh
	نصرت	۵۶ ef	۱۶۶/۹ fb	۱۴۵۸ cd	۱۲۳۶۰ b	۱۸/۸۱ c	۱۴/۱۰ b
	بهمن	۶۵ b-e	۱۵۸/۳ bc	۱۵۵۲ cd	۱۱۴۹۰ b-e	۱۵/۸۳gh	۹/۸۰hi
Tio_2 (۳۰)	ماکویی	۵۳/۵۰ f	۸۵/۱۸ hi	۱۳۵۵ d-f	۱۱۵۶۰b-d	۱۵/۵۶ hi	۱۱/۰۵ fg
	نصرت	۵۲/۷۵ f	۱۴۷/۰ cd	۱۳۵۳ d-f	۱۱۵۶۰ b-d	۱۶/۷۲ ef	۱۲/۰۷ de
	بهمن	۵۸/۷۵ d-f	۱۶۲/۳ b	۱۵۴۸ cd	۹۹۶۸ de	۱۵/۹۵gh	۹/۷۷hi
Tio_2 (۶۰)	ماکویی	۵۲/۵۰ f	۹۲/۰۳ gh	۱۴۱۳ de	۱۱۵۱۰b-e	۱۷/۲۲ de	۱۱/۳۵ ef
	نصرت	۵۱/۲۵ f	۱۶۰/۴ b	۱۱۸۰ fg	۱۱۱۳۰ b-e	۱۶/۳۷ fg	۱۲/۸۲ cd
	بهمن	۶۸ b-d	۱۰۹/۸ f	۱۰۵۹ g	۷۷۶۷ f	۱۰/۵۸ m	۶/۲۸ l
CNT(۱۰)	ماکویی	۵۷ ef	۶۴/۲۴ j	۱۰۵۷ g	۹۷۶۹ e	۱۱/۷۵ l	۸/۰۸ jk
	نصرت	۵۸/۵۰ d-f	۱۶۴/۶b f	۱۴۱۴ de	۱۲۱۴۰ bc	۱۷/۹۱ d	۱۳/۰۲ c
	بهمن	۶۷ b-d	۱۳۶/۳ d	۱۲۴۶ e-g	۱۰۱۴۰ de	۱۲/۷۲ k	۷/۹۵ k
CNT(۳۰)	ماکویی	۵۰/۷۵ f	۷۴/۳۲ ij	۱۳۵۵ d-f	۱۰۱۶۰ de	۱۴/۵۶ j	۹/۷۲ hi
	نصرت	۶۴/۲۵ b-e	۱۸۳/۰ a	۱۷۶۲ ab	۱۵۳۰۰ a	۲۰/۹۹ a	۱۴/۹۰ b
	بهمن	۶۴/۷۵ b-e	۱۶۰/۸ b	۱۴۷۱ cd	۱۰۹۷۰ b-e	۱۴/۸۵ ij	۸/۳۰ jk
CNT(۶۰)	ماکویی	۵۷ ef	۱۲۳/۴ e	۱۸۹۱ a	۱۰۸۹۰ b-e	۲۰/۱۱ b	۱۲/۷۷ cd
	نصرت	۶۹ bc	۱۸۷/۰۴a	۱۸۴۹ ab	۱۵۶۶۰ a	۲۰/۷۷ ab	۱۵/۸۵ a

حروف مشابه در هر ستون عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد بین تیمارها را نشان می‌دهد. Tio_2 (نانو دی‌اکسید تیتانیوم)،CNT (نانو تیوب کربن)

تأثیر مثبت نانو تیوب کربن نسبت به شاهد بر بذر گیاه ذرت نشان داده شده است. نانو تیوب کربن در غلظت‌های مختلف (۱۰، ۲۰ و ۴۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد شده است (خوداکووسکایا و همکاران، ۲۰۰۹). نانو دی‌اکسید تیتانیوم نسبت به شاهد، سبب افزایش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی و کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی بذرهای مریم‌گلی شده است (حاتمی[1] و همکاران، ۲۰۱۴). نانو دی‌اکسید تیتانیوم در غلظت ۴۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر سبب افزایش و در غلظت ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر، سبب کاهش درصد جوانه‌زنی گیاه پیاز شد (راسکار و لاوار، ۲۰۱۳). طبق جدول ۴، بیشترین و کمترین شاخص طولی بنیه بذر به ترتیب به تیمار نانو تیوب کربن با غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر و رقم جو پوشینه‌دار ماکویی و تیمار شاهد و رقم جو پوشینه‌دار نصرت تعلق داشت. بیشترین مقدار شاخص وزنی بنیه بذر و وزن خشک گیاهچه به تیمار نانو تیوب کربن با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر و رقم جو پوشینه‌دار نصرت و کمترین بنیه بذر ۲، به تیمار شاهد و ارقام جو پوشینه‌دار نصرت و ماکویی و تیمار نانو تیوب کربن با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و رقم جو پوشینه‌دار بهمن تعلق دارد. بیشترین طول گیاهچه به تیمار نانو تیوب کربن با غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر و رقم جو پوشینه‌دار نصرت و کمترین مقدار طول گیاهچه به تیمار نانو تیوب کربن با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و رقم جو پوشینه‌دار بهمن تعلق

[1] Hatami

دارد (جدول ۴). یانگ و واتس[1] (۲۰۰۵) گزارش کردند اثر نانو TiO_2 در گیاهان مورد آزمایش (تربچه، چچم، کاهو، ذرت و خیار) باعث ایجاد سمیت در گیاه شد و باعث توقف رشد ریشه گردید. همچنین، نانو TiO_2 در غلظت‌های بالای ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاه کلزا نسبت به شاهد گردید (محمودزاده[2] و همکاران، ۲۰۱۳). غلظت‌های مختلف نانو دی‌اکسید سیلیسیم ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، سبب افزایش طول ریشه گیاه برنج شد (ادهیکاری[3] و همکاران، ۲۰۱۳). در آزمایشی، نانو TiO_2 نسبت به شاهد سبب افزایش طول گیاهچه ذرت شده است (بوزه[4] و همکاران، ۲۰۰۷). گزارش شده است که نانو TiO_2 در غلظت ۲۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب موجب بیشترین و کمترین مقدار بنیه بذر گیاه کلزا شده است (محمودزاده و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین عنصر نانو TiO_2، نسبت به تیمار شاهد سبب افزایش بنیه بذر ذرت شده است (بوزه و همکاران، ۲۰۰۷). بیشترین میزان مقاومت ریشه‌چه مربوط به عنصر نانو تیوب کربن با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در گیاه باقلا گزارش شده است (تدین و همکاران، ۱۳۹۲). نانو TiO_2 نسبت به شاهد باعث افزایش بنیه بذر، بذرهای مریم‌گلی (حاتمی و همکاران، ۲۰۱۴) و نیز، نانو TiO_2 نسبت به شاهد سبب افزایش بنیه بذر گندم شده است (محمودزاده و عقیلی[5]، ۲۰۱۴). در آزمایشی، نانو تیوب کربن در غلظت‌های مختلف (۲۰،۱۰ و ۴۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) باعث افزایش وزن گیاهچه گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد شده است (خوداکووسکایا و همکاران، ۲۰۰۹). نانو TiO_2، نسبت به شاهد سبب افزایش وزن گیاهچه ذرت شده است (بوزه و همکاران، ۲۰۰۷). نانو TiO_2 در غلظت‌های ۱۲۰۰ و ۱۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش وزن‌تر گیاهچه گندم شد (محمودزاده و عقیلی، ۲۰۱۴). نانو دی‌اکسید تیتانیوم نسبت به شاهد، سبب افزایش وزن‌تر و خشک گیاهچه پیاز شد (راسکار و لاوار، ۲۰۱۳).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی رقم جو پوشینه‌دار نصرت نسبت به ارقام پوشینه‌دار بهمن و ماکویی در شاخص‌های درصد مقاومت ریشه‌چه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر، طول گیاهچه، وزن‌تر و خشک گیاهچه بهتر می‌باشد. همچنین بهترین تیمار، نانو تیوب کربن با غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر و رقم جو پوشینه‌دار نصرت است.

[1] Yang and Watts
[2] Mahmoodzadeh
[3] Adhikari
[4] Buzea
[5] Mahmoodzadeh,and Aghili

منابع

بارانی دستجردی، م. رفیع الحسینی، م. و دانش شهرکی، ع.ا. ۱۳۹۳. تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی و منگنز بر کیفیت بذر لوبیا قرمز طی آزمون پیری تسریع شده. نشریه تولید گیاهان زراعی، ۷(۲): ۹۶-۷۷.

تاج‌بخش، م. و پورمیرزا، ع.ا. ۱۳۸۲. زراعت غلات. انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه. ۳۱۲ صفحه.

تدین، م.ر. فلاح، س.ا. فدایی تهرانی، ع.ا. و نوروزی، س. ۱۳۹۲. اثرات نانو تیوب کربن چند جداره و نانو نقره بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیک گیاه باقلا. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۲(۳): ۱۸۲-۱۶۹.

عبدالرحمنی، ب. قاسمی گلعذانی، ک. ولی‌زاده، م. فیضی اصل، و. توکلی، ع. ۱۳۸۸. اثر پرایمینگ بذر بر قدرت رویش و عملکرد دانه جو رقم آبیدر در شرایط دیم. مجله علوم زراعی ایران، ۱۱(۴): ۳۵۲-۳۳۷.

مصطفوی، خ. و حیدریان، ع.ر. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر شوری بر جوانه‌زنی و شاخص‌های آن در چهار رقم گیاه آفتابگردان. مجله زراعت و اصلاح نباتات، ۸(۴): ۱۳۱-۱۲۳.

Abdel-Goad, M., and Potschke, P. 2005. Phenological characterization of melt processed poly carbonate multi walled carbon nanotube composite. Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics,128(1): 2-6.

Adhikari, T. Kundu, S., and Subba Rao, A. 2013. Impact of SiO_2 and Mo Nano particles on seed germination of rice (*Oryza sativa* L.). International Journal of Agriculture and Food Science Technology, 4: 809-816.

Akar, T. Avci, M., and Dusunceli, F. 2004. Barley: Post-harvest operations. The Central Research Institute for Field Crops, Ankara, Turkey.

Azimi, R. Jankju Borzelabad, M. Feizi, H., and Azimi, A. 2014. Interaction of SiO_2 nanoparticles with seed prechilling on germination and early seedling growth of tall wheatgrass *Agropyron elongatum*. Polish Journal of Chemical Technology, 16(3): 25-29.

Bajji, M. Kinet, J.M., and Lutts, S. 2002. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* Chenopodiaceae. Canadian Journal of Botany, 80(3): 297-304.

Buzea, C. Pacheco Blandino, I., and Robbie, K. 2007. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. Biointerphases, 2(4): 17-71.

Gairola, K.C. Nautiyal, A.R., and Dwivedi, A.K. 2011. Effect of temperatures and germination media on seed germination of *Jatropha curcas* L. Advances in Bioresearch, 2(2): 66-71.

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 Biological and Environmental Science, 8(22): 53-59.

ISTA. 1999. International rules for seed testing. seed science and technology, 27, Supplement.

Jaberzadeh, A. Moaveni, P. Tohidi Moghadamh, R., and Zahedi, H. 2013. Influence of bulk and nanoparticles titanium foliar application on some agronomic traits, seed gluten and starch contents of wheat subjected to water deficit stress. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 41(1): 201-207.

Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z., Watanabe, F., and Biris, A.S. 2009. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramtically affect seed germination and plant growth. American Chemical Society, 3(10): 3221-3227.

Lahiani, M.H. Dervishi, E., Chen, J., Nima, Z., Gaume, A., Biris, A.S., and Khodakovskaya, M.V. 2013. Impact of carbon nanotube exposure to seeds of valuable crops. ACS Applied Materials Interfaces, 5(16): 7965-7973.

Ma, X., Geiser-Lee, J., Deng, Y., and Kolmakov, A. 2010. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: phytotoxicity, uptake and accumulation. Science of the Total Environment, 408(16): 3053-3061.

Mahajan P., Dhoke S.K., and Khanna A.S. 2011. Effect of Nano-ZnO particle suspension on growth of mung (*Vigna radiate*) and gram (*Cicer arietinum*) seedlings using plant agar method. Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanotechnology, 1-7.

Mahmoodzadeh, H., Nabavi, M., and Kashefi, H. 2013. Effect of nanoscale titanium dioxide particles on the germination and growth of canola (*Brassica napus*). Journal of Ornamental and Horticultural Plants, 3(1): 25-32.

Mahmoodzadeh, H., and Aghili, R. 2014. Effect on germination and early growth characteristics in wheat plants (*Triticum aestivum* L.) seeds exposed to TiO_2 nanoparticles. Journal of Chemical Health Risks, 4(1): 29-36.

Monica, R.C., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants, Caryologia, 62(2): 161-165.

Raskar, S.V., and Laware, S.L. 2013. Effect of titanium dioxide nano particles on seed germination and germination indicws in onion. Plant Sciences Feed, 3(7): 103-107.

Siddiqui, M.H., Al-Whaibi, M.H., Firoz, M., and Al-Khaishany, M.Y. 2015. Role of nanoparticles in plants. In nanotechnology and plant sciences. Springer International Publishing, 19-35.

Weiss, J., Takhistov, P., and McClements, D.J. 2006. Functional materials in food nanotechnology. Journal of Food Science, 71(9): 107-116.

Wenchao, Du., Yuanyuan, S., Rong, Ji., Jianguo, Zhu., Jichum, Wu., and Hongyan, Guo. 2010. TiO_2 and ZnO nanoparticles negatively affect wheat growth and soil enzyme activities in agricultural soil. Journal of Environmental Monitoring, 13(4): 822-828.

Yang, L., and Watts, D.J. 2005. Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles. Toxicology Letters, 158(2): 122-132.

Iranian Journal of Seed Research, Vol: 3(2), 2017

Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles and Carbon Nanotube on Seed Germination Characteristics of Some *Hordeum vulgare* Hulled Varieties

Mahmoud Reza Tadayon [1, *], Mohammad Rahimi [2]

[1] *Associate Professor of Seed Science and Technology of Shahrekord University, Shahrekord, Iran*
[2] *M.Sc. Student of Seed Science and Technology of Shahrekord University, Shahrekord, Iran*
[*]Corresponding author, E-mail adders: tadayyon-m@agr.sku.ac.ir

(Received: 05.11.2015 ; Accepted: 14.06.2016)

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the effect of Nano TiO_2 and Nano CNT on some germination indices and growth parameters of some hulled barley cultivars. The experiment was conducted in a laboratory at Shahrekord University during 2014. The study was a factorial, adopting a completely randomized design with four replications. Treatments consisted of titanium dioxide nanoparticles and carbon nanotube (CNT) in four concentrations (0, 10, 30 and 60 $mg.l^{-1}$) which were applied to seeds of hulled barley cultivars such as Bahman, Makoii and Nosrat. The traits measured were dry weight of seedling and seedling length, germination percentage, germination rate, mean germination time, the percentage of resistance of radical, seedling vigor length and weight index. The results showed that carbon nanotubes treatments with 60 $mg.l^{-1}$ had a significant impact on germination percentage, germination rate, seedling vigor length and weight index and seedling dry weight, as compared with other treatments. In this experiment, the highest percentages of resistance of radicle, seedling vigor weight index and seedling dry weight of Nosrat Cultivar were obtained under 60 $mg.l^{-1}$ carbon nanotube treatment, which were 70, 122.2 and 64.9%, respectively, as compared with control treatment. In addition, 60 $mg.l^{-1}$ carbon nanotube treatment increased the seedling vigor of Makoii cultivar by 39.8%, as compared with the control treatment. The findings were that in terms of seedling vigor length and weight index, seedling length, seedling dry weight and the percentage of resistance of radical, the Nosrat Cultivar showed better morphological characteristics than Bahman and Makoii cultivars, under laboratory conditions.

Keywords: Seedling vigor, Nosrat cultivar, Bahman cultivar, Seedling fresh weight, Seedling dry weight