Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸
۵۵۵-۵۶۶
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.788.1287

اثر نانو ذرات نقره بر تحمل به تنش خشکی دو گونه آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak) و باغی (*Thymus vulgaris* L.) در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه

منصوره قوام

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان.

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۱۲

چکیده

در سراسر دنیا یکی از مهم‌ترین عوامل غیرزیستی و محدودکننده جوانه‌زنی و همچنین رشد اولیه گیاهچه‌ها، تنش خشکی است. جوانه‌زنی به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی به‌خصوص رطوبت قرار می‌گیرد. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات نانو ذرات نقره بر شاخص‌های جوانه‌زنی دو گونه آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak) و آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل (گونه و نانو ذرات نقره و سطوح خشکی) در ۴ تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای خشکی در چهار سطح (۰، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال) و تیمارهای نانو ذرات نقره با چهار غلظت (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد برهمکنش گونه، تنش خشکی و نانو ذرات بر سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بالاترین درصد جوانه‌زنی در هر دو گونه در تیمار شاهد بود و با افزایش تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر در هر دو گونه کاهش یافت. آویشن دنایی نسبت به گونه آویشن باغی از سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار بود. ازنظر طول ریشه‌چه، گیاهچه‌های آویشن باغی در مقایسه با آویشن دنایی طول ریشه‌چه بیشتری در سطح خشکی کم داشتند. از سوی دیگر کاربرد نانو ذرات نقره در شرایط عدم تنش خشکی در آویشن باغی موجب روند افزایشی طول ریشه‌چه شد؛ لیکن در گونه آویشن دنایی این روند مشاهده نشد. به‌طورکلی نانو ذرات نقره بر تمام صفات به‌استثناء طول ساقه‌چه، فقط تا سطح خشکی ۰/۳- مگاپاسکال تأثیر بهبوددهندگی گذاشت و تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آن بهترین نتیجه را دربر داشت.

واژه‌های کلیدی: **بذر، بنیه، سرعت جوانه‌زنی، نعناعیان.**

مقدمه

خشکی یک رویداد هواشناختی است که به دلیل عدم وقوع بارندگی در یک دوره زمانی اتفاق می‌افتد. با وقوع تنش خشکی، آب قابل‌دسترس خاک کاهش‌یافته ولی هدر رفت آن از طریق تبخیر و تعرق به‌طور مداوم افزایش می‌یابد (Jaleel, et al., 2009). در سراسر دنیا یکی از مهم‌ترین عوامل غیرزیستی و محدودکننده جوانه‌زنی و همچنین رشد اولیه گیاهچه‌ها، تنش خشکی است (Kaya et al., 2006). خشکی می‌توانند در کاهش سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه-زنی تأثیرگذار باشند و ناکافی بودن رطوبت لازم جهت جوانه-زنی در لایه‌های سطحی خاک و به دنبال آن تنش خشکی در مرحله گیاهچه یکی از عوامل مهم در عدم استقرار مطلوب گیاهچه در مناطق خشک است (Paulsen et al., 1987).

یکی از عوامل مهم در زراعت، به‌کارگیری روش‌هایی است که از طریق آن درصد جوانه‌زنی بذر و به طبع آن رشد گیاه افزایش می‌یابد. این امر موجب افزایش تولید محصولات کشاورزی خواهد شد. نانو ذرات از ده‌ها یا صدها اتم یا مولکول با اندازه‌های متفاوت بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر (Yin et al., 2011) و با شکل ظاهری مختلف (آمورف، کریستالی، کروی و سوزنی) ساخته می‌شوند و از زمان‌های بسیار دور به کار می‌رفته‌اند. در بین انواع مختلف نانو ذرات، نانوذرات نقره از

* نگارنده پاسخگو: منصوره قوام. پست الکترونیک: mghavam@kashanu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

فواید گسترده‌ی در زمینه‌های نانو فناوری، زیست نانو فناوری و پزشکی برخوردار هستند (Jagtap and Bapat, 2012). نکته کلیدی در افزایش جوانه‌زنی، نفوذ نانوذرات به درون بذر است که بر اساس گزارش‌های موجود، در این حالت میزان جذب آب توسط بذر افزایش می‌یابد (Khoshkalam et al., 2015).

یکی از بزرگ‌ترین خانواده‌های گیاهی، نعناعیان است که تنوع زیستی زیادی در سراسر جهان و مخصوصاً نواحی مدیترانه‌ای و مرطوب دارد. گیاهان متعلق به این خانواده اهمیت زیادی ازلحاظ کاربرد در صنایع آرایشی- بهداشتی، غذایی و دارویی دارند (Zargari, 2014). دو گونه ارزشمند دارویی از این خانواده آویشن باغی و آویشن دنایی است. آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak) گیاهی خشبی، کوتاه‌قد، بالشتکی، به ارتفاع ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر است (Jamzad, 2009) که اثرات ضد قارچ، ضد انگل و ضد باکتری و همچنین درمانی آن برای درمان آسم، سرفه‌های خشک مکرر و برونشیت به اثبات رسیده است (Nikavar and Mojab, 2004). گونه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) ساختار بوته‌ای دارد و دارای ساقه مستقیم و علفی یا چوبی و پرشاخه به ارتفاع ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و در بعضی موارد تا ۴۵ سانتی‌متر است. ساقه‌های منشعب این گیاه پوشیده از کرک‌های سفیدرنگ است (Burnie, 1995). این گیاه (به‌صورت تازه یا خشک) در طب سنتی به‌عنوان آرام بخش، محرک جنسی و خلط‌آور که به شکل تنتور یا دم‌کرده مصرف می‌شود و همچنین در استخر و حمام‌ها برای کمک به مشکلات رماتیسمی و پوستی، کوفتگی، پیچش یک مفصل همراه با پارگی جزئی بعضی از رباط‌های آن استفاده می‌شود (Leung and Foster, 1996).

در پژوهش‌هایی اثر تنش خشکی بر گونه‌های آویشن و نیز اثر نانو ذرات بر جوانه‌زنی در شرایط تنش مطالعه شده است. آل ابراهیم و همکاران (Alebrahim et al., 2004)، در بررسی تنش شوری و خشکی بر گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) نشان دادند خشکی به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش جوانه‌زنی آن شد؛ ولی شوری تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نداشت. لیکن طول ساقه‌چه و ریشه‌چه با افزایش سطوح خشکی و شوری کاهش یافتند. فاتح و علی‌محمدی (Fath and Alimohammadi, 2011)، در بررسی تنش خشکی بر روی جوانه‌زنی آویشن باغی دریافتند تنش خشکی به‌طور معنی‌داری درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و بنیه یا انرژی رویشی بذر را کاهش داد. همچنین طول ساقه‌چه و ریشه‌چه با افزایش سطوح مختلف تنش خشکی کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند. بحرینی‌نژاد (Bahrininejad, 2012) در ارزیابی اثرات تنش آبی بر خصوصیات رشد و کیفیت شش ژنوتیپ متعلق به چهار گونه آویشن از جنس *Thymus* دریافت درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در اثر کاهش پتانسیل آب در تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش یافت. به‌طوری‌که در پتانسیل‌های منفی‌تر از ۰/۳- مگاپاسکال بذرهای هیچ‌یک از ژنوتیپ‌ها قادر به جوانه‌زنی نبودند. رمضانی و همکاران (Ramezani et al., 2014)، در بررسی اثر نانوذرات نقره، روی، نیکل، روی- مس بر جوانه‌زنی، استقرار و فعالیت آنزیمی بذر گیاه یونجه (*Medicago sativa*) نشان دادند که تیمارهای نانو ذرات در مقایسه با شاهد تأثیر معناداری بر سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه داشتند. بیشترین کاهش در سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه به ترتیب در تیمار ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر روی- مس و نقره مشاهده شد. حجت (Hojjat, 2016) در مطالعه اثر نانوذره نقره بر روی جوانه‌زنی عدس (*Lens culinaris* Medikus) در شرایط تنش خشکی نشان داد که تیمارهای نانو ذرات نقره، باعث افزایش جوانه‌زنی در تمام سطوح خشکی شد و بیشترین درصد جوانه‌زنی در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر آن مشاهده شد. رازاک و همکاران (Razzaq et al., 2016)، اثر نانو ذرات نقره را بر جوانه‌زنی گندم موردبررسی قرار دادند. یافته‌ها نشان داد استفاده از نانو ذرات نقره یا بر روی جوانه‌زنی تأثیری نداشت و یا اینکه باعث کاهش شاخص جوانه‌زنی شد. لیکن ریشه‌ها به‌طور مشخصی در تیمارهای ۲۵ و ۵۰ پی‌پی‌ام در مقایسه با شاهد افزایش نشان دادند.

با توجه به اهمیت و نقش گیاهان دارویی در صنایع مختلف و همچنین کمبود منابع آب و فراوانی مناطق خشک در کشور، لازم است با اعمال تکنیک‌هایی روی بذر این گیاهان، مدیریت صحیحی در تولید و پرورش این گونه‌های ارزشمند و افزایش عملکرد آن‌ها بکار گرفته شود. پژوهش حاضر با هدف بررسی و کاربرد ذرات نانو نقره در افزایش یا بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی دو گونه مهم از جنس *Thymus* انجام پذیرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

بذرهای گونه‌های گیاهی جنس *Thymus* شامل آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak) و آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. این مطالعه در سال ۱۳۹۵ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل در ۴ تکرار در دانشگاه کاشان به اجرا در آمد. ابتدا بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت سه دقیقه به‌طور سطحی ضدعفونی و سپس با آب مقطر سه بار شستشو شدند. سپس با قرار دادن بذور در مجاورت هوای خشک به مدت ۲ ساعت رطوبت اولیه بذرها به حالت طبیعی درآمد. همچنین ظروف پتری‌دیش پس از شستشو و ۳۰ دقیقه قرار گرفتن در محلول هیپوکلریت سدیم و شستشوی مجدد با آب مقطر، به مدت ۲ ساعت همراه با کاغذهای صافی در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

محلول نانو ذرات نقره با غلظت ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام و اندازه ذرات ۲۰ نانومتر، ساخت شرکت آمریکایی US Research Nanomaterials، از شرکت پیشگامان نانو مواد ایراویان خریداری شد. سپس با رقیق کردن محلول با آب مقطر، تیمارهای آزمایش با غلظت‌های ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر ساخته شد (Aghajantabarali et al., 2014; Hojjat, 2016).

سطوح مختلف خشکی شامل (۰، ۰/۳-، ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال) بودند. در این آزمایش برای شبیه‌سازی تنش خشکی از پلی‌اتیلن گلیکول استفاده و مقدار لازم از این ماده جهت ایجاد هر یک از سطوح تنش با استفاده از فرمول میشل و کافمن (Michel and Kaufman, 1983 & 1973) برآورد شد.

$$\varphi s = -(1.18 \times 10^{-2})\, C - (1.18 \times 10^{-4})\, C^2 + (2.67 \times 10^{-4})\, CT + (8.39 \times 10^{-7})\, C^2T \qquad [۱]$$

که در آن C: میزان PEG لازم برحسب گرم در کیلوگرم آب، T: دمای محیط (۲۰ درجه سانتی‌گراد)، و φs: فشار اسمزی برحسب مگاپاسکال هستند. برای ایجاد سطح تنش صفر (تیمار شاهد) از آب مقطر استفاده شد.

از هر دو رقم آویشن (باغی یا دنایی) درون هر پتری‌دیش ۲۰ عدد از بذور هر گونه گیاهی بر روی کاغذ صافی قرار گرفت و سه میلی‌لیتر از محلول‌های خشکی و دو میلی‌لیتر از محلول نانو ذرات نقره سنتز شده اضافه گردید (Aghajantabarali et al., 2014)؛ به‌گونه‌ای که بذور قادر به رشد بوده و در محلول‌ها غوطه‌ور نباشند. به‌منظور جلوگیری از تبخیر آب از پتری‌دیش‌ها، هر یک از آن‌ها داخل کیسه پلاستیکی کوچکی قرار داده شد. دما در محیط آزمایش ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. شمارش بذور جوانه‌زده به‌صورت روزانه و در ساعت معینی از روز انجام گرفت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه از بذر به‌اندازه دو میلی‌متر بود (Hardegree and Van Vactor, 2000). شمارش تا زمانی ادامه یافت که افزایشی در تعداد بذور جوانه‌زده مشاهده نشد و این حالت به مدت سه روز متوالی ثابت ماند. در آخرین روز شمارش کلیه گیاهچه‌های درون هر ظرف پتری جهت اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه خارج شدند و ۵ عدد به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. در اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌های جوانه‌زده هر تیمار، از خط‌کش میلی‌متری استفاده شد. برای این منظور ابتدا گیاهچه بر روی سطح صافی قرار داده شد و خمیدگی ریشه‌چه و ساقه‌چه باز شده و طول ریشه‌چه از انتهای آن تا محل اتصال به بذر و طول ساقه‌چه از محل اتصال به برگ‌های لپه‌ای تا محل خارج شدن از بذر محاسبه گردید. داده‌های حاصل از شمارش بذور جوانه‌زده در آخرین روز شمارش و نیز اندازه‌گیری طول ساقه‌چه و ریشه‌چه برای محاسبه شاخص‌های زیر مورداستفاده واقع شدند:

$$GP = ni/N \times 100 \qquad [۲]$$

محاسبه درصد جوانه‌زنی (GP) با استفاده از رابطه (۲) انجام شد (Parveen and Rao, 2014) که در آن GP: درصد جوانه‌زنی، N: تعداد کل بذرها، و ni: بذر جوانه‌زده در روز آخر شمارش هستند.

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی (GR) رابطه زیر استفاده شد (Panwar and Bhardwaj, 2005).

$$GR = \sum ni/t \qquad [۳]$$

که در آن GR: سرعت جوانه‌زنی، ni: تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز، و t: تعداد روزهای سپری‌شده از شروع آزمایش است

برای محاسبه شاخص بنیه بذر (Vi) از رابطه (۴) استفاده شد (Vashisth and Nagarajan, 2010).

$$Vi = GP \times (rl + sl) \qquad [۴]$$

که در آن Vi: بنیه بذر، rl: طول ریشه‌چه برحسب میلی‌متر، و sl: طول ساقه‌چه برحسب میلی‌متر هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

آنالیز آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS (ver.9) انجام شد. ابتدا نرمال بودن تمام داده‌های حاصل از صفات مختلف جوانه‌زنی، شامل: درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و بنیه بذر با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف موردبررسی قرار گرفت. سپس تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام شدند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش خشکی برای تمام شاخص‌های جوانه‌زنی؛ اثر ساده گونه برای صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت و طول ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد و طول ساقه‌چه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین نانو ذرات نقره بر درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد و شاخص بنیه بذر در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌دار داشت. اثرات متقابل گونه × تنش خشکی بر تمام صفات غیر از طول ساقه‌چه و همچنین اثرات متقابل تنش خشکی × نانو ذرات نقره بر تمام شاخص‌های اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل گونه × نانو ذرات نقره فقط برای طول ریشه‌چه و نیز اثر برهمکنش گونه، تنش خشکی و نانو ذرات نیز برای سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

درصد جوانه‌زنی

مقایسه میانگین اثر گونه و تیمارهای مختلف خشکی بر درصد جوانه‌زنی نشان داد که بالاترین درصد جوانه‌زنی در هر دو گونه آویشن باغی (۵۸ درصد) و آویشن دنایی (۹۷/۷۵ درصد) در تیمار شاهد مشاهده شد. این صفت در آویشن باغی در سطح خشکی ۰/۶- مگاپاسکال عملکرد بهتری نسبت به گونه دیگر داشت و با سطح خشکی ۰/۳- مگاپاسکال برابر بود. لیکن در گونه آویشن دنایی در سطح خشکی ۰/۶- به کمترین مقدار خود رسید و پس‌ازآن ثابت بود (جدول ۲).

از سوی دیگر مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو ذرات بر درصد جوانه‌زنی نشان داد که نانو ذرات نقره باعث روند افزایشی درصد جوانه‌زنی در سطح خشکی ۰/۳- مگاپاسکال نسبت به شرایط شاهد (عدم وجود نانو ذرات نقره) شد؛ به‌گونه‌ای که در غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره، درصد جوانه‌زنی به ۶۲/۵ درصد رسید. کمترین درصد جوانه‌زنی، در تیمارهای خشکی ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال مشاهده شد و سطوح مختلف نانو ذرات نقره باعث افزایش آن شدند و به ترتیب تیمار ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره در سطوح خشکی ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال باعث افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی شدند (جدول ۳).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر نانوذرات بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های دو گونه آویشن باغی و دنایی در شرایط تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance of nanoparticle effects on germination and seedling growth indices of two species of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak under drought stress condition

			میانگین مربعات (MS)				
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Plumule length	شاخص بنیه بذر Seed vigor
Species (A)	گونه	1	6568.062**	475.65**	64.96**	140.71*	7.773^{ns}
Drought stress (B)	تنش خشکی	3	1398.364**	990.3**	234.5**	1399.51**	1606.18**
Silver nanoparticle (C)	نانو ذرات نقره	3	3632.30**	8.04^{ns}	45.18**	65.01^{ns}	15.05*
(A×B)	گونه ×تنش خشکی	3	2306.148**	228.34**	17.54**	78.8^{ns}	53.51**
(A×C)	گونه × نانو	3	48.48^{ns}	7.51^{ns}	9.8*	64.58^{ns}	8.11^{ns}
(B×C)	تنش خشکی × نانو	9	1256.76*	39.87**	11.84**	42.99**	26.55**
(A×B×C)	گونه× تنش خشکی × نانو	9	522.323^{ns}	17.71*	5.4^{ns}	81.22*	8.54^{ns}
Error	خطا	95	186.962	8.75	3.83	45.54	5.78

**، * و ns: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی‌دار

**, * and ns: are significant at P ≤ %1 and P ≤ %5 and no significant, respectively

www.SID.ir

Archive of SID

طول ریشه‌چه

خشکی در هر دو گونه باعث کاهش طول ریشه‌چه شد. یافته-های حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل گونه × تنش خشکی بر طول ریشه‌چه نشان داد که در گونه آویشن باغی بالاترین طول ریشه‌چه ازنظر آماری مربوط به تیمار شاهد (آب مقطر) با ۸/۶۶ میلی‌متر و ۰/۳- خشکی با ۵/۳۶ میلی‌متر و در گونه آویشن دنایی مربوط به تیمار شاهد (۶/۳۱ میلی‌متر) بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل گونه × نانوذرات بر این صفت حاکی از آن است که افزایش غلظت نانو ذرات در گونه آویشن باغی، باعث افزایش طول ریشه‌چه شده و در تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات، به بالاترین مقدار ۹/۸۸ میلی‌متر رسیده است. از سوی دیگر در آویشن دنایی هیچ تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد و تیمارهای مختلف نانو ذرات مشاهده نشد و به لحاظ آماری برابر با طول ریشه‌چه آویشن باغی در تیمار آب مقطر (شاهد) بودند (شکل ۱).

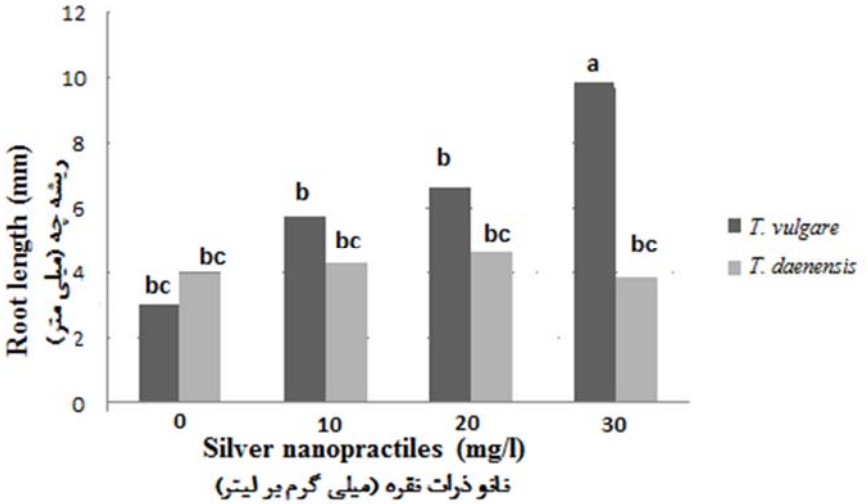
جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه × تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر گونه‌های آویشن باغی و دنایی در شرایط تنش خشکی

Table 2. Comparison of the average interaction effect of species × drought stress on germination percentage and radicle length and seed vigor index of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak in drought stress condition.

گونه **Species**	تنش خشکی (مگاپاسکال) **Drought stress** (Mpa)	شاخص بنیه بذر **Sseed vigor**	طول ریشه‌چه **Radicle length** (mm)	درصد جوانه‌زنی **Germination percentage** (%)
آویشن باغی *T. vulgare*	**0**	13.91a	8.66a	58a
	-0.3	5.6b	5.36a	4.99b
	-0.6	0.86c	1.09b	1.36b
	-0.9	0.742c	1.58b	0.65c
آویشن دنایی *T. daenensis*	**0**	17.73a	6.31a	97.75a
	-0.3	3.1b	2.33b	2.48b
	-0.6	1.3c	2.08b	1.3c
	-0.9	0.96c	1.25b	1.19c

حروف مختلف در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد است

The different letters in each column indicate a significant difference based on the Duncan's multiple range test at the 5% level



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه × نانوذرات بر طول ریشه‌چه گونه‌های آویشن باغی و آویشن دنایی

Fig 1. Comparison of the interactions between species × nanoparticles on radicle length of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو ذرات بر طول ریشه‌چه نشان داد حضور نانو ذرات باعث افزایش این صفت شد. در سطح خشکی ۰/۳- مگاپاسکال بین غلظت‌های مختلف نانو تفاوت آماری مشاهده نشد؛ لیکن در سطح خشکی ۰/۶- مگاپاسکال تیمارهای ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و در سطح خشکی ۰/۹- مگاپاسکال تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو از طول ریشه‌چه بالاتری و عملکرد بهتری برخوردار بودند. کمترین طول ریشه‌چه در تیمارهای شاهد خشکی ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو ذرات بر درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر گونه‌های آویشن باغی و آویشن دنایی در شرایط تنش خشکی

Table 3. Comparison of mean interactions of drought stress × nanoparticles on germination percentage, radicle length and seed vigor index of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak in drought stress condition

تنش خشکی (مگاپاسکال) **Drought stress** (Mpa)	نانو ذرات نقره (میلی‌گرم بر لیتر) **Silver nanoparticle** (mg/l)	درصد جوانه‌زنی **Germination percentage** (%)	طول ریشه‌چه **Radicle length** (mm)	شاخص بنیه بذر **Seed vigor**
0	**0**	81.5^{a}	8^{a}	17.52^{a}
	10	74.5^{abc}	8.73^{a}	15.13^{ab}
	20	81^{a}	8.3^{a}	16.78^{a}
	30	77^{ab}	4.92^{b}	13.86^{b}
-0.3	**0**	5^{d}	1^{c}	0.12^{d}
	10	59.5^{bc}	4.93^{b}	5.67^{c}
	20	57^{c}	4.87^{b}	5.01^{c}
	30	62.5^{abc}	4.6^{b}	6.62^{c}
-0.6	**0**	0.0^{d}	0.0^{d}	0.0^{d}
	10	23.5^{d}	3.35^{bc}	1.02^{d}
	20	19d^{e}	3.35^{bc}	1.89^{d}
	30	19.5^{de}	1.68^{cd}	1.42^{d}
-0.9	**0**	0.0^{d}	0.0^{d}	0.25^{d}
	10	13.9^{de}	2.313^{bcd}	0.619^{d}
	20	11^{d}	1.68^{cd}	0.525^{d}
	30	16.5^{de}	1.7^{cd}	0.936^{d}

حروف مختلف در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد است

The different letters in each column indicate a significant difference based on the Duncan's multiple range test at the 5% level

سرعت جوانه‌زنی

ازنظر آماری بالاترین سرعت جوانه‌زنی در گونه آویشن دنایی در تیمارهای مختلف شاهد مشاهده شد. در این گونه در سطح خشکی ۰/۳- و ۰/۶- مگاپاسکال تیمارهای نانو ذرات باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد؛ به‌گونه‌ای که در سطح خشکی ۰/۳- مگاپاسکال بین غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره ازنظر سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. لیکن در شرایط خشکی ۰/۶- مگاپاسکال، غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره بهترین بازده را داشت (جدول ۴).

در گونه آویشن باغی، در سطح خشکی ۰/۳- مگاپاسکال، حضور نانو ذرات نقره باعث افزاش سرعت جوانه‌زنی و نسبت به شرایط خشکی شد به‌گونه‌ای که با تیمارهای مختلف شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت؛ لیکن بین غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره تفاوت آماری مشاهده نشد. گفتنی است سرعت جوانه‌زنی در هر دو گونه در ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال خشکی، پایین‌ترین مقدار بود (جدول ۴).

طول ساقه‌چه

مقایسه میانگین اثر متقابل گونه × تنش خشکی × نانو ذرات بر طول ساقه‌چه بیانگر آن است که بالاترین طول ساقه‌چه (۳۳ میلی‌متر) در گیاه آویشن باغی و در تیمار بدون خشکی و کاربرد ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره مشاهده شد. در شرایط شاهد و بدون حضور خشکی در گونه آویشن باغی تا

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر حضور نانو ذرات نقره اثری بر طول ساقه‌چه نداشت. اما با افزایش غلظت نانو ذرات به ۳۰ میلی‌گرم در لیتر طول ساقه‌چه افزایش چشم‌گیری داشت. از سوی دیگر در گونه آویشن دنایی تفاوت آماری بین نانو ذرات نقره و شاهد وجود نداشت. در گونه آویشن باغی در تمام سطوح خشکی ساقه‌چه هیچ رشدی نداشت. با افزودن نانو ذرات نقره به تیمار ۰/۳- مگاپاسکال باعث افزایش طول ساقه‌چه در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره شد. در سطوح خشکی بالاتر اگرچه در برخی غلظت‌ها رشد ناچیزی مشاهده شد لیکن تفاوت آن‌ها ازنظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۵).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه × تنش خشکی × نانو ذرات بر سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه دو گونه آویشن باغی و دنایی

Table 4. Comparison of the average interaction effect of species × drought stress × nanoparticles on germination rate and plumule length of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak

گونه Species	تنش خشکی (مگاپاسکال) Drought stress (Mpa)	نانو ذرات نقره (میلی‌گرم بر لیتر) Silver nanoparticle (mg/l)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ساقه‌چه Plumule length (mm)
آویشن باغی *T. vulgare*	0	0	6.86^{a-e}	12.15^{bc}
	0	10	6.802 $^{a-k}$	13.6^{bc}
	0	20	9.83^{a-k}	14.15^{bc}
	0	30	7.725^{c-k}	33^{a}
	-0.3	0	0.207^{f-k}	0.0^{def}
	-0.3	10	9.23^{a-k}	7.47^{d}
	-0.3	20	5.69^{f-k}	7.5^{d}
	-0.3	30	7.79^{f-k}	0.5^{def}
	-0.6	0	0.0^{k}	0.0^{def}
	-0.6	10	2.99^{g-k}	0.0^{def}
	-0.6	20	4.2^{g-k}	4.93^{de}
	-0.6	30	0.16^{g-k}	0.5^{def}
	-0.9	0	0.0^{k}	0.0^{def}
	-0.9	10	2.68^{h-k}	1.6^{def}
	-0.9	20	1.25^{h-k}	0.0^{def}
	-0.9	30	2.038^{ijk}	1de^{f}
آویشن دنایی *T. daenensis*	0	0	22.375^{a}	14.9^{b}
	0	10	18.680^{a-c}	11.4^{bc}
	0	20	16.647^{a-c}	11.8^{bc}
	0	30	20.177^{a}	9.15^{bc}
	-0.3	0	0.665^{c-k}	0.5^{def}
	-0.3	10	12.13^{a-e}	3.05^{de}
	-0.3	20	11.52^{a-f}	3.1^{de}
	-0.3	30	10.02^{a-k}	3.25^{de}
	-0.6	0	0.0^{k}	0.0^{def}
	-0.6	10	3.58^{d-k}	2.05^{de}
	-0.6	20	2.913^{f-k}	1.05^{def}
	-0.6	30	6.58^{f-k}	2.1^{de}
	-0.9	0	0.0^{k}	0.0^{def}
	-0.9	10	.079^{jk}	2.1^{de}
	-0.9	20	1.54^{k}	1.3^{def}
	-0.9	30	1.85^{jk}	1.375^{def}

حروف مختلف در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد است

The different letters in each column indicate a significant difference based on the Duncan's multiple range test at the 5% level

www.SID.ir

Archive of SID

در گونه آویشن دنایی، بالاترین طول ساقه‌چه در تیمارهای مختلف شاهد (حضور و عدم حضور نانو ذرات نقره) مشاهده شد. در این گیاه به‌جز رشد اندکی در خشکی ۰/۳- مگاپاسکال در سایر سطوح خشکی، ساقه‌چه هیچ رشدی نداشت. در این گونه هم با افزایش نانو ذرات به تیمار ۰/۳- مگاپاسکال افزایش طول ساقه‌چه مشاهده شد ولی بین غلظت‌های مختلف نانو ذرات تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در سطوح خشکی بالاتر در برخی غلظت‌ها رشد ناچیزی مشاهده شد لیکن تفاوت آن‌ها ازنظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴).

شاخص بنیه بذر

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل گونه × تنش خشکی بر شاخص بنیه بذر بیانگر آن است که بالاترین شاخص بنیه بذر در هر دو گونه آویشن باغی (۱۳/۹۱) و آویشن دنایی (۱۷/۷۳) در تیمار شاهد است و با افزایش خشکی در هر دو گونه تا سطح خشکی ۰/۶- مگاپاسکال کاهش معنی‌دار یافت و پس‌ازآن تغییر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲).

بر اساس یافته‌های مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی × نانو ذرات می‌توان دریافت که بین شاخص بنیه بذر در تیمار شاهد (آب مقطر) و غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت؛ لیکن در غلظت ۱۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر در این صفت کاهش مشاهده شد. نانو ذرات نقره در سطح ۰/۳- مگاپاسکال تنش خشکی، باعث افزایش شاخص بنیه بذر شد؛ لیکن این صفت در سطوح مختلف نانو ذرات نقره به لحاظ آماری تفاوتی با هم نداشتند. پایین‌ترین شاخص بنیه بذر در سطوح خشکی ۰/۶- و ۰/۹- رخ داد و سطوح مختلف نانو هم در این صفت تأثیری نداشتند (جدول ۴).

بحث

درصد جوانه‌زنی

یافته‌ها نشان داد با افزایش خشکی، درصد جوانه‌زنی در گونه‌های موردمطالعه کاهش یافت. این روند کاهشی با نتایج فاتح و علیمحمدی (Fath and Alimohammadi, 2011)، بحرینی نژاد (Bahrininejad, 2012) و آل‌ابراهیم (Alebrahim et al., 2004) مطابقت دارد. برخی پژوهش‌گران واکنش متفاوت گیاهان نسبت به تنش خشکی را به عوامل مختلفی ازجمله جذب آب کم‌تر توسط بذر نسبت داده‌اند (De and Kar, 1994). پس کاهش جذب آب توسط بذر، در اثر تنش خشکی می‌تواند یکی از فاکتورهای مهم باشد که منجر به کاهش فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی بذر شده و نهایتاً مواد موردنیاز برای جوانه‌زنی و رشد آن را دچار مشکل می‌کند. گفتنی است عملکرد گونه آویشن باغی در سطوح خشکی بالا بهتر از آویشن دنایی بود که این امر توانایی بیشتر این گونه در جوانه‌زنی در شرایط خشکی را اثبات می‌کند.

همچنین بر اساس نتایج نانو ذرات نقره باعث روند افزایشی درصد جوانه‌زنی در سطوح خشکی نسبت به شرایط شاهد (عدم وجود نانو ذرات نقره) شد که این افزایش با نتایج حجت (Hojjat, 2016)، بر روی گیاه عدس (*Lens culinaris* Medikus) مطابقت دارد. این نتیجه توانایی نانو ذرات نقره در بازگشت گیاه به حالت اول و تقلیل اثرات منفی تنش‌های خشکی کمتر از ۰/۳- مگاپاسکال به‌ویژه با استفاده از غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات را به اثبات می‌رساند. ولی ازآنجاکه در تنش‌های شدید که خسارات وارده به گیاه بیشتر است؛ تیمار اصلاحی نانو به‌عنوان اصلاح‌کننده می‌تواند گیاه را در شرایط خشکی کمتر قرار دهد و امکان جوانه‌زنی برای گیاه فراهم آورد. نکته کلیدی در افزایش جوانه‌زنی، نفوذ نانوذرات به درون بذر است که بر اساس گزارش‌های موجود، در این حالت میزان جذب آب توسط بذر افزایش می‌یابد (Khoshkalam et al., 2015). در خصوص مکانیسم اثر نانوذرات نقره مشخص گردیده است که یون‌های نقره اثرات بازدارنده‌ای در برابر آنزیم‌های مختلف دارند. در این پدیده که به آن مکانیسم اثر یونی گفته می‌شود نانو ذرات نقره به‌مرورزمان از خود یون‌های Ag^{+} را از خود ساطع می‌کنند. نقره در ابعاد نانو بر متابولیسم، تنفس و تولیدمثل میکروارگانیسم‌ها اثر دارد، تاکنون بیش از ۶۵۰ نوع باکتری شناخته‌شده را از بین برده است (Gharineh et al., 2011).

سرعت جوانه‌زنی

نتایج گویای آن است که خشکی تأثیر کاهنده بر سرعت جوانه‌زنی در هر دو گونه داشت که یافته‌های فاتح و علی‌محمدی (Fath and Alimohammadi, 2011) و بحرینی نژاد (Bahrininejad, 2012) را تائید می‌کند. بسیاری از آزمایش‌ها نیز کاهش سرعت جوانه‌زنی در اثر اعمال تنش خشکی را گزارش کرده‌اند. اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب به‌آرامی صورت گیرد فعالیت‌های

www.SID.ir

Archive of SID

متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به‌آرامی انجام خواهند شد و در نتایج مدت‌زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش‌یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Metwally, 2003).

بالاترین سرعت جوانه‌زنی در گونه آویشن دنایی در تیمارهای مختلف شاهد مشاهده شد. در این گونه تا خشکی ۰/۶- مگاپاسکال تیمارهای نانو ذرات باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد که با یافته‌های حجت (Hojjat, 2016) یکسان است. البته با افزایش غلظت نانو ذرات، کاهش جزئی در سرعت رخ داد اما درمجموع سطوح مختلف نانو ذرات نقره باعث جلوگیری از کاهش سرعت جوانه‌زنی شد. در خشکی ۰/۹- مگاپاسکال ذرات نانو نقره نتوانستند مانع از تأثیر منفی تنش خشکی بر سرعت جوانه‌زنی در خشکی‌های شدید شوند.

در گونه آویشن باغی، در سطح خشکی ۰/۳- مگاپاسکال، حضور نانو ذرات نقره باعث افزاش سرعت جوانه‌زنی نسبت به شرایط خشکی شد که با نتایج حجت (Hojjat, 2016) مطابقت دارد. گفتنی است حضور نانو ذرات نقره در این سطح خشکی باعث برگشت کامل گیاه به شرایط عدم خشکی شدند به‌گونه‌ای که با تیمارهای مختلف شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت و درواقع این گونه به‌راحتی با حضور نانو ذرات قادر به تحمل این سطح خشکی بود؛ لیکن بین غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره تفاوت آماری مشاهده نشد. در شرایط خشکی بالاتر تفاوت آماری بین غلظت‌های مختلف نانو ذرات در این صفت با عدم حضور نانو ذرات وجود نداشت و نانو ذرات نقره قادر به تعدیل اثر تنش خشکی در شرایط خشکی بیشتر از ۰/۳- مگاپاسکال نبودند.

احتمالاً تأثیر مثبت پیش تیمار بر سرعت جوانه‌زنی، بذر یکی از عوامل مؤثر بر استفاده بیشتر و سریع‌تر گیاهچه از عوامل رشد بوده و سبب افزایش توسعه طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط تنش خواهد شد. هم‌چنین فعالیت‌های متابولیکی انجام‌شده طی فرآیند، پرایمینگ تولید ترکیباتی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها را در پی دارد که نقش مهمی در کاهش اثرات تنش و رشد بهتر گیاهچه خواهند داشت (Afzal, 2008).درمجموع آویشن دنایی نسبت به گونه آویشن باغی از سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار بود. باوجودآنکه نانو ذرات نقره تا سطح خشکی ۰/۶- مگاپاسکال تأثیر منفی تنش را در گونه آویشن دنایی کاهش دادند اما نانو ذرات نقره در آویشن باغی عملکرد بهتری داشتند چراکه اثر خشکی را به‌طور کامل حذف کردند.

طول ساقه‌چه

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده خشکی از رشد ساقه‌چه در هر دو گونه ممانعت کرد که یافته‌های بحرینی نژاد (Bahrininejad, 2012) را تائید می‌کند. لیکن در مطالعه فاتح و علی‌محمدی (Fath and Alimohammadi, 2011) و آل‌ابراهیم (Alebrahim et al., 2004)، با افزایش سطوح خشکی، رشد طول ساقه‌چه در گیاه آویشن باغی روند کاهشی داشت که این روند در بررسی حاضر در نتایج به‌دست‌آمده ملاحظه نشد و در هیچ سطح خشکی ساقه‌چه قدرت رشد نداشت. از علل کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش خشکی، کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین ذکر شده است. به‌طورکلی بذور جوانه‌زده در محیط‌هایی که تحت تأثیر شرایط تنش هستند دارای ساقه‌چه‌ها و ریشه‌چه‌های کوتاه‌تری هستند (Katergi, 1994).

بالاترین طول ساقه‌چه در گیاه آویشن باغی در تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره مشاهده شد و بین سایر غلظت‌های نانو ذرات نقره و آب مقطر تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری مشاهده نشد. این روند با نتایج مطالعه رمضانی و همکاران (Ramezani et al., 2016) همسو نیست؛ بنابراین گونه آویشن باغی در شرایط عدم تنش، می‌تواند در حضور نانو ذرات نقره با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر رشد ساقه‌چه بالاتری داشته باشد. در این گیاه در تمام سطوح خشکی ساقه‌چه هیچ رشدی نداشت که نشان‌دهنده عدم توانایی رشد گیاه در مواجه با تنش خشکی است. با افزایش نانو ذرات به تیمار ۰/۳- مگاپاسکال باعث افزایش طول ساقه-چه در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانو شد که با نتایج حجت (Hojjat, 2016) مطابقت دارد؛ بنابراین غلظت-های کم نانو ذرات نقره در سطوح خشکی کم قابلیت فراهم آوردن شرایط رشد این گونه و کاهش اثر تنش را دارند.

در گونه آویشن دنایی تیمار نانو ذرات نقره تأثیر قابل‌توجهی در افزایش طول ساقه‌چه هم‌زمان با وقوع تنش خشکی نداشته است و این امر عدم تأثیرپذیری این گیاه از حضور نانوذرات را می‌رساند. نتایج بعضی از آزمایش‌ها نیز کاهش طول ساقه‌چه را به دلیل اختلال در فعالیت‌های مؤثر

www.SID.ir

Archive of SID

در رشد بذر و هم‌چنین کاهش سرعت جوانه‌زنی در اثر اعمال پتانسیل اسمزی نشان داده است؛ بنابراین کاهش جذب آب توسط بذر در اثر تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش فرآیند فیزیولوژیکی و متابولیکی بذر شده و درنتیجه مواد موردنیاز برای رشد را با مشکل مواجهه سازد. پیش تیمار بذر به دلیل ایجاد یکسری تغییرات در جذب آب توسط بذرهای پرایم شده نسبت به بذرهای پرایم نشده، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را تغییر می‌دهد که این میزان تغییر بر اساس گونه‌ها و شرایط متفاوت است (Souhani, 2007).

طول ریشه‌چه

گونه آویشن باغی در مقایسه با گونه آویشن دنایی ازنظر طول ریشه‌چه رشد بهتری در سطح خشکی کم داشته است؛ اما این صفت در سطح خشکی ۰/۶- مگاپاسکال کاهش یافت و پس از ثابت ماند و ازنظر آماری با سطح خشکی بالاتر تفاوت معنی‌داری نداشت که این کاهش با نتایج مطالعات فاتح و علی‌محمدی (Fath and Alimohammadi, 2011) و آل-ابراهیم (Alebrahim et al., 2004) بر روی همین‌گونه مطابقت دارد. لیکن در گونه آویشن دنایی کاهش طول ریشه-چه در سطوح خشکی کم مشاهده شد و در سطوح بیشتر خشکی کاهشی مشاهده نشد که این نتایج با یافته‌های بحرینی نژاد (Bahrininejad, 2012) مغایرت دارد. نتایج بسیاری از مطالعات نیز دال بر کاهش طول ریشه‌چه در اثر اعمال تنش خشکی است. اعمال پتانسیل آب و درنتیجه بروز تنش خشکی موجب کاهش جذب آب به‌وسیله بذر شده که این امر باعث اختلال در روند ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌های اثرگذار در جوانه‌زنی و رشد بذر شده و درنهایت موجب افت طول ریشه‌چه می‌شود (Boskabadi and Shirmohammadi, 2002).

از سوی دیگر کاربرد نانو ذرات در شرایط عدم خشکی در گونه آویشن باغی باعث روند افزایشی طول ریشه‌چه شد و در گونه آویشن دنایی این روند مشاهده نشد؛ اما در شرایط مختلف خشکی، باعث افزایش طول ریشه‌چه شد و از کاهش آن جلوگیری کرد که با نتایج حجت (Hojjat, 2016) مطابقت دارد. در سطح خشکی ملایم نانو ذرات با غلظت‌های مختلف توانایی حذف اثر منفی تنش بر رشد ریشه را دارند؛ لیکن با افزایش خشکی غلظت‌های کمتر نانو ذرات نقره تأثیر بیشتری بر بازگشت گیاه و کمک به رشد ریشه‌چه گیاه در شرایط تنشی دارند. ازاین‌رو نانو ذرات نقره در شرایط خشکی تیمار اصلاحی مناسبی برای بازگشت رشد ریشه‌چه و استفاده مناسب‌تر از شرایط محیطی و به‌ویژه جذب آب هستند.

شاخص بنیه بذر

قدرت جوانه‌زنی یکی از شاخصه‌های بسیار مهم در ارزیابی کیفیت بذر است و نقش تعیین‌کننده‌ای در جوانه‌زنی و سبز شدن یکنواخت تحت شرایط تنش و بدون تنش دارد. به‌عبارت‌دیگر بنیه یا قدرت بذر به توان تولید گیاهچه قوی و نرمال در کم‌ترین زمان ممکن گفته می‌شود که این صفت مهم‌ترین عامل مؤثر بر استقرار و سبز شدن در مزرعه و به دنبال آن رشد گیاه است که درنهایت به افزایش عملکرد منجر می‌شود. بنیه بذر تحت تأثیر عوامل محیطی و شرایط نگهداری بذرها نیز قرار می‌گیرد. نتایج حاصل بیانگر آن است که با افزایش سطح خشکی در هر دو گونه موردمطالعه، شاخص بنیه بذر کاهش یافت که مشابه با نتایج فاتح و علی-محمدی (Fath and Alimohammadi, 2011) است؛ در گونه آویشن دنایی این روند مطابق با روند درصد جوانه‌زنی است که این امر نشان می‌دهد در این گونه عملکرد گیاه در شرایط مزرعه و آزمایشگاه یکسان است. لیکن در گونه آویشن باغی، در خشکی ۰/۶- مگاپاسکال بنیه بذر مطابق با درصد جوانه‌زنی عمل نکرد؛ بنابراین در خشکی‌ها زیاد این گونه در شرایط مزرعه عملکرد ضعیف‌تری نسبت به میزان سبز شدن در آزمایشگاه دارد.

شاخص بنیه بذر در شرایط عدم خشکی نسبت به غلظت-های پایین و بالای نانو ذرات حساسیت نشان دادند و غلظت ۲۰ بهینه بود. همچنین نانو ذرات نقره فقط در شرایط خشکی کمتر از ۰/۳- مگاپاسکال قابلیت خنثی کردن اثر منفی تنش را دارند. به نظر می‌رسد که پیش تیمار سبب سازگاری بیشتر گیاه با تنش خشکی شده و به دلیل فعالیت بهتر برخی آنزیم‌ها در بذر، قابلیت دسترسی به مواد غذایی در طول جوانه‌زنی در دانه‌های پرایمینگ شده آسان‌تر شده و این دانه‌ها قادر به کامل کردن فرآیند تنش‌های محیطی می‌گردند (Nonami, 1994).

نتیجه‌گیری

در شرایط تنش خشکی نانو ذرات نقره در تمام صفات به‌استثناء طول ساقه‌چه، فقط تا سطح خشکی ۰/۳- مگاپاسکال تأثیر افزایشی داشت که این نتیجه توانایی نانو ذرات نقره در تقلیل اثرات منفی تنش خشکی کمتر از ۰/۳-

www.SID.ir

Archive of SID

مگاپاسکال به‌ویژه با استفاده از غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات نقره را به اثبات می‌رساند. ازآنجاکه جوانه‌زنی مطلوب و رشد سریع گیاهچه باعث استقرار بهتر و کاهش رقابت با دیگر گیاهان می‌شود؛ بنابراین استفاده از نانو ذرات نقره در دو گونه دارویی مهم آویشن باغی و دنایی می‌تواند راهکار مناسبی برای تولید این دو گونه در شرایط خشکی باشد. در عرصه زندگی گیاه به‌ندرت شرایط مطلوب ازلحاظ ویژگی‌های مختلف محیطی فراهم است و درنتیجه میزان سبز شدن واقعی در عرصه کمتر از میزان پیش‌بینی‌شده در آزمون-های جوانه‌زنی است. ازاین‌رو شاخص بنیه بذر به‌طور قوی‌تری می‌تواند میزان جوانه‌زنی بذر در عرصه را نشان دهد. هرچند افزایش شاخص بنیه بذر با حضور نانو ذرات نقره در سطوح خشکی پایین در این دو گونه به اثبات رسید ولی برای بررسی سایر مشخصه‌های گیاهان فوق نیازمند آزمایش تکمیلی در شرایط مزرعه هستیم.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه کاشان جناب آقای دکتر منعم‌زاده که در انجام این طرح بنده را یاری و حمایت کردند کمال تشکر را دارم.

منابع

Afzal, I., Rauf, S., Basra, S.M.A., Murtaza, G., 2008. Halopriming improves vigor, metabolism of reserves and ionic contents in wheat seedlings under salt stress. Plant, Soil and Environment. 54(9), 382-388.

Alebrahim, M.T, Sabaghnia, N., Ebadi, A., Mohebodini, M., 2004. Effect of drought stress and salinity on seed germination herb thyme (*Thymus vulgaris* L.). Research in Agricultural Science. 1(1), 13-19. [In Persian with English Summary].

Bahrininejad, B., 2012. Effects of water stress on physiological characteristics, growth, water use efficiency and thyme essential oil content and composition of species. PhD dissertation, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran. [In Persian]

Boskabadi, M.H., Shirmohammadi B., 2002. Effect of *Nigella sativa* on isolated guinea PIG trachea. Archives of Iranian Medicine. 5(2), 103– 107.

Burnie, D., 1995. Wild Flowers of Mediterranean. Dorling Kinderseley. 320p.

De, F., Kar, R.K., 1994. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiate*) under water stress included by PEG-6000. Seed Science and Technology. 23, 301-304.

Fath, A., Alimohammadi, R., 2011. Evaluation of drought and salinity on the germination herb thyme (*Thymus vulgaris* L). Second National Conference on Agriculture and Sustainable Development (Opportunities and Challenges Ahead). 2-3 March, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran. [In Persian]

Gharineh, M.H., Ghamari, M., Farbod, M., Bakhshandeh, A., Rokni, N. 2011. The effect of seed coating with silver nanoparticles on germination and growth of wheat seedlings. Agriculture Journal. 92, 73-78.

Hampton, J.G., Tekrony, D.M., 1995. Handbook of Vigour Test Methods. International Seed Testing Association (ISTA). Zurich, Switzerland.

Hardegree, S.P., Van Vactor, S.S., 2000. Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperature regimes. Annals of Botany. 85, 379-390.

Hojjat, S.S., 2016. The Effect of silver nanoparticle on lentil Seed Germination under drought stress. International Journal of Farming and Allied Sciences. 5(3), 200-212

Jagtap, U.B., Bapat, V.A., 2013. Green synthesis of silver nanoparticles using *Artocarpus heterophyllus lam*. Seed extract and its antibacterial activity. Industrial Crops and Products. 46, 132–137.

Jaleel C.A., Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Jasim H., Somasundaram R., Pannerselvam R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture & Biology. 11, 100-105

www.SID.ir

Archive of SID

Jamzad, Z., 2009. Iranian Thyme and Savory. Publishing by Research Institute of Forests and Rangelands. p, 171. [In Persian]

Katergi, N., Van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Karam, F., Mastrortilli, M., 1994. Effect of salinity on emergence and on water stress early seedling growth of sunflower and maize. Agricultural Water Management. 26, 81-91.

Kaya M.D., Okcu, G., Atak, M., Cıkılı, Y., Kolsarıcı, O., 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Europan Journal of Agronomy. 24, 291-295.

Khoshkalam, A., Talebi Atuie, M., Bakhsh Gangeh, M., Ahmadigol, F., Meftahi, M., 2015. Nanotechnology and its development in agriculture. Nanotechnology Industrial Review Report. N, 45. [In Persian]

Leung, A.Y., Foster, S., 1996. Encyclopedia of Common Natural Ingredients: Used in Food, Drugs, and Cosmetics. A Wiley Interscience Publication - John Wiley & Sons, Inc. p, 649.

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M., Dietz, K.J., 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Physiolcal Biochemical Plant. 132, 272- 281.

Michel, B.E., Kaufman, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology. 51, 914-916

Nikavar, B., Mojab, F., 2004. Evaluation floral twigs of thyme essential oil constituents daenensis. Medicinal Plants Quarterly. 13, 50-45. [In Persian with English Summary].

Nonami, H., Tanimoto, K., Tabuchi, A., Fukwjama, T., Hashimoto, Y., 1994. Salt stress under hydroponic conditions causes changes in cell wall extension during growth. Hydroponics and Transplant Production. 396, 91-98.

Panwar, P., Bhardwaj, S. D., 2005. Handbook of practical forestry, Agrobios India. P.21

Parveen, A., Rao, S., 2014. Effect of nano-silver on seed germination and seedling growth in *Pennisetum glaucum*. Journal of Cluster Science. 26(3), 693-701.

Paulsen, G.M., 1987. Wheat stand establishment. Wheat and Wheat Important. American Soc. Agron., USA.

Ramezani, F, Shayanfar, Gh., Tvakol Afshari, R., Rezai, K., 2014. The effect of nano silver, nickel, zinc and Zn-Cu on the germination, establishment and enzymatic activity of alfalfa seed. Iranian Journal of Crop Sciences. 45(1), 118-107. [In Persian with English Summary].

Razzaq, A., Ammara, R., Jhanzab, H.M., Mahmood, T., Hafeez, A., Hussain, S., 2016. A novel nanomaterial to enhance growth and yield of wheat. Journal of Nanoscience and Technology. 2(1), 55-58.

Souhani, M.M., 2007. Seed Control and Certification. Guilan University Press. 287p. [In Persian]

Vashisth, A., Nagarajan, S., 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. Journal of Plant Physiology. 167(2), 149–156.

Yin, L., Cheng, Y., Espinasse, B., P. Colman, B., Auffan, M., 2011. The effects of silver nanoparticals on *Lolium multiflorum*. Environmental Science & Technology. 45(6), 2360-2367.

Zargari, A., 2014. Medicinal Plants. Tehran University Pressp. p, 4274. [In Persian].

www.SID.ir