پژوهش‌های بذر ایران/ سال نهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۱/ صفحات: ۱۹۰-۱۷۷

مقاله کوتاه پژوهشی

پاسخ جوانه‌زنی زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi*) به پیش‌تیمار بذر با اسید سولفوریک، اسید جیبرلیک و میکوریزا در دماهای مختلف

مرضیه بشارتی‌فر[۱]، غلامرضا خواجویی‌نژاد[۲،*]، عنایت‌الله توحیدی‌نژاد[۲]، جلال قنبری[۲]

چکیده مبسوط

مقدمه: در گیاهانی مانند زرین گیاه که دارای خواب بذر هستند، بطور عمده اعمال تیمارهای فیزیکی، شیمیایی و هورمونی مختلف منجر به بهبود جوانه‌زنی می‌شود. با این وجود، برهم‌کنش دما، پیش‌تیمار با اسید سولفوریک و تیمار با اسید جیبرلیک و میکوریزا بر جوانه‌زنی زرین گیاه بررسی نشده است. بنابراین این آزمایش به منظور مطالعه اثر پیش‌تیمار بذر در بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر زرین گیاه در شرایط آزمایشگاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها: تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش شامل (۱) پیش‌تیمار پوسته بذر با اسید سولفوریک (۹۷-۹۵ درصد، به مدت ۱۰ دقیقه) و عدم پیش‌تیمار (آب مقطر)؛ (۲) تیمارهای مختلف شامل غلظت‌های صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک یا تلقیح با سوسپانسیون میکوریزا در قالب دو آزمایش جداگانه؛ و (۳) دو تیمار دمایی دمای اتاق و یخچال (حدود ۴ درجه سلسیوس) بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار انجام شد و شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: کاربرد اسید جیبرلیک در دمای اتاق منجر به افزایش معنی‌دار درصد و سرعت جوانه‌زنی شد در حالی‌که در دمای ۴ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف اسید جیبرلیک با شاهد مشاهده نشد. به همین ترتیب، کاربرد غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک طول و بنیه گیاهچه را در دمای اتاق بهبود بخشید. در حالی‌که پیش‌تیمار با اسید سولفوریک در مقایسه با عدم پیش‌تیمار شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه را به طور معنی‌درای کاهش داد، تلقیح با سوسپانسیون میکوریزا در هر دو شرایط با بهبود جوانه‌زنی، کاهش ناشی از پیش‌تیمار با اسید سولفوریک را جبران نمود. به طور مشابه، در حالی‌که بیشترین طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه از تیمار با میکوریزا در دمای اتاق در شرایط عدم پیش‌تیمار با اسید سولفوریک حاصل شد، در دمای ۴ درجه سلسیوس نیز تلقیح با میکوریزا میزان افت طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه ناشی از کاربرد اسید سولفوریک را به طور معنی‌داری کاهش داد.

نتیجه‌گیری: براساس یافته‌ها، به نظر می‌رسد کاربرد غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک در دمای اتاق جهت بهبود روند جوانه‌زنی زرین گیاه می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. همچنین با توجه به نتایج حاصله، تیمار با میکوریزا در شرایط عدم پیش‌تیمار با اسید سولفوریک در دمای اتاق می‌تواند به‌عنوان شرایط بهینه جهت بهبود جوانه‌زنی زرین گیاه قابل توصیه باشد.

واژه‌های کلیدی: بنیه گیاهچه، خراش‌دهی شیمیایی، روند جوانه‌زنی، تیمار دمایی، تیمارهای هورمونی و زیستی

جنبه‌های نوآوری:

۱- برهم‌کنش پیش‌تیمار شیمیایی با تیمارهای زیستی و هورمونی بر جوانه‌زنی زرین گیاه بررسی شد.

۲-کاربرد اسید جیبرلیک در دمای اتاق جوانه‌زنی را نسبت به شاهد بهبود داد در حالی‌که در ۴ درجه سلسیوس اثری بر جوانه‌زنی نداشت.

۳- کاربرد مایکوریزا افت جوانه‌زنی حاصل از پیش‌تیمار با اسید سولفوریک را کاهش داده و منجر به حداکثر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه شد.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت-اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[۲] گروه تولید و ژنتیک گیاهی، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

* رایانامه نویسنده مسئول: Khajoei@uk.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1401.9.2.10.3

DOI: 10.61186/yujs.9.2.177

مقدمه

در حال حاضر حفاظت از گونه‌های ارزشمند زیستگاه‌های طبیعی، جهت حفظ تنوع زیستی و منابع ژنی و همچنین تأمین تقاضای روزافزون محصولات گیاهی به‌خصوص گیاهان داوریی، تنها از طریق حفظ و پرورش گونه‌های گیاهی مختلف موجود در این زیستگاه‌ها امکان پذیر است. اولین مرحله برای حفظ این ذخایر، تحقیق در مورد رفتار جوانه‌زنی بذر آن‌هاست (یوسل و ییلماز[1]، ۲۰۰۹). زرین گیاه یا بادرنجبویه دنایی[2] گیاه دارویی بومی ایران و از خانواده نعناع[3] بوده که در آب و هوای خنک مناطق کوهستانی رشد می‌کند (قهرمان[4]، ۲۰۰۰). این گیاه علاوه بر اینکه در درمان برخی بیماری‌ها کاربرد دارد، به عنوان طعم دهنده غذا نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. از خصوصیات مهم دارویی زرین گیاه می‌توان به اثرات مختلف ضد چربی خون، تعدیل سامانه ایمنی، ضد درد، ضد اسپاسم و ضد سرطان اشاره کرد (امیرغفران[5] و همکاران، ۲۰۰۰).

این گیاه بنا به دلایلی از قبیل برداشت بیش از حد از زیستگاه‌های طبیعی و عدم توجه کافی به کشت و اهلی‌سازی در معرض خطر انقراض قراردارد. با توجه به قدرت پایین جوانه‌زنی، اولین قدم برای اهلی‌سازی این گیاه، تقویت جوانه‌زنی بذر آن است (جلیلی و جمزاد[6]، ۱۹۹۹، فتاحی[7] و همکاران، ۲۰۱۱). از طرف دیگر، گیاهان دارویی و خودرو با پدیده خواب بذر مواجه هستند که این امر بقای گیاه را در شرایط نامساعد محیطی تضمین می‌کند. این پدیده فیزیولوژیکی برای بذرهای این گیاهان یک مزیت بوم‌شناختی محسوب شده و بذر را تا مساعد شدن شرایط محیطی لازم برای استقرار و جوانه‌زنی، حفظ می‌کند. با این حال، درصد جوانه‌زنی پایین بذر از مشکلات عمده مؤثر در تولید این گونه گیاهان محسوب می‌شود (باسکین و باسکین[8]، ۲۰۰۴).

نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که شکستن خواب بذر در چنین گیاهانی با استفاده از تیمارهای مختلف مکانیکی و شیمیایی نظیر خراش‌دهی فیزیکی، تیمار با اسید سولفوریک، نیترات پتاسیم، اسید جیبرلیک و غیره انجام می‌شود (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱؛ پینکر[9] و همکاران، ۲۰۲۱). به عنوان مثال، بررسی انجام شده روی بذر زرین گیاه با سطوح مختلف پیش‌تیمارهای اسید سولفوریک، آب جوش، اسید جیبرلیک و نیترات پتاسیم و همچنین خراش‌دهی با کاغذ سمباده نشان داد که بیشترین میزان جوانه‌زنی مربوط به تیمارهای خراش‌دهی با کاغذ سمباده و اسید سولفوریک بود (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱). به طور مشابه، نتایج بدست آمده نشان داد که در بین تیمارهای مختلف، استفاده از خراش‌دهی با سمباده و اسید سولفوریک بیشترین نقش را در ویژگی‌های جوانه‌زنی زرین گیاه دارا بودند (حاتمی[10] و همکاران ۲۰۱۹).

نتایج بررسی اثر اسید جیبرلیک بیانگر اثر تحریک کنندگی اسید جیبرلیک به ویژه در مرحله سرمادهی بود. طی مرحله سرد شدن، رشد جنین در دانه‌های تیمار شده با اسید جیبرلیک بیشتر بود. این اثر اسید جیبرلیک به غلظت کاربرد وابسته بود به طوری که جوانه‌زنی بعد از چهار هفته در غلظت دو گرم بر لیتر اسید جیبرلیک به ۶۰ درصد و در غلظت یک گرم بر لیتر به ۲۰ درصد رسید (پینکر و همکاران، ۲۰۲۱). همان‌طور که ذکر شد، کاربرد اسید جیبرلیک بسته به غلظت کاربرد، شرایط دمایی و گونه گیاهی، اثرات متفاوتی را به‌همراه دارد. به عنوان مثال، در گونه‌های مختلف سالویا از خانواده نعناع کاربرد غلظت‌های متفاوت اسید جیبرلیک (بین صفر تا ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر) نتایج متفاوتی را بسته به تیمار سرمادهی (بین ۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس) به همراه داشته است (داداش‌اغلو و اوزر[11]، ۲۰۱۴). همچنین در بررسی تأثیر دما بر سطح خواب بذرهای گیاهان خانواده نعناع با خیساندن بذر در دماهای بین ۳ تا ۱۸ درجه سلسیوس برای دوره های بین ۲ تا ۲۸ هفته، نتایج نشان داد که

[1] Yücel and Yilmaz
[2] *Dracocephalum kotschyi* Boiss.
[3] Labiatae
[4] Ghahraman
[5] Amirghofran
[6] Jalili and Jamzad,
[7] Fattahi
[8] Baskin and Baskin
[9] Pinker
[10] Hatami
[11] Dadaşoğlu and Özer

تنها دماهای پایین (کمتر از ۱۲ درجه سلسیوس) خواب اولیه را در بذرهای *Lycopus europaeus* برطرف کرد، در حالی که در *Mentha aquatica* و *Stachys palustris* دمای بالاتر نیز منجر به افزایش جوانه‌زنی شد (برندل[1]، ۲۰۰۶). همچنین، در گونه‌های مختلف نعناع، تیمار غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک (۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) واکنش متفاوتی در جوانه‌زنی به همراه داشت (خواجه‌حسینی[2] و همکاران، ۲۰۱۸). علاوه بر این، اثرهای متفاوتی از جمله، عدم تأثیر یا تأثیر منفی در زرین گیاه (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱)، تأثیر مثبت غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر بر جوانه‌زنی بذر *Dracocephalum parviflorum* نسبت به سطوح ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (ون ولدهیزن و نایت[3]، ۲۰۰۶)، کاهش جوانه‌زنی در غلظت‌های کمتر از ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر در باریجه و مریم نخودی (نجفی[4] و همکاران، ۲۰۰۶)، افزایش جوانه‌زنی در غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در بذرهای کلپوره (چاکرابورتی[5] و همکاران، ۲۰۰۳) مشاهده و گزارش شده است.

تلقیح با میکوریزا به عنوان پیش تیمار زیستی، باعث بهبود روند جوانه‌زنی در گونه‌های مختلف گیاهان ارکیده شده است (الغمدی[6]، ۲۰۱۹، ژانگ[7] و همکاران، ۲۰۲۰). ۲۰۲۰). همچنین اثر مثبت پیش تیمار با میکوریزا بر جوانه‌زنی، رشد و عملکرد زایشی گیاه (*Brassica rapa*) گزارش شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تلقیح با سوسپانسیون میکوریزا، تعداد بذر جوانه زده و تعداد گل را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد (گوتوفسکی[8]، ۲۰۱۵).

براساس نتایج تحقیقات مختلف برای جوانه‌زنی بهتر گیاهانی نظیر زرین گیاه که دارای سازوکار خواب بذر هستند، کاربرد تیمارهای فیزیکی، شیمیایی و هورمونی مختلف منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی خواهد شد. با این وجود، برهم‌کنش دمای جوانه‌زنی، پیش‌تیمار شیمیایی و تیمار با اسید جیبرلیک و میکوریزا بررسی نشده است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی پاسخ جوانه‌زنی زرین گیاه نسبت به اعمال تیمارهای مختلف پیش‌تیمار با اسید سولفوریک و تیمار با غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک و سوسپانسیون مایه تلقیح میکوریزا در دماهای مختلف جوانه‌زنی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی، شرایط آزمایش و تیمارهای مورد بررسی

این آزمایش در شرایط آزمایشگاهی در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. بذر زرین گیاه (جمعیت فریدون‌شهر، استان چهارمحال و بختیاری) از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شد. این مطالعه در قالب دو آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل ۱) دمای جوانه‌زنی در دو سطح (تیمار سرمایی در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس و دمای اتاق)؛ ۲) پیش‌تیمار با اسید سولفوریک در دو سطح (پیش‌تیمار با اسید سولفوریک ۹۵ تا ۹۷ درصد به مدت ده دقیقه (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱)، و عدم پیش‌تیمار (آب مقطر)؛ و ۳) تیمار با اسید جیبرلیک (غلظت‌های صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در آزمایش اول، و تیمار با سوسپانسیون مایه تلقیح مایکوریزا در مقابل شاهد (آب مقطر) در آزمایش دوم، بود.

قبل از اعمال تیمارها، بذرها به مدت یک دقیقه در اتانول ۹۹ درصد قرار گرفتند و پس از ۴ بار آبکشی با آب مقطر، با محلول ۵ درصد هیپوکلریت سدیم به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی و در نهایت دوباره با آب مقطر شست و شو داده شدند. بذرها ابتدا در اسید سولفوریک پیش تیمار شده و سپس هر سطح پیش‌تیمار با غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک (آزمایش اول) و سوسپانسیون میکوریزا (آزمایش دوم) تیمار شد. سوسپانسیون میکوریزا با نسبت ۱۰۰ گرم مایه تلقیح در ۱۰۰ میلی‌لیتر (۱۲۰ اسپور در میلی‌لیتر سوسپانسیون) آب مقطر تهیه و هر پتری‌دیش با ۵ میلی‌لیتر سوسپانسیون

[1] Brändel
[2] Khajeh-Hosseini
[3] Van Veldhuizen and Knight
[4] Nadjafi
[5] Chakraborty
[6] Alghamdi
[7] Zhang
[8] Gutowski

تلقیح شد. به‌طور مشابه، بذرها با ۵ میلی‌لیتر از غلظت ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک تیمار شدند. برای شاهد در هر دو آزمایش، از ۵ میلی‌لیتر آب مقطر استفاده شد. به منظور اعمال تیمار دمای جوانه‌زنی در ۴ درجه سلسیوس، بذرها پس از پیش‌تیمار با تیمار مورد نظر به مدت ۱۰ روز در یخچال نگهداری شدند. در مدت مشابه، بذرهای تیمار شده با تیمارهای مذکور در دمای اتاق قرار داده شدند. پس از ۱۰ روز، بذرهای درون یخچال نیز به دمای اتاق منتقل شدند.

بذرهای درون پتری روی کاغذ صافی روزانه از نظر ظهور جوانه بررسی و تعداد بذرهای جوانه زده ثبت گردید. بذرهایی که طول ریشه‌چه بیش از ۲ میلی‌متر داشتند به عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شدند.

شاخص‌های مورد بررسی

در پایان طول دوره جوانه‌زنی، طول گیاهچه اندازه‌گیری و شاخص‌های مختلف از رابطه‌های ۱-۳ حاصل شد (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱):

رابطه ۱: $$GP\ (\%) = \left(\frac{N}{S}\right) \times 100$$

رابطه ۲: $$GR = \sum \frac{Ni}{Di}$$

رابطه ۳: $$VI = GP \times SL$$

GP: درصد جوانه‌زنی؛ Ni: تعداد بذر جوانه زده در روز i؛ S: تعداد کل بذرهای هر پتری؛ GR: سرعت جوانه‌زنی؛ Di: تعداد روز سپری شده از پیش تیمار؛ N: تعداد بذرهای جوانه زده در انتهای آزمایش؛ VI: بنیه گیاهچه؛ SL: طول گیاهچه.

همچنین زمان شروع جوانه زنی (روز) برای هر تیمار، مدت زمان بین شروع پیش‌تیمار و ظهور اولین جوانه در نظر گرفته شد.

تجزیه‌های آماری

داده‌های حاصل جهت تعیین اختلاف آماری بین سطوح عوامل مورد بررسی و برهم‌کنش آن‌ها، از نظر آماری به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS ver 9.0 (SAS, Cary, NC, USA) مورد تجزیه و میانگین‌ها (± خطای استاندارد) توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD; $P \leq 0.05$) مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار پیش‌تیمار با اسید سولفوریک و برهم‌کنش اسید سولفوریک و سطوح اسید جیبرلیک بر شروع جوانه‌زنی بذرهای زرین گیاه بود (جدول ۱). در حالی‌که در آزمایش دیگر (بررسی اثر دما، اسیدسولفوریک و میکوریزا)، شروع جوانه‌زنی تحت تأثیر دما، سولفوریک اسید، میکوریزا و برهم‌کنش آن‌ها قرار نگرفت (جدول ۲).

در شرایط عدم پیش‌تیمار با اسید سولفوریک، کاربرد غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک تفاوت معنی‌داری در شروع جوانه‌زنی ایجاد نکرد. در مقابل، ضمن اینکه پیش‌تیمار با اسید سولفوریک شروع جوانه‌زنی را نسبت به عدم پیش‌تیمار به تأخیر انداخت، اعمال غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک منجر به بیشترین تأخیر در شروع جوانه‌زنی شد و ضمن اینکه با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد، نسبت به غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش زمان لازم برای جوانه‌زنی گردید (شکل ۱).

همان‌طور که نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد درصد جوانه‌زنی تحت تأثیر پیش‌تیمار با اسید سولفوریک و برهم‌کنش دما و اسید جیبرلیک قرار گرفت (جدول ۱). نتایج نشان داد که پیش‌تیمار با اسید سولفوریک درصد جوانه‌زنی را ۳۸ درصد نسبت به عدم پیش‌تیمار کاهش داد (جدول ۳).

همچنین نتایج نشان داد که درصد جوانه‌زنی در دمای اتاق با کاربرد غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک ۵۰ درصد نسبت به عدم کاربرد افزایش یافت در حالی‌که در دمای ۴ درجه تیمار با غلظت‌های اسید جیبرلیک تفاوت معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی ایجاد نکرد (شکل ۲).

درصد جوانه‌زنی همچنین تحت تأثیر پیش‌تیمار با اسید سولفوریک، تیمار با میکوریزا و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای دما، اسید سولفوریک و اسید جیبرلیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی زرین گیاه

Table 1. Analysis of variance results for the effects of temperature, sulfuric acid and gibberellic acid on the germination indices of *Dracocephalum kotschyi*

منابع تغییر	Sources of variation	درجه آزادی df	شروع جوانه‌زنی Germination start	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه Seedling length	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
دما	Temperature (T)	1	0.14^{ns}	422^{*}	0.071^{ns}	0.008^{ns}	1400.1^{ns}
اسید سولفوریک	Ssulfuric acid (SA)	1	235^{**}	1497^{**}	0.58^{**}	36.19^{**}	42062^{**}
اسید جیبرلیک	Gibberellic acid (GA)	2	0.146^{ns}	84.4^{ns}	0.013^{ns}	0.258^{ns}	627.1^{ns}
دما × اسید سولفوریک	T × SA	1	5.48^{ns}	3.8^{ns}	0.001^{ns}	0.986^{ns}	105.09^{ns}
دما × اسید جیبرلیک	T × GA	2	3.41^{ns}	220^{*}	0.029^{ns}	2.261^{*}	5121^{*}
اسید سولفوریک × اسید جیبرلیک	SA × GA	2	19.2^{*}	31.4^{ns}	0.003^{ns}	0.297ns	173.8^{ns}
دما × اسید سولفوریک × اسید جیبرلیک	T× SA × GA	2	8.49^{ns}	216^{ns}	0.036^{ns}	0.757^{ns}	1764^{ns}
خطا	Error	36	5.107	67.4	0.018	0.59	1082
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	15.99	35.02	37.73	41.75	64.5

*، ** و ns: به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری هستند

*, **, and ns indicate significant differences at p<0.05, p<0.01 and non-significant, respectively

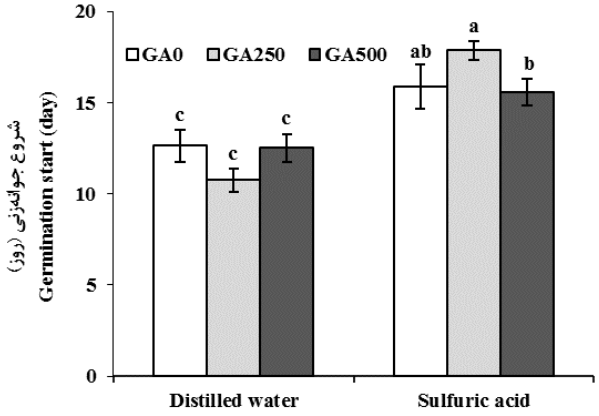
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای دما، اسید سولفوریک و میکوریزا بر شاخص‌های جوانه‌زنی زرین گیاه

Table 2. Analysis of variance results for the effects of temperature, sulfuric acid and mycorrhiza on the germination indices of *Dracocephalum kotschyi*

منابع تغییر	Sources of variation	درجه آزادی df	شروع جوانه‌زنی Germination start	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول گیاهچه Seedling length	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
دما	Temperature (T)	1	3.41^{ns}	46^{ns}	0.006^{ns}	0.241^{ns}	2096^{ns}
اسید سولفوریک	Sulfuric acid (SA)	1	16.33^{ns}	622^{**}	0.177^{**}	50.85^{**}	93542^{**}
میکوریزا	Mycorrhiza (AM)	1	25.81^{ns}	1984^{**}	0.402^{**}	93.63^{**}	188678^{**}
دما × اسید سولفوریک	T × SA	1	0.213^{ns}	43.41^{ns}	0.009^{ns}	4.88^{ns}	14760^{ns}
دما × میکوریزا	T × AM	1	1.61^{ns}	195.3^{ns}	0.020^{ns}	2.17^{ns}	11243^{ns}
اسید سولفوریک × میکوریزا	SA × AM	1	25.81^{ns}	250^{*}	0.067^{*}	5.008^{ns}	17305^{ns}
دما × اسید سولفوریک × میکوریزا	T × SA × AM	1	11.21^{ns}	0.004^{ns}	0.0019^{ns}	19.62^{*}	30829^{*}
خطا	Error	24	6.92	54.8	0.014	2.65	6237
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	19.84	25.8	27.28	46.97	64.79

*، ** و ns: به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری هستند.

*, **, and ns indicate significant differences at p<0.05, p<0.01 and non-significant, respectively



شکل ۱. شروع جوانه‌زنی بذرهای زرین گیاه تحت تأثیر برهم‌کنش پیش‌تیمار با اسید سولفوریک و غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک

Fig. 1. Germination starts in *Dracocephalum kotschyi* seeds affected by interaction effect of sulfuric acid pre-treatment and different concentrations of gibberellic acid

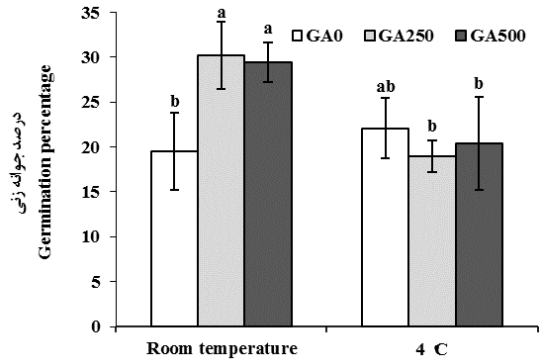
جدول ۳. اثر پیش‌تیمار با اسید سولفوریک بر شاخص‌های جوانه‌زنی زرین گیاه

Table 3. Effect of sulfuric acid pre-treatment on germination indices of *Dracocephalum kotschyi*

پیش‌تیمار با اسید سولفوریک Sulfuric acid pre-treatment	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (Seed daty^{-1})	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
آب مقطر Distilled water	29.0 ± 1.94 [a]	0.466 ± 0.029 [a]	2.71 ± 0.19 [a]	80 ± 9.09 [a]
اسید سولفوریک Sulfuric acid	17.9 ± 1.88 [b]	0.246 ± 0.027 [b]	0.97 ± 0.013 [b]	21.4 ± 4.28 [b]

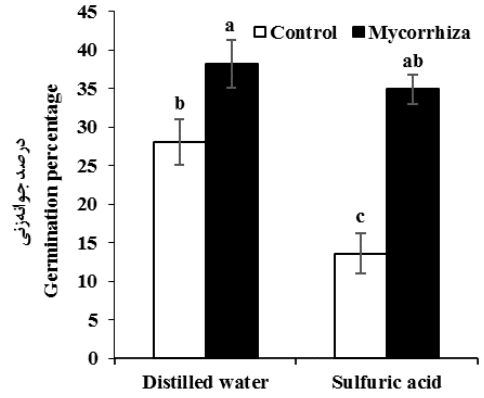
میانگین‌های (± خطای استاندارد) با حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Means (±standard error) with a similar letter(s) have no statistically significant difference based on the least significant difference test at $p<0.05$.



شکل ۲. درصد جوانه‌زنی بذرهای زرین گیاه تحت تأثیر برهم‌کنش غلظت‌های مختلف اسیدجیبرلیک در دماهای مختلف

Fig. 2. Germination percentage of *Dracocephalum kotschyi* seeds affected by interaction effect of different concentrations of gibberellic acid at different temperatures



شکل ۳. درصد جوانه‌زنی زرین گیاه تحت تأثیر برهم‌کنش پیش‌تیمار با اسید سولفوریک و تیمار با میکوریزا

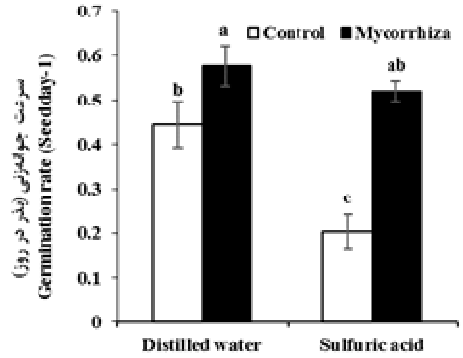
Fig. 3. Germination percentage in *Dracocephalum kotschyi* seeds affected by interaction effect of sulfuric acid pre-treatment and treatments with mycorrhiza

تیمار با میکوریزا در هر دو شرایط پیش‌تیمار و عدم پیش‌تیمار، درصد جوانه‌زنی را به‌طور معنی‌داری بهبود داد. پیش‌تیمار اسید سولفوریک در بذرهای تیمار نشده با میکوریزا باعث کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی شد در حالی‌که تیمار با میکوریزا با افزایش درصد جوانه‌زنی در هر دو شرایط پیش‌تیمار با اسید سولفوریک، اثرات منفی پیش‌تیمار با اسید را بر جوانه‌زنی کاهش داد (شکل ۳).

سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر پیش‌تیمار با اسید سولفوریک، تیمار با میکوریزا و برهم‌کنش اسید سولفوریک در میکوریزا قرار گرفت (جداول ۱ و ۲). در حالی‌که پیش‌تیمار با اسید سولفوریک سرعت جوانه‌زنی را ۴۷ درصد نسبت به عدم پیش‌تیمار کاهش داد (جدول ۳)، مشابه با روند تغییر در درصد جوانه‌زنی، تیمار با میکوریزا اثرات منفی اسید سولفوریک را بر سرعت جوانه‌زنی کاهش داد. این در حالی بود که در شرایط عدم تیمار با میکوریزا (آب مقطر)، اسید سولفوریک موجب کاهش ۵۴ درصد در سرعت جوانه‌زنی شد (شکل ۴). نتایج نشان داد که طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه تحت تأثیر پیش‌تیمار با اسید سولفوریک و برهم‌کنش دما در اسید جیبرلیک قرار گرفتند (جدول ۱). همچنین برهم‌کنش معنی‌دار دما، اسید سولفوریک و میکوریزا برای این شاخص‌ها مشاهده شد (جدول ۲). با وجود اینکه صفات طول و بنیه گیاهچه تحت تأثیر دمای جوانه‌زنی قرار نگرفتند (جدول ۱)، پیش‌تیمار با اسید سولفوریک به‌ترتیب موجب کاهش ۶۴ درصد و ۷۳ درصد در طول و بنیه گیاهچه شد (جدول ۳). همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد، کاربرد غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک در دمای اتاق منجر به افزایش معنی‌دار طول و بنیه گیاهچه نسبت به شاهد شد، در حالی‌که در دمای ۴ درجه سلسیوس، تفاوت معنی‌داری بین کاربرد غلظت‌های جیبرلیک مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط کاربرد غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر واکنش به شرایط دمایی متفاوت بود به طوری که در دمای ۴ درجه سلسیوس کاربرد این غلظت اسید جیبرلیک نسبت به دمای اتاق، شاخص‌های طول و بنیه گیاهچه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد.

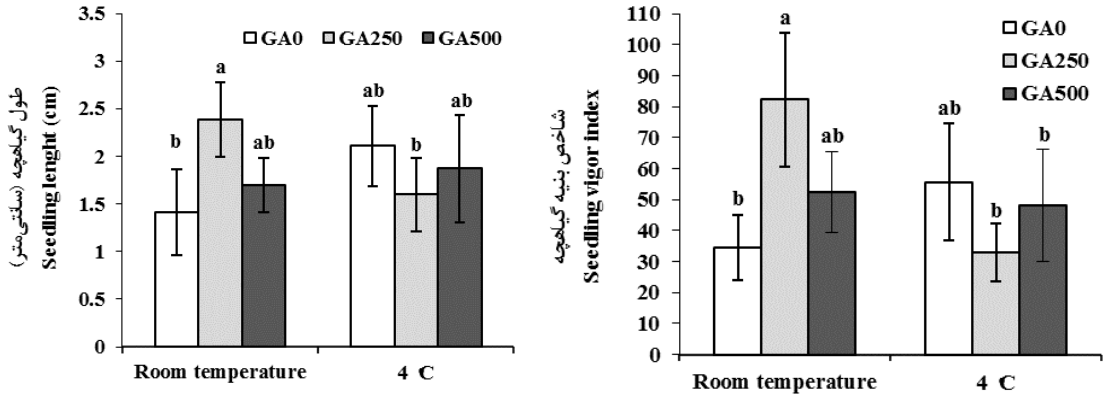
نتایج نشان داد که طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه همچنین تحت تأثیر برهم‌کنش دمای جوانه‌زنی، پیش‌تیمار با اسید سولفوریک و تیمار با میکوریزا قرار گرفتند (جدول ۲). با روند مشابه، در دمای اتاق و در شرایط عدم پیش‌تیمار با اسید سولفوریک، تیمار با میکوریزا منجر به افزایش طول و شاخص بنیه گیاهچه شد در حالی که، در شرایط پیش‌تیمار با اسید سولفوریک تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارهای اعمال شده مشاهده نشد (شکل‌های ۵ و ۶). در مقابل، در دمای ۴ درجه سلسیوس، با وجود اینکه کاربرد میکوریزا در شرایط عدم پیش‌تیمار با اسید سولفوریک افزایش معنی‌داری در شاخص‌های مذکور ایجاد نکرد اما در شرایط کاربرد اسید سولفوریک به طور معنی‌داری

(حدود ۱۰ برابر) این شاخص‌ها را بهبود داد (شکل‌های ۶ و ۷).



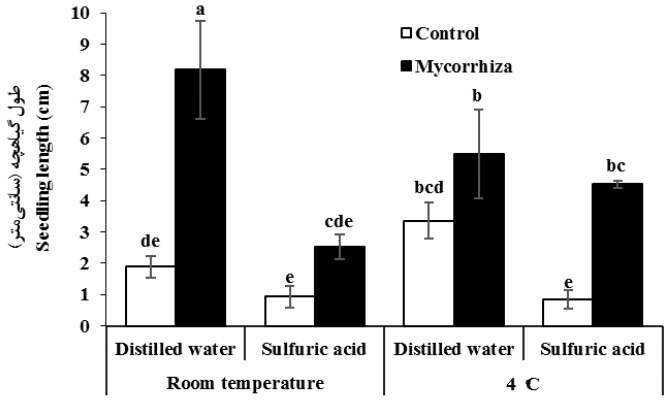
شکل ۴. سرعت جوانه‌زنی زرین گیاه تحت تأثیر برهم‌کنش پیش‌تیمار با اسید سولفوریک و تیمار میکوریزا

Fig. 4. Germination rate in *Dracocephalum kotschyi* seeds affected by interaction effect of sulfuric acid pre-treatment and treatments with mycorrhiza



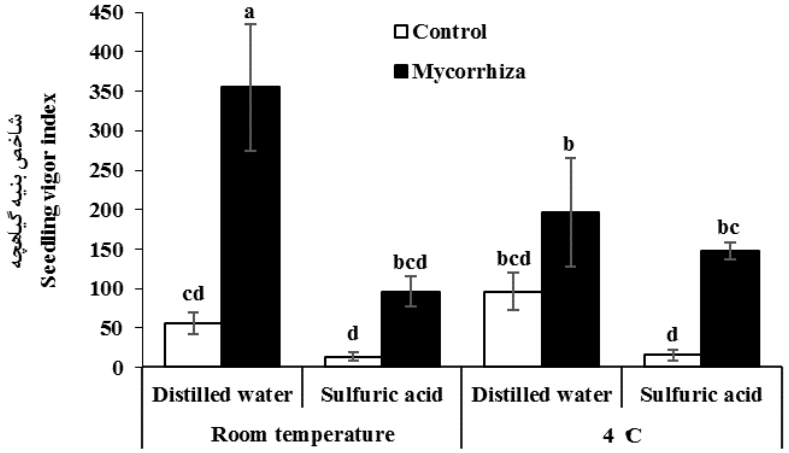
شکل ۵. طول و بنیه گیاهچه زرین گیاه تحت تأثیر برهم‌کنش دما و غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک

Fig. 5. Seedlings length and vigor of *Dracocephalum kotschyi* affected by interaction effect of temperature and different concentrations of gibberellic acid



شکل ۶. طول گیاهچه زرین گیاه تحت تأثیر برهم‌کنش دمای جوانه‌زنی، پیش‌تیمار با اسید سولفوریک و میکوریزا

Fig. 6. *Dracocephalum kotschyi* seedling length affected by interaction effect of germination temperature, sulfuric acid pre-treatment, and mycorrhiza



شکل ۷. شاخص بنیه گیاهچه زرین گیاه تحت تأثیر برهم‌کنش دمای جوانه‌زنی، خراش‌دهی با اسید سولفوریک و میکوریزا

Fig. 7. *Dracocephalum kotschyi* seedling vigor index affected by interaction effect of germination temperature, sulfuric acid pre-treatment, and mycorrhiza

بحث

علی‌رغم میزان جوانه‌زنی پایین بذرهای زرین گیاه در این بررسی (بین ۳۶/۵-۲۰ درصد)، جوانه‌زنی این گیاه در مطالعه فتاحی و همکاران (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱) تا ۹۰ درصد گزارش شده است. دلیل این اختلاف در جوانه‌زنی در شرایط و بستر جوانه‌زنی عنوان شد. بذرهای زرین گیاه در مطالعه مذکور، در بستر کشت پرلیت و شن به نسبت ۱:۱ مورد بررسی قرار گرفتند در حالی‌که در آزمایش دیگری به نقل از همین محققین در بستر کشت مخلوط کمپوست و شن (۱:۱)، میزان جوانه‌زنی این گیاه تنها ۳۰ درصد گزارش شد (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین بررسی رفتار جوانه‌زنی زرین گیاه در بسترهای مختلف کشت در مقایسه با جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاهی ضروری به نظر می‌رسد.

در این آزمایش، شرایط دمایی مطلوب برای شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه زرین گیاه، جوانه‌زنی در دمای اتاق بود. در حالی‌که، گزارش شده که سرمادهی اثری بر شاخص‌های جوانه‌زنی در زرین گیاه نداشت (حاتمی و همکاران، ۲۰۱۹). در بررسی اثر بهترین دما بر جوانه‌زنی گونه دیگری از بادرنجبویه (*Dracocephalum argunense* Fischer ex Link)، درجه حرارت مطلوب برای جوانه‌زنی مناسب، ۲۰ درجه سلسیوس گزارش شد (چانگ[1] و همکاران، ۲۰۰۹).

با وجود اینکه خراش‌دهی با اسید سولفوریک در این آزمایش منجر به کاهش جوانه‌زنی و رشد اولیه شد، در آزمایشی روی بذرهای زرین گیاه، پیش‌تیمار شیمیایی (با استفاده از اسید سولفوریک به مدت ۱۰ دقیقه) و فیزیکی با استفاده از کاغذ سنباده منجر به افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی و کاهش در شروع جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی شد (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱).

در مورد اثر اسید سولفوریک بر شکست خواب بذر، به‌نظر می‌رسد اثرات متفاوتی بسته به نوع بذر، ویژگی‌های خاص پوشش بذر (بات[2] و همکاران، ۲۰۱۶)، نوع خواب بذر (ابودورهیمن[3] و همکاران، ۲۰۱۴) و غلظت و مدت زمان تیمار (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱، حاتمی و همکاران، ۲۰۱۹). قابل انتظار باشد.

به عنوان مثال، برای بذر خانواده بقولات، مدت زمان ۶۰-۴۵ دقیقه پیش‌تیمار در اسید سولفوریک غلیظ بهترین تیمار جهت رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی گزارش شده است (قدیری و باقرانی[4]، ۲۰۰۰؛ مائو[5] و همکاران، همکاران، ۲۰۰۸). در مقابل، در مطالعه واکنش بذرهای

[1] Chang
[2] Bhatt
[3] Abudureheman
[4] Ghadiri and Bagherani
[5] Mao

زرین گیاه به زمان تیمار با اسید سولفوریک، گزارش شد که مدت زمان سه دقیقه باعث افزایش معنی‌داری در میزان جوانه‌زنی بذرها نسبت به شاهد شد و افزایش مدت زمان تیمار، موجب کاهش جوانه‌زنی گردید (حاتمی و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای روی جوانه‌زنی بذرهای *Dracocephalum argunense* از خانواده نعناع مشاهده شد که جوانه‌زنی به‌طور قابل توجهی به‌خصوص در شرایط پیش‌تیمار با اسید سولفوریک به مدت ۳۰ ثانیه، بهبود داده شد اما در شرایط خیساندن بیش از ۳۰ ثانیه در اسید سولفوریک، به دلیل آسیب رساندن به جنین و اندوسپرم بذر، جوانه‌زنی به شدت کاهش یافت (چانگ و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین، با قرار دادن بذرهای *Dracocephalum parviflorum* از خانواده نعناع در معرض اسید سولفوریک غلیظ به مدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه جوانه‌زنی به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به شاهد کاهش نشان داد. از آن‌جا که افزایش زمان تیمار با اسید سولفوریک از ۱۰ به ۳۰ دقیقه جوانه‌زنی را کاملا متوقف کرد، زمان زیاد پیش‌تیمار در این مطالعه، دلیل احتمالی کاهش در میزان جوانه‌زنی عنوان شد (ون ولدهیزن و نایت، ۲۰۰۶). اگرچه، مشاهده شده است که پیش تیمار با غلظت‌های ۰/۵ تا ۳ درصد اسید سولفوریک نیز درصد و سرعت جوانه‌زنی را در گونه‌های مختلف *Salvia* (یوسل[1]، ۲۰۰۰؛ یوسل و ییلماز، ۲۰۰۹) از خانواده نعناع و گونه‌های مختلف*Hesperis* از تیره شب بوئیان (یوسل و همکاران، ۲۰۰۸) مهار کرد. به‌طور کلی براساس نتایج حاصله از این بررسی، با توجه به اینکه حذف لایه فیزیکی توسط پیش‌تیمار با اسید سولفوریک نه تنها منجر به بهبود جوانه‌زنی نشد بلکه اثرات منفی نیز بر جا گذاشت، می‌توان نتیجه گرفت که در صورت وجود خواب در بذرهای زرین گیاه، این خواب از نوع فیزیکی نیست.

بذرهای طیف وسیعی از خانواده‌های گیاهان از جمله گیاهان خانواده نعناع تولید موسیلاژ می‌کنند (رایدینگ[2]، ۲۰۰۱). تولید موسیلاژ با نقش‌های مختلفی از جمله تسهیل جذب آب توسط بذر، نگهداری و آب‌رسانی به بذر و تنظیم جوانه‌زنی در بسیاری گیاهان، موجب سازگاری و بهبود پراکنش آن‌ها می‌شود (رایدینگ، ۲۰۰۱؛ وسترن[3]، ۲۰۱۲). تسهیل در جذب آب توسط بذر و تأثیر در جوانه‌زنی در شرایط غرقاب نیز از مهم‌ترین نقش‌های موسیلاژ در بذرهای حاوی آن به شمار می‌رود. از این رو، ممکن است موسیلاژ نقش مهمی در تسهیل جذب آب و رساندن آن به جنین در حال جوانه‌زدن داشته باشد (رایدینگ ، ۲۰۰۱). با وجود اینکه نقش موسیلاژ در بذرهای گیاهان مختلف تحت شرایط تنش آبی یا شوری مؤثر گزارش شده است (وسترن، ۲۰۱۲) اما نشان داده شده که بذرهای جهش یافته که قادر به تولید موسیلاژ نبودند در شرایط عدم محدودیت آب نیز از جوانه‌زنی کندتری برخوردارند، این مسأله در جهش‌های مضاعف که با شدت بیشتری تولید موسیلاژ را کاهش می‌دهد، تشدید می‌شود. مطالعات اولیه در مورد بذرهای جهش یافته نشان می‌دهد که کاهش تولید موسیلاژ، جذب آب را کند و یا کاهش می‌دهد (ارسوسکی[4] و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه بر این، بسیاری از موتانت‌ها، جوانه‌زنی کندتری در شرایط عدم محدودیت آب داشتند (وسترن، ۲۰۱۲، ارسوسکی و همکاران، ۲۰۰۹). بنا بر مشاهدات صورت گرفته در این آزمایش، دلیل احتمالی دیگر می‌تواند از بین بردن لایه تولید کننده موسیلاژ توسط اسید سولفوریک باشد که به احتمال زیاد با از بین بردن نقش مهم این لایه، در جوانه‌زنی بذر اختلال ایجاد می‌کند. البته بررسی‌های بیشتر در این مورد با توجه به اهمیت قابل توجه در جوانه‌زنی بذر این گیاه، ضروری به نظر می‌رسد.

روند متفاوتی در پاسخ گیاهان به پیش‌تیمار با غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک مشاهده شده است. نتایج آزمایش ما برهم‌کنش معنی‌دار اسید جیبرلیک و دماهای مختلف را نشان داد. براساس نتایج، در دمای اتاق کاربرد اسید جیبرلیک در بهبود جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد اولیه مشهود بود در حالی‌که در شرایط اعمال سرما، اسید جیبرلیک موجب بهبود معنی‌دار جوانه‌زنی نشد. با این وجود، به‌نظر می‌رسد بین غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک نیز تفاوت معنی‌داری

[1] Yücel
[2] Ryding
[3] Western
[4] Arsovski

در این مطالعه در واکنش به دما وجود داشت و غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط دمای اتاق کارایی بهتری نشان داد (شکل‌های ۲ و ۵). با توجه به اثر منفی سرمادهی بر جوانه‌زنی زرین گیاه، به‌نظر می‌رسد در صورت نیاز به شکست خواب فیزیولوژیکی، کاربرد غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید جیبرلیک می‌تواند در این زمینه مفید واقع شود. در بسیاری گیاهان، پاسخ به اسید جیبرلیک به گونه گیاهی، غلظت اعمال شده، زمان پیش‌تیمار و شرایط و عوامل دیگر مورد بررسی در آزمایش بستگی دارد. به‌عنوان مثال، در حالی که تیمار با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری در جوانه‌زنی ایجاد نکرد، کاربرد غلظت‌های ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر موجب کاهش در سرعت جوانه‌زنی زرین گیاه نسبت به شاهد شد (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱). در مطالعه واکنش جوانه‌زنی بذر *Dracocephalum parviflorum* به سطوح ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک، گزارش شد که کاربرد اسید جیبرلیک منجر به افزایش جوانه‌زنی بذرها نسبت به شاهد شده که بهترین نتایج از غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد (ون ولدهیزن و نایت ، ۲۰۰۶) در بررسی پاسخ دو گیاهان دارویی باریجه (*Ferula gummosa*) از تیره چتریان و مریم نخودی (*Teucrium Polium*) از تیره نعناع، گزارش شد که در غلظت‌های کمتر اسید جیبرلیک، جوانه‌زنی هر دو گونه کمتر بود. در باریجه، پیش تیمار با غلظت‌های کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر منجر به جوانه‌زنی نشد و بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در محدوده غلظت ۲۵۰۰-۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد در حالی‌که، برای مریم نخودی، بالاترین درصد جوانه‌زنی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد و افزایش غلظت، اثر معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی نداشت (نجفی و همکاران، ۲۰۰۶). در آزمایشی، نتایج حاصل از تأثیر اسید جیبرلیک بر گیاه کلپوره (*Teucrium polium*) نشان داد که درصد جوانه‌زنی در غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش داشته، در صورتی که غلظت‌های کم تاثیری بر شکست خواب بذر این گیاه نداشتند (چاکرابوتی و همکاران، ۲۰۰۳).

تلقیح با میکوریزا به عنوان یک روش پیش تیمار زیستی باعث بهبود روند جوانه‌زنی در گونه‌های مختلف گیاهان ارکیده شده است (الغمدی، ۲۰۱۹، ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰). یافته‌های این مطالعه نیز این فرضیه را تأیید می‌کند که میکوریزا با بهبود جوانه‌زنی و افزایش سرعت رشد گیاه بر رشد اولیه گیاه تأثیر چشم‌گیری دارد. با این حال، عوامل فیزیولوژیکی مؤثر در مورد این اثر به‌خوبی شناخته نشده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

از آنجا که رشد اولیه و شاخص بنیه گیاهچه از مهم‌ترین شاخص‌ها برای استقرار سریع و یکنواخت گیاه در مزرعه می‌باشند، جوانه‌زنی و رشد سریع در برنامه‌های اهلی‌سازی حائز اهمیت فراوانی است. رشد اولیه و بنیه گیاهچه در تیمارهای کاربرد اسید جیبرلیک در دمای اتاق و همچنین در شرایط عدم پیش‌تیمار شیمیایی و کاربرد میکوریزا به‌طور قابل توجهی بهبود یافت که این می‌تواند به دلیل سرعت جوانه‌زنی بالا و استفاده از انرژی بذر برای رشد اولیه گیاهچه باشد. در مطالعه فتاحی و همکاران (۲۰۱۱)، بیشترین طول و بنیه گیاهچه زرین گیاه در تیمارهای خراش‌دهی حاصل شد. با توجه به اثر قابل توجه این تیمارها بر شاخص‌های جوانه‌زنی، می‌توان نتیجه گرفت که بهبود در جوانه‌زنی می‌تواند منجر به افزایش طول و بنیه گیاهچه شود. در مطالعه حاضر نیز اثر قابل توجه میکوریزا بر طول و شاخص بنیه گیاهچه نیز با اثر بهبود دهندگی آن بر شاخص‌های جوانه‌زنی مرتبط بود (شکل‌های ۶ و ۸). از طرف دیگر، جدا از اثر بر میزان جوانه‌زنی، اثر سویه‌های مختلف میکوریزا بر افزایش رشد گیاهچه نیز گزارش شده است. در مطالعه اثر سویه‌های مختلف بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه ارکیده، گزارش شد که حتی سویه‌هایی که اثر کمتری بر جوانه‌زنی داشتند رشد گیاهچه را نسبت به شاهد افزایش دادند. علاوه بر این، سویه‌های مختلف مورد بررسی، رشد اولیه و تولید ماده خشک گیاه را نیز بهبود دادند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰). با این حال، کارایی میکوریزا در برهمکنش با دماهای مختلف و شرایط پیش‌تیمار با اسید سولفوریک متفاوت بود (شکل‌های ۶ و ۷) که نیازمند بررسی بیشتر است. تحقیقات بیشتر در مورد نقش قارچ‌های میکوریزا

در جوانه‌زنی با توجه به عدم وجود گزارش‌های علمی در این زمینه می‌تواند بینشی در مورد جوانه‌زنی و رشد و نمو گیاهچه فراهم کند.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاکی از آن بود که تیمار هورمونی و دما تاثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی داشت و جوانه‌زنی با کاربرد غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک در دمای اتاق درصد جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه را بهبود داد. روند مشاهده شده جوانه‌زنی در آب مقطر نیز به طور کلی نسبت به پیش‌تیمار با اسید سولفوریک برتری معنی‌داری نشان داد. بنابراین، به نظر می‌رسد خواب بذر این گیاه از نوع فیزیولوژیک باشد. علاوه بر این، نتایج این مطالعه مشاهدات قابل توجهی را در برتری حدود ۱۵۰-۴۶ درصدی در جوانه‌زنی و تولید گیاهچه‌های با بنیه چندین برابر قوی‌تر نشان داد که می‌تواند در زمینه مطالعات بیشتر در بهبود جوانه‌زنی و استقرار زرین گیاه در شرایط آزمایشگاهی، گلخانه و مزرعه مورد توجه قرار گیرد.

منابع

Alghamdi, S.A. 2019. Influence of mycorrhizal fungi on seed germination and growth in terrestrial and epiphytic orchids. Saudi Journal of Biological Sciences, 26(3): 495-502. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.10.021

Amirghofran, Z., Azadbakht, M. and Karimi, M.H. 2000. Evaluation of the immunomodulatory effects of five herbal plants. Journal of Ethnopharmacology, 72(1-2): 167-172. https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00234-8

Arsovski, A.A., Villota, M.M., Rowland, O., Subramaniam, R. and Western, T.L. 2009. Mum Enhancers are important for seed coat mucilage production and mucilage secretary cell differentiation in Arabidopsis thaliana. Journal of Experimental Botany, 60: 2601-2612. https://doi.org/10.1093/jxb/erp102

Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. Seed Science Research, 14(1): 1-16. https://doi.org/10.1079/SSR2003150

Bhatt, A., Gairola, S. and El-Keblawy, A.A. 2016. Seed colour affects light and temperature requirements during germination in two Lotus species (Fabaceae) of the Arabian subtropical deserts. Revista de Biología Tropical, 64(2): 483-492. https://doi.org/10.15517/rbt.v64i2.18575

Brändel, M. 2006. Effect of temperatures on dormancy and germination in three species in the Lamiaceae occurring in northern wetlands. Wetlands Ecology and Management, 14(1): 11-28. https://doi.org/10.1007/s11273-005-1548-5

Chakraborty, D., Bhattacharya, K., Bandyopadhyay, A. and Gupta, K. 2003. Studies on the germination behavior of *Basilicum polystachyon*-an ethnobotanically important medicinal plant. Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 25: 58-62.

Chang, Y.D., Lee, C.H. Song, J.S. and Hwang, J.K. 2009. Several factors affecting on seed germination of *Dracocephalum argunense* Fischer ex Link. Korean Journal of Plant Resources, 22(3): 236-241.

Dadaşoğlu, E. and Özer, H. 2014. Effects of different temperatures and gibberellic acid (GA3) doses on germination of Salvia species. Zeitschrift für Arznei-& Gewürzpflanzen, 19(1): 47-51.

Fattahi, M., Nazeri, V., Sefidkon, F., Zamani, Z. and Palazon. J. 2011. The effect of pre-sowing treatments and light on seed germination of Dracocephalum kotschyi Boiss: An endangered medicinal plant in Iran. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 52: 559-566. https://doi.org/10.1007/s13580-011-0057-0

Ghadiri, H. and Bagherani, T.N. 2000. Effects of scarification and temperature on germination of licorice *Glycyrrhiza glabra* L. seeds. Journal of Agricultural Science and Technology 2: 257-262.

Ghahraman, A. 2000. Colored flora of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran. [In Persian].

Gutowski, V. 2015. The effect of mycorrhizae on seed germination, development, and reproductive yield of Rapid Gro Radish. Essai, 13(1): 18.

Hatami, M., Samadi, M. and Khanizadeh, P. 2019. Effect of different treatments on breaking seed dormancy and stimulate germination in dragonhead *Dracocephalum kotschyi* Boiss. Iranian Journal of Range and Desert Research, 26: 918-931. [In Persian with English Summary].

Jalili, A. and Jamzad, Z. 1999. Red data book of Iran; a preliminary survey of endemic, rare and endangered plant species in Iran; Research Institute of Forest and Rangelands; Ministry of Jahad-e Sazandegi. Tech, 215, 748. [In Persian].

Khajeh-Hosseini, M., Rashed-Mohassel, M., Mahmoodi, P. and Emamipoor, Y. 2018. 'The effect of gibberellic acid and potassium nitrate on seed dormancy of fourteen medicinal plant species (Lamiaceae)'. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 7(1): 233-242. [In Persian with English Summary].

Mao, P.S., Wang, Y.H., Wang, X.G., Lian, J.J. and Huang, Y. 2008. Conditions and Stimulation for Germination in *Glycyrrhiza uralensis* Fisch Seeds. Agricultural Sciences in China, 7: 1438-1444. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60400-9

Nadjafi, F., Bannayan, M., Tabrizi, L. and Rastgoo, M. 2006. Seed germination and dormancy breaking techniques for *Ferula gummosa* and *Teucrium polium*. Journal of Arid Environments, 64(3): 542-547. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.009

Pinker, I.M., Degischer, T., Rath, A.C. and Schenk, R. 2021. Encouraging of embryo development and seed germination in *Actaea racemosa* L. by gibberellic acid. European Journal of Horticultural Science, 86(1): 5-13. https://doi.org/10.17660/eJHS.2021/86.1.1

Ryding, O. 2001. Myxocarpy in the *Nepetoideae Lamiaceae* with notes on myxodiaspory in general. Systematics and Geography of Plants, 71: 503-514. https://doi.org/10.2307/3668696

Van Veldhuizen, B. and Knight, C. 2006. Dragonhead mint *Dracocephalum parviflorum* Nutt. as a potential agronomic crop for Alaska. Agricultural and Forestry Experiment Station, School of Agriculture and Land Resources Management, University of Alaska Fairbanks.

Western, T.L. 2012. The sticky tale of seed coat mucilages: production, genetics, and role in seed germination and dispersal. Seed Science Research, 22: 1-25. https://doi.org/10.1017/S0960258511000249

Yücel, E. 2000. Effects of different salt NaCl, nitrate KNO3 and acid H_2SO_4 concentrations on the germination of some *Salvia* species seeds. Seed Science and Technology, 28: 853-860.

Yücel, E. and Yilmaz, G. 2009. Effects of different alkaline metal salts NaCl, KNO_3, acid concentrations H_2SO_4 and growth regulator GA_3 on the germination of *Salvia cyanescens* Boiss. and Bal. seeds. Gazi University Journal of Science, 22: 123-127.

Yücel, E., Duran, A., Cengiz, T.Ü.R.E., Böcük, H. and Özaydin, B. 2008. Effects of different salt NaCl, nitrate KNO_3 and acid HCl and H_2SO_4 concentrations on the germination of some Hesperis species seeds. Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma, 1: 91-104.

Zhang, Y., Li, Y.Y., Chen, X.M., Guo, S.X. and Lee, Y.I. 2020. Effect of different mycobionts on symbiotic germination and seedling growth of *Dendrobium officinale*, an important medicinal orchid. Botanical Studies, 61: 1-10. https://doi.org/10.1186/s40529-019-0278-6

Iranian Journal of Seed Research, 2023, 9(2): 177-190

Short Research Paper

Germination response of *Dracocephalum kotschyi* to sulfuric acid pretreatment, gibberellic acid, and mycorrhiza at different temperatures

Marzieh Besharati-Far[1, *], Gholamreza Khajoei-Nejad[2], Enayatollah Tohidi-Nejad[2] and Jalal Ghanbari[2]

Extended Abstract

Introduction: The application of different physical, chemical, and hormonal treatments mainly improves the germination of plants such as *Dracocephalum kotschyi* Boiss that have a seed dormancy mechanism. However, the interaction effects of germination, temperature, pretreatment with sulfuric acid, treatment with gibberellic acid and mycorrhiza on *D. kotschyi* germination have not been studied. Therefore, this experiment was performed *in vitro* to study the effect of seed pretreatment on improvement of germination characteristics of *D. kotschyi* seed.

Materials and Methods: The treatments studied in this experiment included (1) pretreatment of seed coat with sulfuric acid (97-95 %, for 10 min) and non-pretreatment (distilled water); (2) different treatments including treatments with concentrations of 0, 250, and 500 mg L^{-1} gibberellic acid (GA) or inoculation with mycorrhiza suspension in two separate experiments; and (3) two temperature treatments; room and refrigerator (about 4 °C) temperatures. The experiment was performed as a factorial based on a completely randomized design with four replications and different germination and initial seedling growth indices were examined.

Results: Gibberellic acid application at room temperature resulted in a significant increase in germination percentage and rate, whereas there was no significant difference between different levels of gibberellic acid and control at 4 °C. Similarly, the application of 250 mg L^{-1} GA improved seedling length and seedling vigor index at room temperature. While pretreatment with sulfuric acid significantly reduced germination and seedling growth indices compared to non-pretreatment, inoculation with mycorrhiza suspension in both pretreatment conditions compensated the germination reduction caused by sulfuric acid pretreatment by improving germination. Similarly, while the highest seedling length and vigor were obtained from mycorrhizal treatment at room temperature in non-pretreatment with sulfuric acid, at 4 ° C, inoculation with mycorrhiza also significantly reduced the loss in seedling length and seedling vigor index caused by sulfuric acid application.

Conclusion: According to the findings, it seems that the application of 250 mg L^{-1} GA at room temperature can be considered to improve the germination trend of *D. kotschyi*. Also, according to the results, treatment with mycorrhiza in sulfuric acid-free treatment at room temperature can be recommended as optimal conditions to improve the germination of *D. kotschyi*.

Keywords: Chemical scarification, Germination trend, Hormonal and biological treatments, Seedling vigor, Temperature treatment

Highlights:

1- The interaction effect of chemical pretreatment with biological and hormonal treatments on the germination of *Dracocephalum kotschyi* was investigated.
2- The application of gibberellic acid at room temperature improved germination compared to the control, whereas it had no effect on germination at 4 °C.
3- Application of mycorrhiza reduced germination loss caused by pretreatment with sulfuric acid and led to maximum germination and seedling growth.

[1] M.Sc. Student in Agronomy- Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[2] Department of Plant Production and Genetics, Research and Technology Institute of Plant Production, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

*Corresponding author, E-mail: Khajoei@uk.ac.ir

(Received: 10.11.2021; Accepted: 01.22.2022)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1401.9.2.10.3

DOI: 10.61186/yujs.9.2.177