پژوهش‌های بذر ایران/ سال دهم/ شماره اول/ ۱۴۰۲/ صفحات: ۱۹۳-۱۷۵

مقاله کوتاه پژوهشی

شاخص‌های جوانه‌زنی و ویژگی‌های ریخت‌شناسی گیاهچه‌های پروانش (*Catharanthus roseus*) تحت تأثیر پیش‌تیمار هورمونی و تنش خشکی

مرضیه عباباف[1*]، حشمت امیدی[2]، عبدالمهدی بخشنده[3]

چکیده مبسوط

مقدمه: راهبردهای مختلفی جهت بهبود رشد و بهره‌وری گیاه از طریق رهیافت‌های ژنتیکی، مهندسی ژنتیک و اصلاح استفاده شده است. بااین‌حال، با توجه به امکان‌سنجی اقتصادی و سهولت کاربرد، فناوری پرایمینگ به‌عنوان «کاهش‌دهنده تنش» می‌تواند زمینه وسیعی را در تولیدات کشاورزی ایجاد کند. هدف از این پژوهش ارزیابی توانایی پیش‌تیمار بذر پروانش با هورمون‌های گیاهی اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک تحت تنش خشکی جهت کاهش تأثیر محدودیت آب در طول دوره جوانه‌زنی است.

مواد و روش‌ها: دو آزمایش جداگانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد تهران اجرا گردید. در آزمایش اول تیمارهای مورد استفاده شامل پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در دو سطح (۰/۵ و ۱ میلی مولار)، مدت‌زمان پیش‌تیمار در دو سطح (۲۴ و ۴۸ ساعت) و تنش خشکی با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ در ۶ سطح (صفر، ۰/۱-، ۰/۵-، ۱-، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال) بود. در آزمایش دوم تیمارها شامل اسید جاسمونیک (۱۰ میکرومولار)، مدت‌زمان پیش‌تیمار در دو سطح (۱۲ و ۲۴ ساعت) و تنش خشکی در شش سطح (صفر، ۰/۱-، ۰/۵-، ۱-، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال) بود. در هر دو آزمایش بذرهای خشک (بدون پیش‌تیمار) به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: در این پژوهش تیمارهای خشکی ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال آزمایش اول و ۱-، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال آزمایش دوم هیچ گونه جوانه‌زنی نداشتند. پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک موجب بهبود درصد جوانه‌زنی بذرها شد. به‌طوری که در آزمایش اول بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۷/۳۳)، در شرایط بدون تنش خشکی، با اعمال ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در زمان ۴۸ ساعت مشاهده شد، که نسبت به تیمار شاهد ۱۲/۲ درصد افزایش داشت. در تنش خشکی ۰/۱- و ۰/۵- مگاپاسکال، تیمار ۰/۵ میلی‌مولار با ۲۴ ساعت پیش‌تیمار بیشترین درصد جوانه‌زنی را نشان داد؛ ولی در تنش ۱- مگاپاسکال، تیمار ۰/۵ میلی‌مولار و ۴۸ ساعت نسبت به دیگر تیمارهای اسید سالیسیلیک و زمان برتر بود. در آزمایش دوم بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۸/۳) در غلظت ۱۰ میکرومولار اسید جاسمونیک در طی ۲۴ ساعت پیش‌تیمار در شرایط عدم تنش خشکی بود، که نسبت به تیمار شاهد ۴۰/۴ درصد افزایش نشان داد.

نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق حاضر اهمیت اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک را در مرحله جوانه‌زنی بذر هنگام مواجهه با تنش خشکی نشان داد. پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک اثرات مضر وارده بر جوانه‌زنی و رشد را که در حضور تنش خشکی ایجاد شده بود، بهبود بخشید. فرایند انطباق به تنش که توسط اسید جاسمونیک شروع شده، می‌تواند به‌پیش تیمار با اسید جاسمونیک قبل از اعمال خشکی نسبت داده شود.

واژه‌های کلیدی: اسید جاسمونیک، اسید سالیسیلیک، پروانش، پرایمینگ، فیتوهورمون

جنبه‌های نوآوری:

۱- تأثیر پیش‌تیمار بذر پروانش با فیتوهورمون‌های اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک بر خصوصیات جوانه‌زنی بذرها تحت تنش خشکی بررسی شد.

۲- پیش‌تیمار بذر پروانش با اسید سالیسیلیک منجر به افزایش درصد و بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذر پروانش تحت تنش خشکی شد.

[1] دکترا، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه شاهد، تهران

[2] دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه شاهد، تهران

[3] استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رامین، ملاثانی، خوزستان

[*]رایانامه نویسنده مسئول: m.ababaf@gmail.com

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1402.10.1.11.9

DOI: 10.61186/yujs.10.1.175

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵)

مقدمه

پرایمینگ یک فناوری جایگزین برای غلبه بر محدودیت‌های محیطی است و به‌عنوان راهکاری برای افزایش پتانسیل تحمل به تنش در گیاهان عمل می‌کند (توماس[1] و پوتور، ۲۰۲۰). به‌طورکلی پیش‌تیمار بذر یک روش ساده، پایدار، کم‌هزینه و کم‌خطر است که با فعال‌سازی فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی، جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه را افزایش می‌دهد. هم‌چنین پتانسیل بسیار زیادی برای افزایش تحمل گیاه به خشکی و افزایش بهره‌وری دارد. پیش‌تیمار، سازوکارهای مولکولی را از طریق افزایش بیان ژن‌ها و پروتئین‌های مختلف مرتبط با تنش، تنظیم می‌کند که موجب واکنش سریع در برابر تنش و تحمل به آن می‌شود (فاروق[2] و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده گیاهچه‌هایی که از بذرهای پرایم شده تولید شده‌اند دارای جوانه‌زنی زودهنگام و یکنواخت هستند، و به‌طورکلی در خصوصیات مختلف رشدی‌شان در طول رشد بهبود مشاهده شد (خالکی[3] و همکاران، ۲۰۲۱). روش‌های مختلف پیش‌تیمار بذر مانند هیدروپرایمینگ، اسموپرایمینگ، هالوپرایمینگ، هورمون پرایمینگ، پرایمینگ UV-B و پرایمینگ شیمیایی باعث ایجاد تنش خفیف روی گیاهان می‌شود و در نتیجه ژن‌ها و پروتئین‌های پاسخ‌دهنده به تنش مانند پروتئین‌های LEAs را فعال می‌کنند که به‌طور بالقوه باعث القای تحمل به تنش خشکی می‌شود (سن و پاچور[4] ، ۲۰۲۰). پرایمینگ هورمونی شامل استفاده از فیتوهورمون‌ها یا تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه در محیط پرایمینگ است. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در بهبود عملکرد محصول در شرایط رشد بهینه و غیر بهینه مؤثر بوده‌اند. هورمون‌ها توسط عامل‌های رونویسی مشخصی تنظیم می‌شوند که پیچیدگی تنظیم جوانه‌زنی بذر و شبکه ژن‌های درگیر در پاسخ به تنش را برای اطمینان از جذب آب و خروج ریشه نشان می‌دهد (الاه[5] و همکاران، ۲۰۱۹).

گیاه پروانش با نام علمی *Catharanthus roseus* (L.) G. Don یکی از اعضای خانواده آپوسیناسه[6] است که به دلیل ارزش زینتی و خواص دارویی‌اش به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. این گیاه به دلیل داشتن بیش از ۲۰۰ آلکالوئید به‌طور وسیعی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (آجارچی[7] و همکاران، ۲۰۲۲). محدودیت‌هایی مرتبط با تکثیر این گیاه از طریق بذر پروانش وجود دارد؛ مانند بنیه کم بذرها، سرعت جوانه‌زنی کم و تنوع ایجاد شده به دلیل تلاقی طبیعی، که بر ترکیب متابولیت ثانویه و کیفیت گیاه تأثیر می‌گذارد. به‌طورکلی رشد و عملکرد گیاه تحت تنش‌هایی مانند شوری (خشکی و غیره) کاهش می‌یابد (قاسمی[8] و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، چندین رویکرد برای افزایش تولید و رشد گیاه اتخاذ شده است.

قرار گرفتن در معرض تنش خشکی، بطور مستقیم بر متابولیسم، توسعه و بهره‌وری گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (عبدالغنی[9] و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش‌های مختلفی در مورد دستیابی به پتانسیل تحمل به خشکی در گیاهان از بذرهای پرایم شده محصولات گیاهی مهم پدید آمد. اما، بر اساس دانش ما، هیچ داده‌ای در مورد بهبود رشد و جوانه‌زنی بذر *C. roseus* تحت تنش خشکی با استفاده از روش‌های پیش‌تیمار آزمایش شده در این تحقیق وجود ندارد.

اسید سالیسیلیک (SA) یک ترکیب فنلی طبیعی و تنظیم‌کننده رشد گیاه (فیتوهورمون) است که نقش‌های تنظیمی مختلفی در متابولیسم و بهبود تحمل گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی مختلف مانند شوری، خشکی و دماهای شدید دارد. هم‌چنین نقش مختلفی در رشد گیاه و فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند جوانه‌زنی بذر ایفا می‌کند. پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک به‌عنوان روشی با پتانسیل بهبود جوانه‌زنی بذر در شرایط نامطلوب توصیف شده است (میائو[10] و همکاران، ۲۰۲۰).

مشتقات اسید جاسمونیک (JA) به‌طور گسترده به‌عنوان یک عامل پرایمینگ برای کاهش تنش‌های

[1] Thomas and Puthur
[2] Farooq
[3] Khalaki
[4] Sen and Puthur
[5] Ullah

[6] Apocynaceae
[7] Acharjee
[8] Ghasemi
[9] Abdel-Ghany
[10] Miao

غیرزنده استفاده می‌شود (رحمان[1] و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است که اسید جاسمونیک و متیل جاسمونات (MeJA)، تنظیم‌کننده‌های درونی رشد گیاه هستند که نقش مهمی در تنظیم پاسخ گیاه به تنش و رشد دارند (کریلمن و مولت[2]، ۱۹۹۷). مطالعات اخیر نشان داد که کاربرد اسید جاسمونیک و متیل جاسمونات به‌صورت خارجی، توانایی آنتی‌اکسیدانی گیاهان را در شرایط کمبود آب افزایش می‌دهند. علاوه بر این، گزارش شده است که اسید جاسمونیک، زمانی که به‌صورت خارجی در مقادیر کم استفاده شود، تحمل گیاه را به تنش‌های غیرزیستی افزایش می‌دهد (علم[3] و همکاران، ۲۰۱۴).

جاسمونات‌ها در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند جوانه‌زنی بذر به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاه عمل می‌کنند. پریکارپ‌های ساختار جنسی به‌ویژه تخمدان و ناحیه طویل شدن ریشه و ساقه، میزان بالایی از جاسمونات دارند. اسید جاسمونیک به‌عنوان یک پیام مولکولی در پاسخ به محرک‌های خارجی مانند زخم، نیروی مکانیکی و تنش اسمزی عمل می‌کند (مولینا[4] و همکاران، ۲۰۰۲). در گیاه جو، گزارش شده است که اسید جاسمونیک درونی به‌طور معنی‌داری اثر تنش خشکی را با کمک اسیدهای چرب و لیپیدها کاهش می‌دهد. اسید جاسمونیک می‌تواند تحمل به تنش خشکی را در گیاهان با تسریع فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و مواد تنظیم‌کننده اسمزی تنظیم کند (شیونگ[5] و همکاران، ۲۰۲۰). اسموپرایمینگ بذر چغندرقند با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول و تنظیم‌کننده‌های سنتزی رشد گیاه (متیل جاسمونات و اسید استیل سالیسیلیک)، موجب جوانه‌زنی سریع و یکنواخت و رشد بهتر گیاهچه در چغندرقند در شرایط دمای پایین (تنش سرما) شد که اهمیت روش پیش‌تیمار بذر پیش از کاشت برای جوانه‌زنی و تحمل به تنش را تقویت می‌کند (گواهی[6] و همکاران، ۲۰۰۸).

مسیرهای پیام‌رسانی فیتوهورمون‌ها (اسید آبسیزیک، اتیلن و اسید جاسمونیک) در طول دوره تنش خشکی همراه با فعالیت عامل‌های رونویسی القا شده توسط تنش خشکی (TFs)، فعال می‌شوند و ممکن است تحمل به خشکی را در گیاهان افزایش دهند (وو[7] و همکاران، ۲۰۱۹).

خشکی یک تنش بزرگ است که به‌طور قابل‌توجهی رشد و عملکرد گیاهان دارویی را در سراسر جهان کاهش می‌دهد. اگرچه اثرات مفید پیش‌تیمار بذر در تحمل خشکی در بسیاری از گیاهان به‌خوبی بررسی شده است؛ با این حال، مطابق بررسی‌های ما، هیچ اطلاعاتی در مورد بهبود رشد گیاهچه پروانش تحت تنش خشکی با استفاده از روش‌های پیش‌تیمار آزمون شده در پژوهش حاضر در تحقیقات گزارش شده پیشین، وجود ندارد. از سوی دیگر انتخاب دستورکار پیش‌تیمار مناسب، برای گیاه پروانش در مورد جوانه‌زنی و رشد در شرایط تنش بسیار مهم است. بنابراین، هدف مطالعه حاضر، ارزیابی توانایی پیش‌تیمار بذر پروانش با اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک در سطوح مختلف خشکی، جهت کاهش تأثیر محدودیت آب در طول جوانه‌زنی بود. برای آزمون این فرضیه، آزمایش‌های جوانه‌زنی بذر در سطوح مختلف تنش خشکی انجام و شاخص‌های جوانه‌زنی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها به طور جداگانه برای هر هورمون تحت شرایط تنش خشکی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد تهران اجرا گردید. در این آزمایش با توجه به نتایج آزمایش قبل و پس از تعیین مطلوب‌ترین زمان و غلظت فیتوهورمون‌ها جهت پیش‌تیمار بذر، بهترین تیمارها انتخاب شدند (عباباف[8] و همکاران، ۲۰۲۱).

بذرهای تهیه‌شده از شرکت مزرعه سبز نمین به مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۷۰ درصد غوطه‌ور شده و پس از آن سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند. سپس با

[1] Rhaman
[2] Creelman and Mullet
[3] Alam
[4] Molina
[5] Xiong
[6] Govahi
[7] Wu
[8] Ababaf

هیپوکلریت سدیم تجاری (۲/۵ درصد) به مدت ۱۵ دقیقه ضدعفونی شده و دوباره با آب مقطر شسته شدند.

تیمارهای مورد مطالعه در این پژوهش شامل پیش‌تیمار بذر با فیتوهورمون‌های اسید سالیسیلیک (۰/۵ و ۱ میلی مولار) در مدت زمان (۲۴ و ۴۸ ساعت)، اسید جاسمونیک (۱۰ میکرومولار) در مدت زمان (۱۲ و ۲۴ ساعت) و تنش خشکی (صفر، ۰/۱-، ۰/۵-، ۱-، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال) با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ بود. بذرهای خشک (بدون پیش‌تیمار) به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. بذرها پس از ضدعفونی، با مطلوب‌ترین غلظت و زمان پیش‌تیمار به‌دست‌آمده از آزمایش قبل در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در تاریکی پیش‌تیمار شدند. سپس با آب مقطر شسته شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا به رطوبت اولیه بذر رسیدند (اقبال و اشرف[1]، ۲۰۰۷). تعداد ۵۰ عدد بذر در هر پتری قرار گرفت و ۵ میلی‌لیتر محلول پلی‌اتیلن گلیکول برای دست‌یابی به سطوح مختلف تنش خشکی به آن‌ها اضافه شد. جهت اعمال تنش خشکی از پلی‌اتیلن گلیکول طبق معادله (میشل و کافمن[2]، ۱۹۷۳) استفاده شد.

رابطه ۱:

$$\psi_s = -(1.018\times 10^{-2})\,C - (1.18\times 10^{-4})\,C^2 + (2.67\times 10^{-4})\,CT + (8.39\times 10^{-7})\,C^2T$$

ψ_s : پتانسیل اسمزی (بار)

C : غلظت PEG (گرم در لیتر)

T : دمای محیط (سلسیوس)

به‌منظور جلوگیری از کاهش رطوبت، درِ پتری‌ها با پارافیلم بسته شد. پتری‌ها در ژرمیناتور در دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس با رطوبت ۷۰ درصد و نوردوره ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی به مدت ۹ روز قرار داده شدند (امیرجانی[3]، ۲۰۱۵). شمارش بذرهای جوانه‌زده از روز دوم به‌صورت روزانه در ساعت مشخصی انجام شد. تعداد بذرهای جوانه‌زده (با طول ریشه‌چه حداقل دو میلی‌متر) روزانه شمارش و یادداشت شد. در پایان آزمایش شاخص‌های جوانه‌زنی مطابق روابط ۲-۶ اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفتند.

رابطه ۲: $GP= (\Sigma n/N) \times 100$ درصد جوانه‌زنی

رابطه ۳: $GS= \Sigma (ni/ti)$ سرعت جوانه‌زنی

رابطه ۴: $MGT= \Sigma (niti)/\Sigma n$ میانگین زمان جوانه‌زنی

Σn: مجموع کل بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش، N: کل بذرهای کاشته شده، ti: مدت زمان از ابتدای آزمایش تا مشاهده در روز i آم، ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز i آم.

رابطه ۵:

وزن خشک گیاهچه (mg)×قابلیت جوانه‌زنی = شاخص وزنی بنیه بذر

رابطه ۶:

میانگین طول گیاهچه (cm)×قابلیت جوانه‌زنی =شاخص طولی بنیه بذر

داده‌های هر آزمایش جداگانه با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.2 تجزیه و مقایسه میانگین داده‌های هر آزمایش با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و رسم شکل‌ها با استفاده از اکسل نسخه ۲۰۱۳ انجام شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک در زمان‌های مورد مطالعه تحت تنش خشکی، نشان داد که بذرهای پرایم شده درصد جوانه‌زنی بالاتری دارند (جدول ۱). با افزایش سطح تنش خشکی، کاهش معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی تمام بذرها دیده شد. در بررسی جوانه‌زنی پروانش تحت تنش نیز گزارش شده که با افزایش سطح تنش درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (رضایی[4] و همکاران، ۲۰۱۴). بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۷/۳۳)، در شرایط بدون تنش خشکی، با اعمال ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در زمان ۴۸ ساعت مشاهده شد، که نسبت به تیمار شاهد ۱۲/۲ درصد افزایش داشت. در تنش خشکی ۰/۱- و ۰/۵- مگاپاسکال، تیمار ۰/۵ میلی‌مولار با ۲۴ ساعت پیش‌تیمار بیشترین درصد جوانه‌زنی را نشان داد؛ ولی در تنش ۱- مگاپاسکال،

[1] Iqbal and Ashraf
[2] Michel and Kaufmann
[3] Amirjani
[4] Rezaei

جدول ۱. مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک و مدت زمان تحت تنش‌های مختلف خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی پروانش

Table 1. Mean comparison for the interaction of different levels of priming with SA and time under drought stress on *Catharanthus* seed germination indices

اسید سالیسیلیک میلی مولار Salicylic acid (mM)	زمان ساعت Time Hour	خشکی مگاپاسکال Drought (MPa)	درصد جوانه‌زنی (درصد) Germination percentage (%)	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز) Mean of germination (day)	سرعت جوانه‌زنی(بذر در روز) Germination rate (Seed/day)	شاخص وزنی بنیه بذرSeed weight vigor index	شاخص طولی بنیه بذر Seed length vigor index
0	-	0	86.67±1.3^{bc}	2.94±0.06^{bc}	8.65±0.15^{bcd}	66.52±3.4^{de}	353.87±14.8^{de}
		-0.1	73.33±1.3^{d}	3±0.11^{bc}	7.33±0.23^{f}	49.43±2.69^{f}	269.07±4.06^{gh}
		-0.5	52±2.3^{e}	2.8±0.21^{bcd}	5.45±0.06^{g}	29.2±0.53^{gh}	173.01±9.2^{j}
		-1	12±0^{i}	3.67±0^{a}	0.83±0^{j}	5.76±0.14^{ij}	34.64±2.3^{mn}
0.5	24	0	86.67±1.3^{bc}	2.64±0.11^{bcd}	8.87±0.17^{bcd}	69.57±8.9^{cd}	357.6±14de
		-0.1	86.67±1.3^{bc}	2.66±0.1^{bcd}	9.18±0.22^{bc}	90.13±2.4^{a}	390.69±11.2^{bc}
		-0.5	82.67±3.5c	2.89±0.25^{bcd}	8.19±0.69^{de}	89.73±4.4^{a}	407.24±19.6^{b}
		-1	26.67±1.3g	2.75±0.29^{bcd}	2.24±0.17^{i}	22.13±0.7^{h}	90.37±4. 1^{l}
	48	0	97.33±1.3a	1.42±0.05^{f}	20.8±0.43^{a}	90.21±5.8^{a}	438.87±6.4^{a}
		-0.1	84±2.3c	2.66±0.13^{bcd}	8.56±0.19^{cd}	74.29±2.04^{bcd}	351.49±6.2^{de}
		-0.5	76±2.3d	2.93±0.02^{bc}	7.46±0.27^{ef}	66.63±4.7^{de}	297.44±9.6^{fg}
		-1	33.33±2.6f	2.87±0.3^{bcd}	3.24±0.34^{h}	33.57±2.7^{g}	135.36±12.35^{k}
1	24	0	86.67±1.3^{bc}	2.71±0.05^{bcd}	8.79±0.11^{bcd}	76.64±3.95^{bc}	351.84±13. 9de
		-0.1	82.67±2.6^{c}	2.49±0.06^{d}	8.9±0.53^{bcd}	72.16±2.55^{cd}	338.19±13.1^{e}
		-0.5	76±2.3^{d}	2.88±0.09^{bcd}	7.59±0.48^{ef}	69.17±6.7^{cd}	304.77±30.5^{f}
		-1	17.33±1.3^{h}	1.98±0.24^{e}	0.71±0.13^{jk}	12.09±2.6^{i}	59.39±6.11^{m}
	48	0	89.33±2.6^{b}	2.57±0.14^{cd}	9.37±0.54^{b}	82.07±5.9^{ab}	375.99±19.2^{cd}
		-0.1	73.33±1.3^{d}	2.48±0.09^{d}	7.78±0.37^{ef}	60.11±0.9^{e}	284.59±11.3^{fgh}
		-0.5	56±2.3^{e}	2.76±0.33^{bcd}	5.83±0.14^{g}	43.57±3.7^{f}	211.43±9.5^{i}
		-1	25.33±2.6^{g}	3.07±0.07^{b}	1.9±0.37^{i}	21.41±0.8^{h}	92.6±11.08^{l}

ادامه جدول ۱

Table 1. Continued

اسید سالیسیلیک میلی مولار Salicylic acid (mM)	زمان ساعت Time Hour	خشکی مگاپاسکال Drought (MPa)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length(cm)	طول ساقچه (سانتی‌متر) Shoot length(cm)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم) Shoot dry weight (mg)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم) Radicle dry weight (mg)	وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling dry weight (mg)
0	-	0	4.08±0.12^{cd}	1.54±0.06^{def}	0.61±0.022^{gh}	0.15±0.007^{e-h}	0.77±0.03^{fg}
		-0.1	3.67±0.05^{e-i}	1.44±0.04^{efg}	0.52±0.024^{ij}	0.16±0.003^{e-h}	0.67±0.03^{ghi}
		-0.5	3.33±0.1^{i}	1.3±0.07^{gh}	0.44±0.023^{jk}	0.12±0.009^{hi}	0.56±0.02^{ij}
		-1	2.89±0.19^{j}	1.1±0.05^{h}	0.38±0.009^{k}	0.1±0.003^{i}	0.48±0.01^{j}
0.5	24	0	4.12±0.1^{cd}	1.59±0.07^{cde}	0.63±0.08^{fgh}	0.17±0.01^{d-g}	0.8±0.09^{def}
		-0.1	4.51±0.08^{b}	2±0.08^{a}	0.81±0.02^{ab}	0.23±0.01^{ab}	1.04±0.02^{a}
		-0.5	4.95±0.37^{a}	2.06±0.15^{a}	0.83±0.02^{a}	0.26±0.02^{a}	1.09±0.04^{a}
		-1	3.4±0.17^{hi}	1.53±0.17^{def}	0.69±0.02^{d-g}	0.14±0.01^{fgh}	0.83±0.04^{c-f}
	48	0	4.51±0.08^{b}	1.79±0.01^{bc}	0.75±0.05^{a-e}	0.18±0^{c-f}	0.93±0.06^{bc}
		-0.1	4.19±0.04^{bc}	1.72±0.06^{bcd}	0.71±0.03^{c-f}	0.18±0.01^{c-f}	0.89±0.04^{cde}
		-0.5	3.91±0.02^{c-f}	1.6±0.1^{cde}	0.66±0.02^{efg}	0.22±0.03^{bc}	0.88±0.06^{c-f}
		-1	4.05±0.07^{cde}	1.87±0.09^{ab}	0.79±0.03^{abc}	0.21±0.02^{bc}	1.01±0.01^{ab}
1	24	0	4.06±0.1^{cde}	1.47±0.04^{efg}	0.73±0.03^{b-e}	0.15±0.006^{fgh}	0.88±0.03^{c-f}
		-0.1	4.09±0.0^{6cd}	1.78±0.03^{bc}	0.71±0.01^{c-f}	0.17±0.007^{d-h}	0.87±0.02^{c-f}
		-0.5	4.01±0.37^{c-f}	1.71±0.12^{bcd}	0.72±0.05^{c-f}	0.2±0.04^{bcde}	0.91±0.1^{bcd}
		-1	3.41±0.08^{hi}	1.39±0.17^{efg}	0.55±0.06^{hi}	0.13±0.03^{ghi}	0.68±0.1^{gh}
	48	0	4.2±0.09^{bc}	1.61±0.03^{cde}	0.75±0.04^{a-d}	0.16±0.003^{d-h}	0.92±0.04^{bc}
		-0.1	3.88±0.13^{c-g}	1.55±0.06^{def}	0.67±0.01^{d-g}	0.15±0.003^{e-h}	0.82±0.02^{c-f}
		-0.5	3.78±0.1^{d-h}	1.59±0.08^{cde}	0.63±0.02^{fgh}	0.15±0.02^{fgh}	0.78±0.05^{efg}
		-1	3.64±0.07^{f-i}	1.54±0.04^{def}	0.66±0.04^{efg}	0.2±0.03^{bcd}	0.86±0.07^{c-f}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

تیمار ۰/۵ میلی‌مولار و ۴۸ ساعت نسبت به دیگر تیمارهای اسید سالیسیلیک و زمان برتر بود. کمترین درصد جوانه‌زنی (۱۲ درصد) متعلق به بذر شاهد (بدون پیش‌تیمار) در بالاترین سطح تنش خشکی ۱ مگاپاسکال بود (جدول ۱). پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک قبل از جوانه‌زنی نشان می‌دهد که این اسید به درون بذر انتقال‌یافته و بعضی فرآیندها را موجب می‌گردد. بذرهای پیش‌تیمار شده با اسید سالیسیلیک ممکن است بتوانند با کاهش سطح گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، برای القاء پاسخ پیام‌رسانی به عوامل ایجادکننده تنش اکسیداتیو مجهز شوند (گالویز فاجاردو[1] و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات دقیق انجام‌شده بر ارزیابی بیان ژن در مورد گیاه گندم نشان داد که، پیش تیمار با اسید سالیسیلیک به‌طور متفاوتی باعث فعال شدن تعداد زیادی از ژن‌های کد کننده پروتئین‌هایی می‌شوند، که در تعادل سلولی دخیل هستند و در پاسخ به عامل تنش محیطی، شرکت می‌کنند (گاندور[2] و همکاران، ۲۰۱۶). تحقیقات نشان داده است که پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک می‌تواند موجب شکستن خواب بذر تازه شود و در نتیجه درصد جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. هم‌چنین اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت متابولیکی بذر موجب جوانه‌زنی سریع و یکنواخت در بذرها می‌گردد (جنی و جوسف[3]، ۲۰۱۷).

در آزمایش دوم نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه (تنش خشکی × مدت‌زمان پیش‌تیمار

[1] Galviz-Fajardo

[2] Gondor

[3] Jini and Joseph

× اسید جاسمونیک)، بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۸/۳) را در غلظت ۱۰ میکرومولار اسید جاسمونیک در طی ۲۴ ساعت پیش‌تیمار در شرایط عدم تنش خشکی نشان داد، که نسبت به تیمار شاهد ۴۰/۴ درصد افزایش داشت. کمترین درصد جوانه‌زنی (۱۳/۳۳) در شرایط بدون پیش‌تیمار و ۰/۵- مگاپاسکال خشکی بود (جدول ۲). اسید جاسمونیک، با فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اثرات مضر تنش‌های غیرزنده را در گیاهان کاهش می‌دهد. پیش‌تیمار بذر با اسید جاسمونیک، مسیر تنفسی را فعال می‌کند و در نتیجه باعث تولید انرژی در طول آبنوشی بذر می‌شود که این افزایش انرژی، موجب افزایش جوانه‌زنی می‌گردد (پونام[1] و همکاران، ۲۰۱۳). بنا به گزارش انتشاری و جعفری[2] (۲۰۱۳)، متیل جاسمونات با افزایش درصد جوانه‌زنی موجب بهبود شرایط گیاه ریحان در تنش می‌شود. در مطالعه دیگری نشان داده شده که پرایمینگ بذر با جاسمونات (۱ تا ۱۰ میکرومولار) باعث بهبود درصد جوانه‌زنی و یکنواختی و افزایش رشد فلفل شیرین در شرایط تنش شد. هم‌چنین درصد جوانه‌زنی برنج در تیمار پیش‌تیمار با ۲/۵ میلی‌مولار اسید جاسمونیک، هم در تیمار شاهد و هم در شرایط تنش خشکی ایجادشده توسط پلی اتیلن گلیکول بهبود یافت (شیتیوی[3] و همکاران، ۲۰۱۸) این یافته‌ها با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت.

سرعت جوانه‌زنی

برهمکنش سه‌گانه تیمارها نشان داد بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۲۰/۸ بذر در روز) در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در مدت‌زمان ۴۸ ساعت و در شرایط عدم تنش خشکی حاصل شد. در شرایط عدم تنش، دیگر پیش‌تیمارها به‌جز تیمار گفته‌شده اختلاف معنی‌داری با شاهد (بدون پیش‌تیمار) نشان ندادند (جدول ۱). کاهش فرایند جوانه‌زنی در اثر تنش می‌تواند به کاهش جذب آب توسط بذرها ارتباط داشته باشد. اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب آب به‌آرامی صورت گیرد، فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهند شد و در نتیجه مدت‌زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش‌یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. گزارش شده که تنش موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی پروانش می‌شود (جلیل[4] و همکاران، ۲۰۰۷). تعیین زمان مناسب پیش تیمار موجب جلوگیری از تأثیر منفی پیش تیمار بر ویژگی‌های جوانه‌زنی ازجمله درصد و سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بذرهای پیش‌تیمار شده، می‌شود. به‌طوری‌که در این آزمایش دیده شد در هر سطح از تنش، بهترین

[1] Poonam
[2] Enteshari and Jafary
[3] Sheteiwy
[4] Jaleel

جدول ۲. برهمکنش پیش‌تیمار با اسید جاسمونیک و مدت زمان تحت سطوح مختلف تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر پروانش

Table 2. The interaction of priming with JA and time under different levels drought stress on *Catharanthus* seed germination indices

جاسمونیک اسید Jaamonic acid میکرومولار µM	زمان ساعت Time Hour	خشکی Drought (MPa)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (Seed/day)	شاخص وزنی بنیه بذر Seed weight vigor index	شاخص طولی بنیه بذر Seed length vigor index
0	-	0	70^{c}±0	4.47^{c}±0.05	60.9^{de}±3.6	310.8^{d}±1.4
		-0.1	58.33^{d}±4.41	3.7^{d}±0.18	45.73^{f}±2.6	221.8^{ef}±22.6
		-0.5	13.33^{e}±1.67	0.73^{f}±0.08	9.55^{g}±1.4	38.73^{g}±9.03
10	12	0	95^{a}± 2.89	6.16^{a}±0.16	96.23^{b}±4.4	443.53^{b}±3.5
		-0.1	83.33^{b}±6.67	5.07^{b}±0.53	84.5^{c}±9.7	374.8^{c}±42.2
		-0.5	58.33^{de}±4.41	3.58^{d}±0.12	52.33^{ef}±6.4	245.7^{e}±25.01
	24	0	98.33^{a}±1.67	5.97^{a}±0.08	110.02^{a}±8.07	488.27^{a}±7.03
		-0.1	76.67^{c}±4.41	4.61^{bc}±0.31	69.83^{d}±6.9	326^{d}±25.9
		-0.5	51.67^{e} ±1.67	3.1^{e}±0.11	43.12^{f}±2.8	198.47^{f}±16.2

Table 2. Continue **ادامه جدول ۲.**

جاسمونیک اسید Jaamonic acid (µM)	زمان ساعت Time Hour	خشکی Drought (MPa)	طول گیاهچه Seedling (cm) length	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (mg)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (mg)
0	-	0	4.44b±0.02	2.59ab±0.01	0.18^{cd}±0.02	0.87^{cde}±0.05
		-0.1	3.79c±0.13	2.1c±0.1	0.16^{de}±0.01	0.79^{ef}±0.02
		-0.5	2.81d±0.37	1.33d±0.18	0.14^{e}±0	0.71^{f}±0.03
10	12	0	4.68ab±0.14	2.63ab±0.01	0.24^{b}±0.01	1.02^{b}±0.07
		-0.1	4.47b±0.18	2.57ab±0.07	0.24^{b}±0.02	1.01^{b}±0.06
		-0.5	4.2bc±0.16	2.36b±0.06	0.22^{bc}±0.03	0.89^{cd}±0.06
	24	-0	4.97a±0.06	2.75a±0.09	0.29^{a}±0.01	1.12^{a}±0.06
		-0.1	4.25bc±0.16	2.45b±0.1	0.2^{cd}±0.01	0.92^{c}±0.03
		-0.5	3.84c±0.29	2.01c±0.22	0.18^{cd}±0.01	0.82^{de}±0.03

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

مدت‌زمان‌های پیش‌تیمار متفاوت بود. گالویز فاجاردو و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در رفع آسیب‌های اکسیداتیو در هنگام جوانه‌زنی دخالت دارد و باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بذر می‌شود، که این آنزیم‌ها فعالیت پراکسیداسیون لیپید را در مرحله جوانه‌زنی کاهش می‌دهند. در نتیجه سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌گردد. هم‌چنین این امکان وجود دارد که اسید سالیسیلیک با اثر بر بیوسنتز جیبرلین، بر جوانه‌زنی اثر گذاشته و منجر به تحریک و افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌گردد (ارباویی [1] و همکاران، ۲۰۱۵).

در این پژوهش بیشترین سرعت جوانه‌زنی را در غلظت ۱۰ میکرومولار اسید جاسمونیک در طی ۱۲ ساعت پیش‌تیمار و در شرایط عدم تنش خشکی نشان داد اگرچه با تیمار زمانی ۲۴ ساعت پیش‌تیمار اختلاف معنی‌داری نداشت. هم‌چنین تیمار زمانی ۲۴ ساعت در تمام سطوح تنش و عدم تنش نسبت به تیمار ۱۲ ساعت

[1] Arbaoui

سرعت جوانه‌زنی کمتری داشت (جدول ۲). گزارش شده که پیش‌تیمار بذر با اسید جاسمونیک با غلظت ۱ میکرومولار که بهترین غلظت مصرفی بود، باعث افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شد (زمانی و روشندل[1]، ۲۰۱۸). کاربرد اسید جاسمونیک از طریق فعال کردن آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، تنش‌های غیرزیستی را در گیاهان کاهش می‌دهد. جاسمونات‌ها اجزای ضروری مسیر پیام‌رسانی هستند و باعث بیان ژن‌های دفاعی گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی مختلف می‌شوند (یان[2] و همکاران، ۲۰۱۳).

میانگین زمان جوانه‌زنی

براساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی (۳/۶۷ روز) در شرایط بدون پیش‌تیمار و تنش خشکی ۱- مگاپاسکال مشاهده شد (جدول ۱). در شرایط تنش (۰/۱- و ۰/۵- مگاپاسکال) و بدون تنش (۰ مگاپاسکال) بین تیمارهای پیش‌تیمار شده و بدون پیش‌تیمار اختلاف معنی‌داری در متوسط زمان جوانه‌زنی مشاهده نشد. در این آزمایش در سطوح تنش بالا (۱- مگاپاسکال) کارایی استفاده از پیش‌تیمار مشهودتر است. به‌طوری‌که کمترین میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی در این سطح تنش ۱/۹۸ روز است، که نسبت به تیمار بدون پیش‌تیمار ۴۶ درصد کاهش نشان داد. از سوی دیگر در تیمارهای خشکی (۰/۱- و ۰/۵- مگاپاسکال) بهترین غلظت اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار و ۲۴ ساعت پیش‌تیمار بود. (جدول ۱). حداقل متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (۱/۴۲ روز) در تیمار بدون تنش خشکی با ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و مدت زمان ۴۸ ساعت بود، که نسبت به تیمار شاهد ۶۱/۳ درصد بهبود داشت. سریت اوغلو و ارمان[3](۲۰۲۰) بیان کردند هیدروپرایمینگ و پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید منجر به کاهش اثرات مضر تنش بر میانگین زمان جوانه‌زنی شد. تیمار با اسید سالیسیلیک باعث افزایش سیتوکینین و اسید ایندول استیک در بافت‌های گیاه می‌شود، بنابراین تقسیم سلولی افزایش می‌یابد (ساخابودینو[4] و همکاران، ۲۰۰۳) که موجب کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی می‌شود.

در آزمایش دوم اثرات متقابل تیمارها تأثیر معنی‌داری بر میانگین زمان جوانه‌زنی نداشتند.

طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بطور کلی تنش خشکی موجب کاهش طول گیاهچه و ساقه‌چه در هر دو آزمایش شد. به‌طوری‌که کمترین طول گیاهچه و ساقه‌چه در تیمار ۱- مگاپاسکال مشاهده شد (جدول ۱ و ۲). یکی از دلایل کاهش طول ساقه‌چه در شرایط تنش، کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین است. علاوه بر آن کاهش جذب آب توسط بذر در شرایط تنش باعث کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه (شامل ساقه‌چه و ریشه‌چه) می‌شود. گزارش‌شده که تنش موجب بازدارندگی رشد ریشه و ساقه‌چه پروانش می‌شود. هم‌چنین طول ریشه کمتر از ساقه‌چه تحت تأثیر تنش قرارگرفته است (جلیل و همکاران، ۲۰۰۷). لازم به ذکر است که کاهش طول گیاهچه‌ها به دلیل محدودیت آب باعث کاهش سرعت فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و محدود کردن توسعه گیاهچه می‌شود. تنش شدید از هیدراته شدن بذر و شروع واکنش‌های متابولیکی برای وقوع واکنش‌هایی که باعث تشکیل اندام‌های در حال رشد می‌شوند مانند تقسیم سلولی، گسترش و تمایز جلوگیری می‌کند. درنتیجه طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش می‌یابد (اباتی و همکاران[5]، ۲۰۱۴).

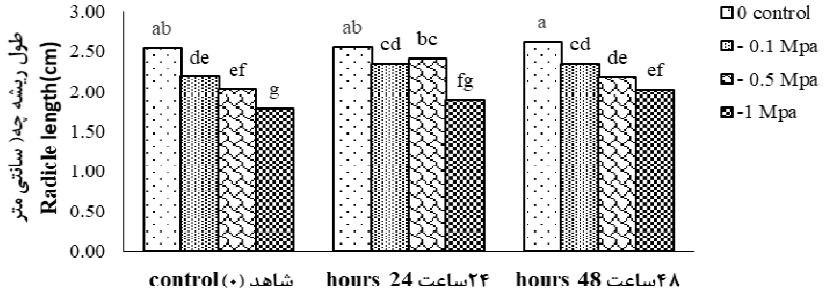
طویل‌ترین طول گیاهچه و ساقه‌چه در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و در زمان ۲۴ ساعت پیش‌تیمار و در شرایط تنش خشکی ۰/۵- مگاپاسکال مشاهده شد (جدول ۱). در تنش‌های ۰/۱- و ۰/۵- مگاپاسکال، مدت زمان ۲۴ ساعت نسبت به ۴۸ ساعت، طول ساقه‌چه و گیاهچه بالاتری را نشان داد (جدول ۱). اسید سالیسیلیک با افزایش سرعت استفاده از مواد ذخیره‌ای بذر، موجب افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود. گزارش شده که مصرف اسید سالیسیلیک در

[1] Zamani and Roshandel
[2] Yan
[3] Ceritoğlu and Erman
[4] Sakhabutdinova
[5] Abati

مقایسه با عدم مصرف آن سبب افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در تیمارهای بدون تنش می‌شود (معتمدی و بنی سعیدی[1]، ۲۰۱۲) که با نتایج ما مطابقت دارد (جدول ۱). در هر دو تیمار زمانی (۲۴ و ۴۸ ساعت) غلظت ۰/۵ میلی‌مولار در شرایط تنش و بدون تنش بهتر بود. نتایج تیمار ۵/۰ میلی‌مولار در ۴۸ ساعت در تنش ۱- مگاپاسکال نسبت به تنش سطح قبل بهتر بود، این موضوع تحریک گیاه را به نمو اندام‌ها در شرایط تنش نشان می‌دهد. گزارش‌شده است که اسید سالیسیلیک موجب افزایش طول ساقه‌های گیاهچه در پتانسیل‌های ۰/۶- و ۰/۴- مگاپاسکال شد، اگرچه در پتانسیل ۰/۴- مگاپاسکال تفاوت آماری بین پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک و آب مقطر وجود نداشت (سیلوا[2] و همکاران، ۲۰۱۷). گزارش‌شده بذرهایی که توسط اسید سالیسیلیک پیش‌تیمار شدند، نسبت به تیمار شاهد طول ریشه‌چه بیشتری داشتند (مرادی و رضوانی مقدم[3]، ۲۰۱۰). نتایج ما نیز نشان داد که تنش خشکی در تمام زمان‌های پیش‌تیمار موجب کاهش معنی‌داری طول ریشه‌چه شد. هم‌چنین مشخص شد که زمان پیش‌تیمار در تیمارهای ۲۴ و ۴۸ ساعت موجب بهبود طول ریشه‌چه در مقایسه با شاهد شد؛ به‌طوری‌که بیشترین طول ریشه‌چه (۲/۶۲ سانتی‌متر) در تیمار شاهد تنش با ۴۸ ساعت پیش‌تیمار مشاهده شد. هم‌چنین تحت شرایط تنش نیز تیمار ۲۴ ساعت در تنش ۰/۵- مگاپاسکال بالاترین طول ریشه‌چه (۲/۴۱ سانتی‌متر) را داشت که نسبت به شاهد ۱۸/۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱). به نظر می‌رسد بالاتر بودن سرعت جوانه‌زنی در این تیمارها سبب افزایش بهره‌برداری از ذخایر موجود در بذر توسط گیاهچه شده است و در نهایت همین عامل موجب افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گشته است. سازوکاری که اسید سالیسیلیک رشد ریشه و بخش هوائی را در برخی گیاهان افزایش می‌دهد به‌خوبی شناخته‌نشده است. اما احتمالاً اسید سالیسیلیک طویل شدن و تقسیم سلولی را به همراه مواد دیگری از قبیل اکسین تنظیم می‌نماید. به‌طوری‌که اسید سالیسیلیک از اکسیداسیون اکسین جلوگیری می‌کند و اثرات اکسین را در سیستم ریشه‌دهی، بهبود می‌بخشد. بنابراین به نظر می‌رسد افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تأثیر این عملکرد اسید سالیسیلیک است. زیرا تنش سبب کاهش تقسیم سلولی می‌شود؛ از سوی دیگر تنش با کاهش میزان اکسین، سیتوکینین و جیبرلین و افزایش اسید آبسیزیک و اتیلن تأثیر معنی‌داری بر کاهش طول ریشه‌چه، طول اندام هوایی، وزن‌تر و خشک ریشه‌چه، وزن‌تر و خشک اندام هوایی گیاه می‌گذارد (فریدین[4] و همکاران، ۲۰۰۳). ولی تیمار گیاه با اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک ماده شبه هورمونی میزان تقسیم سلولی مریستم رأسی ریشه‌های اولیه را که منجر به افزایش رشد طولی می‌شود افزایش می‌دهد. هم‌چنین از آنجایی که اسید سالیسیلیک توسط سلول‌های ریشه تولید می‌شود، لذا تیمار خارجی اسید سالیسیلیک می‌تواند به‌عنوان مکمل نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف مثل جذب یون و جوانه‌زنی ایفا نماید که از این طریق باعث بهبود طول ریشه‌چه می‌شود. هم‌چنین اسید سالیسیلیک در سنتز پروتئین‌های خاصی به‌نام پروتئین کیناز نقش دارد که این پروتئین‌ها نقش مهمی در تنظیم تقسیم، تمایز و ریخت‌زائی سلول بازی می‌کنند (طهماسبی[5] و همکاران، همکاران، ۲۰۱۷).

در این پژوهش مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین مقدار طول گیاهچه (۴/۹۷ سانتی‌متر) و ریشه‌چه (۲/۷۵ سانتی‌متر) را در غلظت ۱۰ میکرومولار اسید جاسمونیک در طی زمان ۲۴ ساعت پیش‌تیمار تحت شرایط عدم تنش خشکی نشان داد. تنش خشکی اعمال‌شده موجب کاهش طول گیاهچه و ریشه‌چه شد. این کاهش با پرایم بذرها در تیمارهای زمانی کمتر بود. نتایج نشان داد طول گیاهچه و ریشه‌چه تحت تنش خشکی (۰/۱- و ۰/۵- مگاپاسکال) در مدت زمان ۲۴ ساعت پیش‌تیمار در مقایسه با تیمار ۱۲ ساعت کمتر بود (جدول ۲). تیمارهای پیش‌تیمار اسید جاسمونیک تحت تنش خشکی تیمار ۱۲ ساعت نتایج بهتری را نشان داد ولی در شرایط بدون تنش تیمار ۲۴ ساعت

[1] Motamedi and BaniSaidi
[2] Silva
[3] Moradi and Rezvani moghadam
[4] Fariduddin
[5] Tahmasebi



شکل ۱. برهمکنش زمان پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید و سطوح مختلف تنش خشکی بر طول ریشه چه

Fig. 1. Interactions between SA priming duration and different levels of drought stress on radicle length

بهتر بود. (جدول ۲). هم‌چنین طول ساقه‌چه تحت تنش خشکی کاهش یافت (جدول ۳). کاهش رشد و عملکرد محصول بدلیل تنش خشکی می‌تواند ناشی از افت فشار اسمزی ایجادشده از آب و تورگر باشد (دین[1] و همکاران، ۲۰۱۱). دلیل کاهش طول گیاهچه تحت تنش خشکی می‌تواند کاهش در تقسیمات سلولی، کاهش جذب آب و کاهش در رشد طولی سلول باشد که با استفاده از پیش‌تیمار هورمونی اثرات منفی تنش کاهش خواهد یافت.

از سوی دیگر کاهش رشد گیاهچه می‌تواند به دلیل کاهش سرعت رشد سلول‌های گیاهی و بهره‌وری از فرآیندهای فیزیولوژیکی باشد، که نیازمند آماس بالاتر سلول‌ها هستند. طول ساقه‌چه نیز ممکن است در اثر کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین کاهش یابد که سرانجام منجر به نقصان رشد گیاهچه می‌شود. علاوه بر این، کاهش جذب آب توسط بذر در شرایط تنش خشکی باعث کاهش ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌ها و در نتیجه آن اختلال در رشد گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) می‌گردد (حسینی و رضوانی مقدم[2]، ۲۰۰۶).

طول ساقه‌چه با کاربرد اسید جاسمونیک نسبت به تیمار شاهد ۹ درصد افزایش یافت (جدول ۳). اسید جاسمونیک، هنگامی‌که به‌صورت خارجی در مقادیر کم اعمال شود، تحمل گیاه به تنش‌های غیرزنده و رشد گیاهان را افزایش می‌دهد. بدین ترتیب که با فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، باعث افزایش توانایی آنتی‌اکسیدانی گیاهان تحت تنش‌های غیرزنده مانند خشکی شده و اثرات مضر تنش را کاهش می‌دهد.

پیش‌تیمار بذر با اسید جاسمونیک رشد گیاهچه و فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز را افزایش می‌دهد. گزارش شده است که طول ریشه و ساقه در گیاهچه‌های تحت تنش پلی‌اتیلن گلیکول در مقایسه با گیاهان شاهد به‌طور قابل‌توجهی کاهش‌یافته است، که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. هم چنین تیمار پیش‌تیمار با ۲/۵ میلی‌مولار اسید جاسمونیک باعث بهبود طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در مقایسه با بذرهای بدون پیش‌تیمار شد (شیتیوی و همکاران، ۲۰۱۸).

شاخص طولی و وزنی بنیه بذر

شاخص طولی بنیه گیاهچه یک صفت وابسته به درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه است. بنابراین واکنش این شاخص به سطوح مختلف خشکی و پیش‌تیمار همانند این دو صفت است. نتایج مقایسه میانگین بیشترین شاخص طولی (۴۳۸/۸) و وزنی (۹۰/۲) بنیه بذر را در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و در مدت ۴۸ ساعت پیش‌تیمار در شرایط بدون تنش خشکی (صفر مگاپاسکال) نشان داد. تیمار ۲۴ ساعت تحت تنش‌های ۰/۱- و ۰/۵- مگاپاسکال، در هر دو غلظت اسید سالیسیلیک (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار)، نتیجه بهتری را برای شاخص‌های طولی و وزنی بنیه بذر، نشان داد. به‌طوری‌که با افزایش زمان پیش‌تیمار در ۴۸ ساعت کاهش معنی‌داری در هر دو شاخص مشاهده شد. اگرچه در شرایط بدون تنش (۰) و تنش شدید (۱- مگاپاسکال)، ۴۸ ساعت نتایج بالاتری را نشان داد (جدول ۳). گزارش‌های متعددی مبنی بر افزایش طول

[1] Din
[2] Hosseini and Rezvani Moghadam

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر اسید جاسمونیک و تنش خشکی بر طول ساقه‌چه

Table 3. Mean comparison for the effect Jasmonic acid and drought stress on Shoot length

اسید جاسمونیک (میکرومولار)JA(µM)		خشکی (مگاپاسکال)Drought (Mpa)	
0	0.85b±0.12	-0	1.94a±0.05
10	0.93a±0.13	-0.1	1.8b±0.02
		-0.5	1.58c±0.08

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

گیاهچه، وزن‌تر و خشک آن و در نتیجه افزایش وزن خشک کل و شاخص بنیه بذر از طریق پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک وجود دارد. اسید سالیسیلیک تعادل هورمونی را در گیاه تغییر داده و سبب افزایش اکسین، اسید آبسیزیک و مانع از کاهش سیتوکنین شود (کبیری[1] و همکاران، ۲۰۱۴).

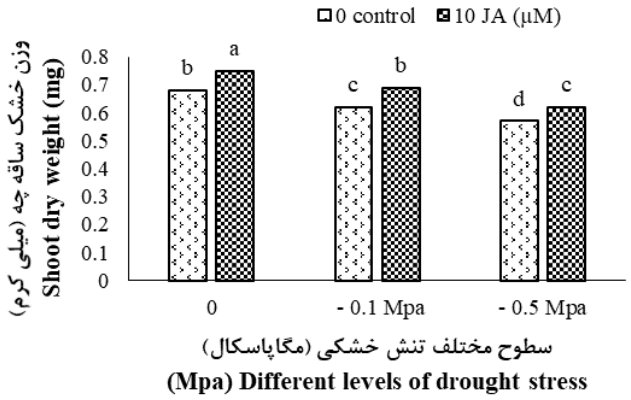
در نتایج مشابه با این مطالعه، پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۰/۵ تا ۱ میلی‌مولار سبب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر در هر دو شرایط تنش و غیر تنش در گیاه سیاهدانه (کبیری و تقی زاده[2]، ۲۰۱۵) و رازیانه (کبیری و همکاران، ۲۰۱۴) شد.

در آزمایش دوم، بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین افزایش شاخص طولی (۱۱۰/۲) و وزنی بنیه بذر (۴۸۸/۲۸) در غلظت ۱۰ میکرومولار اسید جاسمونیک در مدت‌زمان ۲۴ ساعت پیش‌تیمار در شرایط عدم تنش خشکی مشاهده شد. اگرچه در شرایط تنش خشکی، تیمار ۱۲ ساعت پیش‌تیمار تیمار برتر بود. در تمام پیش‌تیمارها با افزایش سطوح تنش، شاخص‌های طولی و وزنی بنیه بذر کاهش می‌یابد (جدول ۲). کاهش در بنیه به‌دلیل کاهش در اجزای آن تحت سطوح مختلف تنش خشکی و زوال بذر بوده است که این افت بیشتر در بذرهای پیش‌تیمار نشده مشاهده می‌شود (انصاری و اشرف‌زاده[3]، ۲۰۱۲). شاخص‌های بنیه معیاری برای ارزیابی بنیه بذر است. افزایش سرعت‌ترمیم DNA، ساخت RNA، سنتز پروتئین، فعالسازی آنزیم‌ها، حذف رادیکال‌های فعال اکسیژن، افزایش انبساط سلولی و نیز پیشرفت بیشتر مراحل جوانه‌زنی بذرهای پرایم شده در مقایسه با بذرهای پرایم نشده از مهم‌ترین دلایل بهبود بنیه بذرهای پیش‌تیمارشده نسبت به بذرهای پرایم نشده ذکر شده‌اند.

وزن خشک گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه

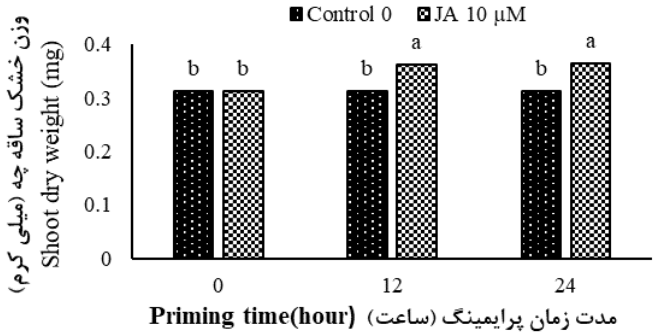
مقایسه میانگین (جدول ۱)، بیشترین مقدار وزن خشک گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه را در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در مدت‌زمان ۲۴ ساعت پیش‌تیمار و در شرایط تنش خشکی ۰/۱- و ۰/۵- مگاپاسکال نشان داد. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش وزن خشک ساقه‌چه در پتانسیل‌های پایین آب، تحرک کم مواد غذایی و انتقال کمتر آن‌ها از لپه‌ها به محور جنینی باشد. قابل‌ذکر است عواملی که سرعت رشد محور جنینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توانند بر تحرک مواد غذایی و انتقال آن‌ها از لپه‌ها به محور جنینی تأثیر بگذارند. گزارش شده پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک سبب افزایش وزن‌تر و خشک‌ریشه‌چه و وزن‌تر و خشک اندام هوایی و در نهایت افزایش وزن خشک گیاهچه گردید (ژانگ[4] و همکاران، ۲۰۰۳). به نظر می‌رسد افزایش وزن‌تر و خشک گیاهچه‌ها در ارتباط با افزایش طول ریشه‌چه و طول اندام هوایی تحت تأثیر اسید سالیسیلیک باشد (کبیری و نقی زاده، ۲۰۱۵). در مطالعه دیگری بیشترین وزن‌تر و خشک ریشه در نتیجه تأثیر پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک با غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر در مدت‌زمان ۲۴ ساعت حاصل شد (کرمی[5] و همکاران، ۲۰۲۰). روش‌هایی از پیش تیمار که باعث بهبود جوانه‌زنی در

[1] Kabiri
[2] Kabiri and Taghizade
[3] Ansari and Sharif-Zadeh
[4] Zhang
[5] Karami



شکل ۲. برهمکنش اسید جاسمونیک و سطوح مختلف تنش خشکی بر وزن خشک ساقه‌چه

Fig. 2. Interactions between jasmonic acid and different levels of drought stress on Shoot dry weight



شکل ۳. برهمکنش اسید جاسمونیک و مدت زمان پیش‌تیمار بر وزن خشک ساقه‌چه

Fig. 3. Interactions between jasmonic acid and priming duration on Shoot dry weight

گیاه می‌شوند، متعاقباً باعث بهبود شاخص‌های رشد رویشی گیاه و افزایش وزن خشک گیاهچه می‌گردد. احتمالاً اسید سالیسیلیک طویل شدن و تقسیم سلولی را به همراه مواد دیگری از قبیل اکسین تنظیم می‌نماید. به طوری که اسید سالیسیلیک از اکسیداسیون اکسین جلوگیری می‌کند که به نظر می‌رسد افزایش وزن گیاهچه در ارتباط با افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تأثیر اسید سالیسیلیک باشد. زیرا تنش سبب کاهش تقسیم سلولی می‌شود.

برهمکنش مدت زمان پیش‌تیمار × اسید جاسمونیک نشان داد که پیش‌تیمار در ۱۲ و ۲۴ ساعت اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد دارند ولی با یگدیگر اختلاف معنی داری نداشتند (شکل ۳). برهمکنش اسید جاسمونیک × خشکی نشان داد پیش‌تیمار بذر با اسید جاسمونیک در شرایط تنش و عدم تنش موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه‌چه شد. تنش خشکی نیز موجب کاهش وزن خشک ساقه‌چه شده به طوری که بیشترین وزن خشک ساقه‌چه (۰/۷۲ میلی‌گرم) در شرایط عدم تنش با کاربرد ۱۰ میکرومولار اسید جاسمونیک حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۰ درصد افزایش داشت (شکل ۲). هم چنین بیشترین افزایش وزن خشک گیاهچه (۱/۱۲ میلی‌گرم) و ریشه‌چه (۰/۲۹ میلی‌گرم) در غلظت ۱۰ میکرومولار اسید جاسمونیک در طی ۲۴ ساعت پیش‌تیمار در شرایط عدم تنش خشکی مشاهده شد (جدول ۲). بررسی‌شده است که وزن خشک و تر گیاهچه تحت تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش کاهش‌یافته و استفاده از پیش‌تیمار بذر با ۲/۵ میلی‌مولار اسید جاسمونیک وزن خشک و تر گیاهچه‌ها را در مقایسه با بذرهای بدون پیش‌تیمار

افزایش داد (شیتیوی و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعه دیگری نشان داد که تیمار متیل جاسمونات باعث بهبود جوانه‌زنی و افزایش طول ساقه و ریشه و وزن خشک گیاهچه سویا در شرایط تنش نیکل شد (سیریندی[1] و همکاران، ۲۰۱۶).

نتیجه‌گیری

تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول، اثرات مضری بر درصد و شاخص‌های جوانه‌زنی بذر پروانش داشت و باعث کاهش معنی‌داری در این صفات شد. نتایج تحقیق حاضر اهمیت اسید سالیسیلیک را در مرحله جوانه‌زنی بذر هنگام مواجهه با تنش خشکی نیز نشان داد. پیش‌تیمار بذرها با اسید سالیسیلیک کاهش جوانه‌زنی و رشدی را که در حضور تنش خشکی ایجادشده بود، بهبود بخشید. در این مطالعه در شرایط تنش (۰/۱- و ۰/۵- مگاپاسکال) تیمار ۰/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک و ۲۴ ساعت پیش‌تیمار بهترین نتیجه را در افزایش جوانه‌زنی بذر داشت. از سوی دیگر فرایند انطباق به تنش آب که توسط تیمار اسید جاسمونیک نشان داده شد، می‌تواند به پیش‌تیمار با اسید جاسمونیک قبل از اعمال تنش آب نسبت داده شود. در بین دو تیمار زمانی (۱۲ و ۲۴ ساعت) نیز در اکثر صفات اختلاف معنی‌داری دیده نشد. در شرایط بدون تنش پیش‌تیمار با ۱۰ میکرومولار اسید جاسمونیک به مدت ۲۴ ساعت بیشترین درصد جوانه‌زنی و در شرایط تنش (۰/۱- و ۰/۵- مگاپاسکال) پیش‌تیمار با ۱۰ میکرومولار اسید جاسمونیک به مدت ۱۲ ساعت نتایج بهتری را نشان داد.

[1] Sirhindi

منابع

Ababaf, M., Omidi, H. and Bakhshandeh. A.M. 2021. Determination of optimum concentration and time of pre-treatment with plant growth regulators on germination indices of *Catharanthus roseus* Seed. Iranian Journal of Seed Research, 7(2): 191-207. [In Persian, with English Summary] https://doi.org/10.52547/yujs.7.2.191

Abati, J., Brzezinski, C.R., Zucareli, C., Henning, F.A., Alves, V.F.N. and Garcia, V.V. 2014. Qualidade fisiológica de sementes de trigo tratadas com biorregulador em condições de restrição hídrica. Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE), 24(1): 32-36.

Abdel-Ghany, S.E., Ullah, F., Ben-Hur, A. and Reddy, A.S. 2020. Transcriptome analysis of drought-resistant and drought-sensitive sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes in response to PEG-induced drought stress. International Journal of Molecular Sciences, 21(3): 772. https://doi.org/10.3390/ijms21030772

Acharjee, S., Kumar, R. and Kumar, N. 2022. Role of plant biotechnology in enhancement of alkaloid production from cell culture system of *Catharanthus roseus*: A medicinal plant with potent anti-tumor properties. Industrial Crops and Products, 176: 114298. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114298

Alam, M.M., Nahar, K., Hasanuzzaman, M. and Fujita, M. 2014. Exogenous jasmonic acid modulates the physiology, antioxidant defense and glyoxalase systems in imparting drought stress tolerance in different Brassica species. Plant Biotechnology Reports, 8(3): 279-93. https://doi.org/10.1007/s11816-014-0321-8

Amirjani, M.R. 2015. Effect of salinity stress on seed germination and antioxidative defense system of *Catharanthus roseus*. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 10: 163-171.

Ansari, O. and Sharif-Zadeh, F. 2012. Does Gibberellic acid (GA), Salicylic acid (SA) and Ascorbic acid (ASc) improve mountain Rye (*Secale montanum*) seeds germination and seedlings growth under cold stress?. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3(8): 1651-1657.

Arbaoui, M., Yahia, N. and Belkhodja, M. 2015. Germination of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in response to salt stress combined with hormones. International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 7(3): 14-24.

Ceritoğlu, M. and Erman, M. 2020. Mitigation of salinity stress on chickpea germination by salicylic acid priming. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 6(3): 582-591. https://doi.org/10.24180/ijaws.774969

Creelman, R. and Mullet, J.E. 1997. Biosynthesis and action of jasmonate in plant. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 48(1): 355-381. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.355

Din, J., Khan, S., Ali, I. and Gurmani, A. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. The Journal of Animal & Plant Sciences, 21(1): 78-82.

Enteshari, Sh. and Jafari, T. 2013. The effects of methyl jasmonate and salinity on germination and seedling growth in *Ocimum basilicum* L. Iranian Journal of Plant Physiology, 3: 749-756. [In Persian, with English Summary]

Fariduddin, Q., Hayat, S. and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica, 41:281-284. https://doi.org/10.1023/B:PHOT.0000011962.05991.6c

Farooq, M., Romdhane, L., Al Sulti, M.K., Rehman, A., Al-Busaidi, W.M. and Lee, D.J. 2020. Morphological, physiological and biochemical aspects of osmopriming-induced drought

tolerance in lentil. Journal of Agronomy and Crop Science, 206(2): 176-186. https://doi.org/10.1111/jac.12384

Galviz-Fajardo, Y.C., Bortolin, G.S., Deuner, S., Amarante, L.d., Reolon, F. and Moraes, D.M.d. 2020. Seed priming with salicylic acid potentiates water restriction-induced effects in tomato seed germination and early seedling growth. Journal of Seed Science, 42. e202042031. https://doi.org/10.1590/2317-1545v42234256

Ghasemi, N., Omidi, H. and Bostani. A. 2021. Morphological properties of *Catharanthus roseus* L. seedlings affected by priming techniques under natural salinity stress. Journal of Plant Growth Regulation, 40(2): 550-557. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10118-z

Gondor, O.K., Janda, T., Soós, V., Pál, M., Majláth, I., Adak, M.K., Balázs, E. and Szalai, G. 2016. Salicylic acid induction of flavonoid biosynthesis pathways in wheat varies by treatment. Frontiers in Plant Science, 7: 1447. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01447

Govahi, M., Arvin, M.J. and Saffari, G.H. 2008. Response of seed germination and seedling growth of sugar beet to low temperature by priming with PEG, acetylsalicylic acid and methyl jasmonate. Agrochimica, 52(1): 12-22.

Hosseini, H. and Rezvani Moghadam, P. 2006. Effect of water and salinity stress in seed germination on Isabgol (*Plantago ovata*). Iranian Journal of Field Crops Research, 4: 15-22. [In Persian, with English Summary]

Iqbal, M. and Ashraf, M. 2007. Seed treatment with auxins modulates growth and ion partitioning in salt-stressed wheat plants. Journal of Integrative Plant Biology, 49(7): 1003-1015. https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00488.x

Jaleel, C.A., Gopi, R., Sankar, B., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sridharan, R. and Panneerselvam, R. 2007. Studies on germination, seedling vigour, lipid peroxidation and proline metabolism in *Catharanthus roseus* seedlings under salt stress. South African Journal of Botany, 73: 190-195. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2006.11.001

Jini, D. and Joseph, B. 2017. Physiological mechanism of salicylic acid for alleviation of salt stress in rice. Rice Science, 24(2): 97-108. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.07.007

Kabiri, R. and Taghizade, M. 2015. Effect of salicylic acid pretreatment on germination and early growth of Black Cumin (*Nigella sativa*) seedling under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 4(1): 61-72. [In Persian with English Summary]

Kabiri, R., Hatami, A. and Naghizadeh. M. 2014. Effect of drought stress and its interaction with salicylic acid on fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) germination and early seedling growth. Journal of Medicinal Plants and By-Products, 2: 107-116.

Karami, L., Hedayat, M. and Farahbakhsh, S. 2020. Effect of salicylic acid priming on seed germination and morphophysiological and biochemical characteristics of tomato seedling *(Lycopersicom esculentun*). Iranian Journal of Seed Research, 7(1): 165-179. [In Persian, with English Summary] https://doi.org/10.29252/yujs.7.1.165

Khalaki, M.A., Moameri, M., Lajayer, B.A. and Astatkie, T. 2021. Influence of nano-priming on seed germination and plant growth of forage and medicinal plants. Plant Growth Regulation. 93(1):13-28. https://doi.org/10.1007/s10725-020-00670-9

Miao, Y., Luo, X., Gao, X., Wang, W., Li, B. and Hou, L. 2020. Exogenous salicylic acid alleviates salt stress by improving leaf photosynthesis and root system architecture in cucumber seedlings. Scientia Horticulturae, 272: 109577. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109577

Michel, B.E. and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology, 51: 914-916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914

Molina, A., Bueno, P., Rodriguez-rosales, M. C., Belver, A., Venema, K. and Donaire, J. 2002. Involvement of endogenous salicylic acid content lipoxygenase and antioxidant enzyme

activities in the response of tomato cell suspension cultures to NaCl. New Physiologist, 156: 409-415. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00527.x

Moradi, R. and Rezvani Moghadam, P. 2010. Investigating the effect of pretreatment of seeds by salicylic acid on germination under salinity stress conditions Characteristics of (*Foeniculum vulgare* Mill) seedling growth. Iranian Journal of Field Crops Research, 8(3): 489-500. [In Persian, with English Summary]

Motamedi, M. and Bani Saidi, A.K. 2012. The Effects of salicylic acid on germination and seedling growth of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under salinity stress. Journal of Plant Production Science, 2(2): 43-57.

Poonam, S., Kaur, H. and Geetika, S. 2013. Effect of Jasmonic acid on photosynthetic pigments and stress markers in *Cajanus cajan* (L.) Millsp seedlings under copper stress. American Journal of Plant Sciences, 4(4): 817-823. https://doi.org/10.4236/ajps.2013.44100

Rezaei, Z. 2014. Investigating the effect of nanoparticles on the expression of vinblastine and vincristine biosynthetic pathway genes in the cell suspension of *Catharanthus roseus* plant. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Agriculture and Natural Resources Imam Khomeini International University, Iran. [In Persian, with English Summary]

Rhaman, M.S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C.C., Murata, Y. and Hasanuzzaman, M. 2020. Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. Plants, 10(1): 37. https://doi.org/10.3390/plants10010037

Sakhabutdinova, A.R., Fatkhutdinova, D.R., Bezrukova, M.V. and Shakirova, F.M. 2003. Salicylic acid prevents damaging action of stress factors on wheat plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology, Special Issue, 314-319.

Sen, A. and Puthur, J.T. 2020. Influence of different seed priming techniques on oxidative and antioxidative responses during the germination of *Oryza sativa* varieties. Physiology and Molecular Biology of Plants, 26: 551-565. https://doi.org/10.1007/s12298-019-00750-9

Sheteiwy, M.S., Gong, D., Gao, Y., Pan, R., Hu, J. and Guan, Y. 2018. Priming with methyl jasmonate alleviates polyethylene glycol-induced osmotic stress in rice seeds by regulating the seed metabolic profile. Environmental and Experimental Botany, 153: 236-248. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.06.001

Silva, A.C.D., Suassuna, J.F., Melo, A.S.D., Costa, R.R., Andrade, W.L.D. and Silva, D.C.D. 2017. Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 21: 156-162. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p156-162

Sirhindi, G., Mir, M. A., Abd-Allah, E. F., Ahmad, P., and Gucel, S. 2016. Jasmonic acid modulates the physio-biochemical attributes, antioxidant enzyme activity, and gene expression in *Glycine max* under nickel toxicity. Frontiers in Plant Science, 7: 591. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00591

Tahmasebi, R., N.A. Sajedi, and Sh. Shoaei. 2017. Evaluation effect of different solutions and seed priming treatments on germination, agronomic and quality characteristics of red bean genotypes. Iranian Journal of Pluses Research, 8(1): 60-72. [In Persian, with English Summary]

Thomas, T.T.D. and Puthur. J.T. 2020. UV-B priming enhances specific secondary metabolites in *Oryza sativa* (L.) empowering to encounter diverse abiotic stresses. Plant Growth Regulation, 92:169-180. https://doi.org/10.1007/s10725-020-00628-x

Ullah, H., Santiago-Arenas, R., Ferdous, Z., Attia, A. and Datta, A. 2019. Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. Advances in Agronomy, 156: 109-157. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.002

Wu, W., Liu, L. and Yan, Y. 2019. Transcription factor TERF1 regulates nuclear genes expression through miRNAs in tobacco under drought stress condition. Plant Growth Regulation, 89(3): 251-258. https://doi.org/10.1007/s10725-019-00532-z ; https://doi.org/10.1007/s10725-014-9916-x

Xiong, B., Wang, Y., Zhang, Y., Ma, M., Gao, Y., Zhou, Z., Wang, B., Wang, T., Lv, X. and Wang, X. 2020. Alleviation of drought stress and the physiological mechanisms in citrus cultivar (*Huangguogan*) treated with methyl jasmonate. Biosci Biotechnol Biochem, 84:1-8. https://doi.org/10.1080/09168451.2020.1771676

Yan, Z., Chen, J. and Li, X. 2013. Methyl jasmonate as modulator of Cd toxicity in *Capsicum frutescens* var. fasciculatum seedlings. Ecotoxicology and Environmental Safety, 98: 203-209. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.08.019

Zamani, N. and Roshandel, P. 2018. The effect of jasmonic acid on seed germination of halophytes species in high levels of salinity. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 7(2): 29-42. [In Persian, with English Summary]

Zhang, Y., Chen, K., Zhang, S. and Ferguson, I. 2003. The role of salicylic acid in postharvest ripening of kiwifruit. Postharvest Biology and Technology, 28: 67-74. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00172-2

Iranian Journal of Seed Research, 2023, 10(1): 175-193

Short Research Article

Germination indices and morphological properties of *Catharanthus roseus* Seedlings affected by hormone-priming technique under polyethylene glycol drought stress

Marzieyeh Ababaf[1*], Heshmat Omidi[2], Abdolmehdi Bakhshandeh[3]

Extended Abstract

Introduction: Various strategies have been used to improve growth and productivity of crops through genetic approach, genetic engineering and breeding. However, economic feasibility and ease of use can pave the way for the application of priming techniques as "stress relievers" in agricultural production. The aim of this study was to evaluate the ability of priming *Catharanthus roseus* seed with phytohormones of salicylic acid and Jasmonic acid under drought stress to reduce the effect of water limitation during the germination.

Materials and Methods: Two separate studies were conducted as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications at the Laboratory of Seed Science and Technology of Shahed University, Tehran. In the first experiment, treatments included priming in two levels of SA (0.5 and 1mM) and priming duration in two levels (24 and 48 hours) and drought stress with polyethylene glycol 6000 in 6 levels (0, 0.1, 0.5, 1, 1.5 and 2 Mpa). In the second experiment, treatments included JA (10 µM), priming duration in two levels (12, and 24 hours) and drought stress in levels six (0, 0.1, 0.5, 1, 1.5 and 2 Mpa). Dry seeds (without pretreatment) were considered as control.

Results: In this study, drought stress treatments -1.5 and -2 Mpa in first experiment and -1, -1.5 and -2 Mpa in the second one had no germination. Seed priming with SA and JA improved the percentage of seed germination so that in the first experiment, the highest percentage of germination (97.33) was observed under stress-free conditions with the application of 0.5 mM salicylic acid for 48 hours, which was 12.2% higher than the control treatment. 0.5 Mm of SA treatment with 24 hours of priming showed the highest percentage of germination under drought stresses of -0.1 and -0.5 Mpa. However, under drought stress conditions of -1 Mpa, 0.5 mM SA+48 hours treatment was superior compared to other treatment of salicylic acid and time. In the second experiment, the highest percentage of germination (98.3) was in the concentration of 10 µM jasmonic acid during 24 hours of priming under stress-free conditions, which showed an increase of 40.4% compared to the control treatment.

Conclusion: The results of the present study showed the importance of salicylic acid and jasmonic acid during seed germination stage under drought stress. Seed priming with salicylic acid alleviated the damages caused by drought stress on germination and growth. The process of adaptation to stress started by jasmonic acid can be attributed to pretreatment with jasmonic acid before applying drought stress.

Keywords: Catharanthus roseus, Jasmonic acid, Phytohormone, Pretreatment, Salicylic Acid

***Highlights*:**

1- The effect of priming *Catharanthus roseus* seeds with salicylic acid and jasmonic acid phytohormones on the germination characteristics of seeds under drought stress was investigated.
2- Priming *Catharanthus roseus* seeds with salicylic acid improved the germination percentage and characteristics of seeds under drought stress.

[1] Ph.D. Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Medicinal Plants Research Center, Shahed University, Tehran, Iran
[2] Associate Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Medicinal Plants Research Center, Shahed University, Tehran, Iran
[3] Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Ramin University, Malathani, Khuzestan, Iran

*Corresponding author, E-mail: m.ababaf@gmail.com

(Received: 12.07.2022; Accepted: 04.25.2023)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1402.10.1.11.9

DOI: 10.61186/yujs.10.1.175