علوم و تحقیقات بذر ایران
سال سوم/ شماره چهارم/ ۱۳۹۵ (۱۱۶ - ۱۰۵)

تأثیر پیش تیمار اسید سالیسیلیک بر جوانه زنی بذر و برخی ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی آهار (*Zinnia elegans* L.) در شرایط تنش خشکی

فرزین عبدالهی[1*]، ابراهیم رضازاده کته‌سری[2]، لیلا جعفری[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲

چکیده

به منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر توسط اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی بذر و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی آهار (*Zinnia elegans*) در شرایط تنش خشکی، دو پژوهش به صورت دو آزمایش جداگانه شامل جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه و کشت گلدانی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در آزمایشگاه گروه باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح مختلف پرایمینگ بذر با سالیسیلک اسید در چهار غلظت صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار و چهار سطح خشکی (با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰) شامل صفر، ۰/۵-، ۱- و ۱/۵- مگاپاسکال بودند. نتایج این مطالعه نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌داردرصد و سرعت جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه آهار در دو آزمایش جوانه‌زنی و گلدانی می‌شود. در حالی‌که پیش تیمار اسید سالیسیلیک اسید باعث افزایش صفات مذکور در مقایسه با شاهد شد. در آزمایش گلدانی و در شرایط تنش خشکی ۱- و ۰/۵- مگاپاسکال، پیش‌تیمار بذر با غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث بهبود ویژگی‌های رویشی آهار شد. در بالاترین سطح تنش (۱/۵- مگاپاسکال) کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به تعدیل اثرات منفی تنش خشکی منجر گردید. پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک موجب افزایش محتوای رطوبتی برگ در شرایط تنش خشکی شد. نتایج این مطالعه نشان داد پیش تیمار بذر با سالیسیلیک اسید از طریق بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد منجر به افزایش تحمل گیاهچهٔ آهار در هر سه سطح تنش خشکی شده و می‌توان از آن به عنوان راهکاری برای بهبود جوانه‌زنی بذر آهار در شرایط تنش خشکی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ، کلروفیل برگ، محتوای رطوبت نسبی برگ

۱- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان
۲- کارشناس ارشد گروه کشاورزی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان
۳- مربی گروه کشاورزی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان
* نویسنده مسئول: farzin.abdollahi@yahoo.com

مقدمه

آهار (*Zinnia elegans* L.) از خانواده *Compositae* گیاهی است یکساله که از گل‌های بهاره و تابستانه بوده و در حاشیه‌کاری، باغچه و فضای سبز شهری و همچنین به عنوان گل بریدنی استفاده می‌شود. این گیاه روز کوتاه اختیاری بوده و در روزهای کوتاه سریع‌تر به گل می‌رود. زمین‌های مرطوب و آفتابگیر را دوست دارد. دماهای بالا را تحمل می‌کند و در این شرایط به خوبی گل می‌دهد (Kafi and Ghasemi Ghahsareh, 2009).

تنش آب مهمترین عامل ناتوانی بذور برای جوانه‌زنی می‌باشد، چرا که سرعت و درصد جوانه‌زنی را کاهش داده و در نهایت استقرار گیاهچه را به تأخیر می‌اندازد(Kafi *et al*., 2009). کاهش پتانسیل اسمزی و ماتریک از طریق کاهش دسترسی بذر به آب تأثیر مستقیمی بر سرعت جذب آب و جوانه‌زنی دارد (Kafi *et al*., 2009).

روش‌های به‌زراعی و به‌نژادی متفاوتی برای افزایش تولید محصولات کشاورزی در شرایط تنش وجود دارد. یکی از روش‌هایی که در دهه‌های اخیر متداول شده است پیش‌تیمار بذر یا پرایمینگ بذر است (Kafi *et al*., 2005). پیش تیمار بذر یکی از روش‌های تیمار بذری قبل از کاشت است که در آن بذر گیاهان زراعی در داخل آب مرطوب شده و تا مرحله‌ای پیش می‌رود که بذر خیس خورده ولی خروج ریشه‌چه اتفاق نیفتد (Bradford 1986, Kafi *et al*., 2005). در روش هیدروپرایمینگ بذور با آب خالص و با استفاده از مواد شیمیایی محلول تیمار می‌شوند، که این نوع پرایمینگ بسیار ساده و ارزان بوده و مقدار جذب آب؛ از طریق مدت زمانی که بذور در تماس با آب هستند کنترل می‌شود (Kafi *et al*., 2009). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که پیش تیمار بذر از طریق افزایش سرعت جوانه‌زنی، یکنواخت‌کردن جوانه‌زنی و ایجاد گیاهچه‌های طبیعی با قدرت عمومی بالا، موجب بهبود کارایی بذر به‌ویژه در شرایط تنش می‌گردد(Sharifzadeh et al., 2006; Ashraf and Foolad, 2005; Farooq et al., 2006). پیش‌تیمار بذر با هورمون‌های گیاهی موجب بهبود رشد و عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش می‌شود. برای پیش‌تیمار بذور از تنظیم‌کننده‌های رشد استفاده می‌شود که یکی از آن‌ها اسید سالیسیلیک است (Kafi *et al*., 2009).

سالیسیلیک اسید ($C_7H_6O_3$) یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید بوسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود و نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد و نمو گیاه، جذب یون، فتوسنتز و جوانه‌زنی ایفا می‌کند (Popova *et al*., 1997) . مقدار زیادی از سالیسیلیک اسید در نمونه‌های خاک برداشته شده از ریزوسفر ذرت و لوبیا گزارش شده است (El-Tayeb, 2005). همچنین راجاسکاران و همکاران (Rajasekaran *et al*., 2002) نشان دادند که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید از طریق سنتز پروتئین در بذر و درنتیجه افزایش جذب آب باعث تحریک جوانه‌زنی بذر می‌شود. بنا بر مشاهدات سنارانتا و همکاران (Senaranta *et al*., 2002) اسید سالیسیلیک مولکول واسطه‌ای مهم جهت واکنش گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است. این ترکیب به عنوان یک سیگنال داخلی باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های شوری، خشکی، سرما و گرما می‌شود (Hayat *et al*., 2007). نتایج برخی از پژوهش‌ها بیانگر این است که پیش‌تیمار بذر گیاهان با اسید سالیسیلیک، موجب افزایش تحمل آن‌ها در شرایط تنش‌های مختلف محیطی از جمله تنش خشکی می‌گردد. پیش‌تیمار بذر توسط اسید سالیسیلیک موجب افزایش تحمل سویا (*Glycin max*) در شرایط تنش خشکی از طریق تحریک سنتز قندهای محلول (Al-Hakimi, 2006) تعدیل اثرات منفی تنش شوری در گیاه باقلا (*Faba vicia*) (Azooz, 2009) و موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت تنش خشکی می‌گردد (Pak Mehr *et al*., 2011). گزارش شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک در گوجه فرنگی می‌تواند با برطرف کردن تنش خشکی وضعیت گیاه را بهبود بخشد (Senaratna *et al*., 2002). در پژوهشی‌که توسط مرادی و رضوانی مقدم (Moradi and Rezvani Moghaddam, 2010) انجام شد، پرایمینگ بذر رازیانه (*Foeniculum vulgare Mill*) با اسید سالیسیلیک موجب افزایش قدرت عمومی بذر در شرایط تنش شوری گردید. از آنجاکه پژوهش‌های بسیار کمی در زمینه تأثیر پیش‌اندازی بذر بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه آهار در شرایط تنش‌های محیطی انجام شده‌است، لذا هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک به عنوان عامل پیش‌تیمار بذر بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گل آهار در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر پیش‌اندازی بذر توسط اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه زینتی آهار *(Zinnia elegans)* در شرایط تنش خشکی، دو پژوهش به صورت دو آزمایش جداگانه شامل جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه و کشت گلدانی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در آزمایشگاه گروه باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان در سال ۱۳۹۳ اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح پرایمینگ با سالیسیلک اسید در ۴ غلظت صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار و ۴ سطح خشکی شامل صفر، ۰/۵-، ۱- و ۱/۵- مگاپاسکال بودند. به منظور تهیه پتانسیل‌های مختلف اسمزی از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG 6000) از رابطه ۱ استفاده شد (Michel and Kaufmann 1973).

$$\Psi_s = -(1.18 \times 10^{-2})\, C - (1.18 \times 10^{-4})\, C^2 + (2.6 \times 10^{-4})\, CT + (8.39 \times 10^{-7})\, C^2T \quad (۱)$$

در این رابطه Ψ_s پتانسیل اسمزی بر حسب مگاپاسکال، C غلظت PEG 6000 بر حسب گرم بر کیلوگرم آب و T دما بر حسب درجه کالوین می‌باشد.

قبل از شروع آزمایش، بذور جهت ضدعفونی به مدت ۳ دقیقه در محلول هیپوکلریت ۳٪ (وایتکس) قرار گرفتند و پس از شستشو با آب مقطر، با قرارگرفتن در ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت، خشک شدند. به منظور اعمال تیمارهای پرایمینگ، بذور ضدعفونی شده به مدت ۱۲ ساعت در محلول‌های مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط تاریکی و دمای۱± ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرارگرفتند. پس از اعمال تیمارهای پرایمینگ، بذرها با آب مقطر شسته و با قرارگرفتن در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت، خشک شدند. جهت بررسی واکنش جوانه‌زنی، در هر پتری دیش حاوی کاغذ صافی واتمن، ۳۰ عدد بذر آهار قرارداده شد و به هر پتری دیش ۵ میلی‌لیتر از محلول‌های پلی اتیلن گلیکول و یا آب مقطر (برای تیمار شاهد) اضافه شد بطوری‌که بذور در ظروف معلق نبودند. سپس پتری دیش‌ها در داخل کیسه‌های نایلونی شفاف قرار داده شده و جهت جوانه‌زنی به ژرمیناتور مدل رایان شیمی منتقل شدند. شرایط اتاقک رشد به صورت ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و دمای ۱±۲۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی۵۰٪ تنظیم شد. شمارش بذرهای جوانه زده از آغاز جوانه‌زنی به مدت ۱۵ روز انجام گرفت. سرعت جوانه‌زنی بذر با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (Alizadeh and Isvand, 2004).

$$GR = \sum_{i=1}^{n} \frac{Ni}{Ti} \quad (۲)$$

که در این معادله GR سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)، Ni تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز شمارش، Ti تعداد روز تا شمارش iام و n تعداد روزهای شمارش می‌باشد. در پایان دوره آزمایش درصد جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه از کولیس استفاده شد. جهت تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون و دمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرارگرفتند و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه با ترازوی ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

در آزمایش گلدانی، پس از ضدعفونی و اعمال پیش‌تیمار بذر با متیل اسید سالیسیلیک، تعداد ۳۰ عدد بذر پیش‌تیمار شده آهار در گلدان‌های پلاستیکی ۲ کیلوگرمی حاوی خاک با بافت لومی شنی (۵۰ درصد شن، ۲۵ درصد رس و ۲۵ درصد سیلت) کاشته‌شدند. آبیاری با استفاده از محلول‌های پلی اتیلن گلیکول هر دو روز یک‌بار و به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر انجام شد. جهت تغذیه گیاهان، پس از آبیاری چهارم (مرحله ۲ برگی تیمار شاهد) و دهم (ارتفاع ۱۰ سانتیمتری بوته‌های تیمار شاهد و در مرحله ۲ تا ۴ برگی) کود کامل مایع با غلظت ۲ درهزار و به میزان ۱۰ میلی‌لیتر به هر گلدان اضافه شد. ۲۸ روز پس از شروع آزمایش، درصد گیاهچه سبز شده، ارتفاع و وزن خشک گیاهچه، محتوای رطوبت نسبی برگ (LRWC= Leaf Relative Water Content) و میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کل کلروفیل اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری وزن خشک پس از برداشت گیاهچه‌ها، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون قرار داده شدند. محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها طبق روش ترنر (Turner, 1981) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از برگ‌های جوان توسعه‌یافته، نمونه انتخاب و پس از اندازه‌گیری وزن تازه (FW = Fresh Weight) به مدت دو ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شد. بلافاصله پس از خروج نمونه‌ها از آب مقطر، وزن آماس (TW = Turgid Weight) محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک (DW = Dry Weight) نمونه‌ها

به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد آون قرار داده شدند. محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها با استفاده از رابطه شماره (۳) بدست آمد (Turner, 1981).

$$LRWC\ (\%) = \frac{FW-TW}{TW-DW} \times 100 \quad (۳)$$

میزان کلروفیل برگ توسط روش عصاره‌گیری با استون ۸۰ درصد اندازه‌گیری شد. بعد از استخراج عصاره‌ها، میزان جذب آنها در طول موج‌های ۶۳۸ و ۶۴۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل $20D^{+}$ خوانده شد. برای محاسبه میزان کلروفیل a و کلروفیل b به ترتیب از روابط ۴ و ۵ استفاده‌شد (Khaleghi *et al*., 2012).

$$chl_a = (0.0127)\ (OD645) - (0.00269)\ (OD645) \times V/W \quad (۴)$$

$$chl_b = (0.0229)\ (OD645) - (0.00468)\ (OD638) \times V/W \quad (۵)$$

که در این روابط، chl_a و chl_b به ترتیب میزان کلروفیل a و کلروفیل b بر حسب میلی‌گرم درگرم وزن تازه برگ، OD (Optical Density) میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج مورد نظر، V حجم نهایی عصاره و استون (میلی‌لیتر) و W وزن تازه برگ (میلی‌گرم) می‌باشند.

با توجه به نرمال نبودن داده‌های درصد جوانه‌زنی و محتوای رطوبت نسبی برگ، برای نرمال کردن داده‌ها که از نوع درصد بودند از تبدیل زاویه معکوس استفاده شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم افزار SAS انجام پذیرفت

نتایج و بحث

نتایج میانگین مربعات اثر خشکی و اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه آهار در جدول ۱ نشان داده شده است. اثر خشکی بر وزن خشک ریشه‌چه در سطح آماری ۵ درصد و بر سایر صفات اندازه‌گیری شده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اسید سالیسیلیک بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه در سطح یک درصد و بر وزن خشک ریشه‌چه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود در حالیکه اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه نداشت (جدول ۱). اثر متقابل خشکی و اسید سالیسیلیک بر طول ریشه‌چه و نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه در سطح آماری ۱ درصد و بر سایر صفات در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار بود(جدول ۱).

جدول ۱- میانگین مربعات اثر خشکی و اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه آهار.

Table 1. Mean of squares of the effect of drought and salicylic acid on seed germination and primary seedling growth of zinnia.

منبع تغییر Source of variance	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقه‌چه Plumule length	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه Root/plumule	وزن خشک ریشه‌چه Rootlet dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight
	میانگین مربعات Mean of squares						
خشکی	4688.42**	4.97**	17.60**	76.62**	0.33**	71.74*	873.14**
اسید سالیسیلیک	83.90**	0.055**	1.83ns	2.38**	0.038**	44.74*	13.36**
خشکی × اسیدسالیسیلیک	47.66*	0.282*	4.21**	1.75*	0.028**	61.06*	54.79*
خطا	38.26	0.549	1.81	5.04	0.007	44.23	48.33
ضریب تغییرات	10.0	19.7	16.99	17.31	8.54	18.64	15.49

: عدم وجود تفاوت معنی‌دار.ns* و ** به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد؛

* and ** indicate significant differences at 5% and 1% levels, respectively; ns: not significant

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف خشکی و پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه آهار در جدول ۲ نشان داده شده است. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار میانگین صفات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه آهار شد. هنگام وقوع تنش خشکی، جذب آب توسط بذر مختل گشته و این موضوع موجب کاهش جوانه‌زنی بذر می‌گردد (Kafi et al., 2009). به نظر می‌رسد این موضوع موجب کاهش جذب آب توسط بذر و درنتیجه کاهش فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک آن شده و لذا ظهور گیاهچه با مشکل مواجه می‌شود (Kafi et al., 2005).

در کلیه سطوح تنش خشکی، پیش‌تیمار بذر آهار توسط اسید سالیسیلیک نه تنها باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی گردید بلکه در شرایط بدون تنش نیز باعث افزایش صفات مورد ارزیابی شد، به طوری که در شرایط بدون تنش، پیش‌تیمار بذر با ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه به ترتیب به میزان ۵/۸، ۱۲/۶، ۱۴/۵، ۳/۵، ۱۱/۰، ۱۱/۴ و ۷/۴ درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول ۲). در هر سه سطح تنش خشکی، غلظت یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین تأثیر را بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه داشت. یکی از ویژگی‌های مهم در ارزیابی میزان تحمل گونه‌ها و ارقام گیاهی به خشکی، بررسی سرعت جوانه‌زنی آنها در شرایط تنش است، زیرا سرعت جوانه‌زنی بالا در شرایط تنش خشکی امکان سبز شدن سریعتر را فراهم می‌سازد (Kafi *et al*., 2009). نتایج مشابهی در رابطه با کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی گندم، ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*)و یونجه (*Medicago sativa*) توسط سایر محققان گزارش شده است(Hamidi and Safarnejad, 2010; Manga, 1998; Baalbaki et al., 1999). در هر سطح خشکی، اگرچه پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک موجب بهبود ویژگی‌هایی جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه آهار شد ولی در اغلب موارد نتوانست میانگین صفات را به طور معنی‌داری افزایش دهد. مطالعات نشان داده است که پیش‌تیمار بذر توسط اسید سالیسیلیک احتمالا از طریق تحریک تقسیم سلولی مریستم ریشه‌چه موجب افزایش طول و وزن ریشه‌چه می‌گردد (Hamada and Al-Hakimi, 2001). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه بطور معنی‌دار افزایش یافت (جدول۲). افزایش این نسبت بیانگر بهبود ویژگی‌های رویشی گیاهچه در شرایط تنش است (Kafi et al., 2009).

در شرایط تنش خشکی و در اغلب صفات ارزیابی شده، پیش‌تیمار بذر با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک موجب کاهش میانگین صفات در مقایسه با غلظت یک میلی‌مولار شد به طوری که با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک تا سطح یک میلی مولار درصد جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه در مقایسه با شاهد افزایش یافت اما در غلظت ۱/۵ میلی مولار میانگین این صفات کاهش یافت، به طوری که میانگین این صفات در این غلظت تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند. این موضوع احتمالا بیانگر اثر بازدارندگی غلظت‌های بالای اسید سالیسیلیک بر درصد جوانه‌زنی است. برخی مطالعات بیانگر تأثیر منفی غلظت‌های بالای اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان می‌باشد (Chen et al., 1997; Xie et al., 2007; Rajou et al., 2006). اسید سالیسیلیک در غلظتهای زیاد احتمالا از طریق جلوگیری از سنتز آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی (Xie et al, 2007) و تحریک سنتز پراکسید هیدروژن (Rao et al., 1997) باعث کاهش درصدجوانه‌زنی بذر آهار می‌شود. در سطوح پایین تنش خشکی (۰ و ۰/۵- مگاپاسکال) بیشترین میزان نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه و وزن خشک ریشه چه در پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار بدست آمد در حالی که در سطوح بالای تنش خشکی (۱- و ۱/۵- مگاپاسکال) بیشترین میانگین این صفات با کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- اثر متقابل خشکی و اسید سالیسیلیک بر جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه آهار.

Table 2. Interaction effect of drought and salicylic acid (SA) on seed germination and primary seedling growth of zinnia.

وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم) Plumule dry weight (mg)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم) Rootlet dry weight (mg)	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه Rootlet/plumule	طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Plumule length (mm)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Rootlet length (mm)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination Rate (Seed.day^{-1})	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	اسید سالیسیلیک (میلی مولار) SA (m*M*)	خشکی (مگاپاسکال) Drought (MPa)
54bc	35ef	0.73d	11.3a	8.3bc	3.3a	83.3a	0	
57ab	36def	0.79cd	10.9abc	8.6abc	3.2a	86.5a	0.5	
59a	37cde	0.72d	11.1ab	8.0bcd	2.6bc	79.7ab	1	0
58ab	39bcd	0.81bcd	11.7a	9.5ab	2.9ab	88.1a	1.5	
50cd	33fgh	0.89bcd	9.6cde	8.5abc	2.2cde	64.7cde	0	
51c	35ef	0.91bcd	8.7efg	7.9cde	1.9def	68.0bcd	0.5	
53bc	43a	0.90bcd	10.1bcd	9.1abc	2.1cde	78.3ab	1	-0.5
46de	40abc	0.88bcd	9.2def	8.1bcd	2.0def	71.4bc	1.5	
42efg	36def	1.06bc	7.7gh	8.2bc	1.7ef	54.3e	0	
38gh	34efg	0.98bcd	8.6efg	8.4bc	1.8def	57.9ed	0.5	
44ef	39bcd	1.12ab	8.3fg	9.3abc	2.3cd	64.4ecd	1	-1
41fg	41ab	1.41a	7.1hi	10.0a	2.2cde	54.7e	1.5	
35h	28i	0.96bcd	5.7j	5.5f	1.5f	35.5f	0	
38gh	30hi	1.11ab	5.9j	6.6def	1.7ef	38.0f	0.5	
40fg	29i	1.03bc	6.1ij	6.3ef	1.6f	41.3f	1	-1.5
34h	31ghi	1.06bc	5.1j	5.3f	1.0f	36.8f	1.5	

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means with at least one similar letter have not significant difference (P<0.05).

نتایج آزمایش گلدانی

نتایج میانگین مربعات اثر سطوح مختلف خشکی و اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاهچه آهار در جدول ۳ نشان داده شده است. اثر خشکی بر تمام صفات ارزیابی شده در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. اثر اسید سالیسیلیک بر درصد ظهور گیاهچه، ارتفاع بوته و میزان کلروفیل b برگ در سطح ۵ درصد و بر سایر صفات در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل خشکی و اسید سالیسیلیک بر وزن خشک گیاهچه، محتوای رطوبت نسبی برگ و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b در سطح یک درصد و بر سایر صفات در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۳- میانگین مربعات اثر خشکی و اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاهچه آهار.

Table 3. Mean of squares of the effect of drought and salicylic acid on seed germination and primary seedling growth of zinnia.

میانگین مربعات Mean of squares							
نسبت کلروفیل a به کلروفیل b	کلروفیل b (mg.)	کلروفیل a Chla	محتوای رطوبت نسبی برگ Relative water content	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	ارتفاع بوته Plant height	درصد ظهور گیاهچه Seedling emergence	متغیر Variable
0.898**	0.23**	0.34**	643.88**	16.50**	66.03**	185.63**	خشکی
0.146**	0.006*	0.035**	16.96**	2.14**	12.56*	2.79*	اسید سالیسیلیک
0.552**	0.004*	0.035*	7.79**	0.87**	10.57*	2.07*	خشکی × اسیدسالیسیلیک
0.009	0.003	0.003	17.50	0.23	4.35	35.91	خطا
7.35	16.33	7.00	10.99	10.10	13.29	9.51	ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد؛ ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار.

* and ** indicate significant differences at 5% and 1% levels, respectively; ns: not significant

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف خشکی و پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی-های رشدی و فیزیولوژیکی گیاهچه آهار در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین میانگین صفات رشدی و فیزیولوژیکی ارزیابی شده (باستثناء وزن خشک گیاهچه)، در شرایط بدون تنش خشکی مشاهده شد. در این شرایط پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک نتوانست میانگین صفات را در مقایسه با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک بطور معنی‌دار افزایش دهد (جدول ۴).

پیش‌تیمار بذر آهار در شرایط تنش خشکی با مقادیر بالای اسید سالیسیلیک (۱- و ۱/۵- میلی‌مولار) باعث افزایش جزئی درصد ظهور گیاهچه در مقایسه با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک شد (جدول ۴). اما اسید سالیسیلیک در تمام سطوح تنش خشکی (باستثناء تنش خشکی ۱/۵- مگاپاسکال) نتوانست میانگین این صفت را بطور معنی‌دار افزایش دهد (جدول ۴).

بیشترین ارتفاع بوته (۱۹/۵ سانتی‌متر) در شرایط بدون تنش و پیش‌تیمار ۱ میلی مولار اسید سالیسیلیک بدست آمد. پیش‌تیمار بذر توسط اسید سالیسیلیک نتوانست باعث افزایش معنی‌دار ار تفاع بوته در سطوح پایین تنش خشکی (۰/۵- مگاپاسکال) گردد در حالی که در سطوح بالای تنش خشکی (۱/۵- مگاپاسکال) موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته در مقایسه با شرایط عدم پیش‌تیمار بذر شد (جدول ۴). بطوری که در شرایط تنش خشکی معادل ۱/۵- مگاپاسکال، پیش‌تیمار بذر با غلظت ۱/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش ارتفاع بوته آهار به میزان ۸۵/۴ درصد در مقایسه با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک گردید..

جدول ۴- اثر سطوح مختلف خشکی و پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاهچه آهار

Table 6. Effect of different levels of drought and salicylic acid (SA) on some growth and physiological characteristics of zinnia seedling.

خشکی Drought (MPa)	اسید سالیسیلیک SA (mM)	درصد ظهور گیاهچه Seedling emergence (%)	ارتفاع بوته (سانتیمتر) Plant height (cm)	وزن خشک گیاهچه (گرم در بوته) Seedling dry weight ($g.plant^{-1}$)	محتوای رطوبت نسبی برگ (درصد) Relative water content (%)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر میلی گرم وزن تازه) Chla ($mg.mgfw^{-1}$)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر میلی گرم وزن تازه) Chlb ($mg.mgfw^{-1}$)	نسبت کلروفیل a به کلروفیل b Chla/Chlb
	0	88.7ab	18.6ab	6.0a-d	90.5ab	1.02b	0.41a	2.50cde
	0.5	91.0a	17.3a-d	5.1de	92.3a	0.99b	0.38abc	2.61cd
0	1	87.3abc	19.5a	6.6ab	90.7ab	1.11a	0.33efg	3.37a
	1.5	86.7a-d	17.5abc	4.9de	89.9ab	1.19a	0.39ab	3.06a
	0	74.3cd	16.6b-e	5.2cde	88.4ab	0.88cd	0.37bcd	2.40def
	0.5	75.7bcd	16.4b-e	5.6bcd	87.5b	0.93bc	0.31fgh	3.01ab
-0.5	1	76.7bcd	17.7ab	6.3abc	89.1ab	0.77efg	0.40ab	1.93g
	1.5	73.3de	17.1bcd	7.0a	91.3ab	0.70gh	0.38abc	1.84g
	0	51.0ef	13.4fg	3.7fg	77.6cd	0.65h	0.29hi	2.24ef
	0.5	53.3ef	14.8ef	4.1ef	78.6cd	0.74fg	0.27i	2.74bc
-1	1	60.7e	12.4g	5.4cd	80.5c	0.81def	0.32e-h	2.53cde
	1.5	55.3ef	15.4c-f	5.3cd	79.4cd	0.83de	0.34def	2.44c-f
	0	25.8i	8.9h	2.9g	72.1e	0.51i	0.21j	2.42def
	0.5	30.3i	11.7g	3.3fg	76.6cd	0.62h	0.29hi	2.14fg
- 1.5	1	36.7gi	15.1def	3.5fg	79.3cd	0.70gh	0.30ghi	2.33def
	1.5	45.7fg	16.5b-e	3.0fg	75.6de	0.86cd	0.35cde	2.46cde

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means with at least one similar letter have not significant difference (P<0.05).

اگرچه در شرایط بدون تنش خشکی، پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک (باستثناء غلظت ۱ میلی مولار) باعث کاهش وزن خشک گیاهچه آهار در مقایسه با شاهد شد اما این عمل در شرایط تنش خشکی، افزایش وزن خشک گیاهچه در مقایسه با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک را به دنبال داشت و این افزایش با کاربرد ۱ و ۱/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک در سطوح تنش ۰/۵- و ۱- مگاپاسکال معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین وزن خشک گیاهچه (۷/۰ گرم در بوته) در شرایط تنش خشکی ۰/۵- مگاپاسکال و پیش‌تیمار بذر با ۱/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که با تیمار عدم تنش خشکی و پیش‌تیمار بذر با یک میلی مولار اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری نداشت. در تنش خشکی ۱/۵- مگاپاسکال، پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک نتوانست وزن خشک گیاهچه را بطور معنی‌دار افزایش دهد (جدول ۴).

افزایش رشد در حضور سالیسیلیک اسید در گندم گزارش شده است (Sharikova *et al*., 2003). کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید بر محدوده وسیعی از فرایندها از جمله جوانه‌زنی بذر، جذب و انتقال یون‌ها، نفوذپذیری غشاء تاثیر گذار است. همچنین تصور می‌شود که سالیسیلیک اسید جذب یون بوسیله ریشه‌ها و هدایت روزنه‌ای را تنظیم می‌کند (Sun *et al*, 2004). غلظتهای بالای اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های رویشی گیاهان اثر منفی می‌گذارد (Chen *et al*., 1997; Xie *et al*., 2007; Rajou *et al*., 2006). اسید سالیسیلیک در غلظتهای زیاد احتمالا از طریق تحریک سنتز آنزیم پراکسید هیدروژن (Rao *et al*., 1997) باعث کاهش رشد رویشی گیاهچه آهار گردیده است.

مطالعات نشان می‌دهند که سالیسیلیک اسید از درجه اهمیت بالایی برای کاهش اثرات منفی ناشی از تنش‌ها برخورداراست. همچنین سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک مولکول القایی در سیستم دفاعی گیاهان مطرح است (Shah, 2003). نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد سالیسیلیک اسید سبب کاهش اثرات منفی برخی تنش-های غیرزنده مثل تنش خشکی در چرخه زندگی گیاه می‌شود (Metwally *et al*., 2003). گزارش شده است که پیش‌تیمار بذر گندم (*Triticum aestivum*) با اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار رنگیزه‌های گیاهی می‌گردد (Hayat *et al*., 2005). اما بر خلاف این نتایج گزارش شده است که پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک باعث کاهش تولید رنگیزه‌های گیاهی از جمله کلروفیل می‌گردد (Anandhi and Ramanujam, 1997; Pancheva *et al*., 1996). در گیاه خردل مشاهده شد که غلظت‌های پایین (10^{-5} مولار) اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل و تجمع ماده خشک می‌شود ولی غلظتهای بالا (10^{-3} مولار) اثر بازدارندگی بر صفات مزبور دارد (Fariduddin *et al*., 2003). پیش‌تیمار بذر توسط سالیسیلیک اسید موجب افزایش رشد طولی ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه گندم *Triticum aestivum* در شرایط تنش شوری شد (Doulatabadian *et al*., 2008). از جمله علل کاهش اثرات ناشی از تنش‌ها بدین دلیل است‌که سالیسیلیک اسید باعث افزایش بعضی از هورمون‌های گیاهی مانند اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها و کاهش نشت‌یونی از سلول‌های گیاهی می‌گردد (Sharikova *et al*., 2003). همچنین اسید سالیسیلیک از طریق افزایش بیوسنتز ترکیبات آلی مانند قندهای محلول، همی‌سلولز، چربی کل، گلیکولیپید و استرول اندام هوایی، باعث سازگار شدن گیاه به شرایط تنش خشکی می‌گردد (Al-Hakimi, 2006). از طرف دیگر پیش‌تیمار بذر توسط اسید سالیسیلیک از طریق تحریک سنتز آنزیم‌های آنتی اکسیدان موجب بهبود ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی (Doulatabadian et al., 2008) و درنتیجه افزایش تحمل گیاهچه آهار به شرایط تنش شوری می‌شود.

نتایج جدول ۴ نشان داد که بیشترین محتوای رطوبت نسبی برگ در شرایط بدون تنش و کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیک اسید بدست می‌آید. کاربرد اسید سالیسیلیک در سطوح مختلف تنش خشکی اگرچه باعث افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ در مقایسه با عدم کاربرد آن شد اما این افزایش تنها در شرایط تنش ۱/۵- مگاپاسکال معنی‌دار بود (جدول ۴). در اغلب سطوح تنش خشکی (به جز سطح تنش خشکی ۰/۵- مگاپاسکال) بیشترین محتوای رطوبت نسبی برگ هنگام کاربرد ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بدست آمد. افزایش محتوای رطوبت نسبی در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک موجب کاهش اثرات منفی تنش می‌گردد (Azooz, 2009; Khan *et al*., 2003; Yildirim *et al*., 2008). احتمالا اسید سالیسیلیک از طریق سنتز اسمولیت‌های سازگار در شیره

سلولی منجر به افزایش جذب آب و درنتیجه محتوای رطوبت نسبی در شرایط تنش می‌گردد (Azooz, 2009; Khodary, 2004; Hussein *et al*., 2007; Gunes et al., 2007)

به استثناء سطح تنش ۰/۵- مگاپاسکال، در سایر سطوح تنش با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، میزان کلروفیل a در مقایسه با شاهد در اغلب موارد بطور معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۴). با کاربرد اسید سالیسیلیک میزان کلروفیل b در سطوح تنش خشکی ۱- و ۱/۵- مگاپاسکال بطور معنی‌دار افزایش یافت اما در شرایط بدون تنش و تنش ۰/۵- مگاپاسکال این موضوع کاهش کلروفیل b را بدنبال داشت (جدول ۴). در شرایط بدون تنش، کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش معنی‌دار نسبت کلروفیل a به b شد. در حالی‌که در شرایط تنش خشکی اگرچه تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک بر این نسبت معنی‌دار بود ولی روند منطقی در تغییرات آن مشاهده نگردید (جدول ۴). حفظ توانایی تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی به ویژه کلروفیل a و کلروفیل b شاخص مناسبی برای ارزیابی میزان تحمل گیاه به شرایط نامساعد محیطی است (Pessarakli, 2014). برخی مطالعات بیانگر این مطلبند که اسید سالیسیلیک از طریق تحریک سنتز رنگیزه‌های گیاهی از جمله کلروفیلa و b ظرفیت فتوسنتزی گیاه را در شرایط تنش حفظ کرده و از این طریق موجب سازگاری گیاه با شرایط تنش می‌گردد (Khan *et al*., 2003; Yildirim *et al*., 2008; Senaranta, 2002; Shi *et al*., 2006).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد سالیسیلیک اسید نقش کلیدی در کاهش تنش ناشی از خشکی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه آهار *Zinnia elegans* L ایفاء می‌کند. پیش‌تیمار بذر آهار با غلظتهای کمتر از ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک موجب بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در شرایط آزمایشگاهی شد. در آزمایش گلدانی و در شرایط تنش خشکی ۱- و ۰/۵- مگاپاسکال، پیش‌تیمار بذر با غلظت ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث بهبود ویژگی‌های رویشی آهار گردید در حالی که در غلظت ۱/۵- مگاپاسکال کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک منجر به تعدیل اثرات منفی تنش خشکی گردید. پیش‌تیمار بذر توسط اسید سالیسیلیک باعث افزایش محتوای رطوبتی برگ گردید. به نظر می‌رسد که سالیسیلیک اسید از طریق سازماندهی مکانیسم‌های دفاعی، تحریک سنتز ترکیبات آلی، افزایش محتوای رطوبتی گیاه، تغییر تعادل هورونی، افزایش بعضی از هورمون‌های گیاهی اثر مثبتی بر جوانه‌زنی و برخی خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی داشته و با تاثیر بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه سبب افزایش مقاومت گیاهچه‌ای آهار تحت تنش خشکی می‌گردد. نتایج این مطالعه نشان داد پیش تیمار بذر با سالیسیلیک اسید از طریق بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد منجر به افزایش تحمل گیاهچهٔ آهار در هر سه سطح تنش خشکی شده و می‌توان از آن به عنوان راهکاری برای بهبود جوانه‌زنی بذر آهار در شرایط تنش خشکی استفاده کرد.

منابع

Al-Hakimi, A. M. A. 2006. Counteraction of drought stress on soybean plants by seed soaking in salicylic. International Journal of Botany, 2: 421–426.

Alizadeh, M. A. and Isvand, H. R. 2004. Evaluation and the study of germination potential, speed of germination and vigor index of the seeds of two species of medicinal plants (*Eruca sativa* Lam., *Anthemis altissima* L.) under cold room and dry storage condition. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 20: 301-307.

Anandhi, S. and Ramanujam, M. P. 1997. Effect of salicylic acid on black gram (*Vigna mungo*) cultivars. Indian Journal of Plant Physiology, 2: 138–141.

Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2005. Pre-sowing seed treatment-A shotgun approach to improve germination plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in Agronomy, 88: 223-271.

Azooz, M. M. 2009. Salt stress mitigation by seed priming with salicylic acid in two faba bean genotypes differing in salt tolerance. International Journal of Agriculture and Biology, 11: 343–350.

Baalbaki, R. Z. Zurayk, R. A. Blelk, M. M. and Tahouk, S. N. 1999.Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. Seed Science and Technology, 27: 291-302.

Bradford, K. J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. Horticultural Science, 21: 1105-1112.

Chen, Z., Iyer, S. Caplan, A. Klessig, D. F. and Fan, B. 1997. Differential accumulation of salicylic acid and salicylic acid- sensitive catalase in different rice tissues. Plant Physiology, 114:193-201.

Doulatabadian, A, Modarres Sanavy, S. A. M. and Etemadi, F. 2008. Effect of pretreatment of salicylic acid on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination under salt stress. Iranian Journal of Biology, 21:692-702. (In Persian).

El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation, 45: 215-225.

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.

Farooq, M. Basra, S. M. A. Warraich, E. A. and Khaliq, A. 2006. Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. Seed Science and Technology, 34: 529- 534.

Gunes, A. Anal, A. Alpaslan, M. Eraslan, F. Bagci, E. G. and Cick, N. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutration in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. Journal of Plant Physiology, 164: 728–736

Hamada. A. M. and Al- Hakimi, A. M. A. 2001. Salicylic acid versus salinity drought induced stress on wheat seedlings. Rostlinna Vyroba, 47: 444-450.

Hamidi, H. and Safarnejad, A. 2010. Effect of drought stress on alfalfa cultivars (Medicago sativa L.) in germination stage, American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 8(6): 705-709.

Hayat, S. Ali, B. and Ahmad, A. 2007. Salicylic Acid: Biosynthsis, Metabolism and Physiological Role in Plants. In: Hayat, S. and Ahmas, A. (Eds.) Salicylic Acid. A Plant Hormone Springer Verlag, Berlin. The Germany. pp: 1-14.

Hayat, S., Fariduddin, Q. Ali, B. and Ahmad, A. (2005) Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. Acta Agronomica Hungarica 53: 433–437.

Hussein, M. M., Balbaa, L.K. and Gaballah, M.S. 2007. Salicylic acid and salinity effect on growth of maize plants. Research Journal of Agriculture and Biological Science, 3: 321–328.

Kafi, M and Ghasemi Ghahsareh, M. 2009. Floriculture. 4th edition, Jahad press, Tehran, volume 1

Kafi, M. Nezami, A. Hosaini, H. and Masomi, A. 2005. Physiological effects of drought stress by polyethylene glycol on germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. Iranian Journal of Field Crops research, 3: 69-80. (In Persian).

Kafi, M. Borzoee, A. Salehi, M. Kamandi, A. Masoumi, A. and Nabati J. 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plants. (1th ed.). Jahad Daneshgahi Mashhad Press. (In Persian).

Khaleghi, E. Arzani, K. Moallemi, N. and Barzegar. 2012. Evaluation of chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters and relationships between chlorophyll a, b and chlorophyll content index under water stress in *Olea europaea* cv. Dezful. International Scholarly and Scientific Research & Innovation, 6: 636-639.

Khan, W., Prithiviraj, B. and Smith, D. L. 2003. Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology,160: 485–492.

Khodary, S. E. A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. International Journal of Agriculture Biology, 6: 5–8.

Manga, V. K. 1998. Germination response of pearl millet genotypes to simulated drought condition. Crop Improvement, 25: 155-158.

Metwally, A. Finkemeier, L. Georgi, M. D. and Ietz, K. J. 2003. Salicylic acid alleviates the Cadmium toxicity in barlly seedling. Plant Physiology, 132:272-281.

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

Moradi, R. and Rezvani Moghaddam, P. 2010. The effects of seed pre-priming with salicylic acid under salinity stress on germination and growth characteristics of *Foenicum vulgare* MILL (Fennel). Iranian Journal of Field Crops Research, 8:489-500. (In Persian).

Pak Mehr, A., Rastgoo, M., Shekari, F., Saba, J., Vazayefi, M., and Zangani, A. 2011. Effect of Salicylic acid priming on yield and yield components of cowpea (Vigna unguiculata L.) under water deficit at reproductive stage. Iranian Journal of Pulses Research, 2:53-64. (In Persian)

Pancheva, T. V., Popova, L. P., & Uzunova, A. M. 1996. Effect of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. Journal of Plant Physiology, 149, 57–63.

Pessarakli, M. 2014. Handbook of plant and crop physiology. Third edition. CRC Press.

Popova, L. Pancheva, T. and Uzunova, A. 1997. Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 23: 85-93.

Rajasekaran, L. R. Stiles, A. Surette, M. A. Sturz, A.V. Blake, T. J. Caldwell, C. and Nowak, J. 2002. Effects of various temperature regimes on germination and the role of salicylates in promoting germination at low temperatures. Canadian Journal of Plant Science, 82: 443-450.

Rajou, L. Belghazi, M. Huguet, R. Robin, C. Moreau, A. Job, C. 2006. Proteomic investigation of the effect of salicylic acid on Arabidopsis seed germination and establishment of early defense mechanisms. Plant Physiology, 141: 910–923.

Rao, M. V. Paliyath, G. Ormrod, D. P. Murr, D. P. and Watkins, C. B. 1997. Influence of salicylic acid on H_2O_2 production, oxidative stress, and H2O2-metabolizing enzymes. Plant Physiology, 115: 137–149.

Shah, J. 2003.The salicylic acid loop in plant defense. Current opinion in plant Biology, 6:365-371.

Sharifzadeh, F. Heidari, H. Mohammadi, H. and Janmohammadi, M. 2006. Study of osmotic priming effects on wheat (*Triticum aestivum* L) germination in different temperatures and local seed masses. Journal of Agronomy, 5: 647-650.

Sharikova, F. Sakhabutdinova, A. Bezrukova, M. Fatkhutdinova, R. and Fatkhudinova, D. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity plant. Science, 164: 317-322.

Shi, Q. Bao, Z. Zhu, Z. Ying, Q. and Qian, Q. 2006. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. Plant Growth Regulation, 48: 127–135.

Senaranta, T. Touchell, D. Bum, E. and Dixon, K. 2002. Acetylsalicylic (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation, 30: 157-161.

Sun, T. P. and Gubler, F. 2004. Molecular mechanism of gibberellin signaling in plants. Annual Review of plant Biology, 55:197-223.

Turner, N. C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water stress. Plant Soil, 58: 339-366.

Xie, Z. Zhang, Z. L. Hanzlik, S. Cook, E. and Shen, Q. J. 2007. Salicylic acid inhibits gibberellin-induced alpha-amylase expression and seed germination via a pathway involving an abscisic-acid inducible WRKY gene. Plant Molecular Biology, 64: 293–303.

Effect of salicylic acid priming on seed germination and some vegetative and physiological characteristics of zinnia (*Zinnia elegans)* under drought condition

Farzin Abdollahi[1*], Ebrahim Rezazadeh Kateh Sari[2], Leila Jafari[3]

Received: December 3, 2015 Accepted: February 8, 2016

Abstract

In order to evaluate the effect of priming by salicylic acid on seed germination and vegetative and physiological characteristics of zinnia (*Zinnia elegans)* under drought stress condition, two laboratory and pot factorial experiments were conducted based on completely randomized design with four replications in the laboratory and greenhouse of the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University at 2014. Experimental factors included priming with salicylic acid in concentrations of 0, 0.5, 1 and 1.5 mM and four drought levels (simulated by PEG 6000) ; 0, -0.5, -1 and -1.5 MPa. The results showed that in both laboratory and pot experiments drought stress reduced seed germination and early seedling growth of zinnia, significantly. While, seed priming with salicylic acid increased these traits when compared to control. In the pot experiment and -1 and -1.5 MPa drought conditions, the seed treatment with 1 mM concentration of salicylic acid improved zinnia vegetative characteristics. At the highest level of drought (-1.5 MPa) level application of 1.5 mM salicylic acid led to dampen the negative effects of the drought. Seed priming with salicylic acid increases the relative water content of the leaves under drought stress conditions. Generally seed priming with salicylic acid can be used for improving zinnia seed germination under drought conditions.

Key words: Priming, Leaf chlorophyll, Relative water content

1. Assistant Professor of Agriculture Department, Agriculture and Natural Resource College, Hormozgan University
2. MSc of Agriculture Department, Agriculture and Natural Resource College, Hormozgan University
3. Instructor of Agriculture Department, Agriculture and Natural Resource College, Hormozgan University
*Corresponding Auhtor: fabdollahi@hormozgan.ac.ir