

اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و سلنیوم در مراحل مختلف رشد بر برخی صفات

فیزیولوژیک نخود تحت شرایط دیم

مجتبی نوروزی^۱ و نورعلی ساجدی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد زراعت، وزارت جهاد کشاورزی، اراک، ایران، hobout_h@yahoo.com

۲- دانشیار گروه آگروتکنولوژی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۷

چکیده

به منظور بررسی واکنش صفات فیزیولوژیک نخود به محلول پاشی سالیسیلیک اسید و سلنیوم در شرایط دیم، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل سالیسیلیک اسید در سه سطح (بدون مصرف، محلول پاشی با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و سلنیوم در دو سطح (بدون مصرف و محلول پاشی به میزان ۱۸ گرم در هکتار در سه مرحله مختلف رشد رویشی، زایشی و رویشی توأم با زایشی) بود. نتایج نشان داد که با محلول پاشی سلنیوم و سالیسیلیک اسید محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. با محلول پاشی مقادیر مختلف سالیسیلیک اسید محتوای کلروفیل a و کارتنوئیدها افزایش و میزان نشت یونی به طور معنی‌داری کاهش یافت. محلول پاشی سلنیوم محتوای کلروفیل a را نسبت به شاهد افزایش داد. اثر متقابل دوگانه تیمارها نشان داد که با محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و بدون مصرف سلنیوم و همچنین محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و بدون مصرف سلنیوم، محتوای کلروفیل b نسبت به شاهد به ترتیب ۲۶/۴، ۲۹/۴ و ۳۲/۳ درصد افزایش نشان داد. با محلول پاشی تیمارهای سالیسیلیک اسید و سلنیوم در هر دو مرحله رشد رویشی و زایشی بیشترین شاخص برداشت غلاف و تلاش و بازآوری حاصل شد. نتایج کلی نشان داد با محلول پاشی توأم ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در دو مرحله رویشی و زایشی از طریق بهبود صفات فیزیولوژیکی می‌توان به عملکرد مطلوب در شرایط دیم دست یافت.

واژه‌های کلیدی: رنگدانه‌های گیاهی، سلنیت سدیم، محتوای نسبی آب، نخود، نشت یونی

مقدمه

نخود یکی از مهم‌ترین حبوبات در دنیا محسوب می‌شود. اهمیت آن به علت داشتن پروتئین بالا (۲۳/۵ تا ۲۸/۹ درصد) در دانه می‌باشد (Mafakheri et al., 2011). در ایران، نخود عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک تولید می‌شود و معمولاً در طی مرحله گلدهی و رسیدگی با افزایش تنش کمبود آب مواجه می‌شود (Talebi et al., 2013).

روش‌های مختلفی در کشاورزی برای افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی وجود دارد. از آن جمله می‌توان به پرایمینگ بذر و محلول پاشی با ترکیبات آلی سازگار از قبیل پرولین، گلاسیسین بتائین، اسیدهای آمینه، سالیسیلیک اسید (Hussain et al., 2008) و عناصری از قبیل سلنیوم، روی و سیلیسیوم (Epstein, 2009) اشاره نمود. سلنیوم به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان نیست؛ با وجود این،

گزارش‌هایی وجود دارد که بیانگر نقش مفید سلنیوم در گیاهان تحت شرایط تنش‌های غیرزنده از قبیل شوری (Abul-Soud & Abd-Elrahman, 2016)، درجه حرارت بالا (Balal et al., 2016) و تنش خشکی (Nawaz et al., 2015) می‌باشد. سلنیوم از طریق شرکت در تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از قبیل حفظ وضعیت آب (Djanaguiraman et al., 2005)، افزایش رنگدانه‌های گیاهی (Malik et al., 2012) و تنظیم دستگاه فتوسنتزی (Balal et al., 2016) گیاه را در برابر تنش‌های غیرزنده حفاظت می‌کند. گزارش شده است که سلنیوم در غلظت‌های پایین از طریق افزایش سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و ساکارز، رشد گیاه را افزایش می‌دهد، ولی در مقادیر بالا باعث کاهش محتوای کلروفیل و کاهش سنتز کربوهیدرات‌ها می‌شود و از این طریق زمینه کاهش رشد گیاه فراهم می‌گردد (Han-Wens et al., 2010). علاوه بر این، گزارش شده است که سلنیوم باعث بهبود عملکرد گیاهان زراعی از قبیل گندم

* نویسنده مسئول: n-sajedi@iau-arak.ac.ir

شرایط اقلیمی منطقه در طول دوره اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

قبل از کشت به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی متر مزرعه نمونه برداری انجام و به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۲). این آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. عوامل مورد آزمایش شامل مراحل رشد در سه سطح محلول پاشی در زمان شروع شاخه‌دهی، یک هفته قبل از گلدهی و هر دو مرحله شروع شاخه‌دهی و یک هفته قبل از گلدهی به عنوان عامل اصلی و سالیسیلیک اسید در سه سطح (بدون مصرف سالیسیلیک اسید، محلول پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) و سلینیوم در دو سطح (بدون مصرف و محلول پاشی سلینیوم به میزان ۱۸ گرم در هکتار از منبع سلیت سدیم) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. زمین محل آزمایش در سال قبل تحت آیش بود. عملیات شخم زمین در تاریخ ۹۲/۷/۱۴ توسط گاوآهن قلمی در عمق ۲۵-۲۰ سانتی متری انجام شد. قبل از کاشت بر اساس نتیجه آزمون خاک، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل به زمین اضافه و به وسیله دیسک با خاک مخلوط شد. عملیات کشت به صورت انتظاری در اواخر بهمن ماه انجام شد.

ژنوتیپ مورد کشت، رقم آزاد بود که بذری آن از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان فراهان تهیه گردید. تراکم کاشت بر اساس ۵۰ کیلوگرم بذر در هکتار صورت گرفت و بذرها در عمق ۶ سانتی متر کشت شدند. فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. هر کرت به مساحت ۱۵ مترمربع (۵×۳)، فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی متر و فواصل بین دو تکرار دو متر در نظر گرفته شد. اولین مرحله از محلول پاشی سالیسیلیک اسید و سلینیوم، در تاریخ دوم اردیبهشت ۱۳۹۳ در مرحله رویشی با استفاده از سمپاش موتوری پستی انجام شد. در تاریخ ۱۷ اردیبهشت دومین مرحله از محلول پاشی تیمارها، یک هفته قبل از گلدهی انجام شد.

برای اندازه‌گیری صفات محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی و رنگدانه‌های گیاهی نمونه برداری از سه تکرار انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل در مرحله گلدهی پنج بوته از هر کرت برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد. برای این منظور ۰/۵ گرم برگ تازه در ۲۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد ساینده و صاف شده مورد استفاده قرار گرفت.

(Nawaz et al., 2015)، برنج (Wang et al., 2013) و ذرت (Chilimba et al., 2012) می‌شود.

سالیسیلیک اسید پتانسیل تأثیر بر دامنه وسیعی از واکنش‌های متابولیسمی در گیاهان را دارد و همچنین روی پارامترهای فتوسنتزی و روابط آبی گیاه مؤثر می‌باشد (Fariduddin et al., 2003). گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید مقاومت گیاهان را به تنش خشکی افزایش می‌دهد (Hussain et al., 2008). افزایش پروتئین‌ها، رنگیزه‌های فتوسنتزی و قندها، اثرهای مهم سالیسیلیک اسید در افزایش مقاومت گیاه سیب‌زمینی در مقابل تنش می‌باشد (Hadi and Balali, 2010). سالیسیلیک اسید در فعال‌سازی سنتز کارتنوئیدها، زانتوفیل‌ها، تحریک سرعت فتوسنتز خالص، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن داخلی، کارایی مصرف آب، هدایت روزنه‌ای و تعرق شرکت می‌کند (Fariduddin et al., 2003; Khan et al., 2003). گزارش شده است که محلول پاشی سالیسیلیک اسید در غلظت ۰/۷ میلی مولار در سه مرحله باعث افزایش شاخص پایداری غشاء و محتوای کارتنوئیدها در نخود ژنوتیپ MCC441 شد (Ramezannezhad et al., 2013). گزارش شده است که محلول پاشی با ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی باعث افزایش تعداد غلاف شد، همچنین محلول پاشی با همین مقدار در زمان گلدهی باعث بهبود صفات تعداد دانه در بوته، درصد نیتروژن خاک و وزن گرهک‌ها در گیاه نخود در شرایط تنش خشکی شد (Rezazadeh, 2011). پیش تیمار بذر نخود با ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و شاخص قدرت گیاهچه در بالاترین عصاره اللوپاتیک تاتوره گردید (Jami Moieni et al., 2016). بنابراین هدف از این آزمایش بررسی تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و سلینیوم در مراحل مختلف رشد بر صفات فیزیولوژیک نخود در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید و سلینیوم در مراحل مختلف رشد بر صفات فیزیولوژیک نخود در شرایط دیم آزمایشی در استان مرکزی، شهرستان فراهان، روستای عزیزآباد با مختصات جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۷۷۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد.

جدول ۱- آمار هواشناسی در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳
Table 1. Meteorological data in 2013-2014 cropping year

ماه و سال Months & Year	میانگین حداقل درجه حرارت (سانتی‌گراد) Mean of minimum temperature (°C)	میانگین حداکثر درجه حرارت (سانتی‌گراد) Mean of maximum temperature (°C)	میانگین درجه حرارت (سانتی‌گراد) Mean of temperature (°C)	میانگین رطوبت نسبی (درصد) Mean of relative humidity (%)	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)
دی ۹۲ January	-12.9	-3.3	-8.1	74	48.9
بهمن ۹۲ February	-13.8	-1.5	-7.6	71	48.9
اسفند ۹۲ March	-1.3	13.2	-7.2	32	2.6
فروردین ۹۳ April	7.4	22.3	14.8	42	95
اردیبهشت ۹۳ May	10.3	25.54	17.9	39	19.5
خرداد ۹۳ June	15	31.6	23.3	26	0
تیر ۹۳ July	20	35.3	27.6	28	0.1
مرداد ۹۳ August	18.6	35.5	27.0	24	0.1
شهریور ۹۳ September	15.3	32.2	23.7	33	1.6

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 2. Physical and chemical soil properties of the experimental site

عمق خاک Soil depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	نیترژن کل N (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	سلنیوم Se (mg/kg)	کربن آلی OC (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0-30	1.1	7.6	0.07	250	10.6	0.18	0.68	26.4	36.2	37.4

شد و داده‌ها تجزیه شدند و اعداد جدید در جدول تجزیه واریانس ارائه شد، ولی در جدول مقایسه میانگین‌ها، اعداد حاصله بر ۱۰۰۰ تقسیم شد تا اعداد واقعی گزارش شوند.

صفات محتوای نسبی آب برگ و میزان نشت یونی سلول در مرحله گلدهی اندازه‌گیری شد. از هر کرت ۱۵ برگچه از برگ‌های بالغ و فعال وسط بوته از پنج بوته جدا و در داخل نایلون قرار داده شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و توزین گردید (وزن تر). سپس سطح برگچه‌ها کاملاً شسته شد و به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند. نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن اشباع مجدداً توزین گردیدند. در نهایت برگچه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون ۷۵ درجه قرار داده شد تا خشک شوند. محتوای نسبی آب برگچه از رابطه زیر محاسبه شد (Turner, 1981):

$$RWC = \frac{Wf - Wd}{Ws - Wd} \times 100$$

رابطه ۴

غلظت نوری کلروفیل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. سپس مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها از روابط زیر محاسبه شدند (Arnon, 1949):

رابطه ۱

$$(\text{mg/g fw}) = [12.7(D663) - 2.69(D645)] V/W \times 1000$$

Chlorophyll a

رابطه ۲

$$(\text{mg/g fw}) = [22.9(D645) - 4.68(D663)] V/W \times 1000$$

Chlorophyll b

رابطه ۳

$$(\text{mg/g fw}) = [7.6(D480) - 1.49(D510)] V/W \times 1000$$

Carotenoids

در روابط فوق، V: حجم محلول صاف شده، D: جذب نور در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳، W: وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشند.

در خصوص صفت محتوای کارتنوئیدها چون اعداد مربوط به میانگین مربعات در جدول تجزیه واریانس بسیار کوچک بودند، لذا برای رفع این مشکل همه داده‌ها در عدد ۱۰۰۰ ضرب

سلنیوم، محتوای آب نسبی برگ نسبت به شاهد ۳۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی، با محلول پاشی ۴۰ میلی گرم در لیتر سلنیوم از منبع سلنات سدیم در طی دو مرحله در طول دوره رشد گیاه ذرت، محتوای نسبی آب برگ ۳۰ درصد نسبت به شرایط مطلوب افزایش یافت (Nawaz et al., 2016).

گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۱/۵ میلی مولار در شرایط تنش بعد از گرده افشانی در گیاه نخود باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های ICC4958 و C315 شد (Patel et al., 2011). به نظر می‌رسد در شرایط تنش کمبود آب، کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید به تنظیم وضعیت آب در گیاه کمک می‌نماید. گزارش شده است که سالیسیلیک اسید دامنه وسیعی از واکنش‌های متابولیکی در گیاهان را کنترل می‌کند که این واکنش‌ها در ارتباط با وضعیت آب داخل گیاه می‌باشند (Hayat et al., 2010).

درصد نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سلنیوم بر درصد نشت یونی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمار سلنیوم نشان داد که بیشترین میزان نشت یونی معادل ۸۲/۵۷ درصد از تیمار عدم مصرف سلنیوم و کمترین میزان این صفت برابر ۷۵/۸۶ درصد از تیمار مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم حاصل شد؛ یعنی با محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم، درصد نشت یونی نسبت به شاهد ۸/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵).

گزارش شده است که در گیاهان تیمار شده با سلنیوم تخریب غشای پلاسمایی و نشت یونی از سلول نسبت به گیاهان شاهد کاهش می‌یابد (Broadley et al., 2010).

گزارش شده است که سلنیوم دارای خواص آنتی‌اکسیدانی بوده و در شرایط تنش از جمله تنش شوری و خشکی سبب خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد. اسیدهای چرب و لیپیدها حساسیت زیادی به اکسیژن دارند و به سرعت اکسید می‌شوند. از آنجایی که غشاء سلولی یک غشاء فسفولیپیدی می‌باشد، واکنش اکسیژن با آن سبب تخریب غشاء سلولی و ترشح الکترولیت‌ها به بیرون سلول می‌شود. سلنیوم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب پاکسازی اکسیژن فعال و در نتیجه کاهش در اکسیداسیون چربی‌های غشاء سلولی می‌گردد (Xue et al., 2001).

در رابطه فوق، RWC: محتوای نسبی آب برگ، Wf: وزن تر برگچه، Wd: وزن خشک برگچه و Ws: وزن اشباع برگچه می‌باشند.

نشت یونی برگ‌ها بر اساس روش (Lutts et al., 1996) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر کرت ۱۵ برگچه از پنج بوته جدا شد. نمونه‌ها ابتدا با آب مقطر شستشو داده و در لوله‌های درب‌دار قرار داده شدند و ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به آنها اضافه شد و در شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. هدایت الکتریکی محلول با دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد (EC₁). به منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و مجدداً هدایت الکتریکی (EC₂) آنها اندازه‌گیری شد. درصد نشت یونی بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:

رابطه ۵

$$EL(\%) = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$

شاخص تلاش بازآوری از رابطه ارائه شده توسط Jabari et al. (2007) محاسبه شد که در آن تلاش بازآوری از تقسیم وزن خشک کل اندام زایشی (غلاف) بر وزن خشک کل گیاه حاصل شد. شاخص برداشت غلاف از نسبت وزن دانه‌های موجود در غلاف به وزن کل غلاف (دانه + پوشش غلاف) محاسبه شد.

عملیات برداشت در تاریخ ۹۳/۳/۲۹ انجام شد. برای محاسبه عملکرد دانه، عملکرد زیستی و عملکرد غلاف از سطحی معادل دو مترمربع نمونه برداری انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS و برای انجام مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

اثر تیمارهای سالیسیلیک اسید، سلنیوم و مرحله رشدی بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین محتوای آب نسبی برگ زمانی حاصل شد که محلول پاشی سلنیوم و سالیسیلیک اسید در دو مرحله رویشی و زایشی صورت گرفت. با محلول پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سالیسیلیک اسید، محتوای آب نسبی برگ نسبت به شاهد به ترتیب ۱۸ و ۴۲/۷ درصد افزایش یافت. همچنین با محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در نخود
Table 3. Analysis of variance of chickpea measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	محتوای نسبی آب Relative water content	درصد نشت یونی Electrolyte leakage	محتوای کلروفیل a Chl. a content	محتوای کلروفیل b Chl. b content	محتوای کاروتنوئیدها Carotenoid content
تکرار	Replication	4.26**	1002.97**	0.004 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	3.09 ^{ns}
مرحله رشد	Growth stage (GS)	4.92**	219.90 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.002 ^{ns}	1.04 ^{ns}
اشتباه اصلی	Error	0.25	55.06	0.005	0.001	3.83
سالیسیلیک اسید	Salicylic Acid (SA)	1152.42**	86.58 ^{ns}	0.12**	0.004 ^{ns}	20.62*
سلنیوم	Selenium (Se)	1961.07**	608.42**	0.47**	0.003 ^{ns}	0.015 ^{ns}
مرحله رشد × سالیسیلیک اسید	GS×SA	1.10 ^{ns}	64.49 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.501 ^{ns}
مرحله رشد × سلنیوم	GS×Se	10.19 ^{ns}	19.84 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	2.46 ^{ns}
سالیسیلیک اسید × سلنیوم	SA×Se	14.58 ^{ns}	81.12 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.42**	14.32 ^{ns}
مرحله رشد × سالیسیلیک اسید × سلنیوم	GS×SA×Se	1.67 ^{ns}	22.87 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.003 ^{ns}	3.57 ^{ns}
اشتباه فرعی	Error b	6.91	32.11	0.005	0.002	4.37
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	5.86	7.15	12.47	24.73

^{ns} و **: به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد و ۱درصد

ns, * and **: Non significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در نخود
Table 4. Analysis of variance of chickpea measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	شاخص برداشت غلاف Harvest index of pod	شاخص تلاش و بازآوری Productivity index	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
تکرار	Replication	171.97 ^{ns}	158.64 ^{ns}	43901.4 ^{ns}	10823.55 ^{ns}
مرحله رشد	Growth stage (GS)	334.05*	202.05*	291784.9 ^{ns}	231034.37 ^{ns}
اشتباه اصلی	Error	60.29	38.24	94710.2	69495.03
سالیسیلیک اسید	Salicylic Acid (SA)	39.18 ^{ns}	310.93**	413150.8**	361977.6**
سلنیوم	Selenium (Se)	86.68*	203.34**	802488.2**	442917.7**
مرحله رشد × سالیسیلیک اسید	GS×SA	29.78 ^{ns}	10.97 ^{ns}	79715.2**	4100.97*
مرحله رشد × سلنیوم	GS×Se	43.55 ^{ns}	28.22 ^{ns}	4978.8 ^{ns}	6515.90*
سالیسیلیک اسید × سلنیوم	SA×Se	32.18 ^{ns}	11.34 ^{ns}	20431.0 ^{ns}	6755.97*
مرحله رشد × سالیسیلیک اسید × سلنیوم	GS×SA×Se	79.74**	56.59**	79076.3**	3002.94 ^{ns}
اشتباه فرعی	Error b	14.63	9.77	7853.4	1624.67
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	4.48	6.98	5.39

^{ns} و **: به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد و ۱درصد

ns, * and **: Non significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

رنگدانه‌های گیاهی

اثر سالیسیلیک اسید بر محتوای کلروفیل a در سطح احتمال ۱ درصد و بر محتوای کارتنوئیدها در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. همچنین اثر سلیوم بر محتوای کلروفیل a، در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. اثر متقابل سالیسیلیک اسید و سلیوم بر محتوای کلروفیل b در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۳). با افزایش غلظت محلول پاشی با سالیسیلیک اسید محتوای کلروفیل a و کارتنوئیدها افزایش یافت. همچنین محلول پاشی سلیوم محتوای کلروفیل a را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی سلیوم و سالیسیلیک اسید نشان داد که با محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلیوم و بدون مصرف سالیسیلیک اسید، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و بدون مصرف سلیوم و همچنین محلول پاشی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و بدون مصرف سلیوم، محتوای کلروفیل b نسبت به شاهد به ترتیب ۲۶/۴، ۲۹/۴ و ۳۲/۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷). محققان گزارش کردند کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش برخی رنگدانه‌های گیاهی و محتوای کارتنوئیدها شده و کارایی فتوسنتز را در گیاهان بهبود می‌بخشد (Hadi & Balali, 2010). گزارش شده است که در شرایط مطلوب آبیاری و در شرایط دیم با محلول پاشی ۰/۱ و ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید، غلظت کارتنوئیدها، کلروفیل a و کلروفیل b در ارقام نخود به طور معنی داری افزایش یافت (Vaisnad & Talebi, 2015). افزایش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و فسفو انول پیروات کربوکسیلاز باشد (Popova et al., 2003). هرگاه گیاهان در معرض تنش محیطی قرار گیرند، کلروپلاست آن‌ها تخریب شده و این عمل سبب اختلال در فرایند فتوسنتز می‌گردد. کاربرد سلیوم در میزان‌های مناسب می‌تواند تا حدی تخریب کلروپلاست‌ها را کاهش و محتوای کلروفیل‌ها را افزایش دهد (Fileck et al., 2010). گزارش شده است سلیوم موجب افزایش دسترسی گیاه به آهن می‌شود که می‌تواند در حفظ محتوای کلروفیل مؤثر باشد (Cao et al., 2011). در شرایط تنش محیطی، کاربرد سلیوم خسارت کلروپلاست را کاهش می‌دهد و به حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی کمک می‌نماید (Zahedi et al., 2013; Balal et al., 2016).

شاخص برداشت غلاف و تلاش و بازآوری

نتایج نشان داد که اثر سلیوم و مراحل مختلف رشد بر شاخص برداشت غلاف در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل سه گانه تیمارها بر شاخص برداشت غلاف در سطح احتمال

یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). بررسی نتایج اثر متقابل سه گانه تیمارها نشان داد که با محلول پاشی سالیسیلیک اسید و سلیوم در مراحل رویشی، زایشی و مرحله رویشی توأم با زایشی، شاخص برداشت غلاف افزایش یافت. با توجه به نتایج، با محلول پاشی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سالیسیلیک اسید همراه با ۱۸ گرم در هکتار سلیوم در مراحل رویشی یا زایشی و همچنین محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸ گرم در هکتار سلیوم در مرحله رویشی همراه با زایشی شاخص برداشت غلاف به ترتیب ۷/۷، ۱۰/۲ و ۹/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین افزایش در شاخص برداشت غلاف از تیمار محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸ گرم در هکتار سلیوم در مرحله رویشی همراه با زایشی حاصل شد (جدول ۸).

شاخص تلاش و بازآوری شاخصی از توانایی انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه به کل اندام‌های زایشی می‌باشد. اثر ساده عامل محلول پاشی با سالیسیلیک اسید و سلیوم و اثر متقابل سه گانه تیمارها بر شاخص تلاش و بازآوری در سطح احتمال یک درصد و اثر عامل محلول پاشی در مراحل مختلف رشد بر شاخص تلاش و بازآوری در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل سه گانه تیمارها نشان داد که با محلول پاشی سالیسیلیک اسید و سلیوم به تنهایی و همراه با هم، شاخص تلاش و بازآوری در مراحل مختلف رشد نسبت به شاهد افزایش معنی داری نشان داد. با توجه به نتایج با محلول پاشی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سالیسیلیک اسید همراه با ۱۸ گرم در هکتار سلیوم در مراحل رویشی یا زایشی و همچنین محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸ گرم در هکتار سلیوم در مرحله رویشی همراه با زایشی شاخص تلاش و بازآوری به ترتیب ۱۹/۳، ۱۷/۰۲ و ۱۷/۴۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۸).

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای سالیسیلیک اسید، سلیوم و اثر متقابل دوگانه سالیسیلیک اسید در مراحل مختلف رشد و اثر متقابل سه گانه تیمارها بر عملکرد زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تیمارها نشان داد که با محلول پاشی توأم ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸ گرم در هکتار سلیوم در مراحل مختلف رشد، عملکرد زیستی افزایش معنی دار نشان داد. بیشترین عملکرد زیستی (۱۵۲۸/۸۶ و ۱۶۲۸/۴۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸ گرم در هکتار

مقدار عملکرد دانه (۸۶۵/۱۷ کیلوگرم در هکتار) از محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی حاصل شد که نسبت به عدم محلول پاشی سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی، عملکرد دانه را ۱۵/۹ درصد افزایش داد (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سالیسیلیک اسید در سلنیوم نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۹۴۰/۵۲ کیلوگرم در هکتار) از تیمار مصرف ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم حاصل شد. نتایج نشان داد که با محلول پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم، عملکرد دانه به ترتیب ۵۴/۴۳ و ۶۹/۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۷). به نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید، احتمالاً ناشی از تأثیر سالیسیلیک اسید بر تثبیت دی‌اکسید کربن باشد. گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن می‌شود. سالیسیلیک اسید با تأثیر بر افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش کارایی فتوسیستم II، غلظت و فعالیت بیشتر آنزیم رابیسکو و تأمین بیشتر ATP و NADPH باعث افزایش تثبیت کربن و تولید بیشتر آسمیلات‌ها می‌شود (Khan et al., 2003). گزارش شده است که محلول پاشی با سالیسیلیک اسید از طریق بهبود میزان کلروفیل موجب افزایش ۱۳ درصدی در عملکرد کلزا شد (Modarres Sanavy, Keshavarz & 2014). محلول پاشی ۱۰ گرم در هکتار سلنیوم از منبع سلنات و سلنیت سدیم، عملکرد دانه را در گیاه جو دوردیفه به‌طور معنی دار افزایش داد، اما با افزایش مقدار سلنیوم به ۴۰ گرم در هکتار عملکرد دانه کاهش یافت (Rodrigo et al., 2013).

سلنیوم با محلول پاشی در مراحل رویشی و زایشی حاصل شد (جدول ۸). گزارش شده است که افزایش زیست‌توده و به دنبال آن عملکرد دانه نخود در شرایط تنش خشکی در واکنش به محلول پاشی سالیسیلیک اسید می‌تواند مربوط به القاء نقش حفاظتی غشاها باشد که از این طریق تحمل گیاهان به خسارت را افزایش می‌دهد (Vaisnad & Talebi, 2015). بر اساس گزارش Coronado et al., (1998) در شرایط گلخانه و مزرعه، اسپری سالیسیلیک اسید بر روی اندام‌های هوایی سویا به‌طور معنی‌داری رشد اندام‌های هوایی و ریشه را افزایش داد.

عملکرد دانه

اثر تیمارهای سالیسیلیک اسید و سلنیوم بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل دوگانه تیمارها بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی سالیسیلیک اسید در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه نشان داد که با محلول پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی، مرحله زایشی و مرحله رویشی توأم با زایشی، عملکرد دانه به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین مقدار عملکرد دانه (۸۷۲/۵۶ کیلوگرم در هکتار) از محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی توأم با زایشی حاصل شد که نسبت به عدم محلول پاشی با سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی توأم با زایشی، عملکرد دانه را ۳۲/۵ درصد افزایش داد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی با سلنیوم در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه نشان داد که با محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی، مرحله زایشی و مرحله رویشی توأم با زایشی، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سالیسیلیک اسید و سلنیوم بر صفات اندازه‌گیری شده در نخود

Table 7. Mean comparisons of interaction effects of salicylic acid and selenium on the measured traits in chickpea

تیمارها	Treatments	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b content (mg/g fw)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)
سالیسیلیک اسید × سلنیوم	Salicylic Acid (SA) × Selenium (Se)		
بدون مصرف سالیسیلیک اسید و سلنیوم	Without Salicylic acid and selenium	0.34d	555.78e
محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم و عدم مصرف سالیسیلیک اسید	Foliar application of 18 g/ha Se and Without SA	0.43ab	677.79d
محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول پاشی سلنیوم	Foliar application of 100 mg/L SA and Without Se	0.44a	669.36d
محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم	Foliar application of 100 mg/L SA × Foliar application of 18 g/ha Se	0.39bc	858.30b
محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول پاشی سلنیوم	Foliar application of 200 mg/L SA and Without Se	0.45a	780.86c
محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم	Foliar application of 200 mg/L SA × Foliar application of 18 g/ha Se	0.36dc	940.52a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

*Means followed by the same letters in each column, are not-significantly different according to Least Significant Difference Test ($P \leq 0.05$).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل سالیسیلیک اسید و سلنیوم بر صفات اندازه‌گیری شده در نخود

Table 8. Mean comparisons of interaction effects of salicylic acid and selenium measured traits in chickpea

تیمارها Treatments	شاخص برداشت غلاف Harvest index of pod (%)	شاخص تلاش و بازآوری Productivity index (%)	عملکرد زیستی Biological yield (kg/ha)	
سالیسیلیک اسید × سلنیوم × مرحله رشدی				
بدون مصرف سالیسیلیک اسید و سلنیوم در مرحله رویشی	VS × SA1 × Se1	83.50cde	58.75g-j	1209.03fgh
محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم و عدم مصرف سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی	VS × SA1 × Se2	88.00abc	61.00e-i	1198.20gh
محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول پاشی سلنیوم در مرحله رویشی	VS × SA2 × Se1	84.75b-e	64.75b-e	954.83j
محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی	VS × SA2 × Se2	84.00 cde	64.50cde	1341.14cde
محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول پاشی سلنیوم در مرحله رویشی	VS × SA3 × Se1	88.50abc	62.00d-h	1260.42d-g
محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی	VS × SA3 × Se2	90.00ab	70.00a	1424.20bc
بدون مصرف سالیسیلیک اسید و سلنیوم م در مرحله زایشی	RS × SA1 × Se1	90.00ab	59.25f-i	1003.36ij
محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم و عدم مصرف سالیسیلیک اسید در مرحله زایشی	RS × SA1 × Se2	88.75abc	63.00c-g	1125.95hi
محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول پاشی سلنیوم در مرحله زایشی	RS × SA2 × Se1	87.75abc	67.25abc	970.10j
محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم در مرحله زایشی	RS × SA2 × Se2	87.25a-d	65.75a-d	1331.14c-f
محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول پاشی سلنیوم در مرحله زایشی	RS × SA3 × Se1	91.00a	67.25abc	1243.09e-h
محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم در مرحله زایشی	RS × SA3 × Se2	92.00a	68.75ab	1411.10bc
بدون مصرف سالیسیلیک اسید و سلنیوم م در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA1 × Se1	81.75e	54.75j	932.14j
محلول پاشی ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم و عدم مصرف سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA1 × Se2	80.00ef	54.75j	1373.24cd
محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول پاشی سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA2 × Se1	75.75f	57.00ij	1441.94bc
محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA2 × Se2	91.50a	69.00ab	1528.86ab
محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول پاشی سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA3 × Se1	81.00ef	58.50jhi	1447.32bc
محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA3 × Se2	82.25de	63.25c-f	1628.40a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means followed by the same letters in each column, are not-significantly different according to Least Significant Difference Test ($P \leq 0.05$).

فاز رویشی (VS)؛ فاز زایشی (RS)؛ Reproductive stage؛ فاز زایشی + فاز رویشی (VRS)؛ Vegetative stage + Reproductive stages (VRS)؛ بدون مصرف سالیسیلیک اسید (SA1)؛ Without Salicylic acid؛ ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید (SA2)؛ ۱۰۰ mg/L Salicylic acid؛ ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید (SA3)؛ 200 mg/L Salicylic acid؛ بدون مصرف سلنیوم (Se1)؛ Without selenium؛ ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم (Se2)؛ Application of 18 g/ha Se

نتیجه‌گیری

نقش قابل ملاحظه‌ای را در کاهش اثرات سوء ناشی از تنش خشکی و بهبود عملکرد گیاه ایفا می‌نماید. بنابراین در شرایط تنش خشکی محلول پاشی با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم در دو مرحله رویشی و زایشی موجب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و زراعی و کاهش اثرات تنش خشکی شده و می‌توان به عملکرد قابل قبولی در نخود دیم دست یافت.

در مطالعه حاضر اثر مثبت محلول پاشی سالیسیلیک اسید و سلنیوم در شرایط دیم بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی مربوط به تأثیر آن‌ها بر فرایندهای فیزیولوژیکی مانند حفظ وضعیت آب در گیاه، حفظ پایداری غشای سیتوپلاسمی و بهبود محتوای رنگدانه‌های گیاهی بود. سلنیوم و سالیسیلیک اسید در شرایط تنش رطوبتی از طریق بهبود صفتهای فوق

منابع

- Abul-Soud, M.A., and Abd-Elrahman, Sh.H. 2016. Foliar selenium application to improve the tolerance of eggplant grown under salt stress conditions. *International Journal of Plant and Soil Science* 9(1): 1-10.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24(1): 1-15.
- Balal, R.M., Shahid, M.A., Javaid, M.M., Iqbal, Z., Anjum, M.A., Garcia- Sanchez, F., and Marttson, N.S. 2016. The role of selenium in amelioration of heat-induced oxidative damage in cucumber under high temperature stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 38(158): 1-14.
- Broadley, R., Martin, F., and John, A. 2010. Selenium biofortification of high yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilization. *Plant and Soil* 332: 5-18.

5. Cao, F., Cai, Y., Cheng, W.D., Zhang, G.P., and Wu, F.B. 2011. Modulation of exogenous glutathione in phytochelatins and photosynthetic performance against Cd stress in the two rice genotypes differing in Cd tolerance. *Biology Trace Elemental Research* 143(2): 1159-1173.
6. Chilimba, A.D., Young, S.D., Black, C.R., Meacham, M.C., Lammel, J., and Broadley, M.R. 2012. Agronomic biofortification of maize with selenium in Malawi. *Field Crops Research* 125: 118-128.
7. Coronado, M.A.G., Lopez, C.T., and Saavedra, A.L. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiology and Biochemistry* 36(8): 563-565.
8. Djanaguiraman, M., Devi, D.D. Shanker, A.K. Sheeba J.A., and Bangarusamy, U. 2005. Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil* 272: 77-86.
9. Epstein, E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. *Annals Applied Biology* 155(2): 155-160.
10. 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.
11. Filek, M., Gzyl-Malcher, B., Zembala, M., Bednarska, E., Laggner, P., and Kriechbaum, M. 2010. Effect of selenium on characteristics of rape chloroplasts modified by cadmium. *Plant Physiology* 167(1): 28-33.
12. Hadi, M.R., and Balali, G.R. 2010. The effect of salicylic acid on the reduction of rizoctoni damage in the tubers of marfona potato cultivar. *American-Eurasian Journal Agricultural and Environment Science* 7(4): 492-496.
13. Han-Wens, S., Jing, H., Shu-Xuan, L., and Wei-Jun. K. 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41(10): 1195-1204.
14. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany* 68(1): 14-25.
15. Hussain, M., Malik, M.A., Farooq, M., Ashraf, M.Y., and Cheema, M.A. 2008. Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. *Journal of Agronomy and Crop Science* 194(3): 193-199.
16. Jabari, H., Akbari, G.H.A., Daneshyan, J., Allahdadi, I., and Shahbazian, N. 2007. Effects of water deficit stress on agronomic characteristics of sunflower hybrids. *Journal of Agriculture* 9(1): 13-22. (In Persian with English Summary).
17. Jami Moieni, M., Borhani, N., and Armin, M. 2016. Effect priming by salicylic acid on seed germination and seedling growth of pea by allelopathy of *Datura stramonium* L. *Journal of Seed Research* 21(4): 47-56. (In Persian with English Summary).
18. Keshavarz, H., and Modarres Sanavy, S.A.M. 2014. Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two canola varieties. *Journal Crop Production* 7(4): 167-178. (In Persian with English Summary).
19. Khan, W., Prithiviraj, B., and Smith, D.L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160(5): 485-492.
20. Lutts, S., Kint, J.M., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oriza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78(3): 389-398.
21. Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., and Sohrabi, Y. 2011. Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Australian Journal of Crop Science* 5(10): 1255-1260.
22. Malik, J.A., Goel, S., Kaur, N., Sharma, S., Singh, I., and Nayyar, H. 2012. Selenium antagonizes the toxic effects of arsenic on mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb) plant by restricting its uptake and enhancing the antioxidative and detoxification mechanisms. *Environmental and Experimental Botany* 77: 242-248.
23. Nawaz, F., Naeem, M., Ashraf, M.Y., Tahir M.N., Salahuddin M., Shabbir, R.N., and Aslam, M. 2016. Selenium supplementation affects physiological and biochemical processes to improve fodder yield and quality of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Frontiers in Plant Science* 7: 1-13.
24. Nawaz, F., Ashraf, M.Y., Ahmad, R., Waraich, E.A., Shabbir, R.N., and Bukhari, M.A. 2015. Supplemental selenium improves wheat grain yield and quality through alteration sinbiochemical processes under normal and water deficit conditions. *Food Chemistry* 175: 350-357.
25. Patel, P.K., Hemantaranjan, A., Sarma, B.K., and Singh, R. 2011. Growth and antioxidant system under drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) as sustained by salicylic acid. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry* 7(4): 130-144.
26. Popova, L., Ananieva, E., Hristova, V., Chistov, K., Georgieva, K., Alexieva, V., and Stoinova, Zh. 2003. Salicylic acid and methyl jasmonate induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. *Bulgarian journal of Plant Physiology (Special Issue)*: 133-152.

27. Ramezannezhad, R., Lahouti, M., and Ganjali, A. 2013. Effect of salicylic acid on physiological and biochemical parameters on resistant and sensitive chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under drought stress. *Plant Eco-Physiology* 5(12): 24-37.
28. Rezazadeh, S. 2011. Effect of Salicylic Acid on Agronomic Traits, Yield Components and Nitrogen Biological Fixation in Pea Plant under Drought Stress Condition. Thesis of MSc. in Seed Science and Technology. University of Birjand, Iran. 78p. (In Persian with English Summary).
29. Rodrigo, S., Santamaria, O., Lopez-Bellido, F.J., and Poblaciones, M.J. 2013. Agronomic selenium biofortification of two-rowed barley under Mediterranean conditions. *Plant, Soil and Environment* 59(3): 115-120.
30. Talebi, R., Ensafi, M.H., Baghebani, N., Karami, E., and Mohammadi, K.H. 2013. Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes to drought stress. *Environmental and Experimental Biology* 11: 9-15.
31. Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil* 58(1-3): 336-339.
32. Vaisnad, Sh., and Talebi, R. 2015. Salicylic acid-enhanced morphological and physiological responses in chickpea (*Cicer arietinum*) under water deficit stress. *Environmental and Experimental Biology* 13: 109-115.
33. Wang, Y.D., Wang, X., and Wong, Y.S. 2013. Generation of selenium-enriched rice with enhanced grain yield, selenium content and bioavailability through fertilization with selenite. *Food Chemistry* 141(3): 2385-2393.
34. Xue, T.L., Hartikainen, H., and Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effects of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil* 237: 55-61.
35. Zahedi, H., Shirani Rad, A.H., and Tohidi Moghadam, H.R. 2012. Effect of zeolite and selenium foliar application of on growth, production and some physiological attributes of three canola (*Brassica napus* L.) cultivar subjected to drought stress. *Revista Científica UDO Agrícola* 12(1): 135-142.

Effect of Salicylic acid and Selenium application at different growth stages on some physiological traits of chickpea under rainfed conditions

Norouzi¹, M. & Sajedi*², N.A.

1. MSc. in Agronomy, Ministry of Agriculture-Jahad, Arak, Iran, hobout_h@yahoo.com

2. Associate Professor, Department of Agrotechnology, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

Received: 12 July 2017

Accepted: 7 January 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.65944

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the important pulse crops in the world. Also it is valued through high protein content in seeds (23.5-28.9%). In Iran, chickpea produced under arid and semi-arid zones and usually chickpea plants during flowering and maturity stages are exposed to increasing water deficit stress. Different methods are existed in agriculture to increase plants tolerance to abiotic and biotic stresses. Seed priming and foliar application by amino acids, proline, glycinebetaine, Salicylic acid as well as zinc, Selenium and Silicon have been considered in recent years. Selenium is not an essential nutrient for plants. Reports showed that selenium could protect the plants under abiotic stresses such as salinity, high temperature and drought. Selenium protected the plants from abiotic stresses by participate in several physiological and biochemical process such as water condition retain, increasing plant pigments and photosynthesis apparatus regulation. Salicylic acid (SA) is a plant-produced nature phenolic compound which plays an important role in the abiotic stresses tolerance. Growth and production of crops will affect by SA application. Several studies showed that salicylic acid application increased the plant tolerant to drought stress. Increasing proteins, photosynthesis pigments and sugars indicated on the role of salicylic acid in increasing the plant resistance to stress. Therefore, this experiment carried out to study the influence of foliar application of salicylic acid and selenium at different growth stages on some physiological traits of chickpea under rainfed condition.

Material & Methods

To evaluate the response of some physiological traits of chickpea at different growth stages to foliar application of salicylic acid and selenium under rain fed condition, an experiment was conducted as split plot based on Randomized Complete Block Design with four replications during 2013-2014 cropping season. Experimental factors were salicylic acid in three levels (0, 100 and 200 mg L⁻¹) and foliar selenium spraying in two levels (0 and 18 gr ha⁻¹) that applied in different growth stages (vegetative, reproductive growth and vegetative growth along with reproductive). According to the soil analysis results, 50 kg ha⁻¹ urea and 40 kg ha⁻¹ triple superphosphate fertilizers were applied at planting time. Each experimental plot included 30 cm distanced rows with 10 cm spacing between plants in rows. The chickpea cultivar was 'Azad'. The seeds were sown at 6 cm depth in end of February 2013. Physiological traits measured from three replications. Relative water content was determined from five leaflet from leaves at flowering stage that were prepared immediately and weighed to measure fresh leaf weight in the laboratory at 25°C. Then, leaflet were placed in distilled water for 24 h until completely saturated. At the end of this stage, leaflet were dried with dry paper towels and reweighed. Samples were placed in the oven for 48 h at 72°C until dried and then weight of the dried leaves was recorded. Relative water content was calculated using the following relation.

$$RWC(\%) = \frac{W_f - W_d}{W_s - W_d} \times 100$$

where RWC is the relative water content, W_f is the leaf fresh weight, W_d is the leaf dry weight and W_s is the leaf saturated weight. Photosynthetic pigments were calculated by the method presented by Arnon (1949). Samples collected from five leaflet, 0.5 gr leaves were ground in 80% acetone for determination and

*Corresponding Author: n-sajedi@iau-arak.ac.ir

absorbance of the resulting extracts, recorded at 480, 510, 645 and 663 nm with a spectrophotometer. Biological and seed yield harvested from 2 m² of middle in each plots. Data were subjected to analysis of variance using SAS program. Means were compared using the Least Significant Difference test (LSD) Multiple Range Test at 5% probability level.

Results & Discussion

Results showed that the highest leaf relative water content observed from foliar application of selenium and salicylic acid at vegetative along with reproductive stages. Salicylic acid application at the rate of 100 and 200 mg L⁻¹ and selenium at the rate of 18 gr ha⁻¹ increased the leaf relative water content by 18, 42.7 and 31%, respectively as compared with control. There were reports that, application of salicylic acid improved vegetative growth rate, chlorophyll a, b and total chlorophyll, leaf relative water content and resistance to water deficit in lawn. The highest ion leakage (82.57%) and the lowest (75.86%) recorded from treatments of without application of selenium and foliar application of 18 gr ha⁻¹ selenium, respectively. Foliar application of 100 and 200 mg L⁻¹ salicylic acid along with 18 gr ha⁻¹ selenium increased chlorophyll a content compared with control, significantly. Foliar application of 100, 200 mg L⁻¹ salicylic acid and 18 gr ha⁻¹ selenium alone increased chlorophyll b content by 29.4%, 32.3% and 26.4% as compared with control, respectively. The highest carotenoids content belonged to foliar application of 200 mg L⁻¹ salicylic acid. There were reports that application of selenium decreased chloroplast damage and help to retain of photosynthesis pigments. Foliar application of 100 and 200 mg L⁻¹ salicylic acid along with 18 gr ha⁻¹ selenium increased productivity index at different growth stages as compared with control. The treatments interaction effects showed that the maximum biological yields (1528.86 and 1628.40 kg ha⁻¹) obtained from treatment of 100 and 200 mg L⁻¹ salicylic acid along with 18 gr ha⁻¹ selenium at different growth stages, respectively. The results showed that foliar application of salicylic acid and selenium could be increased chickpea seed yield.

Conclusion

The positive role of application of salicylic acid and selenium under rainfed condition exerted by the effects on physiological process such as water retain in plant, membrane stability retain and improve of photosynthesis pigments. Therefore, foliar application of 100 mg L⁻¹ salicylic acid and along with 18 gr ha⁻¹ selenium at vegetative growth along with reproductive growth could obtain optimum yield.

Keywords: Chickpea, Ion leakage, Plant pigments, Relative water content, Sodium selenite