University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/escs.2024.7123.2261

Original article

The effect of salicylic acid in improving the physiological and agronomic characteristics of pinto bean under the end season drought stress

P. Sheikhzadeh[1*], A. Narimanzadeh[2], N. Zare[3]

1. *Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran*
2. *M.Sc. Graduate of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran*
3. *Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran*

Received 7 January 2024; Accepted 20 April 2024

نسخه پیش از انتشار

Extended abstract

Introduction

Drought stress is considered an important abiotic stress, one of the factors affecting the production of crops and agricultural sustainability around the world, especially in arid and semiarid regions. Pinto bean (spotted bean) (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the major pulse crops in Iran. It is widely cultivated in arid and semiarid regions. The protein content of the pinto bean varied from 21.4% to 23.6%. Drought is a major limiter of yield in pinto beans, decreasing food security for those who rely on it as an important source of protein. Protecting plants from adverse environmental conditions by using simple methods could be of great value under these conditions. Salicylic acid (SA) is one of the important growth regulators that modulate plant responses to environmental stresses including drought stress.

Materials and methods

A split plot experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the research farm in the East Azerbaijan province, Sarab, during 2019-2020. Factors experiment included irrigation at two levels (full irrigation as control, irrigation withholding in 50% of flowering stage) and foliar application of salicylic acid at three levels (foliar application with water as control, 100 and 200 $mg.l^{-1}$). In this study, morphological traits, plant height, the number of sub-branches, the number of pods per plant, the weight of 100 grains, grain yield, and harvest index of pinto beans were investigated. Also, the measured traits included the chlorophyll index, malondialdehyde (MDA), hydrogen peroxide (H_2O_2), and Electrical Conductivity (EC).

Results and discussion

Drought stress reduces the value of all traits (chlorophyll index, plant height, the number of sub-branches, the number of pods per plant, the weight of 100 grains, grain yield and, harvest index) except MDA, EC and H_2O_2. However, salicylic acid foliar application was able to mitigate the adverse effects of water stress. Drought stress decreased chlorophyll index (about 14.2%), plant height (about 8.2%),

* Corresponding author: Parisa Sheikhzadeh; E-Mail: sheikhzadehmp@gmail.com

© 2025, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

number of sub-branches (about 22.9), the number of pods per plant (about 10.5%), the weight of 100 grains (about 8.9), grain yield (about 14.1) and harvest index (3.1%) and increase in the content of the MDA, EC and H_2O_2 (about 61, 2.1, and 92.2 present, respectively) as compared to the control treatment. Chlorophyll index, plant height, the number of sub-branches, the number of pods per plant, the weight of 100 grains, grain yield and harvest index in pinto bean were increased with the application of different concentrations of salicylic acid. Foliar spraying with 200 $mg.l^{-1}$ salicylic acid caused a significant increase in the chlorophyll index, number of sub-branches, the number of pods per plant, (about 17.9, 33.02 and 18.4 present, respectively) and decreasing the MDA (about 49.33%) as compared to the control treatment. Under full irrigation and drought conditions, foliar spraying with 200 $mg.l^{-1}$ salicylic acid caused a significant increase in the plant height (15.92 and 9.8%), the weight of 100 grains (17.8 and 12.8%), grain yield (27.3 and 20.4%) and harvest index (13.5 and 10.7%) and decrease in the content of the EC (1.7 and 2.3%) and H_2O_2 (28.9 and 81.9%), respectively.

Conclusion

In this study, by exacerbation of water stress, all agronomic traits were reduced. Foliar spray of salicylic acid improved the pinto bean plant tolerance to drought stress by regulating several physiological responses. Salicylic acid treatments with the increase of content of the MDA, EC and H_2O_2, mitigated the negative effects of drought stress, thereby increasing tolerance and growth of the pinto bean plant. The results also showed that the concentration of 200 $mg.l^{-1}$ salicylic acid improved plant growth and drought tolerance in pinto bean plant more effectively than the concentration of 100 $mg.l^{-1}$ salicylic acid.

Keywords: Chlorophyll index, Drought stress, Hydrogen peroxide, Malondialdehyde, Salicylic acid

نسخه پیش از انتشار

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/escs.2024.7123.2261

مقاله پژوهشی

تأثیر اسید سالیسیلیک در بهبود خصوصیات فیزیولوژیک و زراعی لوبیاچیتی تحت تنش خشکی انتهای فصل

پریسا شیخ‌زاده[1*]، علی نریمان‌زاده[2]، ناصر زارع[3]

۱. دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۳. استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
اسید سالیسیلیک
پراکسید هیدروژن
تنش خشکی
شاخص کلروفیل
مالون‌دی‌آلدهید

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۲/۰۱

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی بوده که میزان رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. مرحله گلدهی و پرشدن دانه لوبیاچیتی به تنش خشکی حساس بوده به‌طوری‌که وقوع تنش خشکی انتهای فصل می‌تواند خصوصیات زراعی و عملکردی لوبیاچیتی را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد. استفاده از مواد تعدیل‌کننده تنش مانند اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات منفی تنش خشکی اهمیت زیادی دارد. به‌منظور بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیک لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت شرایط محدودیت آبی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شهرستان سراب در سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای موردبررسی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی تا انتهای فصل رشد) و اسید سالیسیلیک (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد تنش خشکی سبب کاهش صفات زراعی و عملکردی لوبیا چیتی نسبت به تیمار آبیاری کامل شد. همچنین در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، میزان مالون‌دی‌آلدهید، هدایت الکتریکی و پراکسیدهیدروژن افزایش یافت. کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک، سبب افزایش شاخص کلروفیل، تعداد شاخه فرعی و تعداد غلاف در بوته به ترتیب در حدود ۱۷/۹، ۴۴/۰۳ و ۱۸/۴ درصد نسبت به شاهد شد. تحت شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، محلول‌پاشی بوته‌ها با ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک، به ترتیب سبب افزایش ارتفاع بوته (۱۵/۹۲ و ۹/۸ درصد)، وزن صد دانه (۱۷/۸ و ۱۲/۸ درصد)، عملکرد دانه (۲۷/۳ و ۲۰/۴ درصد) و شاخص برداشت (۱۳/۵ و ۱۰/۷ درصد) و سبب کاهش هدایت الکتریکی به ترتیب در حدود ۱/۷ و ۲/۳ درصد و پراکسید هیدروژن به ترتیب به میزان ۲۸/۹ و ۸۱/۹ درصد شد. به نظر می‌رسد کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک می‌تواند با بهبود صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ضمن جبران اثرات تنش خشکی موجب افزایش عملکرد دانه لوبیاچیتی شود.

مقدمه

لوبیا با نام علمی (*Phaseolus vulgaris* L.) یکی از مهم‌ترین حبوبات است که به‌طور گسترده در سراسر جهان کشت می‌شود و منبع مهم پروتئین غذایی، کربوهیدرات‌ها و ریزمغذی‌ها به شمار می‌رود (Beebe et al., 2013). لوبیاچیتی با تولید ۲۲۴۰۸۳ تن در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در کشور، مقام اول را در بین حبوبات به خود اختصاص داده است، در استان اردبیل نیز، با تولید ۲۹۳۶ تن، بعد از نخود، مقام دوم را دارد، در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در کشور، ۴۳/۵ درصد تولید حبوبات را لوبیا تشکیل می‌دهد (Agricultural statistics, 2023). گیاه لوبیا تحمل پایینی نسبت به تنش خشکی دارد و این در حالی است که حدود ۶۰ درصد از محصول لوبیا در مناطقی به دست می‌آید که

* نگارنده پاسخگو: پریسا شیخ‌زاده. پست الکترونیک: sheikhzadehmp@gmail.com

تحت تنش خشکی قرار دارند، گزارش شده که حدود ۲۵ درصد کاهش عملکرد لوبیا به دلیل تنش خشکی اتفاق می‌افتد (Rahbarian et al., 2011).

تنش خشکی به‌عنوان یک تنش غیرزیستی از مهم‌ترین مشکلات مناطق خشک و نیمه‌خشک است که رشد و نمو و تولید گیاهان زراعی را محدود می‌کند (Kottmann et al., 2016). در نواحی مدیترانه‌ای نیمه‌خشک، محدودیت آب اغلب در مراحل بحرانی رشد گیاهان بهاره رخ می‌دهد و این محدودیت می‌تواند بر فرآیندهای مختلف در گیاه ازجمله دهیدراسیون سلول، ممانعت از توسعه و تقسیم سلول، طویل شدن ساقه، اندازه برگ، توسعه و گسترش ریشه، تغییرات روزنه‌ای، جذب عناصر غذایی در گیاه اثرگذار بوده (Kaushal and Wani, 2016) و درنهایت منجر به کاهش فتوسنتز و عملکرد نهایی شود (Khan et al., 2017). تنش خشکی از طریق افزایش سنتز هورمون آبسیزیک اسید (ABA) و همچنین با ایجاد محدودیت در رشد ریشه و کاهش محتوای نسبی آب موجب کاهش رشد گیاه می‌شود که تحت چنین شرایط با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) ازجمله پراکسیدهیدروژن، ترکیبات مختلف گیاه مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی و غشاء سلولی آسیب‌دیده و این امر موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ می‌شود (Tayyab et al., 2020). گزارش شده است که تنش خشکی از طریق ایجاد محدودیت در رشد ریشه و کاهش محتوای نسبی آب گیاه که با ایجاد اختلال در سیستم فتوسنتزی و افزایش تولید پراکسیدهیدروژن موجب کاهش شاخص کلروفیل و افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ شد (Asadi and Eshghizadeh, 2021).

امروزه استفاده از مواد ضد تنش به‌صورت محلول‌پاشی به‌منظور افزایش مقاومت گیاهان به انواع مختلف تنش‌های محیطی در حال افزایش است. در این میان، اسید سالیسیلیک ماده‌ای شبه‌هورمونی است که بر رشد و نمو گیاه اثر می‌گذارد. درواقع اسید سالیسیلیک یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید به گروه متنوعی از فنول‌های گیاهی تعلق دارد. این ترکیب در تنظیم رشد و نمو گیاهی، برهم‌کنش با سایر موجودات و در پاسخ به تنش‌های محیطی نقش مهمی ایفا می‌کند. همچنین، این ماده در میوه‌دهی، گلیکولیز، جذب و انتقال یون، عملکرد فتوسنتزی و تعرق مؤثر است. اسید سالیسیلیک در بروز پاسخ‌های گیاهان به تنش‌های مختلف محیطی به‌عنوان یک حد واسط و پیام‌رسان عمل می‌کند. گزارش‌ها نشان می‌دهد، اسید سالیسیلیک تأثیرات بسیاری بر مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه داشته و در تحریک مکانیسم‌های حمایتی افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش دارد (Rajeshwari and Bhuvaneshwari, 2017). همچنین اسید سالیسیلیک با حفظ پتانسیل تورگر از طریق تنظیم اسمزی و تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تولید رادیکال‌های آزاد ازجمله پراکسیدهیدروژن در گیاه را کاهش می‌دهد که درنهایت با موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی می‌شود (Chavoushi et al., 2019). در این راستا شوریابی و همکاران (Shooryabi et al., 2012) گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش خشکی با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، توانست موجب بهبود شاخص پایداری غشاء شود و با کاهش فلورسانس کلروفیل، کارایی سیستم فتوسنتزی را افزایش دهد. عبدالال و همکاران (Abdelaal et al., 2020) نیز گزارش کردند کاربرد اسید سالیسیلیک با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن و سوپر اکسید موجب کاهش میزان نشت الکترولیت و افزایش محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب، طول ساقه و عملکرد دانه جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت شرایط تنش خشکی می‌شود.

مصادف شدن مراحل حساس رشدی لوبیاچیتی در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک با شرایط آب و هوایی گرم و خشک و نقش اسید سالیسیلیک در تعدیل یا کاهش اثر محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام‌شده در خصوص برهم‌کنش توأم این عوامل، ازجمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیکی لوبیاچیتی تحت شرایط محدودیت آبی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر برخی صفات عملکردی فیزیولوژیک لوبیاچیتی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹ در استان آذربایجان شرقی، شهرستان سراب، روستای رازلیق (با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه طول جغرافیایی، ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی عرض جغرافیایی و با ارتفاع

نسخه پیش از انتشار

۱۷۹۰ متری از سطح دریا) اجرا شد. وضعیت خاک مزرعه آزمایشی از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در جدول ۱ و ویژگی‌های هواشناسی منطقه در طول اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1. Physical and chemical characteristics of the farm soil

بافت خاک Soil Texture	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	کربن آلی Organic Carbon	اسیدیته خاک pH	هدایت الکتریکی EC
	%			ppm		%			$ds\ m^{-1}$
لومی Loam	36	42	22	242	9.1	0.15	2.67	7.8	0.85

جدول ۲. مشخصات جوی در طول دوره رشدی لوبیاچیتی در سال زراعی آزمایش

Table 2. Atmospheric characteristics during the growth period of beans in the experiment year

		پارامترهای اقلیمی Climatic parameters					
Month	ماه	میانگین دما Average temperature	حداقل دما Minimum temperature	حداکثر دما Maximum temperature	جمع ساعات آفتابی Total hours of sunshine	رطوبت نسبی Relative humidity	مجموع بارندگی Total rainfall
		°C			H	%	mm
April	فروردین	9.85	1.78	13.62	191	67.79	72.45
May	اردیبهشت	19.6	6.54	22.32	303.1	55.25	25.86
June	خرداد	22.94	8.92	27.21	342.3	47.83	10.56
July	تیر	24.18	12.60	28.71	324.4	51.81	17.31
August	مرداد	20.96	9.81	26.32	370.9	57.04	1.82
September	شهریور	20.51	8.00	26.76	310.5	54.15	7.93

تیمارهای موردبررسی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی تا انتهای فصل رشدی) به‌عنوان کرت اصلی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (عدم محلول‌پاشی به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک) (Barros et al., 2018; Kuchlan and Kuchlan, 2023) به‌عنوان کرت فرعی بودند. محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در سه مرحله، مرحله رویشی (۶ تا ۸ برگی)، مرحله ۵۰ درصد گلدهی و مرحله ۵۰ درصد غلاف‌بندی با استفاده از سم‌پاش پشتی به‌صورت دستی انجام شد.

زمین محل اجرای آزمایش در پاییز سال ۱۳۹۸ شخم زده شده بود. شخم مجدد و سایر عملیات تکمیلی تهیه زمین شامل دیسک‌زنی و ایجاد جوی و پشته در بهار سال ۱۳۹۹ انجام گرفت. به کمک فاروئر پشته‌هایی به عرض ۳۰ سانتی‌متر ایجاد شد. پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین و قبل از کاشت بذور، بر اساس آزمون خاک به میزان ۶۹ کیلوگرم در هکتار کود فسفره (P_2O_5) از منبع فسفات آمونیوم و ۲۳ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره جهت تأمین عناصر غذایی موردنیاز گیاه به زمین به‌صورت یکنواخت اضافه شد. هر واحد آزمایشی شامل ۶ خط کاشت به طول ۴ متر بود. کاشت بذور لوبیاچیتی در تاریخ ۲۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۹ با فاصله ۲۵ سانتی‌متری بین ردیف و ۴ سانتی‌متر روی ردیف‌های کاشت در رأس پشته‌ها با تراکم ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت دستی صورت گرفت. بذرهای لوبیاچیتی مورداستفاده در این پژوهش از رقم محلی شهرستان سراب تهیه گردید.

اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی نیز بر اساس نیاز گیاه و شرایط آب و هوایی منطقه انجام شد. کلیه تیمارها به‌طور یکنواخت و بر اساس عرف منطقه تا مرحله گلدهی آبیاری شدند. به‌منظور اعمال تیمار تنش خشکی انتهای فصل، قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی در کرت‌های موردنظر (تاریخ ۲۰ تیرماه ۱۳۹۹) انجام شد و در کرت‌هایی با تیمار آبیاری کامل تا انتهای دوره رشدی آبیاری بوته‌ها ادامه یافت. از ابتدای دوره آزمایش، عملیات

نسخه پیش از انتشار

وجین برای کنترل علف‌های هرز در چندین نوبت و به‌صورت دستی انجام شد. ۳۴ روز بعد از اعمال تنش خشکی بعد از انجام محلول‌پاشی در مرحله غلاف‌بندی (نوبت سوم)، شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD-502، شرکت Konica Minolta، ژاپن) و هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ‌ها (EC) توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) (ISTA, 2017) برای تیمارهای مختلف انجام گرفت. محتوای مالون‌دی‌آلدهید نیز بر اساس روش استوارت و بولی (Stewart and Bewley, 1980) اندازه‌گیری شد. به این منظور ابتدا ۰/۵ گرم برگ (آخرین برگ توسعه‌یافته) در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ درصد تری‌کلرواستیک اسید همگن و به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. ۲ میلی‌لیتر از محلول روشناور حاصل با ۴ میلی‌لیتر از محلول ۲۰ درصد تری-کلرواستیک اسید محتوای ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید مخلوط شد. کمپلکس حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به حمام آب سرد منتقل گردید. نمونه‌ها دوباره ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر ثبت گردید و میزان مالون‌دی‌آلدهید محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری میزان پراکسیدهیدروژن نیز از روش آلکسیوا و همکاران (Alexieva et al., 2001) استفاده شد.

جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، در هنگام رسیدگی محصول، از سطح مؤثر هر واحد آزمایشی بعد از حذف اثر حاشیه از ابتدا و انتهای هر کرت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی برداشت شدند. صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه تعیین شد. برداشت نهایی (۱۳۹۹/۶/۲۳) هر واحد آزمایشی موقعی انجام گرفت که بیش از ۷۰ درصد غلاف‌ها رنگ زرد به خود گرفته بودند و رطوبت بذور به حدود ۳۵ درصد رسیده بود. در این مرحله بوته‌های موجود در مساحت یک مترمربع از هر کرت برداشت شدند. سپس دانه‌ها از نیام‌ها جدا گردید و عملکرد دانه در واحد سطح برای هر تیمار و تکرار به‌صورت جداگانه توزین و ثبت شد. پس از مشخص شدن عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه، شاخص برداشت برای هر یک از واحدهای آزمایشی محاسبه گردید. پس از اطمینان از نرمال بودن داده-ها، کلیه تجزیه‌های آماری و مقایسه میانگین‌های داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گردید. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد و ترسیم شکل‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار Excel انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل

مطابق با نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد داشتند ولی اثرمتقابل آبیاری × اسید سالیسیلیک بر این صفت معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد، قطع آبیاری در مرحله گلدهی موجب کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل به میزان ۱۴/۰۶ درصد نسبت به شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۴).

تنش خشکی با کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگ‌دانه کلروفیل، صدمه اکسیداتیو به لیپیدهای کلروپلاست، رنگ‌دانه‌ها و پروتئین‌ها موجب کاهش کلروفیل می‌شود (Hamzei and Babaei, 2017). اثر افزایشی اسید سالیسیلیک بر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل می-تواند در ارتباط با متابولیسم نیترات داخلی بافت‌ها و بیوسنتز کلروفیل و تأثیر آن بر تحریک فعالیت آنزیم روبیسکو باشد (Shi et al., 2006). کاربرد غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک سبب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ در لوبیاچیتی گردید به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان شاخص کلروفیل برگ با افزایش ۱۷/۹ درصدی در محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در مقایسه با تیمار شاهد به دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای شاهد و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک بود (جدول ۴).

در شرایط تنش خشکی اسید سالیسیلیک به‌عنوان آنتی-اکسیدان عمل نموده و از آسیب به رنگ‌دانه‌ها به‌ویژه کلروفیل جلوگیری می‌کند، به‌طوری‌که گزارش شده است اسید سالیسیلیک از طریق جلوگیری از آسیب به کلروفیل موجب بهبود فتوسنتز در شرایط تنش خشکی شده است (Khan et al., 2003). میورا و تادا (Miura and Tada, 2014) اظهار داشتند که اسید سالیسیلیک با تقویت سیستم دفاع آنتی-اکسیدانی (آنزیمی و غیرآنزیمی) موجب محافظت کلروفیل در برابر تنش اکسیداتیو می‌شود. در بررسی مهدویان (Mahdavian, 2021) نیز اسید سالیسیلیک به‌دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی خود از تخریب کلروفیل جلوگیری کرده و به-طور غیرمستقیم موجب افزایش آن شد. همچنین اسید سالیسیلیک با افزایش توان آنتی‌اکسیدانی گیاه ازجمله

نسخه پیش از انتشار

افزایش کارتنوئیدها موجب کاهش مقدار پراکسیداسیون لیپیدها و حفاظت بیشتر از غشای سلولی و رنگیزه‌های فتوسنتزی شده و از کاتابولیسم کلروفیل جلوگیری می‌کند.

محتوای مالون‌دی‌آلدهید

این شاخص واکنش معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد به تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک نشان داد (جدول ۳). اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی موجب افزایش معنی‌دار محتوای مالون‌دی‌آلدهید به میزان ۶۱/۴ درصد در برگ لوبیاچیتی گردید (جدول ۴). تنش‌های محیطی با ایجاد تنش اکسیداتیو، محتوای پراکسید هیدروژن را در سلول افزایش می‌دهد که با پراکسیدکردن غشاهای سلولی، موجب تخریب غشاها می‌شود. افزایش تشکیل گونه-های فعال اکسیژن (H_2O_2) در شرایط تنش خشکی، موجب القای پاسخ‌های حفاظتی و آسیب سلولی می‌شود. پراکسید هیدروژن منجر به پراکسیداسیون چربی‌ها و آسیب به غشاء می‌شود (Mousavi Dehmordy et al., 2018).

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر میزان شاخص کلروفیل، هدایت الکتریکی، مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن در برگ‌های لوبیاچیتی

Table 3. Analysis of variance the effects of irrigation and salicylic acid treatments on Chlorophyll index, EC MDA and H_2O_2 of pinto bean leaves

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		شاخص کلروفیل Chlorophyll index	مالون‌دی‌آلدهید MDA	هدایت الکتریکی EC	پراکسید هیدروژن H_2O_2
بلوک Block	2	0.719^{ns}	0.088^{ns}	67.005^{*}	208×10^{-8}
آبیاری Irrigation (I)	1	80.433^{**}	8.738^{**}	184.64^{**}	$1214\times10^{-4**}$
خطای اصلی Error a	2	0.38	0.032	0.925	297×10^{-8}
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (SA)	2	32.171^{**}	5.595^{**}	35.545^{**}	$399\times10^{-6**}$
اسید سالیسیلیک× آبیاری I × SA	2	1.365^{ns}	0.139^{ns}	4.594^{*}	$109\times10^{-6**}$
خطای فرعی Error b	8	0.405	0.033	0.799	181×10^{-8}
ضریب تغییرات CV (%)		*2.29*	*6.14*	*0.38*	*3.65*

*، ** و ns: به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns: significant at a probability level of 5% and 1% and non-significant, respectively

کاربرد غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک سبب کاهش معنی‌دار محتوای مالون‌دی‌آلدهید به‌ویژه در محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک شد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به ترتیب موجب کاهش ۱۰/۲۱ و ۴۹/۱۹ درصدی نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک شد (جدول ۴). کاربرد برگی اسید سالیسیلیک می‌تواند پاسخ مناسبی برای کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء از طریق جلوگیری از فعالیت پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، به‌منظور حفظ غشای سلولی تحت تنش خشکی باشد (Habibi et al., 2012). اسید سالیسیلیک با مهار گونه‌های فعال اکسیژن، از آسیب به اسیدهای چرب جلوگیری و نفوذپذیری و نشت یونی غشاء را کاهش و از غشاء تیلاکوئیدی در مقابل تنش محافظت می‌کند (Ashraf et al., 2010). مطابق با نتایج پژوهش حاضر کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک در کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) نیز گزارش شده است (Jahanbakhsh et al., 2020).

نسخه پیش از انتشار

جدول ۴. مقایسه میانگین شاخص کلروفیل و مالون‌دی‌آلدهید برگ‌های لوبیاچیتی تحت‌تأثیر تیمارهای آبیاری و اسید سالیسیلیک

Table 4. Mean comparison of chlorophyll index and MDA of pinto bean leaves affected by irrigation and salicylic acid treatments

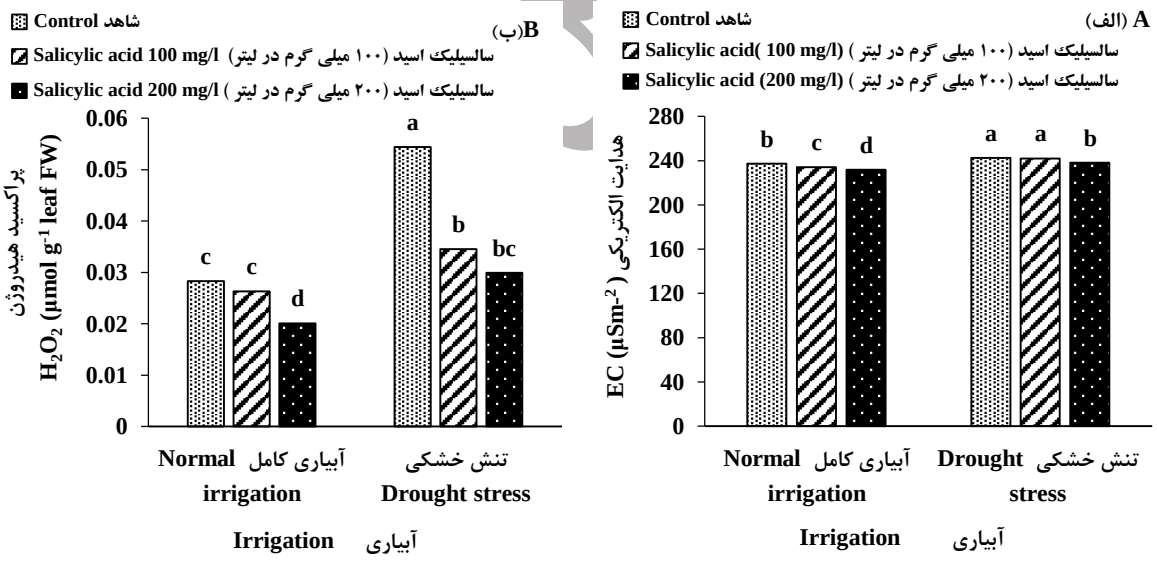
treatment	تیمار		شاخص کلروفیل Chlorophyll index	مالون‌دی‌آلدهید MDA (µM/mg Fw^{-1})
سطوح آبیاری Irrigation levels	Normal irrigation	آبیاری کامل	29.96^{a}	2.28^{b}
	Drought stress	تنش خشکی	25.74^{b} (-14.06)*	3.68^{a} (+61. 4)
اسید سالیسیلیک Salicylic acid	Control	شاهد	25.68^{c}	3.72^{a}
	100 mg.l^{-1}		27.59^{b} (+7. 4)	3.34^{b} (-10. 21)
	200 mg.l^{-1}		30.29^{a} (+17. 9)	1.89^{c} (-49.19)

در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.
*: اعداد داخل پارانتز نشان‌دهنده درصد تغییر نسبت به تیمار شاهد است.

In each column, means which followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability leve according to Duncan test. *: The numbers in parentheses indicate the percent change compared to the control treatment.

هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ و میزان پراکسید هیدروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای آبیاری و اسید سالیسیلیک بر میزان هدایت الکتریک مواد نشت یافته از برگ و میزان پراکسید هیدروژن در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌دار داشت و اثرات متقابل این تیمارها بر میزان هدایت الکتریک مواد نشت یافته از برگ در سطح احتمال ۵ درصد و بر میزان پراکسید هیدروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با اعمال تنش خشکی آخر فصل میزان هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ و میزان پراکسیدهیدروژن نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش یافت (شکل ۱الف و ب).



شکل ۱. تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر میزان هدایت الکتریکی (الف) و پراکسیدهیدروژن (ب) برگ‌های لوبیاچیتی. میانگین‌ها با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Fig. 1. The effects of irrigation and salicylic acid treatment on EC (A) and H_2O_2 (B) of pinto bean leaves. The means with the same letter(s) are not significantly different according to Duncan test ($p \leq 0.05$).

افزایش هدایت الکتریکی در شرایط تنش، می‌تواند ناشی از آسیب وارده بر غشای سلولی و کاهش مقاومت و یا تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء، تغییر در نفوذپذیری آن و خسارت به سلول می‌گردند که درنتیجه‌ی آن غشای سلولی پاره شده و موجب افزایش

نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (Mohammadkhani and Haidari, 2007). همچنین، تنش خشکی از تکامل دیواره سلولی ممانعت نموده و موجب نشت بیشتر الکترولیت‌ها از آن شده و درنهایت کاهش پایداری غشاء سلولی می‌شود (Qayyum et al., 2018). افزایش میزان پراکسیدهیدروژن در اثر تنش خشکی درنتیجه اختلال ایجادشده و عدم تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی است (Sabokdast and Moradi, 2022).

محلول‌پاشی بوته‌های لوبیاچیتی با اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری و تنش خشکی انتهای فصل سبب کاهش میزان هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از برگ‌های لوبیاچیتی و همچنین کاهش میزان پراکسیدهیدروژن گردید به‌طوری‌که میزان کاهش هر دو شاخص موردبررسی با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، بیشتر شد. کاربرد غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک سبب کاهش میزان هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از غشاء در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی به ترتیب به میزان ۲/۳ و ۱/۷ درصد نسبت به شاهد شد. کاهش میزان پراکسید هیدروژن با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک از شاهد به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۲۸/۹ و ۸۱/۹ درصد به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی به دست آمد (شکل ۱ الف و ب). افزایش اسید سالیسیلیک با افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها سبب کاهش میزان پراکسیدهیدروژن (Habibi, 2012) و سایر رادیکال‌های آزاد اکسیژن که عامل اصلی پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و نشت مواد سلولی هستند، می‌شود (Ghassemi et al., 2019). کاهش میزان هدایت الکتریکی مواد نشت یافته از غشاء و همچنین کاهش میزان پراکسیدهیدروژن در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در ذرت (Bijanzadeh et al., 2019) و برنج (Sohag et al., 2020) مشاهده شده است که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است.

ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی

کمبود آب ناشی از تنش خشکی از طریق کاهش فشار تورژسانس موجب کاهش اندازه سلول، کاهش نمو سلولی و کاهش رشد اندام‌ها و برگ‌ها می‌شود و درنهایت با کاهش تولید مواد فتوسنتزی موجب کاهش ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی می‌گردد (Yeganehpour et al., 2017).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر برهم‌کنش توأم تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر ارتفاع بوته معنی‌دار ولی برهم‌کنش توأم این عوامل بر تعداد شاخه فرعی معنی‌دار نبود (جدول ۵). تنش خشکی سبب کاهش تعداد شاخه فرعی به میزان ۲۲/۸ درصد گردید (جدول ۶). کاربرد غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی موجب افزایش ارتفاع بوته نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی شد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در هر یک از سطوح آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری) موجب بیشترین افزایش ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۲الف). محلول‌پاشی با ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک با اختلاف معنی‌دار، سبب افزایش ۳۳/۰۲ درصدی تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۶). عبید و همکاران (Abid et al., 2016) اظهار داشتند که در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش فشار تورژسانس، رشد و نمو سلول‌ها کاهش می‌یابد، لذا طول میانگره‌های ساقه و درنتیجه ارتفاع بوته کاهش می‌یابد. اختلال در فتوسنتز به‌واسطه کمبود آب و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد سبب دلیل کاهش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی در بوته در شرایط تنش خشکی عنوان شده است (Istanbulluoglu et al., 2010).

اسید سالیسیلیک می‌تواند از طریق افزایش تقسیم سلولی (Sepehri et al., 2015)، بهبود شاخص کلروفیل و افزایش فتوسنتز سبب افزایش طول ساقه و تعداد شاخه فرعی شود (Moradi Marjane and Goldani, 2011). اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک شبه هورمون، وضعیت هورمونی گیاه را متعادل کرده و با افزایش مقدار اکسین و سیتوکینین به افزایش ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی کمک می‌کند (Azadvari et al., 2020). حیات و همکاران (Hayat et al., 2013) نیز کاهش غالبیت و رشد مریستم انتهایی و همچنین تحریک رشد مریستم‌های جانبی را موجب پر شاخه‌تر شدن گیاه در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک عنوان کردند.

تعداد غلاف در بوته

تنش خشکی در مرحله گلدهی از طریق اختلال در گرده‌افشانی، کاهش فتوسنتز و کاهش تعداد گل سبب کاهش تعداد غلاف و تعداد دانه غلاف می‌شود (Habib Porkashef

نسخه پیش از انتشار

et al., 2017). تأثیر تیمارهای اسید سالیسیلیک و تنش خشکی بر تعداد غلاف در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی برهم‌کنش این دو تیمار اثر معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته نداشت (جدول ۵). قطع آبیاری در مرحله گلدهی سبب کاهش تعداد غلاف در بوته به میزان ۱۰/۵۶ در لوبیاچیتی گردید (جدول ۶). علی‌رغم کاهش تعداد غلاف در بوته در اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک سبب افزایش معنی‌دار این صفت به ترتیب به میزان ۷/۱۹ و ۱۸/۵۴ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۶).

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر صفات زراعی و عملکردی لوبیاچیتی

Table 5. Analysis of variance the effects of irrigation and salicylic acid treatments on agronomic and yield traits of pinto bean

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean of squares میانگین مربعات		
			ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant
Block	بلوک	2	26.79^{ns}	1.147^{ns}	14.115**
Irrigation (I)	آبیاری	1	465.125*	7.22*	4.109*
Error a	خطای اصلی	2	5.522	0.107	0.116
Salicylic acid (SA)	اسید سالیسیلیک	2	250.26**	3.487**	3.283**
I × SA	اسید سالیسیلیک×آبیاری	2	19.247**	0.087^{ns}	0.096^{ns}
Error b	خطای فرعی	8	1.538	0.053	0.069
CV (%)	ضریب تغییرات		*1.27*	*4.71*	*3.05*

*، ** و n.s به ترتب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶. مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری و اسید سالیسیلیک بر صفات زراعی و عملکردی لوبیاچیتی

Table 6. Comparison of mean effects of irrigation and salicylic acid treatment on agronomic and yield traits of pinto bean

Treatment	تیمار		تعداد شاخه‌های فرعی Number of branches	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant
سطوح آبیاری Irrigation levels	Normal irrigation	آبیاری کامل	5.53^{a}	9.09^{a}
	Drought stress	تنش خشکی	4.27^{b} (-22.8) *	8.13^{b} (+10.56)
اسید سالیسیلیک Salicylic acid	Control	شاهد	4.33^{b}	7.93^{c}
	100 mg.l^{-1}		4.60^{b} (+6.23)	8.50^{b} (+7.19)
	200 mg.l^{-1}		5.76^{a} (+33.02)	9.40^{a} (+18.54)

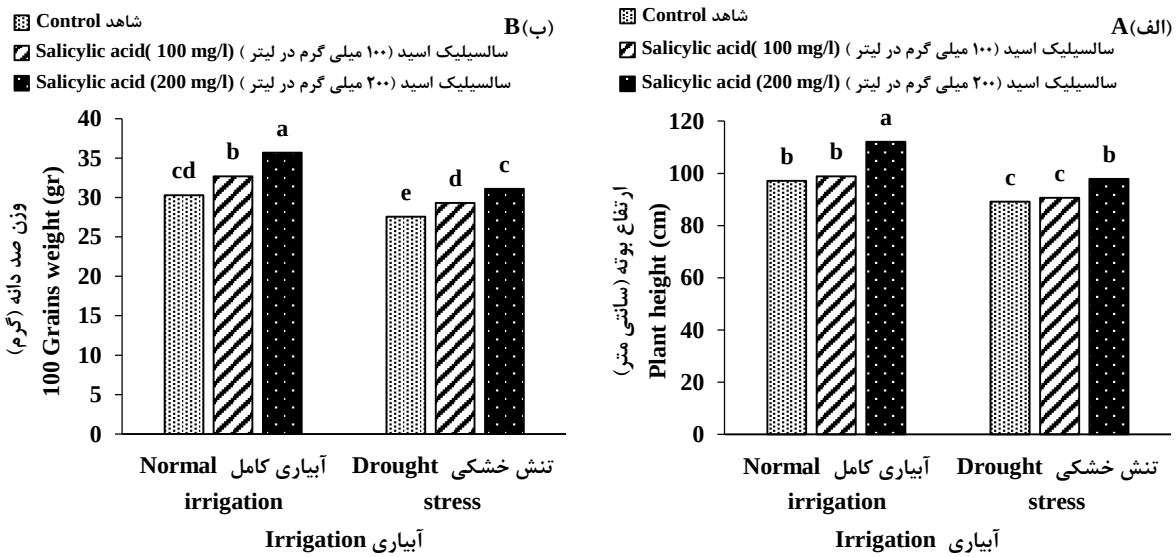
در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

*: اعداد داخل پارانتز نشان‌دهنده درصد تغییر نسبت به تیمار شاهد است.

In each column, means which followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability leve according to Duncan test. *: The numbers in parentheses indicate the percent change compared to the control treatment.

به نظر می‌رسد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با حفظ تعادل آب در گیاه، شرایط را برای تلقیح گل‌های بیشتر فراهم می‌کند و سبب افزایش تعداد واحدهای زایشی در گیاه می‌شود. همچنین با افزایش فتوسنتز و تسهیم مواد فتوسنتزی در گیاه از کاهش تعداد دانه جلوگیری می‌کند (Eraslan et al., 2007). قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2020) بیان کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک با بهبود وضعیت ریشه و افزایش طول دوره گلدهی و غلاف‌بندی، موجب افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در کلزا می‌شود. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، افزایش تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول در سیاه‌دانه در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک گزارش شده است (Azadvari et al., 2020).

نسخه پیش از انتشار



شکل ۲. تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک بر ارتفاع بوته (الف) و وزن صد دانه (ب) لوبیاچیتی. میانگین‌ها با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Fig. 2. The effects of irrigation and foliar application with salicylic acid on plant height (A) and 100 grains weight (B) of pinto bean. The means with the same letter(s) are not significantly different according to Duncan test ($p \leq 0.05$).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و متقابل بین آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار است (جدول ۷). قطع آبیاری در مرحله گلدهی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه لوبیاچیتی به میزان ۱۴/۱ درصد شد (شکل ۳الف). کمبود آب در مرحله گلدهی با تأثیر منفی بر تشکیل غلاف (جدول ۶) و وزن صد دانه (شکل ۲ب) موجب کاهش عملکرد دانه در لوبیاچیتی شد. کمبود آب در زمان گل‌دهی، رابطه بین منبع و مقصد فرآورده‌های فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار داده و با کاهش تعداد گل سبب کاهش مقاصد ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی و درنتیجه عملکرد دانه می‌شود (Durigon et al., 2019). کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی در کلزا (Rostami Hir et al., 2021) و سویا (Basal and Szabo, 2020) نیز گزارش شده است که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است.

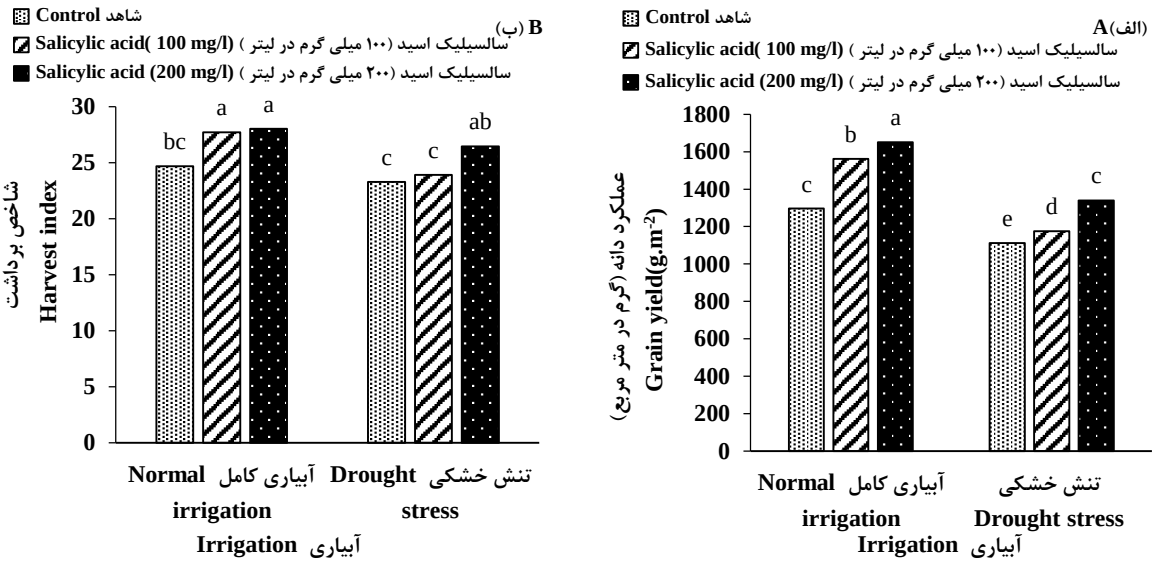
جدول ۷. تجزیه واریانس تأثیر تیمار آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر وزن صد دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در لوبیاچیتی

Table 7. Analysis of variance the effects of irrigation and salicylic acid treatments on 100 grains weight, grain yield and HI of pinto bean

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی Df	وزن صد دانه 100 grains Weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
Block	بلوک	2	11.815^{ns}	49175.63^{ns}	54.562^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	1	56.676*	388897.26*	22.748^{ns}
Error a	خطای اصلی	2	0.771	6598.12	4.284
Salicylic acid (SA)	اسید سالیسیلیک	2	30.084**	127784.79**	11.668**
I × SA	اسید سالیسیلیک×آبیاری	2	1.368*	15931.62**	6.964*
Error b	خطای فرعی	8	0.287	793.79	0.954
CV (%)	ضریب تغییرات		*1.72*	*2.078*	*3.80*

*، ** و ns: به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns: significant at a probability level of 5% and 1% and non-significant, respectively



شکل ۳. تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه (الف) و شاخص برداشت (ب) لوبیاچیتی. میانگین‌ها با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Fig. 3. The effects of irrigation and foliar application with salicylic acid treatments on grain yield (A) and harvest index (B) of pinto bean. The means with the same letter(s) are not significantly different according to Duncan test ($p \leq 0.05$).

محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک هم در شرایط آبیاری کامل و هم در شرایط تنش خشکی با افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته (جدول ۶) و همچنین وزن صد دانه (شکل ۲ب) موجب افزایش عملکرد دانه در لوبیاچیتی شد. در شرایط آبیاری کامل محلول‌پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک عملکرد دانه را به ترتیب به میزان ۲۰/۵ و ۲۷/۳۵ درصد افزایش داد و این افزایش در شرایط تنش خشکی انتهای فصل (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) به ترتیب به میزان ۵/۵ و ۲۰/۴ درصد بود (شکل ۳الف). افزایش در عملکرد می‌تواند ناشی از تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک در بهبود ارتفاع بوته (شکل ۲الف)، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه غلاف (جدول ۶) و وزن صد دانه (شکل ۲ب) باشد. مطابق با نتایج این پژوهش، افزایش عملکرد دانه در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در سویا (Rajeshwari and Bhuvaneshwari, 2017) و سیاه‌دانه (Azadvari et al., 2020) شد.

شاخص برداشت

کاهش سطح برگ و پیر شدن برگ‌ها در اثر تنش خشکی سبب کمبود مواد فتوسنتزی لازم جهت انتقال به اندام‌های گیاه می‌شود، کاهش مواد فتوسنتزی دلیل عمده کاهش عملکرد کاه و کلش و عملکرد بیولوژیک است (Kamrani et al. 2015). بین شاخص برداشت در تیمار شاهد شرایط تنش، علی‌رغم داشتن کاهش ۳/۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد شرایط آبیاری، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳ب).

کاهش شاخص برداشت، نشان‌دهنده میزان تغییر عملکرد دانه نسبت به زیست‌توده است. معنی‌دار نبودن کاهش شاخص برداشت را در این پژوهش می‌توان به کاهش متوازن دانه و زیست‌توده در اثر تنش خشکی نسبت داد. کاربرد غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی، موجب افزایش شاخص برداشت لوبیاچیتی شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین شاخص برداشت لوبیاچیتی با ۱۳/۵ درصد افزایش در محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری مشاهده شد. در شرایط آبیاری کامل، بین تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک با تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳ب). محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک با افزایش طول ریشه، زمینه لازم برای افزایش جذب آب و عناصر غذایی را فراهم نموده و موجب افزایش فتوسنتز می‌شود، درنتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری به توسعه‌ی اندام‌های زایشی اختصاص‌یافته و عملکرد دانه نسبت به بیومس افزایش بیشتری می‌یابد (Jiriaie et al., 2012). یگانه‌پور و همکاران (Yeganehpour et al., 2017) بیان

کردند که اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش عملکرد اندام زمینی و افزایش جذب مواد و تأثیر بر فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر از طریق عوامل روزنه-ای، رنگیزه و ساخت کلروپلاست و آنزیم‌های دخیل در مراحل فتوسنتز و همچنین با افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی، عملکرد دانه گیاه را افزایش داد. افزایش شاخص برداشت در شرایط آبیاری و شرایط تنش خشکی در لوبیاچیتی (Afshari et al., 2016) و کلزا (Sajed Gollojeh et al., 2021) نیز گزارش شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی از طریق کاهش پراکسیداسیون لیپیدی (محتوای مالون‌دی‌آلدهید) و هدایت الکتریکی مواد نشت الکترولیت یافته از برگ، موجب بهبود شاخص کلروفیل برگ لوبیاچیتی شد. بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی و تعداد غلاف در بوته در تیمار محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد. همچنین در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) بیش‌ترین ارتفاع بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در تیمار محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک مشاهده شد. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به‌ویژه با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک می-تواند با بهبود صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ضمن جبران اثرات تنش خشکی موجب افزایش عملکرد دانه لوبیاچیتی می‌شود.

منابع

Abdelaal, K.A.A., EL-Maghraby, L.M., Elansary, H., Hafez, Y.M., Ibrahim, E.I., El-Banna, M., El-Esawi, M., Elkelish, A., 2020. Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing compounds alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems. Agronomy. 10, 26-41. https://doi.org/ 10.3390/agronomy10010026

Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S.T., Cui, Y., Liu, Y., Zahoor, R., Dai, T., 2016. Nitrogen nutrition improves the potential of wheat (*Triticum aestivum* L.) to alleviate the effects of drought stress during vegetative growth periods. Frontiers in Plant Science. 7, 1-14. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00981

Afshari, M.A., Shekari, F., Afsahi, K., Azimkhani, R., 2016. Effect of floral applied salicylic acid on dry weight, harvest index, yield and yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 9, 51-58. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.22077/escs.2016.299

Agricultural statistics. 2023. Iranian Ministry of Agriculture Press. 103p. [In Persian]. https://amar.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnameh-J1-1401.pdf

Ahmadizadeh, A., Khajoei-Nejad, G., Abdoshahi, R., 2018. Effect of salicylic acid on morphological characteristics and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars under different irrigation regimes. Cereal Research. 7, 591-603. [In Persian]. https://doi.org/10.22124/c.2018.6799.1265

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli S., Karanov E., 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant, Cell and Environment. 24, 1337-1344. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x

Asadi, M., Eshghizadeh, H.R., 2021. Response of sorghum genotypes to water deficit stress under different CO_2 and nitrogen levels. Plant Physiology and Biochemistry.158, 255-264. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.010

Ashraf, M., Akram, N. A., Arteca, R. N., Foolad, M. R., 2010. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. Critical Reviews in Plant Sciences. 29, 162-190. https://doi.org/10.1080/07352689.2010.483580

Azadvari, H., Naeimi, M., Gholizadeh, A., Nakhzari Moghadam, A., 2020. Effect of application methods of salicylic acid on morphological characteristics, grain yield and essential oil of black cumin (*Nigella Sativa* L.) under water stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research. 18, 125-137. [In

نسخه پیش از انتشار

Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/gsc.v18i1.82805

Barros, T.C., Prado, R.D.M., Roque, C.G., Barzotto, G.R., Wassolowski, C.R., 2018. Silicon and salicylic acid promote different responses in legume plants. Journal of Plant Nutrition. 41, 16, 2116-2125. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1497177

Basal, O., Szabo, A., 2020. The combined effect of drought stress and nitrogen fertilization on soybean. Agronomy. 10, 384-402. https://doi.org/10.3390/agronomy10030384

Beebe, S.E., Rao, I.M., Blair, M.W., Acosta-Gallegos, J.A., 2013. Phenotyping common beans for adaptation to drought. Frontiers in Physiology. 4, 1-20. https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00035

Bijanzadeh, E., Naderi, R. Egan, T.P., 2019. Exogenous application of humic acid and salicylic acid to alleviate seedling drought stress in two corn (*Zea mays* L.) hybrids. Journal of Plant Nutrition. 42, 1483-1495. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617312

Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72, 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., Angaji, S.A., 2019. Improvement in drought stress tolerance of safflower during vegetative growth by exogenous application of salicylic acid and sodium nitroprusside. Industrial Crops and Products. 134, 168–176. http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.071

Durigon, A., Evers, J., Metselaar, K., De Jong Van Lier, Q., 2019. Water stress permanently alters shoot architecture in common bean plants. Agronomy. 9, 160-183. https://doi.org/10.3390/agronomy9030160

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., Alpaslan., M., 2007. Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Scientia Horticulturae. 113, 120-128. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.03.012

Ghasemi, D., Dolatti, L., Shekari, F., 2020. Evaluation of effect seed priming with salicylic acid on yield and yield components oilseed rape (*Brassica napus* L.). Journal of Crop Production. 13, 61-70. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.17180.2272

Ghassemi-Golezani, K., Bilasvar, H.M., Nassab, A.D.M., 2019. Improving rapeseed (*Brassica napus* L.) plant performance by exogenous salicylic acid and putrescine under gradual water deficit. Acta Physiologiae Plantarum. 41, 1-8. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2986-7

Habib Porkashef, E., Gharineh, M.H., Shafeinia, A.R., Roozrokh, M., 2017. Effect of different levels of zeolite on yield of red bean (*Phasaeolus vulgaris* L.) under drought stress in kermanshah climate condition. Plant Production Technology. 9, 141-151. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22084/ppt.2017.2209

Habibi, G., 2012. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. Acta Biologica Szegediensis. 56, 57-63.

Hamzei, J., Babaei, M., 2017. Response of morphological traits, yield components and yield of Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) to the integrated management of irrigation interval and nitrogen fertilizer. Crop Production. 9, 17-35. [In Persian]. https://doi.org/10.22069/EJCP.2017.9363.1727

Hayat, S., Ahmad, A., Alyemeni, M.N., 2013. Salicylic Acid Plant Growth and Development. Springer Dordrecht Heidelberg, New York, London.

ISTA. 2017. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.

Istanbulluoglu, A., Arslan, B., Gocmen, E., Gezer, E., Pasa, C., 2010. Effects of deficit irrigation regimes on the yield and growth of oilseed rape (*Brassica napus* L). Biosystem Enginiering. 105, 388-394. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.12.010

Jahanbakhsh, S., Moradi, R., Khajoei-Nejad, G., Naghizadeh, M., 2020. Effect of planting date, drought stress and salicylic acid on yield and biochemical characteristics of quinoa. Iranian Journal of Field Crop Science. 51, 55-71. [In Persian with English Summary].

https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.284610.654622

Jiriaie, M., Sajedi, N., 2012. Effect of plant growth regulators on agro physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L. var. Shahriar) under water deficit stress. Reseach on Crops. 13, 37-45.

Kamrani, M., Farzi, A., Ebadi, A., 2015. Evaluation of grain yield performance and tolerance to drought stress in wheat genotype using drought tolerance indices. Cereal Research. 5, 231-246. [In Persian with English Summary].

Kaushal, M., Wani, S.P., 2016. Rhizobacterial-plant interactions: strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. Agriculture, Ecosystems and Environment. 231, 68-78. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.031

Khan, A., Anwar, Y., Hasan, M.M., Iqbal, A., Ali, M., Alharby, H.F., 2017. Attenuation of drought stress in brassica seedlings with exogenous application of Ca^{2+} and H_2O_2. Plants. 6, 20-33. https://doi.org/10.3390/plants6020020

Khan, W., Prithiviraj, B., Smith, D.L., 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology. 160, 485-492. https://doi.org/10.1078/0176-1617-00865

Kottmann. L., Wilde, P., Schittenhelm, S., 2016. How do timing, duration, and intensity of drought stress affect theagronomic performance of winter rye? European Journal of Agronomy. 75, 25-32. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.12.010

Kuchlan, P., Kuchlan, M.K., 2023. Effect of salicylic acid on plant physiological and yield traits of soybean. Legume Research. 46, 56-61. https://doi.org/10.18805/LR-4527

Mahdavian, K., 2021. The study of the effects of different concentrations of salicylic acid on improving physiological and biochemical properties of pistachio (*Pistacia vera* L.) var. Akbari seedlings under salinity stress. Journal of Plant Environmental Physiology. 16, 139-150. https://doi.org/10.30495/iper.2021.679545

Miura, K., Tada, Y., 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. Frontiers in Plant Science. 5, 1-12. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00004

Mohammadkhani, N., Heidari, R., 2007. Effects of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Sciences. 10, 3835-3840. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.3835.3840

Moradi Marjane, E., Goldani, M., 2011. Evaluation of different salicylic acid levels on some growth characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under limited irrigation. Environmental Stresses in Crop Sciences. 4, 33-45. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2011.97

Mousavi Dehmordy, Z., Gholami, M., Baninasab, B., 2018. Effect of vermicompost fertilizer on growth and drought tolerance of olive (*Olea europaea* L. cv. Zard). Plant Process and Function. 7, 1-18. [In Persian with English Summary].

Qayyum, A., Razzaq, A., Bibi, Y., Khan, S.U., Abbasi, K.S., Sher, A., Jenks, M.A., 2018. Water stress effects on biochemical traits and antioxidant activities of wheat (*Triticum aestivum* L.) under In vitro conditions. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science, 68, 283-290. https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1395064

Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R., Najafi, F., 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water. Acta Biological Cracoviensa Botanica. 53, 47-56.

Rajeshwari, V., Bhuvaneshwari, V., 2017. Salicylic acid induced salt stress tolerance in plants. International Journal of Plant Biology and Research. 5, 1067-1073. https://doi.org/10.47739/2333-6668/1067

Rostami Hir, M., Sheikhzadeh, P., Khomari, S., Zare, N., 2021. The effects of molybdenum oxide nanoparticles on some physiological and agronomic characteristics of oilseed rape under drought stress. Journal of Crop Production. 14, 43-64. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.18786.2398

Sabokdast, M., Moradi, J., 2022. Study of the physiological and biochemical changes of common bean in response to foliar application of salcylic acid under drought stress conditions. Journal of Crop Breeding. 14, 117-126. [In

Persian with English Summary] https://doi.org/10.52547/jcb.14.42.117

Sajed Gollojeh, K., Khomari, S., Sheikhzadeh, P., Sabaghnia, N., Mohebodini, M., 2021. The effect of foliar application of nano material and salicylic acid on spring rapeseed yield under water limitation condition. Journal of Crops Improvement. 23, 113-126. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2020.299040.2358

Sepehri, A., Abasi, R., Karami, A., 2015. Effect of drought stress and salicylic acid on yield and yield component of bean genotypes. Journal of Crops Improvement. 17, 503-516. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22059/jci.2015.55196

Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., Ying, Q., 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. https://doi.org/10.1007/s10725-005-5482-6

Shooryabi, M., Ganjeali, A., Abrishamci, P., 2012. Investigating the effect of salicylic acid on enzymes activity and antioxidant compounds of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 5, 41-54. https://doi.org/10.22077/escs.2012.113

Sohag, A.A.M., Tahjib-Ul-Arif, M., Brestic, M., Afrin, S., Sakil, M.A., Hossain, M.A., 2020. Exogenous salicylic acid and hydrogen peroxide attenuate drought stress in rice. Plant, Soil and Environment. 66, 7-13. https://doi.org/10.17221/472/2019-PSE

Stewart, R.R.C., Bewley, J.D., 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Plant Physiology. 65, 245-248. https://doi.org/10.1104/pp.65.2.245

Tayyab, N., Naz. R., Yasmin, H., Nosheen, R., Sajjad, M., Hassan, M.N., Roberts, T.H., 2020 Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought induced stress in maize. Plos One. 15, 1-18. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232269

Yeganehpour, F., Salmasi, S., Shafaq, J., Ghasemi Golazani, K., 2017. Effect of drought stress chemical and biofertilizer and salicylic acid on grain yield and yield components of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Crop Production. 9, 37-55. [In Persian]. https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.8717.1672

نسخه پیش از انتشار