



Studying the Effects of Seed Priming on Yield and Some Morphophysiological Traits of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivar Koosha under Water Deficit Stress Conditions

Mohammad Ghasabadi¹, Hamid Reza Eisvand^{1*}, Farhad Nazarian Firouzabadi¹, Adel Ghadiri²

Received: 07 April 2025

Revised: 25 May 2025

Accepted: 03 June 2025

Available Online: 03 June 2025

Cite this article:

Ghasabadi, M., Eisvand, H. R., Nazarian Firouzabadi, F., & Ghadiri, A. (2025). Studying the effect of seed priming on yield and some morphophysiological traits of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Koosha under water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 265-275. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.92705.1108>

Introduction

Plants respond to drought by synthesizing osmo-protectants like proline and antioxidants, which help mitigate stress effects. This study was performed to evaluate effects of seed priming on yield, some morpho-physiological traits of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar under water deficit stress. Drought is a major limiting factor in bean production worldwide. Given Iran's location in an arid and semi-arid climate and the sensitivity of bean growth stages to moisture stress, the adoption of mitigation strategies is essential. Therefore, this study aimed to investigate the effect of seed priming on yield and some morphophysiological traits of pinto bean under water stress conditions. The experimental design included drought stress at three levels: control (50 mm evaporation), moderate stress (75 mm evaporation), and severe stress (100 mm evaporation) from a class A evaporation pan. Seed priming treatments included four levels: no priming (control), priming with distilled water, priming with 0.5 mM salicylic acid, and priming with 100 ppm gibberellic acid. Optimal priming conditions (temperature, duration, and drying time) were determined in a preliminary study. The results showed that treatments significantly affected physiological, agronomical traits and antioxidant enzyme activities. Under drought stress, severe stress caused the greatest reductions in relative water content (RWC), chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids by 19%, 27%, 29%, 28%, and 28%, respectively. It also resulted in the largest decreases in pods per plant, seeds per pod, pod yield, 100-seed weight, seed yield, and biological yield, with reductions of 42%, 32%, 19%, 10%, 45%, and 15%, respectively, compared with the control. Priming with distilled water (optimal priming time, temperature, time and drying time were all determined in a pre-test), priming with 0.5 mM salicylic acid and priming with 100 ppm gibberellic acid and a new pinto bean cultivar, Koosha. In the case of priming, the gibberellic acid treatment had the highest mean RWC (60%), chlorophyll a (1.03 mg.g⁻¹ FW), total chlorophyll (1.63 mg.g⁻¹ FW), while the salicylic acid treatment had the highest mean chlorophyll b (0.61 mg.g⁻¹ FW) and carotenoids (2.59 mg.g⁻¹ FW). Regarding the interaction effects of treatments, priming reduced the negative effects of drought stress on physiological traits at all stress levels (control, mild and severe stress), such that salicylic acid treatment had the highest mean RWC, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids. In the case of priming, salicylic acid treatment had the highest mean number of pods per plant (15.82), number of seeds per pod (3.81), pod yield (0.79 g.m⁻²), hundred seed weight (48.37 g), seed yield (30.1 g.m⁻²) and biological yield (79.4 g.m⁻²). Regarding drought stress, the most severe stress level showed the greatest reduction in the number of pods per plant, number of seeds per pod, pod yield, 100-seed weight, seed yield, and biological yield, which were 42, 32, 19, 10, 45, and 15 percent, respectively, compared to the control treatment.

Materials and Methods

The field experiment was performed in 2019 and 2020 in the field of Markazi Province Agricultural and Natural Resources Research Center, located in the northern belt of Arak (latitude 34° 5' N, longitude of 49°42' E), at an altitude of 1757 meters above sea level and with an average annual rainfall of 230 mm. A split-plot experiment was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The experimental factors included drought stress at four levels (control, 50 mm evaporation, 75 mm evaporation, and 100 mm evaporation from the evaporation pan), and

1- Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

2- Agronomy and Horticulture Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Arak, Iran

* Corresponding Author: eisvand.hr@lu.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

seed priming at four levels (no priming [control], priming with distilled water, priming with 0.5 mM salicylic acid, and priming with 100 ppm gibberellic acid). The optimal priming duration, temperature, and drying time were determined in a pre-test, and the Koosha cultivar was used for the experiment. Field preparation, including plowing, disking, and land leveling, was carried out in early spring of both cropping years, following standard regional practices. Before planting, all the seeds were disinfected with benomyl fungicide at a ratio of two per thousand. Seeds were sown in six rows, each 4 meters long, with 50 cm spacing between rows (Kamankesh & Shafiei, 2017). The first irrigation was done immediately after planting and the subsequent irrigations were done according to the relevant treatments based on the plant's needs and environmental conditions.

Results and Discussion

The results showed that treatments significantly affected physiological traits. Regarding priming, Gibberellic acid treatment had the highest mean RWC (60%), chlorophyll a ($1.03 \text{ mg.g}^{-1} \text{ FW}$), total chlorophyll ($1.63 \text{ mg.g}^{-1} \text{ FW}$), and the salicylic acid treatment had the highest mean chlorophyll b ($0.61 \text{ mg.g}^{-1} \text{ FW}$), and carotenoid ($2.59 \text{ mg.g}^{-1} \text{ FW}$) values. Regarding treatment interaction, priming reduced the negative effects of drought stress on physiological traits, at all drought stress levels (control, mild and severe); salicylic acid treatment had the highest mean of RWC, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids. Gibberellic acid (GA) priming significantly influences the activity of photosynthetic pigments in plants under drought stress by enhancing physiological and biochemical responses. This priming mechanism involves the regulation of key photosynthetic genes and the activation of protective pathways that mitigate stress effects. GA3 priming increases the net photosynthetic rate (P_n) and chlorophyll content, which are crucial for effective photosynthesis under drought conditions (Xie et al., 2016; Fu et al., 2023). In maize, GA3 application improved photochemical efficiency and stomatal conductance, leading to better photosynthetic performance under drought stress (Fu et al., 2023). Regarding drought stress, the severe stress had the highest reduction of RWC, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids with 19, 27, 29, 28 and 28%, respectively compared to the control. Chlorophyll concentration has been known as an index to evaluate source activity, therefore a decrease in this can be considered a non-stomata limiting factor in the drought stress conditions (Hasnain et al., 2023). Chlorophyll concentration has been known as an index for evaluation of source, therefore decrease in this can be considered as a non-stomata limiting factor under drought stress conditions. There are reports of a decrease in chlorophyll under drought stress conditions. Also, it is reported that the chlorophyll content of resistant and sensitive cultivars to drought and thermal stress is reduced. However, resistant cultivars to drought and thermal stress had a high chlorophyll content (Kausar et al., 2023).

Conclusions

The results showed that treatments significantly affected agronomic traits. Regarding priming, Salicylic acid treatment had the highest mean pod per plant (15.82), seed per pod (3.81), pod yield (0.79 g.m^{-2}), 100-seed weight (48.37 g.m^{-2}), seed yield (30.1 g.m^{-2}) and biological yield (79.4 g.m^{-2}) values. Salicylic acid (SA) plays a crucial role in enhancing the yield of beans through various physiological and biochemical mechanisms. Its application has been shown to improve plant resilience against abiotic stresses such as waterlogging and salinity, leading to better growth and yield outcomes.

Keywords: Antioxidant enzyme, Environmental stress, Gibberellic acid, Salicylic acid



بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر عملکرد و برخی صفات مورفو فیزیولوژیکی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) رقم کوشا در شرایط تنش کم آبی

محمد غیاث آبادی^۱، حمیدرضا عیسوند^{۱*}، فرهاد نظریان فیروز آبادی^۱، عادل غدیری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳

چکیده

خشکی یکی از عوامل محدودکننده تولید لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در جهان است و با توجه به قرار گرفتن ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک جهان و اثرات تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد این گیاه، اتخاذ روش‌های مقابله ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو، هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر عملکرد و برخی صفات مورفو فیزیولوژیکی لوبیا چیتی در شرایط تنش کم آبی بود. آزمایش به صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش کم آبی در سه سطح آبیاری منظم (شاهد، ۵۰ میلی‌متر تبخیر، ۷۵ میلی‌متر تبخیر و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، پرایمینگ در چهار سطح (عدم پرایم (شاهد)، پرایمینگ با آب مقطر (مدت زمان پرایمینگ، دما، زمان و مدت خشک شدن بهینه، همگی در یک پیش‌آزمایش مشخص شدند) پرایمینگ با اسیدسالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار و پرایمینگ با اسیدجیبرلیک ۱۰۰ پی‌پی‌ام و رقم جدید لوبیا چیتی رقم کوشا بود. نتایج نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی داشتند. در مورد پرایمینگ، تیمار اسیدجیبرلیک بالاترین میانگین محتوای آب نسبی (۰/۶۰)، کلروفیل a (۱/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه)، کلروفیل کل (۱/۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) را داشت، در حالی که تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین کلروفیل b (۰/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) و کاروتنوئید (۲/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) را نشان داد. در ارتباط با تأثیرات متقابل تیمارها، پرایمینگ اثرات منفی تنش خشکی را بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی در تمامی سطوح تنش (شاهد، تنش ملایم و شدید) کاهش داد، به طوری که تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین محتوای آب نسبی، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها را داشت. به علاوه تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین تعداد غلاف در هر بوته (۱۵/۸۲)، تعداد دانه در هر غلاف (۳/۸۱)، عملکرد غلاف (۰/۷۹)، وزن ۱۰۰ دانه (۴۸/۳۷ گرم)، عملکرد دانه (۳۰/۱ گرم) و عملکرد بیولوژیکی (۷۹/۴ گرم) را داشت. در رابطه با تنش کم آبی، شدیدترین سطح تنش منجر به بیشترین کاهش در تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف، عملکرد غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی شد که این کاهش به ترتیب ۴۲، ۳۲، ۱۹، ۱۰، ۴۵ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد بود. بر این اساس، پرایمینگ بذر با اسیدسالیسیلیک و اسیدجیبرلیک می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر در بهبود رشد و عملکرد لوبیا چیتی به‌ویژه در مناطق در معرض تنش خشکی پیشنهاد شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اسیدجیبرلیک، اسیدسالیسیلیک، تنش محیطی

مقدمه

برخوردار می‌باشد (Rahimi et al., 2023)، بنابراین شناسایی و انتخاب ارقام متحمل به خشکی در گیاهانی چون لوبیا که در شرایط محدودیت آب بتوانند عملکرد قابل قبولی داشته باشند از اهمیت خاصی دارد. پرایمینگ بذر روشی برای پیش‌جوانه‌زنی می‌باشد که باعث جوانه‌زنی سریع، همزمان و یکنواخت بذرها می‌گردد. گزارش‌های متعددی مبنی بر تأثیر مثبت پرایمینگ بر جوانه‌زنی و سبز شدن در گیاهان مختلف وجود دارد (Fu et al., 2024; Chandel et al., 2024; Demir Kaya et al., 2006). پرایمینگ

با توجه به اینکه تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در بخش کشاورزی است، تلاش‌های زیادی برای حفظ عملکرد گیاهان تحت شرایط خشکی صورت گرفته است (Cattivelli et al., 2008). با توجه به اینکه بیش از ۸۵ درصد زمین‌های زراعی کشاورزان در محدوده مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است بنابراین استفاده از ارقام مقاوم به خشکی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) در ایران از پتانسیل ویژه‌ای جهت افزایش عملکرد در شرایط تنش را

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

(*- نویسنده مسئول: eisvand.hr@lu.ac.ir)

و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۲ درجه شرقی با ارتفاع ۱۷۵۷ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی سالانه ۲۳۰ میلی‌متر اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح آبیاری منظم (شاهد، ۵۰ میلی‌متر تبخیر)، ۷۵ میلی‌متر تبخیر و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، پرایمینگ در چهار سطح عدم پرایم (شاهد)، پرایمینگ با آب مقطر (مدت زمان پرایمینگ، دما، زمان و مدت خشک شدن بهینه، همگی در یک آزمایش مقدماتی مشخص شد)، پرایمینگ با اسیدسالیسیلیک و پرایمینگ با اسیدجیبرلیک به‌ترتیب در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ پی‌پی‌ام و رقم جدید لوبیا چیتی (رقم کوشا) بود.

قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه انجام و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. آماده‌سازی و عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین مطابق عرف منطقه در دو سال زراعی در اوایل بهار انجام گردید. کلیه بذرها قبل از کاشت با سم بنومیل به نسبت دو در هزار ضدعفونی گردیده و سپس در هر کرت فرعی در شش ردیف به‌طول چهار متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در عمق پنج سانتی‌متر کاشته شدند (Kamankesh & Shafiee, 2018). اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی متناسب با تیمارهای مربوطه براساس نیاز گیاه و شرایط محیطی انجام گرفت. نیاز آبی گیاه با استفاده از تشتک تبخیر محاسبه و تبخیر روزانه از تشت اندازه‌گیری و براساس ضریب تشت و ضریب گیاهی، حجم آب مصرفی مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری با استفاده از معادله ۱ تعیین می‌گردد.

$$V = PE \times KC \times A / Ei \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، V: حجم آبیاری برحسب مترمکعب، PE: تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A برحسب میلی‌متر، KC: ضریب گیاهی، A: مساحت آبیاری‌شده برحسب مترمربع و Ei: راندمان آبیاری می‌باشد. ضریب گیاهی لوبیا از ۰/۱۵ در اوایل رشد، ۱/۱۵ در اواسط رشد و از ۰/۲۶ در مرحله برداشت متفاوت است. آبیاری کرت‌ها توسط نوارهای تیپ و حجم آب ورودی به کرت با کنتور آب کنترل شد. بذر لوبیا چیتی رقم کوشا از استان مرکزی، مرکز تحقیقات ملی لوبیای شهرستان خمین تهیه گردید.

به روش‌های مختلفی و با اهداف خاصی انجام می‌شود که از میان آن‌ها مواردی مثل هیدرو پرایمینگ^۱، اُسموپرایمینگ^۲، ماتریک پرایمینگ^۳، هالو پرایمینگ^۴، ترمو پرایمینگ^۵، بیو پرایمینگ^۶ و پرایمینگ با هورمون‌های رشد گیاهی را می‌توان نام برد. در حال حاضر از چهار تکنیک هیدروپرایمینگ، اُسمو پرایمینگ، ماتریک پرایمینگ و پیش‌جوانه‌زنی، به‌طور تجاری برای پرایمینگ بذر استفاده می‌شود (Eisvand et al., 2008; Kaya., 2006). در روش پرایمینگ می‌توان از هورمون‌های گیاهی همچون اسیدسالیسیلیک و اسیدجیبرلیک استفاده کرد. اسیدسالیسیلیک از جمله تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی قابل حل در آب و یک ترکیب آنتی‌اکسیدان به شمار می‌رود (Raafat & Radwan, 2011) این هورمون نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله رشد، تکامل گیاه، تعرق، جذب یون (Keikha et al., 2017) فتوسنتز و جوانه‌زنی بسته به غلظت مورد نظر، گونه گیاه، دوره رشدی و شرایط محیطی ایفا می‌کند (Iqbal & Ashraf, 2006) این ماده همچنین به‌عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Senaratna et al., 2000) علاوه بر این، اسیدسالیسیلیک منجر به بروز تغییراتی خاص در آناتومی برگ و ساختار کلروپلاست می‌گردد (Zaki & Radwan, 2011). اسیدجیبرلیک یکی از مهم‌ترین جیبرلین‌هایی می‌باشد که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان نظیر فعالیت تقسیم سلولی مناطق مریستم، افزایش طولی سلول‌ها، افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی، افزایش رشد گیاهچه‌ای در شرایط مزرعه (Eisvand, 2012)، زودرسی، گل‌دهی و عملکرد دخال دارد (Nawaz et al., 2024). با توجه به اینکه در بین حبوبات، لوبیا از نظر سطح زیرکشت و تولید، مقام اول را در جهان دارا است و خشکی یکی از عوامل محدودکننده تولید لوبیا در جهان است، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر عملکرد، برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و کارایی مصرف آب لوبیا چیتی در شرایط تنش کم‌آبی به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، واقع در کمربندی شمالی اراک، با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵ دقیقه شمالی

- 1- Hydropriming
- 2- Osmopriming
- 3- Matric priming
- 4- Halopriming
- 5- Thermopriming
- 6- Biopriming

پرایمینگ با اسیدجیرلیک تأثیر قابل توجهی بر فعالیت رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی دارد، به گونه‌ای که پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را بهبود می‌بخشد. این سازوکار پرایمینگ شامل تنظیم ژن‌های کلیدی فتوسنتزی و فعال‌سازی مسیرهای حفاظتی است که اثرات تنش را کاهش می‌دهند (Zhang et al., 2024). پرایمینگ اسیدجیرلیک، میزان فتوسنتز خالص و مقدار کلروفیل را که برای فتوسنتز مؤثر در شرایط خشکی ضروری هستند، افزایش می‌دهد (Xie et al., 2016; Fu et al., 2024). در گیاه ذرت، کاربرد اسیدجیرلیک باعث بهبود کارایی فتوشیمیایی و هدایت روزنه‌ای شد که منجر به عملکرد بهتر فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی گردید (Fu et al., 2023). همچنین پرایمینگ اسیدجیرلیک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز که از دستگاه فتوسنتزی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از خشکی محافظت می‌کنند را افزایش می‌دهد (Jaybhaye et al., 2024).

در مورد تنش خشکی، شدیدترین سطح تنش منجر به بیشترین کاهش در محتوای آب نسبی، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها شد که به ترتیب ۱۹، ۲۷، ۲۹، ۲۸ و ۲۸ درصد کمتر از مقدار مشاهده‌شده در شاهد بود. غلظت کلروفیل به عنوان یک شاخص برای ارزیابی منابع نوری شناخته شده است، بنابراین کاهش آن می‌تواند به عنوان یک عامل محدودکننده غیرمرتبط با روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی در نظر گرفته شود (Hasnain et al., 2023). در همین راستا، گزارش‌هایی مبنی بر کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی وجود دارد. همچنین گزارش شده است که محتوای کلروفیل در ارقام مقاوم و حساس به تنش خشکی و گرما کاهش می‌یابد، اما ارقام مقاوم به این تنش‌ها دارای محتوای کلروفیل بالاتری بودند (Kausar et al., 2023).

به منظور نمونه‌گیری در هر کرت، دو ردیف کناری و ۳۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای ردیف‌های میانی به عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد. به منظور تعیین اجزای عملکرد، در پایان فصل رشد تعداد پنج بوته به طور تصادفی از هر کرت برداشت و تعداد غلاف بارور، تعداد دانه در هر غلاف و وزن ۱۰۰ دانه اندازه‌گیری و ثبت شد. عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نیز پس از حذف اثرات حاشیه‌ای با برداشت از وسط هر کرت به مساحت دو مترمربع تعیین گردید. علف‌های هرز غالب در مزرعه سلمه تره^۱، تاج خروس^۲، پنیرک^۳، پیچک^۴، توق^۵ و تاتوره^۶ بودند که به صورت دستی وجین شدند.

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گردید. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب داده‌های این مطالعه نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی داشتند (جدول ۱). در مورد پرایمینگ، تیمار اسیدجیرلیک بالاترین میانگین محتوای آب نسبی (۶۰ درصد)، کلروفیل a (۱/۰۳ میلی گرم بر گرم وزن تازه)، کلروفیل کل (۱/۶۳ میلی گرم بر گرم وزن تازه) را داشت، درحالی که تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین کلروفیل b (۰/۶۱ میلی گرم بر گرم وزن تازه) و کاروتنوئید (۲/۵۹ میلی گرم بر گرم وزن تازه) را نشان داد. در ارتباط با تأثیرات متقابل تیمارها، پرایمینگ اثرات منفی تنش خشکی را بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی در تمامی سطوح تنش (شاهد، تنش ملایم و شدید) کاهش داد، به طوری که تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین محتوای آب نسبی، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها را داشت (جدول ۲).

1- *Chenopodium album*

2- *Amaranthus spp*

3- *Malva spp*

4- *Convolvulus arvensis*

5- *Xanthium strumarium*

6- *Datura stramonium*

7- Relative Water Content (RWC)

جدول ۱- میانگین مربعات تأثیر تیمارهای آزمایش بر صفات مورد مطالعه لوبیا چیتی رقم کوشا
Table 1- Mean squares of the effect of experimental treatments on the studied traits of pinto bean cultivar Koosha

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب Relative Water Content	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	ارتفاع بوته Plant height	نیام در بوته Number of pods per plant	نیام در بوته Number of seeds per pods	وزن دانه 100-seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield
سال Year	1	5083**	0.008	0.001	0.004	88.88**	0.823	4.109**	154.4**	0.013	0.02
تکرار R (Year)	4	3.222	0.008	0.001	0.006	8.681	1.556	0.036	5.161	0.077**	0.089
پرایمینگ Priming	2	870.1**	0.492**	0.211**	3.295**	1270**	298.444**	10.72**	154.4**	14.938**	10.575**
سال × پرایمینگ Year × priming	2	49.84 ^{ns}	0.028**	0.001	0.001	0.928	0.017	0.208**	0.074	0.01	0.058
خطا Error	8	10.34	0.003	0.001	0.003	7.637	0.461	0.006	2.494	0.004	0.067
آبیاری Irrigation	3	31.60**	0.176**	0.053**	1.3**	386.5**	100.126**	2.419**	85.98**	1.019**	2.361**
آبیاری × سال Year × irrigation	3	48.56**	0.063**	0.012**	0.016	1.069	0.493	0.083	2.316**	0.002	0.026
آبیاری × پرایمینگ Priming × irrigation	6	18.27**	0.013**	0.012**	0.116**	7.896**	2.563**	0.264**	2.825**	0.044**	0.011
آبیاری × پرایمینگ × سال Year × priming × irrigation	6	12.90**	0.013**	0.003	0.024	0.375	0.457	0.051	0.336	0.009*	0.01
خطا Error	36	3.843	0.003	0.002	0.016	2.009	0.373	0.036	0.474	0.004	0.31
ضریب تغییرات CV (%)		11.7	13.3	12.2	17.6	14.1	13.6	11.3	14.1	13.7	10.5

ns و **: به ترتیب غیرمعنی دار بودن و معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد
ns, * and **: are respectively non-significant and significant at the probability level of 5% and %1

جدول ۲- مقایسه میانگین محتوی آب نسبی و رنگ‌ده‌های فتوسنتزی لوبیا چیتی در پاسخ به تیمارهای آزمایش
Table 2- Comparison of average relative water content and photosynthetic pigments pinto bean in response to experimental treatments

سال Year	پرایمینگ Priming	آبیاری (میلی متر تبخیر از تشتک) Irrigation (mm pan evaporation)	محتوای نسبی آب (%) Relative Water Content (%)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g ⁻¹ FW)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g ⁻¹ FW)
اول First	شاهد Control	50*	50.33 ^{hij*}	1.03 ^{cd}	0.64 ^{b^{cde}}	1.67 ^{cd}	2.46 ^{defg}
		75	48.67 ^{ij}	0.87 ^{fgh}	0.59 ^{cdef}	1.46 ^{fgh}	2.1 ^{hi}
		100	41.67 ^l	0.61 ^k	0.36 ^k	0.96 ⁿ	1.83 ^{ijkl}
	آب Water	50	53.67 ^{gh}	0.75 ^{ij}	0.57 ^{efg}	1.32 ^{ij}	2.42 ^{efg}
		75	50.33 ^{hij}	0.68 ^{jk}	0.47 ^{hij}	1.15 ^{lm}	1.99 ^{ijk}
		100	44.67 ^{kl}	0.7 ^{jk}	0.43 ^{jk}	1.13 ^{lm}	1.85 ^{ijkl}
	اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	50	58.67 ^{ef}	1.09 ^{bc}	0.67 ^{abc}	1.77 ^{abc}	2.92 ^a
		75	53.33 ^{gh}	0.96 ^{def}	0.57 ^{efg}	1.53 ^{ef}	2.63 ^{de}
		100	48.33 ^j	0.86 ^{fgh}	0.53 ^{fghi}	1.39 ^{ghi}	2.11 ^{hi}
	اسیدجبرلیک Gibberellic acid	50	56.33 ^{fg}	1.15 ^{ab}	0.74 ^a	1.89 ^a	2.89 ^{ab}
		75	52 ^{hi}	1.04 ^{cd}	0.66 ^{abcd}	1.7 ^c	2.66 ^{cd}
		100	47 ^{jk}	0.99 ^{cde}	0.5 ^{ghij}	1.49 ^{fg}	1.92 ^{ijkl}
دوم Second	شاهد Control	50	75 ^a	1.04 ^{cd}	0.61 ^{bcdef}	1.66 ^{cd}	2.36 ^{fg}
		75	69 ^c	0.95 ^{defg}	0.55 ^{fgh}	1.5 ^{fg}	2.06 ^{hij}
		100	58 ^{ef}	0.73 ^j	0.36 ^k	1.1 ^m	1.74 ^l
	آب Water	50	74 ^{ab}	1.07 ^{bc}	0.58 ^{defg}	1.65 ^{cde}	2.29 ^{gh}
		75	64 ^d	0.85 ^{gh}	0.5 ^{ghij}	1.35 ^{hij}	2.05 ^{ij}
		100	64 ^d	0.71 ^{jk}	0.46 ^{ij}	1.17 ^{klm}	1.78 ^{kl}
	اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	50	76.33 ^a	1.07 ^{bc}	0.68 ^{ab}	1.75 ^{bc}	2.87 ^{abc}
		75	63.33 ^d	0.91 ^{efgh}	0.64 ^{bcde}	1.55 ^{def}	2.69 ^{bcd}
		100	58.33 ^{ef}	0.67 ^{jk}	0.58 ^{defg}	1.24 ^{ijkl}	2.29 ^{gh}
	اسیدجبرلیک Gibberellic acid	50	74 ^{ab}	1.2 ^a	0.65 ^{bcde}	1.85 ^{ab}	3.06 ^a
		75	70.67 ^{bc}	0.95 ^{defg}	0.59 ^{cdef}	1.55 ^{def}	2.55 ^{def}
		100	60 ^e	0.84 ^{hi}	0.44 ^j	1.28 ^{ijk}	1.84 ^{ijkl}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using the Duncan's test

نتایج نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد داشتند (جدول ۳). در مورد پرایمینگ، تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین تعداد غلاف در هر بوته (۱۵/۸۲)، تعداد دانه در هر غلاف (۳/۸۱)، عملکرد غلاف (۰/۷۹)، وزن ۱۰۰ دانه (۴۸/۳۷ گرم)، عملکرد دانه (۳/۰۱ گرم) و عملکرد بیولوژیکی (۷/۹۴ گرم) را داشت. اسیدسالیسیلیک نقش مهمی در افزایش عملکرد لوبیا از طریق سازوکارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف ایفا می‌کند. کاربرد آن موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند غرق‌آبی و شوری شده و در نتیجه رشد و عملکرد بهتری را به همراه دارد. اسیدسالیسیلیک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش می‌دهد که موجب کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از عوامل محیطی می‌شود (Sultana et al., 2023). افزایش سطح فلاونوئیدهای کل و ترکیبات فنلی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را بهبود بخشیده و از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب محافظت می‌کند (Youssef et al., 2023). کاربرد اسیدسالیسیلیک همچنین موجب تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین و اسیدهای آمینه آزاد می‌شود که در حفظ تعادل اسمزی در شرایط تنش مؤثر هستند (Sultana et al., 2023). این تنظیم اسمزی منجر به بهبود وضعیت آبی برگ و افزایش شادابی گیاه شده و در نتیجه سلامت کلی و پتانسیل عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد (Sultana et al., 2023). علاوه بر این، محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک با افزایش محتوای کلروفیل، بهبود کارایی فتوسنتز و جذب عناصر غذایی همراه بوده که برای رشد و عملکرد مطلوب ضروری است (Sharma et al., 2023). در رابطه با تنش خشکی، شدیدترین سطح تنش، بیشترین کاهش را در تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف، عملکرد غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نشان داد که این کاهش به ترتیب ۴۲، ۳۲، ۱۹، ۱۰، ۴۵ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد بود. در مورد تأثیرات متقابل تیمارها، پرایمینگ اثرات منفی تنش خشکی را در تمامی سطوح تنش (شاهد، تنش ملایم و شدید) کاهش داد، به‌طوری‌که تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف، عملکرد غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی را داشت (جدول ۳). این نتایج را چنین می‌توان تفسیر نمود که اسیدسالیسیلیک از طریق فعال‌سازی مسیرهای سیگنال‌دهی خاص موجب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش می‌شود. همچنین این ترکیب به‌عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده، بیان ژن‌های مرتبط با پاسخ به تنش را تنظیم کرده و

ایمنی و تحمل گیاه به خشکی را افزایش می‌دهد (Song et al., 2023) و همچنین پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی محافظتی را فعال کرده که به حذف گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولیدشده در شرایط خشکی کمک می‌کند (Paul et al., 2024). اسیدسالیسیلیک باعث افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود کارایی فتوسنتز می‌شود که برای حفظ رشد در شرایط محدودیت آبی حیاتی است و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در این تحقیق نیز در همین راستا می‌باشد (Paul et al., 2024; Chauhan et al., 2023). تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از غلظت‌های پایین اسیدسالیسیلیک (۰/۵-۰/۱ میلی‌مولار) از طریق پرایمینگ بذر یا محلول‌پاشی، به‌طور مؤثری تحمل گیاه را در برابر خشکی افزایش می‌دهد (Kavulych et al., 2023). مطالعات حاکی از آن است که کاربرد اسیدسالیسیلیک می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد محصولات زراعی را در شرایط تنش بهبود بخشد و به‌عنوان یک ابزار امیدبخش برای کشاورزی پایدار مطرح شود (Ansari et al., 2023).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی داده‌های دو سال زراعی نشان داد که تیمارهای پرایمینگ بذر با اسیدسالیسیلیک و اسیدجیرلیک تأثیرات مثبتی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و عملکرد لوبیا چیتی به‌ویژه در شرایط تنش کم‌آبی داشتند. کاهش سطح آبیاری منجر به کاهش میزان آب نسبی برگ، کاهش کلروفیل‌ها و عملکرد دانه شد که نشان‌دهنده حساسیت بالای لوبیا چیتی به تنش خشکی است. اما تیمارهای اسیدسالیسیلیک و اسیدجیرلیک توانستند این اثرات منفی را کاهش داده و باعث حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش کاروتنوئیدها و بهبود تحمل گیاه به کم‌آبی شوند. از نظر عملکرد، مشخص شد که تنش خشکی موجب کاهش وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه شد. بالین‌حال، تیمارهای پرایمینگ به‌ویژه اسیدسالیسیلیک باعث افزایش عملکرد دانه و بهبود اجزای عملکرد شدند. این تیمارها در شرایط تنش آبی توانستند میزان تولید زیست‌توده و کارایی فتوسنتزی را افزایش داده و گیاه را در برابر شرایط نامطلوب مقاوم‌تر کنند. بر این اساس، پرایمینگ بذر با اسیدسالیسیلیک و اسیدجیرلیک می‌تولند به‌عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر در بهبود رشد و عملکرد لوبیا چیتی، به‌ویژه در مناطق مستعد تنش خشکی پیشنهاد شود.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی در پاسخ به تیمارهای آبیاری
Table 3- Comparison of yield and yield components pinto bean in response to experimental treatments

سال Year	پرایمینگ Priming	آبیاری (میلی متر تبخیر از تشتک) Irrigation (mm pan evaporation)	تیمار در بوته Number of pods per plant	دانه در نیام Number of seeds per pods	عملکرد نیام Pods yield (g.m ⁻²)	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield(kg.ha ⁻¹)
اول First	شاهد Control	50	12.8h*	3.57de	0.72defg	46.47cde	3100e	7830abede
		75	11.47ij	3.17fg	0.66hijk	45.27ef	2640g	7390bcedef
		100	6.87n	2.6ij	0.58l	42.1i	1670k	6450f
	آب Water	50	16.07cde	4.37c	0.79bc	49.43b	3480	8260ab
		75	14.87fg	3.57de	0.74cde	47.27cd	2960f	7770abede
		100	8.73lm	3.03gh	0.68fghij	44.41fg	1870j	6820ef
	اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	50	19.2a	5.3a	0.9a	52.87a	3770a	8560a
		75	17.57b	3.83d	0.81b	50.13b	3240d	8100abcd
		100	11.3ij	3.27efg	0.73def	46.23de	2090h	7200bcedef
	اسیدجبرلیک Gibberellic acid	50	15.93cdef	4.7b	0.89a	50.21b	3570b	8540a
		75	14.47g	3.6de	0.75cde	47.7c	3020ef	8040abcd
		100	10.53jk	3.03gh	0.7defgh	45.63ef	1940ij	7110cedef
دوم Second	شاهد Control	50	12hi	3.17fg	0.65hijk	43.93gh	2990ef	7520abcedef
		75	10.53jk	2.7hij	0.62kl	43.03hi	2550g	7270bcedef
		100	6.9n	2.37j	0.58l	38.83k	1730k	6450f
	آب Water	50	16.23cd	3.9d	0.76bcd	45.27ef	3420c	8210abc
		75	15.23defg	3.17fg	0.69efghi	43hi	2950f	7730abede
		100	8.63m	2.77hi	0.63jkl	40.93j	1940ij	7000def
	اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	50	18.9a	4.33c	0.87a	50.27b	3710a	8500a
		75	16.83bc	3.33efg	0.74cde	47.17cd	3300d	8110abc
		100	11.1ij	2.77hi	0.67ghijk	43.57gh	1970ij	7180bcedef
	اسیدجبرلیک Gibberellic acid	50	16.17cd	3.77d	0.88a	47.53c	3510bc	8490a
		75	15efg	3.4ef	0.75cde	45.2ef	2990ef	7950abcd
		100	9.7kl	2.63ij	0.64ijk	43.83gh	1990hi	7250bcedef

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.
* Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using the Duncan's test

References

- Ansari, Z. G., Sarma, H. H., Boruah, A., Doggalli, G., Bahadur, R., Tripathi, U., & Vijaya Rani, D. (2023). Efficacy of salicylic acid in response to plant stress tolerance, growth, and productivity: A review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 3924-3936. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i113573>.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A., & Stanca, A. M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.07.004>
- Chandel, N. S., Tripathi, V., Singh, H. B., & Vaishnav, A. (2024). Breaking seed dormancy for sustainable food production: Revisiting seed priming techniques and prospects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 55, 102976. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102976>
- Chauhan, J., Singh, P., & Choyal, P. (2023). Palant photosynthesis under abiotic stresses: Damages, adaptive, and signaling mechanisms. *Plant Stress*, 10(6), 100296. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100296>
- Demir Kaya, M., Okcu Gamze Atak, M., Cikili, Y., & Kolsarici, O. (2006). Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal Agronomy*, 24, 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>
- Eisvand, H. R., Azarnia, M., Nazarian Firoozabadi, F., & Sharafi, R. (2012). Effects of priming by gibberellin and abscisic acid on emergence and some physiological characters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedling under dry and irrigated conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(4), 789-797. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084811.1390.42.4.14.6>
- Eisvand, H. R., Tavakkol Afshari, R., Sharifzadeh, F., Maddah Arefi, H., & Hesamzadeh Hejazi, S. M. (2008). Improvement of physiological quality of deteriorated tall wheat grass (*Agropyron elongatum* Host) seeds by hormonal priming for control and drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Science*, 39(1), 53-65. (In Persian).
- Fu, J. J., Li, L., Wang, S., Yu, N., Shan, H. S., Shi, Z., Hai, F., Li, X., & Zhong, M. (2023). Effect of gibberellic acid on photosynthesis and oxidative stress response in maize under weak light conditions. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1128780>.
- Fu, Y., Ma, L., Li, J., Hou, D., Zeng, B., Zhang, L., Liu, C., Bi, Q., Tan, J., Yu, X., & Bi, J., (2024). Factors influencing seed dormancy and germination and advances in seed priming technology. *Plants*, 13(10), 1319. <https://doi.org/10.3390/plants13101319>
- Hasnain, Z., Zafar, S., Usman, S., Zhang, L., & Elansary, H. O. (2023). Elucidating role of melatonin foliar spray in ameliorating adverse effects of drought stress on growth and physio-biochemical attributes of *Brassica rapa* plants. *Scientia Horticulturae*, 321, 112336. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112336>
- Iqbal, M., & Ashraf, M. (2006). Wheat seed priming in relation to salt tolerance, growth, yield and level of free salicylic acid and polyamines. *Annals of Botany*, 43(4), 250-259.
- Jaybhaye, S. G., Deshmukh, A. S., Chavhan, R. L., Patade, V. Y., & Hinge, V. R. (2024). GA3 and BAP phytohormone seed priming enhances germination and PEG-induced drought stress tolerance in soybean by triggering the expression of osmolytes, antioxidant enzymes, and related genes at the early seedling growth stages. *Environmental and Experimental Botany*, 226(C), 105870. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105870>
- Kamankesh, E., & Shafiee, E. (2018). *Practical Guide for Beans Growing*. First edition. Tehran: Amoozesh va Tarviji Keshavarzi Press, Tehran, Iran. 85 pp. (In Persian).
- Kavulych, Y., Kobyletska, M., Romanyuk, N., & Terek, O. (2023). Stress-protective and regulatory properties of salicylic acid and prospects of its use in plant production. *Studia Biologica* 17(2), 173-200. <https://doi.org/10.30970/sbi.1702.718>
- Kausar, A., Hussain, S., Javed, T., Zafar, S., Anwar, S., Hussain, S., Zahra, N., & Saqib, M. (2023). Zinc oxide nanoparticles as potential hallmarks for enhancing drought stress tolerance in wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 195, 341-350. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.01.014>
- Kaya, M. D., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y., & Kolsarici, Ö. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24(4), 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>
- Keikha, M., Noori, M., & Keshtehgar, A. (2017). Effect of salicylic acid and gibberellin on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiata*). *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(2), 138-151. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.V7i2.45907>.
- Nawaz, H., Rehman, H. U., Ihsan, M. Z., Rizwan, M. S., Hussain, N., Ali, B., Iqbal, R., Hasnain, M. U., Elshikh, M. S., Alkahtani, J., & Arslan, M. (2024). Organic seed priming with curtailed seed rate

- compensated wheat grains productivity by upgrading anti-oxidant status against terminal drought at flowering and milking. *Scientific Reports*, 14(1), 4941. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54767-6>
- Paul, M., Datal, A., Jaaskelainen, M., Moshelion, M., & Schulman, A. H. (2024). Precision phenotyping of a barley diversity set reveals distinct drought response strategies. *Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1393991>.
- Raafat, N. Z., & Radwan, T. E. E. (2011). Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. *Journal of Apply Sciences Research*, 7(1), 42-55.
- Rahimi, H., Eshghizadeh, H. R., Razmjoo, J., Zahedi, M., GHadiri, A., & Asadi, M. (2023). Evaluation of yield and some morphophysiological characteristics of pinto bean (*Phaseolus vulgaris L.*) genotypes under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Pulses Research*, 14(1), 19-33. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.V14i1.2206-1026>
- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., & Dixon, K. (2000). Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30(2), 157-161.
- Sharma, R. K., Magray, M. M., Narayan, S., & Bhat, S. A. (2023). Effect of foliar application of varying doses of salicylic acid at different growth stages on growth, quality, and nutrient uptake efficiency of French bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *The Pharma Innovation Journal*, 12(2), 1582-1589. <https://doi.org/10.22271/tpi.2023.V12.i2s.18618>
- Song, W., Shao, H., Zheng, A., Zhao, L., & Xu, Y. (2023). Advances in roles of salicylic acid in plant tolerance responses to biotic and abiotic stresses. *Plants. Physiology and Biochemistry*, 12(19), 3475; <https://doi.org/10.3390/plants12193475>
- Sultana, S., Rahman, M. M., Das, A. K., Haque, M. A., Rahman, M. A., Islam, S. M. N., Ghosh, P. K., Keya, S. S., Tran, L. P., & Mostofa, M. G. (2023). Role of salicylic acid in improving the yield of two mung bean genotypes under waterlogging stress through the modulation of antioxidant defense and osmoprotectant levels. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206, 108230. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108230>
- Xie, J., Tian, J., Du, Q., Chen, J., Li, Y., Yang, X., Li, B., & Zhang, D. (2016). Association genetics and transcriptome analysis reveal a gibberellin-responsive pathway involved in regulating photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 67(11), 3325-38. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw151>
- Youssef, S. M., López-Orenes, A., Ferrer, M. A., & Calderón, A. A. (2023). Foliar application of salicylic acid enhances the endogenous antioxidant and hormone systems and attenuates the adverse effects of salt stress on growth and yield of French bean plants. *Horticulturae*, 9(1), 75. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010075>
- Zaki, R. N., & Radwan, T. E. (2011). Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. *Journal of Applied Science Research*, 7, 42-55.
- Zhang, K., Khan, M. N., Luo, T., Bi, J., Hu, L., & Luo, L., (2024). Seed priming with gibberellic acid and ethephon improved rice germination under drought stress via reducing oxidative and cellular damage. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(2), 2679-2693. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01691-3>