J. Crop Prod. Process. 2026, 16(3), 63-77; DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

Evaluation of the Role of Ellagic Acid in Reducing Oxidative Stress in Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under Drought Stress Conditions

Mansour Faraji[1]*, Babak Andalib[1], Mohsen Silsepour[2] and Sajad Nasiri[1]

1. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. The Greenhouse Crops Research Department of the Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Tehran Province, Tehran, Iran.

Extended Abstract:

Introduction: Drought stress is one of the major environmental factors limiting the growth and productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Water deficit disrupts physiological and biochemical processes by increasing the production of reactive oxygen species (ROS), leading to oxidative stress, membrane damage, and reduced photosynthetic efficiency. Although plants possess antioxidant defense systems, severe drought often exceeds their protective capacity. Therefore, the application of natural antioxidant compounds has emerged as an effective approach to enhance plant tolerance to drought stress. Ellagic acid is a naturally occurring phenolic compound with strong antioxidant activity that can scavenge free radicals and improve cellular protection against oxidative damage. However, information regarding its effectiveness in common beans under field conditions in drought-prone areas remains limited. This study was conducted to evaluate the effects of different application methods of ellagic acid on growth, antioxidant activity, membrane stability, and yield of common bean under varying levels of drought stress.

Materials and Methods: A two-year field experiment was carried out using a split-plot arrangement based on a randomized complete block design with three replications. Irrigation treatments were assigned to the main plots and included full irrigation (100% of crop water requirement), moderate drought stress (75% of crop water requirement), and severe drought stress (50% of crop water requirement). Subplots consisted of four ellagic acid treatments (50 mg L^{-1}): untreated control, seed priming, foliar application, and the combined application of seed priming and foliar spraying. Growth traits, including plant height, leaf number, and leaf area index, were recorded during the growing season. Electrolyte leakage was measured to evaluate membrane stability, while superoxide dismutase (SOD) activity was determined as an indicator of antioxidant response. Yield components, biological yield, and grain yield were measured at harvest. Data collected over the two growing seasons were analyzed using analysis of variance, and treatment means were compared at the 5% probability level.

Results: Drought stress significantly reduced vegetative growth, yield components, biological yield, and grain yield while increasing electrolyte leakage. Significant interactions between irrigation regime and ellagic acid application were observed for plant height, leaf number, leaf area index, electrolyte leakage, and grain yield. Application of ellagic acid significantly enhanced superoxide dismutase (SOD) activity under both well-watered and drought conditions, indicating improved antioxidant defense. The combined application of seed priming and foliar spraying produced the highest values of plant height, leaf area index, number of leaves, number of pods per plant, and grain yield under full irrigation. Conversely, untreated plants exposed to severe drought exhibited the lowest performance for all measured traits. Under moderate drought stress, foliar application was more effective than seed priming in reducing electrolyte leakage, whereas under severe drought, the combined treatment provided the greatest protection against membrane damage and resulted in higher grain yield. These findings indicate that the response of common bean to ellagic acid depends on both drought severity and the application method.

Received: Jun. 03, 2026; Revised: Aug. 09, 2026; Accepted: Aug. 15, 2026; Published Online: Oct. 17, 2026.
* Corresponding Author: faraji.mansour@znu.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Discussion: The positive effects of ellagic acid can be attributed to its antioxidant properties, which enhance ROS scavenging and reduce oxidative damage under drought conditions. Increased SOD activity and reduced electrolyte leakage suggest improved membrane integrity and greater protection of cellular structures. These physiological improvements likely contributed to enhanced plant growth and higher yield under water-limited conditions. The superior performance of the combined seed priming and foliar application indicates that integrating pre-sowing treatment with foliar supplementation provides prolonged protection throughout plant development. In contrast, foliar spraying alone was sufficient to alleviate moderate drought stress by rapidly improving antioxidant capacity. These results support previous findings that exogenous antioxidants enhance drought tolerance through the maintenance of cellular homeostasis and protection of the photosynthetic apparatus.

Conclusions: Ellagic acid effectively alleviated drought-induced oxidative stress in common bean by enhancing antioxidant activity, reducing membrane injury, and improving plant growth and grain yield. Although all application methods were beneficial, their effectiveness varied with drought intensity. Foliar application was more efficient under moderate drought, whereas the combined application of seed priming and foliar spraying was superior under severe drought stress. These findings suggest that ellagic acid is a promising and environmentally friendly strategy for improving drought tolerance and maintaining common bean productivity under limited water availability. Further research should evaluate different application rates and investigate the physiological and molecular mechanisms underlying its protective effects.

Keywords: Antioxidant compounds, Oxidative stress, Osmotic regulation, Pinto beans.

How to Cite: Faraji M., Andalib B., Silsepour M., Nasiri S., Evaluation of the role of ellagic acid in reducing oxidative stress in pinto bean (Phaseolus vulgaris L.) under drought stress conditions .*J. Crop Prod. Process*. 2026, 16(3), 63-77 (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

Copyright © 2026 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۵، دوره ۱۶، شماره ۳، صص. ۷۷-۶۳ DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی

صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

ارزیابی نقش الاژیک اسید بر کاهش تنش اکسیداتیو لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش خشکی

منصور فرجی*[۱]، بابک عندلیبی[۱]، محسن سیلسپور[۲] و سجاد نصیری[۱]

چکیده– تنش خشکی یکی از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی است که از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو، موجب کاهش عملکرد این محصولات می‌شود. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی نقش الاژیک اسید در کاهش اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکردی گیاه لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris*) انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال اجرا شد که در آن سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) و چهار تیمار الاژیک اسید (شاهد، پرایمینگ بذر، محلول‌پاشی برگی و کاربرد ترکیبی این دو روش) با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفتند. یافته‌ها نشان داد که برهم‌کنش آبیاری و الاژیک اسید بر اکثر صفات از جمله تعداد برگ در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، نشت الکترولیت و عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری داشت. کاربرد الاژیک اسید به هر سه روش، موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی (*SOD*) و بهبود عملکرد بیولوژیک و دانه در هر دو شرایط آبیاری کامل و خشکی شد. بیشترین میزان صفات عملکردی در تیمار آبیاری کامل با کاربرد ترکیبی (پرایمینگ و محلول‌پاشی) حاصل شد، درحالی‌که کمترین مقادیر صفات در شرایط خشکی شدید بدون استفاده از الاژیک اسید مشاهده شد. نتایج نشان داد که در خشکی متوسط، محلول‌پاشی برگی و در خشکی شدید، کاربرد ترکیبی مؤثرترین روش برای کاهش آسیب‌های اکسیداتیو بود. به‌طور کلی، الاژیک اسید با تقویت سیستم‌های دفاعی گیاه، موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی و عملکرد لوبیا چیتی در شرایط تنش می‌شود و استفاده از آن، به‌ویژه به‌صورت ترکیبی، راهکاری کارآمد برای مقابله با خشکی است.

واژه‌های کلیدی: ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، نشت الکترولیت، شاخص های رشدی، عملکرد لوبیا چیتی.

دریافت مقاله: ۱۴۰۵/۰۳/۱۳، بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۴، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۲۵

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. بخش تحقیقات کشت‌های گلخانه‌ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، تهران، ایران.

*: نویسنده مسئول، رایانامه: faraji.mansour@znu.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۵ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

مقدمه

تغییرات اقلیمی و تشدید تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی، شوری و گرما، تولید پایدار محصولات زراعی و درنتیجه امنیت غذایی جهان را با چالش‌های جدی روبه‌رو کرده است. در میان این عوامل، خشکی به‌عنوان مهم‌ترین تنش غیرزنده در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک، با کاهش دسترسی گیاه به آب و عناصر، رشد، فتوسنتز، تقسیم و بزرگ‌شدن سلولی، و درنهایت عملکرد را به‌شدت محدود می‌کند. این تنش از طریق برهم‌زدن تعادل اسمزی، آسیب به غشاهای سلولی و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، موجب بروز تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود (۷ و ۱۵). لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی در کشورهای در حال توسعه جهت تغذیه انسان است که حساسیت بالای آن به کم‌آبی عامل محدودکننده تولید آن است. گزارش‌ها نشان دادند که خشکی در لوبیا با کاهش جوانه‌زنی، رشد رویشی، محتوای نسبی آب، فتوسنتز، جذب عناصر و عملکرد دانه همراه است (۱۵). در چنین شرایطی، گیاه سازوکارهای دفاعی مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تجمع ترکیباتی نظیر پرولین را فعال می کند. این ترکیبات با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و کاهش آسیب اکسیداتیو، در حفظ پایداری سلولی و تحمل به تنش نقش دارند. هرچند این پاسخ‌ها اغلب برای مقابله کامل با شدت خشکی کافی نیستند (۸ و ۱۲). در سال‌های اخیر، راهکارهای مدیریتی پیش‌کاشت و پیش‌تیمار به‌ویژه پرایمینگ بذر با ترکیباتی مانند اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک برای افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی مورد توجه قرار گرفته‌اند (۵ و ۱۳). پرایمینگ بذر با فعال‌سازی زودهنگام فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، باعث بهبود سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، استقرار بهتر گیاهچه، افزایش کارایی جذب آب و تقویت سیستم دفاعی گیاه می‌شود (۵).

الاژیک اسید یک پلی‌فنول طبیعی با ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی قوی است که می‌تواند با خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن، کاهش پراکسیداسیون لیپیدی، محافظت از غشاها و تعدیل پاسخ‌های هورمونی، به بهبود وضعیت آبی و کاهش آسیب ناشی از خشکی کمک کند (۱۴ و ۱۷). الاژیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی، تجمع پرولین و بهبود متابولیسم کربوهیدرات‌ها می‌تواند تحمل گیاه به تنش را افزایش دهد. این اثرات می‌توانند به حفظ کلروفیل، پایداری غشا و بهبود فتوسنتز منجر شوند (۱ و ۹). محققان گزارش کردند که پرایمینگ بذر گندم با الاژیک اسید باعث افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی، پایداری غشای سلولی و ارتقای شاخص‌های فتوسنتزی تحت خشکی شد (٦). پژوهشگران نشان دادند که پرایمینگ بذر لوبیا چیتی با الاژیک اسید، سرعت جوانه‌زنی، رشد ریشه‌چه و محتوای نسبی آب برگ را بهبود داد (۸). محلول‌پاشی الاژیک اسید در گندم و سویا موجب افزایش کلروفیل، قندهای محلول، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در تنش خشکی شد (۱ و ۱۸) اطلاعات مربوط به اثرات توأم پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی الاژیک اسید در لوبیا چیتی در معرض خشکی هنوز محدود است. بنابراین، با توجه به اهمیت لوبیا چیتی در تغذیه انسان، حساسیت بالای آن به کم‌آبی و ضرورت توسعه راهکارهای کم‌هزینه و سازگار با محیط‌زیست برای افزایش تحمل به خشکی، بررسی علمی و کاربردی اثرات پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی الاژیک اسید می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی اثرات این دو راهکار بر شاخص‌های رشدی، بیوشیمیایی و عملکردی لوبیا چیتی تحت شرایط خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

زمان اجرا و طرح آزمایش

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال متوالی در اردیبهشت‌ماه سال‌های ۱٤۰۳ و ۱٤۰٤ در مزرعه تحقیقات مرکزی وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران واقع در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

جدول ۱. پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد گیاه در سال اول (۱۴۰۰)

Table 1 - Weather parameters of the region during the plant growth period in 2021

October	September	August	July	June	May	Month
26.9	37.3	39.2	41.2	39.2	33.6	**T-Max (°C)**
10.9	18.3	22.5	24.1	21.6	16.9	**T-Min (°C)**
2.3	0	0.01	0.2	0	28.1	**Rain (mm)**

جدول ۲. پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد گیاه در سال دوم (۱۴۰۱)

Table 2 - Weather parameters of the region during the plant growth period in 2022

October	September	August	July	June	May	Month
26.5	38.7	39.7	42.6	40.5	32.3	**T-Max (°C)**
11.6	17.8	20.2	22.4	19.4	14.9	**T-Min (°C)**
6.5	0	0	0	0	10.1	**Rain (mm)**

جدول ۳. مشخصات خاک محل آزمایش

Table 3. Soil characteristics of the test site

Soil Texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	OC (%)	Nitrogen (%)	Phosphorus (mg/kg)	Potassium (mg/kg)	EC (dS/m)	pH	Depth (cm)
Silty - Loamy	29	44	27	0.82	0.08	7.3	290	2.4	7.8	**0-30**

شهرستان ورامین (طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۵ درجه شمالی و ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا) اجرا شد. منطقه، اقلیم گرم و خشک با میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر دارد. اطلاعات پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد گیاه در دو سال آزمایش در جداول ۱ و ۲ آمده است. همچنین ویژگی‌های خاک در جدول ۳ ارائه شده است.

تیمارهای آزمایشی

اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز گیاه و به‌صورت هفتگی انجام گرفت. این آبیاری‌ها به‌طور دقیق و مطابق با هر تیمار در نظر گرفته شدند تا تأثیرات مختلف آبیاری بر رشد گیاه و تحمل به خشکی به‌طور کامل ارزیابی شود. اعمال تنش خشکی در مرحله سومین برگ سه برگچه‌ای گیاه لوبیا چیتی شروع شد و تا آخرین آبیاری ادامه یافت. در کرت‌های اصلی، سه سطح تنش خشکی براساس درصد نیاز آبی گیاه و براساس مقادیر تبخیر روزانه از تشتک تبخیر کلاس A اعمال شد. آبیاری کامل بر مبنای ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود. تنش ملایم خشکی برابر ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بود. تنش شدید خشکی معادل ۵۰ درصد نیاز آبی بود. محاسبه حجم آب مورد استفاده در هر نوبت آبیاری طبق معادله زیر بود:

$$V = \frac{\left(ET_O \times Kc \times A\right)}{E_i}$$

در این معادله، V حجم آب آبیاری (متر مکعب)، ET_O میزان تبخیر و تعرق بالقوه منطقه (میلی‌متر)، Kc ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد، A سطح آبیاری‌شده (مترمربع) و E_i کارایی آبیاری است که مقدار آن در این پژوهش ۵۱ درصد در نظر گرفته شد (۶). ضرایب گیاهی برای لوبیا چیتی در مراحل مختلف فنولوژیک مطابق مقادیر استاندارد و به‌ترتیب برای مرحله رشد اولیه ۰/۱۵، مرحله میانی رشد ۰/۳۰ و مرحله پایانی رشد ۰/۲۶ لحاظ شدند. داده‌های تبخیر روزانه از تشتک تبخیر کلاس A به‌صورت تجمعی ثبت و پس از رسیدن تبخیر تجمعی به حد تعیین‌شده (با در نظر گرفتن ضریب گیاهی و کارایی آبیاری)، آبیاری اعمال شد (۸). میانگین تبخیر روزانه در طول دوره رشد حدود ۵ تا ۷ میلی‌متر بود؛ بنابراین فاصله آبیاری در تیمار شاهد حدود ۵ تا ۷ روز، در تیمار تنش ملایم ۷ تا ۱۰ روز و در تیمار تنش شدید ۱۰ تا ۱۳ روز تنظیم شد. تیمار

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

الاژیک اسید با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در چهار سطح (شاهد، پرایمینگ بذر، محلول‌پاشی برگی و ترکیب پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی) در کرت‌های فرعی اعمال شد. محلول‌پاشی برگی در ۲ مرحله از رشد گیاه شامل مرحله‌ی رشد رویشی (۳ برگی) و شروع مرحله‌ی گلدهی انجام گرفت.

اندازه‌گیری صفات و تجزیه آماری

ارتفاع بوته از طوقه تا محل تشکیل آخرین برگ روی ساقه توسط خط‌کش، نشت الکترولیت به روش لوتس (۱۰) و آنزیم‌های فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز به روش چانس و مهلی (۳) به‌ترتیب در طول موج ۲۴۰ و ۵۶۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر (PerkinElmer, Lambada 25, USA) قبل از شروع گل‌دهی اندازه‌گیری شدند. قبل از شروع گل‌دهی، تعداد برگ پنج بوته تصادفی شمارش و میانگین آنها برحسب تعداد برگ در بوته گزارش شد. سپس، سطح برگ هر بوته با دستگاه سطح‌سنج برگ (مدل LI-3100، شرکت LI-COR Biosciences) اندازه‌گیری شد و مجموع سطح برگ هر بوته بر سطح اشغال‌شده آن بوته در مزرعه (حاصل‌ضرب فاصله ردیف در فاصله بوته روی ردیف) تقسیم و میانگین آنها به‌عنوان شاخص سطح برگ ثبت شد. در هر واحد آزمایشی شامل ۶ ردیف کاشت ۶ متری با فاصله ردیف ۴۵ سانتی‌متر و فاصله بوته در ردیف ۱۵ سانتی‌متر بود که تراکم بوته ای معادل ۱۶ بوته در مترمربع ایجاد شد. تاریخ کاشت در سال اول آزمایش در تاریخ ۱۷ اردیبهشت (زمانی که دمای خاک به حد مطلوب رسید) و برداشت ۲۲ مرداد و در سال دوم آزمایش در تاریخ ۲۲ اردیبهشت (اولین فرصت مناسب برای کاشت بر اساس دمای صفر بیولوژیک لوبیا چیتی) و برداشت در ۲۸ مرداد ماه انجام شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، برای تعیین عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) پس از حذف اثر حاشیه‌ای وزن بوته‌های مستقر در ۵ مترمربع از هر کرت ثبت شد و دانه‌های حاصل از این بوته‌ها نیز جهت تعیین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) توزین شدند. میانگین تعداد غلاف‌های شمارش‌شده در پنج بوته تصادفی به‌عنوان تعداد غلاف در بوته گزارش شد و با شمارش تعداد دانه‌های موجود در هر غلاف، میانگین تعداد دانه در هر غلاف محاسبه شد. از میان دانه‌های سالم و یکنواخت، صد دانه شمارش و با ترازوی دیجیتال توزین و میانگین ۱۰ نمونه تصادفی به‌عنوان وزن صد دانه ثبت شد.

داده‌های حاصل با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه واریانس مرکب شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد برگ

اثرات اصلی سال، آبیاری و الاژیک اسید و برهم‌کنش آبیاری × الاژیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد برگ لوبیا چیتی معنی‌دار بودند (جدول ۴). افزایش شدت خشکی اثر منفی بر تعداد برگ داشت و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر الاژیک اسید به روش‌های مختلف تعداد برگ را به‌ویژه در شرایط خشکی افزایش داد. در هر سه شرایط آبیاری کامل، خشکی متوسط و خشکی شدید، کاربرد توأم پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی الاژیک اسید بهترین تیمار بود، به‌طوری‌که در این شرایط، این تیمار به‌ترتیب ۱۷/۴ درصد، ۱۱/۱ درصد و ۲۰/۶ درصد تعداد برگ را در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش داد (جدول ۵).

کاهش تعداد برگ در شرایط خشکی را می‌توان ناشی از محدودیت جذب آب و عناصر و کاهش فعالیت مریستم شاخساره دانست. با کاهش رطوبت خاک، انتقال آب به مریستم انتهایی کاهش یافته و افت فشار تورژسانس باعث کندی تقسیم و تمایز سلولی در ناحیه تولید برگ می‌شود (۸). پرایمینگ بذر با الاژیک اسید احتمالاً با افزایش ذخایر قندی و پیش‌سازهای متابولیکی، توسعه بهتر ریشه و تشکیل شبکه آوندی قوی‌تر را تسهیل کرد و در مراحل بعدی دسترسی گیاه به آب را بهبود

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

جدول ٤. تجزیه واریانس صفات رشدی لوبیا چیتی تحت تاثیر تیمارهای آبیاری و الاژیک اسید

Table 4. Analysis of variance of growth traits of pinto bean under drought stress and ellagic acid

number of leaves	LAI	Plant height	df	S.O.V
28.3^{**}	5.48^{**}	152.37^{**}	1	**Year**
1.21^{ns}	0.14^{ns}	1.78^{ns}	4	**Rep× Year**
20.8^{**}	1.61^{**}	34.8^{**}	2	**Irrigation (I)**
2.02^{ns}	0.38^{ns}	4.49^{ns}	2	**Y×I**
1.32	0.29	1.07	8	**Error (I)**
9.31^{**}	0.87^{*}	8.26^{**}	3	**Ellagic acid (E)**
4.17^{**}	1.43^{**}	2.30^{*}	6	**I×E**
1.15^{ns}	0.41^{ns}	1.67^{ns}	3	**Y×E**
1.34^{ns}	0.41^{ns}	1.23^{ns}	6	**Y×I×E**
1.97	0.48	1.89	36	**Error (E)**
4.97	5.97	6.37	-	**CV %**

n.s، * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

** ,* and ns correspond to significance levels of 5%, 1%, and not significant, respectively

جدول ۵. مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و کاربرد الاژیک اسید بر صفات رشدی لوبیا چیتی

Table 5. Comparison of the average interaction between drought stress and ellagic acid on the growth traits of pinto beans

Plant height (cm)	LAI	number of leaves	ellagic acid	drought stress
58.7^{c}	3.16^{de}	15.7^{b}	**Control (no priming and foliar spray)**	**Control (irrigation based on 100% of the plant's water needs)**
63.1^{b}	3.22^{d}	16.4^{ab}	**Seed priming with 50 mg/l and foliar spray with 50 mg/l**	
63.7^{b}	3.84^{ab}	17.2^{a}		
66.1^{a}	3.90^{a}	18.5^{a}	**The use of both priming and spray solution**	
54.7^{e}	2.31^{i}	13.8^{d}	**Control (no priming and foliar spray)**	**Mild stress (irrigation based on 75% of the plant's water needs)**
56.9^{de}	2.68^{h}	14.7^{c}	**Seed priming with 50 mg/l and foliar spray with 50 mg/l**	
57.6^{cd}	3.42^{c}	15.1^{bc}		
58.2^{c}	3.17^{de}	15.3^{bc}	**The use of both priming and spray solution**	
47.5^{h}	0.92^{m}	11.2^{fg}	**Control (no priming and foliar spray)**	**Sever stress (irrigation based on 50% of the plant's water needs)**
51.2^{g}	1.17^{l}	12.4^{ef}	**Seed priming with 50 mg/l and foliar spray with 50 mg/l**	
53.1^{ef}	1.43^{k}	12.9^{f}		
54.1^{e}	2.72^{gh}	13.5^{de}	**The use of both priming and spray solution**	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The averages marked with the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% level according to LSD test.

بخشید (۵). همچنین، محلول‌پاشی با الاژیک اسید با اثر بر سیگنال‌های هورمونی به حفظ توازن اکسین و سیتوکینین در مریستم کمک کرد و مانع توقف کامل برگ‌زایی شد (۲). به‌نظر می‌رسد ترکیب پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی الاژیک اسید با ایجاد ارتباط مؤثر بین ریشه و شاخساره، توانست نرخ برگ‌زایی را در شرایط خشکی افزایش دهد. بهبود دسترسی به عناصر مانند نیتروژن در اثر الاژیک اسید می‌تواند توان مریستم را برای سنتز ترکیبات مورد نیاز رشد مثل نوکلئوتیدها، اسیدهای آمینه و آنزیم‌های مرتبط با چرخه سلولی، افزایش دهد و درنتیجه تشکیل برگ‌های جدید را تداوم بخشد (۱۷). همچنین، پایداری بیشتر انتقال آب در آوندها به برگ‌های جوان کمک می‌کند تا مراحل تقسیم و اتساع سلولی را کامل کنند و تعداد نهایی برگ در بوته بیشتر حفظ شود (۷).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس مرکب بیانگر معنی‌داری اثر ساده الاژیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد و اثرات اصلی سال و آبیاری و برهم‌کنش آبیاری × الاژیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد بر شاخص سطح برگ لوبیا چیتی بود (جدول ٤). طبق نتایج، افزایش شدت خشکی شاخص سطح برگ را کاهش داد و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر الاژیک اسید به روش‌های مختلف این صفت را به‌ویژه در شرایط خشکی افزایش داد. در شرایط آبیاری کامل و خشکی شدید، تیمار توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی الاژیک اسید شاخص سطح برگ را به‌ترتیب ۲۳/٤ درصد و ۱۹۵ درصد در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش داد. در خشکی متوسط، محلول‌پاشی الاژیک اسید باعث افزایش ٤۸ درصدی شاخص سطح برگ در مقایسه با عدم کاربرد آن شد (جدول ۵). به‌طور کلی، محلول‌پاشی منفرد در خشکی متوسط توانست اثرات مضر خشکی بر شاخص سطح برگ را تا حد زیادی تعدیل کند، اما با افزایش شدت تنش، کاربرد همزمان پرایمینگ و محلول‌پاشی تأثیر بیشتری در حفظ این صفت داشت. تقویت گیاه از طریق پرایمینگ و محلول‌پاشی، توانایی آن را برای حفظ رشد برگ و کاهش اثرات منفی خشکی افزایش داد (۲). در مقابل، در شرایط بدون الاژیک اسید، کاهش توان جذب آب و بروز سریع‌تر پژمردگی و ریزش برگ، سبب افت شدید شاخص سطح برگ شد (۵). در خشکی متوسط، به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با کمک به حفظ تعادل رشد و تبادل گازی، کارایی بیشتری داشت اما در خشکی شدید، تیمار ترکیبی با تقویت همزمان پاسخ‌های ریشه و اندام هوایی، نقش مؤثرتری در حفظ سطح برگ ایفا کرد (٤ و ۱۱).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی سال، آبیاری و الاژیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد و برهم‌کنش آبیاری و الاژیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد بر ارتفاع بوته لوبیا چیتی معنی‌دار بودند (جدول ٤). طبق نتایج، اعمال خشکی اثر منفی بر ارتفاع بوته داشت و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر الاژیک اسید به روش‌های مختلف ارتفاع بوته را افزایش داد. بیشترین ارتفاع بوته (میانگین ٦٦/۱ سانتی‌متر) با کاربرد توأم پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی الاژیک اسید در شرایط آبیاری کامل حاصل شد. کمترین میزان (میانگین ٤۷/۵ سانتی‌متر) در شرایط خشکی شدید و بدون الاژیک اسید به‌دست آمد (جدول ۵). در شرایط آبیاری کامل، خشکی متوسط و خشکی شدید، کاربرد همزمان پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی الاژیک اسید ارتفاع بوته را به‌ترتیب ۱۲/٦ درصد، ٦/۳ درصد و ۱۳/۸ درصد در مقایسه با عدم کاربرد الاژیک اسید افزایش داد (جدول ۵). کاهش ارتفاع بوته در شرایط خشکی از پاسخ‌های رایج گیاهان به محدودیت آبی است. خشکی با کاهش جذب آب، افت فشار تورژسانس و اختلال در تقسیم و طویل شدن سلولی، رشد طولی اندام‌هوایی را کاهش می‌دهد (۱۵). همچنین، کاهش فتوسنتز خالص و تجمع رادیکال‌های آزاد، فرایندهای رشد و تمایز بافتی را مختل می‌کند و درنهایت موجب کاهش ارتفاع بوته لوبیا تحت تنش شدید خشکی می‌شود (۱۲). در مقابل، کاربرد الاژیک اسید به‌ویژه به‌صورت ترکیب پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی، موجب بهبود ارتفاع بوته شد. ترکیب این دو روش نیز با بهره‌گیری از مزایای مراحل پیش‌کاشت و رشد رویشی، بیشترین تأثیر را در افزایش ارتفاع بوته در سطوح مختلف آبیاری نشان داد. پرایمینگ بذر با تسریع آغاز رشد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در مراحل اولیه، و محلول‌پاشی با اثر مستقیم بر متابولیسم گیاه در بهبود ارتفاع بوته نقش داشتند. همچنین، این اثر احتمالاً به ویژگی آنتی‌اکسیدانی الاژیک اسید مربوط است که با کاهش رادیکال‌های آزاد، پایداری غشاهای سلولی را حفظ کرده و شرایط مناسبی برای تقسیم و طویل شدن سلول‌ها فراهم می‌کند (۷). به‌علاوه، الاژیک اسید با تحریک مسیرهای سنتز پروتئین‌های محافظ و تنظیم تعادل هورمون‌های اکسین و جیبرلین، می‌تواند رشد طولی اندام‌هوایی را افزایش دهد (۱۷).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

جدول ٦. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی تحت تاثیر تیمارهای آبیاری و الاژیک اسید

Table 6. Analysis of variance of yield and yield components of of pinto bean under drought stress and ellagic acid

Grain weight	Seeds/pod	Pods/plant	Grain Yield	Biological Yield	df	S.O.V
18.5**	0.42**	6.58**	253154**	421125**	1	**Year**
1.84	0.03	0.26	17234	2252	4	**Rep× Year**
20.6**	0.58**	9.78**	200382**	328562**	2	**Irrigation (I)**
8.54**	0.12ns	1.88*	16938ns	22504ns	2	**Y×I**
0.52	0.05	0.48	1461	1852	8	**Error (I)**
4.16*	0.26*	7.57**	53910*	62521*	3	**Ellagic acid (E)**
3.78*	0.17*	2.92*	48910*	68524*	6	**I×E**
1.58ns	0.06ns	1.28ns	23052ns	26321ns	3	**Y×E**
2.01ns	0.04ns	0.57ns	65123ns	8547ns	6	**Y×I×E**
0.24	0.006	0.41	186	252	36	**Error (E)**
5.24	4.52	5.55	8.28	7.32	-	**CV%**

n.s، * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

**, * and ns correspond to significance levels of 5%, 1%, and not significant, respectively

جدول ۷. مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و کاربرد الاژیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی

Table 7. Comparison of the average interaction between drought stress and ellagic acid on yield and yield components

Grain weight (g)	Seeds/pod	Pods/plant	Grain Yield (kg/ha)	Biological Yield (kg/ha)	ellagic acid	drought stress
37.1c	2.29b	13.8a	3670d	7560d	Control (no priming and foliar spray)	Control (irrigation based on 100% of the plant's water needs)
38.9bc	2.40a	13.9a	3909c	7709bc	Seed priming with 50 mg/l and foliar spray with 50 mg/l	
39.1bc	2.44a	13.0a	4023b	8201b	The use of both priming and spray solution	
41.4a	2.43a	14.1a	4198a	8350a		
34.9f	2.05d	11.4d	2698hi	6820g	Control (no priming and foliar spray)	Mild stress (irrigation based on 75% of the plant's water needs)
35.6f	2.06cd	12.0cd	2825g	7112f	Seed priming with 50 mg/l and foliar spray with 50 mg/l	
37.7f	2.24bc	12.1c	3024e	7250e	The use of both priming and spray solution	
35.7d	2.15c	13.0b	3000ef	7221e		
32.6i	1.79f	10.9e	2220k	5250k	Control (no priming and foliar spray)	Sever stress (irrigation based on 50% of the plant's water needs)
33.1i	1.89de	11.2de	2310j	5898j	Seed priming with 50 mg/l and foliar spray with 50 mg/l	
33.0i	1.93de	11.1de	2347j	6108i	The use of both priming and spray solution	
34.8i	2.10cd	11.9cd	2664i	6275h		

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The averages marked with the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% level according to LSD test.

تعداد غلاف در بوته

اثرات اصلی سال، آبیاری و الاژیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد و برهم‌کنش آبیاری × الاژیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بودند (جدول ٦). طبق نتایج، اعمال خشکی موجب کاهش تعداد غلاف در بوته شد. بیشترین تعداد غلاف در بوته (میانگین ۱٤/۱ عدد)، در تیمار آبیاری کامل همراه با کاربرد توأم پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی الاژیک اسید حاصل شد (جدول ۷). این نتیجه بیانگر نقش مثبت و هم‌افزایی این دو روش در بهبود تعداد غلاف در بوته است. کمترین تعداد غلاف (میانگین ۱۰/۹ عدد) مربوط به

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

خشکی شدید بدون الاژیک اسید بود. در شرایط خشکی متوسط و شدید، کاربرد توأم پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی الاژیک اسید، تعداد غلاف در بوته را به‌ترتیب ١٤ درصد و ٨/٥ درصد در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش داد (جدول ٧). که بیانگر حفظ توان زایشی لوبیا چیتی با کاربرد الاژیک اسید به‌ویژه به‌صورت ترکیبی در شرایط خشکی بود. در شرایط آبیاری کامل، گیاه از نظر جذب آب، انتقال مواد غذایی و فتوسنتز در وضعیت مطلوبی قرار دارد و کاربرد توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی الاژیک اسید می‌تواند با بهبود تعادل هورمونی، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و حفظ وضعیت اسمزی سلول، رشد زایشی را تقویت کند. به همین دلیل، تیمار ترکیبی در این شرایط بیشترین تعداد غلاف را تولید کرد (١ و ١٦) این اثر می‌تواند با افزایش پایداری غشاها، تحریک سنتز پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و بهبود توان سلول در مقابله با تنش‌های خفیف داخلی مرتبط باشد (٩ و ١٧). در مقابل، تنش شدید خشکی با بستن روزنه‌ها، کاهش تبادلات گازی، افت فتوسنتز خالص و کاهش تولید مواد فتوسنتزی، منابع قابل اختصاص به رشد زایشی را محدود می‌کند. درنتیجه، تعداد غلاف در تیمارهای فاقد الاژیک اسید کاهش بیشتری نشان داد. این کاهش را می‌توان ناشی از اختلال در تقسیم سلولی مریستم‌های زایشی، کاهش تمایز بافتی و محدودیت انتقال عناصر دانست. در چنین شرایطی، کاربرد الاژیک اسید به‌ویژه به‌صورت ترکیبی، با فعال‌سازی دفاع آنتی‌اکسیدانی جهت کاهش رادیکال‌های آزاد، حفظ پایداری غشاها و فتوسیستم‌ها و افزایش املاح سازگار، به حفظ آماس سلولی و ادامه رشد زایشی کمک کرد. (٤).

تعداد دانه در غلاف

اثرات اصلی سال و آبیاری در سطح احتمال ١ درصد و اثر اصلی الاژیک اسید و برهم‌کنش آبیاری و الاژیک اسید در سطح احتمال ٥ درصد در صفت تعداد دانه در غلاف لوبیا چیتی معنی‌دار بود (جدول ٦). طبق نتایج مقایسه میانگین، اعمال خشکی تعداد دانه در غلاف را کاهش داد و کاربرد ٥٠ میلی‌گرم در لیتر الاژیک اسید به هر سه روش تعداد دانه در غلاف را افزایش داد. در شرایط آبیاری کامل و خشکی متوسط، محلول‌پاشی الاژیک اسید تعداد دانه در غلاف را به‌ترتیب ٦/٥ درصد و ٤/٨ درصد در مقایسه با عدم کاربرد الاژیک اسید افزایش داد (جدول ٧). در شرایط خشکی شدید، تیمار توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی الاژیک اسید باعث بیشترین افزایش (١٧/٣ درصد) تعداد دانه در غلاف در مقایسه با عدم کاربرد آن شد (جدول ٧). در خشکی متوسط و شدید، محدودیت آبی باعث کاهش رشد و تقسیم سلولی، اختلال در فعالیت‌های متابولیکی و کاهش تولید اسمیلات‌ها می‌شود که این عوامل به کاهش تعداد دانه در غلاف منجر می‌شود (١٥). محلول‌پاشی الاژیک اسید می‌تواند با کاهش اثر منفی رادیکال‌های آزاد و بهبود تعادل اکسیداتیو در گیاه، عملکرد فتوسنتزی و انتقال آسمیلات‌ها به اندام‌های زایشی را افزایش دهد (٧). همچنین، ترکیب پرایمینگ و محلول‌پاشی باعث تحریک مسیرهای آنتی‌اکسیدانی و تقویت سیستم دفاعی گیاه می‌شود که این امر می‌تواند مانع تخریب سلولی شده و طول عمر و کارایی اندام‌های زایشی را افزایش دهد (١٣).

وزن صد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب حاکی از معنی‌داری اثرات اصلی سال و آبیاری در سطح احتمال ١ درصد و اثر اصلی الاژیک اسید و برهم‌کنش آبیاری و الاژیک اسید در سطح احتمال ٥ درصد در صفت وزن صد دانه لوبیا چیتی بود (جدول ٦). طبق نتایج، اعمال خشکی، وزن صد دانه را کاهش داد اما کاربرد الاژیک اسید اثر مثبت بر آن داشت؛ به‌طوری‌که در شرایط خشکی متوسط، محلول‌پاشی الاژیک اسید با ٧/٩ درصد افزایش وزن صد دانه نسبت به شاهد، مؤثرترین تیمار بود. تحت خشکی شدید، کاربرد ترکیبی پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی الاژیک اسید با ٦/٥ درصد برتری نسبت به شاهد، بیشترین وزن صد دانه را داشت (جدول ٧). استفاده هم‌زمان از پرایمینگ بذر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

و محلول‌پاشی الاژیک اسید در شرایط بدون تنش و نیز سطوح مختلف خشکی، تأثیر مثبتی بر وزن صد دانه داشت. این اثر می‌تواند ناشی از بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و افزایش بهره‌وری در انتقال فتوسنتات‌ها به دانه‌ها باشد. الاژیک اسید با کاهش تنش اکسیداتیو و حفاظت از ساختارهای سلولی، توان فتوسنتزی برگ‌ها را حفظ می‌کند که این امر باعث افزایش تولید کربوهیدرات‌های قابل انتقال به دانه می‌شود. افزون بر این، بهبود جذب و انتقال عناصر مانند نیتروژن، پتاسیم و فسفر تحت تأثیر این تیمار می‌تواند موجب ارتقاء فرآیندهای زیربنایی تشکیل و انباشت مواد ذخیره‌ای در دانه شود (۱۷). پرایمینگ بذر باعث افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و توسعه ریشه می‌شود که نقش مهمی در تأمین آب و عناصر در مرحله زایشی دارد. این شرایط به‌ویژه در خشکی، باعث حفظ توازن هیدرولیکی و افزایش انتقال کربوهیدرات‌ها و مواد آلی به دانه شده و ظرفیت پرشدن دانه و افزایش وزن آن را تقویت می‌کند (٦). الاژیک اسید می‌تواند فعالیت ساکارز فسفات سنتاز و اینورتاز (آنزیم‌های مسئول تبدیل و انتقال قندهای محلول به فرم‌های ذخیره‌ای در دانه) را در برگ‌ها و دانه افزایش داده و از این طریق باعث افزایش تجمع نشاسته و پروتئین در دانه شده و اندازه دانه و وزن خشک آن را بالا می‌برد (۷).

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس مرکب بیانگر معنی‌داری اثرات اصلی سال و آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد و اثر ساده الاژیک اسید و برهم‌کنش آبیاری × الاژیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد بیولوژیک لوبیا چیتی بود (جدول ٦). طبق نتایج، اعمال خشکی عملکرد بیولوژیک را کاهش داد و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر الاژیک اسید به روش‌های مختلف این صفت را افزایش داد. در شرایط آبیاری کامل و خشکی شدید، تیمار ترکیبی پرایمینگ و محلول‌پاشی الاژیک اسید عملکرد بیولوژیک را به‌ترتیب ۱۰/٤ درصد و ۱۹/۵ درصد در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش داد. در شرایط خشکی متوسط، محلول‌پاشی الاژیک اسید موجب بیشترین افزایش (۵/۸ درصد) عملکرد بیولوژیک در مقایسه با عدم کاربرد آن شد (جدول ۷). کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط خشکی را می‌توان به محدودیت رشد رویشی، کاهش شاخص سطح برگ و کاهش توانایی گیاه در تولید زیست‌توده نسبت داد. تنش خشکی باعث کاهش دسترسی ریشه به آب و عناصر و کاهش سطح فتوسنتزکننده فعال می‌شود. این امر باعث کند شدن تقسیم و توسعه سلولی و کاهش توسعه اندام‌های رویشی می‌شود (۲). در شرایط تنش متوسط، محلول‌پاشی احتمالاً به‌دلیل جذب مستقیم و سریع‌تر الاژیک اسید از طریق برگ‌ها و فعال‌سازی فوری مسیرهای تنظیمی رشد، تیمار مؤثرتری بود. افزایش رشد رویشی در تیمارهای دارای الاژیک اسید به‌ویژه در ترکیب پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی احتمالاً به‌دلیل تقویت فرآیندهای هورمونی و بهبود کارایی جذب آب و عناصر بود. یکی از نقش‌های مهم این ترکیب، تأثیر بر افزایش غلظت سیتوکینین و اکسین و کاهش تولید اتیلن است که به‌ترتیب در تحریک تقسیم سلولی، افزایش رشد طولی ساقه و برگ و توقف رشد اندام‌های رویشی نقش دارند (٤).

عملکرد دانه

اثرات اصلی سال و آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد و اثر ساده الاژیک اسید و برهم‌کنش آبیاری × الاژیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بودند (جدول ٦). اعمال خشکی عملکرد دانه را کاهش داد اما کاربرد الاژیک اسید بخشی از این افت را جبران کرد. در خشکی متوسط، محلول‌پاشی با ۱۲/۵ درصد افزایش عملکرد نسبت به شاهد، مؤثرترین تیمار بود. در خشکی شدید، کاربرد توأم پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی با ۲۲ درصد برتری نسبت به شاهد، بیشترین عملکرد دانه را داشت که بیانگر ضرورت تقویت همزمان بذر و برگ لوبیا چیتی در شرایط کم‌آبی شدید است (جدول ۷). کاهش عملکرد دانه در خشکی می‌تواند به‌دلیل افزایش نشت الکترولیت و کاهش شاخص سطح برگ در این شرایط باشد و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

جدول ۸. تجزیه واریانس فعالیت آنزیمی و نشت الکترولیت لوبیا چیتی تحت تاثیر تیمارهای آبیاری و الاژیک اسید

Table 8. Analysis of variance of enzyme activity and electrolyte leakage in pinto beans under drought stress and ellagic acid

Electrolyte leak	Superoxide dismutase	Catalase	df	S.O.V
0.74^{ns}	12.5^{**}	0.01^{*}	1	**Year**
13.2^{ns}	1.34^{ns}	0.03^{ns}	4	**Rep× Year**
189^{**}	162^{**}	8.34^{**}	2	**Irrigation (I)**
44.2^{*}	3.91^{ns}	0.08^{ns}	2	**Y×I**
17.2	1.82	0.05	8	**Error (I)**
98.2^{**}	64.5^{**}	1.06^{*}	4	**Ellagic acid (E)**
81.5^{**}	11.2^{*}	1.17^{*}	6	**I×E**
39.2^{*}	2.14^{ns}	0.06^{ns}	3	**Y×E**
12.2^{ns}	1.43^{ns}	0.04^{ns}	6	**Y×I×E**
10.2	2.08	0.07	36	**Error (E)**
9.48	6.24	4.72		**S.O.V**

n.s، * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

**, * and ns correspond to significance levels of 5%, 1%, and not significant, respectively

تیمار الاژیک اسید با بهبود این عوامل و اجزای عملکرد می‌تواند در بهبود عملکرد دانه در شرایط خشکی مؤثر باشد. کاهش عملکرد در خشکی به‌دلیل محدودیت آماس سلولی، بسته شدن روزنه‌ها، افت جذب CO_2 و تنش اکسیداتیو است (۱۵). الاژیک اسید با تقویت سیستم دفاعی اثرات سوء تنش را تعدیل نمود و الگوی پاسخ نشان داد که کارایی راهکارها بسته به شدت تنش تغییر می‌کند. در واقع، الاژیک اسید با حفظ پایداری غشاها، شرایط مناسبی برای تقسیم و توسعه سلول‌ها و افزایش تعداد برگ و شاخص سطح برگ و متعاقب آن افزایش فتوسنتز فراهم کرده (۷) و با توسعه ریشه جهت بهبود دسترسی گیاه به آب (۵) و تنظیم تعادل هورمون‌های اکسین، سیتوکینین و جیبرلین، می‌تواند رشد و عملکرد گیاه را افزایش دهد (۱۷).

نشت الکترولیت

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که نشت الکترولیت تحت تأثیر اثرات اصلی آبیاری و الاژیک اسید و برهمکنش آنها در سطح احتمال ۱ درصد و برهم‌کنش سال × آبیاری و برهم‌کنش سال × الاژیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۸). طبق نتایج، پاسخ غشاهای سلولی به آبیاری و الاژیک اسید، علاوه بر شدت تنش، تحت تأثیر شرایط سالانه نیز قرار داشت. با افزایش شدت خشکی، نشت الکترولیت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر الاژیک اسید به هر سه روش، میزان نشت الکترولیت را در هر سه سطح آبیاری کاهش داد. در شرایط آبیاری کامل، خشکی متوسط و خشکی شدید، کاهش نشت الکترولیت (به‌ترتیب ۱۶/۸ درصد، ۲۱/۳ درصد و ۲۲/۹ درصد) به‌ترتیب تحت تأثیر تیمارهای ترکیبی، محلول‌پاشی منفرد و ترکیبی در مقایسه با عدم کاربرد الاژیک اسید حاصل شد (جدول ۹).

افزایش نشت الکترولیت در اثر خشکی، بیانگر آسیب غشایی و برهم خوردن تعادل یونی سلول‌ها است. در شرایط خشکی پتانسیل آب سلول کاهش می‌یابد و تولید رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد که با حمله به لیپیدهای غشا، موجب پراکسیداسیون لیپیدی، کاهش سیالیت غشا و خروج یون‌ها از سلول می‌شوند (۷). بنابراین، افزایش نشت الکترولیت در تیمارهای فاقد الاژیک اسید بیانگر شدت بیشتر آسیب اکسیداتیو و تضعیف ساختار غشا است. الاژیک اسید به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان فنلی، توانست این صدمات را محدود کند و با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، مهار پراکسیداسیون لیپیدی و حفظ تعادل یونی، پایداری غشا را افزایش دهد (۱۶). در خشکی متوسط، اثر بهتر محلول‌پاشی احتمالاً به جذب سریع

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

جدول ۹. مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و کاربرد الاژیک اسید بر فعالیت آنزیمی و نشت الکترولیت لوبیا چیتی

Table 9. Comparison of the average interaction between drought stress and ellagic acid on enzymatic activity and electrolyte leakage in pinto beans

drought stress	ellagic acid	Catalase (mg protein /min)	Superoxide dismutase (mg protein /min)	Electrolyte leak (%)
Control (irrigation based on 100% of the plant's water needs)	Control (no priming and foliar spray)	3.25^{k}	31.4^{l}	43.1^{ef}
	Seed priming with 50 mg/l and foliar spray with 50 mg/l	3.44^{j}	44.4^{g}	38.1^{g}
	The use of both priming and spray solution	3.71^{i}	41.2^{h}	37.5^{gh}
		3.78^{hi}	40.9^{h}	35.8^{hi}
Mild stress (irrigation based on 75% of the plant's water needs)	Control (no priming and foliar spray)	4.92^{d}	52.2^{f}	49.4^{c}
	Seed priming with 50 mg/l and foliar spray with 50 mg/l	4.12^{ef}	60.2^{d}	4.12^{ef}
	The use of both priming and spray solution	3.94^{fg}	55.6^{e}	3.94f^{fg}
		3.88^{g}	66.7^{c}	3.88^{g}
Sever stress (irrigation based on 50% of the plant's water needs)	Control (no priming and foliar spray)	6.32^{a}	68.4^{bc}	6.32^{a}
	Seed priming with 50 mg/l and foliar spray with 50 mg/l	5.11^{b}	73.1^{a}	51.4^{b}
	The use of both priming and spray solution	4.70^{c}	67.5^{bc}	46.8^{d}
		4.67^{c}	70.7^{ab}	41.2^{f}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The averages marked with the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% level according to LSD test.

الاژیک اسید توسط برگ‌ها و اثر مستقیم آن بر غشاهای فعال فتوسنتزی مربوط بود. در خشکی شدید، تیمار ترکیبی با ایجاد اثر پیشگیرانه و حمایت موضعی، پاسخ حفاظتی کامل‌تری ایجاد کرد و کمترین نشت الکترولیت را به‌همراه داشت. بنابراین، کارایی الاژیک اسید در حفظ پایداری غشا به شدت تنش و روش کاربرد آن بستگی دارد.

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و الاژیک اسید بر فعالیت آنزیمی و نشت الکترولیت لوبیا چیتی در جداول ۸ و ۹ ارائه شده است.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز

اثرات ساده سال، آبیاری و الاژیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد و برهم‌کنش خشکی و الاژیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بودند. فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر معنی‌دار اثر ساده آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد و اثرات ساده سال و الاژیک اسید و برهم‌کنش آبیاری و الاژیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۸). با کاهش میزان آبیاری، فعالیت کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت که بیانگر فعال شدن سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی است. الاژیک اسید به‌ویژه به‌صورت کاربرد توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی، فعالیت کاتالاز را در شرایط آبیاری کامل افزایش داد درحالی‌که در شرایط خشکی متوسط و شدید، فعالیت این آنزیم را کاهش داد (جدول ۹). سطوح مختلف الاژیک اسید موجب افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شد. کمترین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (میانگین ۳۱/٤ واحد در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط آبیاری کامل بدون الاژیک اسید مشاهده شد. بیشترین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (میانگین ۷۳/۱ واحد در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) مربوط به کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر الاژیک اسید به صورت پرایمینگ بذر در شرایط خشکی شدید بود. در شرایط بدون تنش، پرایمینگ پاسخ مناسب‌تری از نظر فعالیت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

سوپراکسید دیسموتاز ایجاد کرد. در شرایط خشکی متوسط، تیمار ترکیبی پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی مؤثرترین تیمار بود (جدول ۹). به‌طور کلی، تنش خشکی با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن موجب تحریک فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می‌شود (۱۵). در تیمارهای دارای الاژیک اسید، احتمالاً افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز موجب کاهش فشار روی کاتالاز شده و به همین دلیل میزان فعالیت این آنزیم نسبت به تیمارهای بدون الاژیک اسید پایین‌تر باقی مانده است. پرایمینگ بذر با الاژیک اسید از طریق آماده‌سازی متابولیکی سلول‌ها ظرفیت دفاعی پایه گیاه را افزایش می‌دهد، درحالی‌که محلول‌پاشی بیشتر پاسخ سریع اما کوتاه‌مدت ایجاد می‌کند و اثر هم‌افزایی این دو روش عمدتاً در شرایط تنش مشاهده می‌شود (۵، ۷ و ۱۶).

نتیجه‌گیری کلی

خشکی اثر منفی بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد لوبیا چیتی داشت و با افزایش شدت آن، این صفات کاهش یافتند و نشت الکترولیت افزایش یافت. الاژیک اسید توانست با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی، اثرات مضر خشکی را کاهش دهد و موجب بهبود ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، تعداد برگ، اجزای عملکرد و عملکرد دانه و کاهش نشت الکترولیت شود. کارایی روش‌های کاربرد الاژیک اسید به شدت خشکی بستگی داشت. در خشکی متوسط، محلول‌پاشی توانست نقش مؤثرتری در کاهش آسیب‌های خشکی ایفا کند. در خشکی شدید، کاربرد ترکیبی پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی با اثر هم‌افزایی، بیشترین کارایی را در حفظ رشد و عملکرد و کاهش نشت الکترولیت داشت؛ لذا، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب برای کاهش اثرات خشکی و بهبود عملکرد این محصول در این شرایط به کار رود.

منابع

1- Ahn, J. C., J. W. Kang, I. S. Shin and Y. G. Park. 2018. Ellagic acid modulates antioxidant enzyme activity and gene expression in soybean seedlings under drought stress. *Journal of Plant Physiology* 231: 61-68.

2- Alfei, S., B. Marengo and G. Zuccari. 2020. Oxidative stress, antioxidant capabilities, and bioavailability: ellagic acid or urolithins. *Antioxidants* 9(8): 707.

3- Chance, B. and A. C. Maehly. 1955. Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology* 2: 764-775.

4- Dujmović, M., N. Opačić, S. Radman, S. Fabek Uher, S. Voća and J. Šic Žlabur. 2023. Accumulation of stinging nettle bioactive compounds as a response to controlled drought stress. *Agriculture* 13(7): 1358.

5- El-Hawary, M. M., O. S. M. Hashem and M. Hasanuzzaman. 2023. Seed priming and foliar application with ascorbic acid and salicylic acid mitigate salt stress in wheat. *Agronomy* 13(2): 493.

6- Farooq, M., A. Wahid and K. H. M. Siddique. 2019. Seed priming improves drought tolerance in crops: A comprehensive review. *Environmental and Experimental Botany* 166: 103464.

7- Javornik, T., K. Carović-Stanko, J. Gunjača, M. Vidak and B. Lazarević. 2023. Monitoring drought stress in common bean using chlorophyll fluorescence and multispectral imaging. *Plants* 12(6): 1386.

8- Keshavarz, M., F. Shekari and A. Abbasi. 2021. Seed priming with phenolic compounds improves germination and seedling growth of common bean under drought stress. *Journal of Plant Nutrition* 44(15): 2255-2267.

9- Khang, D. T., T. N. Dung, A. A. Elzaawely and T. D. Xuan. 2016. Phenolic profiles and antioxidant activity of germinated legumes. *Foods* 5(2): 27.

10- Lutts, S., J. M. Kinet and J. Bouharmont. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of botany* 78(3): 389-398.

11- Melo-Sabogal, D. V. and L. M. Contreras-Medina. 2024. Elicitors and biostimulants to mitigate water stress in vegetables. *Horticulturae* 10(8): 837.

12- Mladenov, P., S. Aziz, E. Topalova, J. Renaut, S. Planchon, A. Raina and N. Tomlekova. 2023. Physiological responses of common bean genotypes to drought stress. *Agronomy* 13(4): 1022.

13- Molnár, K., B. Biró-Janka, E. Domokos, I. I. Nyárádi, L. Fodorpataki, A. Stoie and M. M. Duda. 2023. Effects of seed priming and foliar treatment with ascorbate, cysteine, and triacontanol on canola (*Brassica napus* L.) under Field Conditions. *Horticulturae* 9(2): 207.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]

14- Oney-Montalvo, J. E., K. A. Avilés-Betanzos, E. D. J. Ramírez-Rivera, M. O. Ramírez-Sucre and I. M. Rodríguez-Buenfil. 2020. Polyphenols content in *Capsicum chinense* fruits at different harvest times and their correlation with the antioxidant activity. *Plants* 9(10): 1394.
15- Papathanasiou, F., E. Ninou, I. Mylonas, D. Baxevanos, F. Papadopoulou, I. Avdikos, I. Sistanis, A. Koskosidis, D. N. Vlachostergios, S. Stefanou, E. Tigka and A. Kargiotidou. 2022. The evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under water stress based on physiological and agronomic parameters. *Plants* 11(18): 2432.
16- Samec, D., E. Karalija, I. Šola, V. Vujčić Bok and B. Salopek-Sondi. 2021. The role of polyphenols in abiotic stress response: the influence of molecular structure. *Plants* 10(1): 118.
17- Sawicki, T., M. Jabłońska, A. Danielewicz and K. E. Przybyłowicz. 2024. Phenolic compounds profile and antioxidant capacity of plant-based protein supplements. *Molecules* 29(9): 2101.
19- Sharma, A., B. Shahzad, A. Rehman, R. Bhardwaj, M. Landi and B. Zheng. 2020. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules* 24(13): 2452.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.38901]