

Original article

The effect of foliar application of phenylalanine and Gamma-aminobutyric acid on the physiological characteristics, antioxidant activities and yield of (*Dracocephalum moldavica* L.) under salinity stress

Fatemeh Yazdanpanahi¹, Mohsen Sanikhani^{2*}, Azizollah Kheiry², Hossein Rabbi Angourani³

1. PhD student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3. Assistant Professor, Institute of Modern Biological Techniques, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received 5 June 2024; Revised 20 August 2024; Accepted 26 August 2024

Extended abstract

Introduction

Dracocephalum moldavica L. belongs to the Lamiaceae family, comprising annual to perennial species primarily distributed across the temperate zones of Europe and Asia in the Northern Hemisphere. Soil and water salinity are major constraints to agriculture in arid and semi-arid regions, where limited freshwater resources force reliance on saline underground water and drainage. Salinity disturbs metabolic processes and enzyme activity, enhances free radical formation, induces membrane lipid peroxidation, and consequently disrupts overall cell metabolism. Amino acids play a crucial role in enhancing growth and improving the quantity and quality of products by increasing both enzymatic and non-enzymatic activity. Phenylalanine, a key amino acid in protein synthesis, contributes to the biosynthesis of aromatic compounds, antioxidants, lignin, anthocyanins, phenolics, and structural components of the plant cell wall. By influencing gibberellin biosynthesis, it enhances plant growth, yield, and quality. Gamma-aminobutyric acid (GABA), a non-protein amino acid and endogenous signaling molecule, plays a vital role in stress regulation, plant growth, and developmental processes.

Materials and methods

To investigate the effect of foliar application of phenylalanine and GABA on the physiological properties, antioxidant activities, and yield of *Dracocephalum moldavica* under salinity stress, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in a greenhouse at the University of Zanjan during the spring of 2023. The first factor was salinity stress at three levels: 0, 40, and 80 mM NaCl. The second factor involved the application of phenylalanine (2 and 4 mM), gamma aminobutyric acid (GABA, 5 and 10 mM), along with the control (distilled water). *Dracocephalum moldavica* seeds were planted in plastic pots and grew under temperature conditions of 25±2°C during the day and 20±2°C at night with a relative humidity of 65%. Foliar spraying of phenylalanine and GABA amino acids was performed four times at 10-day intervals, starting one week before stress induction and continuing until the end of the experiment. Afterward, total phenol, flavonoid, and antioxidant activity, along with proline, malondialdehyde, hydrogen peroxide, stomatal conductance, and overall plant yield, were measured.

* Corresponding author: Mohsen Sanikhani; E-Mail: sani@znu.ac.ir

Results and discussion

Salinity stress significantly increased the content of phenols, flavonoids, and antioxidant activity, as well as proline content and H₂O₂ accumulation, while decreasing stomatal conductance and total plant yield, with no significant effect on MDA accumulation. Foliar spraying with phenylalanine and GABA significantly increased antioxidant activity and the accumulation of osmolytes, enhanced yield, and decreased H₂O₂ accumulation compared to the control treatment. The highest levels of flavonoids and antioxidant activity were achieved using 4 mM phenylalanine, while the highest levels of total phenol and proline were obtained under 80 mM sodium chloride with the application of 5 mM and 10 mM GABA, respectively. In addition, 4 mM phenylalanine enhanced stomatal conductance and reduced H₂O₂ accumulation under 0 mM salinity conditions. However, the application of amino acids, particularly GABA at 5 mM and 10 mM, was most effective in enhancing plant performance under both stress and non-stress conditions.

Conclusion

Application of 4 mM phenylalanine and 10 mM GABA is recommended to mitigate the adverse effects of salinity stress and improve physiological traits and yield in *Dracocephalum moldavica*.

Keywords: H₂O₂, Proline, Phenolic compounds, Stomatal conductance

اثر محلول پاشی فنیل آلانین و اسید گاما آمینوبوتیریک بر خصوصیات فیزیولوژیکی، فعالیت آنٹی اکسیدانی و عملکرد بادرشویه (*Dracocephalum moldavica* L.) تحت تنش شوری

فاطمه یزدان پناهی^۱، محسن ثانی خانی^{۲*}، عزیزاله خیری^۳، حسین ربی انگورانی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

۲. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

۳. استادیار، پژوهشکده فناوری های نوین زیستی، دانشگاه زنجان، زنجان

مشخصات مقاله	چکیده
واژه های کلیدی: پراکسید هیدروژن پروکلین ترکیبات فنلی هدایت روزنه ای	به منظور بررسی اثر اسیدهای آمینه بر فعالیت آنٹی اکسیدانی بادرشویه تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در بهار ۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح شوری (صفر، ۴۰ و ۸۰ میلی مولار کلرید سدیم) به عنوان فاکتور اول و فنیل آلانین (۲ و ۴ میلی مولار)، اسید گاما آمینوبوتیریک (گابا، ۵ و ۱۰ میلی مولار) به همراه شاهد (تیمار آب مقطر) به عنوان فاکتور دوم اعمال شد. نتایج نشان داد که تنش شوری به طور معنی داری محتوای فنل، فلاونوئید، فعالیت آنٹی اکسیدانی، میزان پروکلین و تجمع H_2O_2 را افزایش و میزان هدایت روزنه ای و عملکرد کل بوته را کاهش داد. در حالی که بر میزان تجمع مالون دی آلدئید تأثیر معنی داری نداشت. کاربرد برگه فنیل آلانین و گابا به طور معنی داری سبب افزایش فعالیت آنٹی اکسیدانی و تجمع اسمولیت ها، افزایش عملکرد و کاهش تجمع H_2O_2 نسبت به تیمار شاهد گردید. بیشترین میزان فلاونوئید، فعالیت آنٹی اکسیدانی با کاربرد فنیل آلانین ۴ میلی مولار، بیشترین میزان فنل کل و پروکلین به ترتیب با کاربرد گابا ۵ و ۱۰ میلی مولار در سطح شوری ۸۰ میلی مولار کلرید سدیم حاصل شد. همچنین کاربرد فنیل آلانین ۴ میلی مولار سبب افزایش هدایت روزنه ای و کاهش تجمع H_2O_2 در شرایط شوری صفر میلی مولار به دست آمد. با این حال کاربرد اسیدهای آمینه به ویژه گابا ۵ و ۱۰ میلی مولار بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد بوته در شرایط تنش و عدم تنش داشت. لذا با توجه به نتایج حاصله، کاربرد فنیل آلانین ۴ و گابا ۱۰ میلی مولار جهت تعدیل اثرات مضر تنش شوری و بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه بادرشویه توصیه می شود.

مقدمه

شوری آب و خاک از جمله محدودیت های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود که با توجه به محدودیت منابع آب شیرین در این مناطق، به ناچار از منابع آب شور زیرزمینی و زه آب ها در کشاورزی استفاده می شود (Minhas et al., 2020). با توجه به گسترش منابع آب و شور شدن بسیاری از اراضی کشاورزی بهتر است اقدامات لازم جهت کاشت گیاهان مقاوم به شوری انجام گیرد (Rahimian et al., 2017). شوری با تغییر در فرایندهای متابولیسمی و

امروزه گرایش روزافزون به مصرف گیاهان دارویی و فرآورده های آنها، نقش این گیاهان را در چرخه اقتصاد جهانی در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته برجسته کرده است (Caporale et al., 2020). جنس *Dracocephalum* متعلق به خانواده Lamiaceae که شامل ۷۱ گونه است که به صورت یک ساله تا چند ساله در مناطق نیمکره شمالی گسترش یافته و عمدتاً بومی مناطق معتدل اروپا و آسیا است (Naderifar et al., 2015).

GABA در گیاهان زینتی از جمله آنتوریوم وجود دارد که در آن سبب بهبود پاسخ‌های (شاخص‌های) مورفوفیزیولوژیکی شده است (Heidari Krush and Rastegar, 2021). همچنین در گزارش دیگری محلول‌پاشی گابا موجب افزایش خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه دارویی شنبلیله و همچنین سبب تعدیل اثرات ناشی از تنش گردید (Elhami et al., 2024).

با توجه به تأثیر اسیدهای آمینه در القای مقاومت به تنش در گیاهان، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات فنیل‌آلانین و گابا بر عملکرد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی بادرشویه تحت تنش شوری انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، در گلخانه‌های پیشرفته پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، با امکان کنترل دما، رطوبت، نور و دی‌اکسید کربن اجرا شد. با توجه به ساختار گلخانه تحقیقاتی و احتمال عدم توزیع مناسب نور در برخی ساعات روز با وجود یکسان بودن تمام فاکتورهای محیطی، جهت دقت در نتایج، طرح به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در بهار ۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش شوری در سه سطح (۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) به عنوان فاکتور اول و فنیل‌آلانین (در دو سطح ۲ و ۴ میلی‌مولار) و اسید گاما‌آمینوبوتیریک (GABA) (در دو سطح ۵ و ۱۰ میلی‌مولار) به همراه تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) به عنوان فاکتور دوم اعمال شد و شرایط نور گلخانه به عنوان عامل بلوک‌بندی در نظر گرفته شد. قبل از اجرای طرح یک نمونه از خاک گلدان جهت بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه منتقل شد و نتایج آزمایش خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

فعالیت آنزیم‌ها باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود. همچنین با ایجاد خسارت ناشی از رادیکال‌های آزاد اکسیژن، از طریق پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء، بازدارندگی فعالیت آنزیم‌ها در سوخت‌وساز سلول اختلال ایجاد می‌کند که باعث آسیب به غشاء و مرگ گیاه می‌شود گیاهان با حذف رادیکال‌های آزاد باعث کاهش اثرات زیان‌بار تنش می‌شوند. ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها از جمله متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که در پاسخ به محرک‌های زنده و غیرزنده در گیاه تولید می‌شوند (Hasanuzzama et al., 2012). مطالعات نشان داده که افزایش تنش شوری منجر به افزایش محتوای فنل کل، فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آویشن می‌شود (Bistgani et al., 2019).

الیستورها ترکیباتی زیستی و غیر زیستی هستند که از طریق القای سیستم دفاعی باعث افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه و تغییرات مورفوفیزیولوژیکی در گیاهان می‌شوند (Samany et al., 2022). فنیل‌آلانین ($C_9H_{11}NO_2$) یکی از مهم‌ترین اسیدهای آمینه در سنتز پروتئین است که در تولید ترکیبات معطر، آنتی‌اکسیدان‌ها، لیگنین، آنتوسیانین و ترکیبات فنولیک نقش دارد (Edaheiro et al., 2005). فنیل‌آلانین از طریق تأثیر بر بیوسنتز جیبرلین در رشد گیاه نقش داشته و منجر به افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول می‌شود (Waller, 2012).

اسید گاما‌آمینوبوتیریک (GABA)، یک اسید آمینه غیر پروتئینی است که به عنوان یک مولکول پیام‌رسان درون‌زا نقش مهمی در تنظیم پاسخ به تنش، رشد و نمو گیاه دارد. تیمار با GABA باعث افزایش طیف وسیعی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مولکولی از قبیل فعال‌سازی جذب نیتروژن، تولید انرژی، تعدیل مسیر پلی آمین‌ها و افزایش سطح آنتی‌اکسیدان‌ها از جمله کاتالاز، اسید آسکوربیک، سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون و اسمولیت‌ها (پرولین، قندها) می‌شود (Li et al., 2021). گزارش‌های متعددی در مورد کاربرد

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Physical and chemical properties of the Experiment soil

بافت خاک	ماده آلی	pH	EC	نیتروژن	کلسیم	سدیم	پتاسیم
Soil Texture	Organic matter			N	Ca	Na	K
	%		dS.m ⁻¹	%		g.kg ⁻¹	
لومی رسی							
Loamy clay	0.94	7.4	1.49	0.07	0.12	0.13	0.20

برای انجام آزمایش، بذر بادرشبویه از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. بذرها در طی فصل بهار در گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در بستر خاک زراعی و ماسه‌بادی به نسبت (۱:۲)، به تعداد چهار بوته کشت گردید و در شرایط دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد در روز و 20 ± 2 درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی ۵۰ تا ۵۵ درصد رشد کردند. با استقرار گیاه در مرحله ۶-۸ برگی و با توجه به نیاز آبی گیاه و بافت خاک و رسیدن رطوبت به ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، آبیاری گلدان‌ها با غلظت‌های موردنظر تیمارهای شوری هر دو روز یک‌بار انجام شد. بر این اساس حجم آب آبیاری در هر نوبت برای هر گلدان ۳۵۰ سی‌سی در تیمارهای موردنظر محاسبه و اعمال شد. به گونه‌ای که قطراتی از آب از ته گلدان خارج شد. همچنین برای جلوگیری از تجمع نمک و شوک ناشی از شوری، هر دو هفته یک‌بار آبشویی گلدان‌ها صورت گرفت. محلول‌پاشی برگ‌ی آمینواسیدهای فنیل‌آلانین و گابا یک هفته قبل از اعمال تنش، در چهار مرحله زمانی به فاصله ۱۰ روز یک‌بار تا پایان دوره آزمایش تکرار شد. گیاهان از کاشت تا مرحله گلدهی به مدت ۳ ماه نگهداری شده و سپس خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاه از ۴ بوته در هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری شد.

صفات مورد ارزیابی

برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل از روش فولین سیوکالچو استفاده شد. برای این منظور به ۵۰ میکرولیتر عصاره برگ گیاه، ۵۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم (۷٪)، ۱۹۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین‌سیوکالچو (۱۰٪) اضافه‌شده و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی در دمای اتاق نگهداری و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر نسبت به شاهد توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. برای رسم منحنی استاندارد از اسید گالیک استفاده شد (Nile and Park, 2014).

جهت سنجش محتوای فلاونوئید کل از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم استفاده شد. در این روش به ۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی ۱۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم (۱۰٪)، ۱۰۰ میکرولیتر استات پتاسیم یک مولار و ۲۷۵۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. جذب در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. میزان فلاونوئید با استفاده از

منحنی استاندارد بر اساس میلی گرم کوئرستین در گرم عصاره گزارش شد (Chang et al., 2002).

سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ بادرشبویه با استفاده از DPPH (2,2-Diphenyl- Picryl- Hydrazyl) انجام شد. برای این منظور مقدار ۵۰ میکرولیتر عصاره غلیظ سانتریفیوژ شده را در ۲۰۰ میکرولیتر آب مقطر جهت رقیق شدن حل کرده، سپس از همان عصاره رقیق‌شده ۵۰ میکرولیتر به همراه ۱۵۰۰ میکرولیتر DPPH و ۱۴۵۰ میکرولیتر آب مقطر حل کرده و نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی در دمای اتاق نگهداری شدند. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر نسبت به شاهد توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها برحسب درصد مهار رادیکال آزاد DPPH با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (Sun et al., 2007).

$$\text{فعالیت آنتی‌اکسیدانی} = (\text{جذب نمونه} - \text{جذب DPPH}) \div (\text{جذب DPPH} \times 100) \quad [1]$$

جهت تعیین میزان تجمع پرولین در برگ، ۰/۵ گرم از بافت تر هر نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد همگن شد. بعد از سانتریفیوژ، دو میلی‌لیتر اسیداستیک و دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین به دو میلی‌لیتر از این عصاره همگن‌شده، اضافه شد و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از آن جهت سرد شدن لوله‌های آزمایش درون یک بستر یخی قرار گرفتند و چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه شد. در نهایت غلظت پرولین برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates et al., 1973).

جهت اندازه‌گیری مقدار مالون دی‌آلدئید (MDA) به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء مقدار ۱ گرم از هر نمونه برگ در ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید (TCA) ۱۰ درصد سائیده شد. بعد از سانتریفیوژ به ۲ میلی‌لیتر از عصاره، ۲ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۱۰ درصد حاوی تیوباربیتوریک اسید ۰/۶ درصد اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس نمونه‌ها را بلافاصله سرد کرده و مجدداً سانتریفیوژ گردید. در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با ضریب خاموشی ۱۵۵ محاسبه و به صورت $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{FW}$ بیان شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی-دار وجود دارد به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش شوری بر میزان فنل کل و فلاونوئید افزوده شد. همچنین کاربرد اسیدهای آمینه باعث افزایش مقدار فنل کل و فلاونوئید شد (جدول ۲ و شکل ۱) به‌طوری‌که بیشترین میزان فنل کل با مقدار ۲۱/۱۶ میلی‌گرم اسیدگالیک در وزن تر مربوط تیمار گابا ۵ میلی‌مولار در سطح شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد در شرایط عدم تنش ۵/۱۳ میلی‌گرم اسیدگالیک در وزن تر به دست آمد. همچنین در فلاونوئید در تأثیرگذارترین تیمار مربوط به شرایط عدم تنش و تنش در سطح ۴ میلی‌مولار فنیل‌آلانین بود به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن در سطح ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سطح ۱۰ میلی‌مولار گابا نداشت.

طبق نتایج حاصل با اعمال سطوح مختلف شوری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بادرشوبیه افزایش یافت. همچنین محلول‌پاشی اسیدهای آمینه به‌ویژه فنیل‌آلانین سبب افزایش در میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد (شکل ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب در برگ گیاهان محلول‌پاشی شده با فنیل‌آلانین ۴ و ۲ میلی‌مولار، تحت شرایط تنش ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم حاصل شد.

برای سنجش میزان پراکسید هیدروژن، ۱ گرم از بافت تازه گیاه (برگ) با ۵ میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید (TCA) یک درصد ساییده شد. بعد از سانتریفیوژ، ۵۰۰ میکرولیتر از محلول رویی را برداشته و با ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار با (pH=7) و ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم یک مولار مخلوط شد. درنهایت، جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت و برحسب واحد میکرو مول بر گرم وزن تر بیان شد.

هدایت روزنه‌ای نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پرومتر (مدل MK, Delta, UK) بین ساعات ۱۰ تا ۱۴ بعدازظهر اندازه-گیری و برحسب میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه عنوان شد (Mujdeci et al., 2011).

جهت ارزیابی عملکرد کل بوته، پس از برداشت بوته‌ها با ترازوی دیجیتال گرمی (مدل EK-I ساخت ژاپن، با دقت ۰/۰۱) وزن شدند. وزن متوسط تک بوته برحسب گرم و عملکرد کل هم برحسب گرم در مترمربع به دست آمد. آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS V9 و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک و پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

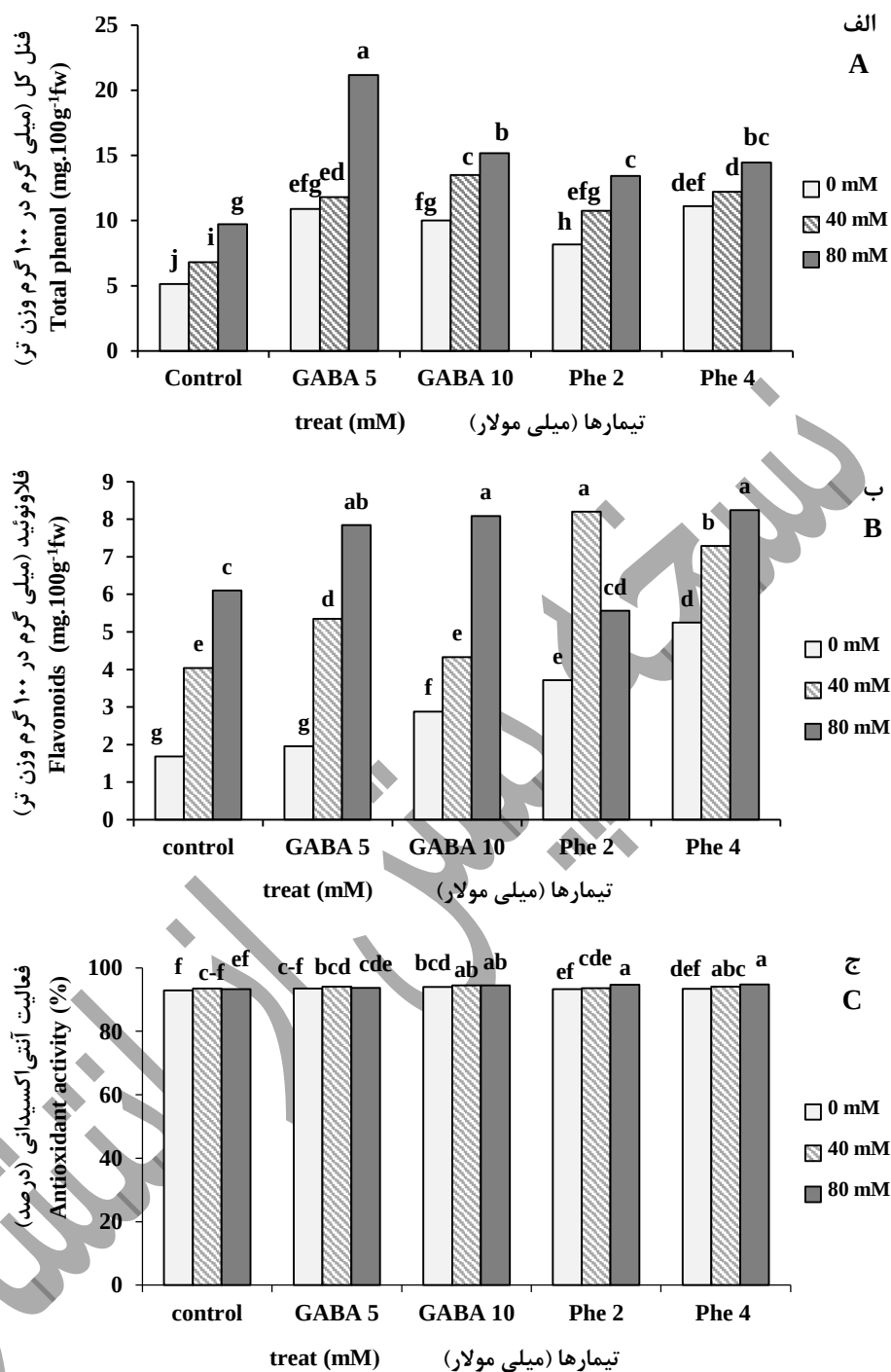
نتایج و بحث

فنل کل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر اسیدهای آمینه بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی بادرشوبیه تحت تنش شوری
Table 2. Variance analysis of the effect of amino acids on some morpho-physiological characteristics of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity stress.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی Df	Mean of Squares			
			فنل کل Total phenol	فلاونوئید Flavonoids	فعالیت آنتی‌اکسیدان Antioxidant activity	پرولین Proline
Replacation	تکرار	2	1.32	0.02	0.059	0.0005
Salinity (S)	شوری	2	127.43**	64.53**	2.19**	0.026**
Treatments (T)	تیمارها	4	71.08**	10.93**	1.52**	0.015**
S × T	شوری × تیمارها	8	9.08**	5.02**	0.33*	0.003**
Error	خطا	28	0.45	0.13	0.12	0.0002
C.V (%)	ضریب تغییرات	-	5.77	6.81	0.37	6.39

ns غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد
ns not significant, **significant at one percent probability level, *significant at five percent probability level



شکل ۱. اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه گاما آمینوبوتیریک و فنیل آلانین بر محتوای فنل کل (الف)، فلاونوئید (ب) و فعالیت آنتی اکسیدانی (ج) بادرشوبیه تحت تنش شوری. حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 1. The effect of foliar application of amino acids gamma-aminobutyric acid and phenylalanine on total phenol (A), flavonoid (B) and Antioxidant activity (C) content of *Dracopcephalum moldavica* L. under salt stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level

و آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو در سلول می‌شود. (Banakar et al., 2022). در نتیجه گیاه سعی می‌کند تا اثرات ناشی از تنش را با محدود کردن ورود یون‌های نمک به سیتوزول و یا تشدید سنتز آنتی اکسیدان‌ها به حداقل برساند.

شدت تنش شوری در خاک توسط فشار یونی و تنش اسمزی گیاه را تحت تأثیر قرار داده در نتیجه باعث کاهش تعادل عناصر ضروری، پتانسیل آبی سلول، فرایند انتقال الکترون و همچنین کاهش و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن

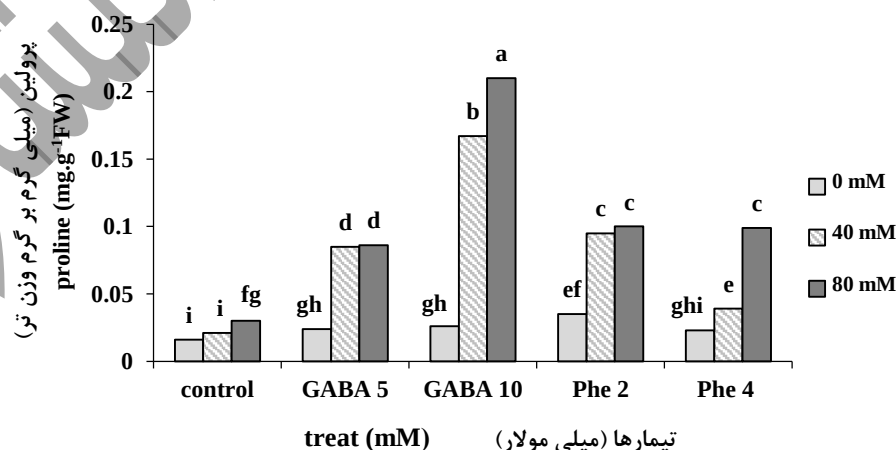
پایدار کردن غشاء سلولی و نیز از آسیب تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) دارد. به‌طوری‌که افزایش مقدار پرولین در اثر تنش اسمزی در ذرت (Efeoglu et al., 2009) و سورگوم (Manivannan et al., 2007) گزارش گردید. بر اساس مطالعات انجام‌شده، پرولین با یک ساختار داخلی سلول و یک منبعی از کربن و نیتروژن، محافظ آنزیم و غشاء بوده و برای بازیافت سریع در شرایط تنش است. تیمار گابا سبب افزایش میزان پروتئین، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسایشی در گیاه زعفران شد (Sedighi Moshkenani et al., 2020). ترکیباتی از جمله پلی‌آمین‌ها، گلوتامات، گابا، آلانین و پرولین در تحمل به تنش نقش دارند و باعث حفاظت گیاه می‌شوند (Minocha et al., 2014). تیمار خارجی گابا با تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم نیتروژن و کاهش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن، آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش را در میوه هلو کاهش داد (Yang et al., 2011) که با نتایج پژوهش انجام‌شده در چمن تحت تنش کم‌آبی همسویی دارد. در این پژوهش کاربرد گابا ثبات غشای سلولی را با افزایش فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی و کاهش نشت یونی بهبود بخشید (Krishna and Laskowski, 2013). همچنین کاربرد گابا در غلظت ۲۰ میلی‌مولار در میوه موز باعث تجمع پرولین و افزایش فعالیت‌های آن‌تی‌اکسیدانی شد (Rezaei et al., 2020).

(Kumar et al., 2017). آنزیم‌های آن‌تی‌اکسیدان قادرند با تولید بیش‌ازحد گونه‌های فعال اکسیژن مقابله کنند و در شرایط شوری به بقای خود ادامه دهند (Shamili et al., 2021). اسیدآمینو فنیل‌آلانین که آغازگر مسیر اسید شیکیمیک بوده با تولید ترکیبات ثانویه به‌ویژه فنل، فلاونوئیدها به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد باعث افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه به‌عنوان اجزای آن‌تی‌اکسیدان غیر آنزیمی در گیاهان تحت تنش شوری می‌شود. مطالعات نشان داده که افزایش تنش شوری منجر به افزایش محتوای فنل کل، فلاونوئیدها و فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی در آویشن می‌شود (Bistgani et al., 2019).

پرولین

نتایج حاصل از اندازه‌گیری پرولین نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری مقدار پرولین افزایش یافت. کاربرد برگه گابا تأثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین داشت. بالاترین میزان تجمع پرولین با کاربرد ۱۰ میلی‌مولار گابا به ترتیب در تیمارهای شوری ۸۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به دست آمد. (شکل ۲).

پرولین به‌عنوان یک اسمولیت سازگار و به دلیل محافظت غشای تیلوکوئید نقش مهمی در تنظیم اسمزی درون‌سلولی،



شکل ۲. اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه اسیدگاما آمینوبوتیریک و فنیل‌آلانین بر میزان پرولین بادرشوبیه تحت تنش شوری. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 2. The effect of foliar application of amino acids gamma-aminobutyric acid and phenylalanine on the amount of proline of *Dracocephalum moldavica* L. under salt stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level.

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر اسیدهای آمینه بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی بادرشویه تحت تنش شوری

Table 3. Variance analysis of the effect of amino acids on some morpho-physiological characteristics of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity stress.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean of Squares			
			مالون دی آلدئید (MDA)	پراکسید هیدروژن (H ₂ O ₂)	هدایت روزنه‌ای stomatal conductans	عملکرد کل Total yield
Replacation	تکرار	2	2.39	0.19	0.0001	1668866.6
Salinity (S)	شوری	2	0.91 ^{ns}	1.97**	0.010**	237490547.6**
Treatments (T)	تیمارها	4	0.71 ^{ns}	0.97**	0.011**	46263103.9**
S × T	شوری × تیمارها	8	1.25 ^{ns}	0.24**	0.0008**	9181589*
Error	خطا	28	0.60	0.063	0.00003	3231756.3
C.V (%)	ضریب تغییرات	-	8.37	6.51	6.64	3.82

ns غیر معنی دار، ** معنی دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی دار در سطح احتمال پنج درصد

ns not significant, **significant at one percent probability level, *significant at five percent probability level

مالون دی آلدئید (MDA)

نتایج به دست آمده از اندازه گیری مالون دی آلدئید حاکی از آن بود که بین تیمارها و سطوح مختلف شوری اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

پراکسید هیدروژن (H₂O₂)

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش شوری، تیمارهای محلول پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر تجمع پراکسید هیدروژن در گیاه بادرشویه، در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. با افزایش تنش شوری تجمع پراکسید هیدروژن افزایش یافت و کاربرد اسیدهای آمینه فنیل آلانین و گابا منجر به کاهش تجمع آن گردید، به طوری که کمترین تجمع پراکسید هیدروژن در فنیل آلانین ۲ میلی مولار در شرایط عدم تنش مشاهده شد.

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می توان بیان کرد که کاربرد تیمارهای اعمال شده بر گیاهان تنش با آزاد کردن گونه های فعال اکسیژن (ROS) که منجر به تولید اکسیژن منفرد، هیدروکسید و پراکسید هیدروژن می شود که موجب ایجاد آسیب به کلروپلاست، پراکسی زوم، میتوکندری، آپوپلاست و غشای سلولی می شود (Turkan, 2017). تحت چنین شرایطی گیاه با ایجاد پاسخ های آنزیمی و غیر آنزیمی موجب ایجاد مقاومت در مقابل تنش می شود (Perez- Labrada et al., 2019). تجمع گونه های فعال اکسیژن تحت تنش موجب ایجاد آسیب به پروتئین ها، ماکرومولکول ها و DNA می شود. به طوری که استفاده از ترکیباتی که سبب

کاهش اثرات منفی گونه های فعال اکسیژن تحت شرایط تنش می شوند حائز اهمیت است (Zhu, 2016).

در پژوهشی کاربرد خارجی فنیل آلانین، باعث کاهش تجمع پراکسید هیدروژن در مقایسه با شاهد تحت تنش گردید. به طوری که نتایج این آزمایش نشان از تأثیر بازدارندگی و تعدیل مثبت اسیدهای آمینه بر پراکسید هیدروژن در زمان تنش داشت (Akbari et al., 2024).

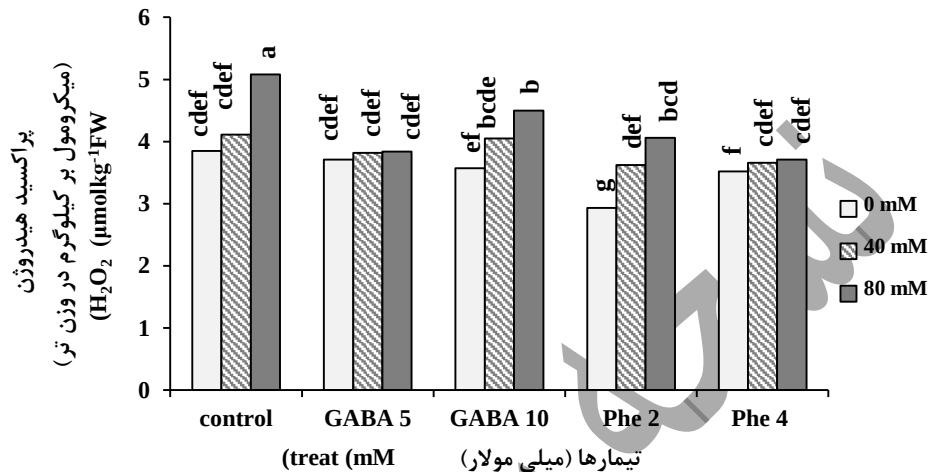
هدایت روزنه ای

نتایج نشان داد که اثر تنش شوری، تیمارهای محلول پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر میزان هدایت روزنه ای در گیاه بادرشویه، در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده ها حاکی از آن بود که با افزایش شدت تنش، میزان هدایت روزنه ای کاهش یافت. همچنین کاربرد محلول پاشی تیمارها باعث افزایش آن گردید به طوری که بیشترین میزان هدایت روزنه ای (۰/۲۱ میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) در شرایط عدم اعمال شوری در تیمار ۴ میلی مولار فنیل آلانین به دست آمد (شکل ۴)؛ بنابراین نتایج نشان می دهد که بسته شدن روزنه ها یکی از اقدامات سریع گیاه در اثر تنش است.

با افزایش شوری پتانسیل آب در خاک کاهش یافته روزنه ها بسته می شوند که علت آن می تواند ناشی از وجود اسید آبسزیک، کاهش پتانسیل آب و سدیم روی سیگنال های ریشه و یا سلول های محافظ روزنه برگ باشد. برخی محققین گزارش کردند که کاهش فتوسنتز با افزایش تنش

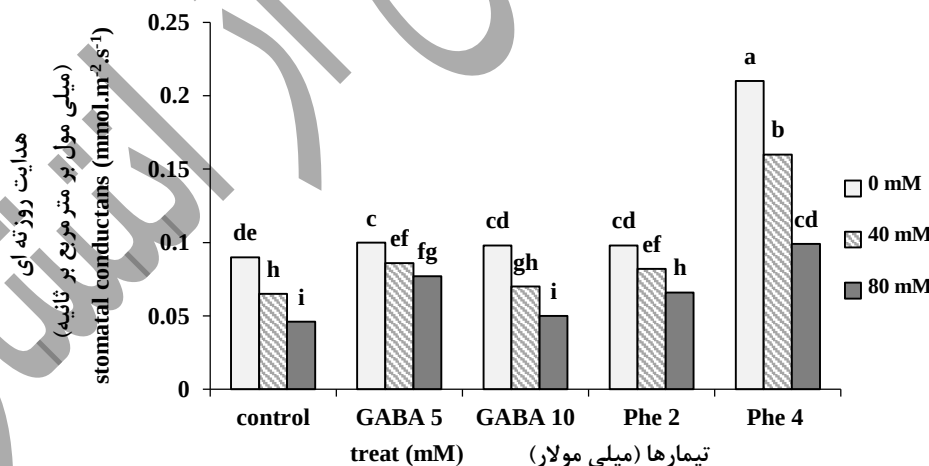
شوری به هدایت روزنه‌ای پایین‌تر و کاهش فرآیندهای متابولیکی به‌ویژه در جذب کربن بستگی دارد (Moradi and Abdelbagi, 2007; Jamil et al., 2007). اسیدهای آمینه نقش مهمی در افزایش جذب کود، تسهیل جذب آب و مواد مغذی و بهبود فتوسنتز گیاهان دارند. در مطالعه‌ای تیمار

اسیدآمینه فنیل‌آلانین موجب بهبود هدایت روزنه‌ای شد که نقش اسیدهای آمینه را به‌عنوان القاکننده استیل‌کوازیم A در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان نشان داده است (Akbari et al., 2024). که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.



شکل ۳. اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه اسید گاما آمینوبوتیریک و فنیل‌آلانین بر پراکسید هیدروژن بادرشوبیه تحت تنش شوری. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 3. The effect of foliar application of amino acids gamma-aminobutyric acid and phenylalanine on hydrogen peroxide of *Dracocephalum moldavica* L. under salt stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level.



شکل ۴. اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه اسید گاما آمینوبوتیریک و فنیل‌آلانین بر هدایت روزنه‌ای بادرشوبیه تحت تنش شوری. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 4. The effect of foliar application of amino acids gamma-aminobutyric acid and phenylalanine on the stomatal conductance of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level.

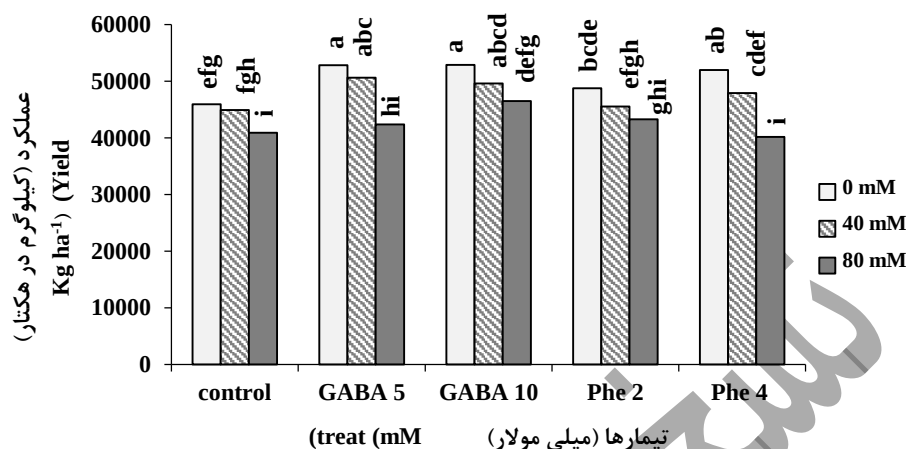
عملکرد کل بوته

اسیدهای آمینه سبب افزایش میزان عملکرد کل بوته نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین، بیشترین مقدار عملکرد کل بوته به ترتیب (۵۲۹۳۱/۶۷ و ۵۲۸۵۰/۸۷ کیلوگرم در هکتار)

اعمال تنش شوری منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد کل بوته گردید. کاربرد تیمارهای محلول‌پاشی (سطوح مختلف

آن‌ها در تیمار شاهد و فنیل آلانین ۴ میلی مولار در شرایط ۸۰ میلی مولار کلرید سدیم حاصل شد (شکل ۵).

در گیاهان تیمار شده با گابا ۱۰ و ۵ میلی مولار تحت شرایط صفر میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد و کمترین مقدار



شکل ۵. اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه گاما آمینوبوتیریک و فنیل آلانین بر عملکرد کل بوته بادرشبویه تحت تنش شوری. حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 5. The effect of foliar spraying of amino acids gamma-aminobutyric acid and phenylalanine on yield total plant of *Dracopcephalum moldavica* L. under salt stress. Similar letters indicate non-significance at 5% probability level.

نتیجه گیری نهایی

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می توان بیان کرد که تنش شوری تأثیر معنی داری بر گیاه بادرشبویه دارد. طی تنش شوری عملکرد و هدایت روزنه ای کاهش و فنل کل، فلاونوئید، فعالیت آنتی اکسیدانی، پرولین، H_2O_2 افزایش یافت، در حالی که بر میزان تجمع مالون دی آلدئید تأثیر معنی داری نداشت. محلول پاشی اسیدهای آمینه گابا و فنیل آلانین سبب بهبود فعالیت آنتی اکسیدانی و تجمع اسمولیت ها، کاهش تجمع H_2O_2 و افزایش عملکرد گیاه بادرشبویه شد. کاربرد فنیل آلانین ۴ میلی مولار با افزایش هدایت روزنه ای و میزان فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی، تجمع H_2O_2 در گیاه را در سطح شوری ۸۰ میلی مولار کلرید سدیم کاهش داد. همچنین محلول پاشی سطوح مختلف گابا منجر به افزایش ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی در شرایط تنش شوری و بدون تنش شد و به این ترتیب سبب بهبود عملکرد کل گردید. لذا با توجه به نتایج حاصله، کاربرد فنیل آلانین ۴ و گابا ۱۰ میلی مولار جهت تعدیل اثرات مضر تنش شوری و بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه بادرشبویه توصیه می شود.

کاربرد محلول پاشی اسیدهای آمینه به ویژه گابا در شرایط

تنش موجب افزایش عملکرد گیاه بادرشبویه شد که این افزایش رشد و عملکرد گیاه را می توان به نقش اسیدهای آمینه در افزایش و بهره وری متابولیسم گیاه، تسهیل جذب مواد مغذی، بالا بردن روند تنفس گیاهی، فتوسنتز، سنتز پروتئین، افزایش ویژگی های کیفی و در نهایت به تقویت رشد و عملکرد گیاه نسبت داد (Davies et al., 2010). در همین راستا گزارش شده که کاربرد گابا سبب کاهش اثرات منفی شوری بر رشد و عملکرد گیاه کینوا شده است (Krishnan et al., 2013). همچنین استفاده از گابا در گیاه کینوا با تشدید گونه های فعال اکسیژن باعث افزایش پایداری غشای سلول شده و تحمل گیاه را به شوری افزایش می دهد (Kiani-Pouya et al., 2017). تنش های محیطی سبب کاهش تولید اسیدهای آمینه در گیاهان می شود. با کاربرد خارجی اسیدهای آمینه نیاز به ساخت آن ها توسط گیاه کاهش می یابد و در این صورت گیاه انرژی ذخیره شده در خود را صرف رشد بیشتر و بهبود عملکرد و کیفیت محصول می نماید (Belal et al., 2016).

- Akbari, A., Barzegar, T., Rabiei, V., Nicola, S., 2024. Phenylalanine, cysteine and sodium selenate alleviate chilling injury in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L) seedlings by enhancing antioxidant activities and membrane. *Horticulturae*. 10, 978. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090978>
- Banakar, M. H., Amiri, H., Sarafraz Ardakani, M.R., Ranjbar, G.H., 2022. Susceptibility and tolerance of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) to salt stress: Physiological and biochemical inspections. *Environmental and Experimental Botany*. 194, 104748. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104748>
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
- Belal, B.E.A., El-Kenawy, M.A., Uwakiem, M.K., 2016. Foliar application of some amino acids and vitamins to improve growth, physical and chemical properties of flame seedless grapevines. *Egyptian Journal of Horticulturae*. 43, 123-136. <https://doi.org/10.21608/EJOH.2016.2831>
- Bistgani, Z.E., Hashemi, M., DaCosta, M., Craker, L., Maggi, F., Morshedloo, M.R., 2019. Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* celak. *Industrial Crops and Products*. 135, 311-320. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.055>
- Caporale, F., Mateo-Martín, J., Usman, M.F., Smith-Hall, C., 2020. Plant-based sustainable development the expansion and anatomy of the medicinal plant secondary processing sector in Nepal. *Sustainability*. 12, 5575. <https://doi.org/10.3390/su12145575>
- Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M., Chern, J.C., 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food Drug Analysis*. 10, 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Davies, W. J., Zhang, J., 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plant in drying soil. *Annual review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 42, 55-76.
- Edahiro, J.I., Nakamura, M., Seki, M., Furusaki, S., 2005. Enhanced accumulation of anthocyanin in cultured strawberry cells by repetitive feeding of L-phenylalanine into the medium. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 99, 43-47. <https://doi.org/10.1263/jbb.99.43>
- Efeoglu, B., Ekmekci, Y., Cicek, N., 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*. 75, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.06.005>
- Elhami, R., Torabi Giglou, M., Mahdavia, H., Heydarnajad Giglou, R., Ghahramanzadeh, S., 2024. Investigating the effects of GABA on the growth and quantitative and qualitative yield of fenugreek under water stress conditions. *Journal of Environmental Sciences Studies*. 9, 8503-8515. <https://doi.org/10.22034/JESS.2023.416320.2127>
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A. and Fujita, M., 2012. Exogenous selenium pretreatment protects rapeseed seedlings from cadmium-induced oxidative stress by upregulating the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems. *Biological Trace Element Research*. 149, 248-261. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9419-4>
- Heidari Krush, G., Rastegar, S., 2021. Reducing browning and keeping quality of narcissus (*Narcissus tazetta* L. cv. 'Shahla') cut flowers using gamma amino butyric acid. *Flower and Ornamental Plants*. 6, 29-36. <https://doi.org/10.52547/flowerjournal.6.1.29>
- Jamil, M., Rehman, S., Jae Lee, K., Man Kim, J., Kim, H. S., Rha, E. S., 2007. Salinity reduced growth PS2 Photochemistry and chlorophyll content in radish. *Scientia Agricola*. 64, 111-118. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000200002>
- Kiani-Pouya, A., Roessner, U., Nirupama, S., Rupasinghe, T., Bazihizina, N., 2017. Epidermal bladder cells confer salinity stress tolerance in the halophyte quinoa and *Atriplex* species. *Plant, Cell and Environment*. 40, 1900-1915. <https://doi.org/10.1111/pce.12995>
- Krishnan, S., Laskowski, K., Shukla, V., Merewitz, E.B., 2013. Mitigation of drought stress damage by exogenous application of a non-protein amino acid γ -aminobutyric acid on perennial ryegrass. *Journal of American*

- Society of Horticultural Science. 138, 358-366.
<https://doi.org/10.21273/JASHS.138.5.358>
- Kumar, J., Singh, S., Singh, M., Srivastava, P.K., Mishra, R.K., Singh, V.P., Prasad, S.M., 2017. Transcriptional regulation of salinity stress in plants. *Plant Gene*. 11, 160-169.
<https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.001>
- Li, L.; Dou, N.; Zhang, H.; Wu, C., 2021. The Versatile GABA in Plants. *Plant Signaling and Behavior*. 16, 1862565.
<https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1862565>
- Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishurekumar, A., Lakshmanan, G.M., Panneerselvam, R., 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Journal of Colloids and Surfaces, Biointerfaces*. 59, 141-149.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.05.002>
- Minhas, P.S., Ramos, T.B., Ben-Gal, A., Pereira, L.S., 2020. Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management*. 227, 105832.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105832>
- Minocha, R., Majumdar, R., Minocha, S.C., 2014. Polyamines and abiotic stress in plant: a complex relationship. *Plant Science*. 5, 175.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00175>
- Moradi, F., Abdelbagi, M. I., 2007. Response of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-Scavenging systems to salt stress during seeding and reproductive stages in rice. *Annals of Botany*. 99, 1161-1173.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcm052>
- Mujdeci, M., Senol, H., Cakamakci, T., Celikok, P., 2011. The effects of different soil water matric suction on stomatal resistance. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 9, 1027-1029.
- Naderifar, M., Sonboli, A., Gholipour, A., 2015. Pollen morphology of Iranian *Dracocephalum* L. (Lamiaceae) species. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*. 22, 99-110.
<https://doi.org/10.3329/BJPT.V22I2.26071>
- Nile, S.H. Park, S.W., 2014. Total phenolics, antioxidant and xanthine oxidase inhibitory activity of three colored onions (*Allium cepa* L.). *Frontiers in Life Science*. 7, 224-228.
<https://doi.org/10.1080/21553769.2014.901926>
- Perez- Labrada, F., Lopez-Vargas, E.R., Ortega Ortiz, H., Codwnas Pliego, G., Benavides Mendoza, A., 2019. Responses of tomato plants under saline stress to foliar application of copper nanoparticles. *Plants*. 8, 151.
<https://doi.org/10.3390/plants.8060151>
- Rahimian, M.H., 2017. Compilation of Agricultural Water Productivity Document in Yazd Province. Technical Report, National Salinity Research Center. 129 p. [In Persian].
- Rezaei A., Seyed Hajizadeh H., Farokhzad A., Gholizadeh Vakilkandi F., 2020. Effect of postharvest treatments of GABA and salicylic acid in antioxidant quality and marketability of Strawberry. *Journal of Plant Process and Function*. 9, 114-127. [In Persian].
<https://dor.org/20.1001.1.23222727.1399.9.38.21.8>
- Samany, S. M. A., Pirbalouti, A. G., Malekpoor, F., 2022. Phytochemical and morpho-physiological changes of hyssop in response to chitosan-spraying under different levels of irrigation. *Industrial Crops and Products*, 176, 114330.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114330>
- Sedighi Moshkenani F., Niknam V., Sharifi G., Seifi Kalhor M., 2020. Investigation of GABA effect on drought stress tolerance improvement in cultivated saffron (*Crocus sativus* L.), *Journal of Plant Process and Function*. 9, 29-50. [In Persian].
<https://dor.org/20.1001.1.23222727.1399.9.39.10.9>
- Shamili, M., Ghalati, R.E., Samari, F., 2021. The Impact of foliar salicylic acid in salt-exposed guava (*Psidium Guajava* L.) seedlings. *International Journal of Fruit Science*. 21, 323-333.
<https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1887050>
- Shang, H., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y., Zheng, Y., 2011. Effect of exogenous γ -aminobutyric acid treatment on proline accumulation and chilling injury in peach fruit after long-term cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59, 1264-1268.
<https://doi.org/10.101021/jf104424z>
- Sun, T., Powers, J.R., Tang, J., 2007. Evaluation of the antioxidant activity of Asparagus, broccoli and their juices. *Food Chemistry*. 105, 101-106.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.048>

- Turkan, I., 2017. Emerging roles for ROS and RNS versatile molecules in plants. *Journal of Experimental Botany*. 68, 4413–4416. <https://doi.org/10.101093/jxb/erx236>
- Waller G R 2012. *Alkaloid Biology and Metabolism in Plants*. New York, Plenum Press.
- Yang, A., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y., Zheng, Y., 2011. γ -Aminobutyric acid treatment reduces chilling injury and activates the defence response of peach fruit. *Food Chemistry*. 129, 1619-1622. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.018>
- Zhu, J.K., 2016. Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell Press Journal*. 167, 313-324. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029>

نسخه پیش از انتشار