مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

تاثیر گاما-آمینوبوتیریک اسید (GABA) بر رشد و ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) در شرایط تنش شوری

مهسا حمیدی‌نیا[۱]، مرضیه قنبری‌جهرمی[۲*]، فریدون قاسم‌خان قاجار[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲*- استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه علوم زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳

کلمات کلیدی:

الیسیتور،

تنش اسمزی،

خصوصیات رشدی،

درصد اسانس،

فرنجمشک

DOI: 10.48311/fsct.2026.84008.0

* مسئول مکاتبات:

ghanbari@iau.ac.ir

چکیده

گاما-آمینوبوتیریک اسید (GABA) یک الیسیتور بیوشیمیایی است که می‌تواند به عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده درون‌زا فعالیت کند. امروزه استفاده از GABA به منظور کاهش اثرات تنش‌های محیطی و افزایش تولید مواد موثره در گیاهان متداول شده است. تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر GABA (صفر، ۰/۵، ۱/۵، ۳ میلی‌مولار) بر رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه بادرنجبویه (*Melisa officinalis*) تحت تنش شوری (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که تنش شوری ۱۲۰ میلی‌مولار سبب کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک ارتفاع بوته، وزن تر اندام هوایی و ریشه و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه گردید. با کاربرد GABA ۳ میلی‌مولار بیشترین مقدار فنول، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی که با هم همبستگی مثبت دارند، مشاهده شد. در شرایط افزایش شدت تنش شوری تا ۶۰ میلی‌مولار میزان اسانس گیاه افزایش پیدا کرد، اما با افزایش شدت تنش شوری تا ۱۲۰ میلی‌مولار، درصد و عملکرد اسانس کاهش یافت. به طور خلاصه، در حالی که بادرنجبویه به تنش شوری حساسیت نشان می‌دهد، محلول‌پاشی GABA به طور موثری اثرات نامطلوب آن را با افزایش رشد و تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه ارزشمند کاهش می‌دهد. محلول‌پاشی با ۳ میلی‌مولار GABA به عنوان یک استراتژی عملی برای بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و عملکرد اسانس در شرایط شوری متوسط تا ۶۰ میلی‌مولار NaCl توصیه می‌شود و از کشت پایدار این گیاه دارویی در مناطق شور حمایت می‌کند.

۱-مقدمه

بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) یک گیاه دارویی چندساله از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است که به دلیل خواص آرام‌بخش، ضد اضطراب و ضد میکروبی خود شناخته شده است [۱]. این گیاه بومی مناطق مدیترانه‌ای است، اما در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود. برگ‌های آن حاوی مقادیر مناسبی از ویتامین‌ها (مانند ویتامین C و ویتامین A) و مواد معدنی (مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم) هستند، از این رو به عنوان یک سبزی دارای ارزش غذایی قابل توجهی است [۲]. برگ‌های بادرنجبویه حاوی ترکیبات فعال زیستی مانند اسیدهای فنولی، فلاونوئیدها و ترپنوئیدها هستند که مسئول خواص درمانی آن می‌باشند [۳].

اسانس بادرنجبویه نیز حاوی ترکیباتی مانند سیترال، ژرانیول و لینالول است که به آن عطر و طعم لیمویی می‌بخشند. این ویژگی، باعث شده تا از این گیاه در آشپزی و به‌ویژه در صنایع غذایی به عنوان یک چاشنی و طعم‌دهنده طبیعی در تولید نوشیدنی‌ها استفاده شود [٤]. بادرنجبویه در طب سنتی برای درمان اختلالات گوارشی، بی‌خوابی و اضطراب استفاده می‌شود. همچنین، مطالعات نشان داده‌اند که این گیاه دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی قوی است [٥].

تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان، به ویژه گیاهان دارویی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک است [٦]. افزایش غلظت نمک در خاک باعث کاهش پتانسیل آب خاک شده و جذب آب توسط ریشه‌ها را با مشکل مواجه می‌کند. این شرایط منجر به ایجاد تنش اسمزی در گیاه می‌شود که به نوبه خود باعث کاهش رشد، کاهش فتوسنتز و اختلال در متابولیسم گیاه می‌گردد [۷]. علاوه بر این، تجمع یون‌های سمی مانند سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی می‌تواند باعث سمیت یونی شود که به آسیب‌های سلولی و مرگ سلول‌ها منجر می‌شود [۸]. گیاهان دارویی به دلیل تولید متابولیت‌های ثانویه با ارزش، به تنش شوری حساس‌تر هستند. این تنش می‌تواند باعث کاهش تولید ترکیبات فعال زیستی مانند آلکالوئیدها، فلاونوئیدها و ترپنوئیدها شود که نقش کلیدی در خواص درمانی این گیاهان دارند [۹]. همچنین، تنش شوری می‌تواند باعث تغییر در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شود که به آسیب اکسیداتیو به غشاهای سلولی و DNA منجر می‌شود. در نتیجه، کاهش کیفیت و کمیت مواد موثره گیاهان دارویی تحت تنش شوری، چالش‌های جدی برای صنایع داروسازی و کشاورزی ایجاد می‌کند [۱۰].

GABA یک ترکیب چهار کربنه غیرپروتئینی است که به طور طبیعی در گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسم‌ها یافت می‌شود [۱۱]. این ترکیب به عنوان یک انتقال‌دهنده عصبی مهاری در سیستم عصبی مرکزی پستانداران شناخته می‌شود، اما در گیاهان نیز نقش‌های مهمی ایفا می‌کند. GABA در گیاهان به عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده در پاسخ به تنش‌های محیطی مانند شوری [۱۲]، خشکی [۱۳]، دمای نامناسب [١٤] و آسیب‌های مکانیکی عمل می‌کند [١٥]. تحت شرایط تنش، سطح GABA در گیاهان به سرعت افزایش می‌یابد و به تنظیم تعادل یونی، حفظ پتانسیل غشای سلولی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو کمک می‌کند [١٦]. همچنین، GABA در متابولیسم کربن و نیتروژن گیاهان نقش دارد و می‌تواند به عنوان یک پیش‌ساز برای سنتز سایر ترکیبات مهم مانند پرولین و پلی‌آمین‌ها عمل کند [۱۷]. مطالعات نشان داده‌اند که تجمع GABA در گیاهان می‌تواند مقاومت آن‌ها را به تنش‌های محیطی افزایش دهد [۱۸] و از این رو، استفاده از GABA به عنوان یک محرک رشد در کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است.

محققان در آزمایشی گزارش کرده‌اند در گیاه بابونه آلمانی کاربرد تیمارهای GABA، متیل جاسمونات، اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک در شرایط تنش شدید کم آبیاری باعث افزایش مقدار اسانس شد. مقایسه بین تیمارها نشان داد که بیشترین میزان اسانس در گیاه بابونه آلمانی از تیمار GABA به‌دست آمد [۱۹].

در تحقیقی با بررسی GABA و تنش شوری بر ویژگی‌های نعناع آناناسی (*Mentha suaveolens* Ehrh.) بیان شد که به

طور کلی تنش بسیار شدید NaCl (یعنی بیش از ۱۰۰ میلی‌مولار) که در آن افت شدیدی در مقدار اجزای عملکرد مشاهده شد، خارج از محدوده تحمل نعناع *M. suaveolens* بود. از این رو، منطقی است که کاهش عملکرد متابولیت‌های دارویی را با محلول‌پاشی GABA با غلظت‌های کم (یعنی ۲/۱-۰/۰ میلی‌مولار) تحت تنش ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl یا سطوح پایین‌تر جبران کرده‌اند [۲۰].

محققین با بررسی اثر GABA و سالیسیلیک اسید بر رشد و فیزیولوژی گوجه‌فرنگی گزارش کرده‌اند که بالاترین غلظت GABA (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) و بالاترین غلظت اسید سالیسیلیک (۱/۵ میلی‌مولار) مطلوب‌ترین نتایج را در تولید نشا گوجه‌فرنگی از لحاظ ویژگی‌های رشدی و کیفیت نشان داد [۲۱].

از آنجا که گیاه بادرنجبویه یک گیاه دارویی با ارزش غذایی بالا و تنوع کاربرد چه به صورت تازه و چه فرآوری شده است و گزارشی از بررسی رشد و عملکرد فیتوشیمیایی این گیاه با هدف کنترل تنش شوری به کمک GABA بر بادرنجبویه تاکنون ارائه نشد، این تحقیق بدین منظور انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف GABA و تنش شوری بر خصوصیات کمی و کیفی بادرنجبویه در شرایط گلخانه‌ای در قالب طرح کاملا تصادفی و به صورت فاکتوریل انجام شد. ابتدا نشاء چهار برگی بادرنجبویه تهیه و در گلدان‌های پلاستیکی با دهانه ۱۷ سانتی‌متر حاوی بستر کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۲:۱ کشت شد. پس از استقرار گیاهچه‌ها تیمارهای شوری با استفاده از کلرید سدیم (۰، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) به صورت آب آبیاری اعمال گردید. GABA از شرکت شیمی‌سنتز تهران خریداری گردید. محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف GABA (صفر، ۰/۵، ۱/۵، ۳ میلی‌مولار) به تعداد چهار دفعه و به فواصل هر دو هفته یکبار بر روی گیاهان اعمال گردید. طول دوره تنش ۴۰ روز بود. EC آب خروجی زهکش هر هفته اندازه‌گیری شد. هفت روز پس از اتمام دوره تیماردهی یعنی در روز ۵۰ نمونه‌برداری از گیاهان انجام شده و صفات رشدی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی آن‌ها مورد نظر اندازه‌گیری و بررسی شد.

ارتفاع بوته با خط کش، جهت اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی و ریشه، ۳ گیاه از هر گلدان را از سطح خاک (محل طوقه) قطع نموده و پس از انتقال به آزمایشگاه؛ وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری گردید.

۲ـ۱ـ سنجش میزان رنگیزه‌های گیاهی

برای مقایسه میزان رنگیزه‌های گیاهی؛ مقدار نیم گرم از ماده گیاهی در هاون چینی ریخته، سپس با استفاده از نیتروژن مایع خرد و به خوبی له شد. ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد به نمونه اضافه، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد. مقداری از نمونه داخل بالن، در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a ، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ برای کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda مقدار جذب قرائت شد. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد [۲۲].

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3\times A663 - 0.86\times A645)\ V/100W \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3\times A645 - 3.6\times A663)\ V/100W \quad (2)$$

$$\text{Carotenoides} = 100(A470) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227 \quad (3)$$

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W= وزن تر نمونه بر حسب گرم

۲ـ۲ـ تعیین میزان فنول کل

۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره استخراجی با ۵ میلی‌لیتر معرف فولین ـ سیوکالتو (که با آب مقطر ۱۰ برابر رقیق شد) و ٤ میلی‌لیتر از محلول کربنات سدیم یک مولار به خوبی مخلوط گردید. مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. سپس مقدار جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda در طول موج ۷٦۵ نانومتر خوانده شد [۲۳]. همچنین روش رنگ‌سنجی (فولین ـ سیوکالتو) روی محلول‌های استاندارد اسید تانیک با غلظت‌های مختلف انجام و منحنی استاندارد در برابر جذب اسید تانیک رسم گردید (Y=0/00114X+0/01062، Y عدد جذب و X غلظت بر حسب ppm). برای تعیین غلظت فنل نمونه‌ها اعداد جذب بر حسب ppm (X) محاسبه شد.

۲ـ۳ـ تعیین میزان فلاونوئید کل

از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم برای تعیین مقدار فلاونوئیدها استفاده شد. هر کدام از عصاره‌های متانولی گیاهی (نیم میلی‌لیتر از ۱:۱۰ گرم بر میلی‌لیتر) به صورت جداگانه ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم (۱۰ درصد متانولی)، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم (۱M) و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر ترکیب شد. سپس محلول‌ها در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. جذب هر ترکیب واکنشی در ٤۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda اندازه‌گیری گردید. منحنی استاندارد با محلول‌های کوئرستین (Quercetin, Sigma Chemical Co.) متانولی در غلظت‌های ۱۰۰۰-۲۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر تهیه شده و منحنی با نرم‌افزار Excel رسم شد، سپس معادله خط y=bx+a بدست آمد. جذب‌های خوانده شده از نمونه‌ها به جای y قرار داده شده و x یا همان غلظت بدست آمد [۲٤].

۲ـ٤ـ اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، از رادیکال آزاد DPPH (2,2-Diphenyl- Picryl- Hydrazyl) استفاده شد. ابتدا عصاره‌های متانولی نمونه گیاهی در غلظت‌های متفاوت 5×10^{-2}mg/100 الی 5×10^{-6} در متانول خالص تهیه گردید. سپس مخلوطی به نسبت ۱:۱ از محلول DPPH (8 mg/100) و عصاره‌های گیاهی با غلظت‌های متفاوت تهیه شد. جذب نمونه‌ها بعد از ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه در ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda اندازه‌گیری شد. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$R\%=AD–AS/AD\times100 \quad (٤)$$

R%: درصد مهار

AD: جذب DPPH در ۵۱۷ نانومتر

AS: جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر

برای مقایسه فعالیت عصاره‌ها از پارامتر IC50 (غلظتی از عصاره که ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کند) استفاده شد [۲۵].

۲ـ۵ـ درصد و عملکرد اسانس

درصد اسانس به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر اندازه‌گیری شد.

برای بدست آوردن عملکرد اسانس، وزن ماده خشک در درصد اسانس در هر تیمار ضرب شد.

۲ـ٦ـ تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به دست آمده حاصل از اندازه‌گیری متغیرهای مورد نظر، ابتدا در برنامه Excel ثبت و سپس با نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی‌دار ۱ یا ۵ درصد با آزمون چند دامنه دانکن بررسی شد. نمودارها و شکل‌ها در نرم‌افزار Excel تهیه گردید.

۳- نتایج و بحث

۳ـ۱ـ صفات مورفولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته وزن تر اندام هوایی و ریشه بادرنجبویه تحت اثر اصلی تنش شوری در سطح احتمال یک درصد، اثر ساده GABA بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد و بر وزن تر اندام هوایی و ریشه در سطح پنج درصد و اثر متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی GABA

بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد و بر وزن تر اندام هوایی و ریشه در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۱).

Table 1 Analysis of variance of salinity and γ-aminobutyric acid (GABA) on the morphological traits of *Melissa officinalis*

S.O.V.	D.f.	M.S.		
		Height	Fresh Weight of Aerial Parts	Fresh Weight of Roots
Salinity stress (S)	2	1155.19**	2481.69**	2508.86**
γ-amino butyric acid (G)	3	153.14**	103.52*	151.44**
S × G	6	0.75**	44.32*	68.05*
Experimental error	24	1.78	23.31	35.58
Coeff of variation (%)	-	4.30	7.18	11.44

*, and **: significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

۳ـ۱ـ۱ـ ارتفاع بوته

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای تنش شوری ×محلول‌پاشی GABA، بیشترین ارتفاع بوته بادرنجبویه (۴۴/۳۳ سانتی‌متر) در تیمار شاهد با کاربرد ۳ میلی‌مولار GABA و کمترین آن (۱۸/۶۷ سانتی‌متر) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۲۰ میلی‌مولار NaCl) بدون کاربرد GABA بود (شکل ۱).

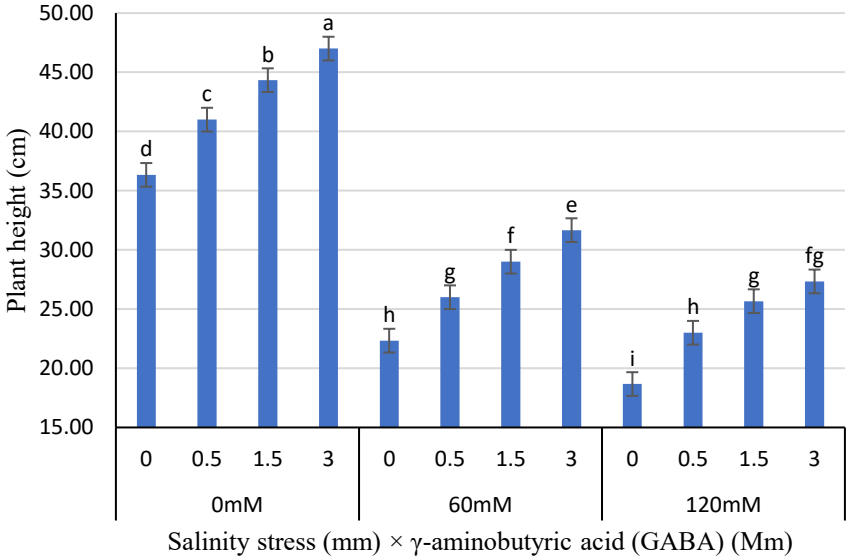

Fig 1 Results of the mean comparison of the interactive effects of salinity stress treatments × γ-aminobutyric acid (GABA) foliar application on the plant height of *Melissa officinalis*

۳ـ۱ـ۲ـ وزن تر اندام هوایی و ریشه

بیشترین وزن تر اندام هوایی بادرنجبویه (۸۵/۶۷ گرم) و وزن تر ریشه (۷۱/۶۷ گرم) در تیمار شاهد با کاربرد ۳ میلی‌مولار GABA و کمترین وزن تر اندام هوایی (۴۹/۰۰ گرم) و وزن تر ریشه (۳۲/۶۷ گرم) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۲۰ میلی‌مولار NaCl) همراه با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار GABA بود (شکل ۲).

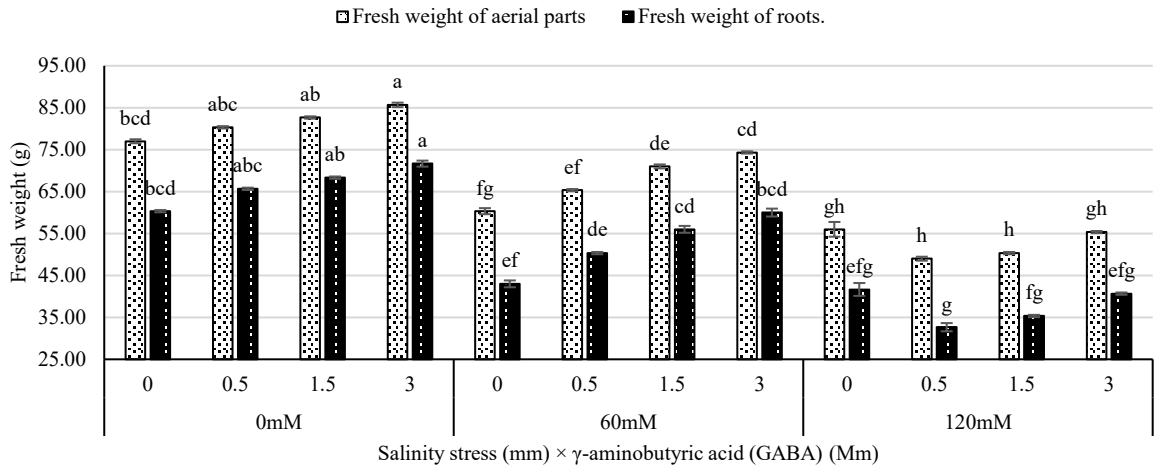

Fig 2 Results of the mean comparison of the interactive effects of salinity stress treatments × γ-aminobutyric acid (GABA) foliar application on the Fresh weight of aerial and roof of *Melissa officinalis*

در غلظت‌های بالاتر شوری به دلیل خاصیت سمیت شدید املاح نمکی، کاهش رشد مشاهده شد. معمولاً حساس‌ترین پاسخ به شوری کاهش رشد است که این کاهش در ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیک منعکس می‌شود. کاهش ارتفاع گیاه به دلیل کاهش رشد طولی سلول‌هاست. تنش شوری در ابتدا رشد سلول‌های گیاهی را از طریق اثر بر روی فشار تورژسانس (تورگر) سلول تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش فشار تورگر در اثر شوری مهمترین عامل بازدارندگی رشد گیاهان تحت شرایط شور شناخته شده است [۲۶]. بستر رشدی که شور و حاوی مقادیر فراوانی یون باشد، باعث اختلال در متابولیسم سایر عناصر غذایی شده و رقابت ناشی از یون‌های Na^+ با K^+ و Cl^- با NO^{3-} موجب اختلال در جذب این عناصر شده و در نتیجه رشد و بیومس گیاه کاهش پیدا می‌کند. یکی از مشخصه‌های تاثیرگذار در تحمل شوری، حفظ آماس سلول بوده و تنظیم اسمزی در اثر جذب نمک (یون‌های نمکی) و ساخت مواد آلی است. گیاهان برای ساخت مواد آلی (مثل گلایسین، بتائین، پرولین، مانیتول و سوربیتول) انرژی زیادی را صرف کرده که با مصرف این مقدار انرژی جهت تنظیم اسمزی، رشد اندام هوایی و در نتیجه وزن گیاه کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند [۲۷].

GABA در پاسخ به تنش‌های محیطی، اثرات مثبتی بر روی گیاهان دارد. این ماده به عنوان یک اسید آمینه و مولکول سیگنالینگ در گیاهان عمل می‌کند و می‌تواند به اصلاح پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه در برابر تنش‌ها کمک کند [۲۸]. GABA منجر به تولید بیشتر مواد غذایی و در نتیجه افزایش وزن و ارتفاع گیاه می‌شود [۲۹]، بر تولید هورمون‌هایی مانند اکسین و سیتوکنین اثر گذاشته و به رشد و توسعه گیاهان کمک می‌کند و باعث افزایش وزن اندام هوایی و ریشه‌ها می‌شود [۳۰]. GABA به بهبود رشد ریشه‌ها کمک می‌کند، که این امر دسترسی به آب و مواد غذایی را افزایش داده و موجب افزایش وزن ریشه می‌شود [۳۱]؛ این ماده خاصیت آنتی‌اکسیدانی داشته و موجب کاهش آسیب‌های ناشی از استرس اکسیداتیو در گیاهان شده و به حفظ سلامت و رشد گیاه در شرایط سخت منجر می‌شود [۳۲].

۳ـ۲ـ رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کلروفیل a و b و کاروتنوئید بادرنجبویه تحت اثر اصلی و متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی GABA در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۲).

Table 2 Analysis of variance of salinity and γ-aminobutyric acid (GABA) on Photosynthetic pigments of *Melissa officinalis*

S.O.V.	D.f.	M.S.		
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid
Salinity stress (S)	2	9.77**	7.48**	4.19**

γ-amino butyric acid (G)	3	3.61**	1.67**	0.87**
S × G	6	0.45**	0.12**	0.07**
Experimental error	24	0.04	0.01	0.01
Coeff of variation (%)	-	5.27	4.25	4.32

**: significant at 1% probability levels, respectively.

۳ـ۲ـ۱ـ کلروفیل a و b

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای تنش شوری × محلول‌پاشی GABA، بیشترین کلروفیل a (۵/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۳/٤۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شاهد (نبود تنش شوری) همراه با کاربرد ۳ میلی‌مولار GABA و کمترین کلروفیل a (۱/۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۱/۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۲۰ میلی‌مولار NaCl) و عدم کاربرد GABA بود (شکل ۳).

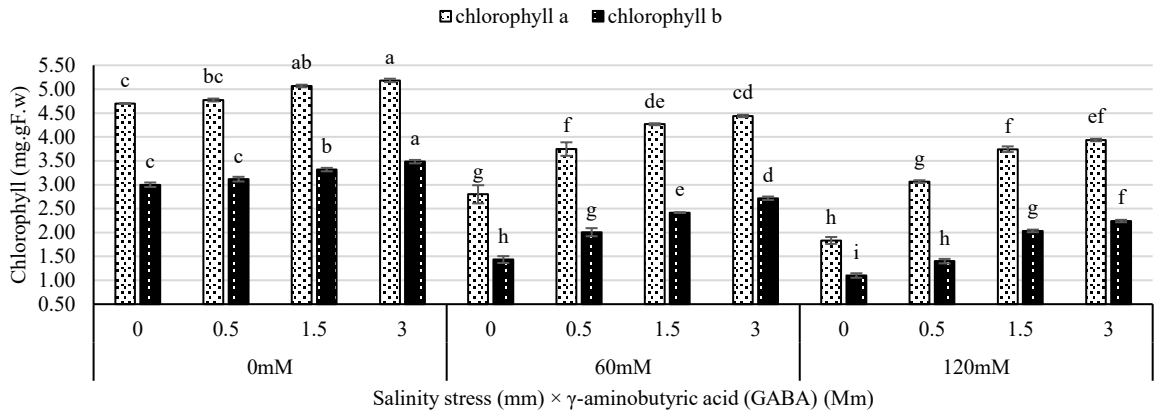

Fig 3 Results of the mean comparison of the interactive effects of salinity stress treatments × γ-aminobutyric acid (GABA) foliar application on the Chlorophyll a and b of *Melissa officinalis*

۳ـ۲ـ۲ـ کاروتنوئید

بیشترین کاروتنوئید بادرنجبویه (۲/٦٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شاهد همراه (بدون تنش شوری) با کاربرد ۳ میلی‌مولار GABA و کمترین آن (۰/۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۲۰ میلی‌مولار NaCl) و عدم کاربرد GABA بود (شکل ٤).

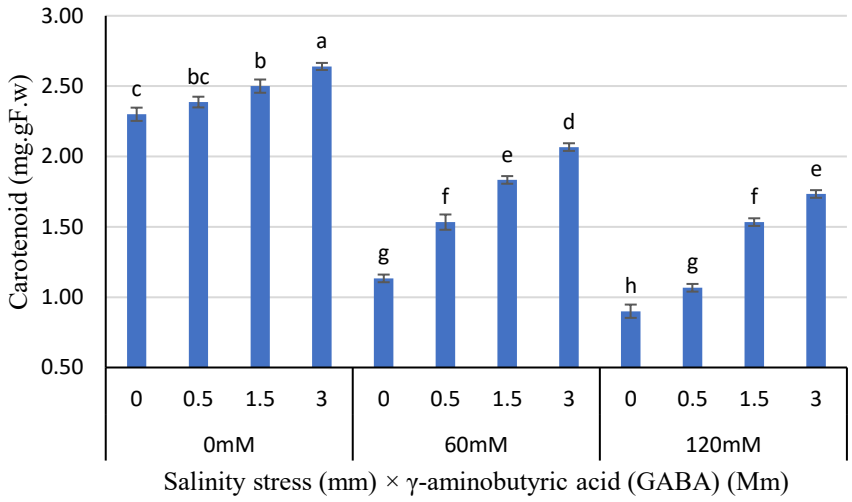

Fig 4 Results of the mean comparison of the interactive effects of salinity stress treatments × γ-aminobutyric acid (GABA) foliar application on the Carotenoid of *Melissa officinalis*

کاهش محتوای کلروفیل در نتیجه تنش احتمالاً ناشی از فعال شدن مسیر کاتابولیسمی کلروفیل بوده و مقدار کلروفیل نشان‌دهنده مقاومت گیاه در برابر تنش می‌باشد [۳۳]. تخریب کلروفیل و کاروتنوئید در شرایط تنش شوری می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، تغییر ساختار، عملکرد و کاهش محتوای پروتئین‌ها به ویژه پروتئین‌های غشای گیاهان و آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل مانند ۵- آمینو لوولونیک اسید دهیدراتاز، پورفوبیلینوژن دآمیناز، پروتوکلروفیلید اکسیدور ردوکتاز باشد [۳٤]. تنش شوری از رشد گیاهان می‌کاهد و تولید محصول در نتیجه بر هم خوردن تعادل در جذب عناصر ضروری، آب و تنش اکسیداتیو کاهش می‌یابد. اگرچه رشد گیاه، نتیجه فرایندهای فیزیولوژیک منظم و کامل است و مهار رشد گیاه توسط عوامل محیطی را نمی‌توان تنها به یک فرایند فیزیولوژیک خاص نسبت داد؛ اما پدیده فیزیولوژیک غالب، فتوسنتز است [۳۵]. رشد گیاه و تولید زیست توده به میزان فتوسنتز خالص بستگی دارد و تنش شوری، بسته به شدت آن بر فتوسنتز اثر می‌گذارد [۳٦].

GABA بر فعالیت آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز تأثیر مثبت می‌گذارد. با افزایش میزان فعالیت این آنزیم‌ها، سنتز کلروفیل نیز افزایش می‌یابد [۳۱]. این ماده به عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی عمل کرده و به کاهش آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو کمک می‌کند. این عمل به حفاظت از کلروپلاست‌ها و پروتئین‌های سنتزکننده کلروفیل منجر می‌شود [۳۷]. GABA به بهبود وضعیت روزنه‌ها کمک می‌کند که این موضوع به بهبود تبادل گازی و در نتیجه بهبود فتوسنتز و سنتز کلروفیل منجر می‌شود [۳۸]، این ماده همچنین موجب افزایش سنتز پروتئین‌ها می‌شود که به تولید کلروفیل و کاروتنوئیدها کمک می‌نماید [۳۹]. با افزایش سطح کلروفیل، گیاه توانایی بیشتری برای جذب نور خورشید دارد. این امر به نوبه خود می‌تواند به افزایش تولید کاروتنوئیدها کمک کند، زیرا کاروتنوئیدها نقش مهمی در محافظت از گیاه در برابر نور شدید دارند [٤۰].

۳ـ۳ـ صفات فیتوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فنول و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، درصد و عملکرد اسانس بادرنجبویه تحت اثر اصلی تنش شوری و محلول‌پاشی GABA در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارها بر فنول کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، درصد و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد و بر فلاونوئید کل در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۳).

Table 3 Analysis of variance of salinity and γ-aminobutyric acid (GABA) on phytochemical traits of *Melissa officinalis*

S.O.V.	D.f.	M.S.				
		Total Phenol	Total Flavonoid	Anti-Oxidant Activity	Essential Oil Percent	Essential Oil Yield
Salinity stress (S)	2	2178.95**	2342.33**	2646.03**	0.58**	1010.04**
γ-amino butyric acid (G)	3	645.45**	318.85**	785.00**	0.16**	158.62**
S × G	6	49.62**	9.18*	59.47**	0.01**	7.12**
Experimental error	24	6.30	3.44	7.67	0.003	3.17
Coeff of variation (%)	-	4.84	4.11	4.85	6.11	8.52

*, and **: significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

۳ـ۳ـ۱ـ فنول و فلاونوئید کل

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای تنش شوری ×محلول‌پاشی GABA، بیشترین فنول کل (۷۳/٤۵ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) و فلاونوئید کل (٦٦/۰۰ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) در تیمار تنش شوری ملایم (٦۰ میلی‌مولار NaCl) همراه با کاربرد ۳ میلی‌مولار GABA و کمترین فنول کل (۲۸/۱۸ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) و فلاونوئید کل (۲۸/٦۷ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۲۰ میلی‌مولار NaCl) و عدم کاربرد GABA بود (شکل ۵).

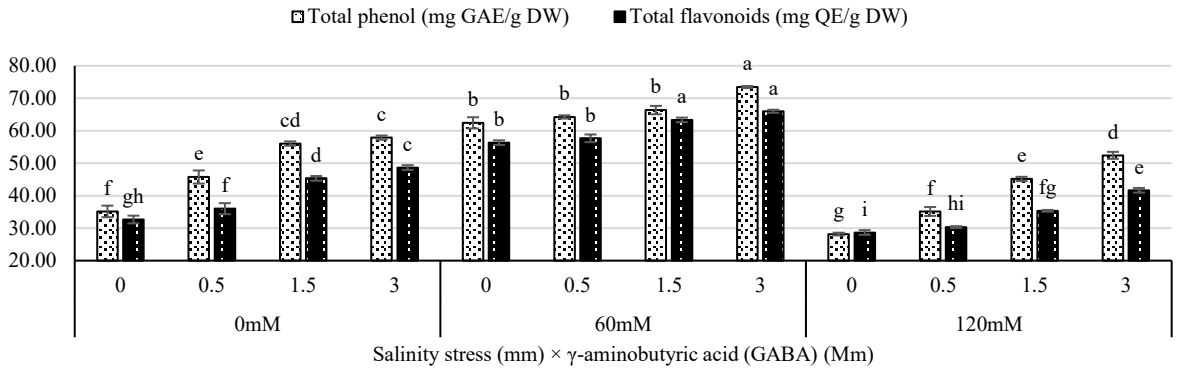

Fig 5 Results of the mean comparison of the interactive effects of salinity stress treatments × γ-aminobutyric acid (GABA) foliar application on the Total Phenol and Total flavonoids of *Melissa officinalis*

گروه‌های هیدروکسیل آزاد متصل به حلقه آروماتیک فنل‌ها به وسیله حذف رادیکال‌ها و دیگر مکانیسم‌های دفاعی مانند فروکش کردن اکسیژن یکتایی، کلاته کردن فلزات و باندشدن یون‌های سمی از آسیب‌های اکسیداتیو می‌کاهند و بدین ترتیب ساختارهای سلولی را از اثرات منفی تنش محافظت می‌کنند [٤١]. ترکیبات فنلی در واکنش به تنش به سرعت افزایش می‌یابند و به مقدار زیاد در لایه اپیدرمی بافت گیاه تجمع می‌یابند. تجمع ترکیبات فنلی در کرک‌ها، واکوئل و دیواره سلول‌های اپیدرمی از آسیب سلول‌های مزوفیلی زیرین جلوگیری می‌کند این ترکیبات با قابلیت آنتی‌اکسیدانی و سمیت‌زدایی رادیکال‌های اکسیژن باعث افزایش مقاومت گیاهان می‌شوند [٤٢].

GABA به عنوان یک تنظیم‌کننده متابولیک، فرآیندهای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه مانند فنول‌ها و فلاونوئیدها را تحریک می‌کند. این ترکیبات به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در گیاهان عمل می‌کنند و در پاسخ به تنش‌های محیطی تولید می‌شوند [٤٣]. GABA بر تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین، سیتوکنین و جیبرلین تأثیر می‌گذارد. این هورمون‌ها نقش مهمی در تنظیم تولید و متابولیسم فلاونوئیدها و فنول‌ها ایفا می‌کنند [٤٤].

٣ـ٣ـ٢ـ فعالیت آنتی‌اکسیدانی

بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بادرنجبویه (٨١/٠٠ درصد) در تیمار تنش شوری ملایم (٦٠ میلی‌مولار NaCl) همراه با کاربرد ٣ میلی‌مولار GABA مشاهده شد. کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (٣١/٠٠ درصد) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (١٢٠ میلی‌مولار NaCl) و عدم کاربرد GABA بود (شکل ٦).

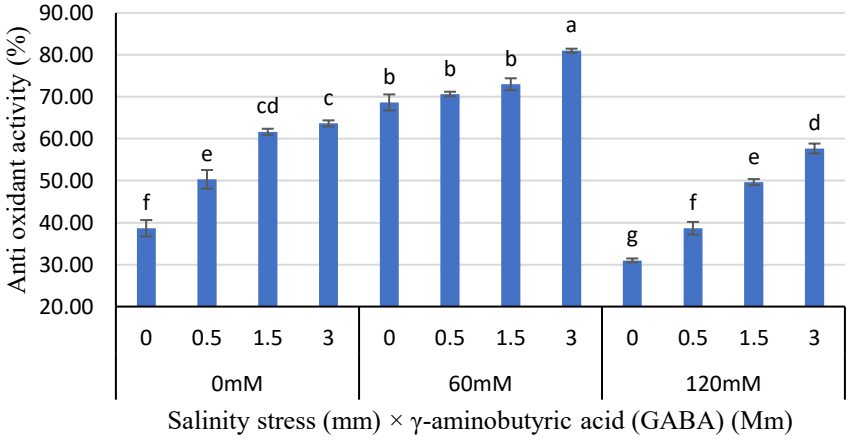

Fig 6 Results of the mean comparison of the interactive effects of salinity stress treatments × γ-aminobutyric acid (GABA) foliar application on the Anti-oxidant activity of *Melissa officinalis*

۳ـ۳ـ۳ـ درصد اسانس

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای تنش شوری ×محلول‌پاشی GABA، بیشترین درصد اسانس بادرنجبویه (۱/۶۲ درصد) در تیمار تنش شوری ملایم (۶۰ میلی‌مولار NaCl) همراه با کاربرد ۳ میلی‌مولار GABA و پس از آن (۱/۲۲ درصد) در تیمار تنش شوری ملایم (۶۰ میلی‌مولار NaCl) همراه با کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار GABA مشاهده شد. این دو تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین درصد (۰/۵۲ درصد) در تیمار تنش شوری شدید (۱۲۰ میلی‌مولار NaCl) و عدم کاربرد GABA ارزیابی شد (شکل ۷).

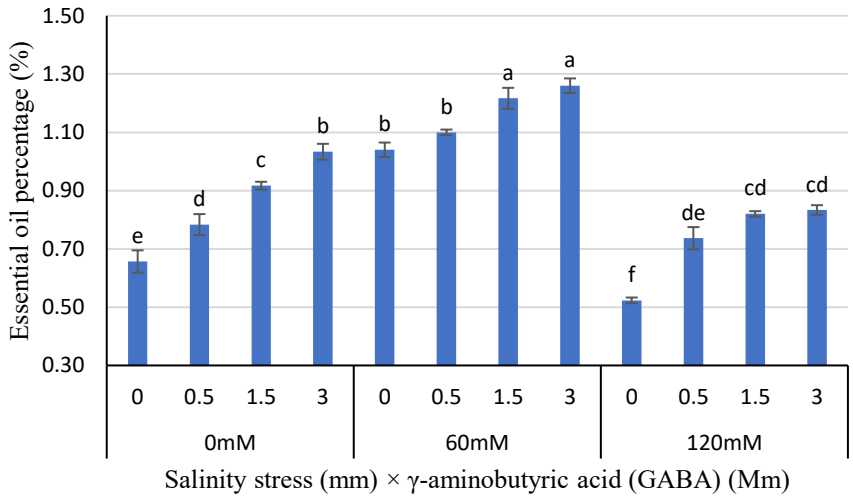

Fig 7 Results of the mean comparison of the interactive effects of salinity stress treatments × γ-aminobutyric acid (GABA) foliar application on the Essential oil percent of *Melissa officinalis*

۳ـ۳ـ٤ـ عملکرد اسانس

بیشترین عملکرد اسانس بادرنجبویه (۳۶/۱۱ گرم در بوته) در تیمار تنش شوری ملایم (۶۰ میلی‌مولار NaCl) همراه با کاربرد ۳ میلی‌مولار GABA محاسبه شد. کمترین عملکرد اسانس (۹/۶۵ گرم در بوته) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۲۰ میلی‌مولار NaCl) و عدم کاربرد GABA بود (شکل ۸).

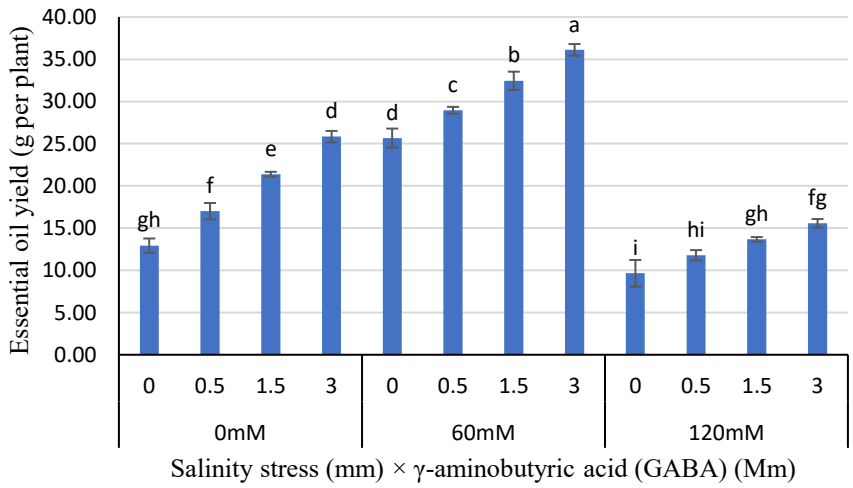

Fig 8 Results of the mean comparison of the interactive effects of salinity stress treatments × γ-aminobutyric acid (GABA) foliar application on the Essential oil yield of *Melissa officinalis*

یکی از پاسخ‌های گیاهان به تنش شوری، افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و تغییر در تولید متابولیت‌های ثانویه مانند اسانس‌ها است [٦]. تحت تنش شوری، جذب آب توسط ریشه‌ها کاهش می‌یابد و تعادل یونی در سلول‌های گیاهی مختل می‌شود. این شرایط منجر به تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند سوپراکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال‌های هیدروکسیل ($OH^•$) می‌شود. ROS در غلظت‌های بالا می‌تواند به لیپیدهای غشایی، پروتئین‌ها و DNA آسیب برساند [١٣]. برای مقابله با این آسیب‌ها، گیاهان سیستم آنتی‌اکسیدانی خود را فعال می‌کنند. این سیستم شامل آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) است که ROS را خنثی می‌کنند. علاوه بر آنزیم‌ها، ترکیبات غیرآنزیمی مانند گلوتاتیون، آسکوربات و فلاونوئیدها نیز در کاهش استرس اکسیداتیو نقش دارند. افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی به گیاه کمک می‌کند تا از آسیب‌های ناشی از ROS جلوگیری کند و بقای خود را در شرایط شوری حفظ نماید [١٢].

تنش شوری مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه مانند ترپنوئیدها، فلاونوئیدها و آلکالوئیدها را تحریک می‌کند. این ترکیبات نقش مهمی در دفاع گیاه در برابر تنش‌های محیطی ایفا می‌کنند. در گیاهان دارویی، تنش شوری باعث افزایش تولید اسانس‌ها می‌شود. اسانس‌ها ترکیبات فرار و معطری هستند که عمدتاً از ترپنوئیدها و مشتقات فنولی تشکیل شده‌اند [١٠]. مطالعات نشان داده‌اند که تنش شوری با افزایش بیان ژن‌های کلیدی در مسیر بیوسنتز ترپنوئیدهاهمراه است. این افزایش بیان ژن‌ها منجر به تولید بیشتر اسانس‌ها می‌شود [١٨].

تنش شوری باعث فعال‌سازی مسیرهای سیگنالینگ مانند مسیر پروتئین کیناز فعال‌شده با میتوژن (MAPK)، و افزایش سطح هورمون‌های گیاهی، مانند اسید آبسیزیک (ABA)، می‌شود. این تغییرات در انتقال پیام، بیان ژن‌های مرتبط با سیستم آنتی‌اکسیدانی و بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه را تنظیم می‌کنند [٩]. همچنین، تنش شوری می‌تواند باعث تجمع ترکیبات سازگارکننده مانند پرولین و GABA (GABA) شود. این ترکیبات نه تنها به عنوان اسمولیت عمل می‌کنند، بلکه در تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بیوسنتز اسانس‌ها نیز نقش دارند [٤٥].

GABA با داشتن خواص آنتی‌اکسیدانی، به کاهش اثرات منفی ناشی از استرس اکسیداتیو کمک می‌کند. با کاهش آسیب به سلول‌ها به دلیل رادیکال‌های آزاد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه بهبود یافته و در عوض، تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد [٤٦]. استفاده از این ماده، پاسخ‌های دفاعی گیاه را تقویت می‌کند. تولید فنول‌ها و فلاونوئیدها به عنوان بخشی از سیستم دفاعی گیاه در برابر آفات و بیماری‌ها عمل می‌کند و در بهبود عملکرد اسانس نیز مؤثر می‌باشند [٤٧].

GABA موجب افزایش فعالیت آنزیم‌هایی که در بیوسنتز فنول‌ها و فلاونوئیدها نقش دارند، می‌شود و به بهبود جذب مواد مغذی در گیاهان کمک می‌کند [٤٣]. مواد مغذی نظیر فسفر و پتاسیم در بیوسنتز فنول‌ها و فلاونوییدها نقش دارند و دسترسی بهتر به این عناصر، به افزایش تولید این ترکیبات کمک می‌کند [٤٨]. GABA بر متابولیسم قندها و چربی‌ها تأثیر می‌گذارد و به عنوان منبع انرژی برای تولیدات ثانویه مانند اسانس‌ها عمل کرده و منجر به افزایش درصد و عملکرد اسانس‌های گیاهی [٤٩] و با تاثیر بر pH و خواص محیطی سلولی موجب بهینه‌سازی شرایط برای سنتز ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدها می‌شود [٤٦].

٤- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد GABA به ویژه با غلظت ٣ میلی‌مولار، اثر تعدیل‌کننده قابل‌توجهی در کاهش خسارات ناشی از تنش شوری در گیاه بادرنجبویه دارد. این تیمار نه تنها موجب بهبود معنادار شاخص‌های رشدی از جمله ارتفاع بوته، وزن تر اندام هوایی و ریشه شد، بلکه به طور خاص بر درصد اسانس تولیدی نیز تأثیر مثبت گذاشت. بیشترین اثر متقابل مثبت در تیمار ترکیبی شوری ٦٠

میلی‌مولار و GABA ۳ میلی‌مولار مشاهده شد که منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس و بهبود محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و متابولیت‌های ثانویه (مانند فنول و فلاونوئید کل) گردید. بر این اساس، به کشاورزان و تولیدکنندگان توصیه می‌شود در مناطق با شوری متوسط (حدود ۶۰ میلی‌مولار) از محلول‌پاشی GABA با غلظت ۳ میلی‌مولار به عنوان یک راهکار عملی برای افزایش همزمان عملکرد اسانس و بهبود شاخص‌های کمی و کیفی محصول بادرنجبویه استفاده نمایند. این روش می‌تواند به عنوان یک راهبرد مدیریتی در کشاورزی پایدار، امنیت اقتصادی کشت این گیاه ارزشمند دارویی را در شرایط تنش شوری تضمین کند.

تأمین مالی

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام فعالیت‌ها توسط نویسنده انجام شده است.

منافع رقابتی

نویسنده تأیید می‌کند که هیچ گونه تضاد منافع مالی یا منافع رقابتی در این مطالعه ندارد.

۵- منابع

[۱] Shahsavari, K., Shams Ardekani, M. R., Khanavi, M., Hajimehdipoor, H. & Akbarzadeh Baghban, A. 2024. Effects of *Melissa officinalis* (lemon balm) consumption on serum lipid profile: A meta-analysis of randomized controlled trials. BMC Complementary Medicine and Therapies. 24(1): 146.

[2] Lipoksenla, L., Kera, V., Nath, S., Kotso, A., Resuh, V., Dutta, A. & Wankhar, W. 2024. *Melissa officinalis*: A review on the antioxidant, anxiolytic, and anti-depressant activity. Biotech Research Asia. 21(2).

[3] Papoti, V. T., Totomis, N., Atmatzidou, A., Zinoviadou, K., Androulaki, A., Petridis, D., Ritzoulis, C. & Tsimidou, M. Z. 2019. Phytochemical content of *Melissa officinalis* L. herbal preparations appropriate for consumption. Processes. 7(2): 88.

[4] Petrișor, G., Motelică, L., Craciun, L. N., Oprea, O., Ficai, D. & Ficai, A. 2022. *Melissa officinalis*: Composition, pharmacological effects and derived release systems—A review. International Journal of Molecular Sciences. 23(7): 3591.

[5] Sharifi-Rad, J., Quispe, C., Herrera-Bravo, J., Akram, M., Abbaass, W., Semwal, P., Painuli, S., Kregiel, D., Suleria, H. A. R., Docea, A. O., Mardare, I., Calina, D., Cho, W. C. & Martins, N. 2021. Phytochemical constituents, biological activities, and health-promoting effects of *Melissa officinalis*. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2021: 1–20.

[6] Shakir, N., Anwaar, S., Jabeen, N., Ahmad, R., Ahmad, S. & Ali, S. 2024. Impact of NaCl stress on phytoconstituents and bioactivity of *Matricaria chamomilla*: A multi-analytical approach. Scientific Reports. 14(1): 19717.

[7] Tran, D. Q., Pham, A. C., Nguyen, T. T. T., Vo, T. C., Vu, H. D., Ho, G. T. & Mohsin, S. M. 2024. Growth, physiological, and biochemical responses of a medicinal plant *Launaea sarmentosa* to salinity. Horticulturae. 10(4): 388.

[8] Rahman, M. M., Mostofa, M. G., Keya, S. S., Siddiqui, M. N., Ansary, M. M. U., Das, A. K., Rahman, M. A. & Tran, L. S.-P. 2021. Adaptive mechanisms of halophytes and their potential in improving salinity tolerance in plants. International Journal of Molecular Sciences. 22(19): 10733.

[9] Borsai, O., Hassan, M. A., Negrușier, C., Raigón, M. D., Boscaiu, M., Sestraș, R. E. & Vicente, O. 2020. Responses to salt stress in Portulaca: Insight into its tolerance mechanisms. Plants. 9(12): 1660.

[10] Kumar, S., Li, G., Yang, J., Huang, X., Ji, Q., Liu, Z., Ke, W. & Hou, H. 2021. Effect of salt stress on growth, physiological parameters, and ionic concentration of water dropwort (*Oenanthe javanica*) cultivars. Frontiers in Plant Science. 12: 660409.

[11] Kabała, K. & Janicka, M. 2024. Relationship between the GABA pathway and signaling of other regulatory molecules. International Journal of Molecular Sciences. 25(19): 10749.

[12] Aljuaid, B. S. & Ashour, H. 2022. Exogenous γ-aminobutyric acid (GABA) application mitigates salinity stress in maize plants. Life. 12(11): 1860.

[13] Tang, M., Li, Z., Luo, L., Cheng, B., Zhang, Y., Zeng, W. & Peng, Y. 2020. Nitric oxide signal, nitrogen metabolism, and water balance affected by γ-aminobutyric acid (GABA) in relation to enhanced tolerance to water stress in creeping bentgrass. International Journal of Molecular Sciences. 21(20): 7460.

[14] Zhu, X., Liao, J., Xia, X., Xiong, F., Li, Y., Shen, J., Wen, B., Ma, Y., Wang, Y. & Fang, W. 2019. Physiological and ITRAQ-based proteomic analyses reveal the function of exogenous γ-aminobutyric acid (GABA) in improving tea plant (*Camellia sinensis* L.) tolerance at cold temperature. BMC Plant Biology. 19(1): 43.

[15] Caspi, Y., Pantazopoulou, C. K., Prompers, J. J., Pieterse, C. M., Hulshoff Pol, H. & Kajala, K. 2023. Why did glutamate, GABA, and melatonin become intercellular signalling molecules in plants? eLife. 12: e83361.
[16] Xu, B., Feng, X., Piechatzek, A., Zhang, S., Konrad, K. R., Kromdijk, J., Hedrich, R. & Gilliham, M. 2024. The GABA shunt contributes to ROS homeostasis in guard cells of *Arabidopsis*. New Phytologist. 241(1): 73–81.
[17] Jalil, S. U., Ahmad, I. & Ansari, M. I. 2017. Functional loss of GABA transaminase (GABA-T) expressed early leaf senescence under various stress conditions in *Arabidopsis thaliana*. Current Plant Biology. 9–10: 11–22.
[18] Ansari, M. I., Jalil, S. U., Ansari, S. A. & Hasanuzzaman, M. 2021. GABA shunt: A key-player in mitigation of ROS during stress. Plant Growth Regulation. 94: 131–149.
[19] Masoudi Sadaghiani, F., Amini Dehaghi, M., Pirzad, A. & Fotokian, M. 2018. Interaction of late season drought stress and foliar application of osmolytes on the yield and yield components of German chamomile (*Chamomilla recutita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 34(3): 492–509.
[20] Ahmadi, H., Farhadi, H., Morshedloo, M. R. & Maggi, F. 2023. Modeling and optimizing concentration of exogenous application of γ-aminobutyric acid on NaCl-stressed pineapple mint (*Mentha suaveolens*) using response surface methodology: An investigation into secondary metabolites and physiological parameters. BMC Plant Biology. 23(1): 309.
[21] Zeinali Pour, N., Aghebati, F. & Nejhad Shahrokh Abadi, B. 2024. Study the effects of salicylic acid and γ-aminobutyric acid on some physiological characteristics of seedling and yield of *Lycopersicum esculentum* cv. Seyran. Journal of Horticultural Science. 37(4): 949–962.
[22] Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24(1): 1–15.
[23] Oroojalian, F., Kasra-Kermanshahi, R., Azizi, M. & Bassami, M. R. 2010. Phytochemical composition of the essential oils from three Apiaceae species and their antibacterial effects on food-borne pathogens. Food Chemistry. 120(3): 765–770.
[24] Chang, C., Yang, M., Wen, H. & Chern, J. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food and Drug Analysis. 10(3): 178–182.
[25] Sun, T., Xu, Z., Wu, C. T., Janes, M., Prinyawiwatkul, W. & No, H. K. 2007. Antioxidant activities of different colored sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). Journal of Food Science. 72(2): S98–S102.
[26] Ranjbar, M., Ghobadi, M., Yamchi, A., & Khorasani, S. K. 2018. Effects of salinity stress on morphological and physiological characteristics of *Cuminum cyminum* L. Journal of Plant Process and Function. 7(25): 1–12.
[27] Yasir, T. A., Khan, A., Skalicky, M., Wasaya, A., Rehmani, M. I. A., Sarwar, N., Mubeen, K., Aziz, M., Hassan, M. M., Hassan, F. A. S., et al. 2021. Exogenous sodium nitroprusside mitigates salt stress in lentil (*Lens culinaris* Medik.) by affecting the growth, yield, and biochemical properties. Molecules. 26(9): 2576.
[28] Islam, S. N. u., Kouser, S., Hassan, P., et al. 2024. Gamma-aminobutyric acid interactions with phytohormones and its role in modulating abiotic and biotic stress in plants. Stress Biology. 4(1): 36.
[29] Wu, X., Jia, Q., Ji, S., Gong, B., Li, J., Lü, G. & Gao, H. 2020. Gamma-aminobutyric acid (GABA) alleviates salt damage in tomato by modulating Na^+ uptake, the GAD gene, amino acid synthesis, and reactive oxygen species metabolism. BMC Plant Biology. 20(1): 1–21.
[30] Zhang, X., Lin, H. M., Hu, H., Hu, X. & Hu, L. 2016. Gamma-aminobutyric acid mediates nicotine biosynthesis in tobacco under flooding stress. Plant Diversity. 38(1): 53–58.
[31] Sita, K. & Kumar, V. 2020. Role of gamma amino butyric acid (GABA) against abiotic stress tolerance in legumes: A review. Plant Physiology Reports. 25(4): 654–663.
[32] Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I., Ab Kadir, S., Halim-Lim, S. A., Ilham, Z., Hajar-Azhari, S. & Saari, N. 2019. Vital parameters for high gamma-aminobutyric acid (GABA) production by an industrial soy sauce koji *Aspergillus oryzae* NSK in submerged-liquid fermentation. Food Science and Biotechnology. 28(6): 1747–1757.
[33] El Haddad, N., Choukri, H., Ghanem, M. E., Smouni, A., Mentag, R., Rajendran, K., Hejjaoui, K., Maalouf, F. & Kumar, S. 2022. High-temperature and drought stress effects on growth, yield, and nutritional quality with transpiration response to vapor pressure deficit in lentil. Plants. 11(1): 95.
[34] Lungoci, C., Motrescu, I., Filipov, F., Rimbu, C. M., Jitareanu, C. D., Ghitau, C. S., Puiu, I. & Robu, T. 2023. Salinity stress influences the main biochemical parameters of *Nepeta racemosa* Lam. Plants. 12(3): 583.
[35] Alijani, S., Raji, M. R., Bistgani, Z. E., Ehtesham Nia, A. & Farajpour, M. 2024. Mitigation of salinity stress in yarrow (*Achillea millefolium* L.) plants through spermidine application. PLoS ONE. 19(6): e0304831.
[36] Farhadi, N. & Ghassemi-Golezani, K. 2020. Physiological changes of *Mentha pulegium* in response to exogenous salicylic acid under salinity. Scientia Horticulturae. 267: 109325.
[37] Hijaz, F., Nehela, Y. & Killiny, N. 2018. Application of gamma-aminobutyric acid increased the level of phytohormones in *Citrus sinensis*. Planta. 248(4): 909–918.

[38] Jiang, Y. 2023. Application of gamma-aminobutyric acid and nitric oxide on turfgrass stress resistance: Current knowledge and perspectives. Grass Research. 3(1): 3.
[39] Li, Y., Fan, Y., Ma, Y., et al. 2017. Effects of exogenous gamma-aminobutyric acid (GABA) on photosynthesis and antioxidant system in pepper (*Capsicum annuum*) seedlings under low light stress. Journal of Plant Growth Regulation. 36(2): 436–449.
[40] Li, M. F., Guo, S. J., Yang, X. H., et al. 2016. Exogenous gamma-aminobutyric acid increases salt tolerance of wheat by improving photosynthesis and enhancing activities of antioxidant enzymes. Biologia Plantarum. 60(1): 123–131.
[41] Gozdur, K., Szopa, A. & Ślesak, H. 2024. Effect of salt stress on growth and phenolic compounds production in callus suspension culture of the dioecious species thyrse sorrel (*Rumex thyrsiflorus* Fingerh.). Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 158(1): 54.
[42] Pungin, A., Lartseva, L., Loskutnikova, V., Shakhov, V., Popova, E., Skrypnik, L. & Krol, O. 2023. Effect of salinity stress on phenolic compounds and antioxidant activity in halophytes *Spergularia marina* (L.) Griseb. and Glaux maritima L. cultured in vitro. Plants. 12(9): 1905.
[43] Hassanein, R. A., Hussein, O. S., Farag, I. A., Hassan, Y. E., Abdelkader, A. F. & Ibrahim, M. 2022. Salt-stressed coriander (*Coriandrum sativum* L.) responses to potassium silicate, humic acid, and gamma irradiation pretreatments. Agronomy. 12(10): 2268.
[44] Cheng, B., Li, Z., Liang, L., Cao, Y., Zeng, W., Zhang, X., Ma, X., Huang, L., Nie, G. & Liu, W. 2018. The γ-aminobutyric acid (GABA) alleviates salt stress damage during seeds germination of white clover associated with Na^+/K^+ transportation, dehydrins accumulation, and stress-related genes expression in white clover. International Journal of Molecular Sciences. 19(9): 2520.
[45] Wu, Q., Su, N., Huang, X., Cui, J., Shabala, L., Zhou, M., Yu, M. & Shabala, S. 2021. Hypoxia-induced increase in GABA content is essential for restoration of membrane potential and preventing ROS-induced disturbance to ion homeostasis. Plant Communications. 2(3): 100188.
[46] Suhel, M., Husain, T., Pandey, A., Singh, S., Dubey, N. K., Prasad, S. M. & Singh, V. P. 2023. An appraisal of ancient molecule GABA in abiotic stress tolerance in plants, and its crosstalk with other signaling molecules. Journal of Plant Growth Regulation. 42(2): 614–629.
[47] Hu, Y., Huang, X., Xiao, Q., Wu, X., Tian, Q., Ma, W., Shoaib, N., Liu, Y., Zhao, H. & Feng, Z. 2024. Advances in plant GABA research: Biological functions, synthesis mechanisms, and regulatory pathways. Plants. 13(13): 2891.
[48] Khan, M. I. R., Jalil, S. U., Chopra, P., Chhillar, H., Ferrante, A., Khan, N. A. & Ansari, M. I. 2021. Role of GABA in plant growth, development, and senescence. Plant Gene. 26: 100283.
[49] Kumari, S., Nazir, F., Jain, K. & Khan, M. I. 2023. GABA and potassium modulate defense systems, assimilation of nitrogen and carbon, and yield traits under salt stress in wheat. Journal of Plant Growth Regulation. 42(4): 1–20.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

The Effect of Gamma-Aminobutyric Acid on Growth and Phytochemical Characteristics of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.) under Salinity Stress

Mahsa Hamidinia[1], Marzieh Ghanbari Jahromi[2*], Fereidon Ghasemkhan-Ghajar [3]

1. M. Sc. student, Department of Horticultural Science, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
2*. Assistant Professor, Department of Horticultural Science, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agronomy, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025/03/17

Review: 2025/09/07

Accepted: 2025/10/05

Keywords:

Elicitor,
Essential oil percentage,
Growth characteristics,
Melissa,
Osmotic stress

DOI: **10.48311/fsct.2026.84008.0**

*Corresponding Author E-

ghanbari@iau.ac.ir

ABSTRACT

γ-aminobutyric acid (GABA) is a biochemical elicitor that can function as an endogenous signaling molecule. Nowadays, the use of GABA to mitigate the effects of environmental stresses and enhance the production of bioactive compounds in plants has become common. This study aimed to investigate the effect of gamma-aminobutyric acid (0, 0.5, 1.5, and 3 mM) on the growth, physiological, and biochemical characteristics of lemon balm (*Melissa officinalis*) under salinity stress (0, 60, and 120 mM) using a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications. The results showed that 120 mM salinity stress significantly reduced morphological traits such as plant height, fresh weight of aerial parts and roots, and photosynthetic pigment content in the plant. The application of 3 mM gamma-aminobutyric acid resulted in the highest levels of phenols, total flavonoids, and antioxidant activity, which were positively correlated. Under moderate salinity stress (60 mM), the essential oil content of the plant increased, but under severe salinity stress (120 mM), the percentage and yield of essential oil decreased. In summary, while lemon balm demonstrates sensitivity to salinity stress, GABA application effectively mitigates its adverse effects by enhancing growth and stimulating production of valuable secondary metabolites. Foliar treatment with 3 mM GABA is recommended as a practical strategy to improve antioxidant capacity and essential oil yield under moderate saline conditions up to 60 mM NaCl, supporting sustainable cultivation of this medicinal plant in affected regions.