

Studying the interaction effect of phenyl alanine and Zn on growth characteristics and photosynthetic pigments of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.)

Abdolghader Momeni¹, Mohammad Moghaddam^{1*}  and Mohammad Mahmoodi Sourestani²

1- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

* Corresponding author, Email: m.moghaddam@um.ac.ir; moghaddam75@yahoo.com

(Received: 6 June 2026; Revised: 24 July 2026; Accepted: 22 August 2026)

Abstract

Research history and purpose: Suitable concentrations of essential micronutrients Zinc (Zn) enhances plant growth and development. Phenylalanine amino acid is one of the growth stimulator with organic and aromatic base cause to increase plant growth and improve the production of aromatic compounds. The aim of this research was to investigate the interaction effect of phenylalanine and Zn element on growth characteristics, photosynthetic pigments and essential oil production of *Tagetes minuta* under greenhouse condition.

Methods: A pot experiment was performed as factorial based on completely randomized design in soilless culture with four replications in research greenhouse in faculty agriculture of Ferdowsi University of Mashhad, Iran. The factors of the experiment included phenyl alanine (150 and 300 mg L⁻¹) and control (distilled water) and Zn element (0, 0.025, 0.05 and 0.1 mg L⁻¹) in Hoglant solution.

Results: The results of this study showed that the highest stem diameter, fresh and dry weight of aerial part and root, and the highest height, number of branches let, root length and volume were observed in 0.025 mg L⁻¹ Zn and 0.05 mg L⁻¹ with 150 mg L⁻¹ phenyl alanine, respectively. The highest photosynthetic pigments were obtained in 0.1 mg L⁻¹ Zn and 300 mg L⁻¹ phenyl alanine. The highest essential oil production (7.01 g per pot) was obtained in 0.1 mg L⁻¹ with 150 mg L⁻¹ phenyl alanine which increased about 2.07 fold compared with control.

Conclusion: The results of this experiment showed that using the low and optimum concentrations of Zn cause to stimulate the growth and the highest concentration (0.1 mg L⁻¹) cause to improve photosynthetic pigments and raising essential oil production of Mexican marigold.

Keywords: Aminoacid, Chlorophyll, Micronutrient, Morphology, Nutrient solution.

مطالعه اثر متقابل محلول پاشی فنیل آلانین و عنصر روی بر خصوصیات رویشی و رنگیزه‌های فتوسنتزی جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.)

عبدالقادر مؤمنی^۱، محمد مقدم^{۱*} و محمد محمودی سورستانی^۲

۱- دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی، مشهد، ایران
۲- دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی، اهواز، ایران
نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: m.moghadam@um.ac.ir

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: غلظت‌های مناسب عنصر ضروری کم مصرف روی (Zn) رشد و نمو گیاهان را افزایش می‌دهد. اسید آمینه فنیل آلانین، از محرک‌های رشدی دارای پایه آلی و آروماتیک، موجب افزایش رشد گیاهان و بهبود تولید ترکیبات معطر می‌گردد. این پژوهش با هدف بررسی اثر متقابل عنصر روی و محلول پاشی فنیل آلانین بر خصوصیات رویشی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان تولید اسانس جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

روش‌ها: آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط کشت بدون خاک با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۴۰۴ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل فنیل آلانین (۱۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر)، شاهد (آب مقطر) و عنصر روی (۰، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ میلی گرم در لیتر) در محلول غذایی هوگلند بود.

نتایج: نتایج این آزمایش نشان داد بیشترین قطر ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، و بالاترین میزان ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، طول و حجم ریشه به ترتیب در تیمار ۰/۰۲۵ میلی گرم در لیتر روی و ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر فنیل آلانین مشاهده شدند. بیشترین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در تیمار ۰/۱ میلی گرم در لیتر روی و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر فنیل آلانین حاصل گردید. بیشترین میزان تولید اسانس (۷/۰۱ گرم در گلدان) در تیمار ۰/۱ میلی گرم بر لیتر روی و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر فنیل آلانین حاصل شد که نسبت به شاهد ۲/۰۷ برابر افزایش نشان داد.

نتیجه گیری کلی: نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که استفاده از غلظت‌های پایین و بهینه روی موجب تحریک رشد و غلظت بالای آن (۰/۱ میلی گرم در لیتر) موجب بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش میزان تولید اسانس جعفری مکزیکی گردید.

واژه‌های کلیدی: اسید آمینه، عناصر کم مصرف، کلروفیل، محلول غذایی، مورفولوژی.

در کنار کاربرد کودها استفاده از محرک‌های زیستی نیز می‌تواند در رشد و کیفیت گیاه مؤثر باشد. محرک‌های زیستی مواد بیولوژیکی هستند که باعث تحریک متابولیسم و فرایندهای متابولیکی در جهت افزایش کارایی گیاهان می‌شوند و از جمله این ترکیبات می‌توان به اسیدهای آمینه اشاره کرد (Rahmani et al., 2019). اسیدهای آمینه مولکول‌های آلی هستند که حاوی نیتروژن، کربن، هیدروژن و اکسیژن بوده و در ساختار خود زنجیره جانبی ارگانیک دارند (Buchanan et al., 2015) و به دلیل اینکه از اجزای آنزیم‌ها هستند، اهمیت زیادی در انجام فرایندهای فیزیولوژیک و متابولیک دارند (Wu, 2009). محرک‌های رشد در گیاه به مقدار کم وجود دارند اما برای رشد و نمو گیاه ضروری هستند (Thakur and Kumar, 2020). محلول‌پاشی با اسید آمینه سبب افزایش رشد و گیاهان می‌شود (Faten et al., 2010; Sowmya et al., 2023). علاوه بر این استفاده از محرک‌های زیستی و غیر زیستی از روش‌هایی است که به‌منظور افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله ترپنوئیدها به‌کار می‌رود (Ghasemi et al., 2017; Sowmya et al., 2023). اسیدهای آمینه ترکیبات نیتروژن‌دار هستند و محلول‌پاشی گیاهان با آن‌ها سبب افزایش دسترسی بیشتر سلول‌ها به نیتروژن جهت تولید ترکیبات ترپنوئیدی و در نتیجه منجر به افزایش میزان اسانس می‌شوند (Alcazar et al., 2010; Hasanabadi et al., 2024). فنیل آلانین یکی از محرک‌های رشدی دارای پایه آلی و آروماتیک و از مهم‌ترین اسیدهای آمینه در سنتز پروتئین گیاهی می‌باشد و به‌عنوان پیش‌ساز فنیل آلانین آمونیا لایز (PAL) در مسیر فنیل پروپانوئید نقش کلیدی دارد (Govindaraju and Indra, 2018). (Arulselvi et al., 2019). گزارش شده محلول‌پاشی فنیل آلانین موجب افزایش پارامترهای رشدی ریحان گردید (Reham et al., 2016). (Aghaei et al., 2019). در مطالعات قبلی نقش مؤثر فنیل آلانین در افزایش عملکرد کمی

جعفری مکزیک (*Tagetes minuta* L.) گیاهی یکساله، علفی، معطر، با ساقه‌ای عمودی، دارای شاخه‌های فرعی فراوان و بومی آمریکای جنوبی از خانواده کاسنی (Asteraceae) می‌باشد که در درمان بیماری‌های مختلف از جمله ناراحتی‌های معده و روده کاربرد دارد. متابولیت‌های ثانویه موجود در این گیاه شامل اسانس، فلاونوئیدها و تیوفن است. از اسانس این گیاه در صنایع غذایی، داروسازی و عطرسازی استفاده می‌شود (Waila et al., 2020 a, b).

در تولید گیاهان دارویی علاوه بر عوامل خاک و شرایط آب و هوایی، عناصر غذایی به دلیل تأثیر بر رشد گیاهان، کیفیت و کمیت اسانس از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند (Van Wyk and Wink, 2018). استفاده از کودهای شیمیایی یکی از مهم‌ترین راهکارهای تغذیه گیاهی می‌باشد و به‌عنوان سریع‌ترین روش برای جبران کمبود عناصر غذایی، افزایش میزان و کیفیت محصول گیاهان دارویی از طریق افزایش مواد مؤثره تأثیر دارند (Van Wyk and Wink, 2018). عنصر روی (Zn) یکی از عناصر معدنی ضروری کم مصرف در تغذیه گیاهان می‌باشد که در غلظت‌های مناسب رشد و نمو گیاهان را افزایش می‌دهد (Tabatabaei, 2002; Taiz and Zeiger, 2002). روی به‌عنوان یک جزء فلزی آنزیم‌های مختلف یا کوفاکتور ساختاری یا تنظیمی عمل می‌کند، بنابراین با فتوسنتز، متابولیسم ساکاریدها و ساخت پروتئین‌ها رابطه دارد (El-Fouly et al., 2011). کمبود روی سبب کلروز بین رگبرگی برگ‌های جوان می‌شود و بر عملکرد اسانس و رشد رویشی گیاه اثرات متفاوتی دارد (Borowiak et al., 2013; Mukhopadhyay et al., 2015). نتایج حاصل از یک پژوهش نشان داد که حذف عنصر روی سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در ماده خشک کل، محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید بومادران گردید (Alvarenga et al., 2015). مطالعه دیگری اثر سطوح مختلف عنصر روی بر خصوصیات رشدی آنیسون^۱ (Tavallali et al., 2018) و نعناع فلفلی^۲

و کیفی اسانس گیاهان دارویی گل محمدی *Rosa damascena* Mill (Rajabzadeh et al., 2024)؛ مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) (Rahmani Samani et al., 2019)؛ زوفا مرزه (*Hyssopus officinalis* L.) (Aghaei et al., 2019)؛ رازیانه (*Satureja hortensis*) (Poorghadir et al., 2020) و فانیچون (*Foeniculum vulgare*) (Elsayed et al., 2022) گزارش شده است.

با توجه به اینکه تولید گیاهان دارویی و معطر تحت تأثیر محیط کشت قرار می‌گیرند، انتخاب سطح بهینه عناصر ضروری به منظور رسیدن به حداکثر عملکرد اقتصادی بسیار مهم است. با توجه به اهمیت عنصر روی و اسید آمینه فنیل آلانین بر خصوصیات رشدی و کیفیت گیاهان دارویی آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر متقابل استفاده از سطوح مختلف سولفات روی و محلول پاشی فنیل آلانین بر ویژگی‌های رشدی و میزان اسانس جعفری مکزیکی به عنوان مهم‌ترین ماده مؤثره این گیاه برای نخستین بار مورد بررسی قرار گرفت. هدف این پژوهش، معرفی مناسب‌ترین غلظت محرک رشدی فنیل آلانین و عنصر روی به منظور بالا بردن شاخص‌های کمی و کیفی جعفری مکزیکی از جمله عملکرد رشدی و میزان اسانس این گیاه دارویی ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر متقابل عنصر روی و اسید آمینه فنیل آلانین بر خصوصیات رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان تولید اسانس گیاه دارویی جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) مطالعاتی براساس آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. فاکتور اول شامل عنصر روی به صورت سولفات روی مصرفی در محلول هوگلند در ۴ سطح (۰ (حذف عنصر روی از محلول هوگلند)، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵ و (غلظت عنصر روی در محلول هوگلند)، ۰/۱ میلی گرم بر لیتر) و فاکتور دوم اسید آمینه فنیل آلانین به صورت محلول پاشی در ۳

سطح (۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی گرم در لیتر) بود. جهت انجام این آزمایش بذور جعفری مکزیکی در سینی کشت حاوی محیط کشت با نسبت مساوی کوکوپیت و پرلایت کشت شدند و سپس در مرحله ۴ برگی به گلدان‌های ۱۲ کیلوگرمی با قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی متر و حاوی بستر ماسه شسته شده (به طور کامل و چندین بار با اسید کلریدریک ۳٪ و آب مقطر پیش از کشت شسته شدند) انتقال داده شدند. به منظور اعمال تیمارهای آزمایشی محلول‌های غذایی هوگلند با اندکی تغییرات در این آزمایش استفاده شد (Hoagland and Arnon, 1950) و نمک‌های مورد نظر مبتنی بر غلظت عناصر در فرمول غذایی هوگلند (شامل ۵۰/۵۵ گرم بر لیتر نترات پتاسیم (KNO_3), ۲۷/۲۲ گرم بر لیتر مونوفسفات پتاسیم (KH_2PO_4), ۴۹/۳۰ گرم بر لیتر سولفات منیزوم ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), ۱۱۸ گرم در لیتر نترات کلسیم ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$) و ۵ گرم در لیتر سکوسترین آهن) و ۱۰۰ میلی لیتر ریز مغذی غلیظ حاوی ۲/۸۵ گرم در لیتر اسید بوریک (H_3BO_3), ۱/۵۳ گرم در لیتر سولفات منگنز ($MnSO_4 \cdot H_2O$), ۰/۲۲ گرم در لیتر سولفات روی ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), ۰/۰۷۸ گرم در لیتر سولفات مس ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), ۰/۰۲۰ گرم در لیتر اسید مولیبدیک ($MoO_3 \cdot 2H_2O$) ترکیب شدند و پس از تنظیم pH (۵/۶-۵/۸) و EC (۱-۱/۳ دسی‌زیمنس بر متر) در اختیار گیاهان قرار گرفت. محلول‌دهی گیاهان به صورت دستی و با توجه به مرحله رشدی و فصل رشد گیاه انجام شد. محلول پاشی با فنیل آلانین (تهیه شده از شرکت سیگما آلدریج) پس از استقرار کامل گیاهان و دو هفته پس از شروع اعمال تیمارهای سطوح مختلف عنصر روی هر ۱۵ روز یک بار تا یک هفته قبل از برداشت اعمال شد.

گلدان‌ها پس از کشت تا پایان آزمایش در گلخانه با دمای محیط در طی روز 25 ± 2 و در شب 18 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی حدود ۷۰٪ نگهداری شدند. کلیه عملیات داشت برای تمام گیاهان به صورت یکسان انجام شد. EC زه آب خروجی گلدان‌ها هفته‌ای دوبار اندازه‌گیری شد و در صورت لزوم آبیاری گلدان‌ها به منظور جلوگیری از تجمع نمک با آب مقطر انجام شد.

گیاهان در مرحله گلدهی برداشت شدند و خصوصیات رشدی آن‌ها بررسی شدند. پارامترهای رشدی شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌فرعی، تعداد گره، قطر ساقه (در محل گره اول بالای سطح خاک و ناحیه یقه گیاه)، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، طول ریشه و حجم ریشه با استفاده از روش‌های رایج اندازه‌گیری شدند. برای تعیین وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و توزین شدند. ارتفاع بوته با خط کش و قطر ساقه با کولیس اندازه‌گیری شدند و در هر صفت میانگین چهار بوته محاسبه و در هر تکرار ثبت شد. اندازه‌گیری میزان کلروفیل a و b، کارتنوئید و کلروفیل کل با روش در و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد. بدین صورت که ۰/۵ گرم از نمونه تازه گیاهی با ۵ میلی‌لیتر متانول عصاره‌گیری شده و سپس به منظور اندازه‌گیری رنگی‌های فتوستیزی عصاره تهیه شده در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UK Bio Quest C250) و در طول موج‌های ۶۵۳، ۶۶۶ و ۴۷۰ نانومتر قرار گرفت و میزان رنگی‌های فتوستیزی محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری میزان تولید اسانس، اسانس پیکر روشی خشک گیاه در هر گلدان به روش تقطیر با آب به وسیله کلونجر به مدت ۳ ساعت استخراج شد. داده‌ها پس از نرمال کردن، توسط نرم افزار Minitab 17 آنالیز شدند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Bonferoni در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات رویشی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش کاربرد عنصر روی و محلول‌پاشی فنیل آلانین بر خصوصیات مورفولوژیکی جعفری مکزیکی شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول و حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). درحالی‌که این برهم‌کنش بر تعداد گره، قطر ساقه و وزن تر ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

مقایسه میانگین برهم‌کنش عنصر روی و فنیل آلانین نشان داد

بیش‌ترین قطر ساقه (۵/۰۷ میلی‌متر)، وزن تر (۱۵/۹۶ گرم) و خشک اندام هوایی (۵/۰۷ گرم در بوته)، وزن تر (۴/۳۸ گرم در بوته) و خشک ریشه (۰/۸۸ گرم در بوته)، در تیمار ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر روی و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر فنیل آلانین مشاهده شد، هر چند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با برخی از تیمارهای دیگر نداشت (جدول ۲). بیشترین ارتفاع گیاه (۱۰۰/۸۷ سانتی‌متر)، تعداد شاخه فرعی (۲۱/۵)، طول ریشه (۲۹/۵۶ سانتی‌متر) و حجم ریشه (۵/۶۹ میلی‌متر مکعب) در تیمار ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر روی و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر فنیل آلانین مشاهده شد، هر چند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با برخی از تیمارهای دیگر نداشت (جدول ۲).

بیشترین تعداد گره (۲۵/۸۷) در تیمار ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر روی و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر فنیل آلانین مشاهده شد، هر چند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با برخی از تیمارهای دیگر نداشت (جدول ۲).

مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق، کاربرد عنصر روی سبب تحریک رشد در گیاهان آیسون (Pirzad et al., 2013)، ریحان (Azizian-shermeh et al., 2018) و نعنای فلفلی (Mehdizadeh et al., 2022) گردید. با توجه به اینکه عنصر روی به‌عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها در بیوسنتز اسید آمینه تربیتوفان به ایندول استیک اسید و همچنین در بیوسنتز اکسین به‌عنوان یک هورمون محرک رشد نقش دارد، می‌تواند سبب افزایش شاخص‌های رشدی گیاه گردد (Ghorbanali and Babalar, 2003; Umair Hassan et al., 2020). اکسین محرک طویل شدن ساقه و کولتوپتیل می‌باشد و این هورمون از طریق انتقال پروتئین‌ها به دیواره، تغییر در کلسیم سیتوزولی و کاهش pH در غشای سلول‌ها سبب افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌ها و تحریک رشد گیاه می‌شود (Taiz, and Zeiger, 2002). علاوه بر این عنصر روی از طریق فعالسازی آنزیم‌های مربوط به فرآیند تکثیر و طویل شدن سلول‌ها می‌تواند سبب تحریک رشد گیاه شود (Mangal et al. 2013). نتایج مطالعات قبلی نشان داده است که اسیدهای آمینه می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف محلول پاشی فنیل آلانین و عنصر روی بر خصوصیات رویشی گیاه جعفری مکزیک

Table 1. Variance analysis of the effect of different levels of foliar application of phenylalanine and Zinc on growth characteristics and photosynthetic pigments of Mexican marigold

Root volume	Root length	Dry weight of root	Fresh weight of root	Dry weight of aerial parts	Fresh weight of aerial parts	Number of node	Diameter of stem	Number of branchlet	Height	df	Sources of variation
قطر ریشه	طول ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی	تعداد گره	قطر ساقه	تعداد شاخه فرعی	ارتفاع	درجه آزادی	منابع تغییرات
3.26**	154.81**	0.05 ^{ns}	3.66**	1.39**	25.29**	6.53**	0.95**	7.24*	453.10**	3	Zinc(Zn) روی
19.75**	132.41**	0.41**	17.72**	7.32**	113.43**	25.24**	2.85**	11.37**	1501.32**	2	فنیل آلانین Phenylalanine
1.71**	12.94**	0.07**	1.41*	3.67**	45.94**	4.80*	0.39*	5.97**	163.69**	6	Zn×phenylalanine روی × فنیل آلانین
0.73	13.06	0.02	0.47	0.14	4.82	1.62	0.06	2.00	38.11	36	Error خطا

ns, **, * به ترتیب عدم تفاوت معنی دار، معنی داری در سطح یک و ۵ درصد

***, ns mean non- significant, significant at 1 and 5% probability, respectively.

جدول ۲: مقایسه میانگین بر همکنش کاربرد عنصر روی و محلولپاشی فنیل آلانین بر خصوصیات رشدی جعفری مکزیکی

Table 2. Mean comparisons of the interaction effect of Zinc nutrient application and foliar application of phenylalanine on growth characteristics of Mexican marigold

Root volume (mm ³) حجم ریشه (میلی متر مکعب)	Root length (Cm) طول ریشه (سانتی متر)	Dry weight of root (g/plant) وزن خشک ریشه (گرم در گیاه)	Fresh weight of root (g/plant) وزن تر ریشه (گرم در گیاه)	Dry weight of aerial parts (g/plant) وزن خشک اندام هوایی (گرم در گیاه)	Fresh weight of aerial parts (g/plant) وزن تر اندام هوایی (گرم در گیاه)	Number of node تعداد گره	Diameter of stem (mm) قطر ساقه (میلی متر)	Number of branchlet تعداد شاخه فرعی	Height (Cm) ارتفاع (سانتی متر)	Phenyl alanine (mg/L) فنیل آلانین (میلی گرم در لیتر)	Zinc (Zn) (mg/L) روی (میلی گرم در لیتر)
3.62 ^{a-d}	16.40 ^{bc}	0.53 ^{a-c}	2.69 ^{a-d}	2.86 ^{c-e}	9.09 ^{b-d}	22 ^{cd}	4.18 ^{ed}	17.12 ^b	79.50 ^{b-d}	0	
3.81 ^{a-d}	18.50 ^{bc}	0.61 ^{a-c}	2.94 ^{a-c}	4.17 ^{ab}	13.63 ^{ab}	23.94 ^{a-c}	4.65 ^{a-c}	18.62 ^{ab}	86.62 ^{a-c}	150	0
1.94 ^d	13.87 ^c	0.23 ^c	1.12 ^d	1.32 ^f	2.71 ^e	20.62 ^d	3.45 ^e	17.00 ^b	68.75 ^d	300	
3.67 ^{A-d}	16.47 ^{bc}	0.61 ^{a-c}	3.25 ^{a-c}	3.27 ^{b-d}	10.91 ^{a-d}	22.37 ^{b-d}	4.65 ^{a-c}	18.87 ^{ab}	94.25 ^{ab} *	0	
5.12 ^{ab}	21.12 ^{a-c}	0.88 ^a	4.38 ^a	5.07 ^a	15.96 ^a	23.12 ^{a-d}	5.07 ^a	18.87 ^{ab}	99.19 ^a	150	0.025
3.00 ^{b-d}	15.62 ^{bc}	0.43 ^{bc}	1.67 ^{cd}	2.17 ^{ef}	5.56 ^{de}	22.87 ^{a-d}	3.78 ^{de}	17.00 ^b	75.12 ^{cd}	300	
4.62 ^{a-c}	23.62 ^{ab}	0.73 ^{ab}	3.82 ^{ab}	3.39 ^{bc}	11.65 ^{a-e}	23.00 ^{a-d}	4.75 ^{a-c}	18.12 ^{ab}	96.34 ^a	0	
5.69 ^a	29.56 ^a	0.74 ^{ab}	4.35 ^a	3.68 ^{bc}	12.77 ^{a-c}	23.25 ^{a-d}	4.90 ^{ab}	21.5 ^a	100.87 ^a	150	0.05
2.50 ^{cd}	20.12 ^{bc}	0.58 ^{a-c}	2.55 ^{b-d}	3.05 ^{c-e}	9.58 ^{b-d}	22.62 ^{a-d}	4.66 ^{a-c}	18.75 ^{ab}	90.50 ^{a-c}	300	
4.50 ^{a-c}	21.25 ^{a-c}	0.72 ^{ab}	4.31 ^{ab}	3.33 ^{bc}	11.21 ^{a-d}	25.47 ^{ab}	4.71 ^{a-c}	18.5 ^{ab}	98.50 ^a	0	
3.44 ^{b-d}	22.50 ^{A-c}	0.82 ^a	4.35 ^a	3.14 ^{c-e}	11.58 ^{a-c}	25.87 ^a	4.31 ^{b-d}	20.41 ^{ab}	100.12 ^a	150	0.1
2.19 ^d	17.62 ^{bc}	0.44 ^{bc}	1.64 ^{cd}	2.31 ^{de}	7.36 ^{c-e}	21.50 ^{cd}	3.88 ^{de}	17.75 ^b	79.25 ^{b-d}	300	

* : حروف مشابه در هر ستون به مفهوم عدم وجود اختلاف معنی دار تفاوت میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون Bonferoni می باشد

In each column, means with similar letters are not significantly different (Bonferoni, P<0.05).

فعالیت‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی گیاهان به‌ویژه گیاهان دارویی و معطر اثر بگذارند (Rahmani Samani et al., 2019). اسیدهای آمینه با بهبود میکروارگانیسم‌های موجود در خاک، موجب تسهیل جذب مواد مغذی می‌شوند. اسیدهای آمینه پیش‌سازها یا فعال‌کننده‌های فیتوکروم‌ها و مواد رشدی هستند (Barrett, 2012). در سال‌های اخیر محققان زیادی اثر محلول‌پاشی اسیدهای آمینه را مطالعه کردند و افزایش قابل توجه در رشد گیاهی و ترکیبات شیمیایی در برخی گیاهان دارویی را گزارش دادند. مطابق با یافته‌های این آزمایش نتایج تحقیقات قبلی نشان داد که محلول‌پاشی با فنیل آلانین موجب افزایش معنادار صفات رشدی مانند ارتفاع بوته، قطر بوته، وزن تر و خشک بوته در نوعی ریحان^۳ (Reham et al., 2016)، برنجاسف جنوبی^۴ (El-Zefzafy et al., 2016) و زوفا (Aghaie et al., 2022) گردید. در مطالعات قبلی محلول پاشی فنیل آلانین موجب افزایش معنادار صفات رشدی (ارتفاع، قطر ساقه، وزن تر و خشک بوته) نوعی ریحان^۵ (Reham et al., 2016)، نعنای دشتی (Salehi and Ebhadi, 2025) و مرزه (Poorghadir et al., 2020)، افزایش وزن تر و خشک بوته مریم گلی (Hasan Abadi et al., 2022)، افزایش معنادار خصوصیات رشدی مانند ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک بوته و افزایش میزان عملکرد ماده مؤثره برنجاسف جنوبی^۶ (El-Zefzafy et al., 2016) گردید که با مطالعات این تحقیق مطابقت دارند.

در شرایط نامساعد عمل ساخت اسیدهای آمینه کاهش‌یافته یا متوقف می‌شود در صورت تأمین اسیدهای آمینه از طریق محلول پاشی نیاز به ساخت آن‌ها توسط گیاه کاهش‌یافته و به گیاه امکان می‌دهد انرژی ذخیره شده در خود را صرف رشد بیشتر و بالا بردن عملکرد و کیفیت محصول نماید (Belal et al., 2016). افزایش وزن تر بوته با کاربرد اسیدهای آمینه می‌تواند دلیل توانایی اسیدهای آمینه در بهبود فرایندهای بیوشیمیایی و سوخت و ساز گیاهان باشد (Golzadeh et al., 2011). اگر

اسیدهای آمینه از طریق محلول‌پاشی تأمین شود، نیاز گیاه به ساخت آن‌ها کاهش می‌یابد و به گیاه اجازه می‌دهد انرژی ذخیره شده خود را صرف رشد بیشتر و افزایش عملکرد و کیفیت محصول کند (Belal et al., 2016). علاوه بر این افزایش رشد و عملکرد گیاه با کاربرد فنیل آلانین را می‌توان به نقش اسیدهای آمینه در افزایش و بهره‌وری متابولیسم گیاه، تسهیل جذب مواد مغذی، بالا بردن روند تنفس گیاهی، فتوسنتز، سنتز پروتئین، افزایش ویژگی‌های کیفی و در نهایت تقویت رشد و عملکرد گیاه نسبت داد (Davies, 2010; Calvo et al., 2014).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بر همکنش عنصر روی و فنیل آلانین بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد (جدول ۳).

بیشترین محتوای کلروفیل a (۶/۸۱ میلی گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۶/۴۴ میلی گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل کل (۱۳/۲۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) در بالاترین سطح روی (۱ میلی گرم در لیتر) و فنیل آلانین (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) مشاهده شد. بیشترین میزان کاروتنوئید (۲/۳۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار صفر روی و فنیل آلانین (۳۰۰ میلی گرم در لیتر) مشاهده شد (جدول ۴).

میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان یکی از مشخصه‌های گونه‌های گیاهی می‌باشد. بررسی تغییرات محتوای کلروفیل a، b و کل برگ جعفری مکزیکی نشان داد که میزان این رنگیزه‌های فتوسنتزی با کاربرد عنصر روی افزایش یافت که با نتایج حاصل از تحقیق سایر محققان مطابقت دارد. نتایج حاصل از پژوهش‌های قبلی نشان دادند که تیمار با عنصر روی سبب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان آنیسون (Pirzad et al., 2013)، ریحان (Azizian-shermeh et al., 2018; Burbulis et al., 2023) و نعنای فلفلی (Mehdizadeh et al., 2022) گردید که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف محلول‌پاشی فنیل آلانین و عنصر روی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه جعفری مکزیکی

Table 3. Variance analysis of the effect of different levels of foliar application of phenylalanine and Zinc on photosynthetic pigments of Mexican marigold

Means of square میانگین مربعات						Sources of variation منابع تغییرات
Essential oil production تولید اسانس	Carotenoid content محتوای کاروتنوئید	Total chlorophyll content محتوای کلروفیل کل	b chlorophyll content محتوای کلروفیل b	a chlorophyll content محتوای کلروفیل a	df درجه آزادی	
3.95**	0.19**	13.34**	3.35**	4.07**	3	Zinc(Zn) روی
3.65**	0.66**	9.04**	1.96**	3.01**	2	فنیل آلانین
5.51**	0.16**	8.55**	3.14**	2.13**	6	Phenylalanine Zn×phenylalanine روی × فنیل آلانین
0.84	0.22	0.11	0.07	0.04	36	Error خطا

ns, **, ns به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار، معنی‌داری در سطح یک و ۵ درصد
ns mean non- significant, significant at 1 and 5% probability, respectively. **

این افزایش می‌تواند به علت نقش عملکردی این عنصر در فعالسازی پروتئین سنتتازهای مسیر بیوسنتز کلروفیل، راه اندازی برخی آنزیمهای مسیر بیوسنتز کلروفیل و نیز برخی از آنزیمهای آنتی اکسیدان مانند پراکسیداز در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن باشد (Ghorbanali and Babalar, 2003; Borowiak et al., 2015). افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی سازوکاری دفاعی در برابر مسموم شدن ناشی از عنصرروی تلقی می‌شود. تجمع کلروفیل در گیاهانی که با روی تیمار می‌شوند به تحمل آن گیاه نسبت به مسموم شدن با عنصرروی بستگی دارد (Borowiak et al., 2015). همچنین در این آزمایش میزان کلروفیل‌های جعفری مکزیکی با افزودن عنصر روی در تمام غلظت‌ها در مقایسه با تیمار فاقد روی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت؛ ولی میزان کاروتنوئید کاهش یافت. کاروتنوئیدها در بسیاری از جنبه‌های فتوسنتز دخیل هستند. در این مطالعه مطابق با نتایج حاصل از تحقیقات قبلی، حذف عنصر روی سبب افزایش میزان کاروتنوئید گردید. کاهش تجمع کاروتنوئیدها در پاسخ به غلظت‌های زیاد روی در گذشته گزارش شده است. در بالاترین غلظت روی میزان کاروتنوئیدهای گیاه نعنای فلفلی (Mehdizadeh et al., 2022) و برخی سبزیجات (Mangal et al., 2013) افزایش یافت. تأثیر غلظت‌های مختلف عنصر روی بر میزان کاروتنوئیدهای کل گیاه نشان‌دهنده محافظت سلول‌ها در برابر تغییرات اکسیداتیو می‌باشد (Borowiak et al., 2015). کاروتنوئیدها علاوه بر اینکه به‌صورت رنگیزه‌های کمکی در جذب نور دخالت دارند، از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی می‌باشند که با فروکش کردن کلروفیل برانگیخته از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدها در شرایط تنش جلوگیری می‌کنند و می‌توانند در کاهش غلظت یون

جدول ۴. مقایسه میانگین بر هم کنش کاربرد عنصر روی و محلول پاشی فنیل آلانین بر میزان رنگیزه های فتوسنتزی جعفری مکزیکی

Table 4. Mean comparisons of the interaction effect of Zinc nutrient application and foliar application of phenylalanine on photosynthetic pigments of Mexican marigold

Essential oil production تولید اسانس (گرم در گلدان)	Carotenoid content (mg/gFW) محتوای کاروتنوئید (میلی گرم در گرم وزن تر)	Total chlorophyll content (mg/gFW) محتوای کلروفیل کل (میلی گرم در گرم وزن تر)	Chlorophyll b content (mg/gFW) محتوای کلروفیل b (میلی گرم در گرم وزن تر)	a content Chlorophyll (mg/gFW) محتوای کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن تر)	Phenyl alanine (mg/L) فنیل آلانین (میلی گرم در لیتر)	Zinc (mg/L) (Zn) روی (میلی گرم در لیتر)
3.39 ^c 4.14 ^{bc}	1.36 ^d 1.43 ^{cd}	6.39 ^g 7.50 ^f	2.42 ^e 3.39 ^{cd}	3.97 ^g 4.11 ^g	0 150	0
3.67 ^c 3.67 ^c	2.37 ^a 1.51 ^{cd}	10.13 ^{bc} 7.19 ^f	3.61 ^{cd} 2.95 ^{de}	6.52 ^{ab} 4.24 ^{fg}	300 0	
5.29 ^{a-c} 4.04 ^{bc}	1.51 ^{cd} 1.52 ^{cd}	8.6 ^{ef} 8.89 ^{de}	4.04 ^{bc} 4.13 ^{bc}	4.56 ^{fg} 4.76 ^{ef}	150 300	0.025
4.16 ^{bc} ab 6.15	1.61 ^{b-d} 1.81 ^{b-d}	8.57 ^{ef} 9.72 ^{cd}	3.34 ^{cd} 3.78 ^{b-d}	5.23 ^{de} 5.94 ^{bc}	0 150	0.05
4.72 ^{a-c} 4.47 ^{bc}	d-1.84 ^b 1.62 ^{b-d}	10.37 ^b 9.45 ^{cd}	4.07 ^{bc} 4.16 ^{bc}	6.30 ^{ab} 5.29 ^{de}	300 0	
7.01 ^a 5.28 ^{a-c}	1.87 ^{bc} 2.08 ^{ab}	10.06 ^{bc} 13.26 ^a	4.64 ^b 6.44 ^a	5.42 ^{cd} 6.81 ^a	150 300	0.1

* : حروف مشابه در هر ستون به مفهوم عدم وجود اختلاف معنی دار تفاوت میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون Bonferoni می باشد

In each column, means with similar letters are not significantly different (Bonferoni, P<0.05).

سوپراکسید نقش داشته باشند و سبب کاهش تشکیل رادیکالهای هیدروکسید شوند و ساختارهای فتوستتزی را در برابر آسیب‌های اکسیداسیون نوری محافظت می‌کنند (Borowiak et al., 2015). فنیل آلانین با فراهمی نیتروژن و کربن برای گیاه در بهبود فتوستتزی و تولید کلروفیل نقش دارد (Wen et al., 2022). کاربرد فنیل آلانین سبب افزایش رنگیزه‌های فتوستتزی گیاه مورینگا (Atteya et al., 2022)، حفظ و افزایش کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ بادرنجبویه^۷ در شرایط تنش و عدم تنش گردید (Yazdanpanahi et al., 2024) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. از سوی دیگر، محلول پاشی ال-فنیل آلانین از طریق بهبود سیستم تغذیه‌ای گیاه و ساخت آنزیم‌ها سبب افزایش کلروفیل می‌شود که مطابق با یافته‌های حاصل از این تحقیق در مریم گلی نیز مشاهده گردید (Al-mohammad et al., 2021; Farsaraei et al., 2025). همچنین فنیل آلانین با تحریک تولید پروتئین‌های ساختاری، آنزیم‌های مرتبط با فتوستتزی و تولید کلروفیل، بازده فتوستتزی و تجمع رنگیزه‌ها را افزایش می‌دهد (Li et al., 2023).

تولید اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر برهمکنش عنصر روی و اسید آمینه فنیل آلانین بر میزان تولید اسانس جعفری مکزیکی در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان تولید اسانس (۷/۰۱ گرم در گلدان) در تیمار ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر روی و محلول‌پاشی با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر فنیل آلانین حاصل شد که نسبت به شاهد ۲/۰۷ برابر افزایش نشان داد، هر چند از نظر آماری این تیمار با برخی تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). میزان اسانس گیاهان دارویی و معطر تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد مانند ژنتیک گیاه، عمر گیاه، تغذیه و زمان برداشت گیاه قرار می‌گیرد (Rouphael et al., 2008). در پژوهش‌های قبلی تأثیر عنصر روی بر میزان اسانس گیاهان معطر گزارش شده است. نتایج مطالعات پیشین نشان داد

که کاربرد کود حاوی عنصر روی سبب افزایش معنی‌دار اسانس ریحان (Hanif, et al., 2017)، نعناع فلفلی (Mehdizadeh et al., 2022) و بادرنجبویه^۸ (Hassani Moghadam et al., 2020) گردید که با نتایج پژوهش حاضر همسو می‌باشند. عنصر روی در فتوستتزی و متابولیسم ساکاریدها نقش دارد. با توجه به اینکه CO₂ و گلوکز از منابع احتمالی کربن مورد استفاده در بیوستتزی ترپن‌ها می‌باشند، بنابراین نقش عنصر روی در ساخت و تجمع اسانس بسیار مهم و مؤثر است و از این طریق سبب افزایش میزان اسانس می‌شود. علاوه بر این با توجه به اثر عنصر روی در رشد و نمو گیاه، به نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش میزان اسانس فعالیت فتوستتزی گیاه و نقش این عنصر در فعالیت ساختمان کلروپلاست می‌باشد که این افزایش می‌تواند منجر به تولید بیش‌تر غدد ترشح‌کننده اسانس در برگ شود (Hassani Moghadam et al., 2020). همچنین روی در سنتز تریپتوفان که پیش‌ماده اکسین می‌باشد دخالت دارد و این عنصر غذایی می‌تواند موجب توازن عناصر غذایی در گیاه و در نهایت افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه شود (Karami-chameh et al., 2013). یکی از دلایل بیشتر شدن مقدار اسانس را می‌توان به دلیل افزایش فعالیت فتوستتزی گیاه و تأثیر افزایش جذب عناصر غذایی در ساختمان و کارکرد کلروپلاست دانست که این افزایش ممکن است به تولید بیشتر غده‌های ترشح‌کننده اسانس در برگ منجر می‌شود. به نظر می‌رسد افزایش تولید کلروفیل، سبب افزایش بافت‌های فتوستتزی، افزایش رشد برگ‌ها و در نهایت منجر به افزایش عملکرد اسانس خواهد شد (Ali, 2021; Abdul-Hafeez and Ibrahim, 2021). از سوی دیگر، کاربرد اسیدهای آمینه موجب جذب بیشتر عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر می‌شود که با افزایش این عناصر در گیاه مقدار اسانس گیاهان دارویی افزایش می‌یابد (Rezakhani and HajSeyed Hadi, 2017). نتایج بسیاری از مطالعات قبلی حاکی از آن است که وجود نیتروژن با افزایش مقدار و عملکرد اسانس گیاهان دارویی ارتباط مستقیم دارد (Eshaghi Gorgi et al., 2021). مطابق با

یافته‌های حاصل از این تحقیق، در مطالعات قبلی کاربرد فنیل آلانین سبب افزایش اسانس مرزه (Poorghadir et al., 2020) و مریم گلی (Hasan Abadi et al., 2022) گردید. محلول‌پاشی گیاهان با ترکیبات آلی به‌ویژه فنیل آلانین به دلیل راه‌اندازی چرخه سنتز اسید آمینه و آنزیم‌های پروتئینی در افزایش میزان اسانس مؤثر هستند. هرگونه افزایش در کل کربوهیدرات‌های گیاه موجب افزایش سنتز اسانس در بافت مسئول سنتز این ترکیبات می‌شود (Caser et al., 2019; Kulak, 2020). بنابراین به نظر می‌رسد که تیمارهای به‌کار رفته در این تحقیق، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نتیجه بازده فتوسنتزی این گیاه را افزایش داده و از این طریق بر اسانس نیز اثرگذار بوده است. با توجه به اینکه بیوسنتز ترپنوئیدها در تریکوم‌ها، توسط ژن‌ها کنترل می‌شوند اثر اصلی محرک‌ها بر تولید اسانس به تأثیر آن‌ها بر ژن‌ها و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم ثانویه گیاه مربوط می‌شود (Pandey et al., 2017).

تشکر و سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول مقاله در رشته فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان دارویی از دانشگاه فردوسی مشهد است. بدین وسیله نویسندگان از حمایت‌های علمی و پژوهشی دانشگاه مذکور صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچگونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف روی و فنیل آلانین بر خصوصیات رویشی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه جعفری مکزیکی پرداخته شد. به‌طورکلی نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که بیشترین افزایش رشد رویشی در کاربرد سطوح پایین و بهینه عنصر روی و محلول‌پاشی ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر فنیل آلانین مشاهده شد. درحالی‌که بیشترین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در بالاترین سطح روی و فنیل آلانین

References

1. Abdul-Hafeez, E.Y., Ibrahim, O.H.M., 2021. Effects of chitosan and BABA foliar application on flowering and chemical characteristics of German chamomile 'Bode-gold'. *S. Afr. J. Bot.* 139, 241–245. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.01.037>.
2. Aghaei, K., Ghasemi Pirbalouti, A., Mousavi, A., Naghdi Badi, H., Mehnatkesh, A., 2019. Effects of foliar spraying of L-phenylalanine and application of bio-fertilizers on growth, yield, and essential oil of hyssop (*Hyssopus officinalis* L. Subsp. *Angustifolius*). *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 21, 101318–101330. <https://doi.org/10.1016/j.cbac.2019.101318>.
3. Aghaie, K., Ghasemi Pirbalouti, A., Mousavi, A., Naghdi Badi, H.A., Mehnatkesh, A.M., 2022. Effects of different fertilizers and the foliar application of L-phenylalanine on mineral contents of hyssop [*Hyssopus officinalis* L. subsp. *angustifolius* (Bieb.)]. *Hort. plants Nut.* 4(2), 13–28. <https://doi.org/10.22070/hpn.2021.4639.1038>. [In Persian]
4. Alcazar, R., Altabella, T., Marco, F., Bortolotti, C., Reymond, M., Koncz, C., Carrasco, P., Tiburcio, A.F., 2010.

منابع مورد استفاده

Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta*. 231, 1237–1249. <https://doi.org/10.1007/s00425-010-1130-0>.

5. Ali, B., 2021. Salicylic acid: an efficient elicitor of secondary metabolite production in plants. *Biocatal Agric Biotechnol*. 31, 101884–101895. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101884>.
6. Al-Mohammad, M.H.S., Sachet, T.F.K., Al-dulaim, Z.S. , 2021. Effect of phenylalanine, jasmonic acid and biofertilizer on growth, yield and anthocyanin pigments of roselle calyces. *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci.* 11 (3), 544–560. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/910/1/012077>
7. Alvarenga, I. C. A., Boldrin, P. F., Pacheco, F. V., Silva, S. T., Bertolucci, S. K. V., Pinto, J. E. B. P., 2015. Effects on growth, essential oil content and composition of the volatile fraction of *Achillea millefolium* L. cultivated in hydroponic systems deficient in macro-and microelements. *Sci Hortic*. 197, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.046>.
8. Atteya, A. K. G., El-Serafy, R. S., El-Zabalawy, K. M., Elhakem, A., Genaidy, E. A. E., 2022. Exogenously supplemented proline and phenylalanine improve growth, productivity, and oil composition of salted *Moringa* by up-regulating osmoprotectants and stimulating antioxidant machinery. *Plants*, 11(12), 1553–1563. <https://doi.org/10.3390/plants11121553>.
9. Azizian-shermeh, O., Einali, A., Valizadeh, J., 2018. Physiological and biochemical responses of basil (*Ocimum basilicum*) seedlings to different concentrations of zinc. *J. plant Biol Sci*. 10(36): 35–56. [In Persian]
10. Barrett, G., 2012. *Chemistry and biochemistry of the amino acids*. Springer Science & Business Media.
11. 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. *Egypt. J. of Hortic.* 43, 123–136. <https://doi.org/10.21608/EJOH.2016.2831>.
12. Borowiak, K., Gasecka, M., Mleczeek, M., Dabrowski, J., Chadzinikolau, T., Magdziak, Z., Golinski, P., Rutkowski, P., Kozubik, T. , 2015. Photosynthetic activity in relation to chlorophylls, carbohydrates, phenolics and growth of a hybrid *Salix purpurea* × *triandra* × *viminalis* 2 at various Zn concentrations. *Acta Physiol Plant*. 37,155–175. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1904-x>.
13. Buchanan, B.B. Gruissem, W., Jones, R.L., 2015. *Biochemistry & molecular biology of plants*. 40, American Society of Plant Physiologists Rockville, MD.
14. Burbulis, N., Deveikyte, J., Baltusnikiene, A., Blinstrubiene, A., 2023. Effect of phenylalanine and tryptophan on chlorophyll and phenolic content, and the antioxidant activity of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought conditions. *Zemdir-Agric*. 110(4), 339–346. <https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.038>.
15. Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J., W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*. 383, 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2431-8>
16. Caser, M., Chitarra, W., Angiolillo, F., Perrone, I. , 2019. Drought stress adaptation modulates plant secondary metabolite production in *Salvia dolomitica* Codd. *Ind Crop Prod*. 129, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.068>.
17. Davies, P. J. , 2010. *Plant Hormones: Biosynthesis*. Department of Plant Biology, Cornell University, Ithaca, New York 14853, USA.
18. Dere, Ş., GÜNEŞ, T., Sivaci, R., 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and totalcarotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turk. j. Bot*. 22(1), 13–18.
19. El-Fouly, M. M., Mobarak, Z. M., Salama, Z. A., 2011. Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. *Afr.J. Plant Sci*. 5, 314–322.
20. Elsayed, A. A., El-Gohary, A. E., Khalid, K. A., Ahmed, A., 2022. Changes in bitter fennel essential oils exposed to foliar spray with l-phenylalanine. *Egypt. J.Bot*. 62(1), 241–253. <https://doi.org/10.21608/ejbo.2021.101670.1811>
21. EL-Zefzafy, M.M. Shahhat, I.M. Yousef, R.S., Elsharkawy, E.R., 2016. Influence of foliar application with amino acids and citric acid on physiological and phytochemical responses of *Artemisia abrotanum* produced by in vitro culture. *Biosci. Biotechnol. Res. Commun*. 9(4), 702–711. <https://doi.org/10.21786/bbrc/9.4/18>.
22. Eshaghi Gorgi, O., Fallah, H., Niknejad, Y., Barari Tari, D., 2021. Effect of Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizal fungi inoculations on essential oil in *Melissa officinalis* L. under drought stress. *Biologia*, 77, 11–20. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00919-2>.
23. Farsaraei, S., Moghaddam, M., Nemati, H., Mahmoodi, S. M., 2025. Effect of Phosphate-Solubilizing Bacteria and Phenylalanine on Growth Characteristics, Photosynthetic Pigments, and Essential Oil Content of Meadow Sage (*Salvia virgata* Jacq.). *J. Soil Plant Interact*. 16(4), 1–16. <https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.21661>.
24. Faten, S. A., Shaheen, A. M., Ahmed, A. A., Mahmoud, A. R. , 2010. Effect of foliar application of amino acids as antioxidants on growth, yield and characteristics of Squash. *Res. J.Agric. . Biol. Sci*. 6, 583–588.
25. Ghasemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F., Salimi, A., Golparvar, A., 2017. Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation. *Sci Hortic*. 217, 114–22.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.031>.

26. Ghorbanali, M., Babalar, M., 2003. *Mineral nutrition in plant*. First edition. Kharazmi publisher. 365 p.
27. Golzadeh, H., Mehrafarin, A., Naqdi Badi, H., Fazeli, F., Ghaderi, A., Zarrin Panjeh, N. , 2011 The effect of biostimulants on quantitative and qualitative yield of German chamomile. *J. Med. Plant*.11(8), 195–207. [In Persian]
28. Govindaraju, S., Indra Arulselvi, P., 2018. Effect of cytokinin combined elicitors (L-phenylalanine, salicylic acid and chitosan) on in vitro propagation, secondary metabolites and molecular characterization of medicinal herb-Coleus aromaticus Benth (L). *J. Saudi. Soc. Agric. Sci.* 17(4), 435–44. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.001>.
29. Hanif, M.A., Nawaz, H., Ayub, M.A., Tabassum, N., Kanwal, N., Rashid, N., Saleem, M., Ahmad, M., 2017. Evaluation of the effects of Zinc on the chemical composition and biological activity of basil essential oil by using Raman spectroscopy. *Ind Crop Prod.* 96, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.058>
30. Hasan Abadi, S., Ardakani, M. R., Ghasemi Pirbalouti, A., Paknejad, F., Habibi, D. ,2022. Evaluation of L phenylalanine foliar application and non-chemical nutritional treatments on growth characteristics and essential oil of *Salvia officinalis* L. under different levels of irrigation. *Eco-phytochem. J. Med.Plant*10(3), 24–40. <https://doi.org/10.30495/ejmp.2022.1951602.1678>. [In Persian].
31. Hasanabadi, S., Ardakani, M. R., Pirbalouti, A. G., Paknejad, F., Habibi, D. ,2024. Organic inputs and L-phenylalanine amino acid impacts on yield and essential oil compounds of sage (*Salvia officinalis* L.) under different soil moisture conditions. <https://doi.org/10.21203/rs-4861076/v1>.
32. Hassani Moghadam, E., Dolatsha, M., Shaaban, M., Yarahmadi, R. ,2020. Effect of spraying iron and zinc sulfate fertilizer on essential oil component of medicinal plant, lemon balm (*Melisa officinalis* L.). *J. Plant Ecophysiol.* 12,116–130. <https://doi.org/10.71551/ijpp.2025.1025717>.
33. Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. *The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil*. College of Agriculture, University of California, Berkeley, CA, USA.
34. Karami-chameh, S., Behamin, S., Fathi A.A. , 2013. *Evaluation of iron foliar application, reduction of salinity on crop damage*. National Conference on Sustainable Agriculture Development and Healthy Environment.
35. Kulak, M. , 2020. Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Ind Crop Prod.*154, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112695>.
36. Li, G., Song, C., Manzoor, M. A., Li, D., Cao, Y., & Cai, Y. ,2023. Functional and kinetics of two efficient phenylalanine ammonia lyase from *Pyrus bretschneideri*. *BMC Plant Biology.* 23, 612. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04586-0>.
37. Mangal, M., Agarwal, M., Bhargava, D. ,2013. Effect of cadmium and zinc on growth and biochemical parameters of selected vegetables. *J. Pharmac. Phytochem.*2, 106–114.
38. Mehdizadeh, L., Moghaddam, M., Ganjeali, A., 2022. Interaction Effect of Different Levels of Zinc and Methyl Jasmonate on Morphological Characteristics and Photosynthetic Pigments of Peppermint in Soilless Culture Conditions. *J. Soil Plant Interact.*13(2): 19–34. <https://doi.org/10.47176/jspi.13.2.121010>. [In Persian]
39. Mukhopadhyay, M. S., Das, A., Subba, P., Bantawa, P., Sarkar, B., Ghosh, P., Mondal, T. K. , 2013. Structural, physiological, and biochemical profiling of tea plants under zinc stress. *Biol. Plant.*57,474–480. <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0300-2>
40. Pandey, P., Irulappan, V., Bagavathiannan, M.V., Senthil-Kumar, M. , 2017. Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. *Front. Plant Sci.* 8, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00537>.
41. Pirzad , A., Tousi, P., Darvishzadeh, R., 2013. Effect of Fe and Zn foliar application on plant characteristics and essential oil content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Ir. J. Crop Sci.* 15 (1) ,12–23. [In Persian]
42. Poorghadir, M., Mohammadi Torkashvand, A., Mirjalili, S.A., Moradi, P., 2020. Interactions of amino acids (proline and phenylalanine) and biostimulants (salicylic acid and chitosan) on the growth and essential oil components of Savory (*Satureja hortensis* L.). *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 30, 101815–101835. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101815>.
43. Rahmani Samani, M., Ghasemi Pirbalouti, A., Moattar, F., Golparvar, A.R.,2019. L-Phenylalanine and biofertilizers interaction effects on growth, yield and chemical compositions and content of essential Oil from the sage (*Salvia officinalis* L.) leaves. *Ind Crop Product.* 137, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.019>.
44. Rajabzadeh, Sh., Ghasemi Pirbalouti, A., Yadegari, M., & Rahimi, T. (2024). Physiological and phytochemical responses of *Rosa damascena* Mill. To the foliar application of different elicitors. *J. EO BearPlant.* 27,2v22. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.2255613>.
45. Reham, M., Khattab, M., Ahmed, S., Kandil, M.,2016. Influence of foliar spray with phenylalanine and nickel on growth, yield quality and chemical composition of genoveser basil plant. *Afr. J. Agric. Res.* 11(16), 1398–1410. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10699>.
46. Rezakhani, A., Haj Seyed Hadi, M.R., 2017. Effect of manure and foliar application of amino acids on growth characteristics, seed yield and essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Ir. J. Fie Crop Sci.* 48(3), 777–786.

<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.210745.654144> [In Persian]

47. Rouphael, Y.M., Cardarelli, Rea, E., Colla, G., 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. *Sci Horti*. 118, 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.06.022>.
48. Salehi, M. K., Ebhadi, M. T., 2025. Effects of L-Phenylalanine and L-Tyrosine Foliar application on growth characteristics, yield, and essential oil of spearmint. *Iran J Horti Sci*.56 (1), 81–101. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.371335.2149>.
49. Sowmya, R. S., Warke, V. G., Mahajan, G. B., Annapure, U. S., 2023. Effect of amino acids on growth, elemental content, functional groups, and essential oils composition on hydroponically cultivated coriander under different conditions. *Ind Crops Prod*. 197, 116577–116587. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116577>.
50. Tabatabaei, J., 1393. *Principles of mineral nutrition of plants*. Tabriz university publishing.
51. Taiz, L., Zeiger, E., 2002. *Plant Physiology* (Third Edition). Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, 67–86.
52. Tavallali, V., Rowshan, V., Bahmanzadegan, A., 2018. Variations in sweet basil in response to Green synthesized Zinc-Amino nano complexes. *J. clean. prod*.196, 452–459. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.078>.
53. Thakur, M., Kumar, R., 2020. Foliar application of plant growth regulators modulates the productivity and chemical profile of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) under mid hill conditions of the western Himalaya. *Ind. Crop. . Prod*.158, 113024. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113024>.
54. Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y. and Guoqin, H., 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture*, 10(9), 396–405. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>.
55. Van Wyk, B.E., Wink, M., 2018. *Medicinal plants of the world*. CABI.
56. Waila, S., Mukhia, S., Bhatt, V., Kumar, R., 2020. Variability in chemical composition and antimicrobial activity of *Tagetes minuta* L. essential oil collected from different locations of Himalaya. *Ind Crop Prod*.150,(112449)1–11. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112449>
57. Wu, G., 2009. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*. 37(1),1–17. <https://doi.org/10.1007/s00726-009-0269-0>
58. Yazdanpanahi, F., Sanikhani, M., Kheiry, A., Rabbi Angourani, H., 2024. Effect of phenylalanine and gamma-aminobutyric acids on morphophysiological characteristics of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity stress. *Plant Proc Fun*.13 (62), 33–50. <https://doi.org/10.22034/13.62.33>.