مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر تیمارهای اسید آزلائیک و فسفیت پتاسیم بر تغییرات بیوشیمایی و متابولیتی گیاه زولنگ (*Eryngium caucasicum*)

صابر بوالحق[۱]، علی‌دهستانی کلاگر[۲]*، داود اکبری[۳]، مهیار گرامی[۱] و مصطفی حق‌پناه[۲]

[۱] مؤسسه آموز عالی سنا ساری، ایران

[۲] پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان - دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

[۳] دانشگاه آزاد اسلامی قائمشهر، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۲/۰۳، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۱/۳۰)

چکیده

در این مطالعه به بررسی اثر تیمارهای اسید آزلائیک و فسفیت پتاسیم بر فعالیت آنزیم‌های کلیدی مسیرهای آنتی‌اکسیدان و سنتز لیگنین و همچنین تغییرات متابولیتی در گیاه زولنگ پرداخته شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و در شرایط کاملاً کنترل‌شده اجراء شد. محلول‌پاشی تیمار فسفیت پتاسیم با غلظت دو گرم در لیتر و تیمار اسید آزلائیک با غلظت یک ملی‌مولار در مرحله سه برگ حقیقی انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار اسید آزلائیک منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های SOD، POD و PAL گردید درحالی‌که تیمار فسفیت پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار آنزیم‌های CAT و PAL همچنین باعث کاهش معنی‌دار آنزیم‌های SOD و POD شد. بررسی تغییرات متابولیتی گیاه زولنگ با استفاده از تکنیک GC-MS نیز نشان داد که این ترکیبات تأثیرات مختلفی بر میزان تجمع متابولیت‌های دارند به‌نحوی‌که میزان فیتول تحت تأثیر تیمار اسید آزلائیک به‌شدت افزایش یافت درحالی‌که تیمار فسفیت پتاسیم باعث افزایش ترکیبات n-Hexadecanoic acid و Linoelaidic acid شد. یافته‌های این تحقیق بیانگر عمل اختصاصی هر کدام از القاگرها در فعالسازی مسیرهای متابولیک متفاوت است و می‌توان با بکارگیری هوشمند این القاگرها، چرخه‌های متابولیک را جهت‌دهی و تجمع گروه خاصی از متابولیت‌های ثانویه را موجب شد.

کلمات کلیدی: القاءگر، الیسیتور، گیاه دارویی، مهندسی متابولیت

مقدمه

زولنگ با نام علمی *Eryngium caucasicum* از گونه‌های مهم از جنس Eryngium است که بصورت دو ساله یا چندساله و با پراکندگی در شمال ایران در مناطق جلگه‌ای از غرب تا شرق مازندران و ارتفاعات میانی البرز و در شیب‌های شمالی آن قابل رؤیت است (Khoshbakht and Hammer, 2006). در مناطق شمالی ایران به‌عنوان ادویه، سبزی و طعم‌دهنده در محصولات لبنی استفاده می‌شوند و همچنین، به‌عنوان گیاه خوراکی و دارویی به‌خوبی در این مناطق شناخته شده هستند. خواص دارویی و درمانی آن شامل آرامش‌بخش اعصاب، تسکین‌دهنده بیماری رماتیسمی، رفع التهابات و دل درد مفید است (Aziz-UL-Ikram *et al*., 2015). ترکیبات موجود در

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: dehestani.a4@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]

اسانس این گیاه دارویی دارای خصوصیات ارزشمندی است به‌نحوی‌که در نتایج مطالعات متعددی در زمینه خواص اسانس گیاه زولنگ منتشر شده است. در بررسی Noshad و Behbahani (۲۰۲۱) مشخص شد که اسانس زولنگ دارای مقادیر قابل‌توجهی فنل و فلاونوئید است و قابلیت مهار رادیکال‌های آزاد را دارد (Noshad and Behbahani, 2021). همچنین فعالیت ضدسرطانی، ساپونین‌های جداشده از اسانس این گونه گیاهی مورد تأیید قرار گرفته است (Wang *et al*., 2012). در شرایط In vitro عصاره روغنی گیاه زولنگ قابلیت کنترل پاتوژن‌های *Staphylococcus aureus* و *Bacillus subtilis* نیز دارد (Thiem *et al*., 2010).

تغییر میزان ترکیبات مؤثره گیاهان به‌خصوص گیاهان دارویی یکی از اهداف مهندسی متابولیت محسوب می‌شود. مهندسی متابولیت مجموعه روش‌هایی است که به‌منظور هدایت یک یا چند واکنش آنزیمی در راستای تولید ترکیبات جدید یا تغییر ترکیبات موجود تعریف می‌شوند. برخی روش‌های مختلف مورد استفاده در این راستا شامل استفاده از DNA نوترکیب، پلی‌پلوئیدی و استفاده از الیسیتورها است (Raei *et al*., 2017). الیسیتورها محرک‌های فیزیکی یا ترکیبات شیمیایی با منشاء زیستی و غیرزیستی هستند که می‌توانند پاسخ‌هایی را در گیاه القاء کنند که سبب سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه مشابه و یا حتی جدید در سلول‌ها شوند. الیسیتورها برای گیاه یک‌سری از پیام‌های شیمیایی را می‌فرستند که سبب رهاشدن پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی و تجمع فیتوالکسین می‌شود. طی پاسخ به سیگنال الیسیتور، سیستم دفاعی گیاه فعال می‌شود و درنتیجه بیان ژن‌های دفاعی، برخی متابولیت‌ها تجمع می‌یابند. از ترکیبات شیمیایی که تأثیر به‌سزایی بر سیستم دفاعی گیاهان دارند می‌توان از فسفیت پتاسیم و اسید آزلائیک نام برد (Forster *et al*., 1998; Gadaga *et al*., 2017; Jung *et al*., 2009; Ramezani *et al*., 2017a).

فسفیت‌ها ترکیباتی با فرمول شیمیایی (H_2PO^{3-}) هستند که از لحاظ تعداد اکسیژن و هیدروژن با فسفات (H_2PO^{4-}) کاملاً متمایز هستند. فسفیت به‌علت دارابودن یک اکسیژن کمتر از فسفات، سرعت حرکت آن بسیار بیشتر بوده و طی مدت زمان کوتاهی، در سرتاسر اندام گیاهی انتشار می‌یابد و علاوه بر تحریک رشد رویشی و زایشی گیاه منجر به افزایش میزان طیف گسترده‌ای از ترکیبات شیمیایی در گیاهان می‌گردد (Mofidnakhaei *et al*., 2016). مطالعات مختلف حاکی از نقش الیسیتوری فسفیت پتاسیم است به‌نحوی‌که استفاده از این ترکیب سبب فعال‌شدن ژن‌های دفاعی (PR) (Acimovic *et al*., 2015; Mohammadi *et al*., 2021)، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (Oyarburo *et al*., 2015) و بهبود سیستم ایمنی در گیاهان می‌شود (Eshraghierson *et al*., 2011; Xi *et al*., 2020).

در تحقیقی Hirosse و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر فسفیت پتاسیم در جایگزینی با فسفات پتاسیم در محیط‌کشت سیب زمینی شیرین (*Ipomoea batatas* L.) بررسی کردند و عنوان داشتند که افزایش غلظت فسفیت پتاسیم سبب تغییر در خصوصیات‌های فیزیولوژیکی این گیاه می‌شود. همچنین مطالعات Mofidnakhaei و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.) تیمارشده با فسفیت پتاسیم نسبت به شاهد افزایش می‌یابد. تغییر فعالیت آنزیم PAL گیاه خیار تحت تأثیر فسفیت پتاسیم مورد بررسی قرار گرفت. در آن تحقیق نشان داده شد که فسفیت پتاسیم علاوه بر کاهش میزان شدت تنش زیستی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر CAT و SOD را افزایش می‌دهد (Ramezani *et al*., 2017b). Heidarzade و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه تغییرات در آنزیم‌های دفاعی گیاهان خیار تیمارشده با فسفیت پتاسیم تحت تنش بیان داشتند که فسفیت پتاسیم سبب کنترل معنی‌دار قارچ *Fusarium oxysporum* شده که به‌واسطه افزایش تولید آنزیم‌های دفاعی از جمله کاتالاز و گایاکول پراکسیداز بوده است (Heidarzade *et al*., 2018). همچنین مطالعات دیگر نشان داد که غلظت دو گرم بر لیتر فسفیت پتاسیم سبب افزایش میزان فنل و فلاونوئید در گیاه می‌شود که این ترکیبات دارای خواص دارویی نیز هستند (Ramezani *et al*., 2017b).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]

اسید آزلائیک در ساختار شمیایی دارای ۹ کربن است و نوعی اسید دی‌کربوکسیلیک محسوب می‌شود. اگرچه مسیر بیوسنتز اسید آزلائیک تا حد زیادی ناشناخته است ولی می‌توان محققین اذعان می‌دارند که این ماده از مشتقات اسید اولئیک و یا مشتقات غیراشباع اسید لینولئیک و اسید لینولنیک است (Djami-Tchatchou *et al*., 2017). تیمار گیاهان با اسید آزلائیک سبب تجمع اسید سالیسیلیک و به‌واسطه آن تهییج قابل‌توجه سیستم Systemic acquired resistance (SAR) می‌شود (Djami-Tchatchou *et al*., 2017; Jung *et al*., 2009). همچنین مطالاعت نشان می‌دهد که تیمار اسید آزلائیک سبب تغییرات اساسی در متابولیت‌های گیاهی می‌شود (Djami-Tchatchou *et al*., 2017). علی‌رغم تأثیر بسزای این تیمار بر فعل و انفعالات بیوشیمیایی گیاهان تا کنون تحقیق قابل استنادی در خوص میزان اثر بخشی این دو تیمار بر تغییرات بیوشیمایی و متابولیتی گیاهان داوریی به‌خصوص گیاه زلنگ منتشر نشده است. از این‌رو در این تحقیق اثر محلول‌پاشی تیمارهای فسفیت پتاسیم و اسید آزلائیک پس از هشت روز بر فعالیت برخی از آنزیم‌های دخیل در تنش و مواد مؤثره گیاه زولنگ مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه تیمار فسفیت پتاسیم و اسید آزلائیک: برای تهیه استوک فسفیت پتاسیم (KH_2PO_4) ابتدا ۱۵ گرم از KOH و ۱۵ گرم اسید فسفرو در ۲۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر حل گردید و پس از تنظیم pH (۵/۶)، به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد (Mofidnakhaei *et al*., 2016; Ramezani *et al*., 2017b). براساس نتایج آزمایش‌های انجام‌شده قبلی در پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان که نشان می‌دهد غلظت چهار گرم بر لیتر فسفیت پتاسیم سبب سوختگی برگ گیاهان می‌شود و بهترین غلظت برای تهییج سیستم ایمنی گیاه دو گرم بر لیتر است (Heidarzade *et al*., 2018; Mofidnakhaei *et al*., 2016; Ramezani *et al*., 2018, 2017c) در این تحقیق نیز از محلول‌پاشی با غلظت دو گرم بر لیتر انجام شد و برای هر بوته (سه برگ حقیقی، ۲۱ روز پس از کاشت) به‌مقدار ۲۰ میلی‌لیتر محلول استفاده شد. تیمار اسید آزلائیک با غلظت یک میلی‌مولار (محلول در ۵ MES (2-[N-Morpholino]ethane-sulfonic acid) میلی‌مولار، pH ۵/۶) تهیه شد و برای هر بوته مقدار ۲۰ میلی‌لیتر محلول‌پاشی شد (Jung *et al*., 2009). انتخاب این غلظت از اسید آزلائیک نیز براساس نتایج حاصل تحقیق Jung و همکاران (۲۰۰۹) بود. برای گیاهان شاهد از محلول‌پاشی با آب‌مقطر به مقدار ۲۰ میلی‌لیتر برای هر بوته استفاده شد. در این آزمایش از سه تکرار مستقل برای هر تیمار استفاده شد که هر تکرار شامل پنج بوته مجزا بود که پس از حذف اعداد غیر منطقی، برای هر تکرار هر تیمار حداقل چهار عدد در نظر گرفته شد.

شرایط کشت گیاه و اعمال تیمار: این آزمایش در شرایط کنترل‌شده در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (N 36.6609º – E 53.0713º)، کیلومتر ۹ جاده دریا انجام شد. بذور گیاه مذکور از یک والد مشخص از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی تهیه شد و پس از جوانه‌دار شدن در ژرمیناتور با دمای ۱۸ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد به گلدان‌هایی حاوی خاکی با ترکیبات پرلیت، پیت‌ماس و کوکوپیت به نسبت ۱:۱:۲ که تمام این مواد در اتوکلاو استریل شده بودند منتقل شد و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و دوره نوری ۱۲ ساعت تاریکی و ۱۲ ساعت روشنایی با شدت ۸ هزار لوکس بر سطح برگ و رطوبت نسبی ۶۵ درصد نگهداری شد. آبیاری گیاهان با توجه شرایط رطوبتی گلدان‌ها و نیاز آبی گیاه انجام شد و محلول غذایی هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) با ۱/۴ غلظت نیز همراه آبیاری به گیاهان داده شد (Haghpanah *et al*., 2021). با توجه به اینکه هدف از این تحقیق بررسی تغییرات ایجادشده در سطح متابولیت‌های گیاه زولنگ متأثر از کاربرد این تیمارها بود، نمونه‌برداری از گیاهان با استفاده از ازت مایع و هشت روز پس از اعمال تیمار انجام

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]

گرفت و نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش‌ها در فریزر ۸۰- نگهداری شد.

اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌ها: برای سنجش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پروکسیداز (POD) و فنل آلانین آمونیالیاز (PAL) ابتدا عصاره آنزیمی با استفاده از بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار حاوی PVP یک درصد انجام شد (Haghpanah *et al*., 2021). بدین منظور ۲۰۰ میلی‌گرم از بافت برگ گیاه در هاون چینی با ۱/۸ میلی‌لیتر ساییده شد و به ویال‌های دو میلی‌لیتری منتقل گردید. پس از سانتریفیوژ (۱۲/۰۰۰ rpm، به‌مدت ۲۰ دقیقه و دمای چهار درجه سلسیوس) از فاز مایه برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها و میزان پروتئین کل استخراج‌شده به‌روش بردفورد (Bradford, 1976) استفاده شد.

سوپراکسیداز دیسموتاز (SOD): برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم SOD از روش پیشنهادشده توسط Giannopolitis و Ries (۱۹۷۷) استفاده شد. حجم نهایی مخلوط واکنش دو میلی‌لیتر محاسبه شد که حاوی بافر فسفات پتاسیم، ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، EDTA (اتیلن دی‌آمین اسید ترا استیک، ۰/۱ میکرومولار)، متیونین (۱۳ میکرومولار)، ریبوفلاوین (۲ میکرومولار) و ۵۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی بود. مخلوط واکنش به‌مدت پنج دقیقه در معرض نور نسبتاً شدید (۱۲ هزار لوکس) قرار گرفت. جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. در یک واکنش به‌جای ۵۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی بافر استخراج استفاده شد که به‌عنوان نمونه شاهد مورد ارزیابی قرار گرفت. یک واحد فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در این آزمایش به‌عنوان مقدار آنزیمی قرار گرفت که سبب مهار ۵۰ درصد احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم کلراید گردید (Zhang *et al*., 2008) و براساس فرمول زیر محاسبه شد.

$$\text{جذب شاهد} \times \frac{\text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد}}{\text{جذب شاهد}}$$

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): برای سنجش فعالیت آنزیم CAT از روش (Aebi, 1984) استفاده شد. ۳۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی با ۲۹۷۰ میکرولیتر از بافر فسفات حاوی آب‌اکسیژنه دو میلی‌مولار مخلوط شدند و کاهش جذب در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر به‌مدت دو دقیقه با اسپکتروفتومتر خوانده شد. از ضریب خاموشی (ε=۰/۰۳۶۶ $mMol^{-1}cm^{-1}$) و فرمول زیر برای محاسبه واحد آنزیمی استفاده شد.

$A= \varepsilon bc$

پروکسیداز (POD): به‌منظور اندازه‌گیری آنزیم پروکسیداز ابتدا ۷۰۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار را با ۱۰۰ میکرولتیر محلول گایاکول ۲۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در کوت شیشه‌ای مخلوط شد. پس از بلانک کردن دستگاه با محلول مذکور، به واکنش مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از پراکسید هیدروژن ۲۵ میلی‌مولار اضافه شد و بلافاصله افزایش میزان جذب به‌مدت دو دقیقه در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر خوانده و از ضریب خاموشی (ε=۰/۰۲۶۶ $mMol^{-1}cm^{-1}$) و فرمول $A= \varepsilon bc$ برای محاسبه واحد آنزیمی استفاده شد (Kavitha and Umesha, 2008).

فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL): برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره استخراج‌شده، با ۵۰۰ میکرولیتر Tris-HCL ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷) و ۶۰ میکرولیتر فنیل آلانین ۱۰ میلی‌مولار مورد استفاده قرار گرفت. مواد حاصله به‌مدت یک ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس قرار گرفتند. برای متوقف‌کردن واکنش از ۲۵۰ میکرو لیتر HCl چهار نرمال استفاده شد. سپس به هر واکنش مقدار یک میلی‌لیتر تلوئن اضافه و به‌مدت ۱۰ ثانیه ورتکس شد. درنهایت ماده به‌دست آمده به‌مدت دو دقیقه و با سرعت ۱۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد و از لایه رویی و به‌منظور قرائت در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر استفاده شد (El-Shora, 2002). مقدار فعالیت آنزیمی براساس میزان اسید سینامیک (صفر تا ۱۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر، R^2=۰/۹۸۷) تولیدشده در واکنش بدست آمد.

GC-MS: مقدار دو گرم بافت برگ گیاه زولنگ به‌وسیله ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول به‌مدت ۴۸ ساعت به دور از نور در دمای اتاق قرار گرفت سپس به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام التراسونیک نگهداری شد. مقدار ۲۰ میلی‌لیتر از محلول مذکور در پلت‌های مجزا ریخته و پس از خشک‌شدن در دو میلی‌لیتر اتانول حل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]

شد. و درنهایت با کمک فیلتر به دستگاه تزریق شد. دستگاه گاز کروماتوگراف Agilent the chechnology 7890A مجهز به ستون HP-5MS و طیف‌سنجی جرمی ۵۹۷۵ cmass بود. برنامه‌ریزی حرارتی ستون به نحوی بود که دمای ابتدایی آون ۵۰ درجه سلسیوس بدون توقف و دمای دستگاه ۱۰ درجه سلسیوس در هر دقیقه افزایش یافت تا به دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس رسید و سپس به‌مدت ۵ دقیقه در این دما باقی ماند. سپس دمای ستون با سرعت ۵ درجه سلسیوس بر دقیقه افزایش یافت تا به دمای ۲۸۰ درجه سلسیوس رسید و به‌مدت ۱۱ دقیقه در این دما باقی ماند. مدت زمان آنالیز GC/MS، ۴۵ دقیقه بود از گاز هلیوم به‌عنوان گاز حامل و با سرعت ۱ میلی‌متر بر دقیقه و طیف‌سنج جرمی با انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و ناحیه جرمی از ۵۰ تا ۷۵۰۰ استفاده شد. دمای محفظه تزریق کروماتوگرافی گازی ۲۷۰ درجه سلسیوس و حجم یک میکرولیتر بدون شکاف است. تجزیه عصاره‌ها و شناسایی ترکیبات تشکیل‌دهنده براساس اطلاعات موجود در کتابخانه GC/MS صورت گرفت.

تجزیه واریانس فعالیت آنزیمی مورد بررسی بر مبنای طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار برای هر تیمار انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD محافظت‌شده در حدود اطمینان ۹۹ درصد و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۱۹ محاسبه گردید. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excell نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس میزان پروتئین کل برگ حاکی از اختلاف معنی‌دار به احتمال ۹۵ درصد بین تیمارها بود همچنین فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پروکسیداز (POD) و فنیل آلانین آمونیالیاز تحت تأثیر تیمارهای مختلف به احتمال ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD نشان داد که محتوای پروتئین کل تحت تأثیر تیمار اسید آزلائیک نسبت به شاهد کاهش یافت درحالی‌که تیمار فسفیت پتاسیم تغییری در محتوای پروتئین برگ گیاه زولنگ ایجاد نکرد (شکل ۱–a). فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) تحت تأثیر تیمار اسید آزلائیک افزایش یافت (۱۵ درصد بیشتر از شاهد) ولی تیمار فسفیت پتاسیم سبب کاهش فعالیت این آنزیم شد (شکل ۱–b). این در حالی است که دیگر آنزیم مسیر جاروب ROS، کاتالاز (CAT) تحت تأثیر تیمار فسفیت پتاسیم افزایش فعالیت داشت (۷۶ درصد بیشتر از شاهد) با این حال تیمار اسید آزلائیک تأثیر محسوسی بر میزان فعالیت این آنزیم نداشت (شکل ۱–c). تغییر فعالیت آنزیم پروکسیداز (POD) مشابه با تغییر فعالیت آنزیم SOD مشاهده شد به‌نحوی‌که تحت تأثیر تیمار اسید آزلائیک فعالیت این آنزیم افزایش یافت (۲۰ درصد بیشتر از شاهد) ولی تحت تأثیر تیمار فسفیت پتاسیم فعالیت آن کاهش قابل‌ملاحظه‌ای نشان داد (شکل ۱–d). فعالیت آنزیم PAL اما تحت تأثیر هر دو تیمار اسید آزلائیک و فسفیت پتاسیم افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد داشت (شکل ۱– e).

تجزیه و تحلیل GC-MS: نتایج تجزیه و تحلیل GC-MS نشان داد که در مجموع تعداد ۱۱ ترکیب که بیش از ۹۰ درصد اطمینان از صحت شناسایی آنها بود در تیمار شاهد شناسایی شد (شکل ۲) و بیشترین سطح زیر منحنی متعلق به ماده n-Hexadecanoic acid (بیش از ۱۱ درصد) بود (جدول ۲). این در حالی است که ترکیبات trans-beta-Farnesene، beta.-Sesquiphellandrene و beta-Tocopherol تحت تأثیر تیمار فسفیت پتاسیم در عصاره برگ گیاه زولنگ یافت نشد و در عوض ترکیب Stigmastan-6,22-dien, 3,5-dedihy... در نمونه‌های تیمارشده با این ماده شناسایی شد که در گیاه شاهد نبود. مقدار دو ماده Linoleic acid ethyl ester و n-Hexadecanoic acid نیز تحت تأثیر این تیمار نسبت به شاهد افزایش قابل‌ملاحظه‌ای داشت و بیشترین تجمع در ماده n-Hexadecanoic acid (۳۴/۲۱ درصد) تحت تأثیر این تیمار به‌دست آمده (جدول ۲). تیمار اسید آزلائیک نیز سبب عدم شناسایی ترکیبات trans-beta-Farnesene و beta-Tocopherol مانند تیمار فسفیت پتاسیم شد و همچنین دو ترکیب دیگر با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای فسفیت پتاسیم و اسید آزلائیک بر میزان پروتئین کل برگ و فعالیت آنزیم‌های SOD، CAT، POD و PAL در گیاه زولنگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	پروتئین کل	سوپراکسید دیسموتاز	کاتالاز	پروکسیداز	فنیل آلانین آمونیالیاز
تیمار	۲	۱/۵۳ *	۰/۰۲۱**	۰/۰۴ **	۱۷/۸۵ **	۶/۶۸ **
خطا	۶	۰/۲۸	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۴۳	۰/۰۱	۰/۳۹
ضریب تغییرات	درصد	۴/۵۲	۲/۰۳	۱۲/۷۹	۱۰/۸۳	۸/۶۲

*** و ** به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف در سطوح احتمال پنج درصد، یک درصد را نشان می‌دهد.**

جدول ۲- ترکیبات شناسایی‌شده از برگ گیاه زولنگ تحت تأثیر تیمار فسفیت پتاسیم (Kphi) و اسید آزلائیک (Aza) با استفاده از تکنیک GC-MS

Comp	RT	Ctr%	Aza%	Kphi%	Classification
trans-beta-Farnesene	۹/۴۴۱	۰/۹۲	-	-	Terpenes
beta.-Sesquiphellandrene	۱۰/۳۲۴	۲/۳۲	۳/۳۱	-	Prenol lipids
beta-Tocopherol	۱۱/۶۱	۰/۳۶	-	-	Vitamins
Tetradecanoic acid	۱۲/۹۳۱	۰/۶۴	-	۱/۳۶	Fatty acid, saturated
Phytol	۱۳/۷۹۹	۷	۱۷/۴۸	۳/۹۹	Diterpene alcohol
Neophytadiene	۱۴/۱۰۵	۱/۵۲	۳/۴۱	۱/۵۹	
Linoleic acid ethyl ester	۱۴/۳۵۴	۳/۰۹	۲/۰۱	۸/۴۴	Fatty Acids, Unsaturated
n-Hexadecanoic acid	۱۵/۶۵۶	۱۱/۰۱	۶/۶۲	۳۴/۲۱	Fatty acid, saturated
Linoelaidic acid	۱۹/۲۵۴	۱/۴۶	-	۳/۱۶	Fatty acids, unsaturated
Ethyl linolenate	۲۰/۰۰۹	۳/۳۷	۱/۸۹	۶/۴۴	
Stigmastan-6,22-dien, 3,5-dedihy...	۳۴/۵۴۳	-	-	۲/۴۷	Steroid
Stigmasterol	۳۸/۳۲۶	۳/۵۸	۴/۳۱	۳/۱۱	Sterol lipids
تعداد ترکیبات شناسایی‌شده		۱۱	۷	۹	

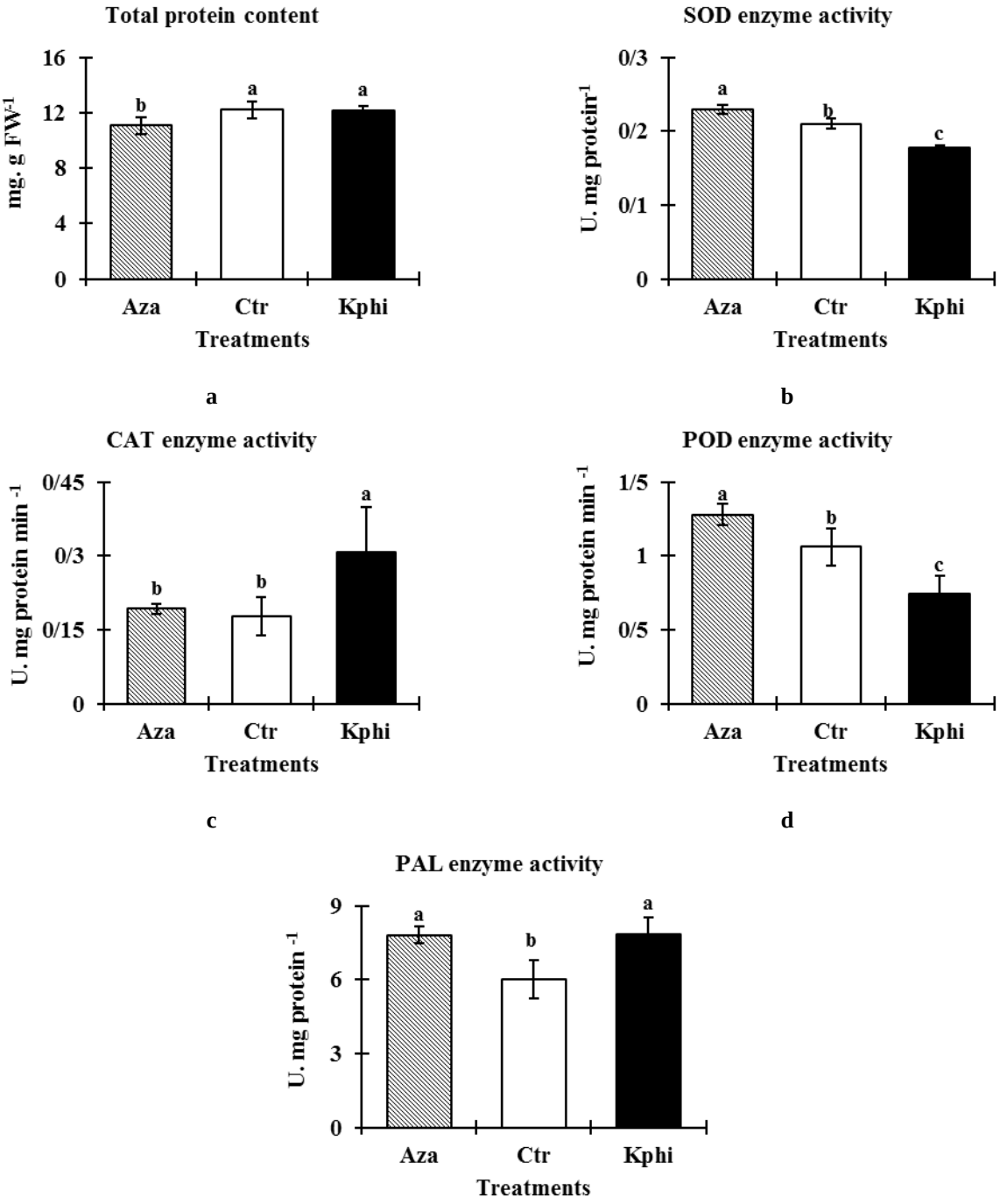
نام‌های Tetradecanoic acid و Linoelaidic acid نیز تحت تأثیر این تیمار نسبت به شاهد شناسایی نشد. تحت تأثیر این تیمار بیشترین میزان تجمع در ماده Phytol (۱۷/۴۸ درصد) برآورد شد (جدول ۲).

بحث

القاگرها با ایجاد تغییرات بیوشیمیایی سبب پدیدارشدن گوناگونی متابولیتی در گیاهان می‌شوند که این امر می‌تواند پتانسیل مهمی در مهندسی متابولیت باشد (Raei *et al.*, 2017). تیمار اسید آزلائیک سبب تجمع هورمون اسید سالیسیلیک و به دنبال آن تهیج سیستم دفاعی گیاه می‌شود (Djami-Tchatchou *et al.*, 2017; Jung *et al.*, 2009). در این مطالعه نیز تیمار اسید آزلائیک و فسفیت پتاسیم سبب برانگیخته‌شدن فعالیت آنزیم PAL شد. این آنزیم نقشی کلیدی در سنتز ترکیبات فنلی و تشکیل لیگنین (Mehrabanjoubani *et al.*, 2019) در پاسخ به تنش‌های محیطی دارد و می‌تواند سبب تغییر دیواره سلولی نیز شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تیمار اسید آزلائیک با تأثیر بر بیان ژن PAL سبب فعال‌شدن مسیر phenylpropanoid و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]

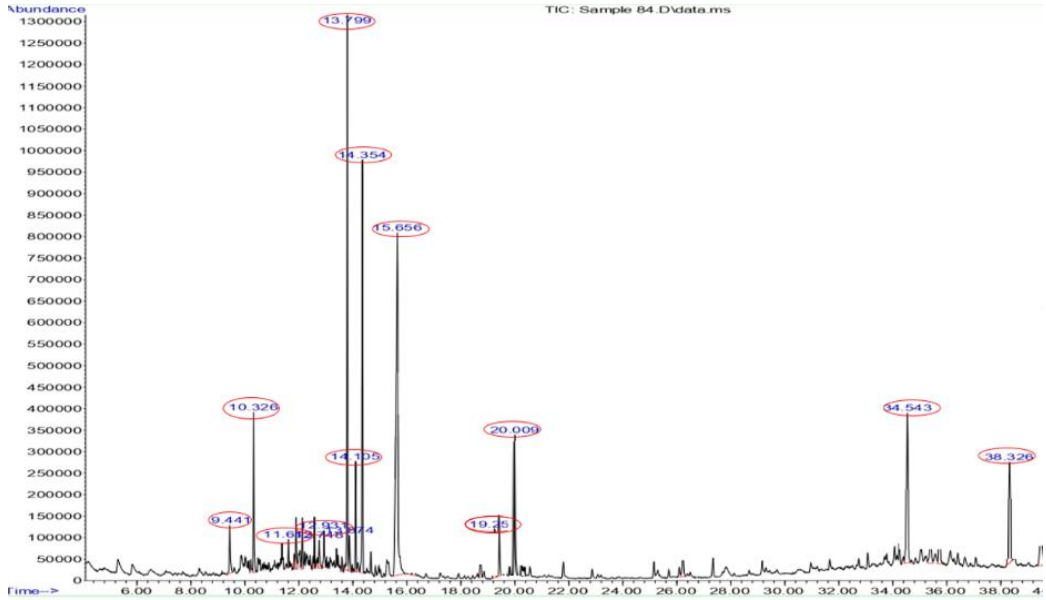


a **b** **c** **d** **e**

شکل ۱- تغییرات بیوشیمیایی برگ گیاه زولنگ تحت تأثیر تیمارهای اسید آزلائیک (Aza)، فسفیت پتاسیم (Kphi) و شاهد (Ctr). a) محتوای پروتئین کل، b) فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، c) فعالینت آنزیم کاتالاز، d) فعالیت آنزیم پروکسیداز و e) فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری با احتمال ۹۹ درصد براساس آزمون LSD است.

تجمع متابولیت‌ها می‌شود (Djami-Tchatchou *et al*., 2017). در گزارش Ramezani و همکاران (۲۰۱۷) نیز مشاهده شد که تیمار فسفیت پتاسیم نیز سبب افزایش فعالیت آنزیم PAL در گیاه خیار می‌شود (Ramezani *et al*., 2017b). در مطالعات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]



شکل ۲- کروماتوگرام GC-MS عصاره برگ گیاه زولنگ تحت تأثیر تیمار شاهد. در این شکل پیک‌هایی که با دایره‌های قرمز رنگ مشخص شده‌اند، نشان‌دهنده ۱۱ ترکیبی است که با بیش از ۹۰ درصد صحت شناسایی شده‌اند.

مختلف دیگر دیده شده است که تیمار القاءگرها باعث افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود برای مثال بررسی سلول‌های توتون نشان داد که تیمار اسید آزلائیک سبب افزایش بیان ژن *PAL* می‌شود (Djami-Tchatchou *et al*., 2017) همچنین مطالعه Modarres و Taghavizadeh Yazdi (۲۰۲۱) حاکی از تأثیرپذیری آنزیم PAL نسبت به القاگر اسید سالیسیلیک که مرتبط با اسید آزلائیک است دارد (Modarres and Taghavizadeh Yazdi, 2021). با این حال برخی القاگرها سبب کاهش فعالیت آنزیم PAL می‌شوند، مانند نتایج مشاهده شده در مطالعه Yan و همکاران (۲۰۰۶) که نشان داد استفاده از القاگر (اسید رزمارینیک) سبب کاهش فعالیت آنزیم PAL در ریشه موئین گیاه *Salvia miltiorrhiza* می‌شود (Yan *et al*., 2006). این امر نشان می‌دهد که نوع القاگر و گونه گیاهی مورد مطالعه در پاسخ آنزیم PAL به القاگر مؤثر هستند.

سیستم آنتی‌اکسیدان گیاهان که بخش آنزیمی و غیرآنزیمی تشکیل شده است (Gupta *et al*., 2018) در پاسخ به تنش‌های محیطی (Hasanuzzaman *et al*., 2020) و القاگرها (Haghpanah *et al*., 2021; Ramezani *et al*., 2018) فعال می‌شود و سبب ایجاد تغییرات متابولیتی بعدی می‌شود. برخی محققین معتقد هستند که القاگرها نوعی تنش شبیه‌سازی‌شده در گیاهان ایجاد می‌کنند و از این رو سیستم دفاعی گیاه تهیج می‌شوند (Anjum *et al*., 2011). در این مطالعه پاسخ آنزیمی‌های آنتی‌اکسیدان به دو القاگر متفاوت بود به‌نحوی‌که فعالیت آنزیم‌های SOD و POD تحت تأثیر تیمار اسید آزلائیک افزایش یافت ولی تیمار فسفیت پتاسیم سبب کاهش فعالیت این آنزیم‌ها و افزایش فعالیت آنزیم CAT شد. بر خلاف اسید آزلائیک که مطالعات اندکی در مورد پاسخ گیاهان به تیمار با این ماده منتشر شده ولی مطالعات متعددی نشان می‌دهد که فسفیت پتاسیم سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان مختلف می‌شود (Almeida *et al*., 2020; Fernandes *et al*., 2014; Mofidnakhaei *et al*., 2016). همچنین مطالعات قبلی نیز نشان می‌دهد تحت تأثیر فسفیت پتاسیم فعالیت آنزیم CAT افزایش می‌یابد (Mofidnakhaei *et al*., 2016). همچنین مطالعات Woodward و Bartel (۲۰۰۵) حاکی از تغییرات هورمونی در گیاهان تحت تأثیر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بخصوص POD است (Woodward and Bartel, 2005). به نظر می‌رسد تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش مهمی در بوجود آمدن تغییرات متابولیتی داشته باشد (Ho *et al*., 2020).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]

از تجزیه و تحلیل GC-MS مشخص شد که تیمار اسید آزلائیک سبب افزایش قابل‌ملاحظه Phyltol در برگ زولنگ می‌شود که از گروه ترپنوئیدها است. ترپنوئیدها نقش مهمی در مسیرهای مختلف سلولی مانند بیوسنتز sesquiterpenoid و بیوسنتز متابولیت های ثانویه در واکنش به القاگرها ایفاء می‌کند (Abeed *et al.*, 2021). علاوه‌براین، برخی از ترپن‌های خاص نظیر مشتقات ایزوپرونوئیدها مانند جیبرلین و براسینواستروئیدها نقش مهمی در رشدونمو گیاهان دارند (Ninkuu *et al.*, 2021) و از این‌رو به‌عنوان متابولیت‌های اولیه در نظر گرفته می‌شوند (Tholl, 2006). مطالعات نشان می‌دهد که جیبرلین در رشد و توسعه میوه و دانه گیاهانی همچون گوجه‌فرنگی (Chen *et al.*, 2016)، خیار (Liu *et al.*, 2016) و گندم (Pearce *et al.*, 2013) مؤثر است. براسینواستروئیدها در برنج به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد شناخته می‌شوند (Zhao *et al.*, 2013) و در گیاه خیار سبب تولید گل ماده و به‌واسطه آن افزایش عمکرد می‌گردند (Papadopoulou and Grumet, 2005). همچنین تیمار فسفیت پتاسیم سبب تغییر در متابولیت‌های برگ گیاه زولنگ می‌شوند به‌نحوی‌که تحت تأثیر این تیمار فسفیت وجود ماده Stigmastan-6,22-dien, 3,5-dedihy. فقط تحت تأثیر تیمار فسفیت پتاسیم دیده شد و مقدار n-Hexadecanoic acid و Linoelaidic acid نیز نسبت به شاهد افزایش یافت.

نتیجه‌گیری

تیمارهای اسید آزلائیک و فسفیت پتاسیم سبب ایجاد دگرگونی بیوشیمیایی و متابولیتی گیاه زولنگ می‌شوند. تغییرات متابولیتی بوجود آمده از این دو ترکیب با یکدیگر متفاوت است. این نتایج نشان‌دهنده این واقعیت است که تیمار اسید آزلائیک احتمالاً در فعال‌شدن مسیر لیگنین در این گیاه مؤثر است درحالی‌که تیمار فسفیت پتاسیم سبب افزایش فعالیت آنزیم CAT که نوعی آنتی‌اکسیدان کلیدی است می‌شود، از این‌رو بسته به هدف موردنظر می‌توان از این ترکیبات در ایجاد تغییرات متابولیتی گیاه زولنگ بهره برد.

منابع

Abeed, A., Ali, M., Ali, E. F., Majrashi, A. and Eissa, M. A. (2021) Induction of *Catharanthus roseus* secondary metabolites when calotropis procera was used as bio-stimulant. Plants 10: 1623.

Acimovic, S. G., Zeng, Q., Mc Ghee, G. C., Sundin, G. W. and Wise, J. C. (2015) Control of fire blight (*Erwinia amylovora*) on apple trees with trunk-injected plant resistance inducers and antibiotics and assessment of induction of pathogenesis-related protein genes. Frontiers in Plant Science 6: 16.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods in enzymology 105: 121-126.

Almeida, G. M., Silva, A. A., Batista, P. F., Moura, L. M. F., Vital, R. G. and Costa, A. C. (2020) Hydrogen sulfide, potassium phosphite and zinc sulfate as alleviators of drought stress in sunflower plants. Agricultural Sciences 44.

Anjum, S. A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I. and Xue, L. (2011) Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, antioxidative defence system and yield in soybean under drought. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 296-301.

Aziz-UL-Ikram, N. B. Z., Shinwari, Z. K. and Qaiser, M. (2015) Ethnomedicinal review of folklore medicinal plants belonging to family Apiaceae of Pakistan. Pakistan Journal of Botany 47: 1007-1014.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Chen, S., Wang, X., Zhang, L., Lin, S., Liu, D., Wang, Q., Cai, S., El-Tanbouly, R., Gan, L., Wu, H. and Li, Y. (2016) Identification and characterization of tomato gibberellin 2-oxidases (GA2oxs) and effects of fruit-specific SlGA2ox1 overexpression on fruit and seed growth and development. Horticulture Research 3: 16059.

Djami-Tchatchou, A. T., Ncube, E. N., Steenkamp, P. A. and Dubery, I. A. (2017) Similar, but different: Structurally related azelaic acid and hexanoic acid trigger differential metabolomic and transcriptomic responses in tobacco cells. BMC Plant Biology 17: 227-242.

El-Shora, H. M. (2002) Properties of phenylalanine ammonia-lyase from marrow cotyledons. Plant Science 162: 1-7.

Eshraghierson, L., Anderson, J., Aryamanesh, N., Shearer, B., McComb, J., Hardy, G. E. S. and Obrien, P. A. (2011) Phosphite primed defence responses and enhanced expression of defence genes in *Arabidopsis thaliana* infected

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]

with *Phytophthora cinnamomi*. Plant Pathology 60: 1086-1095.
Fernandes, L. H. M., Oliveirasilveira, H. R., Souza, K. R. D., Resende, M. L. V. and Alves, J. D. (2014) Inductors of resistance and their role in photosynthesis and antioxidant system activity of coffee seedlings. American Journal of Plant Sciences 5: 3710.
Förster, H., Adaskaveg, J. E., Kim, D. H. and Stanghellini, M. E. (1998) Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to Phytophthora root and crown rot in hydroponic culture. Plant Disease 82: 1165-1170.
Gadaga, S. J. C., Abreu, M. S. Resende, M. L. V. and Ribeiro, P. M. (2017) Phosphites for the control of anthracnose in common bean. Pesquisa Agropecuária Brasileira 52: 36–44. https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000100005
Giannopolitis, C. N. and Ries, S. K. (1977) Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. Plant Physiology 59: 309-314.
Gupta, D. K., Palma, J. M. and Corpas, F. J. (2018) Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants. Springer International Publishing, Berlin.
Haghpanah, M., Jelodar, N. B., Zarrini, H. N., Pakdin-Parizi, A. and Dehestani, A. (2021) Silicon foliar exogenous altered the activity of crucial ROS pathway enzymes in tomatoes (*Solanum lycopersicum*). Russian Agricultural Sciences 47: 485-489.
Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. Al, Fujita, M. and Fotopoulos, V. (2020) Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. Antioxidants 9: 681.
Heidarzade, S, Gharanjik, S., Dehestani, A. and Shahriari, D. (2018) Study on enzymatic and biochemical changes in cucumber plant treated with potassium phosphite under *Fusarium oxysporum* f. sp. *radiciscucumerinum* stress. Iranian Journal of Horticultural Science 48: 601-611.
Hirosse, E. H., Creste, J. E., Custodio, C. C. and Machado-Neto, N. B. (2012) In vitro growth of sweet potato fed with potassium phosphite. Acta Scientiarum Agronomy 34: 85-91.
Ho, T., Murthy, H. N. and Park, S. Y. (2020) Methyl jasmonate induced oxidative stress and accumulation of secondary metabolites in plant cell and organ cultures. International Journal of Molecular Sciences 21: 716.
Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. (1950) The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil. Circular. California Agricultural Experiment Station, California.
Jung, H., Tschaplinski, T. J., Wang, L., Glazebrook, J. and Greenberg, J. T. (2009) Priming in systemic plant immunity. Science 324: 89-91.
Kavitha, R. and Umesha, S. (2008) Regulation of defense-related enzymes associated with bacterial spot resistance in tomato. Phytoparasitica 36: 144-159.
Khoshbakht, K. and Hammer, K. (2006) Savadkouh (Iran)–an evolutionary centre for fruit trees and shrubs. Genetic Resources and Crop Evolution 53: 641-651.
Liu, B., Liu, X., Yang, S., Chen, C., Xue, S., Cai, Y., Wang, D., Yin, S., Gai, X. and Ren, H. (2016) Silencing of the gibberellin receptor homolog, CsGID1a, affects locule formation in cucumber (*Cucumis sativus*) fruit. New Phytologist 210: 551-563.
Mehrabanjoubani, P., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H. R., Aghdasi, M., Bagherieh-Najjar, M. B. and Barzegargolchini, B. (2019) Silicon increases cell wall thickening and lignification in rice (*Oryza sativa*) root tip under excess Fe nutrition. Plant Physiology and Biochemistry 144: 264-273.
Modarres, M. and Taghavizadeh Yazdi, M. E. (2021) Elicitation improves phenolic acid content and antioxidant enzymes activity in salvia leriifolia cell cultures. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science 45: 849-855.
Mofidnakhaei, M., Abdossi, V., Dehestani, A., Pirdashti, H. and Babaeizad, V. (2016) Potassium phosphite affects growth, antioxidant enzymes activity and alleviates disease damage in cucumber plants inoculated with *Pythium ultimum*. Archives of Phytopathology and Plant Protection 49: 207-221.
Mohammadi, M. A., Cheng, Y., Aslam, M., Jakada, B. H., Wai, M. H., Ye, K., He, X., Luo, T., Ye, L. and Dong, C. (2021) ROS and oxidative response systems in plants under biotic and abiotic stresses: Revisiting the crucial role of phosphite triggered plants defense response. Frontiers in Microbiology 12.
Ninkuu, V., Zhang, L., Yan, J., Fu, Z., Yang, T. and Zeng, H. (2021) Biochemistry of terpenes and recent advances in plant protection. International Journal of Molecular Sciences 22: 5710.
Noshad, M. and Behbahani, A. (2021) *Eryngium campestre* essential oil: Total phenol and flavonoids contents, antioxidant power, antimicrobial activity and its interaction with nalidixic acid antibiotic in vitro. Journal of Food Science and Technology (Iran) 18: 263-271.
Oyarburo, N. S., Machinandiarena, M. F., Feldman, M. L., Daleo, G. R., Andreu, A. B. and Olivieri, F. P. (2015) Potassium phosphite increases tolerance to UV-B in potato. Plant Physiology and Biochemistry 88: 1-8.
Papadopoulou, E. and Grumet, R. (2005) Brassinosteriod-induced femaleness in cucumber and relationship to ethylene production. HortScience 40: 1763-1767.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]

Pearce, S., Vanzetti, L. S. and Dubcovsky, J. (2013) Exogenous gibberellins induce wheat spike development under short days only in the presence of VERNALIZATION1. Plant Physiology 163: 1433-1445.

Raei, M., Esna-Ashari, M. and Khodayari, M. (2017) Abiotic elicitors and medicinal plants biotechnology. Cell and Tissue 7: 333-342.

Ramezani, M., Rahmani, F. and Dehestani, A. (2017a) The effect of potassium phosphite on PR genes expression and the phenylpropanoid pathway in cucumber (*Cucumis sativus*) plants inoculated with *Pseudoperonospora cubensis*. Scientia Horticulturae 225: 366-372.

Ramezani, M., Rahmani, F. and Dehestani, A. (2017b) Study of physio-biochemical responses elicited by potassium phosphite in downy mildew-infected cucumber plants. Archives of Phytopathology and Plant Protection 50: 540-554.

Ramezani, M., Rahmani, F. and Dehestani, A. (2017c) Comparison between the effects of potassium phosphite and chitosan on changes in the concentration of Cucurbitacin E and on antibacterial property of *Cucumis sativus*. BMC Complementary and Alternative Medicine 17: 295.

Ramezani, M., Ramezani, F., Rahmani, F. and Dehestani, A. (2018) Exogenous potassium phosphite application improved PR-protein expression and associated physio-biochemical events in cucumber challenged by *Pseudoperonospora cubensis*. Scientia Horticulturae 234: 335-343.

Thiem, B., Goslinska, O., Kikowska, M. and Budzianowski, J. (2010) Antimicrobial activity of three *Eryngium* L. species (Apiaceae). Herba Polonica 56: 52-58.

Tholl, D. (2006) Terpene synthases and the regulation, diversity and biological roles of terpene metabolism. Current Opinion in Plant Biology 9: 297-304.

Wang, P., Su, Z., Yuan, W., Deng, G. and Li, S. (2012) Phytochemical constituents and pharmacological activities of *Eryngium* L.(Apiaceae). Pharmaceutical Crops 3: 99-120.

Woodward, A. W. and Bartel, B. (2005) Auxin: Regulation, action, and interaction. Annals of Botany 95: 707-735.

Xi, Y., Han, X., Zhang, Z., Joshi, J., Borza, T., Aqa, M. M., Zhang, B., Yuan, H. and Wang-Pruski, G. (2020) Exogenous phosphite application alleviates the adverse effects of heat stress and improves thermotolerance of potato (*Solanum tuberosum* L.) seedlings. Ecotoxicology and Environmental Safety 190: 110048.

Yan, Q., Shi, M., Ng, J. and Wu, J. Y. (2006) Elicitor-induced rosmarinic acid accumulation and secondary metabolism enzyme activities in *Salvia miltiorrhiza* hairy roots. Plant Science 170: 853-858.

Zhang, S. Z., Hua, B. Z. and Zhang, F. (2008) Induction of the activities of antioxidative enzymes and the levels of malondialdehyde in cucumber seedlings as a consequence of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) infestation. Arthropod-Plant Interactions 2: 209-213.

Zhao, J., Wu, C., Yuan, S., Yin, L., Sun, W., Zhao, Q., Zhao, B. and Li, X. (2013) Kinase activity of OsBRI1 is essential for brassinosteroids to regulate rice growth and development. Plant Science 199: 113-120.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]

Investigation of Azelaic acid and Potassium phosphite treatments effect on biochemical and metabolic changes of *Eryngium caucasicum*

Sabder Bolhagh[1], Ali Dehestani kalagar[2*], Davood Akbari[3], Mahyar Gerami[1], Mostafa Haghpanah[2]

[1] Sana Institute of Higher Education, Sari, Iran
[2] Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan - Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[3] Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran
(Received: 22/02/2022, Accepted: 19/04/2022)

Abstract

In this study, the effect of exogenpous Azelaic acid and potassium phosphite on some antioxidant enzymes activity, lignin synthesis and metabolic pathways were investigated in *Eryngium caucasicum*. This experiment was performed in a completely randomized design in controlled consitions. Plants at the three-leaf stage were treated with potassium phosphite (2 g/L) and azelaic acid (1 mM) by spraying method. Results showed that Azelaic acid treatment led to a significant increase in the activity of SOD, POD and PAL enzymes, while potassium phosphite caused a remarkable increase in CAT and PAL enzymes but a decrease POD and SOD enzymes activity. Also, metabolic ouputs through GC-MS technique showed that the treatments had different effects on accumulation of some metabolites for example, the level of Phytol increased sharply under the influence of Azelaic acid treatment, while exogenous potassium phosphite increased n-Hexadecanoic acid and Linoelaidic acid. Metabolic cycles can be engineered with the precise use of these materials, which, in turn, can lead to the accumulation of a specific group of secondary metabolites.

Keywords: Inducer, Elicitor, Medicinal plant, Metabolic engineering

Corresponding author, Email: dehestani.a4@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.51.20.7]