



Effect of putrescine on dried flower yield and essential oil components changes of Chamomile Plants (*Matricaria chamomilla* L.) under different moisture regimes

Hossein Nazari¹ | Ali Naderi Arefi²

1. Corresponding Author, Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran. E-mail: h_nazari@ut.ac.ir
2. Cotton and Fiber Crop Research Department, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Varamin, Iran. E-mail: a.arefi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 1 December 2021
Received in revised form
8 October 2022
Accepted 19 October 2022
Published online
20 September 2023

Keywords:
Biomass
Chamomile
Polyamine
Secondary metabolite
Yield

ABSTRACT

Objective: In order to improve the tolerance of German chamomile cultivars to moisture regimes, this factorial experiment was conducted in a randomized complete block design in three replicates, in the agricultural college of Tehran university in 2013-14 cropping season.

Methods: Experimental treatments included moisture regimes (control and severe stress, i.e., 13% and 57% of allowable soil moisture depletion, respectively), two cultivars of chamomile (German Badgold and Hungarian modified cultivar) and foliar application with putrescine (with a concentration of 0.1 mM and 45 days after transfer to the pots).

Results: The results showed that the simple effect of putrescine polyamine on plant height and biomass was significant at 1% level and on harvest index at 5% level. Plant height did not have a significant response to putrescine in control conditions, but in severe stress (57% of soil water depletion), the effect of foliar application showed a significant boost (13.5%). The simple effect of putrescine on percentage and essential oil yield (at 1% level) was significant. Also, the interaction effect of moisture regimes and foliar application with putrescine on essential oil content (at 5% level) and essential oil yield (at 1% level) was considerable. Under optimal moisture conditions (13% of soil water depletion), putrescine resulted in a significant increase in essential oil content by 38%. But its foliar application in drought stress increased the essential oil content by only 4%. Foliar application of putrescine reduced the amount of farnesene and bisabolol B oxide in both conditions. Another important compound was bisabolone oxide A, wherein putrescine treatment had a positive effect on its accumulation so that under favorable conditions of moisture its concentration increased by 87%, but under conditions of stress its effect decreased, showing only 35%.

Conclusion: The use of putresin in chamomile is economically justified due to increased tolerance to dehydration stress and increased target secondary metabolites.

Cite this article: Nazari, H., & Naderi Arefi, A. (2023). Effect of putrescine on dried flower yield and essential oil components changes of Chamomile Plants (*Matricaria chamomilla* L.) under different moisture regimes. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 669-684. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.334898.2647>



تأثیر پوتریسین بر عملکرد گل خشک و ترکیبات مؤثره اسانس بابونه آلمانی در رژیم‌های مختلف رطوبتی

حسین نظری^۱ | علی نادری عارفی^۲

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران. رایانامه: h_nazari@ut.ac.ir

۲. بخش تحقیقات پنبه و گیاهان لیفی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران. رایانامه: a.arefi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

هدف: به منظور بهبود مقاومت دو رقم بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) به رژیم‌های رطوبتی این آزمایش در سال ۹۳-۱۳۹۲ به صورت فاکتوریل سه‌عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران اجرا شد.

روش پژوهش: تیمارهای آزمایشی شامل رژیم‌های رطوبتی (شاهد و تنش شدید به ترتیب ۱۳ و ۵۷ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک)، دو رقم بابونه (رقم بادگلد آلمانی و اصلاح شده مجاری) و محلول پاشی با پوتریسین (در دو سطح صفر یا آب مقطر و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار و ۴۵ روز بعد از انتقال به گلدان) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر پلی‌آمین پوتریسین بر ارتفاع بوته و زیست‌توده در سطح احتمال خطای یک درصد و بر صفت شاخص برداشت در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار شد. ارتفاع بوته در شرایط شاهد پاسخ معنی‌داری به پوتریسین نداشت، اما بعد از اعمال تنش شدید (۵۷ درصد تخلیه رطوبتی)، اثر محلول پاشی افزایش معنی‌دار نشان داد (۱۳/۵ درصد). اثر پوتریسین بر صفات درصد و عملکرد اسانس (در سطح احتمال خطای یک درصد) معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل رژیم‌های رطوبتی و محلول پاشی با پوتریسین بر روی صفات درصد اسانس (در سطح احتمال خطای یک درصد) و عملکرد اسانس (در سطح احتمال خطای یک درصد) معنی‌دار گردید. در شرایط مطلوب رطوبتی (۱۳ درصد تخلیه رطوبتی)، پوتریسین منجر به افزایش قابل‌توجه درصد اسانس به میزان ۳۸ درصد شد. اما محلول پاشی آن در شرایط تنش، میزان اسانس را چهار درصد افزایش داد. محلول پاشی پوتریسین میزان ترکیبات فارنزن و بیسابولول اکسید B را در هر دو شرایط رطوبتی کاهش داد. ترکیب مهم دیگر بیسابولون اکسید A بود که تیمار پوتریسین تأثیر مثبتی بر تجمع آن گذاشت، به طوری که در شرایط رطوبتی مطلوب غلظت بیسابولون اکسید A را ۸۷ درصد افزایش داد، اما در شرایط تنش تأثیر آن کم‌تر شد و تا ۳۵ درصد میزان آن را افزایش داد.

نتیجه‌گیری: کاربرد پوتریسین در گیاه بابونه به دلیل افزایش تحمل به تنش کم‌آبی و افزایش متابولیت‌های ثانویه هدف، توجیه اقتصادی دارد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:
بابونه
پلی‌آمین
زیست‌توده
عملکرد
متابولیت ثانویه

استناد: نظری، حسین؛ و نادری عارفی، علی (۱۴۰۲). تأثیر پوتریسین بر عملکرد گل خشک و ترکیبات مؤثره اسانس بابونه آلمانی در رژیم‌های مختلف رطوبتی. *به‌زرعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۶۶۹-۶۸۴. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.334898.2647>



۱. مقدمه

بابونه، گیاهی از خانواده آستراسه^۱ و دارای دو جنس بابونه آلمانی^۲ و بابونه رومی^۳ است، جنس بابونه آلمانی دارای یک گونه دیگر به نام *Matriaria aurea* است (Sharif Moghadasi, 2011). بابونه گیاهی یکساله، بدون کرک با کرک‌های کم، ساقه‌ها منفرد، ایستاده یا قائم، منشعب و پرشاخه، به ارتفاع ۵ تا ۳۵ سانتی‌متر، برگ‌ها به طول ۱۵ تا ۴۰ و به عرض ۵ تا ۱۸ میلی‌متر با دمبرگ کوتاه یا بدون دمبرگ، پهنک برگ‌ها مستطیلی، گل‌های کناری زبانه‌ای و سفید با زبانه‌های مستطیلی، گل‌های لوله‌ای زرد و نر و ماده با لوله‌ای در میانه به هم آمده و در بالا پهن که تبدیل به میوه فندقه مستطیلی ۵ رگه می‌شوند. پراکنش جهانی آن در اروپا، ترکیه، ایران، قفقاز، آسیای مرکزی، سیبری، افغانستان و عراق گزارش شده است (مظفریان، ۱۳۹۲). حدود ۱۲۰ ترکیب در گل بابونه تاکنون شناسایی شده است (Mann & Staba, 1986) که از آن‌ها در تهیه انواع صابون، عطر، لوسیون، پماد، تهیه شیرینی و دمنوش استفاده می‌شود. از سطح زیر کشت بابونه آمار دقیقی وجود ندارد، اما با توجه به افزایش محصولات دارویی حاصل از آن، در سال‌های اخیر، سطح زیر کشت آن در حال افزایش است (اکبرزاده و همکاران، ۱۳۹۳). کیفیت و کمیت ترکیبات تریپی در اسانس گل بین ارقام مختلف بابونه متفاوت است و به مرحله نموی و شرایط کشت گیاه بستگی دارد (Kumar et al., 2001; Schilcher et al., 2005). به هر حال، اسانس‌هایی که حاوی مقادیر بالایی از کامازولن و بیسابولول باشند، اسانس‌های با کیفیت خوب نامیده می‌شوند. معمولاً ۱۲ تا ۲۰ درصد اسانس بابونه را کامازولن تشکیل می‌دهد که یک سزکویی‌ترین است.

پلی‌آمین‌ها ترکیباتی کوچک با اثراتی بزرگ در مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزنده هستند (Alcazar et al., 2020). پلی‌آمین‌ها (پوترسیسین، اسپرمیدین و اسپرمین) شامل گروهی از ترکیبات شبه‌فیتوهورمونی آمینی‌آلیفاتیک هستند که دارای ساختار نیتروژنی آلیفاتیک هستند و ساخت آن‌ها با سنتز دی‌آمین پوترسیسین آغاز می‌گردد و با افزایش پی در پی گروه‌های آمینی به این پیش‌ماده، پلی‌آمین‌های دیگر ساخته می‌شوند (Marco et al., 2011). هم‌اکنون پلی‌آمین‌ها به‌عنوان گروه جدیدی از مواد تنظیم‌کننده رشد در نظر گرفته می‌شوند که شامل اسپرمیدین (Spd، یک تیمین) و اسپرمین (Spm، یک ترامین) و پیش‌ماده اجباری آن‌ها یعنی پوترسیسین (Put، یک دی‌آمین) هستند. پلی‌آمین‌ها در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی مانند رشدونمو سلولی و تحمل به تنش‌های محیطی نقش دارند (Aydin et al., 2015). به‌ویژه پیش‌ماده آن‌ها، پوترسیسین نقش مهمی در دامنه وسیعی از پروسه‌های رشدونمو مانند تقسیم سلولی، شکستن خواب، جوانه‌زنی بذر، تحریک، حمایت و توسعه جوانه‌های گل، جنین‌زایی، رسیدن میوه، مورفونسیس و پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده دارد (Groppa & Benavides, 2008; González-Hernández et al., 2022).

۲. پیشینه پژوهش

گزارش شده که پوترسیسین و اسپرمیدین در تنظیم پاسخ روزنه‌ها از طریق القا بسته‌شدن و کاهش درجه بازشدگی آن‌ها نقش ایفا می‌کنند (An et al., 2008). هورمون ABA سطوح پلی‌آمین‌ها را از طریق تأثیر بر روی بیوسنتز، تجزیه، انتقال و اتصال آن‌ها با مولکول‌های دیگر تحت شرایط تنش کنترل می‌کند (Liu et al., 2005; Nieves et al., 2001; Yamasaki & Cohen, 2006). بنابراین ABA در بسته‌شدن روزنه از طریق پلی‌آمین‌ها مشارکت فعال دارند. Sharafzadeh et al. (2012) با بررسی تأثیر اسپرمیدین در گیاه بابونه گزارش کردند که پلی‌آمین مذکور به ترتیب ۲۶/۵ و ۷۷ درصد غلظت

1. Asteraceae
2. *Matricaria chamomilla* L.
3. *Anthemis nobilis* L.

بیسابولول اکسید A و بیسابولول اکسید B را در مقایسه با شاهد افزایش داد، در حالی که منجر به کاهش میزان کامازولن شد. Abd El-Wahed *et al.* (2004) نشان دادند که اسپرمیدین منجر به افزایش ترکیبات اصلی ترپنی گیاه بابونه (کامازولن، بیسابولول اکسید A و بیسابولول اکسید B) شد.

با بررسی غلظت‌های مختلف چندپلی‌آمین روی ویژگی‌های فیتوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی ریحان، مشخص گردید که با محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین، بیش‌ترین میزان کلروفیل به‌دست آمد، در حالی که بیش‌ترین میزان اسانس با برگ‌پاشی همین مقدار اسپرمیدین تولید شد (دانایی و عبدوسی، ۱۳۹۷). هم‌چنین Verma & Mishra (2005) گزارش کردند که پوتریسین باعث تخفیف اثرات شوری در خردل سیاه شد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کارتنوئیدها را در برگ‌های تحت تنش افزایش داد.

کاربرد پوتریسین برون‌زا موجب کاهش فعالیت پلی‌فنل‌اکسیداز و افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، نیترات ردوکتاز و ترکیبات فنلی در دانه‌رست‌های گیاه بنگ‌دانه (*Hyoscyomus niger*) تحت تنش خشکی شد. گفته می‌شود که این ترکیب پلی‌آمینی با تغییر فعالیت سیستم آنتی‌کسیدانی و نیز نیترات‌رداکتازی روند پاسخ‌های بیوشیمیایی دانه‌رست‌ها را در جهت مقابله با تنش خشکی تعدیل می‌کند (زمانی و همکاران، ۱۳۹۲). پوتریسین با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و حتی آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی تولید رادیکال‌های آزاد را کنترل می‌کند و از اینرو مانع پراکسیداسیون غشا و دناتوره‌شدن بیومولکول‌ها شده و منجر به بهبود رشد گیاهچه‌ها تحت شرایط تنش‌های غیرزنده می‌شود (Liu *et al.*, 2007; He *et al.*, 2008). دیگر نقش پوتریسین در تنش خشکی، القای تغییرات مورفولوژیکی در ریشه، ساقه و برگ است که مجموع این تغییرات باعث جلوگیری آب‌کشیدگی بافت‌ها می‌شود (Abd Elbar *et al.*, 2019). در این پژوهش که روی گیاه آویشن انجام شد، مشخص گردید که تنش آبی ضمن افزایش آنزیم‌هایی مانند فنیل‌آلانین آمونیلایز، پلی‌فنل‌اکسیداز و میزان اسانس گیاه، باعث کاهش میزان کلروفیل a و کلروفیل b می‌گردد. با تیمار پوتریسین، کلروفیل بیش‌تری حفظ شد، تغییرات آناتومیکی کاهش یافت، میزان کل ترکیبات فنلی و فعالیت برخی آنزیم‌ها افزایش یافت (Abd Elbar *et al.*, 2019).

در تولید گیاهان دارویی ارزش واقعی به کیفیت محصول و پایداری تولید داده می‌شود و کمیت محصول در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرد. لذا توسط الیسیتورها (پوتریسین) در گیاه بابونه ابزار مفیدی برای به‌دست‌آوردن بینش جدید در مکانیسم‌های مولکولی تحت شرایط تنش خشکی فراهم می‌کند. بنابراین این اطلاعات می‌تواند برای بهبود تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاه بابونه مفید باشد. تأثیر الیسیتورها (پلی‌آمین‌ها) بر روی اثرات مضر تنش خشکی و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی به‌ویژه بابونه آلمانی کم‌تر مطالعه شده است. حفظ عملکرد کمی و کیفی تحت شرایط تنش‌های محیطی شدید، احتمالاً مهم‌ترین چالش برای تولید گیاهان دارویی به‌حساب می‌آید و به‌نظر می‌رسد در این راستا الیسیتورها نقش بسیار مهمی خواهند داشت. هدف این پژوهش در راستای هدف نهایی افزایش تولید مواد مؤثره و افزایش کیفیت اسانس گیاه بابونه آلمانی بود و در این راستا اهداف فرعی حفظ پتانسیل تولید گیاه در شرایط تنش خشکی از طریق بهبود مکانیزم‌های مقاومت به خشکی و افزایش غلظت ترکیبات هدف در اسانس دو رقم بابونه آلمانی به واسطه الیسیتورها در شرایط متغیر رطوبتی مدنظر بود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این طرح در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌صورت آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل سه‌عاملی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در کرج به شرح زیر اجرا شد.

تیمارهای آزمایشی شامل رژیم‌های رطوبتی (شاهد و تنش شدید به ترتیب ۱۳ و ۵۷ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک)، دو رقم بابونه شامل رقم بادگلد آلمانی و اصلاح‌شده مجاری (تهیه‌شده از شرکت پاکان بذر- اصفهان) و محلول‌پاشی با پوتریسین بود. محلول‌پاشی با پوتریسین با غلظت صفر و ۰/۱ میلی‌مولار انجام شد (Ali et al., 2007; Alcazar et al., 2010; Abd Elbar et al., 2019). در غلظت صفر (شاهد) گیاهان با آب مقطر محلول‌پاشی شدند. محلول‌پاشی با حجم لازم جهت خیس کردن کامل شاخساره بوته‌ها انجام گرفت. اولین محلول‌پاشی ۴۵ روز بعد از انتقال به گلدان‌های اصلی و محلول‌پاشی‌های بعدی ۱۵ روز یک‌بار تا پایان دوره رشد گیاهان بابونه تکرار شد؛ در مجموع چهار بار محلول‌پاشی انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها بذرها با آبونته ابتدا هیدروپرایم شده سپس در ظرف‌هایی حاوی مخلوطی از خاک لومی و ماسه (با نسبت ۳:۱) کشت شدند. گیاهچه‌ها به تعداد شش عدد بعد از ۱۵ روز به گلدان‌های اصلی (که حاوی خاک رسی لومی بودند) منتقل شدند و پس از استقرار کامل به سه عدد در هر گلدان کاهش داده شد. برای هر کرت آزمایشی دو گلدان (در هر گلدان سه بوته) در نظر گرفته شد.

۳.۱. زمان و چگونگی اعمال تنش رطوبتی

تیمارها با توجه به زمان آبیاری و شدت تنش آبی که هر دو بر عملکرد کمی و کیفی گیاه مؤثر هستند، انتخاب شدند. درصدهای مختلف رطوبت وزنی خاک برای نقاط ظرفیت زراعی مزرعه و حد پژمردگی دائم، ابتدا توسط صفحات فشاری^۱ و غشاهای تحت فشار^۲ تعیین گردید. سپس نقاط در نظر گرفته‌شده برای تخلیه مجاز رطوبتی توسط ترازوی دیجیتال تعیین و معیار زمان شروع آبیاری در شرایط تنش و نرمال قرار گرفت. تیمارهای شاهد و تنش شدید به ترتیب شامل ۱۳ و ۵۷ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک بودند. به محض رسیدن رطوبت وزنی خاک به درصدهای تخلیه مجاز در هر تیمار، آبیاری انجام شد. برای ارتباط زمانی وقوع تنش رطوبتی و پژمردگی قابل برگشت گیاه، تیمارهای رطوبتی براساس ترکیبی از علائم ظاهری گیاه و درصد تخلیه مجاز رطوبتی اعمال شدند. آبیاری تیمار شاهد، قبل از ظهور هرگونه علائم پژمردگی و با تخلیه مجاز رطوبتی ۱۳ درصد (رطوبت وزنی خاک ۲۰ درصد و محتوای نسبی آب ۷۷ درصد) انجام شد و آبیاری تیمار تحت تنش شدید با ظهور علائم پژمردگی قابل برگشت گیاه و با تخلیه مجاز رطوبتی ۵۷ درصد (رطوبت وزنی خاک ۱۰ درصد و محتوای نسبی آب ۶۵ درصد) انجام شد (فاضل و همکاران، ۱۳۹۴) (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات تیمارهای مختلف مربوط به رژیم‌های رطوبتی در گیاه بابونه

وضعیت ظاهری گیاه	محتوای نسبی آب (RWC)	درصد رطوبت خاک (θ) در زمان آبیاری	درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک	رژیم‌های رطوبتی
حالت شادابی بوته‌ها	۷۷/۱۱	۲۰/۱	۱۳	شاهد
پژمردگی شدید	۶۵/۵۵	۱۰	۵۷	شدید

۳.۲. اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک

صفات مهم مرتبط با مقاومت به تنش و عملکرد از قبیل ارتفاع گیاه، وزن گل خشک در بوته، زیست‌توده (بیوماس) بوته و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن گل خشک در بوته، برداشت کاپیتول‌ها (گلبرگ + کاسبرگ + نهنج + یک سانتی‌متر از دمگل) در سه یا چهار مرحله و به‌فاصله ۱۰ تا ۱۵ روز انجام شد. برداشت کاپیتول‌ها زمانی انجام گرفت که

۱. Pressure plate

۲. Pressure membrane

گل‌های زبانه‌ای به‌طور کامل باز شده و به‌صورت افقی قرار گرفته بودند. بلافاصله پس از برداشت، کاپیتول‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در شرایط سایه و در دمای اتاق (دمای تقریبی ۲۵ درجه) پهن شدند و پس از خشک‌شدن کاپیتول‌ها در هر مرحله، کاپیتول‌های جمع‌آوری‌شده در مراحل مختلف به‌صورت یکجا توزین شدند. سپس نمونه‌های توزین‌شده در پاکت‌های کاغذی و در دمای تقریبی ۲۵ درجه تا زمان اسانس‌گیری نگهداری شدند. برای محاسبه شاخص برداشت وزن خشک کاپیتول بر وزن خشک گیاه تقسیم شد و به‌صورت درصد بیان گردید.

۳.۳. استخراج اسانس

استخراج اسانس به روش تقطیر با آب^۱ با استفاده از کلونجر^۲ (مدل فارماکوپه، ساخت کشور ایران) انجام شد. بدین ترتیب که ۵ گرم از کاپیتول‌های خشک بابونه همراه با آب‌مقطر در بالن کلونجر به‌مدت سه ساعت جوشانده شد و بعد جریان برق قطع شد. درنهایت پس از گذشت ۲۰ دقیقه از زمان خاموش کردن دستگاه، شیر خروجی به آرامی باز شد و اسانس جمع‌آوری و توزین شد (British pharmacopoeia, 2013). درصد اسانس وزنی به وزنی براساس وزن اسانس (میلی‌گرم) به‌دست‌آمده نسبت به وزن خشک ماده اولیه (گرم) به‌دست آمد.

۳.۴. عملکرد اسانس و تجزیه اسانس

عملکرد اسانس با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

رابطه (۱) عملکرد کاپیتول × درصد اسانس = عملکرد اسانس (میلی‌گرم اسانس در بوته)
پس از آماده‌سازی اسانس و تزریق آن به دستگاه کروماتوگرافی گازی^۳ (مدل TRACE 1310، ساخت کشور ایتالیا- موجود در پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی) شرایط مناسب برای بهترین جداسازی به‌دست آمد. سپس با استفاده از روش کوپل‌شده کروماتوگرافی گازی با طیف‌سنج جرمی^۴ ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس مورد ارزیابی کمی و کیفی قرار گرفت. شناسایی ترکیبات با استفاده از پارامترهای مختلف از قبیل زمان و شاخص بازداری^۵، مطالعه طیف‌های جرمی و مقایسه این طیف‌ها با ترکیب‌های استاندارد و اطلاعات موجود در کتابخانه رایانه دستگاه GC-MS صورت گرفت (Adams, 2007). درصد نسبی هرکدام از ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس با توجه به سطح زیر منحنی آن در کروماتوگرام گازی به روش نرمال کردن سطح^۶ و نادیده گرفتن ضرایب پاسخ^۷ به‌دست آمد.

برای آنالیز کروماتوگرافی گازی اسانس از دستگاه کروماتوگراف گازی استفاده شد. دمای آون به‌مدت ۱ دقیقه در ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگه‌داشته شد و سپس تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۶ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت و به‌مدت ۳۹/۳ دقیقه در این دما نگه‌داشته شد. دمای قسمت تزریق و آشکارساز به‌ترتیب ۲۵۰ و ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد بود و از گاز نیتروژن با سرعت جریان ۱/۱ میلی‌متر بر دقیقه به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. برای آنالیز اسانس از دستگاه گاز کروماتوگراف کوپل‌شده با طیف‌سنج جرمی مجهز به ستون DB-5 به طول ۶۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه نازک ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. دمای آون از ۶۰ درجه سانتی‌گراد تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۴

1. Water distillation
2. Clevenger
3. Gas Chromatography (GC)
4. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)
5. Retention index
6. Area normalization method
7. Response factors

درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت و به مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد نگه‌داشته شد. از گاز هلیوم با سرعت جریان ۱/۱ میلی‌متر بر دقیقه به‌عنوان حامل استفاده شد و از انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت استفاده گردید.

۳.۵. تجزیه آماری

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن^۱ در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. صفات مورفولوژیک و عملکرد گل خشک

اثر ساده پلی‌آمین پوتریسین در صفات ارتفاع بوته و زیست‌توده در سطح ۱ درصد و در صفت شاخص برداشت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل رژیم آبیاری و پوتریسین فقط در صفت ارتفاع بوته معنی‌دار بود ($P < 0.01$) (جدول ۲).

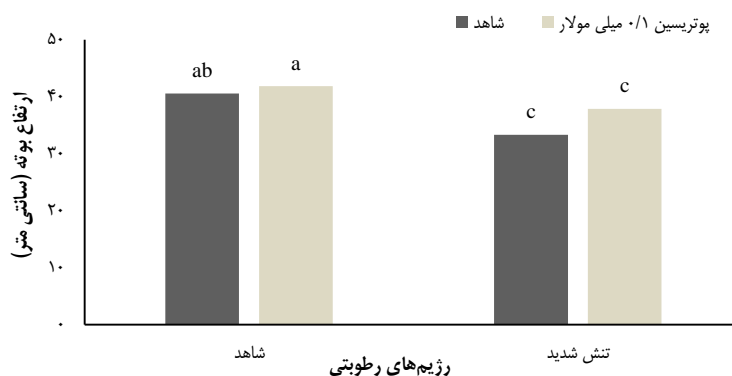
جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک و شاخص برداشت ارقام بابونه تحت رژیم‌های رطوبتی و محلول‌پاشی با پوتریسین

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن گل خشک	زیست‌توده	ارتفاع گیاه	شاخص برداشت
تکرار (R)	۲	۰/۲۹**	۰/۲۹ ns	۴۶/۳۸**	۱۲۵/۵۷ **
رژیم‌های رطوبتی (I)	۱	۰/۴۷**	۱۶/۴**	۱۵۶/۵۷**	۹/۸ ns
پوتریسین (Put)	۱	۰/۰۰۳ ns	۲/۳۷**	۷۰/۳۸**	۴۸/۰۵*
رقم (C)	۱	۰/۱۳**	۱/۱**	۱۷۹/۸۵**	۱۶/۸ ns
I × Put	۱	۰ ns	۰/۰۰۳ ns	۲۷/۹*	۳/۵۴ ns
I × C	۱	۰ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۸۴ ns
Put × C	۱	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۳ ns
I × C × Put	۱	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۱ ns	۱/۳۵ ns	۰/۰۳۲ ns
خطا	۱۴	۰/۰۰۸	۰/۱۲	۵/۴۶	۸/۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۸۲	۸/۶۶	۶/۰۴	۱۳/۷۳

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

مقایسه میانگین ارتفاع بوته نشان داد که تأثیر پلی‌آمین پوتریسین بر روی صفت مذکور در شرایط متغیر رطوبتی متفاوت است. همان‌طور که (شکل ۱) نشان می‌دهد صفت ارتفاع بوته در شرایط شاهد آبیاری پاسخ معنی‌داری به محلول‌پاشی با پوتریسین نمی‌دهد اما بعد از اعمال تنش شدید، مقدار صفت مذکور به‌طور معنی‌داری در اثر محلول‌پاشی افزایش نشان می‌دهد (۱۳/۵ درصد).

در شکل (۲-الف) مشاهده می‌شود که پلی‌آمین پوتریسین اثر معنی‌داری بر زیست‌توده گیاه بابونه گذاشته است و محلول‌پاشی آن منجر به ۱۷/۱۱ درصد افزایش در مقدار این صفت شده است. اما محلول‌پاشی پوتریسین تأثیر خاصی بر وزن گل گیاه بابونه نشان نداشت. چون میزان شاخص برداشت بابونه با تقسیم وزن گل تولیدشده به مقدار زیست‌توده به‌دست می‌آید، به همین جهت ۲/۸۳ درصد کاهش در میزان شاخص برداشت با محلول‌پاشی پوتریسین مشاهده شد (شکل ۲-ب).



شکل ۱. میانگین ارتفاع بوته گیاه بابونه آلمانی تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی و محلول‌پاشی با پلی‌آمین پوتریسین. (حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.)



(الف)



(ب)

شکل ۲. زیست‌توده (الف) و شاخص برداشت (ب) گیاه بابونه آلمانی تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی و محلول‌پاشی با پلی‌آمین پوتریسین. (حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.)

۲.۴ درصد و عملکرد اسانس

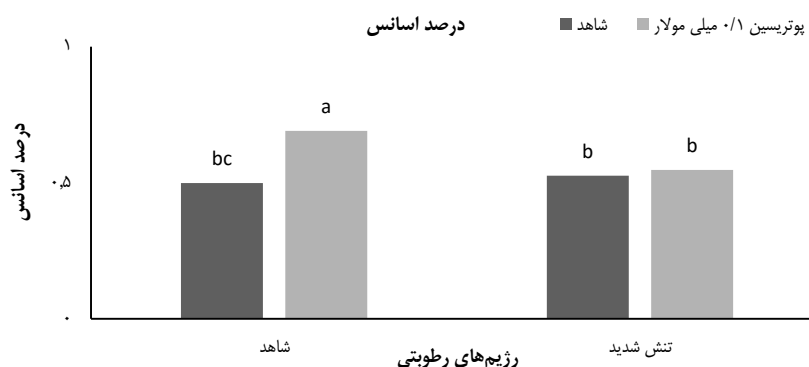
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر ساده پوتریسین بر صفات درصد اسانس و عملکرد اسانس (در سطح ۱ درصد) معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل رژیم‌های رطوبتی و محلول‌پاشی با پوتریسین بر روی صفات درصد اسانس (در سطح ۵ درصد) و عملکرد اسانس (در سطح ۱ درصد) معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد اسانس و عملکرد اسانس ارقام بابونه تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی

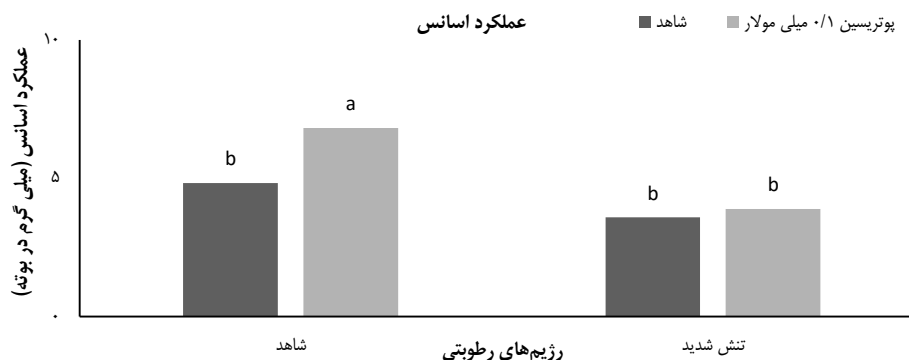
منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار (R)	۲	۰/۰۱۷**	۱۷/۷۷**
رژیم‌های رطوبتی (I)	۱	۰/۰۲**	۲۶/۱۹**
پوتریسین (Put)	۱	۰/۰۶۸**	۷/۹**
رقم (C)	۱	۰/۰۱۳*	۹/۴۱**
I × Put	۱	۰/۰۴۳*	۴/۳۳**
I × C	۱	۰ ns	۰/۱۷ ns
Put × C	۱	۰ ns	۰/۶ ns
I × C × Put	۱	۱/۶۶ ns	۰/۲۶ ns
خطا	۱۴	۰/۰۰۲	۰/۲۱
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۹۱	۱۰/۸۲

ns: ns, *, ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است در شرایط مطلوب رطوبتی، پوتریسین منجر به افزایش قابل توجه درصد اسانس به میزان ۳۸ درصد شد. اما محلول‌پاشی با پوتریسین در حالت تنش خشکی تا ۴ درصد میزان اسانس را تحت تأثیر قرار داد.



شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر رژیم‌های رطوبتی و پوتریسین بر درصد اسانس. (حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.)

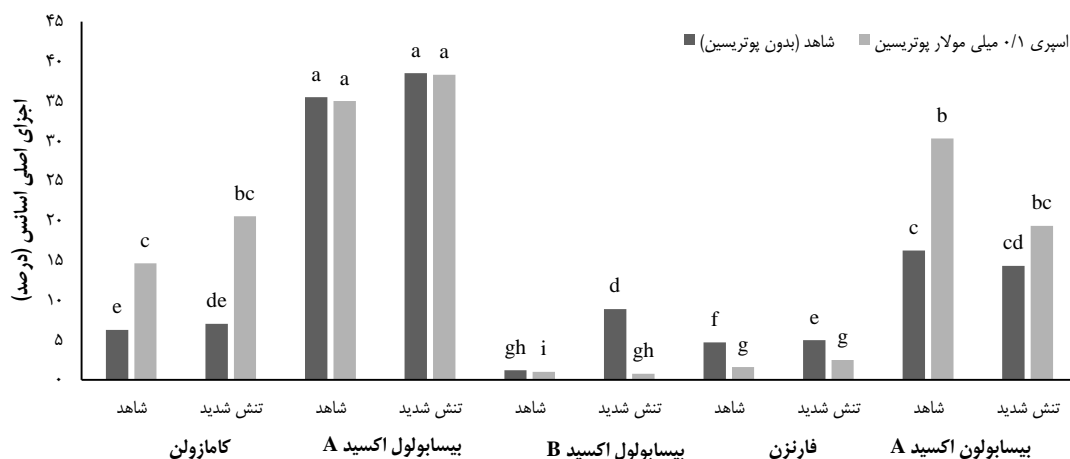


شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر رژیم‌های رطوبتی و پوتریسین بر عملکرد اسانس. (حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.)

واکنش عملکرد اسانس به پوتریسین در شرایط مختلف رژیم رطوبتی روند مشابهی با واکنش درصد اسانس نشان داد. به این شکل که در شرایط شاهد رژیم رطوبتی میزان عملکرد اسانس تحت تأثیر پوتریسین تا ۴۱ درصد افزایش نشان داد ولی پوتریسین در شرایط تنش شدید فقط ۱۰/۸۵ درصد میزان عملکرد اسانس را افزایش داد (شکل ۴).

۳.۴. کیفیت اسانس

بررسی اثر متقابل رژیم‌های رطوبتی و پوتریسین بر روی اجزای اسانس نشان داد که محلول‌پاشی با پوتریسین اثرات متفاوتی بر روی غلظت اجزای مهم اسانس با بونه دارد (شکل ۵). محلول‌پاشی با پوتریسین تأثیر قابل‌توجهی بر روی تجمع کامازولن در هر دو شرایط رژیم رطوبتی داشت. اما تأثیر آن بر روی تجمع کامازولن در شرایط تنش بیشتر از شرایط مطلوب رطوبتی بود. سزکوئی‌ترین مهم دیگر بیسابولول اکسید A بود که به‌نظر می‌رسد که تیمار پوتریسین تأثیر خاصی بر روی تجمع آن، چه در حالت شاهد آبیاری و چه در حالت تنش خشکی نداشت و مقدار این ترکیب طی تیمار با پوتریسین ثابت ماند.



شکل ۵. تغییرات اجزای اصلی اسانس ارقام با بونه آلمانی تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی و محلول‌پاشی با پلی‌آمین پوتریسین.

تیمار پوتریسین میزان ترکیبات فارنزن و بیسابولول اکسید B را در هر دو شرایط رژیم رطوبتی کاهش داد. ترکیب مهم دیگر، بیسابولون اکسید A بود که تیمار پوتریسین تأثیر مثبتی بر روی تجمع آن داشت. اگرچه تأثیر آن در رژیم رطوبتی مطلوب بالاتر بود، به این ترتیب که در شرایط رژیم رطوبتی مطلوب ۸۷ درصد غلظت این ترکیب را افزایش داد، اما در شرایط تنش تأثیر آن کم‌تر بوده و تا ۳۵ درصد غلظت آن را افزایش داد (شکل ۵).

۵. بحث

نقش پلی‌آمین‌ها در بهبود مقاومت به خشکی در گیاهان مختلف گزارش شده است (Yiu *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009; Verma & Mishra, 2005). چنین نقشی به اثر آن‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی، آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و مولکول‌های مؤثر در مسیر علامت‌رسانی تنش‌ها مرتبط دانسته شده است (Alcazar *et al.*, 2010). نقش مثبت پلی‌آمین‌ها در گیاه با بونه نیز گزارش شده است. Abd El-Wahed *et al.* (2004) گزارش کردند که تیمار

گیاهان بابونه با اسپرمیدین (Spd) و استیگماسترول اثرات قابل توجهی بر صفات رشدی مانند ارتفاع گیاه، تعداد شاخه گل-دهنده، وزن تر و خشک گیاه بابونه در طول دوره رشد رویشی و زایشی داشت. تأثیرات مثبت ذکرشده در این بخش از نتایج پژوهش گران مذکور با نتایج ما همخوانی دارد. همچنین آن‌ها تأثیرات اسپرمیدین و استیگماسترول را در تعداد گل و وزن گل مثبت خواندند. به این ترتیب که اسپرمیدین و استیگماسترول در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر منجر به افزایش وزن گل به میزان ۴۶ و ۵۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شدند. اما در نتایج ما تأثیر پوتریسین بر روی وزن گل خشک معنی دار نبود، فقط مقدار زیست توده بخش‌های رویشی گیاه را افزایش داد، و در نهایت تأثیر منفی بر روی صفت شاخص برداشت (HI) گذاشت. کاربرد خارجی پلی آمین‌ها به طور معنی داری منجر به افزایش زیست توده ریشه و شاخساره در بابونه آلمانی شد (Ali et al., 2007). پوتریسین برای رشد و انباشت مطلوب زیست توده گیاهی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) ضروری شناخته شد (Youssef et al., 2002). همچنین اسپرمیدین در گیاه ذرت باعث تحریک صفات رویشی (ارتفاع گیاه، سطح برگ و وزن تر و وزن خشک گیاه) و نسبت فتوسنتز خالص شد (Abd El-Wahed et al., 2004).

شواهدی وجود دارد که نقش پلی آمین‌ها را در شرایط تنش خشکی تأیید می‌کند. به عنوان مثال، گزارش شده که پلی آمین‌ها در پاسخ گیاهان به شرایط تنش خشکی دخیل هستند که این امر یا به علت ارتباط آن‌ها با متابولیسم ABA است (به عنوان مولکول‌های سیگنالی) (Alkazar et al., 2006) یا به جهت این که به عنوان عوامل محافظتی در مقابل تنش خشکی مطرح هستند (Capell et al., 1998). در حمایت از این مشاهدات Alkazar et al. (2010) گزارش کردند که گیاهان ترانس ژنیک آرابیدوپسیس که از لحاظ پوتریسین در سطح بالایی قرار داشتند، در مقایسه با گیاهان شاهد درجه بازشدگی روزنه‌شان کم‌تر و به تنش خشکی مقاوم‌تر بودند. شواهد بیش‌تر در کشت سلولی گیاهان یونجه مقاوم به خشکی مشاهده شد به این صورت که محتوای اسپرمیدین (Spd) و اسپرمین (Spm) طی تنش افزایش معنی دار یافت و هم‌زمان سطح پوتریسین آن‌ها کاهش معنی داری نشان داد (Yamaguchi et al., 2007). Ortega-Amaro et al. (2012) نشان دادند که پلی آمین‌ها بیان CYCB1-GUS (سایکلین ویژه میتوز) را در آرابیدوپسیس تنظیم می‌کنند. در آزمایش آن‌ها اسپرمیدین (Spd) و اسپرمین (Spm) باعث افزایش معنی دار بیان CYCB1-GUS در مریستم‌های راسی ساقه و ریشه شد. کاربرد بازدارنده‌های پلی آمین به طور چشم‌گیر منجر به کاهش بیان CYCB1-GUS شدند، و رشد ریشه و وزن-تر گیاه کاهش معنی داری پیدا کرد. جالب این که، تیمار تنش شوری نیز منجر به کاهش بیان CYCB1-GUS شد. اما این تأثیرات منفی با کاربرد پلی آمین‌ها مرتفع شد.

گزارش شده است که برگ‌پاشی پوتریسین روی بوته‌های کاهو دانسیته روزنه را کاهش داد، از ساختار کلروپلاست‌ها محافظت کرد و از پلاسمولیز سلول جلوگیری نمود که مجموع این کارکردها منجر به افزایش کارایی مصرف آب و عملکرد شد (Alcazar et al., 2020). در صورت وجود این کارکردها در گیاهان دارویی مانند بابونه، به علت افزایش عملکرد زیست توده، انتظار افزایش عملکرد اسانس نیز وجود دارد. با این حال، افزایش مذکور در عملکرد اسانس تحت تأثیر پوتریسین فقط به علت تأثیر آن در افزایش درصد اسانس است نه به خاطر تحریک تولید گل یا افزایش وزن گل‌های موجود بود. نکته قابل توجه این که تأثیر مثبت تیمار پوتریسین بر عملکرد اسانس در شرایط شاهد رطوبتی بالاتر بود. در این رابطه گزارش شده است که پوتریسین با افزایش بیان ژن‌های دخیل در سنتز سینئول سنتاز، ساینین سنتاز و برونیل دی فسفات سنتاز، تأثیر مثبت بر غلظت اسانس گیاه دارویی مریم‌گلی داشته است (Mohammadi-cheraghadi et al., 2021). همچنین در یک پژوهش مقایسه‌ای بین پوتریسین و تیمار مشخص شد که محلول پاشی پوتریسین بیش‌ترین تأثیر را بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد اسانس گیاه بابونه^۱ دارد (Mahboub et al., 2011). همین‌طور در مطالعه‌ای دیگر

محلول پاشی گیاه ریحان ۱ با پوتریسین درصد اسانس را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. هم‌چنین سبب افزایش معنی‌دار میزان تیمول در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد. اما سبب کاهش معنی‌دار میزان دو ترکیب پارا-سیمن و گاما-ترپینن در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد (فرجی و همکاران، ۱۳۹۴). همین‌طور به‌نظر می‌رسد پلی‌آمین پوتریسین با نقشی که در رابطه با افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و نقش مهمی که در سنتز قندها و کربوهیدرات‌ها دارد سبب افزایش چشم‌گیر عملکرد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد می‌شود.

تأثیرات مثبت پلی‌آمین‌ها در کیفیت اسانس گیاهان دارویی توسط پژوهش‌گران دیگر نیز گزارش شده است. رشد، وزن تر/ خشک و کمیت و کیفیت اسانس در گیاه نعناع فلفلی با کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها بهبود نشان داده است (Youssef *et al.*, 2002). در پژوهشی دیگر اثر متقابل پلی‌آمین‌ها (spd، put و spm) و تنش شوری در گیاه بابونه مورد بررسی قرار گرفت. اسپری پلی‌آمین‌ها محتوای اسانس ریشه‌ها، شاخساره و گل‌های بابونه را افزایش داد. پوتریسین منجر به افزایش سطوح فلاونوئیدها در ارگان‌های مختلف گیاه بابونه شد، اما کاربرد اسپرین کاهش سطوح فلاونوئیدها را در ارگان‌های مختلف گیاه بابونه در پی داشت (Ali *et al.*, 2007). (Abd El-Wahed *et al.*, 2004) گزارش کردند که تیمار گیاهان بابونه با اسپرمیدین (Spd) و استیگماسترول منجر به افزایش ۶۸ درصدی در ترکیبات اصلی ترپنی (کامازولن، بیسابولول اکسید A و بیسابولول اکسید B) در مقایسه با تیمار شاهد بدون محلول پاشی شد. در پژوهش مذکور، تیمار اسپرمیدین به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۸/۵، ۳۸/۱ و ۷۹/۳ درصدی کامازولن، بیسابولول اکسید A و بیسابولول اکسید B شد. تیمار استیگماسترول باعث افزایش تولید فارنزن، بیسابولول اکسید B، کامازولن و بیسابولول اکسید A به‌ترتیب به میزان ۵/۷، ۲۲/۷، ۱۰/۵ و ۴۶/۳ درصد شد.

همان‌گونه که نتایج این پژوهش، فرجی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که محلول پاشی سالیسیلیک اسید عملکرد، بازده و درصد اسانس گیاه مرزه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد. هم‌چنین سالیسیلیک اسید اثر معنی‌داری بر میزان ترکیب‌های شاخص اسانس داشت و میزان تیمول و گاما-ترپینن و پارا-سیمن را به‌ترتیب در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش و کاهش داده است و غلظت ۱ میلی‌مولار این تیمار در مقایسه با سایر سطوح بیش‌ترین اثر را بر میزان بازده و درصد اسانس و عملکرد اسانس سرشاخه داشت. هم‌چنین تیمار پوتریسین در مقایسه با سالیسیلیک اسید اثر افزایشی بیش‌تری بر میزان درصد و عملکرد اسانس دارد و میزان عملکرد اسانس سرشاخه را در حدود ۲/۵۶ برابر افزایش داده داد.

احتمالاً افزایش درصد اسانس بابونه و کیفیت آن به‌علت تأثیر تیمار پوتریسین بر روی فعالیت آنزیم‌های ترپن سنتزای ویژه‌ای باشد که مسئول تولید ساختارهای ترپنی اولیه مانند مونو، سزکوئی و دی‌ترپنی هستند. این مسیرهای آنزیمی مسئول واکنش‌های فیزیولوژیکی و ایزومراسیون چرخه‌ای مونوترپن‌ها، سزکوئی‌ترپن‌ها و فنیل‌پروپانویدهای اسانس بابونه هستند (Sangwan *et al.*, 2001). (Cseke & Kaufan, 1999) نیز عنوان کردند که کنترل مسیرهای بیوسنتزی که منجر به تولید متابولیت‌های خاص مانند اسانس‌ها می‌شود از طریق آنزیم‌های ترپن سنتزای کنترل می‌شود که به‌طور عمده توسط تنظیم‌کننده‌های رشد تأثیر می‌پذیرد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پلی‌آمین پوتریسین منجر به افزایش میزان زیست‌توده گیاه بابونه شد، اما محلول پاشی آن وزن گل گیاه بابونه را افزایش نداد. در بین ارقام و شرایط متفاوت رطوبتی، ترکیبات کامازولن، بیسابولول اکسید A، بیسابولول اکسید B، فارنزن، بیسابولون اکسید A و

اسپیرواثر بخش اصلی اسانس گیاه بابونه را تشکیل دادند. محلول‌پاشی با پوتریسین تأثیر قابل‌توجهی بر تجمع کامازولن در هر دو شرایط رژیم رطوبتی داشت. اما تأثیر آن بر روی تجمع کامازولن در شرایط تنش بیش‌تر از شرایط مطلوب رطوبتی بود. تیمار پوتریسین میزان ترکیبات فارنزن و بیسابولول اکسید B را در هر دو شرایط رژیم رطوبتی کاهش داد. در کل، تیمار پوتریسین به‌ترتیب در حالت شاهد و تنش شدید میزان درصد اسانس را ۳۸ و ۴ درصد و عملکرد اسانس را ۴۱ و ۱۰/۸۵ درصد افزایش داد. افزایش مذکور به‌طور عمده ناشی از افزایش ترکیبات کامازولن و بیسابولون اکسید A بود. با توجه به بحران شدید کم‌آبی در کشور و تغییرات اقلیمی، به‌کارگیری هورمون پوتریسین می‌تواند از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی برای افزایش تحمل به تنش کم‌آبی (بدون نیاز به افزایش زیست‌توده و تخلیه منابع آب و خاک) و هم‌زمان افزایش متابولیت‌های ثانویه هدف (مانند کامازولن و بیسابولون اکسید) در گیاه بابونه توجیه داشته باشد. هم‌چنین توصیه می‌شود با تکرار این آزمایش در شرایط مزرعه توسط پژوهش‌گران دیگر، میزان سطوح داخلی پوتریسین بلافاصله بعد از محلول‌پاشی آن اندازه‌گیری شود تا زمینه قضاوت بهتر در مورد چگونگی تأثیر آن فراهم شود.

۷. تشکر و قدردانی

از حمایت‌ها و پشتیبانی‌های دانشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- اکبرزاده، مهرداد؛ هادیان، جواد؛ نجفی، فرزاد؛ محمودی، محمد و طاهری، صبا (۱۳۹۳)، بهمن). بررسی رشد و عملکرد برخی از ارقام بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla L.*) در شمال تهران. *نهمین کنگره علوم باغبانی ایران*. خوزستان، اهواز، ایران.
- دانائی الهام و عبدوسی، وحید (۱۳۹۷). پاسخ‌های فیتوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum L.*) به محلول‌پاشی برگ‌ری پل‌آمین‌ها. *فصلنامه گیاهان دارویی*. ۱۸ (۶۹)، ۱۲۵-۱۳۳
- زمانی، زهرا؛ نیاکان، مریم و قربانلی، مه‌لقا (۱۳۹۲). تأثیر پوتریسین برون‌زا بر میزان ترکیبات فنلی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و نیترات ردوکتاز دانه‌رست گیاه بنگ‌دانه (*Hyoscyomus niger*) تحت تنش خشکی. *نشریه پژوهش‌های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران*. ۳۱ (۳)، ۷۸-۹۰.
- فاضل، فروغ؛ قیصری، مهدی؛ محمدیان، مرضیه و اعتمادی، نعمت‌اله (۱۳۹۴). تأثیر ضریب تخلیه مجاز رطوبتی بر نیاز آبیاری و شاخص‌های گیاهی چمن در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی. *مجله علوم و مهندسی آبیاری*. ۴۰ (۱)، ۱۵۵-۱۶۵.
- فرجی، عزیزه؛ عباسزاده، بهلول؛ سفیدکن، فاطمه؛ اسماعیلیپور، بهروز و خاوازی، کاظم (۱۳۹۴). اثر سالیسیلیک اسید و پوتریسین بر رشد و ترکیب‌های اسانس مرزه (*Satureja hortensis L.*). *مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*. ۳۱ (۴)، ۷۰۹-۷۲۲.
- مظفریان، ولی‌اله (۱۳۹۲). *شناسایی گیاهان دارویی و معطر ایران*. تهران: انتشارات فرهنگ معاصر.

References

- Abd El-Wahed, M. S. A., Krifa, M., & Gamal, E. D. (2004). Stimulation of growth, flowering, biochemical constituents & essential oil of chamomile plant (*Chamomilla recutita L.*) with spermidine & stigmaterol application. *BULG. Plant Physiol*, 30(1), 89-102.
- Abd El-Wahed, M. S. A. (2000). Effect of stigmaterol, spermidine & sucrose on vegetative growth, carbohydrate distribution & yield of Maize Plants. *Egypt. Physiology Science*, 24(2), 225-239.
- Adams, R. P. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Illinois: Carol Stream, Allured publishing corporation.

- Akbarzadeh, M., Hadian, J., Najafi, F., Mahmudi, M., & Taheri, S. (2014, December). The study of growth and yield of some German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) cultivars in north Tehran. 9th Iranian Horticultural Science congress. Khuzestan, Ahwaz, Iran. (In Persian).
- Alcazar, R., Cuevas, J., Patron, C., Altabella, M., & Tiburcio, A. F. (2006). Abscisic acid modulates polyamine metabolism under water stress in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology*, 128(2), 448-455.
- Alcazar, R., Altabella, T. F., Marco, C., Bortolotti, M., Reymond, C., Koncz, P., Carrasco, A., & Tiburcio, A. F. (2010). Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta*, 231(1), 1237-1249.
- Alcázar, R., Bueno, M., & Tiburcio, A. F. (2020). Polyamines: Small amines with large effects on plant abiotic stress tolerance. *Cells*, 9(11), 23-73.
- Ali, R. M., Abbas, H. M., & Kamal, R. K. (2007). The effects of treatment with polyamines on dry matter, oil and flavonoid contents in salinity stressed chamomile and sweet marjoram. *Plant Soil and Environment*, 53(3), 529-543.
- An, Z. F., Jing, W., Liu, Y. L., & Zhang, W. H. (2008). Hydrogen peroxide generated by copper amine oxidase is involved in abscisic acid-induced stomatal closure in *Vicia faba*. *Environment Experiment Botany*, 59(2), 815-825.
- Aydin, M., Pour, A. H., Haliloglu, K., & Tosun, M. (2015). Effect of putrescine application and drought stress on germination of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 46(1), 43-55.
- British Pharmacopoeia. (2013). *The British Pharmacopoeia Commission*. London: Renouf Publishing Company Limited.
- Capell, T., Escobar, C., Lui, H., Burtin, D., Lepri, O., & Christou, P. (1998). Over-expression of the oat arginine decarboxylase cDNA in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) affects normal development patterns in vitro and results in putrescine accumulation in transgenic plants. *Theoretical Applied Genetic*, 97, 246-254.
- Cseke, L. J., & Kaufan, P. B. (1999). Regulation of metabolite synthesis in plants. In *Natural Products from Planta*. edited by Kaufan, P. B. Cseke, L. J., Warber, S., Duke, J. A., & Brielmann, H. L. Florida: CRC Press.
- Danaee, E., & Abdossi, V. (2019). phytochemical and morphophysiological responses in Basil (*Ocimum basilicum* L.) plant to application of polyamines. *Journal of Medicinal Plants*, 18(69), 125-133. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2019.18.69.15.6>. (In Persian).
- Faraji, A., Esmailpoor, B., Sefidkon, F., Abaszadeh, B., & Khavazy, K. (2015). Effect of salicylic acid and putrescine on growth and essential oil compounds of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(3), 709-722. (In Persian).
- Fazel, F., Gheysari, M., Mohammadian, M., & Etemadi, N. (2016). Effect of Maximum Allowable Depletion on Irrigation Use and Plant Parameters of Grass under Subsurface Drip Irrigation Management. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*, 40, 155-165. (In Persian).
- González-Hernández, A. I., Scalschi, L., Vicedo, B., Marcos-Barbero, E. L., Morcuende, R., & Camañes, G. (2022). Putrescine: A Key Metabolite Involved in Plant Development, Tolerance and Resistance Responses to Stress. *International journal of molecular sciences*, 23(6), 2971.
- Groppa, M. D., & Benavides, M. P. (2008). Polyamines and abiotic stress: recent advances. *Amino Acids*, 34, 35-45.
- He, L., Ban, Y., moue, H., Matsuda, N., Liu, J., & Moriguchi, T. (2008). Enhancement of spermidine content and antioxidant capacity in transgenic pear shoots overexpressing apple spermidine synthase in response to salinity and hyperosmosis. *Photochemistry*, 69, 2133-2141.
- Kumar, S., Das, M., Singh, A., Ram, G., Mallavarapu, G. R., & Ramesh, S. (2001). Composition of the essential oils of the flowers, shoots and roots of two cultivars of *Chamomilla recutita*. *Medical Aromatic Plant Science*, 23(4), 617-623.

- Liu, J. H., Kitashiba, H., Wang, J., Ban, Y., & Moriguchi, T. (2007). Polyamines and their ability to provide environmental stress tolerance to plants. *Plant Biotechnology*, 24, 117-126.
- Liu, H.P., Jiang, M.Y., Zhou, Y. F., & Liu, Y. L. (2005). Production of polyamines is enhanced by endogenous abscisic acid in maize seedlings subjected to salt stress. *Plant Biology*, 47, 1326-1334.
- Mahboub, M. H., Abd El Aziz, N. G., & Mazhar, A. M. A. (2011). Response of *Matricaria recutita* plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 10(5), 769-775.
- Mann, C., & Staba, E. J. (1986). The chemistry, pharmacology, and commercial formulations of Chamomile. In *Herbs, Spices, and Medicinal Plants: Recent Advances in Botany, Horticulture, and Pharmacology*. edited by Craker, L. E., Simon, J. E. Phoenix: Oryx Press.
- Marco, F., Alcázar, R., Tiburcio, A. F., & Carrasco, P. (2011). Interactions between polyamines and abiotic stress pathway responses unraveled by transcriptome analysis of polyamine overproducers. *Omic: a journal of integrative biology*, 15(11), 775-781.
- Mohammadi-Cheraghabadi, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Sefidkon, F., Rashidi-Monfared, S., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2021). Improving water deficit tolerance of *Salvia officinalis* L. using putrescine. *Scientific Reports*, 11(1), 1-15.
- Mozaffarian, V. (2013) Identification of Medicinal and Aromatic Plants of Iran. Tehran: Farhang-e-Moaser publication. (In Persian).
- Nieves, N., Martinez, M. E., Castillo, R., Blanco, M. A., & Gonzalez-Olmedo, J. L. (2001). Effect of abscisic acid and jasmonic acid on partial desiccation of encapsulated somatic embryos of sugarcane. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, 65, 15-21.
- Abd Elbar, O. H., Farag, R. E., & Shehata, S. A. (2019). Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64, 129-137.
- Ortega-Amaro, M. A., Rodriguez-Kessler, M., Becerra-Flora, A., & Jimenez-Bremont, J. F. (2012). Modulation of Arabidopsis CYCB1 expression patterns by polyamines and salt stress. *Acta Physiology*, 34, 461-469.
- Sangwan, N. S., Farooqi, A. H. A., Sabih, F., & Sangwan, R. S. (2001). Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulators*, 34, 3-21.
- Schilcher, H., Imming, P., & Goeters, S. (2005). Active Chemical Constituents of *Matricaria chamomilla* L. syn. *Chamomilla recutita* (L.) Rauschert. In *Chamomile: Industrial Profiles*. edited by Franke, R., Schilcher, H. Florida: CRC Press.
- Sharafzadeh, Sh., Bazrafshan, F., & Bayatpoor, N. (2012). Effect of naphthaleneacetic acid and spermidine on essential oil constituents of German chamomile. *Inter. Agriculture Crop Science*, 4(23), 1803-1806.
- Sharif moghaddasi, M. (2011). Study on chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) usage and farming. *Environment Biology*, 5, 1446-1453.
- Verma, S., & Mishra, S. N. (2005). Putrescine alleviation of growth in salt stressed *Brassica juncea* by inducing antioxidative defense System. *Plant Physiology*, 162, 669-677.
- Yamaguchi, K., Takahashi, Y., Berberich, T., Imai, A., Takahashi, T., Michael, A. J., & Kusano, T. (2007). A protective role for the polyamine spermine against drought stress in Arabidopsis. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 352, 486-490.
- Yamasaki, H., & Cohen, M. F. (2006). NO signal at the crossroads: polyamine-induced nitric oxide synthesis in plants? *Trends Plant Science*, 11, 522-524.
- Yiu, J., Juang, L., Fang, D., Liu, Ch., & Wu, Sh. (2009). Exogenous putrescine reduces flooding- induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of Welsh onion. *Science Horticulture*, 120(3), 306-314.

- Youssef, A. A., Aly, M. S., Abou Zied, E. N., Iliey, L., & Titiana, S. (2002). Effect of some growth substances on mass production and volatile oil yield of *Mentha piperita* E."Bulgaro". *Egyptian Journal of Applied Science*, 17(11), 610-623.
- Zamani, Z., Niakan, M., & Ghorbani, M. (2013). Effect of endogenous putrescine on phenolic compounds content, antioxidant enzymes and nitrate reductase activity of *Hyoscyomus niger* seedlings under drought stress. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 8(31), 78-90. (In Persian).
- Zhang, W., Jiang, B., Li, W., Song, H., Yu, Y., & Chen, J. (2009). Polyamines enhance chilling tolerance of cucumber (*Cucumis sativus* L.) through modulating antioxidative system. *Science Horticulture*, 122, 200-208.