

The effect of spraying of putrescine on some growth, biochemical, and physiological characteristics of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) under drought stress conditions

Amanollah Soleimani^{*1}, Hossein Sheikhi², Mohammad Sadat-Hosseini³,
Mousa Rasouli⁴

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran. E-mail: aman.soleimani@ujiroft.ac.ir
2. Ph.D. Student, Dept. of Horticultural Sciences Engineering and Landscape, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: h.sheikhi1368@ut.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran. E-mail: m.hosseini@ujiroft.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: mousarasouli@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Full Length Research Paper</p> <p>Article history: Received: 08.28.2023 Revised: 10.10.2023 Accepted: 12.12.2023</p> <p>Keywords: Drought, Environmental stresses, Medicinal plants, Polyamine, Tarragon</p>	<p>Background and Objectives: Tarragon is one of the most important medicinal plants with various medicinal properties and is widely used as a flavoring agent in the food industry. Drought stress affects a wide range of morphological, physiological, and biochemical characteristics of medicinal plants. However, the exogenous application of osmotic active substances such as polyamines is considered as a suitable alternative to deal with the adverse effects of various environmental stresses on plant yield. Nevertheless, little is known about their mechanism to reduce drought stress. The present study investigates the response of tarragon plants to different concentrations of putrescine under drought stress conditions.</p> <p>Materials and Methods: This study was carried out in a factorial experiment based on a completely randomized design with 3 replications in a greenhouse as a pots experiment. After the growth of the plant in the soil of the pot, three stages of foliar spraying with experimental treatments were carried out in this research. Experimental treatments included drought stress (50, 70, and 90% of field capacity) and putrescine foliar spraying with zero (spraying with distilled water), 0.1 and 0.2 mM concentrations. The evaluated parameters include morphological and physiological traits (shoot dry weight, stem height, number of lateral stems, root length, stem diameter, leaf area, leaf relative water content) and phytochemical (chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, electrolyte leakage, proline and malondialdehyde content, antioxidant enzyme activity and essential oil percentage). Data analysis was done using SAS software version 9.4.</p> <p>Results: The results showed that putrescine foliar spraying increased the shoot dry weight, the stem height, and the number of lateral stems. The highest of these traits was obtained under 90% field capacity and no difference was observed between the levels of putrescine at this level of drought stress. Plants grown under 90% crop capacity had the highest stem diameter (35.59 mm) and leaf area (62.89 cm²). Under 50% field capacity, foliar spraying of 0.2 mM putrescine increased the content of chlorophyll a,</p>

b and total by 29.03, 11.76 and 22.91%, respectively, compared to the control. The results also showed that foliar spraying of putrescine increased the relative water content and decreased electrolyte leakage in stressed plants. The content of proline and the activity of antioxidant enzymes also improved under the influence of putrescine. 50% field capacity without putrescine foliar spraying produced the highest percentage of essential oil (2.58%) in tarragon plants.

Conclusion: In general, foliar spraying of putrescine (0.2 mM) through increasing photosynthetic pigments and antioxidant properties can be a useful and practical solution for improving biomass and dealing with drought stress in the tarragon plants.

Cite this article: Soleimani, Amanollah, Sheikhi, Hossein, Sadat-Hosseini, Mohammad, Rasouli, Mousa. 2024. The effect of spraying of putrescine on some growth, biochemical, and physiological characteristics of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, 31 (3), 89-108.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2023.21757.3071

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر محلول‌پاشی پوترسین بر برخی ویژگی‌های رشد، زیست‌شیمیایی و فیزیولوژیکی ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) تحت تنش خشکی

امان‌الله سلیمانی^{۱*}، حسین شیخی^۲، محمد سادات حسینی^۳، موسی رسولی^۴

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران. رایانامه: aman.soleimani@ujiroft.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: h.sheikhi1368@ut.ac.ir
۳. استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران. رایانامه: m.hosseini@ujiroft.ac.ir
۴. دانشیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران. رایانامه: mousarasouli@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: ترخون یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی است که خواص دارویی مختلفی دارد و به عنوان طعم‌دهنده در صنایع غذایی کاربرد فراوانی دارد. تنش خشکی بر طیف وسیعی از خصوصیات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی گیاهان دارویی مؤثر است. با این حال، کاربرد برون‌زای مواد فعال اسمزی مانند پلی‌آمین‌ها به عنوان جایگزین مناسب برای مقابله با اثرات نامطلوب تنش‌های مختلف محیطی بر عملکرد گیاه در نظر گرفته شده است. با این وجود، اطلاعات کمی در مورد مکانیسم آن‌ها برای کاهش تنش خشکی وجود دارد. مطالعه حاضر به بررسی واکنش گیاهان ترخون به غلظت‌های مختلف پوترسین در شرایط تنش خشکی می‌پردازد.
واژه‌های کلیدی: پلی‌آمین، ترخون، تنش‌های محیطی، خشکی، گیاهان دارویی	مواد و روش‌ها: این مطالعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه و به صورت گلدانی اجرا شد. پس از رشد گیاه در گلدان حاوی ماسه و خاک با نسبت ۱:۲، سه مرحله محلول‌پاشی (قبل از تنش، سه و شش هفته بعد از تنش) با تیمارهای آزمایشی در این پژوهش انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل خشکی (۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه) و محلول‌پاشی پوترسین با غلظت‌های صفر (محلول‌پاشی با آب مقطر)، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار بود. صفات مورد ارزیابی شامل صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی (وزن خشک شاخه، طول ساقه، تعداد شاخه جانبی، طول ریشه، قطر ساقه، سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ) و فیتوشیمیایی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، نشت الکترولیت، محتوای پروتئین و

مالون‌دی‌آلدهید، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (SOD, CAT و APX) و درصد و عملکرد اسانس) بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که محلول‌پاشی پوترسین باعث افزایش وزن خشک شاخه، طول ساقه و تعداد شاخه جانبی شد. بیش‌ترین این شاخص‌ها بدون اختلاف معنی‌دار تحت ظرفیت زراعی ۹۰ درصد به دست آمد. گیاهان رشد یافته تحت ظرفیت زراعی ۹۰ درصد بیش‌ترین قطر ساقه (۳۵/۵۹ میلی‌متر) و سطح برگ (۶۲/۸۹ سانتی‌مترمربع) را داشتند. تحت ظرفیت زراعی ۵۰ درصد محلول‌پاشی پوترسین ۰/۲ میلی‌مولار باعث افزایش محتوای کلروفیل a, b و کل به‌ترتیب میزان ۲۹/۰۳، ۱۱/۷۶ و ۲۲/۹۱ درصد نسبت به شاهد شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی پوترسین موجب افزایش محتوای نسبی آب و کاهش نشت الکترولیت در گیاهان تنش دیده شد. محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز تحت‌تأثیر پوترسین بهبود یافت. ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بدون محلول‌پاشی پوترسین بیش‌ترین درصد اسانس (۲/۵۸ درصد) را در گیاهان ترخون بوجود آورد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی محلول‌پاشی پوترسین (۰/۲ میلی‌مولار) از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌تواند به عنوان یک راهکار مفید و عملی برای بهبود زیست‌توده و مقابله به تنش خشکی در گیاه دارویی ترخون مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: سلیمانی، امان‌الله، شیخی، حسین، سادات‌حسینی، محمد، رسولی، موسی (۱۴۰۳). تأثیر محلول‌پاشی پوترسین بر برخی ویژگی‌های رشد، زیست‌شیمیایی و فیزیولوژیکی ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) تحت تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۱ (۳)، ۸۹-۱۰۸.

DOI: 10.22069/JOPP.2023.21757.3071



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) گیاهی چند ساله از خانواده Asteraceae است که به عنوان طعم‌دهنده در صنایع غذایی کاربرد فراوانی دارد (۱). از برگ‌های معطر این گیاه در چاشنی، سالاد و سوپ و همچنین تولید انواع سس و سرکه استفاده می‌شود که موجب کشت گسترده آن شده است. اسانس ترخون در صنایع غذایی، کنسروسازی و عطرسازی نیز کاربرد دارد (۲). اسانس *A. dracunculus* دارای اثرات ضد باکتریایی، ضد قارچی، ضد توموری دارد و همچنین اسانس آن دارای ویژگی محافظتی از DNA است (۳). در طب سنتی ایران از اندام هوایی خشک شده این گیاه برای درمان صرع استفاده می‌شده است (۴). این فعالیت‌های بیولوژیکی مربوط به حضور کومارین‌ها، اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها، آلکامیدها و اسانس‌ها در اندام هوایی گیاه است (۵). این گیاه به خاک‌هایی با زهکشی خوب، حاصلخیزی متوسط تا خوب و شرایط گرم و آفتابی نیاز دارد (۱).

ایران یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان با میانگین بارش سالیانه ۲۴۰ میلی‌متر است طوری که تنش خشکی بیش‌تر از سایر تنش‌ها کشور را تهدید می‌کند (۶). گیاهان تحت‌تأثیر تنش‌های گوناگونی در طول رشد خود فرار می‌گیرند که در این میان تنش کم‌آبی بزرگ‌ترین چالش تولید و پرورش این گیاهان به‌ویژه در ایران می‌باشد (۷). تنش خشکی باعث کاهش رشد (۸)، سطح برگ (۹)، تقسیم سلولی (۱۰)، حجم سلول (۱۱) و کلروفیل (۱۲) گیاهان می‌شود. همچنین شرایط خشکی ویژگی‌های ریخت‌شناسی، روابط آبی، بسته شدن روزنه‌ها، پایداری غشا و متابولیسم لیپید و کربوهیدرات را دچار اختلال می‌کند (۱۳). بنابراین یافتن روش‌های مؤثر در کاهش تنش خشکی و افزایش مقاومت گیاهان به این تنش بسیار دارای اهمیت است (۱۴).

پلی‌آمین‌ها به عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه با عملکردهای متعدد در نظر گرفته می‌شوند طوری که آن‌ها در بسیاری از فرآیندهای رشد و نمو گیاه مانند تقسیم سلولی و تکثیر DNA نقش دارند (۱۵). علاوه بر این، پلی‌آمین‌ها در پاسخ گیاه به شرایط مختلف تنش‌های محیطی نامطلوب از جمله تنش خشکی تأثیر دارند (۱۵). این پاسخ‌ها ممکن است به دلیل توانایی آن‌ها در تنظیم اسمزی (۱۶) و از بین بردن رادیکال‌های آزاد باشد (۱۷). پوترسین عضوی از خانواده پلی‌آمین‌ها است که به عنوان گروهی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهان در نظر گرفته می‌شود (۱۳). همه موجودات زنده شامل این ترکیبات شیمیایی نیتروژن‌دار هستند که با جرم مولکولی کم مشخص می‌شوند (۱۸). پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که پوترسین از تجمع گونه‌های اکسیژن فعال ناشی از تنش خشکی با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جلوگیری می‌کند (۱۹). یافته‌های مشابه هم‌چنین ثابت کرده است که پلی‌آمین‌ها سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی را تقویت می‌کنند (۲۰). هم‌چنین پوترسین برای بهبود ترکیبات شیمیایی تحت تنش و بهبود انواع صفات گیاهی کاربرد دارد (۲۱).

اگرچه چندین گزارش افزایش تحمل به خشکی در گیاهان مختلف را توسط پلی‌آمین‌ها نشان داده‌اند، اما نقش و مکانیسم دقیق پلی‌آمین‌ها با کاربرد برون‌زا در کاهش تنش خشکی به خوبی مشخص نشده است (۲۲). مقاومت گونه‌های مختلف گیاه ترخون به تنش خشکی توسط پژوهش‌گران بررسی شده است. با این وجود تاکنون در ارتباط با تأثیر پوترسین بر این گیاه تحت تنش خشکی گزارشی منتشر نشده است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی نقش پوترسین در افزایش رشد، خواص آنتی‌اکسیدانی و میزان اسانس گیاه ترخون در شرایط تنش خشکی می‌باشد. هم‌چنین بررسی نقش پوترسین در بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی

تحت شرایط خشکی از دیگر اهداف این مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت کشت گلدانی در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه (سال ۱۴۰۰ - دانشگاه جیرفت) با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو عامل تنش خشکی (۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) و غلظت پوترسین (۰، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار) بود. ابتدا تعداد زیادی ریزوم سالم تهیه و در قطعات یکنواخت در گلدان‌های ۰/۲ لیتری کاشته شدند. سپس، بعد از مدتی از بین گلدان‌های با رشد رویشی یکسان (رشد یک سانتی‌متری) گیاهان همراه با بستر به گلدان‌های پلاستیکی ۴ لیتری پر شده با ماسه و خاک با نسبت ۱:۲ انتقال داده شدند. خواص فیزیکی-شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. سطوح تنش خشکی در مرحله ۲۰ برگی گیاه آغاز شد. ظرفیت زراعی با استفاده از روش وزنی برای هر سطح تنش تعیین شد. محلول‌پاشی پوترسین در سه نوبت قبل از تنش (مرحله ۲۰ برگی)، سه و شش هفته بعد از تنش انجام شد. در هر بار محلول‌پاشی، شوینده غیریونی توپین ۲۰ (Bio Basic Inc.) در غلظت ۰/۰۵ میلی‌لیتر در لیتر به عنوان یک عامل مرطوب‌کننده اضافه شد. میانگین رطوبت نسبی و دمای هوا طی دوره کاشت ریزوم تا برداشت نهایی به ترتیب ۶۵-۷۰ درصد و ۱۹-۲۹ درجه سانتی‌گراد بود.

ویژگی‌های رشد: بعد از ظهور علائم رنگ‌پریدگی برگ‌ها در گیاهان تحت تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر انجام شد. اندازه‌گیری‌های رشد شامل وزن تازه و خشک (پس از قرار گرفتن در آون به مدت ۴۸ ساعت

در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد) اندام هوایی و ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ انجام شد. سطح برگ با نرم‌افزار دیجی‌مایزر (Digimizer, MedCalc Software Ltd, Belgium) اندازه‌گیری شد. طول ریشه و ارتفاع ساقه با خط کش و قطر ساقه با کولیس اندازه‌گیری شد. همچنین بخشی از نمونه‌ها جهت اسانس‌گیری در دمای هوای اتاق خشک شدند.

رنگدانه‌های فتوستتزی: از برگ‌های تازه (۰/۲ گرم) برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کل استفاده شد. برای انجام این کار، نمونه‌ها در یک هاون و با ۸۰ درصد استون همگن شدند و سپس با دور ۹۵۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. مایع رویی با آب مقطر (حجم کل ۱۰۰ میلی‌لیتر) رقیق شد. جذب نمونه‌ها در ۶۶۳ نانومتر و ۶۴۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر به ترتیب برای کلروفیل a و b خوانده شد (۲۳).

محتوای نسبی آب (RWC): محتوای نسبی آب با استفاده از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته اندازه‌گیری شد. برگ‌ها به سرعت در کیسه‌های پلاستیکی شفاف قرار داده شدند و وزن تازه (FW) بلافاصله پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه ثبت شد. سپس به مدت ۶ ساعت در دمای اتاق در آب مقطر دوبار تقطیر داخل پتری‌دیش سرپوشیده قرار گرفتند و وزن تورژسانس کامل (TW) ثبت شد. نمونه‌های برگ به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس وزن خشک (DW) تعیین شد. در نهایت، RWC برآورد شد (۲۴):

نشست یونی (Electrolyte leakage): نمونه‌های برگ با وزن مساوی (۵×۵ میلی‌متر) در ۲۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر گذاشته شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر روی شیکر نگهداری شدند. هدایت الکتریکی (EC) اولیه (E1) پس از

شدند. در این مرحله هدایت الکتریکی نهایی (E2) ثبت شد. نشت یونی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (۲۲):

$$\text{Electrolyte leakage (\%)} = (E1/E2) \times 100 \quad (1)$$

سنجش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: برگ‌های تازه (۰/۵ گرم) در ۳ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات (۵۰ میلی‌مولار، pH برابر ۷/۸) حاوی ۱ میلی‌مولار $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ، ۱ درصد وزنی-وزنی پلی‌وینیل‌پیرولیدون و ۱ میلی‌مولار آسکوربات برای سنجش APX همگن شدند و در دور ۱۵۰۰۰ در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند و سپس از مایع رویی برای سنجش استفاده شد. پروتئین‌های محلول با روش Bradford (۱۹۷۶) ارزیابی شدند (۲۷).

فعالیت SOD به روش اسپکتروفتومتری بر اساس اندازه‌گیری ظرفیت آن در مهار کاهش فوتو-شیمیایی تترازولیم نیترو آبی تعیین شد (۲۸). مخلوط واکنش حاوی ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH برابر ۷/۸)، ۱۳ میلی‌مولار متیونین، ۰/۱ میلی‌مولار EDTA، ۲ میکرومولار ربیوفلاوین و ۷۵ میکرومولار تترازولیم نیترو آبی و مقدار مورد نیاز عصاره آنزیمی بود. جذب محلول در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

فعالیت کاتالاز با استفاده از عصاره پروتئینی ذکر شده در بالا مورد سنجش قرار گرفت. مخلوط سنجش حاوی ۲۵ میلی‌مولار بافر فسفات سدیم (pH برابر ۷)، ۱۰ میلی‌مولار H_2O_2 و محلول آنزیم بود. کاهش جذب حاصل از تجزیه H_2O_2 (ضریب خاموشی $\text{cm}^{-1} \text{mM}^{-1}$ ۳۹/۴) در ۲۴۰ نانومتر به مدت ۱ دقیقه ثبت شد (۲۹).

رساندن دمای نمونه به ۲۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شد. سپس نمونه‌ها در ۰/۱ مگاپاسکال به مدت ۱۰ دقیقه اتوکلاو شده و تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خنک

محتوای پرولین و مالون‌دی‌آلدهید: پرولین با استفاده از روش پیشنهادی Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد (۲۵). حدود ۰/۵ گرم از وزن تر برگ در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک (۳ درصد) آسیاب شد. دو میلی‌لیتر از عصاره با ۲ میلی‌لیتر معرف اسید نین‌هیدرین مخلوط شد و به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. مخلوط واکنش پرولین با ۴ میلی‌لیتر تولوئن استخراج شد. تولوئن از فاز آبی در دمای اتاق خارج شد. جذب با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر انجام شد. یک منحنی استاندارد برای L-پرولین به منظور سنجش محتوای پرولین رسم و محتوای پرولین به صورت میکرومول بر یک گرم وزن تازه بیان شد.

مالون‌دی‌آلدهید بر اساس روش Heath و Packer (۱۹۶۸) اندازه‌گیری شد (۲۶). به طور خلاصه، برگ‌های تازه (۰/۵ گرم) با ۵ میلی‌لیتر اسید تری‌کلرواستیک ۰/۱ درصد به صورت وزنی-حجمی همگن شدند و به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۱۲۰۰۰ سانتی‌فیوژ شدند. سپس، ۲ میلی‌لیتر مایع رویی به ۲ میلی‌لیتر تیوباریتوریک اسید ۰/۵ درصد وزنی-حجمی اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند، سپس با استفاده از حمام یخ واکنش متوقف شد. سپس نمونه‌ها در دور ۱۲۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند و جذب مایع رویی در طول موج ۵۳۲ نانومتر ثبت شد. محتوای مالون‌دی‌آلدهید بر اساس ضریب خاموشی آن ($\text{cm}^{-1} \text{mM}^{-1}$ ۱۵۵) برآورد شد.

خشک شاخه، طول ساقه و تعداد شاخه جانبی شد (جدول ۴). بیش‌ترین این شاخص‌ها تحت ظرفیت زراعی ۹۰ درصد به دست آمد و اختلافی بین سطوح پوترسین در این سطح تنش خشکی مشاهده نشد. نتایج هم‌چنین مشخص کرد که با کاهش ظرفیت زراعی به‌طور میانگین وزن خشک شاخه (۴۶ درصد)، طول ساقه (۴۸ درصد) و تعداد شاخه جانبی (۳۵ درصد) کاهش می‌یابد (جدول ۴). هم‌سو با نتایج این مطالعه سلاح‌ورزی و کمالی (۳۲) نیز نتایج مشابهی را در گیاهان ترخون تحت تأثیر ختنش خشکی مشاهده کردند. توقف پارامترهای رشد اولیه تحت تنش خشکی می‌تواند مرتبط با مهار تورژسانس سلولی باشد که باعث سرکوب رشد و طویل شدن سلول می‌شود (۳۳). پلی‌آمین‌ها در فعالیت‌های فیزیولوژیکی مختلف از جمله رشد جنین، رشد ریشه، اندام‌زایی، تمایز گل‌ها، رسیدن میوه و پاسخ‌های دفاعی گیاه نقش دارند (۱۳). پوترسین در مسیرهای هورمونی مختلف، از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن و تنظیم تعادل اسمزی نقش دارد (۳۴). پوترسین هم‌چنین تأثیر مفیدی بر جنبه‌های ریخت‌شناسی رشد دارد (۳۵). به‌عنوان مثال، محلول‌پاشی پوترسین در گیاهان *Plargonium graveolens* به‌طور قابل‌توجهی باعث افزایش ارتفاع بوته و وزن تر و خشک برگ در هر بوته شد. نتایج مشابهی در گیاه دارویی *Thymus vulgaris* تحت تنش خشکی به دست آمد که تأییدی بر نتایج مطالعه حاضر است (۳۶).

گیاهان ترخون رشد یافته تحت ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بیش‌ترین رشد طول ریشه (۱۳۳/۴۰ میلی‌متر) را نسبت به ظرفیت زراعی ۷۰ درصد (۱۰۴/۶۵ میلی‌متر) و ۹۰ درصد (۶۳/۹۵ میلی‌متر) داشتند (جدول ۵). به‌طور کلی، سیستم ریشه عمیق و به خوبی توسعه یافته راهکاری برای جلوگیری از خشک شدن در نظر گرفته می‌شود (۳۷). هم‌چنین نتایج مقایسه

از روش Nakano و Asada (۱۹۸۱) برای تخمین فعالیت APX بر اساس کاهش جذب ۲۹۰ نانومتر (ضریب خاموشی $2/8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) به مدت یک دقیقه در یک میلی‌لیتر از مخلوط واکنش استفاده شد (۳۰). مخلوط واکنش حاوی ۱۰۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH برابر ۷)، ۲ میلی‌مولار H_2O_2 ، ۰/۵ میلی‌مولار آسکوربات و مقدار مورد نیاز عصاره آنزیمی بود. برای شروع واکنش، عصاره آنزیمی به مخلوط واکنش اضافه شد. اصلاحات برای کاهش غیرآنزیمی کم آسکوربات توسط H_2O_2 انجام شد.

درصد و عملکرد اسانس: بعد از نمونه‌برداری هر تیمار نمونه‌های تازه در دمای اتاق هوا خشک شدند. سپس نمونه‌های خشک به‌طور جداگانه تحت تقطیر با آب قرار گرفتند و درصد اسانس توسط دستگاه کلونجر بر اساس فارماکوپه مصر (۱۹۸۴) تعیین شد (۳۱). هم‌چنین در پایان عملکرد اسانس در گیاه نیز محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری: نتایج آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات ریخت‌شناسی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل پوترسین و تنش خشکی بر روی صفات وزن خشک شاخه، طول ساقه و تعداد شاخه جانبی معنی‌دار بود. هم‌چنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که طول ریشه، قطر ساقه و سطح برگ فقط تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تحت تمام سطوح ظرفیت زراعی محلول‌پاشی پوترسین باعث افزایش وزن

کلروفیل می‌شود (۴۰). افزایش غلظت کلروفیل و فرآیندهای فتوسنتز توسط اعمال برون‌زا پوترسین شناخته شده است (۱۷). اثرات مثبت پلی‌آمین‌ها بر سطوح کلروفیل را به محافظت از غشاهای تیلاکوئید در محل کمپلکس کلروفیل-پروتئین می‌توان نسبت داد (۴۱).

محتوای نسبی آب: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل خشکی و محلول‌پاشی پوترسین بر محتوای نسبی آب تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تحت ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۰ درصد محلول‌پاشی پوترسین نسبت به شاهد باعث افزایش محتوای نسبی آب در گیاهان ترخون شد. تحت ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۰ درصد محلول‌پاشی با ۰/۲ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب باعث افزایش ۵۹/۸۴ و ۲۶/۳۵ درصدی محتوای نسبی آب نسبت به محلول‌پاشی شاهد شد. با این حال تحت ظرفیت زراعی ۹۰ درصد اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی پوترسین مشاهده نشد هر چند در این سطح از خشکی بیش‌ترین محتوای نسبی آب در برگ گیاهان ترخون ثبت شد و با کاهش ظرفیت زراعی این شاخص کاهش معنی‌داری را نشان داد (شکل ۱). حفظ وضعیت آب در سطح بالا به ویژه در محیط‌های خشک از اهمیت بالایی در گیاهان برخوردار است. کاهش محتوای آب نسبی با افزایش خشکی در گیاهان دارویی دیگر از جمله *T. vulgaris* نیز گزارش شده است که همسو با نتایج این مطالعه می‌باشد (۳۶). در این مطالعه پوترسین در افزایش محتوای نسبی آب در گیاهان ترخون مؤثر بود که نشان‌دهنده نقش اساسی آن در حفظ وضعیت آب بالاتر و افزایش تحمل به تنش آبی گیاهان ترخون است. به‌طور مشابه، Farooq و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند (۱۷) که کاربرد پلی‌آمین‌های برون‌زا پتانسیل آب برگ و محتوای نسبی آب گیاهان برنج

میانگین نشان داد که افزایش تنش خشکی موجب کاهش قطر ساقه و سطح برگ شد به‌طوری‌که در ظرفیت زراعی ۹۰ درصد بیش‌ترین قطر ساقه (۳۵/۵۹ میلی‌متر) و سطح برگ (۶۲/۸۹ سانتی‌مترمربع) مشاهده شد و کم‌ترین آن‌ها در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد (به ترتیب ۲۰/۸۰ میلی‌متر و ۴۱/۵۲ سانتی‌مترمربع) ثبت شد (جدول ۵). کاهش سطح برگ تحت تأثیر خشکی در مطالعات زیادی گزارش شده است (۱۳، ۲۰، ۳۸). این امر به دلیل آن است که گیاه برای کاهش تبخیر و تعرق از سطح برگ‌های خود تعداد و سطح برگ خود را کاهش می‌دهد که یک فرایند دفاعی محسوب می‌شود (۳۹).

رنگی‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل پوترسین و خشکی بر محتوای کلروفیل a، b و کل اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان که در تمامی سطوح ظرفیت زراعی محلول‌پاشی پوترسین باعث افزایش محتوای کلروفیل نسبت به شاهد شد (جدول ۴). تحت ظرفیت زراعی ۵۰ درصد محلول‌پاشی پوترسین ۰/۲ میلی‌مولار باعث افزایش محتوای کلروفیل a، b و کل به ترتیب میزان ۲۹/۰۳، ۱۱/۷۶ و ۲۲/۹۱ درصد نسبت به شاهد شد. این افزایش تحت ظرفیت زراعی ۷۰ درصد به ترتیب ۶/۵۲، ۲۰/۶۸ و ۱۳/۵۱ درصد بود (جدول ۴). هم‌چنین بیش‌ترین میزان محتوای کلروفیل a، b و کل در ظرفیت زراعی ۹۰ درصد مشاهده شد. در این سطح از خشکی محلول‌پاشی پوترسین ۰/۲ میلی‌مولار تأثیری بر افزایش کلروفیل a نسبت به شاهد نشان نداد ولی کلروفیل b و کل به ترتیب ۴/۶۵ و ۱/۹۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). تنش خشکی غلظت کلروفیل را با مهار بیوسنتز آن یا از طریق تجزیه کلروپلاست به دلیل افزایش سنتز گونه‌های فعال اکسیژن کاهش می‌دهد (۱۵). هم‌چنین منجر به پراکسیداسیون لیپیدی و در نتیجه تخریب

می‌کند (۴۵) و در نهایت از غشای سلولی محافظت می‌کند (۴۶).

پرولین و مالون‌دی‌آلدهید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل خشکی و محلول‌پاشی پوترسین بر محتوای پرولین و مالون‌دی‌آلدهید معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاهش ظرفیت زراعی محتوای پرولین گیاهان ترخون افزایش یافت. به طوری که در ظرفیت زراعی ۹۰ درصد کم‌ترین محتوای پرولین و در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بیش‌ترین محتوای پرولین ثبت شد. هم‌چنین محلول‌پاشی پوترسین باعث افزایش محتوای پرولین تحت ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۰ درصد شد. تحت ظرفیت زراعی ۵۰ درصد کاربرد ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب محتوای پرولین را ۲۱/۰۵ و ۱۰۰/۵۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. این افزایش محتوای پرولین تحت ظرفیت زراعی ۷۰ درصد ۴۸/۸۷ و ۹۰/۲۲ درصد بود. محلول‌پاشی پوترسین تحت ظرفیت زراعی ۹۰ درصد تأثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین گیاهان ترخون ایجاد نکرد (شکل ۳ الف). در مطالعات متعددی انباشت پرولین تحت تنش‌های محیطی به عنوان یک مکانیسم تحمل به تنش گزارش شده است (۴۷)، با این‌حال، برخی مطالعات نشان می‌دهند که تجمع پرولین ناشی از تنش ممکن است نشانه‌ای از شاخص آسیب تنش و نه به عنوان شاخص تحمل به تنش باشد (۴۸، ۴۹). نتایج ما با نتایج Ebeed و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد، آن‌ها دریافتند که محتوای پرولین به‌طور قابل‌توجهی در گیاهان تحت تنش خشکی تیمار شده با پوترسین افزایش یافته است (۵۰). پوترسین به عنوان بافر و اسمولیت عمل کرده و تجمع پرولین آزاد را تسهیل و در نتیجه پتانسیل آب برگ را در شرایط کمبود آب حفظ و از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب‌های استرس ناشی از اکسیداتیو محافظت می‌نماید (۳۶).

تحت تنش خشکی را بهبود می‌بخشد. بنابراین، چنین تأثیر تسکین‌دهنده آشکاری بر وضعیت آب (به عنوان مثال، محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ) ممکن است به عملکرد فیزیولوژیکی پلی‌آمین‌ها در تنظیم اسمزی سلولی (انباشت پلی‌آمین‌ها) در شرایط محیطی تنش‌زا نسبت داده شود (۳۶).

نشت الکترولیت: طبق جدول تجزیه واریانس ۳ مشخص شد که اثر متقابل خشکی و محلول‌پاشی پوترسین بر نشت الکترولیت اثر معنی‌داری داشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با کاهش ظرفیت زراعی نشت الکترولیت افزایش می‌یابد به طوری که بیش‌ترین نشت الکترولیت در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد مشاهده شد و کم‌ترین آن تحت ظرفیت زراعی ۹۰ درصد بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که محلول‌پاشی پوترسین تحت ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۰ درصد موجب کاهش نشت الکترولیت در گیاهان تیمار شده ترخون شد. تحت ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۰ درصد محلول‌پاشی با ۰/۱ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب باعث کاهش ۷/۸۱ و ۷/۹۷ درصدی نشت الکترولیت نسبت به محلول‌پاشی شاهد شد. این کاهش نشت الکترولیت برای محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب برابر با ۱۶/۶۱ و ۱۰/۶۴ درصد بود. تحت ظرفیت زراعی ۹۰ درصد اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی مشاهده نشد (شکل ۲). تنش آبی ترکیب شیمیایی و ساختار فیزیکی غشاهای بیولوژیکی را تغییر می‌دهد که به نوبه خود تأثیر مستقیمی بر میزان نشت الکترولیت دارد (۴۲). از طرفی پوترسین تمایل به اتصال به فسفولیپیدهای اسیدی با بار منفی دارد (۴۳). این برهمکنش یونی ساختار، عملکرد و سنتز لیپیدها (جزء اصلی غشای سلولی) را تنظیم می‌کند (۴۴). در واقع پوترسین نسبت اسیدهای چرب غیراشباع و اشباع را تغییر می‌دهد، ثبات و سیالیت غشاء را حفظ

زراعی ۹۰ درصد مشاهده شد. محلول پاشی پوترسین (۰/۲ میلی مولار) در هر سه سطح ظرفیت زراعی باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز به طور معنی داری نسبت به محلول پاشی شاهد شد. تحت ظرفیت زراعی ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد، ۰/۲ میلی مولار پوترسین به ترتیب ۱۳۲/۳۶، ۷۴/۷۲ و ۱۳۹/۴۲ درصد فعالیت این آنزیم را نسبت به محلول پاشی شاهد افزایش داد (شکل ۴ الف). افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز نیز با کاهش ظرفیت زراعی افزایش نشان داد به طوری که در ظرفیت زراعی ۹۰ درصد کمترین فعالیت و در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بیشترین فعالیت این آنزیم مشاهده شد. محلول پاشی پوترسین (۰/۲ میلی مولار) فقط تحت ظرفیت زراعی ۵۰ درصد باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد. به طوری که ۷۰ درصد نسبت به محلول پاشی شاهد فعالیت این آنزیم افزایش نشان داد (شکل ۴ ب). همانند فعالیت آنزیمهای کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز با کاهش ظرفیت زراعی افزایش یافت. نتایج نشان داد که کمترین و بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به ترتیب تحت ظرفیت زراعی ۹۰ و ۵۰ درصد مشاهده شد. محلول پاشی پوترسین به ویژه ۰/۲ میلی مولار در هر دو سطح ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۰ درصد موجب افزایش معنی دار فعالیت این آنزیم شد. تحت ظرفیت زراعی ۵۰ درصد، ۰/۱ و ۰/۲ میلی مولار محلول پاشی پوترسین به ترتیب موجب افزایش ۱۷/۲۹ و ۶۸/۷۹ درصدی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نسبت به محلول پاشی شاهد شد. این افزایش فعالیت آنزیم تحت ظرفیت زراعی ۷۰ درصد به ترتیب برابر با ۵۳/۶۷ و ۷۹/۰۹ درصد بود. نتایج هم چنین نشان داد که بین سطوح مختلف محلول پاشی پوترسین تحت ظرفیت زراعی ۹۰ درصد اختلاف معنی داری وجود ندارد (شکل ۴ ج).

مقدار مالون دی آلدئید نیز با کاهش ظرفیت زراعی افزایش نشان داد به طوری که در ظرفیت زراعی ۹۰ درصد کمترین و در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بیشترین محتوای مالون دی آلدئید مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که تنها در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد محلول پاشی پوترسین (۰/۲ میلی مولار) موجب کاهش محتوای مالون دی آلدئید شد به طوری که این کاهش نسبت به شاهد ۴۱/۹۴ درصد بود (شکل ۳ ب). کاهش قابل توجه در محتوای مالون دی آلدئید از طریق استفاده از پوترسین در شرایط تنش خشکی در مطالعات دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارند (۵۲، ۵۱، ۱۷). محتوای کم تر مالون دی آلدئید مشاهده شده در برگ های ترخون تیمار شده با پوترسین در شرایط خشکی نشان دهنده حفاظت بهتر از عملکرد گیاه در برابر آسیب اکسیداتیو در مقایسه با شاهد است. به نظر می رسد حفاظت بهتر در چنین گیاهانی ناشی از سیستم های آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی کارآمدتر باشد (۳۶). نتایج ما در مورد ترخون با نتایج Verma و Mishra (۲۰۰۵) (۵۳) در مورد *Brassica juncea* مطابقت دارد، به طوری که تحت تنش شوری کاربرد پوترسین مانع کاهش رشد و تجمع زیست توده شد و سطح مالون دی آلدئید را افزایش داد.

فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر متقابل خشکی و محلول پاشی پوترسین بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز اثر معنی داری داشت (جدول ۳). فعالیت آنزیم کاتالاز با افزایش تنش خشکی افزایش یافت به طوری که بیشترین فعالیت این آنزیم تحت ظرفیت زراعی ۵۰ درصد و کمترین فعالیت آن تحت ظرفیت

در گیاهان را از طریق تنظیم سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی همراه با تغییرات در تولید گونه‌های فعال اکسیژن بهبود ببخشند (۳۶).

درصد و عملکرد اسانس: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد درصد اسانس به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل خشکی و محلول‌پاشی پوترسین قرار گرفت، در حالی‌که عملکرد اسانس فقط تحت تأثیر خشکی قرار داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بدون محلول‌پاشی پوترسین بیش‌ترین درصد اسانس (۲/۵۸ درصد) را در گیاهان ترخون بوجود آورد. پوترسین در این سطح از تنش خشکی موجب کاهش درصد اسانس شد. تحت ظرفیت زراعی ۷۰ و ۹۰ درصد اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی پوترسین مشاهده نشد (شکل ۵ الف). بالاترین عملکرد اسانس تحت ظرفیت زراعی ۹۰ درصد ثبت شد که نسبت به کم‌ترین آن (ظرفیت زراعی ۵۰ درصد) ۷۷/۸ درصد افزایش نشان داد (شکل ۵ ب). افزایش درصد اسانس در گیاهانی که در شرایط کم‌آبی رشد می‌کنند را می‌توان به وقوع تراکم بیش‌تر غدد روغنی در سطح برگ نسبت داد که با کاهش سطح برگ همراه است (۶۳). گزارش شده است که تنش خشکی باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه می‌شود که ممکن است منجر به تغییر در اجزای اسانس گیاهان شود (۶۴). از طرفی گزارش شده است که پوترسین با کاهش اثرات مخرب خشکی، موجب بهبود درصد اسانس در گیاهان دارویی از جمله آویشن می‌شود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (۱۵).

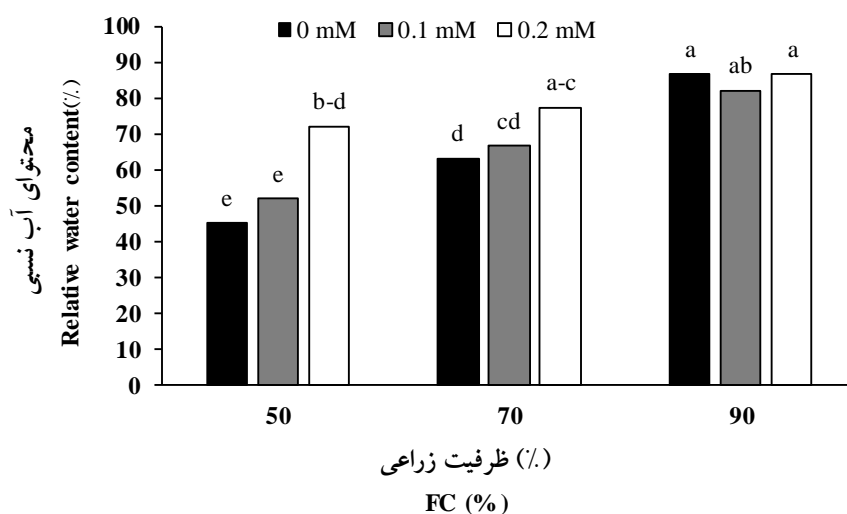
نتیجه‌گیری کلی

کاربرد پوترسین به صورت برون‌زا در مطالعه ما اثر معنی‌دار و قابل‌توجهی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی در شرایط غیرتنش و تحت تنش آبی گذاشت. این مطالعه نشان

افزایش بیش‌تر فعالیت سوپراکسیددیسموتاز در گیاهان ترخون تیمار شده با پوترسین در شرایط خشکی ممکن است به فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالقوه پلی‌آمین‌ها نسبت داده شود (۵۴). پذیرفته شده است که پلی‌آمین‌ها به مولکول‌های آنزیم آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز متصل می‌شوند و به آن‌ها اجازه می‌دهند تا به مکان‌های فعال تنش اکسیدانی در داخل سلول‌ها نفوذ کنند (۵۵). سوپراکسیددیسموتاز سیستم دفاعی خط مقدم را در برابر گونه‌های فعال اکسیژن تشکیل می‌دهد و O_2^- بسیار سمی را به H_2O_2 و O_2 تبدیل می‌کند (۵۶). H_2O_2 به عنوان محصول سوپراکسیددیسموتاز، هنوز یک عامل سمی است و برای تبدیل شدن به محصول بی‌ضرر برای سلول‌ها، باید با تبدیل به H_2O در مراحل بعدی با واکنش سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و اسکوربات‌پراکسیداز حذف شود (۵۷). فعالیت سوپراکسیددیسموتاز بالاتر، در صورتی که با افزایش فعالیت آنزیم‌های مهارکننده H_2O_2 مانند پراکسیداز و کاتالاز همراه باشد، به عنوان یک مکانیسم کارآمد ضد تنش خشکی برای مقابله با آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی شناخته شده است (۵۸). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همراه با کاهش تولید و تجمع ROS از طریق عرضه خارجی پلی‌آمین‌ها قبلاً برای سایر گونه‌های گیاهی تحت شرایط مختلف تنش‌های غیرزیستی گزارش شده است. به عنوان مثال، می‌توان به کاهش آسیب‌های ناشی از گرما با استفاده از اسپرمیدین در گیاه *Oryza sativa* (۵۹)، القای تحمل سرما توسط پوترسین در *Nicotiana tabacum* (۶۰)، افزایش سازگاری با تنش اسمزی توسط اسپرمین در *Glycine max* (۶۱) و همچنین کاهش تنش شوری با محلول‌پاشی با اسپرمین در *Cucumis sativus* (۶۲) اشاره کرد. این گزارش‌ها نشان می‌دهد که پلی‌آمین‌ها ممکن است اثرات مخرب تنش اکسیداتیو

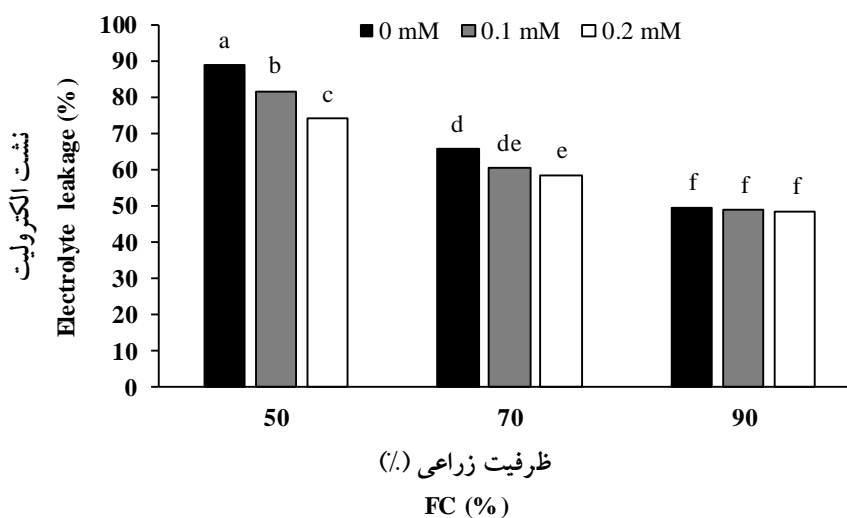
حداکثر مقدار بود ولی درصد اسانس نیز به عنوان یک شاخص کیفی افزایش قابل توجهی نشان داد. به طور کلی، پوترسین برونزا اگرچه موجب کاهش درصد اسانس در سطح شدید تنش خشکی شد ولی به عنوان یک راهبرد سودمند برای کاهش اثر تنش خشکی و افزایش زیست توده از طریق محافظت از رنگدانه های فتوسنتزی، کاهش از دست دادن آب و حفظ ساختار غشای سلولی و به ویژه تحریک بیشتر آنزیم های آنتی اکسیدانی است.

داد که پوترسین با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی در مقایسه با گیاهان شاهد در گیاهان ترخون، اثرات مخرب ناشی از خشکی را کاهش می دهد. درصد اسانس در گیاهانی که در شرایط تنش خشکی رشد کرده بودند به حداکثر میزان خود رسید. گیاهان تیمار شده با پوترسین (به ویژه 0/2 میلی مولار) حداکثر زیست توده و رنگیزه های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ را نشان دادند. در شرایط تنش آبی اگرچه مقدار پرولین، مالون دی آلدئید، نشت الکترولیت



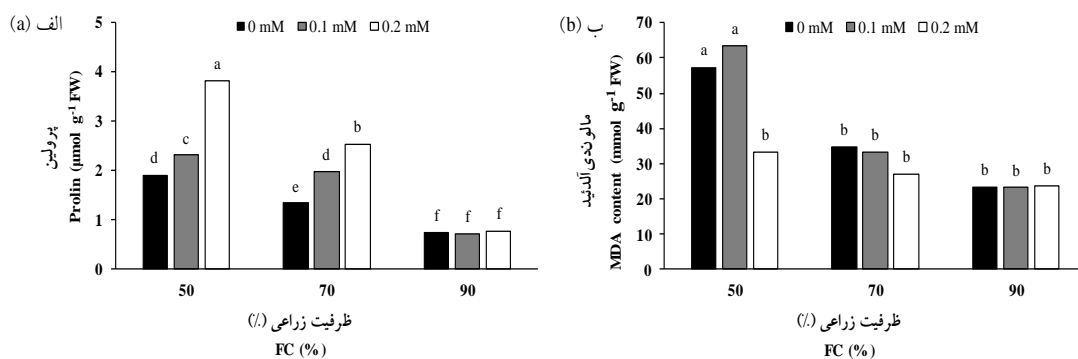
شکل ۱- اثرات متقابل خشکی و پوترسین بر محتوای آب نسبی گیاه ترخون.

Fig. 1. Interaction effects of drought and putrescine on relative water content of Tarragon plant.



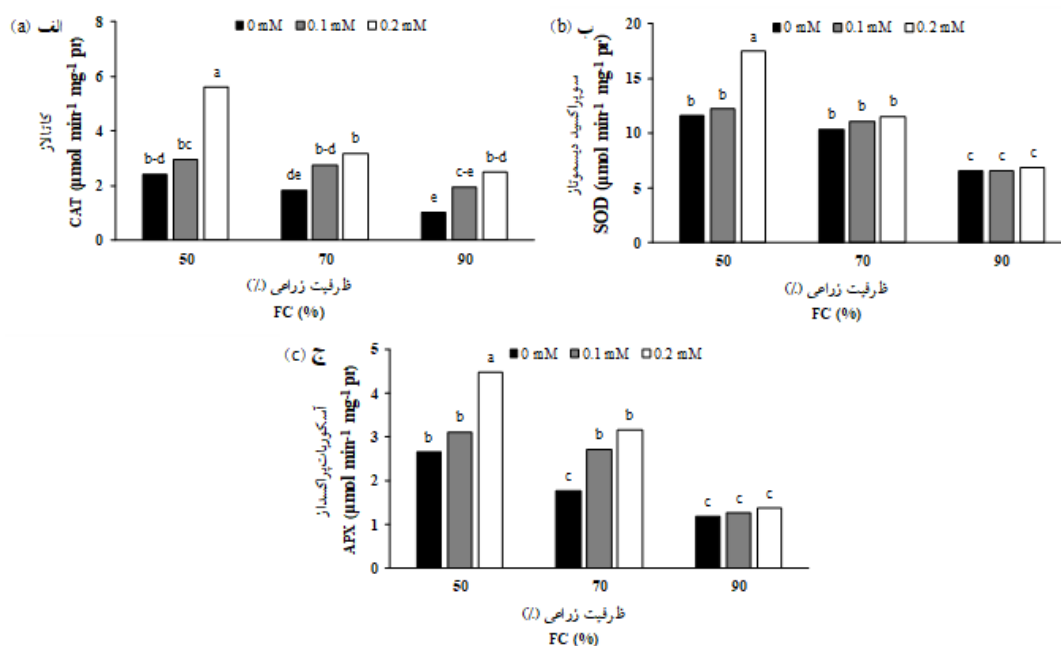
شکل ۲- اثرات متقابل خشکی و پوترسین بر نشت الکترولیت گیاه ترخون.

Fig. 2. Interaction effects of drought and putrescine on electrolyte leakage of Tarragon plant.



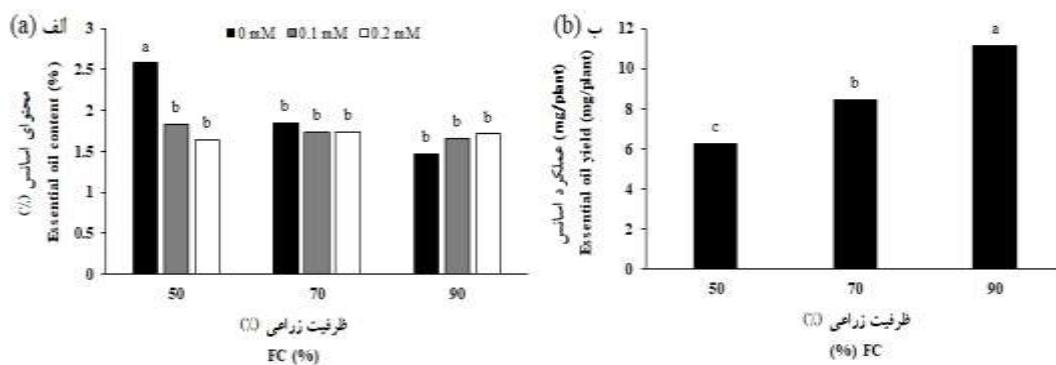
شکل ۳- اثرات متقابل خشکی و پوترسین بر مقدار پرولین و مالون‌دی‌آلدئید گیاه ترخون.

Fig. 3. Interaction effects of drought and putrescine on proline and malondialdehyde of Tarragon plant.



شکل ۴- اثرات متقابل خشکی و پوترسین بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه ترخون.

Fig. 4. Interaction effects of drought and putrescine on the activity of antioxidant enzymes of Tarragon plant.



شکل ۵- (الف) اثرات متقابل خشکی و پوترسین بر محتوای اسانس گیاه ترخون. (ب) اثر تنش خشکی بر عملکرد اسانس گیاه ترخون.

Fig. 5. (a) Interaction effects of drought and putrescine on the essential oil content of Tarragon plant. (b) The effect of drought stress on the essential oil yield of Tarragon plant.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مورد استفاده در این مطالعه.

Table 1. Characteristics of the soil used in this study.

مقدار Value	ویژگی‌های خاک Soil characteristics	مقدار Value	ویژگی‌های خاک Soil characteristics
652.16	پتاسیم قابل تبادل Exchangeable Potassium (ppm)	6.02	ماده آلی Organic matter (g/kg)
396.34	کلسیم Calcium (ppm)	6.9	اسیدیته Acidity (pH)
25.02	شن Sand (%)	2.16	شوری EC (ds/m)
45.01	رس Clay (%)	0.09	نیتروژن Total nitrogen (%)
29.97	سیلت Silt (%)	112.02	فسفر قابل دسترس Available Phosphorus (ppm)

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی و پوترسین بر صفات ریخت‌شناسی و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه ترخون.

Table 2. Analysis of variance (Mean squares) effect of drought stress and putrescine on morphological and photosynthetic pigments traits of Tarragon.

محتوای کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b	محتوای کلروفیل a Chlorophyll a	سطح برگ Leaf Area	تعداد شاخه جانبی Number of lateral stems	قطر ساقه Stem diameter	طول ریشه Root length	طول ساقه Stem height	وزن خشک شاخه Shoot dry weight	درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V
0.566**	0.155**	0.128**	1054.3**	16.25**	494.7**	10961.9**	2156.3**	0.312**	2	خشکی Drought
0.012**	0.002**	0.004**	8.85 ^{ns}	1.03**	13.5 ^{ns}	34.67 ^{ns}	104.8*	0.022**	2	پوترسین Putrescine
0.001**	0.0004**	0.001**	3.93 ^{ns}	0.25*	1.44 ^{ns}	23.97 ^{ns}	61.8*	0.004**	4	پوترسین × خشکی Putrescine × Drought
0.0001	0.00004	0.00004	26.8	0.07	5.06	58.74	19.6	0.0007	18	خطا Error
1.60	2.01	1.39	9.73	9.18	8.07	7.61	9.81	5.66	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation

*, ** and ^{ns} indicate significance at 5%, 1% and non-significance, respectively

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی و پوترسین بر صفات ریخت‌شناسی، بیوشیمیایی، فعالیت آنزیمی و اسانس گیاه ترخون.

Table 3. Analysis of variance (Mean squares) effect of drought stress and putrescine on physiological, biochemical, enzyme activity and essential oil traits of Tarragon.

عملکرد اسانس Essential oil yield	محتوای اسانس Essential oil content	آسکوربات پر اکسیداز APX	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	کاتالاز CAT	مالون دی آلدئید MDA	پروترین Proline	نشت الکترولیت Electrolyte Leakage	محتوای نسبی آب RWC	درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V
0.540**	0.379*	10.45**	115**	7.65**	1845.6**	8.38**	2416.4**	1863.9**	2	خشکی Drought
3.662 ^{ns}	0.193 ^{ns}	2.87**	15.18**	9.10**	387*	2.60**	132.1**	497.7**	2	پوترسین Putrescine
0.695 ^{ns}	0.305*	0.69*	8.64*	1.32*	214.4*	0.80**	35.5*	140.7*	4	پوترسین × خشکی Putrescine × Drought
2.693	0.07	0.23	2.40	0.36	70.4	0.005	10.4	40.21	18	خطا Error
19.02	15.50	20.12	14.81	22.39	23.60	4.10	5.05	9.03	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation

*, ** and ^{ns} indicate significance at 5%, 1% and non-significance, respectively

جدول ۴- اثرات متقابل خشکی و پوترسین بر صفات ریخت‌شناسی و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه ترخون.

Table 4. Interaction effects of drought and putrescine on morphological traits and photosynthetic pigments of Tarragon plant.

تعداد شاخه جانبی Number of lateral stems	طول ساقه Stem height (cm)	وزن خشک شاخه Shoot dry weight (g/plant)	پوترسین Putrescine (mM)	ظرفیت زراعی FC (%)
1.0 ^d	27.3 ^c	0.24 ^e	0	50
1.3 ^d	27.8 ^c	0.32 ^d	0.1	
2.0 ^c	29.4 ^c	0.40 ^c	0.2	
3.0 ^b	43.6 ^b	0.41 ^c	0	70
3.3 ^b	43.7 ^b	0.48 ^b	0.1	
4.0 ^a	58.6 ^a	0.53 ^b	0.2	
4.0 ^a	57.7 ^a	0.68 ^a	0	90
4.0 ^a	58.7 ^a	0.70 ^a	0.1	
4.0 ^a	59.1 ^a	0.69 ^a	0.2	

محتوای کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g FW)	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g FW)	محتوای کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g FW)	پوترسین Putrescine (mM)	ظرفیت زراعی FC (%)
0.48 ^h	0.17 ^g	0.31 ^g	0	50
0.53 ^g	0.18 ^g	0.35 ^f	0.1	
0.59 ^f	0.19 ^f	0.40 ^e	0.2	
0.74 ^e	0.29 ^e	0.46 ^d	0	70
0.81 ^d	0.33 ^d	0.48 ^c	0.1	
0.84 ^c	0.35 ^c	0.49 ^c	0.2	
1.03 ^b	0.43 ^b	0.60 ^{ab}	0	90
1.04 ^{ab}	0.45 ^a	0.59 ^b	0.1	
1.05 ^a	0.45 ^a	0.60 ^a	0.2	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند
Means with same letters in each column do not have significant differences based on the LSD test at the 5% probability level

جدول ۵- اثر اصلی خشکی بر برخی صفات ریخت‌شناسی گیاه ترخون.

Table 5. Main effect of drought stress on some morphological traits of Tarragon plant.

سطح برگ Leaf area (cm ²)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	طول ریشه Root length (mm)	ظرفیت زراعی FC (%)
41.52 ^c	20.80 ^c	133.40 ^a	50
55.17 ^b	27.17 ^b	104.65 ^b	70
62.89 ^a	35.59 ^a	63.95 ^c	90

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند

Means with same letters in each column do not have significant differences based on the LSD test at the 5% probability level

منابع

- Basiri, M. H., & Nadjafi, F. (2019). Effect of plant density on growth, yield and essential oil characteristics of Iranian Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) landraces. *Scientia Horticulturae*, 257, 108655.
- Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M. R., & Shayganfar, A. (2021). Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products*, 164, 113381.
- Meepagala, K. M., Sturtz, G., & Wedge, D. E. (2002). Antifungal constituents of the essential oil fraction of *Artemisia dracunculus* L. var. *dracunculus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (24), 6989-6992.
- Khorasani, M. H. A. (1992). Makhzan al-Adwiah (Drug Treasure). Tehran: Enqelab-e Eslami Publishing and Educational Organization. 259 p.
- Aglarova, A. M., Zilfikarov, I. N., & Severtseva, O. V. (2008). Biological characteristics and useful properties of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 42 (2), 81-86.
- Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., & Perrotta, C. (2006). Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, cell & environment*, 29 (12), 2143-2152.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25 (2), 239-250.
- Dulai, S., Molnár, I., Prónay, J., Csernák, Á., Tarnai, R., & Molnár-Láng, M. (2006). Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and in *Aegilops* species originating from dry habitats. *Acta Biologica Szegediensis*, 50 (1-2), 11-17.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60 (3), 324-349.
- Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D. C., Jenkins, C. L., Condon, A. G., ... & Dolferus, R. (2010). Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. *Plant, Cell & Environment*, 33 (6), 926-942.
- Luan, S. (2002). Signalling drought in guard cells. *Plant, cell & environment*, 25 (2), 229-237.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of plant physiology*, 161 (11), 1189-1202.
- Hussein, H. A. A., Alshammari, S. O., Abd El-Sadek, M. E., Kenawy, S. K., & Badawy, A. A. (2023). The promotive effect of putrescine on growth, biochemical constituents, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants under water stress. *Agriculture*, 13 (3), 587.

14. Sacala, E. (2009). Role of silicon in plant resistance to water stress. *Journal of Elementology*, 14 (3), 619-630.
15. 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 (2), 129-137.
16. Aziz, A., Martin-Tanguy, J., & Larher, F. (1999). Salt stress-induced proline accumulation and changes in tyramine and polyamine levels are linked to ionic adjustment in tomato leaf discs. *Plant Science*, 145 (2), 83-91.
17. Farooq, M., Wahid, A., & Lee, D. J. (2009). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 937-945.
18. Skowron, E., & Trojak, M. (2021). Effect of exogenously-applied abscisic acid, putrescine and hydrogen peroxide on drought tolerance of barley. *Biologia*, 76 (2), 453-468.
19. Mohammadi, H., Ghorbanpour, M., & Brestic, M. (2018). Exogenous putrescine changes redox regulations and essential oil constituents in field-grown *Thymus vulgaris* L. under well-watered and drought stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 122, 119-132.
20. Li, L., Gu, W., Li, C., Li, W., Li, C., Li, J., & Wei, S. (2018). Exogenous spermidine improves drought tolerance in maize by enhancing the antioxidant defence system and regulating endogenous polyamine metabolism. *Crop and Pasture Science*, 69 (11), 1076-1091.
21. Seleem, E. A., Ibrahim, H. M. S., & Taha, Z. K. (2021). Exogenous application of ascorbic acid and putrescine: A natural eco-friendly potential for alleviating NaCl stress in barley (*Hordeum vulgare*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 657-670.
22. Hassan, N., Ebeed, H., & Aljaarany, A. (2020). Exogenous application of spermine and putrescine mitigate adversities of drought stress in wheat by protecting membranes and chloroplast ultra-structure. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26 (2), 233-245.
23. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents.
24. Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stresses. Volume II. Water, radiation, salt, and other stresses* (No. Ed. 2). Academic Press.
25. Bates, L. S., Waldren, R. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39, 205-207.
26. Heath, R. L., & Packer, L. (2022). Reprint of: Photoperoxidation in Isolated Chloroplasts I. Kinetics and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 726, 109248.
27. 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 (1-2), 248-254.
28. Beauchamp, C., & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical biochemistry*, 44 (1), 276-287.
29. Cakmak, I., & Marschner, H. (1992). Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. *Plant physiology*, 98 (4), 1222-1227.
30. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, 22 (5), 867-880.
31. Pharmacopoeia, E. (1984). General organization for governmental printing office. *Ministry of Health, Cairo, Egypt*, 31-33.

32. Selahvarzi, Y., & Kamali, M. (2022). Investigation of drought resistance of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) under different levels of titanium nanoparticles. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15 (1), 173-184.
33. 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 (2), 129-137.
34. Al-Kandari, M., Redha, A., & Suleman, P. (2009). Polyamine accumulation and osmotic adjustment as adaptive responses to water and salinity stress in *Conocarpus lancifolius*. *Funct. Plant Sci. Biotechnol*, 3, 42-48.
35. Talaat, I. M., Bekheta, M. A., & Mahgoub, M. H. (2005). Physiological response of periwinkle plants (*Catharanthus roseus* L.) to tryptophan and putrescine. *International Journal of Agriculture and Biology*, 7 (2), 210-213.
36. Mohammadi, H., Ghorbanpour, M., & Brestic, M. (2018). Exogenous putrescine changes redox regulations and essential oil constituents in field-grown *Thymus vulgaris* L. under well-watered and drought stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 122, 119-132.
37. Singh, M., Ganesha Rao, R. S., & Ramesh, S. (1997). Irrigation and nitrogen requirement of lemongrass [*Cymbopogon flexuosus* (Steud) Wats] on a red sandy loam soil under semiarid tropical conditions. *Journal of essential oil Research*, 9 (5), 569-574.
38. Kusvuran, S. (2021). Microalgae (*Chlorella vulgaris* Beijerinck) alleviates drought stress of broccoli plants by improving nutrient uptake, secondary metabolites, and antioxidative defense system. *Horticultural Plant Journal*, 7 (3), 221-231.
39. Shabankareh, H. G., Fakheri, B. A., & Vashvahi, R. M. (2016). Effects of different levels of salinity and drought stress on growth parameters and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian journal of field crop science*, 46 (4). [In Persian]
40. Foyer, C. H., Lelandais, M., & Kunert, K. J. (1994). Photooxidative stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 92, 696-717.
41. Besford, R. T., Richardson, C. M., Campos, J. L., & Tiburcio, A. F. (1993). Effect of polyamines on stabilization of molecular complexes in thylakoid membranes of osmotically stressed oat leaves. *Planta*, 189, 201-206.
42. Bajji, M., Kinet, J. M., & Lutts, S. (2002). The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant growth regulation*, 36, 61-70.
43. Ghalati, R. E., Shamili, M., & Homaei, A. (2020). Effect of putrescine on biochemical and physiological characteristics of guava (*Psidium guajava* L.) seedlings under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 261, 108961.
44. Bouchereau, A., Aziz, A., Larher, F., & Martin-Tanguy, J. (1999). Polyamines and environmental challenges: recent development. *Plant science*, 140 (2), 103-125.
45. Yang, Q., Wang, F., & Rao, J. (2016). Effect of putrescine treatment on chilling injury, fatty acid composition and antioxidant system in kiwifruit. *PLoS One*, 11 (9), e0162159.
46. Terzi, R., Kadioglu, A., Kalaycioglu, E., & Saglam, A. (2014). Hydrogen peroxide pretreatment induces osmotic stress tolerance by influencing osmolyte and abscisic acid levels in maize leaves. *Journal of Plant Interactions*, 9 (1), 559-565.
47. Nayyar, H., & Walia, D. P. (2003). Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. *Biologia plantarum*, 46, 275-279.
48. Hatami, M., Hadian, J., & Ghorbanpour, M. (2017). Mechanisms underlying toxicity and stimulatory role of single-walled carbon nanotubes in *Hyoscyamus niger* during drought stress simulated by polyethylene glycol. *Journal of Hazardous Materials*, 324, 306-320.

49. de Lacerda, C. F., Cambraia, J., Oliva, M. A., Ruiz, H. A., & Prisco, J. T. (2003). Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 49 (2), 107-120.
50. Ebeed, H. T., Hassan, N. M., & Aljarani, A. M. (2017). Exogenous applications of polyamines modulate drought responses in wheat through osmolytes accumulation, increasing free polyamine levels and regulation of polyamine biosynthetic genes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 438-448.
51. Caliskan, O., Kurt, D., Temizel, K. E., & Odabas, M. S. (2017). Effect of salt stress and irrigation water on growth and development of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Open Agriculture*, 2 (1), 589-594.
52. Arasimowicz-Jelonek, M., Floryszak-Wieczorek, J., & Kubiś, J. (2009). Interaction between polyamine and nitric oxide signaling in adaptive responses to drought in cucumber. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 177-186.
53. Verma, S., & Mishra, S. N. (2005). Putrescine alleviation of growth in salt stressed *Brassica juncea* by inducing antioxidative defense system. *Journal of plant physiology*, 162 (6), 669-677.
54. Toro-Funes, N., Bosch-Fusté, J., Veciana-Nogués, M. T., Izquierdo-Pulido, M., & Vidal-Carou, M. C. (2013). In vitro antioxidant activity of dietary polyamines. *Food research international*, 51 (1), 141-147.
55. Tang, C. F., Liu, Y. G., Zeng, G. M., Li, X., Xu, W. H., Li, C. F., & Yuan, X. Z. (2005). Effects of exogenous spermidine on antioxidant system responses of *Typha latifolia* L. under Cd²⁺ stress. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47 (4), 428-434.
56. Yang, M., Wang, B., Gao, J., Zhang, Y., Xu, W., & Tao, L. (2017). Spinosad induces programmed cell death involves mitochondrial dysfunction and cytochrome C release in *Spodoptera frugiperda* Sf9 cells. *Chemosphere*, 169, 155-161.
57. Boguszewska, D., Grudkowska, M., & Zagdańska, B. (2010). Drought-responsive antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato research*, 53, 373-382.
58. Hatami, M., & Ghorbanpour, M. (2014). Defense enzyme activities and biochemical variations of *Pelargonium zonale* in response to nanosilver application and dark storage. *Turkish Journal of Biology*, 38 (1), 130-139.
59. Mostofa, M. G., Yoshida, N., & Fujita, M. (2014). Spermidine pretreatment enhances heat tolerance in rice seedlings through modulating antioxidative and glyoxalase systems. *Plant Growth Regulation*, 73, 31-44.
60. Xu, S., Hu, J., Li, Y., Ma, W., Zheng, Y., & Zhu, S. (2011). Chilling tolerance in *Nicotiana tabacum* induced by seed priming with putrescine. *Plant Growth Regulation*, 63, 279-290.
61. Radhakrishnan, R., & Lee, I. J. (2013). Spermine promotes acclimation to osmotic stress by modifying antioxidant, abscisic acid, and jasmonic acid signals in soybean. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32, 22-30.
62. Shu, S., Yuan, L. Y., Guo, S. R., Sun, J., & Yuan, Y. H. (2013). Effects of exogenous spermine on chlorophyll fluorescence, antioxidant system and ultrastructure of chloroplasts in *Cucumis sativus* L. under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63, 209-216.
63. Simon, J. E., Reiss-Bubenheim, D., Joly, R. J., & Charles, D. J. (1992). Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. *Journal of Essential Oil Research*, 4 (1), 71-75.
64. Mandoulakani, B. A., Eyvazpour, E., & Ghadimzadeh, M. (2017). The effect of drought stress on the expression of key genes involved in the biosynthesis of phenylpropanoids and essential oil components in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Phytochemistry*, 139, 1-7.