

(OPEN ACCESS)

The effect of foliar spraying with putrescine on some morphological and physiological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions

Behrooz Esmailpour^{*1}, Zahra Aslani², Rasool Azarmi³, Sanaz Adineh⁴

1. Corresponding Author, Professor, Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: behsmail@yahoo.com
2. Ph.D. Graduated of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: zaslani60@yahoo.com
3. Associate Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: r_azarmi@uma.ac.ir
4. M.Sc. Student of Horticultural Science, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: sadineh@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Drought stress, as one of the main abiotic stresses, reduces plant growth and performance by affecting various physiological and biochemical processes, such as membrane integrity, photosynthetic pigments, osmotic regulation, water relations, stomatal closure, and reducing photosynthetic activity. Basil (<i>Ocimum basilicum</i> L.) which is well known for having a wide range of medicinal properties. The general effect of putrescine not only participates in the growth and development processes of plants, but also helps to withstand various abiotic stresses such as salt, drought, high temperature and cold. This study aimed to investigate the effect of drought stress on the morphological and physiological parameters of basil plants using different concentrations of putrescine.
Article history: Received: 11.09.2024 Revised: 12.14.2024 Accepted: 12.29.2024	
Keywords: Abiotic stresses, Basil, Growth parameters, Growth regulators	Materials and methods: This factorial experiment was carried out in the form of a completely randomized design in pots in the educational and research greenhouse of the Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University. The first factor was drought stress at three levels (complete irrigation and stop irrigation at the beginning of reproductive growth and stop irrigation at 50% of flowering) and the second factor of foliar spraying with putrescine at three concentrations (0, 1 and 2 mM) in the control treatment of leaf spray with distilled water was used.
	Results: The obtained results showed that under drought stress, growth parameters such as plant height, stem dry weight, number of leaves, physiological parameters such as photosynthetic pigments, the relative water content of leaves decreased and the amount of ion leakage and proline increased. While, foliar spraying with putrescine improved growth parameters and reduced ion leakage. So that the highest plant height (60.16 cm), shoot fresh weight (17.33), total chlorophyll content (11 mg/g fresh weight) in the treatment without stress and foliar spraying with a

concentration of 2 mM putrescine was obtained, and the lowest amount of these traits was observed in the treatment of stopping irrigation at the beginning of reproductive growth and without foliar spraying with putrescine. In addition, the highest amount of proline ($2.51 \mu\text{mol}/\text{fwg}^{-1}$) and ion leakage (37.56%) were obtained in the treatment of stopping irrigation at the beginning of reproductive growth and foliar spraying with a concentration of 2 mM putrescine and without foliar spraying, respectively.

Conclusion: Based on the obtained results, drought stress, especially at the beginning of reproductive growth, caused a decrease in growth and physiological parameters. On the other hand, using putrescine as a foliar spray improved growth and physiological parameters due to its positive effect on photosynthetic *pigment* and osmotic regulation.

Cite this article: Esmailpour, Behrooz, Aslani, Zahra, Azarmi, Rasool, Adineh, Sanaz. 2025. The effect of foliar spraying with putrescine on some morphological and physiological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, 32 (3), 163-180.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2024.22615.3162

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر محلول‌پاشی پوترسین بر برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط تنش خشکی

بهروز اسماعیل‌پور^{۱*}، زهرا اصلانی^۲، رسول آذر می^۳، ساناز آدینه^۴

۱. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
رایانامه: behismaiel@yahoo.com
۲. دانش‌آموخته دکتری علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: zaslani60@yahoo.com
۳. دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: r_azarmi@uma.ac.ir
۴. دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
رایانامه: sadneh@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: سابقه و هدف: تنش خشکی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین تنش‌های غیرزیستی، رشد و عملکرد گیاه را با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی مختلف، مانند یک‌پارچگی غشا، رنگدانه‌های فتوسنتزی، تنظیم اسمزی، روابط آب، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فعالیت فتوسنتزی کاهش می‌دهد. ریحان (<i>Ocimum basilicum</i> L.) به دلیل داشتن طیف گسترده‌ای از خواص دارویی به‌خوبی شناخته‌شده است. پوترسین، در فرآیندهای رشد و نمو گیاهان شرکت می‌کند و در تحمل در برابر تنش‌های غیرزیستی مختلف مانند شوری، خشکی، دمای بالا و سرما کمک می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر پارامترهای ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه ریحان با استفاده از غلظت‌های مختلف پوترسین انجام گردید. تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹	
واژه‌های کلیدی: پوی آمین، تنش‌های غیرزیستی، تنظیم‌کننده‌های رشد، ویژگی‌های رشدی	مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت گلدانی با سه تکرار و ۹ تیمار در محدوده گلخانه آموزشی و پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. عامل اول تنش خشکی در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله شروع رشد زایشی و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی) و عامل دوم محلول‌پاشی با پوترسین در سه غلظت (۰، ۱ و ۲ میلی‌مولار) در تیمار شاهد اسپری برگی با آب مقطر انجام شد. یافته‌ها: نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در شرایط تنش خشکی پارامترهای رشدی مانند ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگ، پارامترهای فیزیولوژیکی مانند رنگیزه‌های

فتوستتزی، محتوای نسبی آب برگ کاهش و میزان نشت یونی و پرولین افزایش یافتند در مقابل محلول پاشی با پوترسین موجب بهبود پارامترهای رشدی و کاهش میزان نشت یونی گردید. به طوری که بیشترین میزان ارتفاع بوته (۶۰/۱۶ سانتی متر) وزن تر اندام هوایی (۱۷/۳۳ گرم)، میزان کلروفیل کل (۱۱ میلی گرم در گرم وزن تر) در تیمار بدون تنش و محلول پاشی با غلظت ۲ میلی مولار پوترسین به دست آمد و کمترین میزان این صفات در تیمار قطع آبیاری در ابتدایی رشد زایشی و بدون محلول پاشی با پوترسین مشاهده گردید. به علاوه بیشترین میزان پرولین (۲/۵۱ میکرو مول بر وزن تر) و نشت یونی (۳۷/۵۶ درصد) به ترتیب در تیمار قطع آبیاری در شروع رشد زایشی و محلول پاشی با غلظت ۲ میلی مولار پوترسین و بدون محلول پاشی حاصل شد.

نتیجه گیری: بر اساس نتایج به دست آمده تنش خشکی به ویژه در شروع رشد زایشی موجب کاهش پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی گردید. از طرفی به کار بردن پوترسین به صورت محلول پاشی با تأثیر مثبت بر رنگیزه های فتوستتزی و تنظیم اسمزی موجب بهبود پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی گردید.

استناد: اسماعیل پور، بهروز، اصلانی، زهرا، آذرمی، رسول، آدینه، ساناز (۱۴۰۴). تأثیر محلول پاشی پوترسین بر برخی ویژگی های ریخت شناسی و فیزیولوژیکی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش های تولید گیاهی، ۳۲ (۳)، ۱۸۰-۱۶۳.

DOI: 10.22069/jopp.2024.22615.3162



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

پلی آمین ها گروهی از ترکیبات آلی پلی کاتیونی با وزن مولکولی کم و دارای دو یا چند گروه آمینی هستند و تقریباً در تمام موجودات زنده یافت می شوند که شامل انواع مختلفی مانند پوترسین (دی آمین)، اسپرمیدین (تری آمین) و اسپرمین (تتر آمین) هستند (۱). در گیاهان عالی، آن ها نه تنها به صورت آزاد، بلکه به عنوان ترکیبات متصل شده به اسیدهای فنولیک (هیدروکسی سینامیک، کوماریک، کافئیک یا اسید فرولیک) یا به بیوماکرومولکول هایی مانند پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک به منظور تنظیم سطوح پلی آمین های آزاد داخل سلولی یا کنترل فعالیت آنزیم ها، تکثیر DNA، رونویسی ژن، تقسیم سلولی و پایداری غشا یافت می شوند (۲، ۳).

رایج ترین پلی آمین ها در گیاهان عالی دیامین پوترسین، تریامین اسپرمیدین و تترامین اسپرمین است (۴). در میان آن ها، دیامین پوترسین محصول مرکزی مسیر تولید زیستی پلی آمین و فراوان ترین پلی آمین در طبیعت است که عمدتاً توسط دو مسیر مشتق شده از اورنیتین یا آرژنین در نتیجه فعالیت اورنیتین دکربوکسیلاز یا آرژنین دکربوکسیلاز تولید می شود (۵). شواهد محکمی وجود دارد که نشان می دهد پوترسین نه تنها در رشد و نمو گیاه نقش مهمی دارد، بلکه در واکنش های تحمل به تنش های اصلی مؤثر بر تولید محصول نیز نقش دارد (۶).

اثر کلی پوترسین مدت ها است که شناخته شده است، نه تنها در فرآیندهای رشد و نمو گیاهان شرکت می کند، بلکه به تحمل در برابر تنش های غیرزیستی مختلف مانند شوری، خشکی، دمای بالا و سرما کمک می کند. سازوکارهای اصلی توصیف شده با مهار رادیکال های آزاد، تنظیم سطح ABA، جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی، حفظ pH سلولی و تعادل یونی و تنظیم کانال های کاتیونی و سایر موارد مرتبط هستند

(۷). این سازوکارهای مختلف می توانند به طور هم زمان یا جداگانه به منظور کاهش آسیب غشاء، تحریک رشد سلولی، یا افزایش بقای سلولی تحت شرایط استرس ایجاد شوند (۸).

عامل غیرزیستی که انتظار می رود از نظر فراوانی و شدت در نتیجه تغییرات اقلیمی شیوع بیش تری پیدا کند، خشک سالی است که یکی از عوامل اصلی مؤثر بر بهره وری محصولات در مناطق مدیترانه ای است (۹). خشکی باعث کاهش رشد گیاه به دلیل تغییرات در فتوسنتز، سوخت و ساز مواد مغذی، جذب و جابجایی یون، تنفس و سوخت و ساز کربوهیدرات ها می شود (۱۰). به عبارتی دیگر، خشکی رشد طبیعی را مختل می کند، گسترش برگ، ساقه و تکثیر ریشه را کاهش می دهد، در تولید رنگدانه های فتوسنتزی اختلال ایجاد می کند و در نتیجه کاهش برداشت نور و کاهش تبادل گاز و تثبیت کربن که به نوبه خود منجر به کاهش رشد و بهره وری گیاه می شود، روابط آبی را کاهش می دهد و در نهایت منجر به کاهش زیست توده و عملکرد نهایی گیاهان زراعی می شود (۱۱).

محلول پاشی با پلی آمین، موجب افزایش سطح برگ، ارتفاع بوته، سطح برگ و عملکرد دانه گیاهان گندم به دلیل افزایش میزان کلروفیل، وضعیت آب و محتوای اسید آمینه پرولین و قندهای محلول گردید (۱۲). زو و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که محلول پاشی با پوترسین روی کاهوی تحت شرایط خشکی باعث کاهش تراکم روزنه ها، حفظ ساختار کلروپلاست و تورژسانس سلولی می شود (۱۳). تیمار با پوترسین با توانایی بهبود ویژگی های اندام شناسی، حفظ غلظت کلروفیل و انباشته شدن ترکیبات فنلی محلول در گیاهان آویشن (*Thymus vulgaris* L.) منجر به بهبود عملکرد این گیاه در شرایط خشک سالی گردید (۱۴).

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت گلدانی در محدوده گلخانه آموزشی و پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۶ با سه تکرار و ۹ تیمار اجرا شد. هر واحد آزمایشی متشکل از ۴ گلدان و بنابراین در مجموع ۱۰۸ گلدان مورد استفاده قرار گرفت. عامل اول تنش خشکی در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله شروع رشد زایشی و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدھی) و عامل دوم محلول پاشی با پوترسین در سه غلظت (۰، ۱ و ۲ میلی مولار) در تیمار شاهد اسپری برگی با آب مقطر انجام شد.

تهیه بستر و کشت بذر: در این آزمایش بستر کشت شامل مخلوط دو قسمت خاک و یک قسمت ماسه و یک قسمت کود دامی پوسیده بود. به منظور ایجاد زهکش مناسب، ابتدا ۲ سانتی متر شن درشت در ته گلدان‌هایی با اندازه ۳۰×۴۰ و ارتفاع ۳۵ سانتی متر ریخته شد. سپس ۱۰ کیلوگرم مخلوط خاکی در گلدان‌ها ریخته شد. لازم به ذکر است که خاک و کود دامی قبل از استفاده با الک ۰/۵ سانتی متری غربال شدند. بافت خاک مورد استفاده در این آزمایش لومی شنی بود. برخی مشخصات خاک مورد استفاده در این آزمایش در (جدول ۱) آمده است. جهت انجام این آزمایش بذر ریحان (*Ocimum basilicum* L.) بومی شهری از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید؛ و پوترسین از شرکت سیگما آلد ریچ خریداری گردید. ابتدا بذره‌های ریحان در گلدان‌های پلاستیکی کوچک حاوی خاک و ماسه به نسبت ۲:۱ کشت شده سپس گیاهان در مرحله دو تا سه برگ حقیقی به گلدان اصلی منتقل شدند. در این مرحله مراقبت‌های رشد مانند آبیاری و وجین علف‌های هرز روی گیاهان انجام شد.

با کاربرد پوترسین در گیاهان گلرنگ، تحمل به خشکی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، محتوای آنتوسیانین پروتئین محلول و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی، نشت الکترولیت و محتوای H_2O_2 افزایش یافت (۱۵). علاوه بر این، پلی آمین‌ها در کاهش نشت الکترولیت و سطوح مالون دی آلدئید نقش دارند که نشان دهنده نقش آن‌ها در محافظت از یکپارچگی غشاء است. این یافته‌ها همچنین نشان می‌دهند که پلی آمین‌ها ممکن است جایگزین Ca^{2+} شوند و با اتصال به فسفولیپیدهای غشایی تحت شرایط تنش، به حفظ یکپارچگی غشا کمک کنند (۱۶). در سال‌های اخیر، محصولات طبیعی مبتنی بر گیاه به عنوان یک منبع جهانی ارزشمند برای توسعه و نوآوری داروهای جدید ظاهر شده‌اند (۱۷) از این رو، کاوش ترکیبات فعال زیستی از منابع مختلف، از جمله گیاهان، ممکن است یک روش عالی برای کشف داروهای بالقوه جدید باشد (۱۸).

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) یکی از گونه‌های خانواده Lamiaceae است که به دلیل داشتن طیف گسترده‌ای از خواص دارویی به خوبی شناخته شده است (۱۹). این گیاه به طور سنتی برای استفاده از آن برای اهداف آشپزی و عطرسازی شناخته شده است (۲۰). برخی از کاربردهای بیان شده با ترکیبات اصلی موجود در بخش‌های هوایی گیاه *O. basilicum* L. مرتبط است که شامل لینالول، اوژنول، ژرانیال، متیل اوژنول، ۱-۸- سینئول و سایر ترکیبات است (۲۱). مشخص شده که این ترکیبات نقش مهمی به عنوان ضد میکروب، آنتی اکسیدان، عوامل ضد سرطان و ضد دیابت دارند (۲۲). این پژوهش باهدف بررسی تأثیر تنش خشکی بر پارامترهای ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه ریحان با استفاده از غلظت‌های مختلف پوترسین طراحی و انجام گردید.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

Table 1. Some physical and chemical properties of studied soil.

سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	EC (dS/m)	pH	ماده آلی O.M (%)	بافت خاک Soil Texture
20	64	16	1.6	8	0.91	لومی شنی Loamy sand

تا کلروفیل وارد محلول استونی شود و در نهایت حجم محلول با استون ۸۰ درصد به حجم ۲/۵ میلی لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰ دور سانتریفوژ گردید و پس از صاف کردن با کاغذ صافی محلول رویی در طول موج های ۴۷۰، ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ توسط اسپکتروفتومتر قرائت گردید نتایج حاصل از اندازه گیری مقدار رنگیزه های فتوسنتزی برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (۲۳).

نشت الکترولیتی: برای این منظور از برگ کاملاً توسعه یافته دیسک هایی تهیه و سه بار با آب دیونیزه شستشو شد. نمونه ها در ظرف سربسته حاوی ۱۰ میلی لیتر آب دیونیزه قرار گرفت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد روی شیکر تکان داده شد. پس از پایان زمان مورد نظر EC نمونه ها مورد سنجش قرار گرفت (EC1)، سپس نمونه ها در اتوکلاو قرار داده شد و مجدداً EC اندازه گیری شد (EC2). برای محاسبه از رابطه زیر استفاده شد (۲۴).

$$EL (\%) = (EC1 / EC2) \times 100 \quad (1)$$

محتوای نسبی آب برگ: جهت اندازه گیری محتوای نسبی آب ۰/۵ گرم از جوان ترین برگ توسعه یافته هر گیاه (FW) جدا کرده و سپس نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر شناور گردید. پس از گذشت این مدت وزن اشباع برگ اندازه گیری گردید (TW). سپس برگ ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و بعد از گذشت این مدت وزن خشک آن ها اندازه گیری شد (۲۵).

$$RWC\% = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \quad (2)$$

اعمال تیمارها: تنش خشکی به صورت قطع آبیاری انجام شد. بدین ترتیب که تا مرحله شروع رشد زایشی گیاهان ریحان به صورت کامل آبیاری شدند، سپس در دو مرحله ابتدای رشد زایشی و ۵۰ درصد گلدهی آبیاری گیاهان قطع شد و برای تیمار شاهد نیز آبیاری تا آخرین مراحل رشد ادامه یافت. برای محلول پاشی، ابتدا پوترسین در آب مقطر حل شده و به ترتیب غلظت های یک و دو میلی مولار تهیه گردید و محلول پاشی گیاهان در مرحله ۶-۴ برگی شروع شد و به تعداد چهار دفعه با فواصل دو هفته در طی فصل رشد صورت گرفت؛ و گیاهان شاهد توسط آب مقطر محلول پاشی شدند.

شاخص های رویشی: برای این منظور ارتفاع بوته برحسب سانتی متر اندازه گیری شد. سطح برگ نیز پس از برداشت به وسیله دستگاه سطح سنج مدل ADC Bioscientific Ltd ساخت کشور انگلستان اندازه گیری شد. پس از برداشت بوته ها، ساقه و ریشه جدا شد. پس از توزین وزن تر، سپس اندام هوایی (ساقه و برگ) و ریشه هر گلدان درون پاکت هایی به طور جداگانه در داخل آون در دمای ۷۸ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. توزین قسمت های خشک شده با ترازویی با دقت یک هزارم گرم انجام شد.

صفات فیزیولوژیکی

کلروفیل و کاروتنوئید: برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید ۰/۲ گرم از برگ های تازه گیاه در هاون چینی حاوی ۱۵ میلی لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد

پرولین: اندازه‌گیری پرولین از جوان‌ترین برگ‌ها انجام گرفت. بدین‌صورت که ۰/۵ گرم بافت برگ تازه را به قطعات کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر بریده و همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوسالسیلیک ۳ درصد در یک هاون چینی به مدت ۳ دقیقه سائیده شد. محلول همورژیزه شده توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف‌شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف‌شده با ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص در یک لوله‌آزمایش ریخته شده و لوله‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بن‌ماری قرار گرفت. سپس به محلول واکنش در لوله‌آزمایش پس از سرد شدن ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید. هرکدام از لوله‌ها، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردید. پس از تشکیل دو مرحله جداگانه، مرحله رنگی بالایی با دقت جدا و مقدار جذب در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد آن به دست آمد (۲۶).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رشدی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس محلول‌پاشی با پوترسین بر صفات رویشی ریحان در شرایط تنش خشکی نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و پوترسین بر ارتفاع بوته، وزن‌تر اندام هوایی و تعداد شاخه جانبی در گیاه ریحان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. درحالی‌که اثر متقابل دو عامل مذکور بر صفات تعداد برگ، وزن‌خشک اندام هوایی، ریشه، طول ریشه و سطح برگ معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی پوترسین بر ارتفاع بوته، وزن‌تر شاخساره و تعداد

شاخه جانبی در گیاه ریحان (جدول ۳) نشان داد که در شرایط تنش خشکی از ارتفاع بوته، وزن‌تر اندام هوایی و تعداد شاخه‌های جانبی کاسته شده و بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته (۶۰/۱۶ سانتی‌متر)، وزن‌تر اندام هوایی (۱۷/۳۳ گرم) و تعداد شاخه جانبی (۱۳) در شرایط بدون تنش و محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار پوترسین حاصل‌شده است و کم‌ترین میزان ارتفاع بوته (۴۱/۲۵ سانتی‌متر)، وزن‌تر اندام هوایی (۱۰ گرم) و تعداد شاخه جانبی (۶/۵) نیز در گیاهان شاهد و در تیمار تنش قطع آبیاری در ابتدای رشد زایشی به دست آمد.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی با پوترسین برای تعداد برگ نمایانگر تأثیر معنی‌دار این عامل در سطح احتمال پنج درصد درحالی‌که برای پارامترهای وزن خشک اندام هوایی، وزن‌خشک ریشه، سطح برگ و طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات محلول‌پاشی با پوترسین، بیش‌ترین میزان تعداد برگ (۴۵/۴۴)، وزن‌خشک ریشه (۲/۲۳ گرم)، وزن خشک اندام هوایی (۳/۷۲ گرم)، طول ریشه (۱۱/۳۲ سانتی‌متر) در محلول‌پاشی گیاهان با غلظت ۲ میلی‌مولار پوترسین به‌دست آمد و کم‌ترین میزان پارامترهای مذکور در تیمار بدون محلول‌پاشی با پوترسین به‌دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی برای وزن خشک ریشه نمایانگر تأثیر معنی‌دار این عامل در سطح احتمال پنج درصد درحالی‌که برای پارامترهای وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگ، سطح برگ و طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌علاوه نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثرات ساده تنش خشکی بر پارامترهای رشدی نشان داد که در شرایط تنش خشکی تعداد برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن‌خشک ریشه و سطح برگ گیاهان کاهش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد برگ

(۱۹) نیز گزارش شده است. کمبود آب یا تنش خشکی یکی از محدودکننده ترین عوامل در رشد و عملکرد گیاه در بسیاری از مناطق تولیدکننده محصولات کشاورزی در نظر گرفته شده است (۲۹). در شرایط تنش خشکی، پتانسیل آب در ناحیه ریشه منفی گردیده و در نتیجه میزان دسترسی به آب کاهش می یابد که رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد (۳۰). نقش مثبت پوترسین در بهبود پارامترهای رشدی احتمالاً مربوط به نقش آن در افزایش فرایند تقسیم سلولی، افزایش میزان تولید هومون هایی مانند اکسین، جیبرلین و کاهش میزان اسیدآبسیزیک در گیاهان تیمار شده باشد (۳۱). به علاوه پوترسین می تواند به عنوان منبع نیتروژن عمل کرده (پوترسین در ساختار خود حاوی ۳۱/۷۶ درصد نیتروژن است) و بدین طریق رشد رویشی و عملکرد ماده تر و خشک را در گیاهان بهبود می بخشد (۳۲).

(۴۹/۰۷)، وزن خشک ریشه (۲/۳۷ گرم)، وزن خشک اندام هوایی (۳/۹۷ گرم) طول ریشه (۱۲/۱ سانتی متر) و سطح برگ (۱۱۴۷۰/۵ سانتی مترمربع) در گیاهان شاهد و کمترین مقدار این صفات در گیاهان تحت تنش قطع آبیاری در ابتدای رشد زایشی به دست آمده آمد (جدول ۴). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش خشکی همه صفات رویشی روند کاهشی داشتند و بیشترین کاهش در رشد گیاه در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی حاصل شد. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته های سایر پژوهشگران به شرح زیر سازگار است. در اثر تنش رطوبتی (۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) عملکرد ماده خشک، ارتفاع بوته، تعداد و شاخص سطح برگ در گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis*) کاهش یافت (۲۷). هم چنین مطابق با یافته های این پژوهش، کاهش رشد و عملکرد تحت تأثیر تنش خشکی در سایر گیاهان دارویی مانند اسطوخودوس (۲۸) و آویشن

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی پوترسین بر صفات رویشی ریحان در شرایط تنش خشکی.

Table 2. Variance analysis, the effect of putrescine foliar application on vegetative traits of basil under drought stress conditions.

میانگین مربعات Mean Squares								
منابع تغییرات S.O.V.	df	درجه آزادی	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Leaf number	وزن تر شاخساره Fresh Shoot weight	وزن خشک شاخساره Dry Shoot weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
طول ریشه Root length	سطح برگ Leaf area							
خشکی Drought (D)	2	915.15**	90.63**	705.86**	141.62**	9.83**	0.53*	53.34**
پوترسین Putrescine (P)	2	72.8**	15.67**	58.60*	36.21**	1.41**	0.41**	6.18**
D×P	4	29/19**	2.14**	18.6 ^{ns}	2.63**	0.06 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.36 ^{ns}
خطا Error	22	5.45	1.23	27.64	0.98	0.08	0.04	1.24
ضریب تغییرات (درصد) CV%		4.9	10.56	11.10	7.4	8.71	9.95	10.33
								7.41

^{ns} غیر معنی دار، * معنی دار در سطح پنج درصد، ** معنی دار در سطح یک درصد

^{ns} Non Significant, * Significant at $P \leq 0.05$, ** Significant at $P \leq 0.01$

جدول ۳- تأثیر محلول‌پاشی پوترسین بر صفات رشدی ریحان در شرایط تنش خشکی.

Table 3. The effect of foliar application of putrescine on the growth characteristics of basil under drought stress conditions.

تعداد شاخه‌های جانبی Number of lateral branches	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight (g pot ⁻¹)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	پوترسین Putrescine (mM)	تنش خشکی Drought stress
10.8 ^c	12d ^e	46 ^d	0	S1
12 ^b	15b ^c	51.67 ^b	1	
13 ^a	17.33 ^a	60.16 ^a	2	
8.5 ^{de}	11.6 ^e	43.75 ^{ef}	0	S2
11.25 ^{bc}	13.08 ^c	45 ^e	1	
10.91 ^c	15.30 ^b	46.75 ^c	2	
6.5 ^f	10 ^{fg}	41.25 ^{hi}	0	S3
8.4 ^{de}	10.56 ^f	44 ^e	1	
9.7 ^d	12.5 ^d	46.25 ^{cd}	2	

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. S1: آبیاری کامل، S2: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S3: قطع آبیاری در شروع گلدهی

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test ($P<0.05$). S1; Full irrigation, S2; Water cut at 50% of flowering and S3; Water cut during early stages of flowering

جدول ۴- تأثیر محلول‌پاشی پوترسین و تنش خشکی بر صفات ریخت‌شناسی ریحان در شرایط تنش خشکی.

Table 4. The effect of putrescine foliar application and drought stress on the morphological characteristics of basil under drought stress conditions.

سطح برگ Leaf area (cm ²)	وزن خشک ساقه Dry Shoot weight (g pot ⁻¹)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g pot ⁻¹)	تعداد برگ Leaf number	طول ریشه Root length (cm)	تیمار treatments
1470.5 ^a	3.97 ^a	2.37 ^a	49.7 ^a	12.1 ^a	S1
1268.68 ^b	3.39 ^b	1.91 ^b	43.91 ^b	10.67 ^b	S2
1119.23 ^c	2.88 ^c	1.81 ^c	39.29 ^c	9.57 ^c	S3
1144.58 ^c	3.05 ^c	1.76 ^c	41.91 ^c	9.9 ^d	0
1250.89 ^b	3.35 ^b	2.02 ^b	43.61 ^b	10.8 ^d	1 mM
1316.67 ^a	3.72 ^a	2.23 ^a	45.44 ^a	11.23 ^b	2 mM

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. S1: آبیاری کامل، S2: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S3: قطع آبیاری در شروع گلدهی

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test ($P<0.05$). S1; Full irrigation, S2; Water cut at 50% of flowering and S3; Water cut during early stages of flowering

رنگیزه های فتوسنتزی

کلروفیل a، b و کل: نتایج تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی پوترسین بر رنگیزه های فتوسنتزی گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی در (جدول ۵) نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی پوترسین برای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول پاشی با پوترسین بر میزان رنگیزه های فتوسنتزی ریحان در شرایط تنش خشکی (جدول ۶) نشان داد که در شرایط تنش خشکی از میزان کلروفیل کاسته شده و بیشترین مقدار کلروفیل a (۸/۳۱ میلی گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۲/۶۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۱۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان در شرایط بدون تنش و محلول پاشی شده با غلظت ۲ میلی مولار پوترسین حاصل شده است و کمترین مقدار کلروفیل a (۴/۴۸ میلی گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۰/۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر) و کلروفیل کل (۵/۴۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان شاهد در تیمار تنش قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد زایشی به دست آمد (جدول ۶).

کاروتنوئید: نتایج تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی پوترسین بر کاروتنوئید برگ گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی (جدول ۵) نشان داد که اثر تنش خشکی و محلول پاشی با پوترسین برای رنگیزه کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. در حالی که اثر متقابل این دو عامل برای میزان کاروتنوئید برگ معنی دار نبود. مقایسه میانگین اثرات تنش خشکی بر میزان رنگیزه کاروتنوئید برگ نشان داد که در شرایط تنش خشکی از میزان این رنگیزه کاسته شده به طوری که بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/۴ میلی گرم بر گرم

وزن تر) در گیاهان ریحان پرورش یافته در شرایط آبیاری کامل حاصل شد و کمترین مقدار برای این صفت (۰/۲۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) در گیاهانی حاصل شد که از ابتدای دوره رشد زایشی آبیاری آنها قطع شده بود (جدول ۷). نتایج تأثیر تیمارها همچنین نشان داد که محلول پاشی گیاهان ریحان با پوترسین باعث افزایش میزان کاروتنوئید در برگ ریحان شد به طوری که بیشترین (۴/۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کمترین (۲/۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) میزان آن به ترتیب در گیاهان محلول پاشی شده با غلظت ۲ میلی مولار پوترسین و گیاهان محلول پاشی نشده مشاهده گردید (جدول ۷).

مولکول های کلروفیل نوع a و b، در کنار کاروتنوئیدها (کاروتن ها و گزانتوفیل ها) مهم ترین رنگیزه های جذب کننده نور در گیاهان عالی هستند و حضور آنها برای تبدیل انرژی نورانی به انرژی شیمیایی ذخیره شده در ناقل های الکترون، ضروری است (۳۳). نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل a و کلروفیل کل کاهش و کلروفیل b افزایش یافت. کاهش محتوی کلروفیل تحت شرایط تنش آبی که در این پژوهش مشاهده گردید توسط ابدالبار و همکاران (۲۰۱۹) در آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)، صدیقی و همکاران (۲۰۰۹) در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نیز گزارش شده است (۱۴ و ۳۴). کلروفیل یکی از ترکیبات اصلی کلروپلاست برای فرایند فتوسنتز می باشد. کاهش محتوی کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی ناشی از فتواکسیداسیون رنگدانه و تجزیه کلروفیل است (۳۵). پلی آمین ها با نقش حفاظتی که در برابر غشا تیلاکوئید دارند، مانع از دست رفتن و تجزیه کلروفیل می شوند که منجر به گرفتن نور بیش تر برای بهبود سرعت فتوسنتز می شود؛ اگرچه سازوکار

مولکولی آن‌ها دقیقاً مشخص نیست (۳۶). نتایج مشابهی نیز توسط برخی پژوهش‌گران مبنی بر این‌که کاربرد پوترسین موجب تأخیر در پیری، تحریک تولید زیستی کلروفیل و کاهش از دست دادن کلروفیل می‌شود، گزارش شده است. کمبود عناصری مانند نیتروژن و منیزیم مانع تشکیل مولکول کلروفیل می‌شود از آن‌جایی‌که پلی‌آمین‌ها در ساختار خود نیتروژن دارند، بنابراین می‌توانند مقدار کلروفیل را تحت‌تأثیر قرار دهند (۳۷، ۳۸). در راستای نتایج این پژوهش بهبود میزان کلروفیل در کاربرد با پوترسین در گیاه گندم گزارش شده است (۳۹).

محتوای نسبی آب برگ: با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی با پوترسین برای محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثرمتقابل عامل مذکور برای این صفت معنی‌دار نبود. نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات تنش خشکی بر محتوای نسبی آب برگ نشان داد که در شرایط خشکی محتوای نسبی آب برگ گیاهان ریحان کاهش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۹۳ درصد) در گیاهان شاهد و کم‌ترین مقدار آن (۵۸ درصد) در گیاهان تحت تنش قطع آبیاری در ابتدای رشد زایشی مشاهده شد. هم‌چنین مقایسه میانگین مربوط به محلول‌پاشی پوترسین نشان داد محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب با ۷۹ درصد بیش‌ترین و گیاهان محلول‌پاشی نشده با ۵۵ درصد کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ را داشتند (جدول ۷).

نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ به‌شدت کاهش پیدا کرد؛ و کاربرد پوترسین موجب بهبود میزان محتوای نسبی آب برگ گردید. از محتوای نسبی آب برگ به‌منزله شاخصی مناسب از وضعیت آب برگ‌ها یاد

می‌شود که در صورت پیشرفت تنش خشکی کاهش می‌یابد و سبب تغییر در غشای یاخته‌ای و در نتیجه افزایش نشت الکترولیتی از یاخته‌ها می‌شود (۴۰). افزایش محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تیمار شده با پوترسین می‌تواند به این دلیل باشد که پلی‌آمین‌ها از طریق افزایش نفوذپذیری غشا میزان کلسیم را در گیاه افزایش داده و از خروج یک‌سویه پتاسیم از غشاء جلوگیری کرده و بدین‌ترتیب موجب بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه آن میزان هدر رفت آب از گیاه کم‌تر و محتوای نسبی آب برگ حفظ می‌شود (۴۱). ابدالبار و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند حفظ محتوای نسبی آب برگ با کاربرد پوترسین می‌تواند با بهبود محتوای پوترسین آزاد داخل سلول و ویژگی‌های غشا مرتبط باشد (۱۴). در راستای نتایج این پژوهش، کاربرد پوترسین در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ به میزان ۵/۹۶ درصد در برگ‌های گیاه ریحان تیمار شده در مقایسه با شاهد گردید (۴۲).

نشت یونی: براساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی پوترسین بر ریحان در شرایط تنش خشکی نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی با پوترسین برای میزان نشت یونی در گیاه ریحان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی با پوترسین در شرایط تنش خشکی نمایانگر آن است که در شرایط تنش خشکی میزان انسجام غشای سلولی کاهش‌یافته و به‌عبارتی دیگر نشت مواد الکترولیتی از غشای سلولی افزایش پیدا کرده است و بیش‌ترین مقدار آن (۳۷/۵۶ درصد) در گیاهان محلول‌پاشی نشده در شرایط تنش آبی در مرحله ابتدای رشد زایشی صورت گرفته است و کم‌ترین میزان نشت مواد از غشای سلولی (۱۷/۱۶)

درصد) نیز در گیاهان محلول پاشی شده با غلظت ۲ میلی مولار پوترسین در تیمار آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۶). تنش خشکی سبب اختلال در فعالیت های بیولوژیک غشاء سلولی، کاهش سیالیت آن و غیرفعال سازی یا کاهش سرعت پمپ شدن یون های غشایی می گردد، بنابراین میزان نشت یون ها نیز افزایش می یابد (۴۳). با توجه به نتایج به دست آمده، تنش خشکی موجب افزایش میزان نشت یونی در گیاهان رشد یافته در شرایط تنش گردید و در مقابل محلول پاشی با پوترسین باعث کاهش نشت یونی در گیاهان تیمار شده گردید. تنش رطوبتی با القای تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال های آزاد اکسیژن مستقیماً به پروتئین ها، چربی ها، اسیدهای نوکلئیک و از همه مهم تر به غشا سلولی آسیب وارد می کند؛ و از طریق پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی نفوذپذیری غشاء و نشت یونی را افزایش می دهد (۴۴). پلی آمین ها با حفاظت از غشاء و کاهش نشت یونی موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش کم آبی می شوند (۴۵). این ترکیبات می توانند از طریق اتصال به مولکول های آنیونی از جمله فسفولیپیدهای غشاء و پلی ساکاریدهای پکتینی باعث پایداری غشاء و کاهش نشت یونی شوند (۱۴). کاربرد پوترسین از طریق حذف رادیکال های آزاد، افزایش محتوی نسبی آب برگ و حفظ یکپارچگی غشاء موجب کاهش نشت الکترولیتی در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) شده است (۴۶).

پرولین: نتایج تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی پوترسین بر میزان پرولین آزاد گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی در جدول ۵ نشان داد که اثر متقابل تنش

خشکی و محلول پاشی با پوترسین برای میزان پرولین آزاد در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول پاشی با تنظیم کننده های رشد گیاهی پوترسین بر میزان پرولین آزاد در شرایط تنش خشکی (جدول ۶) نشان داد که در شرایط تنش خشکی میزان پرولین افزایش یافته و بیش ترین مقدار آن (۲/۵۱ میکروگرم بر گرم وزن تر) در گیاهان در شرایط تنش آبی در مرحله ابتدای رشد زایشی و محلول پاشی شده با غلظت ۲ میلی مولار از پوترسین حاصل شده است و کم ترین مقدار پرولین آزاد (۰/۵ میکروگرم بر گرم وزن تر) نیز در گیاهان شاهد در تیمار آبیاری کامل به دست آمد. یکی از تغییرات سوخت و ساز معمول در پاسخ به تنش خشکی یا شوری تولید ترکیبات با وزن مولکولی کم، ترکیبات آلی مانند پلی آل ها (سوربیتول و مانیتول)، آمینو اسیدها (پرولین یا گلوتامات) و گلايسين بتائين می باشد، پرولین یک مولکول تنظیم کننده اسمزی است که با از بین بردن رادیکال های هیدروکسیل آسیب اکسیداتیو را کاهش و غشای سلولی را در شرایط تنش زا تثبیت می کند (۴۷ و ۴۸). افزایش کل اسیدهای آمینه آزاد ممکن است تنظیم اسمزی را کنترل، از ماکرومولکول های سلولی محافظت، نیتروژن را ذخیره و pH سلولی را حفظ کند (۴۹). بررسی های متعدد نشان می دهند که پوترسین در فرآیندهای فیزیولوژیکی و سوخت و ساز مختلف گیاهان نقش دارند (۵۰، ۵۱). اخیراً، کل قندهای محلول و پرولین آزاد در گیاهان جینسنگ کره ای تحت تنش پس از کاربرد پوترسین افزایش یافته است (۵۲).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی پوترسین بر صفات فیزیولوژیکی ریحان در شرایط تنش خشکی.

Table 5. Variance analysis, the effect of putrescine foliar application on the physiological properties of basil under drought stress conditions.

پرولین Proline	الکترولیتی نشت Electrolyte leakage	محتوای نسبی آب RWC	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل کل Chlorophyll Total	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V.
1.91**	67.79**	3876.16**	0.43**	21.72**	1.62**	12.33**	2	خشکی Drought (D)
0.41**	40.65**	76.43**	4.13**	36.75**	3.21**	17.06**	2	پوترسین Putrecin (P)
0.03**	1.77**	5.9 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.50**	0.03**	0.16**	4	D×P
0.055	0.77	3.36	0.015	0.11	0.01	0.11	22	خطا Error
8.34	2.20	2.20	10.56	4.42	7.4	6.35		ضریب تغییرات (درصد) CV%

^{ns} غیرمعنی‌دار، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد

^{ns} Non Significant, * Significant at P≤0.05, ** Significant at P≤0.01

جدول ۶- تأثیر پوترسین و تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیکی در گیاه ریحان.

Table 6. The effect of putrescine and drought stress on physiological traits in basil plant.

پرولین Proline (μmol g ⁻¹ fw)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)	کلروفیل کل Chlorophyll Total (mg g ⁻¹ fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g ⁻¹ fw)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g ⁻¹ fw)	پوترسین Putrescine (mM)	تنش خشکی Drought stress
0.5 ^f	21.90 ^f	7.98 ^d	1.83 ^c	6.15 ^{de}	0	
0.61 ^e	18.34 ^f	9.34 ^b	2.29 ^b	7.05 ^c	1	S1
0.72 ^e	17.16 ^g	11 ^a	2.69 ^a	8.31 ^a	2	
0.92 ^{de}	28.33 ^{de}	6.59 ^{de}	1.26 ^{de}	5.33 ^{ef}	0	
1.04 ^d	25.72 ^d	7.77 ^{cd}	1.63 ^{cd}	6.14 ^{de}	1	S2
1.28 ^d	23.43 ^e	9.53 ^b	1.95 ^c	7.68 ^b	2	
1.41 ^c	37.56 ^a	5.46 ^f	0.98 ^f	4.48 ^{fg}	0	
2.08 ^b	33.18 ^b	6.35 ^e	1.15 ^e	5.20 ^{ef}	1	S3
2.51 ^{ab}	25.33 ^d	8.37 ^c	1.61 ^d	6.26 ^{de}	2	

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. S1: آبیاری کامل، S2: قطع آبیاری

در ۵۰ درصد گلدهی و S3: قطع آبیاری در شروع گلدهی

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test (P<0.05). S1; Full irrigation, S2; Water cut at 50% of flowering and S3; Water cut during early stages of flowering

جدول ۷- تأثیر محلول پاشی پوترسین و تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیکی ریحان.

Table 7. The effect of putrescine and drought stress on some physiological traits in basil plant.

تیمار Treatments	کاروتنوئید (mg g ⁻¹ fw)	محتوای نسبی آب برگ (%)
تنش خشکی Drought stress	0.4 ^a	93 ^a
	0.35 ^b	78 ^b
	0.24 ^c	58 ^c
پوترسین putrescine	2.1 ^c	55 ^b
	3.3 ^b	63 ^b
	4.5 ^a	79 ^a

حروف مشابه در هر ستون نمایانگر عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می باشد. S1: آبیاری کامل، S2: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S3: قطع آبیاری در شروع گلدهی

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test ($P < 0.05$). S1; Full irrigation, S2; Water cut at 50% of flowering and S3; Water cut during early stages of flowering

نتیجه گیری کلی

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد تنش خشکی (قطع آبیاری در شروع مرحله زایشی و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی) تأثیر منفی بر پارامترهای ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه ریحان گذاشته و موجب کاهش عملکرد گردید. در همین حال، تیمار پوترسین موجب بهبود عملکرد ریخت‌شناسی،

رنگ‌دانه‌ها و پرولین، گردید که به گیاهان در مواجهه با شرایط تنش خشکی کمک می‌کند. شایان ذکر است که پوترسین (۲ میلی‌مولار) در بین غلظت‌های مورد آزمایش مؤثرترین بود. پوترسین براساس نقش محوری خود یکی از راه‌حل‌های ایمن برای گیاهان برای مقابله با شرایط تنش آبی است.

منابع

1. Tang, W., & Newton, R. J. (2005). Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. *Plant Growth Regulation*, 46, 31-43.
2. Kaur-Sawhney, R., Tiburcio, A. F., Altabella, T., & Galston, A. W. (2003). Polyamines in plants: an overview. *Journal of Molecular Cell Biology*, 2, 1-12.
3. Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., & Zheng, B. (2019). Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. *Frontiers in plant science*, 9, 1945.
4. Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Rahman, A., Alam, M. M., Mahmud, J. A., Suzuki, T., & Fujita, M. (2016). Polyamines confer salt tolerance in mung bean (*Vigna radiata* L.) by reducing sodium uptake, improving nutrient homeostasis, antioxidant defense, and methylglyoxal detoxification systems. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1104.
5. Walters, D. (2003). Resistance to plant pathogens: possible roles for free polyamines and polyamine catabolism. *New Phytologist*, 159(1), 109-115.
6. 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.
7. Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Polyamines and abiotic stress tolerance in plants. *Plant signaling & behavior*, 5(1), 26-33.
 8. 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(1), 117-126.
 9. Jiménez-Donaire, M. D. P., Giráldez, J. V., & Vanwalleghe, T. (2020). Impact of climate change on agricultural droughts in Spain. *Water*, 12(11), 3214.
 10. Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S., & Wang, L. (2018). Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. *Frontiers in plant science*, 9, 393.
 11. Wach, D., & Skowron, P. (2022). An overview of plant responses to the drought stress at morphological, physiological and biochemical levels. *Polish Journal of Agronomy*, 50, 25-34.
 12. Gupta, S., Agarwal, V. P., & Gupta, N. K. (2012). Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18, 331-336.
 13. Zhu, X., Wang, L., Yang, R., Han, Y., Hao, J., Liu, C., & Fan, S. (2019). Effects of exogenous putrescine on the ultrastructure of and calcium ion flow rate in lettuce leaf epidermal cells under drought stress. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 60, 479-490.
 14. 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.
 15. Khosrowshahi, Z. T., Slehi-Lisar, S. Y., Ghassemi-Golezani, K., & Motafakkerazad, R. (2018). Physiological responses of safflower to exogenous putrescine under water deficit. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 14(3), 38-48.
 16. Khalil, S. I., El-Bassiouny, H. M. S., Hassanein, R. A., Mostafa, H. A., El-Khawas, S. A., & El-Monem, A. A. A. (2009). Antioxidant defense system in heat shocked wheat plants previously treated with arginine or putrescine.
 17. Ali, S. I., Sheikh, W. M., Rather, M. A., Venkatesalu, V., Muzamil Bashir, S., & Nabi, S. U. (2021). Medicinal plants: Treasure for antiviral drug discovery. *Phytotherapy Research*, 35(7), 3447-3483.
 18. Thomas, E., Stewart, L. E., Darley, B. A., Pham, A. M., Esteban, I., & Panda, S. S. (2021). Plant-based natural products and extracts: Potential source to develop new antiviral drug candidates. *Molecules*, 26(20), 6197.
 19. Karpiński, T. M. (2020). Essential oils of Lamiaceae family plants as antifungals. *Biomolecules*, 10(1), 103.
 20. Al Jaouni, S., Saleh, A. M., Wadaan, M. A., Hozzein, W. N., Selim, S., & Abdelgawad, H. (2018). Elevated CO₂ induces a global metabolic change in basil (*Ocimum basilicum* L.) and peppermint (*Mentha piperita* L.) and improves their biological activity. *Journal of plant physiology*, 224, 121-131.
 21. Aminian, A. R., Mohebbati, R., & Boskabady, M. H. (2022). The effect of *Ocimum basilicum* L. and its main ingredients on respiratory disorders: An experimental, preclinical, and clinical review. *Frontiers in pharmacology*, 12, 805391.
 22. Dhama, K., Sharun, K., Gugjoo, M. B., Tiwari, R., Alagawany, M., Iqbal Yatoo, M., & Farag, M. R. (2023). A comprehensive review on chemical profile and pharmacological activities of *Ocimum basilicum*. *Food Reviews International*, 39(1), 119-147.

23. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
24. Redmann, R. E., Haraldson, J., & Gusta, L. V. (1986). Leakage of UV-absorbing substances as a measure of salt injury in leaf tissue of woody species. *Physiologia Plantarum*, 67(1), 87-91.
25. Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, 30(1), 105-111.
26. Bates, L. S., Waldren, R. P. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39, 205-207.
27. Aslani, Z., Hassani, A., Mandoulakani, B. A., Barin, M., & Maleki, R. (2023). Effect of drought stress and inoculation treatments on nutrient uptake, essential oil and expression of genes related to monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*). *Scientia Horticulturae*, 309, 111610.
28. García-Caparrós, P., Romero, M. J., Llanderal, A., Cermeño, P., Lao, M. T., & Segura, M. L. (2019). Effects of drought stress on biomass, essential oil content, nutritional parameters, and costs of production in six Lamiaceae species. *Water*, 11(3), 573.
29. Hassan, F. A. S., & Ali, E. F. (2014). Impact of different water regimes based on class-A pan on growth, yield and oil content of *Coriandrum sativum* L. plant. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2), 155-161.
30. Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H. L., Waskom, R. M., Niu, Y., & Siddique, K. H. (2016). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36, 1-21.
31. Pál, M., Szalai, G., & Janda, T. (2015). Speculation: polyamines are important in abiotic stress signaling. *Plant Science*, 237, 16-23.
32. 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.
33. Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology* sinauer associates. Inc., Sunderland, MA.
34. Siddiqui, M. H., Mohammad, F., Khan, M. M. A., & Al-Whaibi, M. H. (2012). Cumulative effect of nitrogen and sulphur on Brassica juncea L. genotypes under NaCl stress. *Protoplasma*, 249, 139-153.
35. Rahdari, P., Hosseini, S. M., & Tavakoli, S. (2012). The studying effect of drought stress on germination, proline, sugar, lipid, protein and chlorophyll content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(9), 1539-1547.
36. Shi, J., Fu, X. Z., Peng, T., Huang, X. S., Fan, Q. J., & Liu, J. H. (2010). Spermine pretreatment confers dehydration tolerance of citrus in vitro plants via modulation of antioxidative capacity and stomatal response. *Tree Physiology*, 30(7), 914-922.
37. Arasteh, F., Moghaddam, M. & Ghasemi Pirbalouti, A. (2020). The effect of putrescine foliar application on the induction of drought resistance in Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.). *Journal of Cell & Tissue* (JCT), 11(3), 204-220. [In Persian]
38. Farzi-Aminabad, R., Nasrollah Zadeh, S., & Ghassemi-Golezani, K. (2021). Response of safflower in water deficit and foliar application of putrescine and 24-epibrassinolide. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 1(2), 289-302.
39. Jahanbakhsh Godehkahriz, S., Kheiri Sis, M., & Raeesi Sadati, S. Y. (2022). Effect of putrescine on yield and some physiological parameters of wheat in response to water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(4), 16-29.

40. Izadi, Z., ESNA, A. M., & Ahmadvand, G. (2009). Effect of drought stress on yield, proline contents, soluble sugars, chlorophyll, relative water contents and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L.).
41. Rubinowska, K., Pogroszewska, E., & Michalek, W. (2012). The effect of polyamines on physiological parameters of post - harvest quality of cut stems of Rosa 'Red Berlin'. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 11, 81-93.
42. Darabi, F., Abbasi, N., & Zarea, M. J. (2021). Evaluation of morphophysiological traits of *Ocimum basilicum* L. in response to foliar application of putrescine and 24-epibrassinolide under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(2), 329-349.
43. Huang, L., Zhang, L., Zeng, R., Wang, X., Zhang, H., Wang, L., ... & Chen, T. (2020). Brassinosteroid priming improves peanut drought tolerance via eliminating inhibition on genes in photosynthesis and hormone signaling. *Genes*, 11(8), 919.
44. Shahrivar, Z., Abtahi, F., & Hatami, M. (2020). Effect of growth regulator salicylate on some physiological and biochemical parameters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(4), 815-830.
45. Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., & Rehman, H. (2009). Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(4), 254-261.
46. Ghassemi-Golezani, K., Abbasi, L., & Solhi-Khajehmarjan, R. (2023). Changes in physiological traits, grain and oil yields of black mustard (*Brassica nigra* L.) in response to foliar application of putrescine under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33(1), 97-111.
47. 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.
48. Omer, A. M., Osman, M. S., & Badawy, A. A. (2022). Inoculation with *Azospirillum brasilense* and/or *Pseudomonas geniculata* reinforces flax (*Linum usitatissimum*) growth by improving physiological activities under saline soil conditions. *Botanical Studies*, 63(1), 15.
49. Talaat, N. B., & Shawky, B. T. (2016). Dual application of 24-epibrassinolide and spermine confers drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.) by modulating polyamine and protein metabolism. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35, 518-533.
50. Khan, N., Bano, A., & Babar, M. A. (2019). Metabolic and physiological changes induced by plant growth regulators and plant growth promoting rhizobacteria and their impact on drought tolerance in *Cicer arietinum* L. *PloS one*, 14(3), e0213040.
51. Killiny, N., & Nehela, Y. (2020). Citrus polyamines: structure, biosynthesis, and physiological functions. *Plants*, 9(4), 426.
52. Islam, M. J., Ryu, B. R., Azad, M. O. K., Rahman, M. H., Rana, M. S., Lim, J. D., & Lim, Y. S. (2021). Exogenous putrescine enhances salt tolerance and ginsenosides content in Korean ginseng (*Panax ginseng* Meyer) sprouts. *Plants*, 10(7), 1313.