Plant Prod., 2024, 47(2), 229-244
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2024.47046.2173
Received: 7 June 2024
Accepted: 9 July 2024

Plant Productions
Research Article

The effects of biochar on the growth and some physiological characteristics of *Artemisia dracunculus* L. under salinity stress

Maehdiyeh Safavi[1], Maedeh Mohammadzadeh[2], Lamia Vojodi Mehrabani[3*]

1. Student of Horticultural Science Engineering, Department of Agronomy and Plant Breeding, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
2. Student of Horticultural Science Engineering, Department of Agronomy and Plant Breeding, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.
3. Associate Professor of Horticultural Science, Department of Agronomy and Plant Breeding, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

Citation: Safavi, M., Mohammadzadeh, M., Vojodi Mehrabani, L. (2024) The effects of biochar on the growth and some physiological characteristics of *Artemisia dracunculus* L. under salinity stress. *Plant Productions*, 47(2),229-244

Abstract

Introduction

Artemisia dracunculus L. is a perennial fragrant plant which is commonly used as a flavoring vegetable in many countries. The plant is widely used in the food, pharmaceutical, cosmetic, and health industries. The medicinal value of tarragon is due to the presence of essential oil, phenolics and flavonoids, phenolic acids, coumarins, and alkaloids. In the last decade, due to climatic changes, salinity stress has become one of the most important biological problems, which causes a decrease in plant productivity. Salinity stress, by creating water and ionic imbalance, induces drought stress and increases the concentration of vacuolar sap. Moreover, the ionic toxicity and ionic competition in the cell membranes as a result of salt stress leads to programmed cell death. Therefore, it is important to find solutions to overcome or reduce the effects of salinity stress on plants. Biochar is an organic carbonic compound that can affect the physicochemical structure of the soil. Biochar, by increasing the absorption of nutrients, enhances the cation exchange capacity, and water holding capacity in the soil, improves the soil structure, and increases the plant access to the soil nutrients, and in this way helps to enhance the yield of the plant.

Materials and Methods

To investigate the effects of soil-based biochar (zero, 7, and 14% v) application and, NaCl salinity stress (zero, 75, and 150 mM) on the growth and some physiological traits of *Artemisia dracunculus* L.; a factorial experiment was conducted based on the completely randomized design with three replications during 2022 in Research Greenhouse of Azarbaijan Shahid Madani

* **Corresponding Author:** Lamia Vojodi Mehrabani
E-mail: vojodilamia@gmail.com

© 2024 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

University. After adding biochar to the soil mixture, tarragon rhizomes were plantd in the pots. One month later, after complete stablishment of plants, salinity levels were imposed. The plants were maintained in the growing medium for 3 month. Later the plant parts were sampled for the traits measurement.

Results and Discussion

Plant height, aerial parts dry weight, chlorophyll a, hydrogen peroxide, malondialdehyde, proline, sodium, and potassium content were influenced by the interaction effects of experimental treatments. The treatments without salinity and 75 mM NaCl salinity stress + the application of 14% (v) biochar caused an increase in the plant height and aerial part dry weight of the plant. The highest content of chlorophyll a was obtained in the treatment without salinity stress + both levels of biochar and 75 mM NaCl salinity stress + application of 14% (v) of biochar. The salinity stress (150 mM) in the condition of not using biochar increased the content of hydrogen peroxide, malondialdehyde, and sodium content (35 mg g^{-1} DW) of the plant. The highest proline content was observed in 150 mM salinity stress with both levels of biochar application and non-application. The highest potassium content was obtained in the treatment without salinity stress with the application of 14% (v) of biochar, which showed a 71% increase compared to the control. The potassium-to-sodium ratio was affected by the main effect of biochar, and the use of 7 and 14% biochar increased the potassium-to-sodium ratio of the plant. The independent effects of salinity stress and biochar affected leaf relative water content, essential oil, chlorophyll b, and carotenoid content. Seven and 14% biochar treatments increased the chlorophyll b content compared to the control. The application of 14% biochar raised the relative water content of leaves (17% increase compared to the control), and carotenoids. By increasing the salinity stress to 150 mM, the leaf-relative water content decreased by 22% compared to the control, and the highest leaf-relative water content was observed in the control. Both 75 and 150 mM salinity stress treatments increased carotenoid content. The top essential oil content was observed in 14% (v) of biochar, which showed a 76% increase compared to the control. 75 mM salinity stress increased the essential oil content as well. 18 components were identified in *Artemisia dracunculus* essential oil. Estragole (84.3-90.8%) was the dominant component of the essential oil, and the highest content of this compound was obtained in 150 mM NaCl salinity stress + 14% biochar application. The second component in terms of abundance was d-limonene (1.05-3.02%), and the highest content of this compound was observed in the 75 mM salinity stress + 7% (v) of biochar application.

Conclusion

The overall results showed that 150 mM salinity stress hurts the growth and physiological characteristics of *A. dracunculus*, but the use of biochar at the rate of 14% improved the growth and physiological characteristics and even enhanced the dominant components content of essential oil under salt stress.

Keywords: Chlorophyll, H_2O_2 content, Malondialdehyde, Proline

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۳، ۴۷(۲)،۲۲۹-۲۴۴
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2024.47046.2173
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

تاثیر بیوچار بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی تلخون تحت تنش شوری (*Artemisia dracunculus* L.)

مهدیه صفوی[۱]، مائده محمدزاده[۲]، لمیا وجودی مهربانی[۳]*

۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

چکیده

تلخون (*Artemisia dracunculus* L.) گیاهی معطر و پایا می‌باشد که کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی، دارویی آرایشی و بهداشتی دارد. ارزش دارویی این گیاه به‌دلیل وجود اسانس، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی، اسیدهای فنلی، کومارین، و الکالوئیدها می‌باشد. تنش شوری به یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی تبدیل شده، که موجب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. لذا، یافتن راهکارهایی که موجب غلبه یا کاهش اثرات تنش شوری بر گیاه بشود حائز اهمیت می‌باشد. به‌منظور بررسی تاثیر تنش شوری کلریدسدیم (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و کاربرد خاکی بیوچار (صفر، ۷ و ۱۴ درصد حجمی)، بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک تلخون، آزمایش فاکتوریل بر مبنای طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در طی سال‌های ۱۴۰۱ انجام شد. ارتفاع گیاه، وزن‌خشک بخش هوایی، محتوای کلروفیل a، پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدئید، پرولین، سدیم و پتاسیم تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت. تیمارهای بدون تنش شوری و تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم با کاربرد ۱۴٪ حجمی بیوچار، موجب افزایش ارتفاع و وزن-خشک بخش هوایی گیاه شد. بیشترین محتوای کلروفیل a در تیمار بدون تنش شوری با هر دو سطح بیوچار و تیمار تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم با کاربرد ۱۴٪ حجمی بیوچار حاصل شد. تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم در شرایط عدم کاربرد بیوچار، موجب افزایش محتوای پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدئید و سدیم (۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) شد. بالاترین محتوای پرولین در تیمارهای تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم با هر دو سطح کاربرد بیوچار و عدم کاربرد آن مشاهده شد. بالاترین محتوای پتاسیم در تیمار بدون تنش شوری با کاربرد ۱۴٪ حجمی بیوچار حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش ۷۱ درصدی نسبت به شاهد بود. نسبت پتاسیم به سدیم تحت تاثیر اثر اصلی بیوچار قرار گرفت و کاربرد ۷ و ۱۴٪ بیوچار باعث افزایش نسبت پتاسیم به سدیم گیاه شد. اثرات اصلی تنش شوری و بیوچار محتوای آب نسبی برگ، محتوای اسانس، کلروفیل b و کارتنوئید گیاه را تحت تأثیر قرار داد. اثر اصلی تیمارهای ۷ و ۱۴٪ بیوچار، محتوای کلروفیل b را نسبت به

* **نویسنده مسئول:** لمیا وجودی مهربانی
رایانامه: vojodilamia@gmail.com

شاهد افزایش داد. کاربرد ۱٤٪ بیوچار موجب افزایش محتوای آب نسبی برگ (افزایش ۱۷ درصدی نسبت‌به شاهد)، و کاروتنوئید، شد. با افزایش تنش شوری به ۱۵۰ میلی‌مولار از محتوای آب نسبی برگ به میزان ۲۲ درصد نسبت‌به شاهد کاسته شد و بالاترین محتوای نسبی آب برگ در شاهد مشاهده شد. هر دو تیمار تنش شوری ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای کاروتنوئید شد. بیشترین محتوای اسانس در تیمار ۱٤٪ حجمی بیوچار مشاهده شد که نشان‌دهنده افزایش ۷٦ درصدی نسبت‌به شاهد بود. اثر اصلی تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای اسانس شد. ۱۸ جزء در اسانس تلخون شناسایی شد. استراگول (۹۰/۸-۸٤/۳ ٪) جزء غالب اسانس در تلخون بود که بیشترین جزء این ترکیب در تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم با کاربرد ۱٤٪ بیوچار حاصل شد. دومین جزء ازنظر فراوانی dl-limonene (۳/۰۲-۱/۰۵ ٪) بود که بیشترین جزء این ترکیب در تیمار تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار با کاربرد ۷٪ حجمی بیوچار مشاهده شد. نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان داد که تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار تاثیر منفی بر صفات رشدی و فیزیولوژیک تلخون داشت اما کاربرد بیوچار به میزان ۱٤٪ موجب بهبود صفات رشدی، فیزیولوژیک و افزایش جزء غالب اسانس تحت تنش شوری شد.

کلید واژه‌ها: پراکسید هیدروژن، پرولین، کلروفیل، مالون دی‌آلدئید

مقدمه

تنش شوری یکی از عوامل موثر بر تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان می‌باشد. افزایش آبیاری با آب‌های شور و آب‌های با کیفیت نامناسب، ضعف زهکشی خاک و افزایش دمای جهانی از عوامل مهم افزایش‌دهنده تنش شوری در سراسر جهان می‌باشد (Munns and Gilliham, 2015). شوری تأثیر منفی بر رشد و فرآیندهای فیزیکوشیمیایی گیاه، جذب عناصر غذایی و تنظیم یونی در گیاه را دارد (Farouk *et al.*, 2020; Farouk and AL-Huqail, 2022). شوری موجب تنش اسمزی و آبی در گیاه شده و موجب تجمع یون‌های نمک در اندام‌های گیاهی در حد سمیت می‌شود. کمبود آب موجب کاهش تورژسانس برگ، بسته‌شدن روزنه، کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش فتوسنتز می‌شود. تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن موجب ایجاد اثرات ثانویه تنش و آسیب به فتوسیستم II در گیاه می‌شود (Munns and Gilliham, 2015; Boveiri Dehsheikh *et al.*, 2023). گیاه از طریق تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی نقش مهمی در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن، پراکسید هیدروژن و سوپراکسید را دارد. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز موجب تبدیل آنیون سوپراکسید به پراکسید هیدروژن و اکسیژن شده در مرحله بعد، پراکسید هیدروژن توسط آنزیم کاتالاز به آب و مولکول اکسیژن تبدیل شده و موجب کاهش اثرات تنش بر گیاه می‌شود (Wang *et al.*, 2018). ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی با کاهش پتانسیل اسمزی سلول به جذب آب و حفظ توازون آبی در گیاه کمک کرده و به این طریق موجب کاهش اثرات تنش بر گیاه می‌شود (Ibrahim *et al.*, 2020). نتایج یک بررسی در تلخون نشان داد که تنش شوری تاثیر منفی بر صفات رشدی و فیزیولوژیک گیاه داشت (Hassanpouraghdam *et al.* 2023).

کاربرد ترکیبات آلی مانند بیوچار باعث افزایش حاصلخیزی خاک شده همچنین با تغییر ساختار فیزیکوشیمیایی خاک نقش مهمی در کاهش اثرات تنش شوری در گیاه را دارد (Xu *et al.*, 2016). بیوچار ترکیب آلی کربنی می‌باشد که در اثر پیرولیز بیوماس یا بقایای گیاهی در شرایط عدم حضور اکسیژن در دمای ۳۰۰-۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست می‌آید. این ترکیب قادر است ساختار فیزیکوشیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار داده و همچنین باعث افزایش عملکرد گیاه

شود (Xu *et al*., 2016; Farouk and AL-Huqail, 2022). بیوچار از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش ظرفیت نگه‌داری آب در خاک، بهبود ساختار خاک باعث افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (Farouk *et al*,. 2023). تأثیر بیوچار بر رشد و عملکرد گیاه بستگی به نوع بیوچار، میزان دسترسی گیاه به بیوچار در خاک، حضور مواد غذایی در خاک، گونه گیاهی و بافت خاک دارد (Xu *et al*., 2016). مطالعات نشان داده است که بیوچار باعث افزایش جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو توسط گیاه می‌شود. همچنین استفاده از بیوچار باعث کاهش جذب یون سدیم و افزایش جذب یون پتاسیم شده و به‌این‌ترتیب به کاهش اثرات سمیت سدیم در گیاه کمک می‌کند (Chaganti and Crohn, 2015). در یک مطالعه مشخص شد که کاربرد بیوچار موجب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد ریشه و گل در شمعدانی شد (Altaf *et al*., 2021).

تلخون با نام علمی *Artemisia dracunculus*، گیاهی معطر، علفی پایا از خانواده کاسنی می‌باشد. تلخون به‌عنوان سبزی طعم‌دهنده در بسیاری از کشورها شناخته شده و حاوی مواد معدنی، ویتامین، اسانس می‌باشد. تلخون دارای اثرات ضدقارچ و ضدباکتری است و به‌همین دلیل کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی دارد (Ekiert *et al*., 2021; Hassanpouraghdam *et al*., 2023). ارزش دارویی این گیاه به‌دلیل وجود اسانس، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی، اسیدهای فنلی، کومارین، و الکالوئیدها می‌باشد. این گیاه دارای اثرات ضدالتهاب، و ضدتومورمی‌باشد (Ekiert *et al*., 2021).با توجه به گسترش وسعت اراضی شور در سراسر جهان، استفاده از ترکیبات آلی که باعث کاهش اثرات تنش شوری بر گیاه بشود حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به اثرات سودمند کاربرد بیوچار در مزارع و باغات و با لحاظ کارآمدی بیوچار در القا تحمل به تنش‌های محیطی و بویژه نقش موثر آن تحت شرایط شور، هدف از بررسی حاصل ارزیابی تاثیر کاربرد بیوچار تحت تنش شوری بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی در گیاه تلخون بود، تا در صورت حصول به نتیجه مطلوب بتوان از این ترکیب در مناطق متاثر از تنش شوری استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر تنش شوری کلریدسدیم در آب آبیاری [بدون تنش، ۷۵ میلی‌مولار (۷/۳ دسی‌زیمنس بر متر) و ۱۵۰ میلی‌مولار(۱۳/۹ دسی‌زیمنس بر متر)] و کاربرد خاکی بیوچار سیب (بدون بیوچار، ۷ و ۱۴ درصد حجمی) بر رشد رویشی و برخی صفات فیزیولوژیک تلخون، آزمایش فاکتوریل بر مبنای طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان اجرا شد. برای تجزیه داده‌ها از برنامه‌های آماری MSTATC ver 2.1 و SPSS var 2.3 استفاده شد و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD (سطح احتمال ۵ درصد) مقایسه گردید.

در طی دوره رشد گیاه، تناوب دمای شبانه‌روزی گلخانه ۲۵ و ۲۰ درجه‌سانتی‌گراد، و رطوبت نسبی گلخانه ۷۰ درصد بود. در بررسی حاضر از ریزوم‌های توده محلی تلخون موجود در شهرستان آذرشهر استفاده شد. بدین منظور تکه‌های ۱۰۰ گرمی از ریزوم تهیه و با وایتکس ضدعفونی شد. برای این منظور غلظت ۲۰ درصد وایتکس تهیه و گیاهان به‌مدت ۵ دقیقه ضدعفونی شد. برای اجرای آزمایش تیمار بیوچار به خاک گلدان‌های مورد نظر قبل از کشت اعمال شد (به مشخصات خاک، آب و بیوچار به ترتیب در جداول ۱ ، ۲ و ۳ اشاره شده است). سپس گیاهان ضدعفونی شده به گلدان منتقل شد. چهار گلدان در هر تکرار به‌عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. یک ماه بعد از استقرار گیاهان (ظهور ساقه‌های ۴ تا ۵ سانتی‌متری)، تیمار تنش شوری اعمال شد. اعمال تنش شوری با غلظت ۲۵ میلی-

مولار نمک آغاز شد و هر سه روز یکبار به غلظت نمک اضافه شد تا به غلظت مورد نظر در تیمار برسد. آبیاری گیاهان هر سه روز یکبار با ۲۵۰ میلی‌لیتر آب حاوی تیمار مورد نظر انجام شد. بعد از هر سه نوبت آبیاری با آب حاوی تیمارهای کلریدسدیم، یک مرتبه گیاهان با آب بدون نمک آبیاری شدند تا از تجمع نمک در گلدان‌ها جلوگیری شود. گیاهان به‌مدت سه‌ماه در گلدان نگهداری شدند و سپس نمونه‌های برگی گیاهان برای ارزیابی صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک در آغاز مرحله ظاهر شدن جوانه‌های گل برداشت شدند. وزن-خشک بخش هوایی گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتال (BBI41, Boeco, Germany) و ارتفاع گیاه به‌کمک کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

ابتدا ۰/۵ گرم برگ تازه با ۲۰ سی‌سی استون ۸۰ درصد سائیده شد و بعد از تهیه عصاره، جذب محلول رویی در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل و ۴۸۰ نانومتر برای کاروتنوئید اندازه‌گیری شد (Arnon, 1942; Gu *et al*., 2008).

محتوای نسبی آب برگ

بعد از اندازه‌گیری وزن یک قطعه برگ، نمونه داخل آب مقطر در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد و بعد از خروج از ظرف، آب سطحی نمونه با کاغذ خشک کن خشک و وزن آن تعیین شد (وزن آماس یافته برگ)، سپس نمونه بلافاصله به آون با دمای ۷۰ درجه‌سانتی‌گراد بمدت ۴۸ ساعت منتقل و وزن‌خشک نمونه تعیین گردید و با قرار دادن در فرمول مربوطه محتوای آب نسبی برگ تعیین شد (Ritchies *et al*., 1990).

محتوای پراکسید هیدروژن

ابتدا ۰/۲ گرم از برگ در نیتروژن مایع ساییده شد و با ۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید یک درصد حجمی مخلوط شد. محلول بمدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰دور سانتریفوژ شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی با ۰/۵ میلی-لیتر بافر فسفات ۱۰ میلی‌مولار و یک میلی‌لیتر یدید پتاسیم (یک مولار مخلوط و جذب نمونه در ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Amaranathareddy *et al*., 2015).

Table 1. Physicochemical characteristics of soil

Organic matter	K (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	NH_4-N (mg kg^{-1})	EC (dsm^{-1})	pH	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	Soil texture
0.71	241	3.2	1.7	3.14	7.1	33	18.8	50.2	Sandy loam

Table 2. Chemical characteristics of water

K (mgl^{-1})	Total N (mgl^{-1})	pH	EC (dsm^{-1})	Sodium absorption ratio (SAR)	Total dissolved solids (TDS) (mgl^{-1})
1.2	0.85	7.1	0.12	0.45	325

Table 3. Physicochemical characteristics of biochar

Organic carbon (%)	pH	N (%)	P (%)	K (%)	Na (%)
59	7.5	0.23	0.17	0.49	0.31

محتوای پرولین

۵ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصدروی ۰/۲ گرم برگ سائیده شده در نیتروژن مایع اضافه، و در دمای ۲۰ درجه‌سانتی‌گراد با ۶۰۰۰ دور در دقیقه (به‌مدت ۷ دقیقه) سانتریفوژ شد. یک میلی‌لیتر از محلول‌رویی، با یک ملی‌لیتر نین هیدرین و یک میلی‌لیتر اسید گلاسیال مخلوط گردید، و یک ساعت در حمام ۱۰۰ درجه-سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از خروج از حمام، نمونه‌ها ۵ دقیقه در حمام یخ قرار گرفت. از محلول استاندارد پرولین برای اندازه‌گیری محتوای پرولین نمونه استفاده شد (Fedina *et al*., 2006).

محتوای مالون دی‌آلدئید

روی ۰/۵ گرم از برگ، ۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید یک درصد حجمی اضافه و در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. روی یک میلی‌لیتر از محلول رویی، ۴ میلی‌لیتر از مخلوط نیم درصد تیوباربیتوریک اسید به همراه ۲۰ درصد تری‌کلرواستیک اسید اضافه و ۳۰ دقیقه گرم گردید. برای متوقف کردن فعالیت آنزیم از یخ استفاده شد جذب محلول‌رویی بعد از سانتریفیوژ در ۱۰۰۰۰ دور توسط اسپکتروفتومتر در ۵۶۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد (Heath and Packer, 1968).

اندازه‌گیری عناصر

برای اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم برگ، از روش فلایم فتومتری (Corning, 410, England) استفاده شد (AOAC, 1990). یک گرم نمونه خشک شده، به‌مدت ۳/۵ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ۳۵۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار گرفت تا به خاکستر تبدیل شود. روی هر نمونه، ۱۰ میلی‌لیتر اسیدنیتریک یک نرمال اضافه شد، سپس مخلوط حاصل در حمام آب گرم (دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت. بعد از تبخیر اسید، روی نمونه هضم شده ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و بعداز صاف‌کردن مخلوط محتوای عناصر سدیم و پتاسیم تعیین گردید (AOAC, 1990).

استخراج اسانس

روی ۴۰ گرم برگ خشک شده تلخون ۴۰۰ میلی-لیتر آب اضافه شد و در دستگاه کلونجر به‌روش تقطیر با آب به‌مدت ۳/۵ ساعت اسانس‌گیری شد. از سولفات-سدیم خشک برای رطوبت‌زدایی اسانس استفاده شد (Hassanpouraghdam *et al*., 2023).

شناسایی اجزای اسانس با استفاده از دستگاه GC/MAS

برای شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-Agilent Technologies, 7890B) مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (HP-Innowax column - Agilent 19091N-116) و متصل به یک آشکارساز طیف سنجی جرمی (MS - Agilent Technologies, 5977A) استفاده گردید. جداسازی ترکیبات توسط یک ستون پلار (طول ستون ۶۰ سانتی‌متر، ضخامت لایه داخلی ۰/۲۵ میکرون HP-Innowax column (Agilent 19091N-116) انجام شد. شاخص بازداری با استفاده از تزریق آلکان‌های نرمال C7-C30 (Sigma-Aldrich) در دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-Agilent Technologies, 7890B) حاصل شد. شناسایی ترکیبات با استفاده از شاخص‌های بازداری، پایگاه داده‌های کامپیوتری متصل به طیف‌سنج (US National Institute of Standards and Technology (NIST), Wiley libraries) و منابع (Adams, 1997) انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع و وزن‌خشک بخش هوایی گیاه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع گیاه و وزن‌خشک بخش هوایی گیاه تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۴). تیمارهای بدون تنش شوری و تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم با کاربرد ۱۴٪ حجمی بیوچار، موجب افزایش ارتفاع و وزن‌خشک بخش هوایی گیاه شد. در هر دو سطح تنش شوری تیمار بدون کاربرد بیوچار

موجب کاهش معنی‌دار وزن‌خشک بخش هوایی و ارتفاع گیاه شد. در تیمارهای تنش شوری کاربرد بیوچار باعث افزایش ارتفاع و وزن‌خشک بخش هوایی گیاه نسبت‌به شرایط عدم کاربرد بیوچار شد (جدول ۴). تنش شوری موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه از طریق کاهش دسترسی به منابع کربنی می‌شود. کاهش فتوسنتز به‌دلیل بسته‌شدن روزنه و تغییرات اتفاق افتاده در کلروپلاست از دیگر عوارض تنش بر گیاه است (Yang *et al*., 2020; Daryabeigi *et al*., 2023). استفاده از ترکیبات حاوی کربن نقش مهمی در کاهش اثرات منفی تنش بر گیاه را دارد. استفاده از بیوچار تحت تنش شوری موجب افزایش وزن‌خشک گوجه‌فرنگی (Kul *et al*., 2021) و گل همیشه‌بهار (koriesh *et al*., 2021) شد. در تحقیقی در ذرت مشخص شد که استفاده از ۵ درصد بیوچار موجب افزایش عملکرد گیاه تحت تنش شوری شد (Kim *et al*., 2016). افزایش عملکرد گیاه در اثر کاربرد بیوچار به‌دلیل نقش بیوچار در بهبود تهویه خاک، افزایش رشد ریشه در خاک شور، و دسترسی متناسب گیاه به آب و عناصر معدنی است (Kim *et al*., 2016; Yang *et al*., 2020). چنین به‌نظر می‌رسد بیوچار با بهبود خواص فیزیکو-شیمیایی و بیولوژیکی خاک، افزایش فتوسنتز، بسته شدن روزنه و کاهش اثرات رادیکال‌های آزاد برگیاه نقش مهمی در افزایش رشد و عملکرد گیاه تحت شرایط تنش را داشته باشد (Zhang *et al*., 2013). نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز نشان داد که کاربرد بیوچار تحت تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار تاثیر مثبت در کاهش اثرات تنش بر ارتفاع و وزن‌خشک گیاه را دارد که همسو با نتایج مطالعات ذکر شده‌ی فوق است.

Table 4. Mean comparison for the interaction effects of NaCl salinity and biochar application on plant growth and some physiological traits of *Artemisia dracunculus* L.

NaCl (mM)	Biochar (v/v)	Shoot dry weight (g pot^{-1})	Plant height (cm)	Chlorophyll a (mg g^{-1} FW)	Proline (mmol $g^{-1\ FW}$)	H_2O_2 content (mmol kg^{-1})	Malondialdehyde content (mmol kg^{-1})	Na content (Mg g^{-1}DW)	K content (Mg g^{-1}DW)
0	0	0.4c	35c	1.3c	179d	8d	5.4d	12e	17c
0	7	0.8b	49b	2.6a	154e	6.3d	5.2d	10e	21b
0	14	1.2a	65a	2.4a	162d	6.7d	4.2d	10.5e	29a
75	0	0.3d	31c	1.1c	241b	12.6b	12b	25c	13d
75	7	0.5c	42b	2.1b	226b	10.9c	6.9c	21c	19c
75	14	1.1a	60a	2.5a	216c	10.2c	11.8b	15d	21b
150	0	0.21d	24d	0.9d	276ab	14.3a	17a	35a	7.0e
150	7	0.37d	31c	1.5c	284a	10.9c	12.1b	31b	15d
150	14	0.49c	42b	1.9b	296a	12.7b	13.2b	24c	18c
Significance									
Biochar (A)		*	*	*	*	*	*	ns	*
Salinity (B)		*	*	*	**	*	**	*	*
A × B		*	*	*	**	**	**	**	**
CV (%)		0.23	1.3	3.8	0.95	1.69	2.9	1.1	4.19

Similar letters in the columns are non-significant based on LSD ($P \leq 5\%$) test.
ns, *, and ** are non-significant and significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

محتوای رنگیزه های فتوسنتزی

اثرات متقابل تنش شوری و بیوچار محتوای کلروفیل a (جدول ۴)، و اثرات اصلی تنش شوری و بیوچار محتوای کلروفیل b و کارتنوئید را در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵). براساس نتایج حاصل بیشترین محتوای کلروفیل a در تیمار بدون تنش شوری با هر دو سطح کاربرد بیوچار و تیمار تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار کلریدسدیم با کاربرد ۱۴٪ حجمی بیوچار حاصل شد (جدول ۴). اثر مستقل تیمارهای ۷ و ۱۴٪ حجمی بیوچار محتوای کلروفیل b را نسبت‌به شاهد افزایش داد. محتوای کلروفیل b و محتوای کارتنوئید در تیمار ۱۴٪ حجمی بیوچار نسبت‌به شاهد دارای افزایش به ترتیب ۵۵ و ۸۷ درصدی بود که نشان‌دهنده تأثیر مثبت بیوچار بر محتوای کارتنوئید گیاه بود (جدول ۵). تنش شوری تأثیر مخرب بر محتوای کلروفیل b گیاه داشت. بیشترین محتوای کلروفیل b در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد با افزایش تنش شوری به ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم محتوای کلروفیل b در گیاه کاهش پیدا کرد. محتوای کاروتنوئید در هر دو سطح تنش شوری نسبت‌به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۶). تنش شوری با ایجاد آسیب به کلروپلاست و کاهش پتانسیل آبی سلول، موجب بسته‌شدن روزنه و کاهش محتوای دی‌اکسید کربن شده که تاثیر منفی بر تقسیم سلولی و فتوسنتز را دارد (Yang *et al.*, 2020). کاهش در محتوای کلروفیل در اثر تنش شوری در گاوزبان گزارش شد. استفاده از بیوچار موجب افزایش محتوای کلروفیل تحت تنش شوری در گاوزبان شد (Farouk and Al-Huquil, 2022). نتایج یک بررسی در گوجه‌فرنگی نشان داد که استفاده از بیوچار (۵ درصد حجمی) تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای کلروفیل a شد (Kul *et al.*, 2021). دلیل دیگر برای کاهش کلروفیل تحت تنش شوری ممکن است در اثر تنش اسمزی ایجاد شده در گیاه باشد که موجب آسیب به کلروپلاست می‌شود (Kul *et al.*, 2021). نقش بیوچار در افزایش محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید در شرایط عادی یا تنش در ارتباط با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی یا بیوسنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (فلاونوئید، کاروتنوئید) است که نقش محافظت از کلروفیل را در برابر رادیکال-های آزاد را دارد (Farouk and Al-Huquil, 2022).

Table 5. Mean comparison for the effects of biochar application on some physiological traits and K/Na ratio of *Artemisia dracunculus* L.

Biochar (v/v)	Chlorophyll b content (mg g^{-1} FW)	Carotenoid content (mg g^{-1} FW)	Relative water content (%)	Essential oil content (%)	K/Na
0	0.9b	0.8c	76c	1.08c	14.1c
7	1.1ab	1.0b	83b	1.3b	24.2b
14	1.4a	1.5a	90.2a	1.9a	35.8a
Significance					
Biochar (A)	*	**	*	**	*
Salinity (B)	*	*	*	**	ns
A × B	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.4	1.2	1.2	0.100	0.95

Similar letters in the columns are non-significant based on LSD ($P\leq$ 5%) test.
ns, *, and ** are non-significant and significant at P≤0.05 and $P\leq$0.01, respectively

Table 6. Mean comparison for the effects of salinity stress on some physiological traits of *Artemisia dracunculus* L.

Salinity (mM)	Chlorophyll b content (mg g^{-1} FW)	Carotenoid content (mg g^{-1} FW)	Relative water content (%)	Essential oil content (%)
0	1.1a	0.77b	89a	1.0b
75	0.8b	1.0a	84b	1.3a
150	0.45c	1.2a	69c	0.9b

Similar letters in the columns are non-significant based on LSD ($P\leq 5\%$) test.

محتوای آب نسبی برگ

اثر مستقل بیوچار و شوری محتوای آب نسبی برگ را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵). براساس نتایج حاصل بالاترین محتوای آب نسبی برگ در تیمار ۱۴ درصد حجمی بیوچار حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش ۱۷ درصدی نسبت‌به شاهد بود (جدول ۵). با افزایش تنش شوری به ۱۵۰ میلی‌مولار از محتوای آب نسبی برگ به میزان ۲۲ درصدی نسبت‌به شاهد کاسته شد و بالاترین محتوای آب نسبی برگ در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۶). در تحقیقی در گوجه‌فرنگی مشخص شد که استفاده از ۱۰ درصد حجمی بیوچار در شرایط بدون تنش شوری موجب افزایش محتوای آب نسبی برگ شد (Kul *et al*., 2021). تنظیم آب برگ یکی از راهکارهای گیاه در مواجه با تنش شوری است. بیوچار نقش مهمی در نگهداری رطوبت در خاک داشته و به این طریق موجب افزایش محتوای آب نسبی برگ شد (Shashi *et al*., 2018). در مطالعه‌ی مشخص شد که استفاده از ۵ درصد بیوچار موجب افزایش آب نسبی برگ گوجه‌فرنگی شد (Akhtar *et al*., 2014). به‌نظر می‌رسد تحت شرایط تنش کاربرد بیوچار با تنظیم حرکات روزنه‌ای، کاهش تعرق، افزایش تولیدریشه نابجا، افزایش جذب پتاسیم و کمک به تنظیم پتانسیل اسمزی سلول، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، به حفظ آب در گیاه کمک می‌کند (Haider *et al*., 2020; Zhang *et al*., 2021). حفظ تورژسانس سلولی به‌همراه کاهش پتانسیل اسمزی موجب محافظت از سلول در شرایط تنش می‌شود. استفاده از بیوچار تحت شرایط تنش با افزایش تولید اسمولیت، موجب کاهش پتانسیل اسمزی سلول شده و به جذب آب توسط سلول کمک کرده و مانع از پژمردگی گیاه در اثر تنش می‌شود (Akhtar *et al*., 2014). نتایج حاصل از بررسی حاضر در تایید مطالعات انجام شده فوق در خصوص کاهش اثرات منفی تنش بر گیاه در اثر کاربرد بیوچار بود.

محتوای پرولین

محتوای پرولین تحت تأثیر اثرات متقابل تنش شوری قرار گرفت (جدول ۴). براساس نتایج حاصل بالاترین محتوای پرولین در تیمارهای تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم با هر سه سطح کاربرد بیوچار حاصل شد (جدول ۴). تنش شوری موجب تجمع پرولین در گوجه-فرنگی شد (Manan *et al*., 2016). پرولین یکی از متداول‌ترین اسمولیت‌های تولید شده با وزن‌مولکولی کم در گیاه تحت تنش شوری است، که نقش مهمی در غلبه به اثرات اسمزی تنش در گیاه را دارد و به حفاظت از غشاهای زیستی کمک می‌کند. پرولین در تنظیم اسمزی و سلول‌های نگهبان روزنه نقش داشته و همچنین با ازبین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن به بقای گیاه تحت شرایط تنش کمک می‌کند (Pinheiro *et al*., 2001). بیوچار با کاهش تعرق، افزایش فتوسنتز خالص، راندمان استفاده از آب و تنظیم فعالیت آنزیم ریبولوز-بیس فسفات کربوکسیلاز اکسیدار و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه به بقای گیاه تحت شرایط تنش کمک می‌کند (Ibrahim *et al*., 2020). به‌نظر می-رسد کاربرد بیوچار تحت تنش شوری با افزایش تولید ترکیباتی اسمولیتی موجب کاهش پتانسیل اسمزی سلول شده و با افزایش جذب آب و افزایش بیان ژن‌های درگیر در محافظت از ماکرو مولکول‌ها به بقای گیاه تحت

شرایط تنش کمک می‌کند. افزایش تولید پرولین تحت تنش شوری در اثر کاربرد بیوچار در ارتباط با کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پرولین، یا افزایش بیان ژن δ1-pyrroline-5-carboxylate synthetase, ProDH می‌باشد که موجب افزایش بقای گیاه در شرایط تنش می‌شود (Siddiqui *et al*., 2019).

محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید

اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی محتوای مالون دی-آلدئید و پراکسید هیدروژن گیاه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). براساس نتایج حاصل بیشترین محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم در شرایط بدون محلول‌پاشی و بدون کاربرد بیوچار مشاهده شد (جدول ۴). تنش شوری موجب افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید در گیاه لعل‌کوهستان (*Oliveria decumbens*) شد (Boveiri Dehsheikh *et al*. 2023). تجمع یون سدیم موجب ایجاد تنش اکسیداتیو در گاوزبان شد که به‌صورت تجمع مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در گیاه مشاهده شد. کاربرد بیوچار در چنین شرایطی موجب کاهش محتوای هر دو ترکیب شد (Farouk and Al-Huquil, 2022). در شرایط تنش شوری همانند سایر تنش‌های غیرزیستی تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول اتفاق می‌افتد. تجمع رادیکال‌های آزاد یکی از دلایل آسیب به غشا و کاهش عملکرد محصول به‌دلیل تخریب غشای سلول، پروتئین، اسیدهای هسته‌ای و چربی می‌باشد (Foyer and Noctor, 2005). در تحقیق دیگری مشخص شد که محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در لوبیا تحت تنش شوری افزایش یافت، در حالیکه کاربرد ۲۰٪ بیوچار موجب کاهش تولید هر دو ترکیب شد (Farhangi-Abriz and Torabian, 2017). تحت شرایط عادی مسیر تولیدکننده رادیکال‌های آزاد، موجب ایجاد رادیکال-های مذکور توسط میتوکندری و کلروپلاست می‌شود. تولید مقادیر کم رادیکال‌های آزاد به‌عنوان سیگنال عمل کرده و موجب ایجاد فرآیندهای باززایی (cell-restoring process) می‌شود. اما در شرایط تنش، سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه قادر به خنثی‌سازی حجم زیاد رادیکال‌های آزاد تولیده شده نیست و منجر به تولید پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدئید و گروه‌های کربونیل می‌شود که موجب آسیب به سلول می‌شود (Kataria *et al*., 2019). افزایش غلظت پراکسید هیدروژن در سلول موجب تولید بیش از اندازه مالون دی‌آلدئید شده و به تخریب غشای سلول کمک می‌کند. استفاده از بیوچار تحت شرایط تنش موجب کاهش اثرات رادیکال‌های آزاد بر گیاه می‌شود. بیوچار با افزایش پایداری غشای سلول موجب بقای گیاه در شرایط تنش می‌شود که شاید یکی از دلایل آن کاهش تجمع پراکسید هیدروژن در گیاه در اثر تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی باشد (Farouk and Al-Huquil, 2022).

محتوای سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم

اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی محتوای سدیم و پتاسیم گیاه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). بالاترین محتوای سدیم در تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم در شرایط بدون کاربرد بیوچار حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش ۱۹۱ درصدی نسبت‌به تیمار شاهد بود. کمترین محتوای سدیم در تیمار بدون تنش شوری بدون و با کاربرد بیوچار مشاهده شد. بالاترین محتوای پتاسیم در تیمار بدون تنش شوری با کاربرد ۱۴٪ حجمی بیوچار حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش ۷۱ درصدی نسبت‌به تیمار شاهد بود. با افزایش تنش شوری به ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار از محتوای پتاسیم گیاه کاسته شد اما کاربرد بیوچار در همان سطوح شوری باعث افزایش محتوای پتاسیم گیاه نسبت به شرایط بدون کاربرد بیوچار شد (جدول ۴). کمترین نسبت پتاسیم به سدیم در تیمار بدون کاربرد بیوچار مشاهده شد. کاربرد ۷ و ۱۴ درصد حجمی بیوچار باعث افزایش نسبت پتاسیم به سدیم گیاه شد. بالاترین نسبت در تیمار ۱۴درصد حجمی بیوچار

حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش ۱۵۳ درصدی نسبت‌به شاهد بود (جدول ۵). غلظت بالای کلرید سدیم با ایجاد تنش یونی، تنش اسمزی و ممانعت از جذب پتاسیم موجب کاهش دسترسی گیاه به آب و عناصر معدنی می‌شود (Singh *et al*., 2012). تنش با تحت تأثیر قرار دادن مسیرهای متابولیکی موجب عدم توازن یونی و کاهش عملکرد گیاه می‌شود. در تحقیقی در گیاه گاوزبان مشخص شد که تنش شوری با کاهش نسبت پتاسیم به سدیم و همچنین محتوای پتاسیم موجب کاهش عملکرد گیاه شد (Farouk and Al-Huquil, 2022). در یک بررسی در گل همیشه بهار مشخص شد که استفاده از ده درصد بیوچار تحت تنش شوری موجب کاهش محتوای سدیم گیاه شد. جذب سطحی یون سدیم توسط بیوچار نقش مهمی در کاهش جذب یون سدیم تحت تنش شوری را داشته و با افزایش رهاسازی یون‌های مفید به بهبود رشد گیاه کمک می‌کند (Koriesh *et al*., 2021; Farouk and Al-Huquil, 2022). به‌نظر می‌رسد بیوچار از طریق سه مکانیسم موجب کاهش آسیب تنش شوری بر گیاه می‌شود که عبارتند از: اتصال ضعیف سدیم به مکان تبادلی آن (کاهش جذب سدیم)، افزایش جذب پتاسیم از محلول خاک و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم، همراه با افزایش رطوبت خاک، موجب کاهش جذب سدیم و رقیق‌تر شدن اثر آن می‌شود (Dahlawi *et al*., 2018; Ali *et al*., 2021). افزایش هموستازی یونی در ارتباط با تنظیم بالادست ژن‌های متعددی مانند NHX1 (ژن مسئول انتقال سدیم به واکوئل) (Shi and Zhu, 2002)، ژن-های فوق حساس به شوری SOS1 (ژن مسئول انتقال سدیم به بیرون سلول) (Padan *et al*., 2001) و AKT1 (ژن مسئول جذب پتاسیم از خاک و انتقال آن به ریشه) (Garriga *et al*., 2017) می‌باشد. تنظیم بیان این ژن‌ها در ارتباط با افزایش محتوای پتاسیم در گیاه و کاهش سدیم است. افزایش نسبت پتاسیم به سدیم از شاخص‌های مقاومت گیاه در برابر تنش است و موجب محافظت از مسیرهای متابولیکی در برابر تنش شده و با تنظیم فعالیت آنزیمی به بقای گیاه کمک می‌کند (Yang *et al*., 2020). نتایج حاصل از بررسی حاضر نیز در تأیید نتایج مطالعات فوق بوده و نشان‌دهنده کارایی تیمار مورداستفاده در کاهش اثرات تنش شوری بر گیاه است.

اسانس و اجزای اسانس

اثر مستقل بیوچار و شوری محتوای اسانس گیاه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵). بیشترین محتوای اسانس در تیمار ۱۴٪ حجمی بیوچار حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش ۷۶ درصدی نسبت‌به شاهد بود (جدول ۵). تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای اسانس شد (جدول ۶). ۱۸ جزء در اسانس گیاه شناسایی شد. استراگول (۹۰/۸-۸۴/۳ ٪) جزء غالب اسانس در تلخون بود که بیشترین جزء این ترکیب در تیمار تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم با کاربرد ۱۴٪ حجمی بیوچار حاصل شد. کمترین جزء این ترکیب در تیمار بدون تنش شوری با کاربرد ۷٪ حجمی بیوچار مشاهده شد. دومین جزء ازنظر فراوانی dl-limonene (۳/۰۲-۱/۰۵ ٪) بود که بیشترین جزء این ترکیب در تیمار ۷٪ حجمی بیوچار با ۷۵ میلی‌مولار تنش شوری مشاهده شد. سومین جزء ازنظر فراوانی Cis-Ocimene (۲/۱۳ - ۱/۱۴ ٪) بود که بیشترین جزء این ترکیب در تیمار بدون بیوچار با تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم مشاهده شد (جدول ۷). بررسی انجام شده در گیاه لعل کوهستان نشان داد که کاربرد اسید سالسیلیک تحت تنش شوری موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه شد (Boveiri Dehsheikh *et al*., 2023). در یک مطالعه در تلخون مشخص شد که تنش شوری تاثیر منفی بر محتوای اسانس گیاه داشت و استفاده از نانوذرات روی، آهن و گرافن موجب افزایش محتوای اسانس در شرایط بدون تنش شد. نتایج یک بررسی در تلخون نشان‌دهنده‌ی ۳۸ جزء در اسانس گیاه بود. استراگول جز غالب اسانس (۸۱-۹۱ درصد) بود و در تیمارهای تنش

شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار با محلول‌پاشی نانوذره روی مشاهده شد (Hassanpouraghdam *et al*., 2023). نتایج یک بررسی در گاوزبان نشان داد که تنش شوری موجب تغییر اجزای اسانس بذر شد و کاربرد بیوچار در چنین شرایطی به افزایش درصد اجزای اصلی اسانس کمک کرد (Farouk and Al-Huquil, 2022). تاثیر تنش شوری بر رشد و عملکرد گیاه ممکن است به‌دلیل تاثیر تنش بر مسیرهای متابولیکی، تغییرات فراساختاری و پاسخ‌های مولکولی باشد. تنش شوری با تاثیر بر هموستازی یونی، سمیت یونی، آسیب به تمامیت غشای سلول، فرآیند فتوسنتز، کاهش محتوای آبی گیاه و ایجاد تنش اسمزی موجب کاهش عملکرد گیاه شود (Yang *et al*., 2020). در بررسی حاضر استفاده از بیوچار موجب افزایش محتوای اسانس شد که شاید یکی از دلایل آن افزایش رشد گیاه به‌دلیل دسترسی به مواد غذایی و رطوبت کافی در خاک بود.

Table 7. Essential oil composition of *Artemisia dracunculus* L. plants exposed to salinity and Biochar applications

Component	RT	RI	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
α-pinene	8.773	1030	0.456	0.985	0.874	0.652	0.941	1.025	0.874	0.201	0.002
B-pinene	10.885	1119	0.214	0.251	0.096	0.321	0.428	0.487	0.564	0.625	0.274
Sabinene	11.205	1129	0.021	0.0320	0.035	0.081	0.07	0.062	0.054	0.062	0.071
B-myrcene	12.355	1166	0.13	0.25	0.18	0.54	0.69	0.84	0.56	0.91	0.87
dl-limonene	13.711	1208	1.98	2.96	1.98	2.10	3.02	1.09	1.26	1.21	1.05
Cis-ocimene	14.867	1238	1.23	1.98	2.13	1.58	1.18	1.54	1.14	1.69	1.87
β-ocimene	15.531	1256	1.09	1.32	1.59	1.11	0.69	1.78	1.31	1.98	0.47
Cis-ocimene oxide	25.075	1493	0.008	0.09	0	0.009	0.065	0.089	0.098	0.14	0.11
Estragole	32.382	1680	86.3	86.9	87.2	84.3	88.2	87.3	88.7	87.4	90.8
Germacrene D	33.83	1718	0.27	0.36	0.29	0.39	0.41	0.54	0.28	0.39	0.37
(E,Z)-α-farnesene	34.196	1728	0.11	0.19	0.21	0.19	0.26	0.37	0.36	041	0.57
B-Sesquiphellandrene	35.941	1774	0.18	0.15	0.24	0.12	0.25	0.36	0.21	0.19	0.23
(-)-Caryophllene oxide	44.655	1993	0.24	0.31	0.35	0.29	0.39	0.04	0.38	0.49	0.08
Methyl eugenol	45.382	2017	1.28	1.39	1.58	2.41	1.69	1.78	1.41	1.60	1.05
(+)-Spathulenol	48.478	2131	0.38	0.06	0.39	0.25	0.39	0.41	0.57	0.61	0.23
Thymol	49.794	2187	0.12	0.16	0.18	0.17	0.21	0.25	0.19	0.29	0.11
Isospathulenol	50.778	2233	0.054	0.069	0.087	0.024	0.047	0.058	0.039	0.047	0.058
Phytol	57.456	2613	0.36	0.04	0.25	0.36	0.58	0.12	0.42	0.56	0.47
Total			94.42	97.49	97.66	94.89	98.9	98.95	98.4	98.8	98.6

T1: Without biochar × Without salinity; T2: Without biochar × 75 mm salinity; T3: Without biochar × 150 mM salinity; T4: 7% biochar × Without salinity; T5: 7% biochar ×75 mm salinity; T6: 7% biochar × 150 mM salinity; T7: 14% biochar × Without salinity; T5: 14% biochar × 75 mm salinity; T6: 14% biochar × 150 mM salinity

RI: Retention index ; RT: Retention time

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی حاضر نشان‌دهنده تاثیر منفی تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بر صفات رشدی و فیزیولوژیک گیاه بود. افزایش تجمع یون سدیم، پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید در شرایط بدون کاربرد بیوچار گواهی بر این ادعا می‌باشد. کاربرد بیوچار تحت تنش شوری موجب کاهش اثرات منفی تنش بر گیاه شد که به‌صورت افزایش در صفات رشدی، محتوای پرولین، کلروفیل a، پتاسیم و محتوای اسانس گیاه مشاهده شد. براساس نتایج حاصل استفاده از بیوچار تحت تنش شوری موجب بهبود صفات رشدی و محتوای اسانس و اجزای آن شده و قابل پیشنهاد به بخش ترویج کشاورزی است.

سپاس گزاری

بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان به خاطر حمایت مالی پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

References

Adams, R.P. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography/uadrupole mass spectrometry. 4th Ed. Carol Stream: Allured Publishing. https:// www. resea rchga te. net/ public cation/ 28365 0275.

Akhtar, S.S., Li, G., Andersen, M.N., & Liu, F. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*, 138, 37–44. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.02.016.

Ali, E.F., Al-Yasi, H.M., Kheir, A.M.S., & Eissa, M.A. (2021). Effect of Biochar on CO_2 sequestration and productivity of pearl millet plants grown in saline sodic soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 897–907. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00409-z

Altaf, K., Younis, A., Ramzan, Y., & Ramzan, F. (2021). Effect of composition of agricultural wastes and biochar as a growing media on the growth of potted Stock (*Matthiola incana*) and Geranium (*Pelargonium* spp). *Journal of Plant Nutrition*, 44(7), 919- 930.

Amaranathareddy, V., Lokesh, U., Venkatesh, B., & Sudhakar, C. (2015). Pb-stress induced oxidative stress caused alterations in antioxidant efficacy in two groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. *Agricultural Sciences*, 6(10), 1283-1297.

AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC.

Arnon, D.I., Fratzke, W.E., & Johnson, C. (1942). Hydrogen ion concentration in relation to absorption of inorganic nutrients by higher plants. *Plant physiology*, 17(4), 515-524.

Boveiri Dehsheikh, A., Mahmoodi Sourestani, M., Enayatizamir, N., & Safdarian, M. (2023). Phytochemical changes of denak (*Oliveria decumbens*) in response to salinity stress and application of salicylic acid hormone. *Plant Production*, 46(2), 225-236. [In Persian].

Chaganti, V.N., & Crohn, D.M. (2015) Evaluating the relative contribution of physiochemical and biological factors in ameliorating a saline– sodic soil amended with composts and biochar and leached with reclaimed water. *Geoderma*, 259, 45–55. https://doi.org/10.1016/j. geoderma.2015.05.005

Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z., & Naidu, R. (2018). Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of The Total Environment*, 625, 320–335. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.257.

Daryabeigi, A., Abtahi, F., & Salehi Arjmand, H. (2023). Evaluation of salinity tolerance of some native ajwain (*Trachyspermum copticum* L.) population of Iran. *Plant Production*, 46(2), 251-262. [In Persian]

Ekiert, H., Swiatkowska, J., Knut, E., Klin, P., Rzepiela, A., Tomczyk, M., & Szopa, A. (2021). *Artemisia dracunculus* (Tarragon): A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Frontiers in Pharmacology*, 12:653993, 653993. Doi: 10.3389/fphar.2021.653993

Farhangi-Abriz, S., & Torabian, S. (2017). Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 137, 64–70. doi:10.1016/j.ecoenv.2016.11.029.

Farouk, S., Elhindi, K.M., & Alotaibi. M.A. (2020). Silicon supplementation mitigates salinity stress on *Ocimum basilicum* L. via improving water balance, ion homeostasis, and antioxidant defense system. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206, 111396. https://doi.org/10.1016/j. ecoenv.2020.111396

Farouk, S., & Al-Huquil, A.A. (2022). Sustainable biochar and/or melatonin improve salinity tolerance in borage plants by modulating osmotic adjustment, antioxidant, and lin homeostasis. *Plants,* 11(6), 765. DOI: 10.3390/plants11060765

Farouk, S., AL-Huqail, A.A., El-Gamal, S.M.A. (2023). Potential role of biochar and silicon in improving physio-biochemical and yield characteristics of borage plants under diferent irrigation regimes. *Plants*, 12,1605. https://doi.org/10.3390/plants12081605

Fedina, I., Georgieva, K., Velitchkova, M., & Grigorova, I. (2006). Effect of pretreatment of barley seedlings with different salts on the level of UV-B induced and UV-B absorbing compounds. *Environmental and Experimental Botany*, 56(3), 225-230.

Foyer, C.H., & Noctor, G. (2005). Redox homeostasis and antioxidant signaling: A metabolic interface between stress perception and physiological responses. *The Plant Cell*, 17 (7), 1866–1875. doi:10.1105/tpc.105.033589.

Garriga, M., Raddatz, N., Very, A.A., Sentenac, H., Rubio-Meléndez, M.E., González, W., & Dreyer, I. (2017). Cloning and functional characterization of HKT1 and AKT1 genes of Fragaria spp.-Relationship to plant response to salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 210, 9–17. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.12.007.

Gu, Z., Deming, C., Yongbin, H., Zhigang, C., & Feirong, G. (2008). Optimization of carotenoids extraction from Rhodobacter sphaeroides. *LWT-Food Science and Technology*, 41(6), 1082-1088. Doi;10.1016/j.lwt.2007.07.005.

Haider, I., Raza, M.A.S., Iqbal, R., Aslam, M.U., Habib-Ur-Rahman, M., Raja, S., Khan, M.T., Aslam, M.M., Waqas, M., & Ahmad, S. (2020). Potential effects of biochar application on mitigating the drought stress implications on wheat (*Triticum aestivum* L.) under various growth stages. *Journal of Saudi Chemical Society*, 24(12), 974–981.

Hassanpouraghdam, M.B., Vojodi Mehrabani, L., Kheirollahi, N., Soltanbeigi, A., & Khoshmaram, L. (2023). Foliar application of graphene oxide, Fe and Zn on *Artemisia dracunculus* L. under salinity. *Scientia Agricola*. http://doi.org/10.1590/1678-992x-2021-0202

Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics*, 125(1), 189-198.

Ibrahim, M.E.H., Ali, A.Y.A., Zhou, G., Elsiddig, A.M.I., Zhu, G., Nimir, N.E.A., & Ahmad, I. (2020). Biochar application affects forage sorghum under salinity stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80(3), 317–325.

Kataria, S., Baghel, L., Jain, M., & Guruprasad, K.N. (2019). Magnetopriming regulates antioxidant defense system in soybean against salt stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18, 101090. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101090.

Kim, H.S., Kim, K.R., Yang, J.E., Ok, Y.S., Owens, G., Nehls, T., Wessolek, G., & Kim, K.H. (2016). Effect of biochar on reclaimed tidal land soil properties and maize (*Zea Mays* L.) response. *Chemosphere*, 142, 153–159. doi:10.1016/j.chemosphere.2015.06.041.

Koriesh, E.M., Zidan, B.A., Abd El-Fattah, A., & Awad, Y.M. (2021). Biochar improved biomass duration, membrane stability index and relative water content of *Calendula officinalis* L. under salt stress condition. *Hortscience Journal of Suez Canal University*, 10(1), 41-47.

Kul, R., Ariumend, T., Ekinci, M., Yildirim, E., Turan, M., & Argin, S. (2021). Biochar as an organic soil conditioner for mitigating salinity stress in tomato. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(6), 693-706. https://doi.org/10.1080/00380768.2021.1998924

Manan, A., Ayyub, C.M., Ahmad, R., Bukhari, M.A., & Mustafa, Z. (2016). Salinity induced deleterious effects on biochemical and physiological processes of tomato. *Pakistan Journal of Life & Social Sciences,* 14(2), 83-90.

Munns, R., & Gilliham. M. (2015). Salinity tolerance of crops-what is the cost? *New Phytology*, 208(3), 668–673. https://doi.org/10.1111/ nph.13519

Padan, E., Venturi, M., Gerchman, Y., & Dover, N. (2001). Na^+/H^+ antiporters. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1505(1), 144–157.

Pinheiro, E., Ricardo, B., Enrique, V.C., & Heath, T. (2001). Load balancing and unbalancing for power and performance in cluster-based systems. In Workshop on compilers and operating systems for low power, 180, 182-195.

Ritchies, 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 DOI:10.2135/cropsci1990.0011183x003000010025x

Shashi, M.A., Mannan M.A., Islam M.M., & Rahman, M.M. (2018). Impact of rice husk biochar on growth, water relations and yield of maize (*Zea Mays* L.) under drought condition. *The Agriculturists*, 16(2), 93–101. doi:10.3329/agric.v16i02.40347.

Shi, H., & Zhu, J.K. (2002). Regulation of expression of the vacuolar Na^+/H^+ antiporter gene AtNHX1 by salt stress and abscisic acid. *Plant Molecular Biology*, 50, 543–550. https://doi.org/10.1023/A:1019859319617

Siddiqui, M.H., Alamri, S., Al-Khaishany, M.Y., Khan, M.N., Al-Amri, A., Ali, H.M., Alaraidh, I.A., & Alsahli, A.A. (2019). Exogenous melatonin counteracts NaCl-induced damage by regulating the antioxidant system, proline and carbohydrates metabolism in tomato seedlings. *International Journal of Molecular Science*, 20(2), 353. doi: 10.3390/ijms20020353.

Singh, J., Sastry, E.D., & Singh, V. (2012). Effect of salinity on tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) during seed germination stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18 (1), 45–50. doi:10.1007/s12298-011-0097-z.

Xu, G., Zhang, Y., Sun, J., & Shao, H. (2016) Negative interactive efects between biochar and phosphorus fertilization on phosphorus availability and plant yield in saline sodic soil. *Science the Total Environment*, 568, 910–915. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.079

Yang, A., Akhtar, S.S., Li, L., Fu, Q., Li, Q., Naeem, M.A., He, X., Zhang, Z., & Jacobsen, S.E. (2020). Biochar mitigates combined effects of drought and salinity stress in Quinoa. *Agronomy,* 10(6), 912. DOI: 10.3390/agronomy10060912

Wang, Y., Branicky, R., Noe, A., & Hekimi, S. (2018). Superoxide dismutases: Dual roles in controlling ROS damage and regulating ROS signaling. *Journal of Cell Biology*, 217(6), 1915–1928.

Zhang, W.M., Meng, J., Wang, J.-Y., Fan, S.-X., & Chen, W.F. (2013). Effect of biochar on root morphological and physiological characteristics and yield in rice. *Acta Agronomica Sinica*, 39(8), 1445–1451.

Zhang, P., Liu, L., Wang, X., Wang, Z., Zhang, H., Chen, J., Liu, X., Wang, Y., & Li, C. (2021). Beneficial effects of exogenous melatonin on overcoming salt stress in sugar beets (*Beta vulgaris* L.). *Plants*, 10(5), 886. doi: 10.3390/plants10050886.