Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops
https://jabssh.znu.ac.ir

Research Article
Vol. 1, No. 1, Autumn and Winter 2026, p. 27-38

The effect of humic acid on the growth and physiological indices of coriander *(Coriandrum sativum* L.*)* under salinity stress

Mahsa Khalkhali [1], Taher Barzegar [2*], Masoud Arghavani [3]

1 - Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2 - Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3 - Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
(*- Corresponding author's Email: tbarzegar@znu.ac.ir)

Received: 15 March 2024
Received in revised form: 05 May 2024
Accepted: 08 May 2024

How to cite this article:
Khalkhali, M., Barzegar, T. & Arghavani, M. (2026). The effect of humic acid on the growth and physiological indices of coriander *(Coriandrum sativum* L.*)* under salinity stress. *Journal of Abiotic Stress in Horticultural Crops*, *1*(1), 27-38. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.30470/ashc.2026.742845

Introduction

Coriander is a vegetable plant belonging to the family Apiaceaea that was widely used in ancient times for its nutritional and pharmaceutical values. Coriander, under normal conditions, synthesizes vital biochemical principles regarded as biologically potent, including essential oils, geraniol, coriandrin, flavonoids, terpenes, cymene, citronellol, monoterpenes and pinene. Salinity is a major abiotic stress, reducing the yield of wide variety of crops all over the world. The restriction of plant growth and productivity due to salinity is especially acute in arid and semi-arid regions around the world. Salinity may occur when there is irregular irrigation inadequate drainage, wrong fertilizer application and it extremely increases particularly in protected cultivation. The application of biostimulants has great potential in preserving plants against abiotic or biotic stresses and is integrated into promoting tolerance and acclimating of plants against salinity stress. For overcoming the negative effect of salinity, the addition of supplemental organic matter such as humic substances to growth media as an ameliorative agent could be necessary. The present study was carried out to evaluate the effect of humic acid in improving salinity tolerance of coriander plants.

Materials and Methods

In order to study the effect of humic acid on growth and physiological indices of coriander (*Corianderum sativum* L.) under salinity stress, a factorial experiment based on completely randomized design with three replications was conducted at Research greenhouse of University of Zanjan, during 2021. Treatments consisted arrangement of four levels of salinity (0, 40, 60 and 80 mM, NaCl) and four levels of humic acid (0, 100, 2000 and 300 mg L-1). The seeds of coriander were sown in pots containing sand and perlite (50:50 %V). The plants were grown under optimal ambient conditions of 20±2°C during the day and 17±2°C at night, with a relative humidity of 60-65%. The plants were irrigated with Hoagland nutrient solution. At the stage of 4-5 leaves, humic acid treatment was started and it was applied to the pot in three stages with an interval of one week. One week after the application of humic acid, salinity treatments were applied and continued until the end of the plant growth period. Shoot fresh weight, root length, photosynthetic pigments, total phenols and flavonoids, leaf relative water content, ion leakage and proline content were measured. Statistical analyses were performed with SPSS software package v. for Windows, and means comparison were separated by Duncan's multiple range tests at $p < 0.05$.

Results and Discussion

The results showed that salinity significantly decreased shoot fresh weight, root length, chlorophyll content and leaf relative water content, and increased electrolyte leakage, phenols, flavonoids and proline contents. Application of humic acid increased plant growth, chlorophyll pigment, and total phenol and flavonoids contents, but decreased the proline content and electrolyte leakage. The lowest shoot fresh weight (21 g) and

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://doi.org/10.30470/ashc.2026.742845

electrolyte leakage (78.8 %) were observed with application of 0 mg L-1 humic acid under 80 mM NaCl. In addition, the lowest root length (12 cm), RWC (40.01%), total chlorophyll (16.1 mg gFW-1) and carotenoids contents (1.85 mg gFW-1) and the highest proline content (11.7 mg gFW-1) were obtained under salinity 80 mM NaCl. The maximum phenol (21 mg g-1FW) and flavonoids (21.03 mg g-1FW) contents were obtained with application of humic acid 300 mg L-1 under salinity 80 mM NaCl. The impact of salinity on plant growth is ascribed to the disturbance of various physiological processes, suppression of nutrient uptake, enhancement of toxic absorption from soil, and metabolic imbalance. The mechanism of humic acid in promoting plant growth may enhance the uptake of nutrients and reduce the uptake of some toxic elements. However, increasing cell membrane permeability, oxygen uptake, respiration, photosynthesis, phosphate uptake and root cell elongation of plant growth factors have been proposed by some authors to explain positive effect of humic acid.

Conclusions

According to the results, the application of 300 mg L-1 humic acid increased the fresh weight of coriander plants by 41.8% under 80 mM salinity conditions. So that, the application of 300 mg L-1 humic acid to improve plant growth and moderate the negative effects of salinity can be recommended.

Keywords: Chlorophyll pigments, Electrolyte leakage, Phenolic compounds, Vegetative growth.

نشریه تنش‌های غیر زیستی در محصولات باغبانی
https://jabssh.znu.ac.ir
دانشگاه زنجان

مقاله پژوهشی
جلد ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۴۰۵، ص. ۲۷ – ۳۸

تأثیر اسیدهیومیک بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) تحت تنش شوری

مهسا خلخالی، طاهر برزگر، مسعود ارغوانی

چکیده

به‌منظور مطالعه اثر اسیدهیومیک بر رشد و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه گشنیز در شرایط شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار در گلخانه انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شوری در ۴ سطح (۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و اسیدهیومیک در ۴ سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد که تنش شوری به‌طور معنی‌داری رشد بوته، محتوای رنگدانه‌های کلروفیلی و محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد؛ ولی مقدار فنل، فلاونوئید، نشت یونی و پرولین را افزایش داد. کاربرد اسیدهیومیک شاخص‌های رشدی، رنگدانه‌های کلروفیلی، محتوای فنل و فلاونوئید را افزایش داد؛ ولی مقدار پرولین و نشت یونی را کاهش داد. کمترین وزن تر اندام هوایی (۲۱ گرم) و حداکثر نشت یونی (۷۸/۸ درصد) در سطح صفر اسیدهیومیک تحت تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار مشاهده شد. همچنین کمترین طول ریشه (۱۲ سانتی¬متر)، محتوای نسبی آب برگ (۴۰/۰۱ درصد)، کلروفیل کل (۱۶/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کارتنوئید برگ (۱/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و بیشترین مقدار پرولین (۱۱/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار بود. حداکثر مقدار فنل کل (۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و فلاونوئید (۲۱/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با کاربرد اسیدهیومیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر تحت شوری ۸۰ میلی‌مولار حاصل شد. با توجه به نتایج، کاربرد اسیدهیومیک باعث بهبود رشد گیاه و تعدیل اثرات منفی تنش شوری شد؛ به‌طوری که می‌توان کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک را توصیه کرد.

کلمات کلیدی: ترکیبات فنلی، رشد رویشی، رنگدانه‌های کلروفیل، نشت یونی.

مقدمه

گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) از خانواده چتریان (Apiaceae) یک سبزی برگی سرشار از فیبر، منیزیم، منگنز، آهن و اسیداسکوربیک است. همچنین گشنیز به دلیل داشتن ماده مؤثره (اسانس) و ترکیب اصلی لینالول، دارای اهمیت بسزایی در صنایع داروسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی است که ازجمله می‌توان به خواص ضداسپاسم و درد اشاره داشت (Singh, 2015).

شوری آب و خاک از بزرگ‌ترین مشکلات مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، به‌طوری که حدود ۲۰ درصد کل زمین‌های زیر کشت دنیا و ۵۰ درصد زمین‌های آبیاری‌شده، با مشکلات شوری مواجه هستند (Peleg *et al*., 2012). در ایران نیز که دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است، تنش شوری یکی از موانع تولید در کشاورزی محسوب می‌شود. این تنش از طریق ایجاد تغییرات آناتومی، مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد که شدت خسارت شوری بسته به طول مدت تنش و مرحله رشد گیاه متفاوت است (Parihar *et al*., 2015). گیاهان در شرایط شوری خاک، تنش خشکی را به دلیل پتانسیل اسمزی پایین خاک و سمیت یونی را به دلیل عدم تعادل یونی ناشی از وجود یون‌های کلر و سدیم تجربه خواهند نمود (Ashraf and Ali, 2008). غلظت بالای نمک‌ها در خاک همچنین ممکن است بسیاری از فرایندهای رشدی، فتوسنتزی و جذب مواد غذایی را تحت تأثیر قرار دهد. تحت شرایط شوری، مولکول‌های اکسیژن واکنش‌گر تولید می‌شوند که بسیار سمی هستند و با قدرت بالای اکسیداسیون در پروتئین‌ها و چربی‌ها باعث آسیب جدی به سلول می‌شوند (Ashraf and Harris, 2004). شوری خاک، پتانسیل آب خاک و پتانسیل آب برگ را کاهش می‌دهد، روابط گیاه را مختل می‌کند و تورژسانس گیاه را کاهش می‌دهد که در نهایت منجر به تنش اسمزی می‌شود (Navada *et al*., 2020). گزارش شد که میزان مالون دی‌آلدئید در گیاه درمنه کوهی که با کلرید سدیم تیمار شده بود، افزایش یافت که این امر نشان‌دهنده اثر تنش شوری بر تخریب غشای سلولی است. همچنین با اعمال تنش شوری در گیاه ریحان، میزان رشد رویشی و محتوی کلروفیل کاهش و نشت یونی افزایش یافت (Taheri *et al*., 2016).

گیاهان مکانسیم‌های مختلفی را برای مقابله با تنش شوری توسعه داده‌اند؛ این مکانسیم‌ها عبارت‌اند از تعادل یونی، ازجمله تجمع سدیم و کلر در واکوئل برای کاهش اثرات سمی آن در سیتوپلاسم، کمک به جذب آب با ایجاد پتانسیل اسمزی منفی، تولید اسمولیت‌هایی مانند گلایسین بتائین، پرولین و قندهای محلول برای حفظ جذب آب در شرایط شور و همچنین حفظ نسبت پتاسیم به سدیم برای جلوگیری از آسیب رساندن به غشا (Iqbal *et al*., 2014).

امروزه استفاده از انواع تحریک‌کننده‌های زیستی، مانند ترکیبات هوموسی، یکی از راهکارهای بهبود حاصلخیزی خاک است (Fan *et al*., 2014). اسیدهیومیک با وزن مولکولی ۳۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ دالتون و اسیدفولیک با وزن مولکولی کمتر از ۳۰۰۰۰ دالتون، به‌ترتیب سبب تشکیل کمپلکس‌های پایدار و نامحلول و کمپلکس‌های محلول با عناصر میکرو می‌شوند (*Fan et al*., 2014).

اسیدهیومیک موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، افزایش تهویه خاک، بهبود دانه‌بندی خاک، بهبود مقاومت به خشکی، افزایش تبدیل عناصر به فرم‌های قابل دسترس برای گیاه و افزایش درصد نیتروژن خاک می‌گردد (Jarošová *et al*., 2016). مواد هیومیکی ممکن است اثرات ضدتنشی تحت شرایط تنش غیرزنده نشان دهند. این مواد ممکن است موجب افزایش جذب عناصر غذایی و کاهش سمیت برخی عناصر جذب‌شده شوند؛ بنابراین می‌توان گفت که کاربرد مواد هیومیکی می‌تواند موجب بهبود رشد گیاه تحت شرایط شوری شود (Vašková *et al*., 2011). اسیدهیومیک اثرات مثبت بر توسعه ریشه دارد؛ به‌طوری که نسبت ریشه به شاخه را افزایش می‌دهد و باعث تولید ریشه‌های نازک جانبی در برخی گیاهان می‌شود (Aydin *et al*., 2012). صالحی و همکاران (Salehi *et al*., 2010) با بررسی اثر هیومیک‌اسید در سه رقم گوجه‌فرنگی گزارش دادند که غلظت ۱/۵ کیلوگرم در هکتار اسیدهیومیک بیشترین تأثیر را در افزایش بیوماس، شاخص بریکس و وزن کل میوه در بوته داشته است و بیشترین تعداد میوه در بوته در واکنش به سطح مصرف ۲ کیلوگرم در هکتار هیومیک‌اسید به دست آمد.

بنابراین، با توجه به مطالب مطرح‌شده و با توجه به افزایش روزافزون زمین‌های شور و تأثیر تنش شوری بر پارامترهای فیزیولوژیکی گیاهان، هدف از انجام پژوهش حاضر، ارزیابی پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه گشنیز به کاربرد برگی اسیدهیومیک تحت تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها گلدان

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار در سال ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شوری در ۴ سطح (۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و اسیدهیومیک در ۴ سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. هر واحد آزمایشی شامل دو (۸ گیاه) بود.

بذر گشنیز از شرکت پاکان بذر اصفهان در کیسه‌های کشت پلاستیکی ۵ کیلویی با بستر کشت ۵۰:۵۰ ماسه و پرلیت به‌صورت هیدروپونیک کشت شد. دمای گلخانه در روز ۲۰ درجه سانتی‌گراد و در شب ۱۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی گلخانه در روز ۶۵ درصد و شب ۵۵ درصد تنظیم شد. تا مرحله ۴ تا ۵ برگی، گیاهان به‌طور یکسان با محلول غذایی هوگلند آبیاری شدند. در مرحله ۴ تا ۵ برگی، تیمار هیومیک‌اسید آغاز و در سه مرحله با فاصله یک هفته به‌صورت مایع به بستر گلدان اعمال شد. یک هفته بعد از کاربرد اسیدهیومیک، تیمار شوری اعمال گردید و تا پایان دوره رشد گیاه ادامه یافت.

صفات مورد ارزیابی

طول ریشه، وزن تر ریشه و اندام هوایی

در مرحله حداکثر رشد رویشی و یک ماه پس از اعمال تیمارها، طول ریشه برحسب سانتی‌متر، وزن تر اندام هوایی و ریشه به گرم اندازه‌گیری شدند.

کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ

محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید بر اساس روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۱ گرم از برگ با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد هموژینزه شد. سپس مخلوط حاصل در ۶۰۰۰ دور به مدت بیست دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس محلول روشناور با استون ۸۰ درصد رقیق شد و میزان جذب آن در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a و b طول موج ۴۸۰ و ۵۱۰ برای کاروتنوئید با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (SAFAS MONACO, RS232) قرائت گردید. در نهایت، غلظت آن‌ها برحسب میلی-گرم بر گرم وزن تر با استفاده از رابطه یک و دو محاسبه شد که در این رابطه، V نشان‌دهنده حجم نهایی عصاره کلروفیل در استون ۸۰ درصد، W وزن تازه بافت استخراج‌شده و A جذب در طول موج مشخص است.

رابطه (۱):

$$\text{کلروفیل کل} = [20.2\ (A645) + 8.02\ (A663)]\times V/(W\times 1000)$$

رابطه (۲):

$$\text{کارتنوئید} = [7.6\ (A480) - 1.49\ (A510)]\times V/(W\times 1000)$$

محتوای پرولین

برای اندازه‌گیری میزان پرولین از روش نین‌هیدرین استفاده شد (Bates *et al*., 1973). به‌طور خلاصه، ۰/۵ گرم نمونه تازه با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک‌اسید ۳ درصد هموژن گردید. سپس ۲۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از روشناور به همراه ۲ میلی‌لیتر اسیدنین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و واکنش در داخل یخ به پایان رسید. با اضافه کردن ۲ میلی‌لیتر تولوئن، جذب مایع رنگی حاوی پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Analytikjena specord 250 اندازه‌گیری شد و میزان پرولین با استفاده از منحنی‌های استاندارد پرولین محاسبه گردید.

نشت یونی

به‌منظور اندازه‌گیری نشت یونی، ۰/۱ گرم برگ با آب مقطر شسته و در لوله‌های حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از سرد شدن با دستگاه هدایت‌سنج قرائت شد (EC_1). سپس لوله‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در حمام ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از سرد شدن قرائت شد (EC_2). میزان نشت یونی با استفاده از رابطه زیر به‌صورت درصد محاسبه شد (Sairam *et al*., 1994):

رابطه (۳):

$$\text{درصد نشت یونی} = EC_1/EC_2 \times 100$$

محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)، ابتدا یک گرم از برگ‌های تازه (FW) توزین گردید. سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون آب مقطر غوطه‌ور شدند و وزن اشباع برگ‌ها (TW) اندازه‌گیری شد. در نهایت، برگ‌ها به مدت ۲۴

ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک برگ‌ها (DW) تعیین گردید. در آخر، محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Hanson and Hitz, 1982):

رابطه (۴):

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

محتوای فنل کل و فلاونوئید

محتوای فنل کل بر اساس روش فولین سیوکالتو اندازه‌گیری شد؛ بدین صورت که ابتدا ۱ گرم بافت تازه گیاهی با متانول ۸۰ درصد در هاون سابیده شد. سپس عصاره‌ها با دور ۶۰۰۰ به مدت ۲۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس مقادیر جذب هر محلول با اسپکتروفتومتری مدل Jenway 6705، در طول موج ۷۲۰ نانومتر قرائت گردید. محتوای فنل کل برحسب میلی‌گرم معادل اسیدگالیک بر گرم وزن تر میوه گزارش شد (Meda *et al*., 2005).

میزان فلانوئید کل با استفاده از رنگ‌سنجی آلومینیوم‌کلرید به روش کاجو و همکاران (۲۰۰۶) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از بافت برگ‌های تازه گیاهی به همراه ۱۰ میلی‌لیتر متانول عصاره‌گیری و سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره با آب مقطر به حجم پنج میلی‌لیتر رسانده شد. پس از آن به محلول به‌دست‌آمده ۰/۳ میلی‌لیتر $NaNo_2$ پنج درصد اضافه شد و بعد از گذشت پنج دقیقه، ۰/۵ میلی‌لیتر $AlCl_3$ ۱۰ درصد افزوده شد و در نهایت، دو میلی‌لیتر NaOH یک مولار و دو میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. میزان فلاونوئید با استفاده از منحنی استاندارد بر اساس میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن تر گزارش شد.

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

طول ریشه و وزن تر اندام هوایی

نتایج نشان داد که اثر اصلی تنش شوری و کاربرد هیومیک‌اسید بر طول ریشه در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار شد؛ ولی اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نبودند (جدول ۱). نتایج نشان داد که بیشترین طول ریشه (۳۱ سانتی‌متر) در گیاهان فاقد تنش شوری و کمترین طول ریشه (۲۱ سانتی‌متر) در شرایط تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم حاصل شد (جدول ۲). همچنین در تیمارهای اسیدهیومیک، بیشترین طول ریشه (۲۷ سانتی‌متر) در گیاهان تیمارشده با ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هیومیک‌اسید مشاهده شد (جدول ۲).

اعمال تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی گیاه گشنیز شد؛ ولی با کاربرد هیومیک‌اسید، اثر تنش شوری تعدیل و موجب بهبود وزن تر اندام هوایی گردید. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین وزن تر اندام هوایی (۷۰ گرم در بوته) در شرایط عدم تنش شوری و کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک به دست آمد و کمترین وزن تر اندام هوایی مربوط به تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و عدم کاربرد هیومیک‌اسید بود (شکل ۱).

شوری بر تمام فرایندهای اصلی، مانند رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپید و انرژی، مؤثر است. در نتیجه، تمام مراحل زندگی گیاه، از جوانه‌زنی تا تولید بیوماس و تولید دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پاسخ فوری گیاهان به افزایش شوری، کاهش سطح برگ است؛ اما پاسخ سایر قسمت‌های گیاه به شوری، شامل کاهش رشد ریشه و کاهش شدید بخش هوایی است که به دنبال کاهش تورژسانس در سلول‌های گیاهی اتفاق می‌افتد (Parida et al., 2005).

هیومیک‌اسید سبب افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، مانند نفوذپذیری، تهویه، دانه‌بندی، ظرفیت نگهداری آب در خاک، تحریک و در دسترس قرار دادن مواد غذایی می‌شود و از طرفی موجب افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم از طریق افزایش قابلیت تحرک این عناصر می‌گردد (Khan *et al*., 2013). در گیاه سورگوم گزارش شده است که محلول‌پاشی هیومیک‌اسید موجب افزایش طول و وزن اندام هوایی و ریشه گیاه در شرایط تنش شوری شد که با نتایج ما همخوانی دارد (Ali *et al*., 2022). همچنین نقش مثبت اسیدهیومیک در بهبود رشد رویشی می‌تواند به دلیل فعالیت شبه‌هورمونی برخی از اجزای اسیدهیومیک باشد یا ممکن است به مکانیزم مستقل از ایندول استیک‌اسید مرتبط باشد و ممکن است توسط اسیدهیومیک فعال شود که در نهایت بر تقسیم و طویل شدن سلولی تأثیر می‌گذارد (Trevisan *et al*., 2011).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و اسیدهیومیک و برهم‌کنش آن‌ها بر صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه گشنیز

Table 1. Variance analysis (ANOVA) for dependent variable salinity and humic acid, and their interactions

	Salinity	Humic acid	Salinity× Humic acid
Root length	218.6 **	21.19**	2.4 ns
Shoot FW	2997.1**	107.4**	18.52*
Total chlorophyll	0.75**	0.17**	0.01ns
Carotenoids	8.78**	0.33*	0.03ns
Leaf RWC	3464.1**	260.4**	3.62ns
Total phenols	281.5**	29.3**	3.34*
Flavonoids	196.7**	24.2**	4.03*
Ion leakage	4298.1**	317.2**	51.7**
Proline	156.2**	9.06**	0.8*

****، * و ns، به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری است.**

***0.05 and **0.01 levels and ns, non-significance.**

جدول ۲. اثرات تنش شوری و هیومیک‌اسید بر طول ریشه، رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ گشنیز

Table 2. The effect of salinity and humic acid on root length, photosynthetic pigments and leaf relative water content of coriander

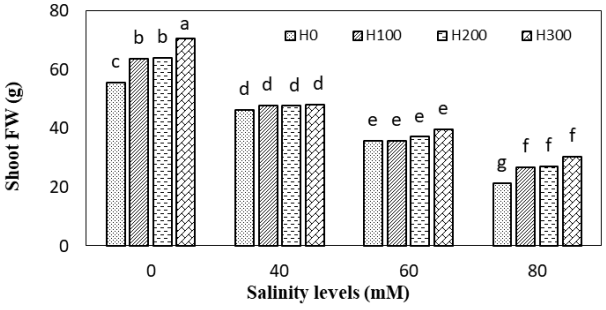
Treatment	Root length (cm)	Total chlorophyll (mg g^{-1}FW)	Carotenoids (mg g^{-1}FW)	Leaf RWC (%)
Salinity levels (mM)				
0	31 a	24.1 a	3.92 a	79.3 a
40	24.4 b	19.9 b	3.12 b	68.2 b
60	14.1 c	17.9 b	2.79 c	55.03 c
80	12 d	16.1c	1.85 d	40.01 d
Humic acid levels (mg L^{-1})				
0	24 c	17.2 c	2.7 b	55.6 d
100	25.5 c	19.1 b	2.89 ab	58.2 c
200	26.2 ab	19.9 b	2.96 ab	62.4 b
300	27 a	21.3 a	3.1 a	66.2 a

در هر ستون و هر تیمار، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level%5

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثرات اصلی تنش شوری و هیومیک‌اسید بر محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئید معنی‌دار شد؛ ولی اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری نشان نداد. نتایج نشان داد که تنش شوری، محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید را کاهش داد و کاربرد اسیدهیومیک باعث بهبود محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شد. طبق نتایج، مقایسه میانگین حداکثر مقدار کلروفیل کل (۲۴/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کاروتنوئید (۳/۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان تحت شرایط عدم تنش شوری حاصل شد و کمترین میزان کلروفیل (۱۶/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کاروتنوئید (۱/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نیز در گیاهان تحت تیمار



شکل ۱. تأثیر هیومیک‌اسید بر وزن تر اندام هوایی گیاه گشنیز در شرایط تنش شوری

Figure 1. The effect of humic acid on shoot fresh weight of coriander under salinity stress

تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به دست آمد (جدول ۲). همچنین بیشترین محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید با کاربرد هیومیک‌اسید در غلظت بالاتر (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) حاصل شد (جدول ۲).

نتایج حاضر با نتایج طاهری و همکاران (Taheri *et al*., 2016) همخوانی دارد که گزارش کردند با افزایش غلظت شوری، مقدار کلروفیل و کارتنوئید برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به نظر می‌رسد در شرایط تنش، غلظت اسیدآمینه پرولین افزایش می‌یابد و از آنجا که کلروفیل و پرولین، هر دو از پیش‌ماده مشترکی به نام گلوتامات سنتز می‌شوند، شاید بتوان گفت رقابت و پیشی گرفتن آنزیم گلوتامیل کیناز هنگام تنش شوری از آنزیم گلوتامات لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) باعث می‌شود تا پیش‌ساز گلوتامات بیشتر به مصرف پرولین برسد؛ بنابراین، بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه می‌شود (Parida *et al*., 2005). از دلایل دیگر کاهش کلروفیل در اثر تنش شوری را تأثیر آن در جذب یون‌هایی مثل آهن و منیزیم می‌دانند که در ساختار کلروپلاست نقش اساسی دارند؛ بنابراین، با کاهش جذب این یون‌ها، سنتز کلروفیل کاهش می‌یابد. در نتیجه، فتوسنتز گیاه نیز کاهش پیدا می‌کند (Parida *et al*., 2005).

کاربرد اسیدهیومیک در کاهو، جذب نیتروژن و نیترات را افزایش داد و متابولیسم نیتروژن و تولید پروتئین را بهبود بخشید و در نتیجه، محتوای کلروفیل را افزایش داد (Haghighi *et al*., 2012)؛ علاوه بر این، درصد سدیم به‌طور کلی در خاک‌های شور بالا است؛ بنابراین، کمپلکس هوموس روش مؤثری برای حذف سدیم تبادلی و محلول و تغییر ترکیب یونی خاک، در عین حال شسته شدن نمک‌های سدیم از پروفایل خاک و آب برای جذب گیاه در دسترس قرار می‌دهد. هرچه سطح رطوبت خاک بیشتر باشد، محتوای کلروفیل بیشتر است (Okba *et al*., 2022).

محتوای نسبی آب برگ

تنش شوری تأثیر منفی بر وضعیت آب گیاه دارد و با اعمال تنش شوری، محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین محتوای نسبی آب برگ (۴۰/۰۱ درصد) با اعمال تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم حاصل شد و بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۷۹/۳۷ درصد) در شرایط عدم تنش شوری مشاهده شد (جدول ۱ و ۲). کاربرد اسیدهیومیک، محتوای نسبی آب برگ را بهبود بخشید و حداکثر محتوای نسبی آب برگ (۶۶/۲ درصد) در گیاهان تحت تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک مشاهده شد و کمترین میزان (۵۵/۶ درصد) مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف هیومیک اسید) بود (جدول ۲).

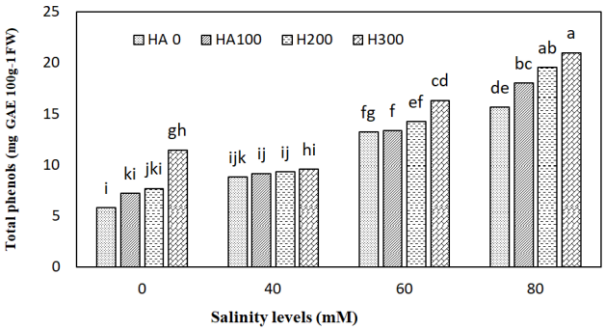
نتایج این پژوهش با نتایج حسنین و همکاران (Hassanein *et al*., 2022) در گیاه گشنیز مطابقت دارد. محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان شاخصی قابل اطمینان و گسترده برای ارزیابی حساسیت گیاه به تنش استفاده می‌شود (Sanchez-Rodriguez *et al*., 2010). کاهش در محتوای نسبی آب برگ می‌تواند به علت کاهش دسترسی به آب در شرایط تنش شوری باشد یا اینکه سیستم‌های ریشه‌ای به دلیل کاهش سطح جذب، قادر به جبران آب ازدست‌رفته توسط تعرق نباشند (Farkhondeh *et al*., 2012). هیومیک‌اسید یکی از بهترین کودهای بیولوژیک است که از تجزیه میکروبی، بیولوژیکی و شیمیایی مواد آلی به دست می‌آید (Tang *et al*., 2020). در مطالعه‌ای کاربرد غلظت‌های مختلف هیومیک‌اسید موجب افزایش محتوای نسبی آب گیاه گوجه‌فرنگی شد (Turkmen *et al*., 2004).

محتوای فنل و فلاونوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اعمال تنش شوری و کاربرد اسیدهیومیک، محتوای فنل و فلاونوئید را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۱ و شکل ۲ و ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بالاترین مقدار فنل و فلاونوئید (به‌ترتیب ۲۱/۰۱ و ۲۱/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان تیمارشده با ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدهیومیک تحت تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم حاصل شد و کمترین میزان نیز با میانگین ۵/۸۳ و ۶/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار عدم تنش شوری و عدم مصرف هیومیک‌اسید بود (شکل ۲ و ۳).

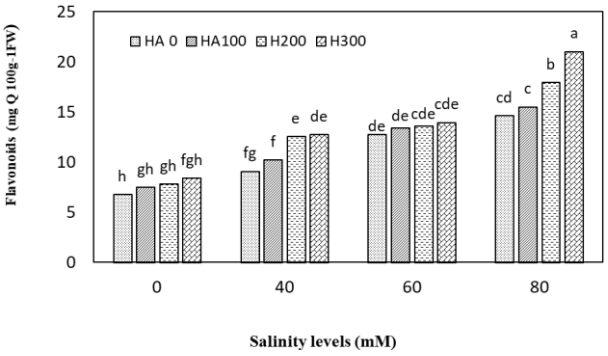
نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج حسنین و همکاران (Hassanein *et al*., 2022) در گیاه گشنیز همخوانی دارد که گزارش کردند اعمال تنش شوری و پیش‌تیمار اسیدهیومیک، محتوای ترکیبات فنلی و فلاونوئید را در برگ گشنیز افزایش دادند. ترکیباتی مانند فنل‌ها و فلاونوئیدها جزو ترکیبات ثانویه هستند که گیاهان در شرایط مواجهه با تنش‌های محیطی از خود سنتز می‌کنند و مسیری دفاعی برای گیاه به حساب می‌آید که در این تحقیق نیز در شرایط تنش شوری این ترکیب افزایش یافته است (Sarker and Oba, 2018). در گیاهان،

افزایش سنتز فنل و فلاونوئید واکنشی مشترک به تنش است. این ترکیبات به‌عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل و گیاهان را در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت می‌کنند. همچنین فلاونوئیدها به دلیل داشتن نقش آنتی‌اکسیدانی، به‌طور مستقیم با وارد شدن در واکنش‌های احیایی و یا به‌طور غیرمستقیم به‌وسیله کلات کردن آهن، مانع تنش اکسیداتیو می‌شوند (Seyoum *et al.*, 2006). همچنین وجود اسیدهیومیک در محیط رشد گیاه منجر به فراهمی عناصر برای سنتز پیش‌ماده ترکیبات فنلی می‌شود و در نتیجه، کاربرد هیومیک‌اسید منجر به افزایش میزان ترکیبات فنلی می‌گردد. در طول تنش خشکی، فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیلاز که آنزیم کلیدی در مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها است، افزایش می‌یابد و موجب افزایش این ترکیبات می‌شود (Guidi *et al.*, 2008).



شکل ۲. تأثیر هیومیک‌اسید بر محتوای فنل کل برگ در گیاه گشنیز تحت شرایط تنش شوری

Figure 2. The effect of humic acid on shoot fresh weight of coriander under salinity stress



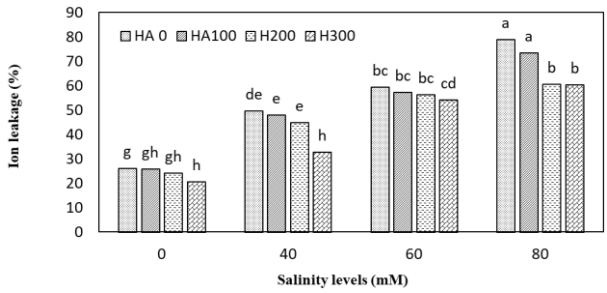
شکل ۳. تأثیر اسیدهیومیک بر محتوای فلاونوئید برگ گیاه گشنیز در شرایط تنش شوری

Figure 3. The effect of humic acid on flavonoids content of coriander leaf under salinity stress

نشت یونی

نتایج نشان داد که در اثر تنش شوری، میزان نشت یونی افزایش یافت؛ به‌طوری که تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار منجر به افزایش ۵۲ درصدی نشت یونی در مقایسه با گیاهان شاهد شد؛ اما کاربرد اسیدهیومیک اثرات منفی تنش شوری را تعدیل کرد و با افزایش غلظت اسیدهیومیک، میزان نشت یونی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین میزان نشت یونی (۲۰/۴ درصد) در گیاهان تیمارشده با اسیدهیومیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و عدم شوری به دست آمد (شکل ۴).

غشاهای سلولی از اولین بخش‌های سلول است که توسط تنش‌های محیطی آسیب می‌بینند. حفظ یکپارچگی و ثبات غشای سلولی تحت شرایط تنش کم‌آبی یکی از اجزای مهم تحمل به کم‌آبی در گیاهان است (Ahmadizadeh *et al.*, 2011). یکی از اثرات تنش‌های محیطی نظیر شوری و خشکی، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو است. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا و خسارت به سلول می‌گردند؛ بنابراین، اندازه‌گیری آلدئیدهای تولیدشده در طی پراکسیداسیون لیپیدها و اندازه‌گیری میزان نشت یونی، شاخص خوبی برای ارزیابی میزان آسیب اکسیداتیو واردشده به غشا است (Raziq *et al.*, 2022). نتایج حاصل با نتایج مربوط به لوبیا سبز که در آن کاربرد اسیدهیومیک تحت تنش مانع از افزایش نشت یونی گردید، مطابقت دارد (Aydin *et al.*, 2012). همان‌گونه که در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد، بالاترین میزان نشت یونی در تیمار تنش شوری با غلظت بالاتر حاصل شد که نشان‌دهنده میزان خسارت بالا به غشا است.



شکل ۴. تأثیر اسیدهیومیک بر میزان نشت یونی برگ گیاه گشنیز در شرایط تنش شوری

Figure 4. The effect of humic acid on ion leakage rate of coriander leaf under salinity stress

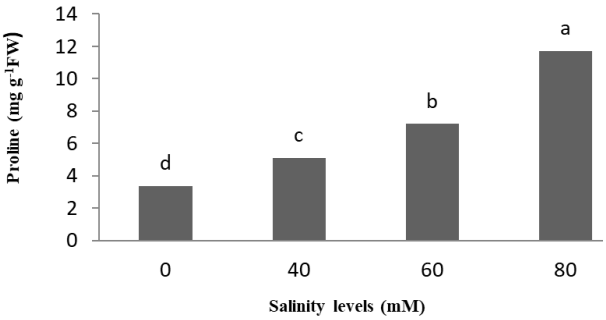
پرولین

با توجه به نتایج (شکل ۵)، کمترین مقدار پرولین (۳/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان شاهد (عدم تنش شوری) مشاهده شد و میزان پرولین در اثر افزایش شدت تنش شوری افزایش یافت؛ به‌طوری که اعمال تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم باعث افزایش ۷۱ درصدی محتوای پرولین برگ گردید. کاربرد هیومیک‌اسید با کاهش اثرات منفی شوری و

تعدیل شرایط تنش باعث کاهش محتوای پرولین برگ شد که کمترین مقدار پرولین (۶/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان تحت تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک مشاهده شد (شکل ۶).

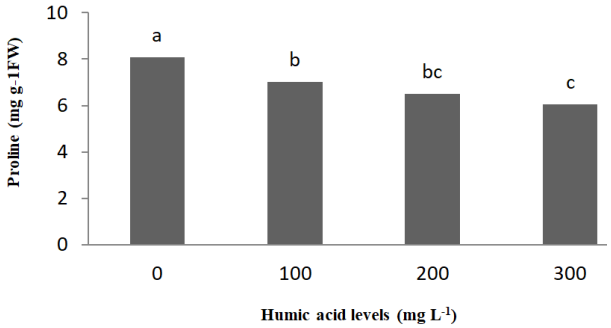
گیاهان برای مقابله با تنش شوری نیاز به تطابق اسمزی دارند. برای رسیدن به این منظور، مولکول‌های قابل حل و سازگار در سلول سنتز می‌شوند که به‌عنوان اسمولیت و محافظ اسمزی عمل می‌نمایند. این مولکول‌ها موجب پایین آمدن فشار اسمزی درون سلول می‌شوند و به جذب آب درون سلول کمک می‌کنند (Karimi *et al*., 2020).

پرولین یکی از ترکیبات محافظ اسمزی است که تجمع آن یکی از معمول‌ترین پاسخ‌های تنش کم‌آبی و شوری است. پرولین به‌عنوان ماده‌ای سازگار و محافظ اسمزی برای آنزیم‌های سیتوزولی و اندامک‌های سلول عمل می‌کند. همچنین به‌عنوان منبع کربن و نیتروژن برای بهبود اثرات تنش و رشد بعدی، پایدارکننده غشاهای زیستی و ماکرومولکول‌های آزاد و حتی به‌عنوان مولکول علامت‌دهنده مرتبط با تنش عمل می‌کند (Iqbal *et al*., 2014). تجمع پرولین آزاد در سلول تحت شرایط تنش شوری در بسیاری از گونه‌های گیاهی نظیر گشنیز (Hassanein *et al*., 2022) و گوجه‌فرنگی (Amini and Ehsanpour, 2005) گزارش شده است. در تأیید یافته‌های این تحقیق، اقبال و همکاران (Iqbal *et al*., 2014) اظهار داشتند که تجمع پرولین آزاد، پاسخی متداول به تنش شوری و کم‌آبی به‌منظور تنظیم فشار اسمزی در گیاهان است. در این آزمایش، غلظت زیاد اسیدهیومیک موجب کاهش تجمع پرولین شد که با نتایج تحقیقات پیشین تطابق دارد؛ زیرا گزارش شد اسیدهیومیک تحمل گیاه به تنش‌های محیطی را بهبود می‌بخشد و همین دلیلی برای کاهش تولید پرولین بر اثر استفاده از هیومیک‌اسید است (Kaya *et al*., 2018).



شکل ۵. تأثیر سطوح مختلف شوری بر محتوای پرولین برگ گیاه گشنیز

Figure 5. The effect of different salinity levels on proline content of coriander leaf



شکل ۶. تأثیر غلظت‌های مختلف اسیدهیومیک بر محتوای پرولین برگ گیاه گشنیز

Figure 5. The effect of different humic acid concentration on proline content of coriander leaf

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل‌شده، گیاه گشنیز سبزی برگی حساس به شوری است؛ به‌طوری که تنش شوری با تأثیر بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه و کاهش محتوای کلروفیل و افزایش نشت املاح از غشا باعث کاهش شدید رشد گیاه شد. کاربرد اسیدهیومیک باعث بهبود صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه گشنیز در شرایط تنش شوری و شاهد شد؛ به‌طوری که کاربرد اسیدهیومیک توانست محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل، فنل و فلاونوئید را نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) افزایش دهد و با کاهش نشت یونی برگ باعث تحمل نسبی گیاه در برابر تنش شوری و کاهش خسارت‌های ناشی از آن شد. کاربرد اسیدهیومیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، وزن تر اندام هوایی گیاه گشنیز را در شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به مقدار ۴۱/۸ درصد افزایش داد؛ بنابراین، کاربرد اسیدهیومیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای بهبود رشد گیاه گشنیز و تعدیل اثرات منفی شوری توصیه می‌شود.

References

Ahmadizadeh, M., Valizadeh, M., Zaefizadeh, M., and Shahbazi, H., 2011. Antioxidative protection and electrolyte leakage in durum wheat under drought stress condition. Journal of Applied Sciences Research. 7(3), 236-246.

Ali, A.Y.A., Zhou, G., Elsiddig, A.M., Zhu, G., Meng, T., Jiao, X., Ahmed, I., Ibrahim Salih, E.G., Ibrahim, M.E.H., 2022. Effects of jasmonic acid in foliar spray and a humic acid amendment to saline soils on forage sorghum plants' growth and antioxidant defense system. Peer Journal. 14; 10:e13793. https://doi.org/10.7717/peerj.13793.

Amini, F., and Ehsanpour, A. A., 2005. Soluble proteins, proline, carbohydrates and Na+/K+ changes in two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars under in vitro salt stress. American Journal of Biochemistry and Biotechnology. 1(4), 204-208. https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2005.204.208

Ashraf, M., and Ali, Q., 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and experimental Botany. 63, 266-273. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.008

Ashraf, M., and Harris, P.J.C., 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Science. 166, 3-16. http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024

Aydin, A., Kant, C., and Turan, M., 2012. Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. African Journal of Agricultural Research. 7(7), 1073-1086. https://doi.org/10.5897/AJAR10.274

Fan, H.M., Wang, X.W., Sun, X., Li, Y.Y., Sun, X.Z., and Zheng, C.S., 2014. Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. Scientia Horticulturae. 177, 118-123. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.010

Farkhondeh, R., Nabizadeh, E., and Jalil Nezhad, N., 2012. Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relation in two sugar beet cultivars. International Journal of Agricultural Science. 2, 385-392.

Haghighi, M., Kafi, M., and Fang, P., 2012. Photosynthetic activity and N metabolism of lettuce as affected by humic acid. International Journal of Vegetable Science. 18, 182–189. https://doi.org/10.1080/19315260.2011.605826

Hanson, A.D., Hitz, W.D., 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. Annual Review of Plant Biology. 33, 163- 203.

Hassanein, R.A., Hussein, O.S., Farag, I.A., Hassan, Y.E., Abdelkader, A.F., Ibrahim, M., 2012. Salt-stressed coriander (*Coriandrum sativum* L.) responses to potassium silicate, humic acid and gamma irradiation pretreatments. Agronomy. 12, 2268. https://doi.org/10.3390/agronomy12102268.

Iqbal, N., Umar, S., Khan, N.A., and Khan, M.I.R., 2014. A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: regulation of proline metabolism. Environmental and Experimental Botany. 100, 34-42. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.006

Karimi, S., Zahedi, B., and Mumivand, H., 2020. Evaluation of the effect of drought stress on growth, esential oil and some physiological traits of four Basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. Journal of Plant Production Research, 27 (2): 201-213. https://doi.org/10.22069/jopp.2020.16509.2513. [In Persian with English Abstract]

Kaya, C., Akram, N.A., Ashraf, M., and Sonmez, O., 2018. Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress in maize (*Zea mays* L.) plants by improving some key physico-biochemical attributes. Cereal Research Communications. 46(1), 67-78. https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.064

Khan, A., Khan, M., Hussain, F., Akhtar, M., Gurmani, A., and Khan, S., 2013. Effect of humic acid on the growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (*Pisum sativum* L.). Journal of the Chemical Society of Pakistan. 1(1), 15-26.

Meda, A., Lamien, C.E., Romito, M., Millogo, J., Nacoulma, O.G., 2005. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. Food Chemistry. 91(3), 571-577. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006

Navada, S., Sebastianpillai, M., Kolarevic, J., Fossmark, R. O., Tveten, A. K., Gaumet, F., and Vadstein, O., 2020. A salty start: Brackish water start-up as a microbial management strategy for nitrifying bioreactors with variable salinity. Science of the Total Environment. 15 (739), 139934. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139934

Okba, S.K., Mazrou, Y., Mikhael, G.B., Farag, M.E.H., Alam-Eldein, S.M., 2022. Magnetized water and proline to boost the growth, productivity and fruit quality of 'Taifi' pomegranate subjected to deficit irrigation in saline clay soils of semi-arid Egypt. Horticulturae. 8 (7), 564. https://doi.org/10.3390/horticulturae8070564

Parida, A.K., and Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety. 60, 324-349. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010.

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P. and Prasad, S.M., 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. Environmental Science and Pollution Research. 22 (6), 4056-4075.

Peleg, Z.V.I., Walia, H., and Blumwald, E., 2012. Integrating genomics and genetics to accelerate development of drought and salinity tolerant crops. In Plant Biotechnology and Agriculture (pp. 271-286). Academic Press.

Raziq, A., Wang, Y., Mohi Ud Din, A., Sun, J., Shu, S., and Guo, S.A., 2022. Comprehensive evaluation of salt tolerance in tomato (var. Ailsa Craig): Responses of physiological and transcriptional changes in RBOH's and ABA biosynthesis and signaling genes. International Journal of Molecular Sciences. 23 (3), 1603. https://doi.org/10.3390/ijms23031603

Sairam, R.K., 1994. Effects of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture stress conditions of two wheat varieties. Plant Growth Regulation. 14, 173–181. https://doi.org/10.1007/BF00025220

Salehi, B., Bagherzadeh, A., and Ghasemi, M., 2010. Impact of humic acid on growth properties and yield components of three tomato varieties (*Lycopersicon esculentum* L.). Journal of Agroecology. 2 (4), 640-647. https://doi.org/10.22067/jag.v2i4.8802 [In Persian with English Abstract]

Sanchez-Rodriguez, E.M., Rubio-Wilhelmi, L.M., Cervilla, B., Blasco, J.J., Rios, M.A., Rosales, L. and Ruiz, J.M., 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Sciences. 178, 30-40. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.10.001

Sarker, U., and Oba, S., 2018. Augmentation of leaf color parameters, pigments, vitamins, phenolic acids, flavonoids and antioxidant activity in selected *Amaranthus tricolor* under salinity stress. Scientific Reports. 8, 12349. https://doi.org/10.1038/s41598-018-30897-6

Seyoum, A., Asres, K., and El-Fiky, F.K., 2006. Structure radical scavenging activity relationships of flavonoids. Phytochemistry. 67(18), 2058-2070.https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.07.002

Singh, R., 2015. Medicinal plants: A review. Journal of Plant Sciences. 3(1), 50-55. https://doi.org/10.11648/j.jps.s.2015030101.18

Taheri, S., Barzegar, T., Rabiei, V., Rabi Angoorani, H., 2016. Physiological responses of two basil cultivars to foliar application of salicylic acid under salinity stress. Journal of Crops Improvement. 18 (1): 259-274. [In Persian with English Abstract]

Tang, W., Wu, X., Huang, C., Huang, C., Lai, C., and Yong, Q., 2020. Humic acid-assisted autohydrolysis of waste wheat straw to sustainably improve enzymatic hydrolysis. Bioresource Technology. 306, 123103. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123103

Trevisan, S., Botton, A., Vaccaro, S., Vezzaro, A., Quaggiotti, S., Nardi, S., 2011. Humic substances affect Arabidopsis physiology by altering the expression of genes involved in primary metabolism, growth and development. Environmental and Experimental Botany. 74, 45–55. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.04.017

Turkmen, O., Dursun, A., Turan, M., and Erdinc, C., 2004. Calcium and humic acid affect seed germination growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedling under saline soil conditions. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil and Plant Science. 54 (3), 168- 174. https://doi.org/10.1080/09064710310022014

Vašková, J., Veliká, B., Pilátová, M., Kron, I. and Vaško, L. 2011. Effects of humic acids in vitro. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal. 47(5), 376-382. https://doi.org/10.1007/s11626-011-9405-8

DOI: http://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.08.034.