



Evaluation of humic acid application on morpho-physiological indices of corn (*Zea mays*) under salinity stress

Ebrahim Fani^{1*}, Mohammad Ali Jalalpoori²

¹ Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Khatam Al-Anbiya University of Technology, Behbahan, Behbahan, Iran. Email: fani@bkatu.ac.ir

² Department of Agriculture, Behbahan Branch, Islamic Azad University, Behbahan, Iran, Email: mouhamadalijalalpoori@yahoo.com

Article type:	Abstract
----------------------	-----------------

Research article

Article history

Received: 26.10.2024
Revised: 22.01.2025
Accepted: 09.02.2025
Published: 23.09.2025

Keywords

Anthocyanin
Chlorophyll a
Humic acid
Salinity stress
Soluble sugar
Stem height
Total chlorophyll

Salinity stress is a significant factor that diminishes plant yield globally. Humic acid, as an organic acid, plays a crucial role in enhancing plant yield under salt-stress conditions. To investigate the effects of salinity stress and humic acid fertilization on corn plants, a pot study was conducted with three replications using a factorial experimental design in a completely randomized layout. Treatments included salinity stress at two levels (no stress and 100 mM stress) and humic acid fertilization at three levels (no fertilization, 100 mg/L fertilization, and 200 mg/L fertilization). This study aimed to investigate the effects of humic acid fertilization on the morphological and physiological traits of corn plants under salt stress conditions and to evaluate the role of humic acid in improving the mentioned traits and reducing the harmful effects of salt stress in corn plants, as an important plant in terms of human food supply. The results indicated that salinity stress significantly reduced stem height and total chlorophyll levels in corn plants, while treatment with humic acid effectively mitigated the detrimental effects of salinity. At 100 mM salinity, the application of 100 mg/L humic acid fertilizer increased stem height by 26.6% compared to no application. Also, under 100 mM salinity stress, the total chlorophyll content increased more than twice when fertilizing with 200 mg/L humic acid compared to no fertilization. Based on the findings of this study, humic acid is recommended to promote the vegetative growth of corn plants under salt stress conditions.

Cite this article as: Fani, E., Jalalpoori, M.A. (2025). Evaluation of humic acid application on morpho-physiological indices of corn (*Zea mays*) under salinity stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 79: 1-12.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch



<https://doi.org/10.71890/IPER.2025.1187419>

ارزیابی کاربرد هیومیک اسید بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه ذرت (*Zea mays*) تحت تنش شوری

ابراهیم فانی^{۱*}، محمدعلی جلال پوری^۲

^۱ گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، ایران. رایانامه: fani@bkatu.ac.ir

^۲ گروه کشاورزی، واحد بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی بهبهان، بهبهان، ایران. رایانامه: mouhamadalijalalpoor@yahoo.com

نوع مقاله:	چکیده
مقاله پژوهشی	تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد گیاهان در جهان می‌باشد. هیومیک اسید به عنوان یک اسید آلی می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش شوری داشته باشد. به منظور بررسی اثرات تنش شوری و کوددهی هیومیک اسید بر روی گیاه ذرت، مطالعه‌ای به صورت گلخانه‌ای در ۳ تکرار با طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب پایه کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. تیمارها شامل تنش شوری در دو سطح (بدون تنش و تنش ۱۰۰ میلی‌مولار) و کوددهی هیومیک اسید در سه سطح (عدم کوددهی، کوددهی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کوددهی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. هدف از این مطالعه، بررسی اثرات کوددهی هیومیک اسید بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت در شرایط تنش شوری و ارزیابی نقش هیومیک اسید در بهبود صفات ذکر شده و کاهش اثرات مضر تنش شوری در گیاه ذرت به عنوان یک گیاه مهم از نظر تامین غذای انسان بود. نتایج نشان داد که تنش شوری در سطح معنی داری سبب کاهش میزان ارتفاع ساقه و کلروفیل کل در گیاه ذرت شد، درحالی‌که تیمار هیومیک اسید در سطح معنی داری سبب کاهش اثرات مضر شوری بر آنها شد. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، کاربرد کود ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید در مقایسه با عدم کاربرد آن، ارتفاع ساقه را ۶/۲۶ درصد افزایش داد. همچنین در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، میزان کلروفیل کل در کوددهی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید نسبت به عدم کوددهی بیش از دو برابر افزایش نشان داد. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان مصرف هیومیک اسید را جهت بهبود رشد رویشی گیاه ذرت در شرایط تنش شوری توصیه کرد.
واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین ارتفاع ساقه هیومیک اسید تنش شوری کلروفیل a کلروفیل کل قند محلول	

استناد: فانی، ابراهیم؛ جلال پوری، محمدعلی. (۱۴۰۴). اثر ارزیابی کاربرد هیومیک اسید بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه ذرت (*Zea mays*) تحت تنش شوری. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۷۹: ۱-۱۲.



<https://doi.org/10.71890/IPER.2025.1187419>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

© نویسندگان.



مقدمه

ذرت با نام علمی *Zea mays* L. با تولید سالانه بیش از یک میلیارد تن در جهان، اولین غله‌ای است که جایگاه مهمی را در اقتصاد جهان به‌عنوان غذا، علوفه و کاربرد در صنعت به خود اختصاص داده است (Fao, 2018). تنش، نتیجه روند غیر عادی فرایندهای فیزیولوژیک بوده و از تأثیر یک یا چند عامل محیطی حاصل می‌شود (Mirzaei et al., 2020). شوری، یکی از شایع‌ترین تنش‌هایی است که تولید محصولات زراعی را در زمین‌های خشک و نیمه‌خشک تهدید می‌کند. بیش از شش درصد از زمین‌های جهان تحت اثر شوری قرار دارند و میزان آن در سراسر جهان و ایران به طور مرتب افزایش می‌یابد (Pirasteh-Anosheh et al., 2016). شوری به‌عنوان یکی از تنش‌های مهم غیر زیستی شناخته شده است. استفاده از آب بی‌کیفیت، زهکشی ضعیف و استفاده نامناسب از کودها سبب شور شدن حدود ۷۷ میلیون هکتار از اراضی زیر کشت شده است (Fao, 2022). همچنین حدود ۲۰ درصد از زمین‌های کشاورزی تحت آبیاری دنیا به‌دلیل غلظت بالای نمک از پتانسیل عملکرد ضعیفی برخوردار هستند (Selvakumar et al., 2014). گزارشات متعددی از اثرات تنش شوری در گیاه ذرت نشان داد که شوری موجب کاهش رشد ریشه، اندام‌های هوایی، ارتفاع گیاه و میزان رنگیزه‌های کلروفیل شد (Nematpour et al., 2016; Hasanpour et al., 2015). آنتوسیانین و قندهای محلول در گیاه ذرت تحت تنش شوری افزایش یافت (Zare et al., 2015; Poorakbar and Maghsoumi, 2015). تنش شوری از طریق ایجاد تغییرات شیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی متعددی در گیاهان، موجب تغییر در رشد، فتوسنتز و سنتز پروتئین می‌شود و با کاهش وزن و حجم ریشه، کاهش سطح برگ و فتوسنتز، موجب افزایش

انتقال مجدد ماده خشک از ساقه و کل اندام هوایی می‌شود (Khalilzadeh, 2017). مطالعات نشان داد که کاربرد هیومیک اسید در شرایط شوری با بهبود محتوای کلروفیل و محتوای نسبی آب، موجب کاهش نشت یونی برگ و در نهایت افزایش عملکرد دانه گندم شد (Jasemi- Manesh et al., 2020). Khoram- Ghahfarokhi و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند که هیومیک اسید و ورمیوآش (عصاره ورمی کمپوست) با قرار دادن آب و مواد غذایی بیشتر و مناسب‌تر در اختیار گیاه و همچنین افزایش ساخت دوام بیشتر رنگیزه‌ها، ضمن انتقال راحت تر مواد فتوسنتزی موجب افزایش عملکرد دانه شدند. همچنین کاربرد اسید هیومیک در گیاه ذرت تحت تنش آبی باعث افزایش کلروفیل برگ و توان فتوسنتزی گردید (Moosavi and Ragh- ara, 2018). لذا در این پژوهش اثر کاربرد یا عدم کاربرد هیومیک اسید بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت تحت تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

کشت و تیمار گیاه: تحقیق حاضر در پاییز ۱۴۰۲ به صورت گلدانی و در محیط باز در شهرستان بهبهان، استان خوزستان به صورت طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل تنش شوری در دو سطح (بدون تنش و تنش ۱۰۰ میلی‌مولار) (Zaraveshan et al., 2020) و هیومیک اسید در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود (Narimani et al., 2018). ۲ گیاه ذرت در گلدان سایز ۸ کشت و در نهایت یک گیاه نگهداری شد. تیمار شوری دو هفته بعد از رشد گیاه انجام شد و برای جلوگیری از تجمع نمک بعد از هر دو آبیاری با آب شور، گلدان‌ها با آب معمولی

شسته شد به اندازه‌ای که آب از زیر گلدان خارج شد (Zaraveshan et al., 2020). تیمار هیومیک اسید یک روز قبل از اعمال تنش آغاز و به دنبال آن هر سه روز یکبار انجام شد (Zaraveshan et al., 2020). بذر مورد استفاده، رقم ذرت هیبرید عجیب (Ajeeb) محصول شرکت رایال ترکیه در سال ۲۰۲۳ بود. جهت کوددهی از هیومیک اسید تولید شرکت نهال کشت رویش کویر استفاده شد. اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ۳۰ روز بعد از اعمال تیمارها صورت گرفت (Hajihashemi et al., 2023).

اندازه‌گیری ارتفاع ساقه: برای اندازه‌گیری ارتفاع ساقه از خط‌کش استفاده شد (Rashidifard et al., 2020). با استفاده از خط‌کش طول اندام هوایی (ساقه) اندازه‌گیری گردید.

اندازه‌گیری شاخص کارایی فتوسنتزی (PI): از دستگاه کلروفیل فلوریمتر (Hansatech Poket PEA, England) برای اندازه‌گیری شاخص کارایی فتوسنتزی (PI) استفاده شد (Fani, 2024). برای اندازه‌گیری این شاخص، ابتدا گیره به برگ گیاه متصل و سپس با اتصال رابط دستگاه به برگ و تنظیم دستگاه، سنجش شاخص کارایی فتوسنتزی انجام شد.

اندازه‌گیری عدد کلروفیل‌متر (SPAD): از دستگاه کلروفیل‌متر قابل حمل (CCM- 200 plus Opti- sciences, Tyngsboro, Massachusetts, USA) برای تعیین عدد کلروفیل‌متر (SPAD) استفاده شد (Fani, 2024). ابتدا دستگاه کلروفیل‌متر را با فشار دادن شاسی و نگاه‌داشتن به مدت چند ثانیه بدون برگ کالیبره می‌نماییم و سپس برگ را در محفظه شاسی قرار داده و شاسی را بر روی برگ به مدت چند ثانیه قرار می‌دهیم، بعد از شنیدن صدای بوق شاسی را رها نموده و عدد نشان‌داده شده بر روی صفحه را به عنوان عدد کلروفیل‌متر قرائت می‌نماییم.

اندازه‌گیری رنگی‌های گیاهی: برای تعیین میزان رنگی‌های گیاهی در نمونه‌ها از روش Lichtenthaler استفاده گردید (Lichtenthaler, 1987). به این ترتیب که مقدار ۰/۱ گرم از بافت تر برگ هر تیمار در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به کمک هاون سائیده شد. محلول حاصل، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. پس از آن به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر، جذب محلول رویی در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۶۷۰ نانومتر ثبت گردید. از استون ۸۰ درصد نیز به عنوان بلانک استفاده شد. میزان کلروفیل a و b و کل به کمک فرمول‌های زیر محاسبه گردید.

$$\text{Chla} = 12/25(\text{A663}) - 2/79(\text{A645})$$

$$\text{Chlb} = 21/21(\text{A645}) - 5/1(\text{A663})$$

$$\text{Total Chl} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

اندازه‌گیری میزان قند محلول: برای اندازه‌گیری قند محلول از روش فنول-اسید سولفوریک استفاده شد (Dubois et al., 1956). مطابق این روش ۰/۱ گرم از بافت خشک برگ با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر گرم در هاون سائیده شد و با کاغذ صافی صاف گردید. به ۲ میلی‌لیتر از محلول حاصل، ۵۰ میکرولیتر فنول ۸۰ درصد و سپس ۵ میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در محیط نگهداری شدند. سپس جذب محلول‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت گردید و بر اساس منحنی استاندارد و مقدار وزن خشک استفاده شده و میزان حجم نمونه، غلظت میزان قند محلول بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گزارش شد.

اندازه‌گیری آنتوسیانین: از روش Hackett و Murray (۱۹۹۱) برای اندازه‌گیری آنتوسیانین استفاده شد. ۰/۲ گرم وزن تر هر نمونه برگ با ۱۰ میلی‌لیتر حلال ساییده شد و بعد در ۴۰۰۰ دور به مدت ۲۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از صاف کردن، جذب عصاره در طول موجهای ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر اندازه‌گیری و از

رابطه $A_{657} - 0.24 A_{530}$ برای به دست آوردن مقادیر جذب ویژه آنتوسیانین‌ها استفاده شد. آنالیز آماری داده‌ها: تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۴) صورت پذیرفت و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس دوطرفه و آزمون دانکن در سطح معنی‌داری $p \leq 0.05$ صورت گرفت.

نتایج

صفات مورفولوژیکی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش شوری و کوددهی هیومیک اسید بر ارتفاع ساقه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). به

طوری‌که در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، کاربرد کود ۱۰۰ گرم در لیتر هیومیک اسید در مقایسه با عدم کاربرد آن، ارتفاع ساقه را ۶/۲۶ درصد افزایش داد (شکل ۱). همچنین مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که کاربرد هیومیک اسید در مقایسه با عدم کاربرد آن، اثرات مثبتی بر ارتفاع ساقه داشت که با کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم هیومیک اسید، ارتفاع ساقه به ترتیب ۱ و ۵ درصد نسبت به عدم کاربرد هیومیک اسید افزایش پیدا کرد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات ساده همچنین مشخص نمود که کاربرد هیومیک اسید تاثیر مثبتی بر حجم ریشه داشت به طوری‌که کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر آن، حجم ریشه را در مقایسه با عدم کاربرد آن ۲۹/۰۶ درصد افزایش داد. (جدول ۲).

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر تنش شوری و کوددهی هیومیک اسید بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاه ذرت

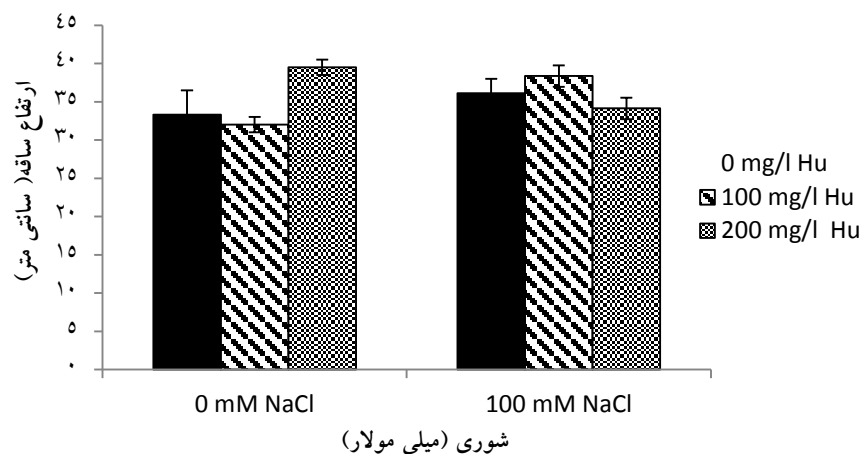
منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	حجم ریشه	PI	عدد کلروفیل متر	کلروفیل a
تنش شوری	۱	۷/۰۹ ^{ns}	۰/۷۳ ^{ns}	۰/۰۵*	۱/۰۷*	۱۲/۱۱ ^{ns}
هیومیک اسید	۲	۷/۲۹ ^{ns}	۰/۸۷ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۵*	۴/۹۵ ^{ns}
تنش شوری × هیومیک اسید	۲	۵۴/۱۹*	۰/۷۵ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۳۵ ^{ns}	۷/۴۴ ^{ns}
خطا	۱۲	۱۰/۱۳	۱/۱۱	۰/۰۱	۰/۱۵	۷/۸۴
کل	۱۷					

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری.

ادامه جدول ۱:

منبع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل کل	کارتونوئید	قند محلول	میزان آنتوسیانین
تنش شوری	۱	۱/۱۸ ^{ns}	۲۴/۵۶ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}
هیومیک اسید	۲	۱/۴۵ ^{ns}	۳۸/۳۹ ^{ns}	۰/۳۸ ^{ns}	۲۵۳۵/۷۷ ^{ns}
تنش شوری × هیومیک اسید	۲	۲۱/۷۹*	۱۳۲/۲۵ ^{ns}	۰/۸۲ ^{ns}	۰/۰۰ ^{ns}
خطا	۱۲	۶/۰۰	۴۴/۱۱	۰/۵۵	۰/۰۰
کل	۱۷				

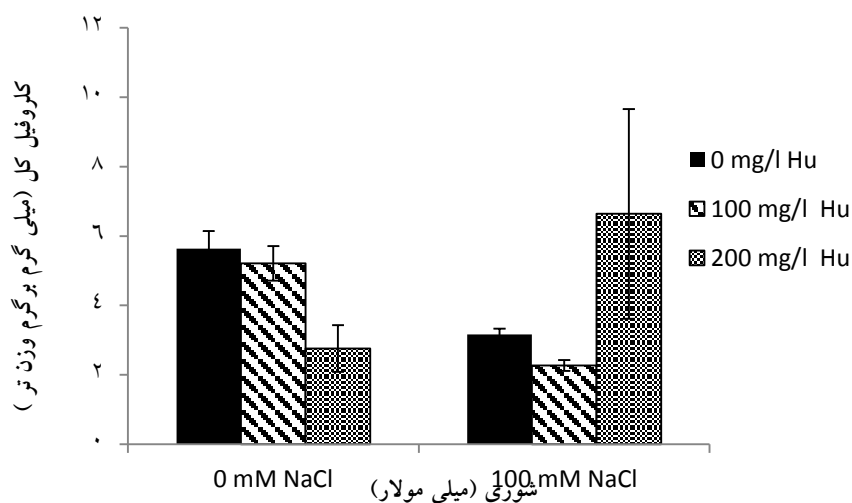
*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری.



شکل ۱: اثر تنش شوری و هیومیک اسید بر ارتفاع ساقه در گیاه ذرت

شرایط عدم شوری کاهش داد. همچنین کاربرد کود هیومیک اسید ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نسبت به عدم کاربرد آن، PI را ۲/۷۷ درصد افزایش داد که نشان‌دهنده اثرات مثبت کاربرد کود هیومیک اسید بود (جدول ۲).

صفات فیزیولوژیکی: با بررسی تجزیه واریانس مشخص شد که شوری به طور معنی‌داری شاخص کارایی فتوسنتزی را کاهش داد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات ساده نشان‌دهنده این بود که شوری PI را ۲۸/۲۰ درصد نسبت به



شکل ۲: اثر تنش شوری و هیومیک اسید بر میزان کلروفیل کل در گیاه ذرت

جدول ۲: مقایسه میانگین‌های اثرات ساده تنش شوری و هیومیک اسید بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت

تیمار	حجم ریشه (سانتی‌متر- مکعب)	PI (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	عدد کلروفیل متر	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	کارتونوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ)	میزان آنتوسیانین (میکروگرم بر گرم وزن تر برگ)
شوری (میلی‌مولار)							
۰	۱/۹۸ a	۰/۳۹ a	۲/۸۸ a	۲/۴۸ a	۱۰/۱۸ a	۷/۸۸ a	۰/۰۵ a
۱۰۰	۲/۳۹ a	۰/۲۸ b	۲/۴۰ b	۰/۷۹ a	۱۲/۵۲ a	۷/۹۸ a	۰/۰۴ a
هیومیک (گرم در لیتر)							
۰	۲/۰۳ a	۰/۳۶ a	۲/۹۱ a	۲/۳۹ a	۸/۴۵ a	۷/۹۴ a	۰/۴۵ a
۱۰۰	۱/۹۱ a	۰/۳۷ a	۲/۳۱ b	۱/۸۳ a	۱۲/۴۶ a	۸/۱۸ a	۰/۰۵ a
۲۰۰	۲/۶۲ a	۰/۲۷ a	۲/۷۰ ab	۰/۶۲ a	۱۳/۱۳ a	۷/۶۷ a	۰/۴۶ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار عدد کلروفیل متر شد (جدول ۱). مشاهده میانگین اثرات ساده نشان داد که در شرایط شوری عدد کلروفیل متر ۱۶/۶۶ درصد نسبت به شرایط عدم شوری کاهش داشت که تأثیر منفی شوری بر این صفت فیزیولوژیکی در گیاه را نشان می‌دهد. تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش شوری و کوددهی هیومیک اسید بر میزان کلروفیل کل اثر معنی‌داری داشت. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده کاهش میزان کلروفیل a در شرایط شوری نسبت به شرایط عدم شوری بود (جدول ۱). در تنش شوری، میزان کلروفیل کل در کوددهی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید نسبت به عدم کوددهی بیش از دو برابر افزایش نشان داد (شکل ۲). مقایسه میانگین اثرات ساده کاهش ۶۸/۰۱ درصدی کلروفیل a در شرایط شوری نسبت به عدم شوری را نشان داد (جدول ۲). همچنین میزان کارتونوئید در کوددهی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید در مقایسه با عدم کوددهی به ترتیب ۴۷/۴۵ و ۵۵/۳۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). تنش شوری و کوددهی هیومیک اسید اثرات معنی‌داری بر میزان آنتوسیانین و قند محلول نداشت (جدول ۱). اگرچه تنش شوری میزان

آنتوسیانین را ۲۰ درصد نسبت به عدم شوری کاهش و میزان قند محلول را ۱/۲۶ درصد افزایش داد (جدول ۲). کوددهی هیومیک اسید اثرات مثبتی بر میزان آنتوسیانین و قند محلول داشت به طوری‌که میزان آنتوسیانین در کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید ۲/۲۲ درصد نسبت به عدم کوددهی و میزان قند محلول در شرایط کوددهی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید ۳/۰۲ درصد نسبت به عدم کوددهی افزایش نشان داد (جدول ۲).

بحث

پاسخ گیاه به شوری در دو مرحله به صورت تنش اسمزی و یونی صورت می‌گیرد. مرحله اول طی چند دقیقه تا چند روز پس از تنش آغاز می‌شود که منجر به تأخیر در رشد گیاه می‌شود. مرحله دوم وابسته به تجمع بیش از حد یون‌ها در سلول‌های گیاه است که می‌تواند منجر به کاهش فرآیندهای متابولیکی و در نهایت مرگ سلول شود (Ibrahimova et al., 2021). تنش شوری مانند سایر عوامل تنش‌زا در نهایت تنش اکسیداتیو ایجاد نموده و موجب افزایش تولید ROS و کاهش میزان کلروفیل در گیاهان می‌شود، که نشان‌دهنده میزان آسیب‌های اکسیداتیو به گیاهان در

توسط رادیکال‌های آزاد باعث کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود که با تخریب این غشاها و کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، شدت فتوسنتز به شدت کاهش می‌یابد. بنابراین در این مطالعه صفاتی که در میزان فتوسنتز تأثیر داشتند مانند PI و عدد کلروفیل‌متر در تنش شوری در مقایسه با شرایط عدم تنش شوری کاهش یافت. Hajhashemi و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعاتی در گیاه تربچه نشان دادند تنش شوری اثرات منفی بر سیستم فتوسنتزی گیاه می‌گذارد و در گیاهان آبیاری شده با کلرید سدیم رابطه مستقیمی بین کاهش شاخص‌های فلورسانس و میزان کلروفیل-ها وجود دارد، بنابراین نتایج آنها با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط شوری، میزان کلروفیل کل در کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش پیدا نمود. از اثرات قابل توجه شوری در گیاهان، تغییر در ساختار رنگدانه‌های فتوسنتزی است که منجر به کاهش میزان کارایی فتوسنتز، زنجیره انتقال الکترون و سرعت جذب دی اکسید کربن می‌شود. افزایش تراکم یون‌های سدیم و کلر در کلروپلاست مانع از تثبیت کربن و فتوسفوریلاسیون می‌گردد (Pieter, 2005). همچنین کاهش رنگیزه کلروفیل در تنش شوری می‌تواند به دلیل اختلال در جذب عناصر غذایی، افزایش تخریب کلروفیل و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز تحت شرایط تنش باشد (Sharifiasl et al., 2020). کاربرد هیومیک اسید در تنش شوری، کل روز گیاهان را بهبود می‌بخشد که احتمالاً نتیجه‌ای است از توانایی این ماده آلی برای نگهداری آهن خاک به فرمی که قابل جذب باشد. برای انتقال آهن از غشاء سلولی، احیاء آهن سه ظرفیتی ضروری است که توسط آنزیم ردوکتاز بر روی غشاء فعال می‌گردد (Tadayon and Rastegar, 2000). پژوهش‌های Haghighi و همکاران

این شرایط است (Miller et al., 2010; Anjum et al., 2015). هیومیک اسید می‌تواند با بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و از طریق تغییر فیزیولوژی گیاه، نقش مهمی در پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی داشته باشد (Balakumbahan and Rajamani, 2010). بنابراین، کاربرد هیومیک اسید در شرایط تنش شوری، باعث حفظ رطوبت خاک و بهبود فراهمی مواد غذایی در خاک می‌شود (Mohd et al., 2009). در این تحقیق پارامتر رشدی مانند ارتفاع ساقه در کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم هیومیک اسید در مقایسه با عدم کاربرد آن در شرایط تنش شوری روند افزایشی داشت. از دلایل موجود در ارتباط با تأثیر مواد هیومیکی بر افزایش رشد ساقه می‌توان به تأثیر این مواد بر روی فعالیت H^+ -ATPase ریشه و توزیع نیترات ریشه در ساقه اشاره کرد که منجر به تغییرات در توزیع سایتوکینین‌ها و ATP شده که منجر به رشد ساقه می‌گردد (Rubio et al., 2009). Narimani و همکاران (۲۰۱۷) اثرات مفید هیومیک اسید در شرایط تنش شوری بر بهبود ارتفاع گیاه را در گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) مشاهده نمودند. تنش شوری به علت کاهش تقسیم سلولی، عدم تعادل یونی، کاهش جذب آب، اختلال در جذب عناصر و کاهش کارایی فتوسنتزی، با جلوگیری از رشد گیاه موجب کاهش وزن ریشه می‌شود (Parida and Das, 2005). در تحقیق حاضر، کاربرد هیومیک اسید تأثیر مثبتی بر حجم ریشه گیاه ذرت داشت. پژوهش‌های Liu و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که کاربرد هیومیک اسید به همراه ورمی‌کمپوست می‌تواند باعث افزایش دسترسی به عناصری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک شور گریده و موجب افزایش وزن ریشه شود که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت. تنش شوری به دلیل تخریب غشای اندامک‌هایی مانند کلروپلاست

اسید (مشتقات ترکیب فنلی) به عنوان پیش ماده سنتز آنتوسیانین (ساختار فلاونوئید) مرتبط دانست (Ahmad et al., 2011; Gendy et al., 2012). همچنین در پژوهشی اثر تنش خشکی و هیومیک اسید بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و میزان آنتوسیانین گیاه *Hibiscus sabdariffa* L. مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه آن تأثیر هیومیک اسید بر افزایش میزان آنتوسیانین در کاسبرگ گیاه مذکور بود که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت (Sanjari et al., 2016).

نتیجه گیری نهایی

به طور کلی در این تحقیق، تنش شوری و عدم کاربرد هیومیک اسید منجر به کاهش صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاه ذرت گردید. از سوی دیگر کاربرد هیومیک اسید در شرایط تنش شوری توانست اثرات منفی شوری را کاهش دهد. صفاتی مانند حجم ریشه، کلروفیل a، کلروفیل کل، کارتنوئید و قند محلول در شرایط تنش شوری و کاربرد ۲۰۰ میلی گرم در لیتر هیومیک اسید در مقایسه با عدم کاربرد آن در حداکثر بود. تنش شوری سبب نشت یونی و صدمه به سلول گردید که کاربرد هیومیک اسید این صدمه را کاهش داد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق و اهمیت گیاه ذرت به عنوان یک گیاه مهم در تأمین روغن خوراکی و تغذیه دام، به منظور کاهش اثرات شوری و جلوگیری از کاهش عملکرد این گیاه با اهمیت، استفاده از هیومیک اسید توصیه می شود.

(۲۰۲۳) نشان داد که کاربرد هیومیک اسید منجر به افزایش میزان کلروفیل و کارتنوئید در گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) گردید که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت. در تحقیق حاضر افزایش میزان قندها در شرایط تنش شوری، می تواند به دلیل سنتز بیشتر قندهای محلول به عنوان مکانیسمی در جهت کاهش پتانسیل آب یاخته ای و در نتیجه حفظ محتوای آب گیاه باشد. مهمترین نقش قندها خنثی کردن رادیکال های آزاد، ذخیره کربن و تنظیم و حفظ تعادل اسمزی می باشد (Parida and Das, 2005). قندهای محلول به عنوان محافظت کننده های اسمزی در تنظیم اسمزی سلول نقش دارند و در پاسخ به تنش های محیطی تجمع می یابند. بنابراین تجمع قندهای محلول افزایش یافته تا پروتئین ها را در گیاه در مقابل آسیب های اکسیدی ناشی از رادیکال های آزاد محافظت نماید (Bohnert et al., 1995). در این تحقیق، کاربرد هیومیک اسید به میزان ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در مقایسه با عدم کاربرد آن، توانست میزان قند محلول را افزایش دهد که با نتایج تحقیق Thi Lua و Bohme (۲۰۰۱) که اظهار داشتند هیومیک اسید دارای فعالیت شبه هورمونی است و جذب عناصر معدنی همانند فسفر و پتاسیم را در گیاهان افزایش می دهد که این امر می تواند باعث بهبود قندهای محلول در سلول های گیاهان شود، مطابقت داشت. در پژوهش حاضر، در شرایط کاربرد هیومیک اسید به میزان ۲۰۰ میلی گرم در لیتر در مقایسه با عدم کاربرد آن، میزان آنتوسیانین گیاه ذرت افزایش یافت، که احتمالاً دلیل آن را می توان به نقش هیومیک

References

- Ahmad, Y.M., Shahlaby, E.A. and Shnan, N.T. (2011). The use of organic and inorganic cultures in improving vegetative growth, yield characters and antioxidant activity of roselle plants (*Hibiscus sabdariffa* L.). African Journal of Biotechnology. 10 (11): 1988-1996.
- Anjum, N. A.(2015). Book Review: Oxidative Damage to Plants-Antioxidant Networks and Signaling. Frontiers in Plant Science. 6: 452-453.

- Balakumbahan, R. and Rajamani, K. (2010). Effect of biostimulants on growth and yield of Senna (*Cassia angustifolia* var. KKM.1). Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants. 2(1): 8-16.
- Bohnert, H.J., Nelson, D.E. and Jensen, R.G. (1995). Adaptions to environmental stresses. Plant Cell. 7(7): 1099-1111.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T. and Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry. 28(3): 350-356.
- Fani, E. (2024). The effects of feeding by silica fertilizer on the reduction of stress caused by salinity in fenugreek plants. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 14 (1): 115- 129. (In Persian)
- FAO. (2018). Food and Agriculture Organization of United Nations. <http://www.fao.org/faostat>
- FAO.(2022). Global Symposium on Salt-Affected Soils: Outcome document. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb9929en>
- Gendy, A.S.H., Said-Al Ahl, H.A.H. and Mahmoud, A.A. (2012). Growth, productivity and chemical constituents of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) plants as influenced by cattle manure and biofertilizers treatments. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 6(5): 1-12.
- Haghighi, B., Karimi., M. and Moradi, H. (2023). Investigating the effect of humic acid on the morphological and physiological characteristics of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under salt stress. Journal of Plant Process and Function. 12(57): 285- 298.
- Hajhashemi, S., Jahantigh, O. and Fani, E. (2023). The effect of silicon treatment on improving the physiological response of radish (*Raphanus sativus* L.) to salinity stress. Plant Process and Function. 11(47): 21- 36.
- Hasanpour, R., Neyshabouri, M. and Zarehaghi, D. (2015). Combined effect of soil salinity and compaction on some growth indices of corn. Water and Soil Science Journal. 25(1): 247-260.
- Jasemi Manesh, M., Sharifi Asl, R. and Mirzaei Haydari, M. (2020). The effect of humic acid on growth, yield, and some physiological parameters of wheat under salinity stress. Journal of Plant Environmental Physiology. 15 (57): 10-22.
- Ibrahimova, U., Kumar, P., Yadav, S., Rastogi, A., Antala, M., Suleymanova, Z., Zivcak, M., Arif, T., Hussain, S., Abdelhamid, M., Hajhashemi, Sh., Yang, X. and Brestic, M. (2021). Progress in understanding salt stress response in plants using biotechnological tools. Journal of Biotechnology. 329:180- 191.
- Khalilzadeh, R. (2017). Effects of plant growth promoting bacteria and cycocel growth regulator on yield and some physiological traits of wheat under salinity and water limitation condition. Thesis Ph. D. Faculty of Agriculture and Natural Resources. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil. Iran
- Khoram- Ghahfarokhi, A., Rahimi, A., Torabi, B. and Maddah- Hosseini, Sh. (2015). Effect of humic acid application and foliar spraying of compost tea and vermiwash on nutrient absorption and chlorophyll content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Oil Plants Production. 2(1): 71- 84.
- Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in enzymology. Elsevier. 350-382.
- Liu, M., Wang, C., Wang, F. and Xie, Y. (2019). Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. Applied Soil Ecology. 142(62): 147-154.

- Miller, G. A. D., Suzuki, N., Cifci, S. and Mittler, R. O. N. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*. 33(4): 453-467.
- Mirzaie, M., Lada Moghadam, A.R., Hakimi, L. and Danaee, E. (2020). Water stress modifies essential oil yield and composition, glandular trichomes and stomatal features of lemongrass (*Cymbopogon citratus* L.) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 22 (6):1575- 1585.
- Mohd, T., Osumanu, H.A. and Nik, M. (2009). Effect of mixing urea with humic acid and acid sulphate soil on ammonia loss, exchangeable ammonium and available nitrate. *American Journal of Environmental Sciences*. 5(5): 588-591.
- Moosavi, S. and Ragh- ara, H. (2018). Effect of water deficit stress and application of humic and salicylic acid on physiological traits, yield and yield components of corn. *Journal of Plant Environmental Physiology*. 13 (50): 87- 101.
- Murray J.R. and Hackett, W.P. (1991). Dihydroflavonol reductase activity in relation to differential anthocyanin accumulation in juvenile and mature phase *Hedera helix* L. *Plant Physiology*. 97(1): 343-351.
- Narimani, R., Moghaddam, M., Ghasemi- Pirbalouti, A. and Nemati, H. (2017). Effect of humic acid and ascorbate on growth and biochemical traits of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under salinity stress. *Plant Process and Function*. 7(23): 297-313.
- Narimani, R., Moghaddam, M., Nemati, S.H. and Ghasemi- Pirbaluti, A. (2018). Evaluation of salinity adjusted by using humic acid and ascorbic acid in medicinal plant of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *Plant Research Journal (Iranian Journal of Biology)*. 31(4): 955- 971.
- Nematpour, A., Kazemeini, S. and Edalat, M. (2016). Effect of salinity on some growth and physiological characteristics of two cultivars of sweet corn (*Zea mays* var. *saccharata*). *Plant Production Technology*. 15(2): 153-165.
- Parida, A.K. and Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60 (3): 324-349.
- Pioter, P. (2005). Antioxidant defense in leaves of C3-C4 plant under salinity stress. *Physiology Plantarum*. 125 (1): 31-40.
- Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G., Pakniyat, H. and Emam, Y. (2016). Physiological Mechanisms of Salt Stress Tolerance in Plants; an Overview p. In: Azooz, M. M. and P. Ahmad (Eds.). *Plant Environment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress*. John Wiley and Sons. 141-160.
- Poorakbar, L. and Maghsoumi- Holasoo, S. (2015). Salinity effect on antioxidative enzymes activity in roots and leaves of maize plant (*Zea mays* L. cv. SC. 704). *Applied Biology*. 28(1): 5-22.
- Rashidifard, A., Chorom, M., Norozi masir, M. and Roshanfekar, H. (2020). The Effect of humic acid and zinc application on some vegetative traits and anti-oxidant enzymes corn seedling under salinity stress . *Iran Water and Soil Research*. 51(9): 2393- 2403.
- Rubio, V., Bustos, R., Irigoyen, M. L., Cardona-Lopez , X., Rojas-Triana, M. and Paz-Ares, J. (2009). Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Molecular Biology*. 69 (3): 61-73.
- Sanjari, M., Sirousmehr, A.R. and Fakheri, B. (2016). The effects of drought stress and humic acid on morphological traits, yield and anthocyanin of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology*. 8(3): 346- 358.
- Selvakumar, G., Kim, K., Hu, S. and Sa, T. (2014). Effect of salinity on plants and the role of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth -promoting rhizobacteria in alleviation of salt

- stress. In: Parvaiz Ahmad, P., Wani, R.M. (Eds.), Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment. Springer. New York, pp. 115- 144.
- Sharifiasl, R., Kafi, M., Saidi, M. and Kalateh- Jari, S. (2020). The effect of humic acid on growth and some physiological responses in bermuda grass (*Cynodon dactylon* L.) subjected to salinity stress. Iranian Journal of Horticultural Science. 51 (2): 415- 425.
- Tadayon, M.S. and Rastegar, H. (2000). Impacts of foliar application of sulfuric acid on iron chlorosis of orange tree in a calcareous soil. Journal of Soil and Water Sciences. 16 (1): 25- 38.
- Thi Lua., H. and Bohme, M. (2001). The influence of humic acid on tomato in hydroponic system. Acta Horticulture. 548: 451-458.
- Zaraveshan, M., Abdulzadeh, A., Sadeghipour, H.R. and Mehraban- Jovini, P. (2020). Comparison of the effect of inorganic silicon and nano silicon on some biochemical and photosynthetic traits in corn plant (*Zea mays* L.) under salt stress. Journal of Plant Environmental Physiology. 15(57): 23- 38.