Archive of SID.ir

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 47-62

The Effect of Seed Inoculation with *Funneliformis mossea* Mycorrhiza on Some Morphophysiological and Biochemical Traits of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Under Salinity Stress Conditions

Fatemeh Sadat Ghabous[1], Seyed Abdolreza Kazemeini[2*] and Mehdi Zarei[3]

1 and 2- Former M.Sc. Student and Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3- Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.
(*- Corresponding author's Email: akazemeini@shirazu.ac.ir)

Received: 02-06-2022
Revised: 29-07-2022
Accepted: 18-09-2022
Available Online: 18-09-2022

How to cite this article:
Ghabous, F.S., Kazemeini, S.A., & Zarei, M. (2024). The Effect of Seed Inoculation with *Funneliformis mossea* Mycorrhiza on Some Morphophysiological and Biochemical Traits of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Under Salinity Stress Conditions. *Journal of Agroecology*, *16*(1), 47-62. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2022.76917.1115

Introduction

Barley is the fourth most important cereal in the world and is considered one of the least expected crops that has adapted and distributed globally due to its resistance to salinity. The growing world's population has expanded the cultivated domain, which caused the utilization of extravagant chemical fertilizers in modern agricultural cropping systems. This approach has not been cost-effective and has caused severe environmental damages like contaminating the underground water and creating unusual salinity in the fields. Therefore, it seems to be essential to replace risky approaches with eco-friendlier methods. In addition, with increasing environmental stress as a result of climate warming, we need to understand better ways to reduce environmental stress for the sustainable production of barley. Mycorrhiza has been introduced as an essential portion of agricultural ecosystems because of its positive effect on the soil texture, growth, and productivity of almost all host plants. This trend is attributed to reduced chemical fertilizer demands. Mycorrhiza enhances the water relations under stress conditions, water and nutrient uptake by augmenting the hyphae network. In this study we aimed to investigate the role of mycorrhizal inoculation in alleviating the detrimental effects of salinity stress on barley. Our hypotheses were: (i) mycorrhizal inoculation can alleviate the detrimental effect of stress at low to medium levels but not at high levels of salinity, and (ii) there is an interaction effect of low levels of salinity and arbuscular mycorrhizal symbiosis lead to higher the performance of barley.

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of *Funneliformis mossea*e mycorrhiza on morphological, biochemical and yield of barley, one experiment was conducted in research farm of School of Agriculture, Shiraz University. Field experiment was a split-plot in a randomized complete block design with three replications. Factors included salinity levels (0.4, 4, 8 and 12 dS m^{-1}) as the main factor and the mycorrhiza (with and without) was

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/agry.2022.76917.1115

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

applied as sub factor. Data were analyzed by using SAS 9.2 software and the means were separated using LSD test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results of the experiment showed that salinity decreased yield and vegetation traits, including plant height, number of tillers per plant, number of spikes per plant, number of seeds per spike, 1000-grain weight, grain yield, and biological yield. All the measured traits in plants inoculated with mycorrhizal fungi were higher than the non-mycorrhizal plants. The inoculation of plants in most cases improved the effects of stress; i.e., inoculation under high salinity stress (12 dS m^{-1}) increased SOD by 5.7%, CAT by 8.0%, K concentration by 30.8%, K/Na ratio by 131.1%, plant height by 8.1%, number of spikes per plant by 9.4%, number of grain per spike by 6.6%, 1000-grain weight by 4.2%, grain yield by 20.2%, and biological yield by 11.0% compared with non-inoculation plants. Also, Fayaz and Zahedi (2021) reported that mycorrhizal inoculation could promote the growth and salt tolerance of wheat cultivars by improving osmoregulation and antioxidant enzyme activity and reducing the Na^+/K^+ ratio.

Conclusion

In this experiment, inoculation treatment alleviated the high salinity stress (12 dS m^{-1}) effects in most cases and raised the grain yield and K^+/Na^+ ratio up to 20.2 and 131.1%, respectively, compared with non-inoculation plants. The results from this experiment showed that *Funneliformis mosseae* fungi inoculation could promote the growth and salt tolerance of barley by improving antioxidant enzyme activity, and ion homeostasis. In summary, the use of *Funneliformis mosseae* could reduce salinity damages by improving the physiological and biochemical responses of barley. This study highlighted the potential role of *Funneliformis mosseae* inoculation, in particular with native strains, as an innovative and eco-friendly technology for a sustainable crop-growing system in arid and semi-arid areas.

Keywords: Antioxidant enzymes, K^+/Na^+ ratio, Yield, Yield components

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۶۲-۴۷

تأثیر مایه‌زنی بذر با قارچ‌ریشه *Funneliformis mosseae* بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش شوری

فاطمه السادات قابوس[۱]، سید عبدالرضا کاظمینی[۲*] و مهدی زارعی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷

چکیده

به‌منظور ارزیابی برهم‌کنش قارچ‌ریشه *Funneliformis mosseae* بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی جو (*Hordeum vulgare* L.)، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز اجرا شد. فاکتورها شامل سطوح شوری آب (شاهد (۰/۴)، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان فاکتور اصلی و قارچ‌ریشه (با قارچ و بدون قارچ) به‌عنوان فاکتورهای فرعی بودند. نتایج نشان داد که افزایش شوری باعث کاهش صفات ارتفاع ساقه، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شد. تلقیح قارچ‌ریشه در بالاترین سطح تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در اکثر صفات باعث بهبود و یا کاهش آثار سوء تنش گردید و با افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم به ترتیب به‌میزان ۸/۰، ۵/۷، ۳۰/۸ و ۱۳۱/۱ درصد، منجر به بهبود ارتفاع بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب به‌میزان ۸/۱، ۹/۴، ۶/۶، ۴/۲، ۲۰/۲ و ۱۱/۰ درصد در مقایسه با تیمار بدون تلقیح شد. همچنین، تلقیح بذر با قارچ‌ریشه در بالاترین سطح شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) باعث کاهش ۴۳/۲ درصد غلظت سدیم در مقایسه با شرایط بدون تلقیح شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح قارچ‌ریشه می‌تواند از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و همئوستازی یونی، منجر به توسعه رشد و تحمل به شوری جو شود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، نسبت پتاسیم به سدیم

مقدمه

جو با نام علمی *Hordeum vulgare* L. از خانواده غلات، جزء قدیمی‌ترین گیاهان زراعی می‌باشد که پیشینه کشت آن به ۹۵۰۰ سال پیش از میلاد برمی‌گردد (Khajehpour, 2014). این گیاه پس از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) چهارمین غله مهم دنیا است و دامنه سازگاری و پراکنش این گیاه در مقایسه با سایر گیاهان گسترده‌تر بوده و تحمل بیشتری نسبت به تنش‌های غیرزنده از جمله شوری دارد. این گیاه با آستانه تحمل به شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر، جزء گیاهان متحمل به تنش شوری طبقه‌بندی می‌شود. میزان پروتئین آن در مقایسه با سورگوم (*Sorghum bicolor*) و ذرت بیشتر بوده و به همین علت، در مناطقی که طول فصل رشد کوتاه است و یا آب کافی برای زراعت ذرت وجود ندارد، جایگزین مناسبی می‌باشد (Khajehpour, 2014). سطح زیر کشت جو در سال ۲۰۲۰ در ایران

۱و ۲ - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
(*- نویسنده مسئول:
(Email: akazemeini@shirazu.ac.ir
DOI: 10.22067/agry.2022.76917.1115

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

و جهان به‌ترتیب حدود ۲ و ۵۱ میلیون هکتار بوده و میـزان تولیـد آن حدود ۴ و ۱۵۷ میلیون تن و همچنـین متوسـط عملکـرد آن ۱/۷ و ۳ تن در هکتار می‌باشد (FAO, 2020).

بر اساس یک برآورد، حدود ۸۳۱ میلیون هکتار از اراضـی توسـط نمک‌های محلول آلوده شده که حـدود هفـت درصـد از کـل اراضـی جهان را تشکیل می‌دهد (Mustafa et al., 2019Bothe, 2012 ;) و انتظار می‌رود با گسترش شوری، شاهد ایجاد اثـرات مخـرب زیسـت-محیطی و از دسـت‌روی ۱/۵ میلیـون هکتـار اراضـی آبـی در بخـش کشاورزی به‌صورت سالانه در جهان باشیم و تا سال ۲۰۵۰ حـدود ۵۰ درصـد از اراضـی زراعـی شـور شـوند (Abd El-Ghany & Attia, Huang et al., 20102020 ;). کشور ایران پس از هنـد و پاکسـتان (Vashev et al., 2010)، با ۶/۸ میلیون هکتار اراضی شـور در صـدر کشورهای در معرض تنش شوری قرار دارد و حدود ۳/۵ میلیون هکتار از اراضی زراعی نیز درگیر درجات مختلف شوری اسـت (Banaei et al., 2004). تنش شوری به‌وسیله کاهش پتانسـیل اسـمزی محلـول خاک باعث آشفتگی در تعرق و تنفس شده و بـا بـر هـم زدن تعـادل یونی درون خاک، تغذیه و فرایند متابولیکی گیاه را دچار مشکل مـی-نماید. تنش خشکی پیامد بعدی شوری است که با تغییـر در وضـعیت آبی گیاه، رشد اولیه و تولید را محدود می‌سازد (Saadeghi-Azar et al., 2013 ;Yadav et al., 2012). افزایش غلظت شوری با کـاهش رشد اندام هوایی در گندم نان، گندم ماکارونی و جو همراه بوده اسـت (Colmer et al., 2006). افزایش شوری با کاهش درصد جوانه‌زنی و پارامترهای رشدی همچون وزن تر و وزن خشک ریشه و اندام هوایی منجر به کـاهش عملکـرد در گیاهـان جـو و گنـدم شـد (Fayaz & Zahedi, 2021). همچنین محققین بیان نمودند که تـنش شـوری از طریق افزایش تنش اسمزی و کاهش جذب مواد غـذایی باعـث افـت عملکرد گندم مـی‌شـود (Fayaz Abdel-Fattah & Asrar, 2012; & Zahedi, 2021). تنش شوری از طریق افزایش رادیکال‌هـای آزاد در گیاه، منجر به تخریب غشایی و نشت الکترولیتی (Sajedi et al., 2010) شده و از راه‌های مختلف مثل بسته شدن روزنـه‌هـای بـرگ، کاهش تبادل دی‌اکسیدکـربن و محـدودیت گسـترش و تعـداد بـرگ، فتوسنتز را در گیاه زراعـی کـاهش مـی‌دهـد (Wang et al., 2022). شوری با کاهش غلظت پتاسیم و افزایش نسبت سدیم بـه پتاسـیم در اندام هوایی همراه بوده (Yadav et al., 2012) که این پارامترهـا بـا رشد و عملکرد گیاهان زراعی رابطه مستقیم داشـته و از ایـن جهـت، شاخص‌های ارزشمندی در ارزیابی ارقام مقاوم در شرایط تنش شوری اسـت (Khajehpour, 2014). احـدی و همکـاران (Ahadi et al., 2021) بیان کردند که شوری با افزایش گونه‌هـای فعـال اکسـیژن و القای تنش اکسیداتیو همراه بود. پژوهشگران همچنین گزارش کردنـد که وزن دانه و سرعت پر شدن دانه جو با افزایش شوری کاهش یافت (Mahlooji, 2022).

استفاده از محرک‌های زیستی یکی از راهکارهای مؤثر در شرایط تنش به‌شمار می‌آید. محرک‌های زیستی شـامل کـاربرد هـر مـاده یـا ریزجاندار‌به‌منظور افزایش کـارایی جـذب عناصـر غـذایی، تحمـل بـه تنش‌های غیر زنده و یا افزایش کیفیت گیاه زراعـی اسـت (Abd El-Ghany & Attia, 2020). قارچ‌ریشه به‌عنوان یکی از محـرک‌هـای زیستی نقش مهمی در کاهش اثرات سوء تنش شوری بر گیاهان دارد. بـر همـین اسـاس، تلقـیح بـذر گنـدم بـا Nicolson & *Funneliformis mosseae*(Gerd.) از طریق افزایش فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدان و نسبت پتاسیم به سدیم، اثرات سوء تنش شـوری را کـاهش داد (Fayaz & Zahedi, 2021). کـاربرد قـارچ‌ریشـه بـا افزایش وزن خشک ریشه و افـزایش عملکـرد گنـدم (افـزایش طـول سنبله، وزن سنبله و وزن هزار دانـه) همـراه اسـت (Saxena et al., 2013). تلقـیح قـارچ‌ریشـه *F. mosseae*، *G. etunicatum* و *G. mosseae* با افزایش میزان کلونیزاسیون ریشه، باعث افـزایش جـذب آب و عناصر غذایی کم تحرک همچون فسفر، روی و افـزایش تولیـد سنبله، افزایش غلظـت آهـن و فسـفر در انـدام هـوایی، بهبـود تولیـد زیست‌توده و افزایش عملکرد دانـه در *Gleditsia sinensis* و گنـدم شد (Al-Karaki et al., 2004Wang et al., 2022 ;). تلقیح قارچ-ریشـه گونـه *G. intraradices* و *Azotobacter chroococcum* باعث بهبود سیستم ریشه‌ای و استقرار گیـاه و افـزایش تعـداد پنجـه، ارتفاع ساقه، طول و وزن ریشه و عملکرد در نیشکر، جو و گنـدم شـد (Hosseini et al., 2021; Behl et Surendran & Vani, 2013; al., 2003). پژوهشگران همچنین گزارش کردند که کاربرد *گلوموس موسه* در شرایط تنش آبی توانسـت عملکـرد دانـه، وزن هـزار دانـه و زیست‌توده جو را به‌ترتیب میزان ۱۰۶، ۸۳ و ۴۱ درصد در مقایسـه بـا تیمار بدون تلقیح افزایش دهد (Jerbi et al., Jerbi et al., 2022a; 2022b).

توسعه شوری زمین‌های کشاورزی در سیستم‌های نوین زراعـی از جمله مشکلاتی است که بخش کشاورزی با آن مواجـه مـی‌باشـد. از

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

طرف دیگر، استفاده از قارچ‌ریشه‌ها که به‌عنوان کود زیستی شناخته شده، می‌تواند اثرات مثبتی در جهت تعدیل نتایج منفی ناشی از تنش شوری داشته باشد. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر برهم‌کنش تنش شوری و قارچ‌ریشه بر ویژگی‌های رشد و عملکرد جو اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر قارچ‌ریشه بر رشد و جذب عناصر غذایی در شرایط آبیاری با آب شور، آزمایشی به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در باجگاه (´۵۸ °۵۲ شرقی، ´۷۴ °۲۹ شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) در ۱۱ کیلومتری شمال شرقی شیراز در سال ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورها شامل سطوح شوری آب آبیاری (شاهد (۰/۴)، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان فاکتور اصلی و قارچ‌ریشه *Funneliformis mosseae* (با و بدون تلقیح) به‌عنوان فاکتورهای فرعی اعمال گردید. پیش از کشت گیاه در زمین اصلی، برای تعیین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری انجام شد (جدول ۱). بر این اساس خاک مزرعه دارای بافت سیلتی رسی از گروه Fine Mixed, Mesic Typic Calcixerepets بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در عمق صفرتا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Physico-chemical properties of the soil in 0-30 cm depth

هدایت الکتریکی عصاره اشباع	رس	سیلت	شن	نیتروژن کل	کربن آلی	فسفر
EC ($dS.m^{-1}$)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Total N (%)	O.C. (%)	P ($mg.kg^{-1}$)
0.97	40	39	21	0.15	1.23	17.0

جهت آماده‌سازی زمین، عملیات شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک همراه با دو بار دیسک عمود بر هم انجام شد. بعد از تهیه بستر با کمک فارور جوی و پشته‌هایی با طول ۱۰۰ سانتی‌متر و عرض ۶۰ ایجاد و بذرهای جو رقم ریحان در تاریخ ۱۵ آبان به‌فاصله ۲/۵ سانتی‌متر از یکدیگر و با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع در دو طرف پشته در هر کرت به‌مساحت سه مترمربع کشت گردید. مایه تلقیح قارچ از بخش علوم و مهندسی خاک دانشگاه شیراز تهیه و به‌روش تله تکثیر گردید (Zarei et al., 2008). برای تلقیح قارچ‌ریشه مقدار پنج گرم از مایه تلقیح قارچ *Funneliformis mosseae* شامل اسپور (۱۰ اسپور در هر گرم بستر)، هیف و قطعات کلونیزه شده (۷۵ درصد) و کلونیزه نشده ریشه‌ای به‌ازای هر بذر در عمق پنج سانتی‌متری از خاک پشته مزرعه قرار داده شد و با خاک زیر مخلوط گردید. در تیمارهای شاهد از بستر بدون قارچ استفاده شد. میزان کود اوره بر حسب آزمون خاک محاسبه و یک سوم آن در زمان کاشت و دو سوم باقی‌مانده در زمان انتهای پنجه‌زنی (ZGS23) اعمال شد. نمک مورد استفاده کلریدسدیم بود و برای هر سطح شوری، میزان مورد نظر (غلظت نمک بر حسب گرم در لیتر آب) تهیه شد. تنش شوری بر اساس تیمارهای مربوطه در مخازن جداگانه تهیه و از مرحله انتهای پنجه‌زنی همراه با آب آبیاری به‌صورت کنترل شده وارد کرت‌ها شد که تا انتهای فصل رشد ادامه داشت (Munns &Termaat, 1986). کنترل علف‌های هرز باریک برگ و پهن برگ در مرحله گیاهچه‌ای با استفاده از علف‌کش آکسیال بر اساس یک لیتر در هکتار و گرانستار به‌میزان ۲۰ گرم در هکتار صورت گرفت.

صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بود. در انتهای فصل رشد، تعداد ۱۰ بوته به‌منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد دانه شامل تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه مورد بررسی قرار گرفت. جهت تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با رعایت حاشیه، نمونه‌برداری از سطح یک مترمربع هر کرت انجام شده و نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و سپس توزین گردید.

به‌منظور تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از برگ‌های جوان هر تیمار، نمونه‌برداری انجام و در نیتروژن مایع قرار داده شد و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. جهت عصاره‌گیری، ۰/۵ گرم نمونه برگ در نیتروژن مایع کاملاً

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ساییده شد، سپس چهار میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم با پ‌هاش هفت و غلظت ۵۰ میلی‌مولار به آن اضافه و در داخل هاون چینی کاملاً هموژنیزه گردید. مخلوط حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با g* ۱۳۰۰۰ سانتریفیوژ شده و پس از آن فاز بالایی جهت قرائت میزان فعالیت آنزیم‌ها جدا شد و فعالیت آنزیم کاتالاز از روش دهیندزا و همکاران (Dhindsa et al., 1981)، آنزیم پراکسیداز از روش چانس و ماهلی (Chance & Maehly, 1995) و آنزیم سوپراکسیددیسموتاز از روش بیچامپ و فریدوویچ (Beauchamp & Fridovich, 1971) تعیین گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم به‌روش هورنک و هانسون (Horneck & Hanson, 1998)، ابتدا نمونه‌های اندام‌هوایی را به‌طور جداگانه در آون کاملاً خشک و آسیاب کرده، سپس از هر نمونه، ۰/۵ گرم جدا کرده و در کوره به‌مدت چهار ساعت در دمای حدود ۵۰۰ درجه سیلسیوس قرار داده تا خاکستر آن‌ها کاملاً سفید شود. پس از سرد شدن نمونه‌ها، به هرکدام پنج میلی‌لیتر اسید-کلریدریک دو نرمال اضافه و خوب به‌هم زده شد. سپس از کاغذ صافی عبور داده و حجم نهایی با آب مقطر در حال جوشیدن به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. نهایتاً غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (410-Corning flame photometer) اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌های آماری

داده‌های مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 تجزیه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. رسم نمودارها و جداول با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر هر دو فاکتور و برهم‌کنش دوگانه شوری و قارچ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته (۸۵/۳۳ سانتی‌متر) در برهم‌کنش تلقیح بذر با قارچ‌ریشه و شرایط بدون تنش شوری مشاهده شد که نسبت به تیمار بدون تلقیح و سطح شوری ۱۲ دسی-زیمنس بر متر حدود ۳۸/۴ درصد افزایش یافت (جدول ۳). کاربرد قارچ‌ریشه در بالاترین سطح شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) باعث افزایش ۸/۱ درصدی ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار بدون تلقیح شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که قارچ‌ریشه با تأثیر بر جذب آب و عناصر غذایی افت حاصله از تنش شوری را کاهش می‌دهد. پژوهشگران دریافتندکه با افزایش سطوح شوری و تجمع سدیم و کاهش جذب پتاسیم، مسمومیت و عدم تعادل غذایی در گیاه ایجاد شده و رشد گیاه کاهش می‌یابد (Havlin et al., 2004)، ولی تلقیح گیاه با قارچ‌ریشه در شرایط تنش شوری، اثرات منفی شوری را کاهش و از طریق ایجاد شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب، نقش مهمی در افزایش کارایی گیاه در جذب آب و عناصر غذایی داشته که نتیجه آن بهبود رشد و وضعیت تغذیه‌ای مناسب در گیاه است (Smith & Read, 2008).

تعداد سنبله در بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد سنبله در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری و برهم‌کنش شوری و قارچ قرار گرفت (جدول ۲). تعداد سنبله در بوته در تیمار بدون تنش و تلقیح قارچ‌ریشه ۱۶/۳ درصد (۱۱/۶۳ در برابر ۱۰/۰) بیشتر از بدون تلقیح بود (جدول ۳). در تیمار بدون تلقیح، با افزایش شوری از ۰/۴ به ۴، ۸ و ۱۲ دسی-زیمنس بر متر، تعداد سنبله در مترمربع به‌طور معنی‌داری به‌میزان ۱۶/۷، ۳۳/۵ و ۴۶/۷ درصد کاهش یافت. در هر سطح شوری تلقیح با قارچ تعداد سنبله در بوته را افزایش داد، به‌طوری‌که در سطوح ۰/۴، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار بدون تلقیح به‌میزان ۱۶/۳، ۱۶/۰، ۲۵/۱ و ۹/۴ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). عملکرد و اجزای عملکرد جو نیز متأثر از اعمال مدیریت زراعی، ژنوتیپ و محیط می‌باشد (Moradmand et al., 2010). شوری با کاهش تعداد سنبله در بوته جو و ترتیکاله، نقش مهمی در کاهش عملکرد دارد (Salehi & Moradmand et al., 2010; Arzani, 2011). پژوهشگران بیان کردند که اثرات مثبت هم‌زیستی میکوریزا در رشد رویشی و عملکرد گندم می‌تواند به‌علت بهبود جذب فسفر و افزایش جذب آب به‌وسیله هیف‌های قارچی و هم‌چنین افزایش تراکم و طول ریشه گیاه، به‌خصوص در شرایط تنش باشد (Abo-Ghalia & Khalafallah, 2008). در پژوهشی مشخص گردید که گندم تیمار شده با گونه‌های قارچ *گلوموس* از تعداد سنبله در بوته بیشتری برخوردار هستند و بیشترین عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در بوته از تلقیح قارچ *گلوموس موسه‌آ* به‌دست آمد (Habibi et al., 2015)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۲- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد جو

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for plant height, grain yield and yield components of barley

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
تکرار Replication	2	2.54	7.62	0.072	0.37	0.71	25201.88	239108.21
شوری Salinity (a)	3	295.16**	6.07	29.81**	35.88	249.58**	907567.46**	1385660.26**
خطا	6	2.87	4.35	0.46	0.72	1.13	22030.50	233946.57
قارچ Fungi (b)	1	130.66**	3.37	10.01	20.16**	29.79**	3330708.77**	8486785.33**
شوری × قارچ a × b	3	15.00**	5.72	0.45*	2.05**	0.75**	104954.14**	19466.78**
خطا Error	8	2.79	6.04	0.40	0.17	0.88	88873.97	375118.01
ضریب تغییرات CV (%)		2.31	17.03	7.74	1.45	2.33	5.51	5.18

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

*and **: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

Archive of SID.ir

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و تلقیح قارچ ریشه *Funneliformis mosseae* بر عملکرد و اجزای عملکرد جو.

fungi inoculation on yield and yield components of barley. Table 3- Mean comparison for effects of salinity stress and *Funneliformis mosseae*

شوری Salinity	قارچ Fungi	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)
0.4	تلقیح شده Inoculated	85.33	11.63	54.00	49.30	6078.0	13105.1
	بدون تلقیح Non-inoculated	76.33	10.00	51.33	47.26	5652.5	11918.5
4	تلقیح شده Inoculated	75.00	9.66	50.33	43.38	6040.0	12336.0
	بدون تلقیح Non-inoculated	72.33	8.33	49.33	40.85	5104.0	11007.0
8	تلقیح شده Inoculated	70.66	8.32	49.00	39.66	5536.0	12172.0
	بدون تلقیح Non-inoculated	68.66	6.65	48.33	36.65	4830.0	11122.0
12	تلقیح شده Inoculated	66.66	5.83	48.33	33.68	5442.8	12012.7
	بدون تلقیح Non-inoculated	61.66	5.33	45.33	32.33	4530.0	10821.0
$LSD_{(0.05)}$		3.14	1.20	0.79	1.77	561.31	1153.2

نشان می‌دهد که سطح معنی‌داری اختلاف میانگین ۰/۰۵ است.

Indicates that the significance level of the mean difference is 0.05.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تعداد دانه در سنبله

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر قارچ و برهم‌کنش دوگانه شوری و قارچ بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد دانه در سنبله با افزایش شوری یک روند کاهشی را نشان داد و در هر سطح شوری تلقیح با قارچ ریشه تعداد دانه در سنبله را افزایش داد، به‌صورتی که در سطوح شوری ۰/۴، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب از برتری ۵/۲، ۲/۰، ۱/۴ و ۶/۶ درصدی تعداد دانه در سنبله نسبت به بدون تلقیح برخوردار بود (جدول ۳). پژوهشگران نیز گزارش کردند که همزیستی قارچ‌ریشه به‌دلیل افزایش حلالیت فسفر توسط قارچ‌ریشه و در نتیجه، افزایش قابلیت دستیابی ریشه و ماندگاری بیشتر برگ‌ها باعث افزایش تعداد دانه در سنبله در گیاهان زراعی گندم همزیست با *گلوموس موسه‌آ* (Habibi et al., 2015)، افزایش تعداد دانه در هرکپسول کنجد همزیست با *گلوموس موسه‌آ* (Gholinezhad & Darvishzadeh, 2015) و افزایش تعداد دانه در طبق گلرنگ (Raei et al., 2015) شد.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری و قارچ و برهم‌کنش دوتایی آن‌ها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد که با افزایش شوری وزن هزاردانه جو کاهش یافت و در هر سطح شوری تلقیح با قارچ ریشه موجب کاهش افت وزن هزار دانه نسبت به بدون تلقیح شد که در سطوح شوری بالاتر تأثیر تلقیح با قارچ ریشه به‌مراتب بیشتر بود و در بالاترین سطح شوری، تلقیح بذر با قارچ‌ریشه، وزن هزار دانه جو را به‌میزان ۴/۲ درصد (۳۳/۶۸ در برابر ۳۲/۳۳ گرم) نسبت به تیمار تلقیح نشده افزایش داد (جدول ۳). کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش از طریق کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و پیری زودرس ایجاد شده که پیش از این نیز توسط پژوهشگران در جو (Mashi et al., 2008)، کلزا (Shabani et al., 2013)، ذرت (Shamsedin-Saeed & Farahbakhsh, 2009) و کوشیا (Sobhani & Majidian, 2014) گزارش شده است. تلقیح قارچ‌ریشه در شرایط تنش شوری از طریق افزایش حلالیت فسفر و قابلیت دسترسی ریشه و ماندگاری بیشتر برگ‌ها باعث افزایش وزن هزار دانه گندم (Habibi et al., 2015) و آفتابگردان (Jamshidi et al., 2009) شد.

عملکرد دانه

اثر شوری و قارچ‌ریشه و نیز برهم‌کنش دوتایی شوری در قارچ ریشه بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش شوری عملکرد دانه جو کاهش یافت و تلقیح با قارچ‌ریشه توانست افت عملکرد را کاهش دهد. به‌طور کلی، بیشترین عملکرد دانه در برهم‌کنش تلقیح با قارچ‌ریشه در شرایط بدون شوری (۶۰۷۸ کیلوگرم درهکتار) و کمترین عملکرد دانه در تیمار بدون تلقیح و سطح ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (۴۵۳۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۳). در شرایط بدون تلقیح قارچ‌ریشه، عملکرد دانه در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد (۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر)، ۱۹/۸ درصد (۵۶۵۲/۵ در برابر ۴۵۳۰ کیلوگرم در هکتار) کاهش یافت (جدول ۳). اگرچه تلقیح قارچ ریشه توانست افت عملکرد دانه حاصل از تنش شوری را کاهش دهد، لکن حتی در این شرایط، روند کاهشی در عملکرد دانه با افزایش شوری مشاهده شد که می‌تواند به‌دلیل اثر تنش یونی و نیز اسمزی نمک محلول در خاک بر مهارکنندگی رشد ریسه قارچ باشد. نتایج همبستگی نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (r= ۰/۸۲**)، غلظت پتاسیم و (r=۰/۷۵**) و نسبت پتاسیم به سدیم (r=۰/۸۶**) وجود داشت (جدول ۶). این نتایج با مشاهدات سایر محققین مطابقت داشت (Fayaz & Zahedi, 2021).

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک جو به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی و برهم‌کنش شوری و قارچ‌ریشه در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). افزایش شوری باعث کاهش عملکرد بیولوژیک جو شد، به‌طوری‌که عملکرد بیولوژیک در تیمار بدون تلقیح و در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد (۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر)، ۱۰/۱ درصد کاهش یافت (جدول ۳). کاربرد قارچ‌ریشه در سطوح ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر با کاهش اثرات سوء تنش شوری توانست به ترتیب باعث افزایش ۱۲/۱، ۹/۴ و ۱۱/۰ درصدی عملکرد بیولوژیک در مقایسه با تیمار بدون تلقیح شود (جدول ۳). بررسی تغییرات عملکرد بیولوژیک راهکاری پایدار در روند بررسی واکنش گیاهان به تنش شوری است، زیرا اثر نهایی مجموعه عوامل فیزیولوژیکی که متأثر از شوری هستند، در وزن خشک اندام‌هوایی بروز می‌یابد (Farhoudi & Motamedi, 2017).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ٤- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، غلظت‌های سدیم و پتاسیم اندام‌هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم جو

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for antioxidant enzymes activity, Na^+ and K^+ concentrations of shoot and K^+/Na^+ ratio of barley

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	فعالیت پراکسیداز POD activity	فعالیت کاتالاز CAT activity	فعالیت سوپراکسیددیسموتاز SOD activity	غلظت پتاسیم اندام‌هوایی K^+ concentration of shoot	غلظت سدیم اندام‌هوایی Na^+ concentration of shoot	نسبت پتاسیم به سدیم K^+/Na^+ ratio
تکرار Replication	2	0.18	32.21	0.0000042	0.33	0.16	0.49
شوری Salinity (a)	3	0.48	2629.82**	0.0000731**	49.34*	3.08*	13.73**
بلوک × شوری a × block	6	0.50	51.43	0.0000485	5.93	0.75	2.03
قارچ Fungi (b)	1	0.49	0.37	0.0000015	38.03**	3.61*	20.48**
شوری × قارچ a × b	3	0.37	1433.20**	0.0000601**	20.41*	2.00*	2.47**
خطا Error	8	0.63	158.79	0.0000322	3.80	0.58	1.57
ضریب تغییرات CV (%)		18.09	17.71	14.20	13.40	13.00	15.88

* و **: بترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

*and **: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و تلقیح قارچ ریشه *Funneliformis mosseae* بر برخی صفات بیوشیمیایی جو

Table 5- Mean comparison for effects of salinity stress and *Funneliformis mosseae* fungi inoculation on some biochemical traits of barley

شوری Salinity	قارچ Fungi	فعالیت کاتالاز CAT activity (Ug^{-1} FW)	فعالیت سوپراکسیددیسموتاز SOD activity (Ug^{-1} FW)	غلظت پتاسیم اندام‌هوایی K^+ concentration of shoot ($mg.g^{-1}$)	غلظت سدیم اندام‌هوایی Na^+ concentration of shoot ($mg.g^{-1}$)	نسبت پتاسیم به سدیم K^+/Na^+ ratio
0.4	تلقیح شده Inoculated	27.48	0.0409	18.22	2.37	7.68
	بدون تلقیح Non-inoculated	3.33	0.0316	17.83	3.08	5.78
4	تلقیح شده Inoculated	75.66	0.0429	17.82	2.89	6.16
	بدون تلقیح Non-inoculated	51.29	0.0349	16.39	3.12	5.25
8	تلقیح شده Inoculated	58.95	0.0421	12.98	3.11	4.17
	بدون تلقیح Non-inoculated	49.40	0.0407	11.57	3.35	3.45
12	تلقیح شده Inoculated	50.69	0.0444	12.20	3.16	3.86
	بدون تلقیح Non-inoculated	46.93	0.0420	9.33	5.56	1.67
LSD (0.05)		13.72	0.0107	1.07	0.44	0.86

نشان می‌دهد که سطح معنی‌داری اختلاف میانگین ۰/۰۵ است.

Indicates that the significance level of the mean difference is 0.05.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پژوهشگران گزارش کردند که یون‌های سدیم و کلر در غلظت‌های بالای نمک باعث مسمومیت گیاه شده و فعالیت فتوسنتزی را مختل می‌نمایند. از این جهت، مواد غذایی لازم جهت رشد و نمو سلول‌ها فراهم نشده و رشد به‌کندی صورت می‌گیرد (Jabbarzadeh et al., 2009).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

نتایج نشان داد که اثر برهم‌کنش شوری و قارچ به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (به‌جز پراکسیداز) را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). تلقیح قارچ‌ریشه در مقایسه با تیمار بدون تلقیح باعث افزایش معنی‌دار ۱۹/۳، ۴۷/۵ و ۸/۰ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز به‌ترتیب در سطوح شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر شد (جدول ۵). همچنین، مشخص شد که با افزایش سطوح شوری میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز روند افزایشی داشت و بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۰/۰۴۰۹ واحد بر میلی‌گرم وزن تر) در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار تلقیح با قارچ‌ریشه مشاهده شد (جدول ۵). افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز جهت مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش (Bothe, 2012)، در سویا (Porcel et al., 2003)، ذرت (Sajedi et al., 2010) و ماش (Khan et al., 1997) تلقیح شده با گونه *گلوموس موسه‌آ* پیش از نیز گزارش شده است.

غلظت پتاسیم و سدیم اندام‌هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی شوری و قارچ و برهم‌کنش آن‌ها بر غلظت‌های پتاسیم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). افزایش غلظت شوری از ۰/۴ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار بدون تلقیح باعث کاهش ۴۷/۷ درصدی غلظت پتاسیم شد (جدول ۵). کاربرد قارچ با افزایش دسترسی گیاه به پتاسیم در مقایسه با تیمار بدون تلقیح باعث افزایش غلظت پتاسیم بافت گیاهی در سطوح شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب به‌میزان ۸/۷، ۱۲/۲ و ۳۰/۸ درصد شد (جدول ۵). بیشترین غلظت پتاسیم (۱۸/۲ میلی‌گرم در گرم) در تیمار بدون تنش شوری و تلقیح با قارچ‌ریشه به‌دست آمد (جدول ۵). پتاسیم نقش کلیدی در متابولیسم گیاهی داشته و با اثر بر روی فعالیت تعدادی از آنزیم‌ها، باز و بسته شدن روزنه‌ها و سنتز پروتئین نقش خود را ایفا می‌کند (Giri et al., 2007). تنش شوری از طریق ایجاد رقابت بین سدیم و پتاسیم برای اتصال به بسیاری از مکان‌های متنوع سلولی، میزان جذب سدیم را افزایش و در نتیجه، جذب پتاسیم را کاهش می‌دهد (Zamani et al., 2011). تلقیح بذر با قارچ از طریق هم‌افزایی دو عنصر فسفر و پتاسیم در زمان تلقیح، از طریق افزایش جذب فسفر، جذب پتاسیم را نیز افزایش می‌دهد (Gholamhoseini et al., 2013). پژوهشگران گزارش کردند که قارچ میکوریزا از طریق تعدیل اثرات مخرب تنش شوری، نقش مؤثری در افزایش جذب پتاسیم داشته و انتقال سدیم به اندام‌هوایی را کاهش می‌دهد (Giri et al., 2007).

بیشترین غلظت سدیم (۵/۶ میلی‌گرم در گرم) در تیمار بدون تلقیح و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۵). این در حالی است که تلقیح بذر با قارچ‌ریشه در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش ۴۳/۲ درصدی غلظت سدیم شد (جدول ۵). تلقیح بذر با قارچ‌ریشه از طریق افزایش غلظت پتاسیم و کاهش غلظت سدیم توانست نسبت پتاسیم به سدیم را در تمام سطوح شوری افزاش دهد (جدول ۵). بالاترین نسبت پتاسیم به سدیم (۷/۷) در تیمار تلقیح با قارچ‌ریشه و شوری ۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (جدول ۵). بطور کلی، تلقیح بذر با قارچ‌ریشه در بالاترین غلظت شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) باعث افزایش نسبت پتاسیم به سدیم به‌میزان ۱۳۱/۱ درصد در مقایسه با تیمار بدون تلقیح شد (جدول ۵). کاربرد قارچ ریشه از طریق کاهش اثرات سوء تنش شوری و جلوگیری از جذب و انتقال یون سدیم به اندام‌هوایی و همچنین، اثر بر بالانس یونی سیتوپلاسم و خروج یون سدیم از سلول، نقشی مؤثر در افزایش نسبت پتاسیم به سدیم بافت گیاهی داشت (Fayaz & Zahedi, 2021).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ٦- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و صفات بیوشیمیایی جو در شرایط تنش شوری

Table 6- Correlation coefficients between grain yield and biochemical traits of barley under salinity stress conditions

	عملکرد دانه Grain yield	فعالیت آنزیم سوپر-اکسیددیسموتاز Activity SOD	غلظت پتاسیم اندام هوایی K^+ concentration of shoot	غلظت سدیم اندام هوایی Na^+ concentration of shoot	نسبت پتاسیم به سدیم K^+/Na^+ ratio
عملکرد دانه Grain yield	1				
فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز SOD activity	0.82**	1			
غلظت پتاسیم اندام‌هوایی K^+ concentration of shoot	0.75**	0.08	1		
غلظت سدیم اندام‌هوایی Na^+ concentration of shoot	-0.46**	-0.33*	-0.10	1	
نسبت پتاسیم به سدیم K^+/Na^+ ratio	0.86**	0.17ns	0.63**	-0.68**	1

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصدو غیر معنی‌دار.

*, ** and ns: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and not significant, respectively.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطوح شوری ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در گیاه جو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تلقیح بذر با قارچ‌ریشه از طریق افزایش نسبت پتاسیم به سدیم و کاهش غلظت سدیم در مقایسه با بدون تلقیح توانست با تخفیف اثر تنش شوری، عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد قارچ‌ریشه به‌عنوان یک روش بیولوژیکی نقش مهمی در افزایش تحمل به شوری جو، از طریق بهبود سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی و ایجاد تعادل یونی داشت.

References

1. Abd El-Ghany, M.F., & Attia, M. (2020). Effect of exopolysaccharide-producing bacteria and melatonin on faba bean production in saline and non-saline soil. *Agronomy*, *10*(3), 316-325. https://doi.org/10.3390/agronomy10030316
2. Abdel-Fattah, G.M., & Asrar, A.W.A. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungal application to improve growth and tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in saline soil. *Acta Physiologiae Plantarum*, *34*(1), 267-277. https://doi.org/10.1007/s11738-011-0825-6
3. Abo-Ghalia, H.H., & Khalafallah, A.A. (2008). Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. *Journal of Applied Sciences Research*, *4*, 570-580.
4. Ahadi, S., Maroufi, A., Bahramnejad, B., & Siosemardeh, A. (2022). Effect of salinity stress and application of salisylic acid on expression of TaSC and TaNIP genes in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Iranian *Journal of Crop Sciences*, *24*(1), 50-63. (In Persian with English Summary)
5. Al-Karaki, G., McMichael, B.Z.A.K.J., & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, *14*(4), 263-269. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.02.020
6. Banaei, M.H., Moameni, A., Baybordi, M., & Malakouti, M.J. (2004). Iran Soils: New transformations in the identification, management and operation. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. (in Persian)
7. Beauchamp, C., & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, *44*(1), 276-287. https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8
8. Behl, R.K., Sharma, H., Kumar, V., & Singh, K.P. (2003). Effect of dual inoculation of VA mycorrhiza and *Azotobacter chroococcum* on above flag leaf characters in wheat. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *49*(1), 25-31. https://doi.org/10.1080/03650340301497
9. Borzouei, A., Kafi, M., Khazaei, H.R., & Shalmani, M.M. (2012). Effect of irrigation water salinity on root traits

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

of two salt-sensitive and salt-tolerant wheat cultivars and its relationship with yield in greenhouse. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *2*(8), 95-107. (In Persian with English Summary)

10. Bothe, H. (2012). Arbuscular mycorrhiza and salt tolerance of plants. *Symbiosis*, *58*(1-3), 7-16.
11. Chance, B., & Maehly, A.C. (1995). Assay of catalase and peroxidase. *Methods Enzymology*, *2*, 764-765. https://doi.org/10.1002/9780470110171.ch14
12. Colmer, T.D., Munns, R., & Flowers, T.J. (2006). Improving salt tolerance of wheat and barley: Future prospects. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *45*(11), 1425-1443. https://doi.org/10.1071/EA04162
13. Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P., & Thorpe, T.A. (1981). Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, *32*(1), 93-101. https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93
14. Farhoudi, R., & Motamedi, M. (2017). Assessing physiological characteristics and dry matter of two mung bean genotypes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *27*(3), 73-86. ((In Persian with English Summary))
15. Fayaz, F., & Zahedi, M. (2021). Beneficial effects of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat (*Triticum aestivum* L.) nutritional status and tolerance indices under soil salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, *45*(2), 185-201. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1952228
16. Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). The FAOSTAT Database. Available at Web site http://faostat.fao.org/default.aspx (verified 21 May 2022).
17. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., & Khodaei-Joghan, A. (2013). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management*, *117*, 106-114. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.007
18. Gholinezhad, E., & Darvishzadeh, R. (2015). Effect of mycorrhizal fungi on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *25*(3), 119-135. (in Persian) https://doi.org/10.22067/GSC.V15I1.49403
19. Giri, B., & Mukerji, K.G. (2004). Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptica* and *Sesbania gradiflora* under field condition: Evidenced for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhizal*, *14*, 307-312. https://doi.org/10.1007/s00572-003-0274-1
20. Giri, B., Kapoor, R., & Mukerji, K.G. (2007). Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. *Microbial Ecology*, *54*, 753–760. https://doi.org/10.1007/s00248-007-9239-9
21. Habibi, S., Meskarbashee, M., & Farzaneh, M. (2015). Effect of mycorrhizal fungus (*Glomus* spp.) on wheat (*Triticum aestivum*). yield and yield components with regard to irrigation water quality. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(3), 471-484. (In Persian with English Summary) ,https://doi.org/10.22067/GSC.V13I3.51155
22. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (2004). Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. (7th Ed.). Pretice Hall, New Jersey.
23. Horneck, D.A., & Hanson, D. (1997). Determination of potassium and sodium by flame emission spectrophotometry. In Y. Kalra (Ed.). Handbook of reference methods for plant analysis. CRC Press, USA. p. 158-160.
24. Hosseini, E., Zarei, M., Sepehri, M., & Safarzadeh, S. (2021). Do bagasse biochar and microbial inoculants positively affect barley grain yield and nutrients, and microbial activity?. *Journal of Plant Nutrition*, *45*(4), 522-539. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1952229
25. Huang, Z., He, C.X., He, Z.Q., Zou, Z.R., & Zhang, Z.B. (2010). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxyradical scavenging system of tomato under salt tolerance. *Agricultural Sciences in China*, *9*(8), 1150-1159. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60202-9
26. Jabbarzadeh, Z., Khosh-Khui, M., & Salehi, H. (2009). The effect of foliar-applied salicylic acid on flowering of African violet. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *3*(4), 4693-4696.
27. Jamshidi, E., Ghalavand, A., Salehi, A., Zare, M.J., & Jamshidi, A.R. (2009). Effect of Arbuscular mycorrhizal on

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *11*(2), 136-150. ((In Persian with English Summary))

28. Jerbi, M., Labidi, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Dalpé, Y., Lounès-Hadj Sahraoui, A., & Ben Jeddi, F. (2022b). Contribution of native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi in improving the physiological and biochemical response of Hulless barley (*Hordeum vulgare* ssp. *nudum* L.) to drought. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*, 2187–2204. https://doi.org/10.1007/s42729-022-00802-2
29. Jerbi, M., Labidi, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Jeddi, F.B., & Sahraoui, A.L.H. (2022a). Mycorrhizal biofertilization improves grain yield and quality of hulless barley (*Hordeum vulgare* ssp. *nudum* L.) under water stress conditions. *Journal of Cereal Science*, *104*, 103436. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103436
30. Khajehpour, M.R. (2014). Cereal crops. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (in Persian)
31. Khan, M.S.A., Hamid, A., & Karim, M.A. (1997). Effect of sodium chloride on germination and seedling characteristics of different types of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, *179*(3), 163-169. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1997.tb00512.x
32. Maas, E.V., & Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, *103*(2), 115-134. https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001137
33. Mahlooji, M. (2022). Effects of salinity stress and zinc application on some physiological traits in grain filling of three barley cultivars. *Journal of Plant Process and Function*, *11*(48), 211-227. ((In Persian with English Summary)) http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1573-en.html
34. Mashi, A., Galeshi, S., Zainali, E., & Noorinia, A. (2008). Salinity effect on seed yield and yield components in four Hull-les barley. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, *14*(5), 363-373.
35. Moradmand, M., Naderi, M., Mahlooji, M., & Rostami, A. (2010). Comparison of elite barley lines and cultivars under water saline condition in Isfahan region. *New Finding in Agriculture*, *4*(2), 179-191. ((In Persian with English Summary))
36. Munns, R., & Termaat, A. (1986). Whole-plant responses to salinity. *Functional Plant Biology*, *13*(1), 143-160. https://doi.org/10.1071/PP9860143
37. Mustafa, G., Akhtar, M.S., & Abdullah, R. (2019). Global concern for salinity on various agro-ecosystems. In M. Akhtar, (Ed.). Salt stress, microbes, and plant interactions: Causes and solution. Springer, Singapore. p. 1-19.
38. Porcel, R., Barea, J.M., & Ruiz-Lozano, J.M. (2003). Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence. *New Phytologist*, *157*(1), 135-143. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00658.x
39. Raei, Y., Shariati, J., & Weisany, W. (2015). Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *25*(1), 65-84. ((In Persian with English Summary))
40. Ranjbar, G.H., Pirasteh, A.H., Emam, Y., & Hosseinzadeh, S.H. (2013). Effect of salinity on different growth stages of wheat, cv. Roshan. *Crop Production in Environmental Stress*, *5*(1), 23-31. ((In Persian with English Summary))
41. Saadeghi-Azar, L., Madah Hoseini, S., Rahimi, A., & Mohammadi Mirik, A.A. (2013). Effect of salinity stress on some germination and vegetative growth indices of lentil genotypes. *Journal of Crops Improvement*, *15*(4), 107-117. ((In Persian with English Summary)) https://doi.org/10.22059/jci.2013.51370
42. Sajedi, N.A., Ardakani, M.R., Rejali, F., Mohabbati, F., & Miransari, M. (2010). Yield and yield components of hybrid corn (*Zea mays* L.) as affected by mycorrhizal symbiosis and zinc sulfate under drought stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *16*(4), 343-351. https://doi.org/10.1007/s12298-010-0035-5
43. Salehi, M., & Arzani, A. (2011). Effect of salinity stress on morpho-physiological traits of triticale lines. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *13*(4), 697-711. ((In Persian with English Summary))
44. Saxena, J., Chandra, S., & Nain, L. (2013). Synergistic effect of phosphate solubilizing rhizobacteria and arbuscular mycorrhiza on growth and yield of wheat plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *13*(2),

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

511-525. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000040

45. Shabani, A., Sepaskhah, A.R., & Kamgar, H.A. (2013). Responses of agronomic components of rapeseed (*Brassica napus* L.) as influenced by deficit irrigation, water salinity and planting method. *International Journal of Plant Production*, *7*(2), 313-340. ((In Persian with English Summary))
46. Smith, S.E., & Read, D.J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis. (3th ed.). Academic, London.
47. Sobhani, M., & Majidian, M. (2014). Evaluation of different salinity stress and plant densities effects on quantitative and qualitative forage and grain yields of kochia in Arak region. *Journal of Plant Production Research*, *21*(1), 91-110. ((In Persian with English Summary))
48. Surendran, U., & Vani, D. (2013). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane productivity under semiarid tropical agroecosystem in India. *International Journal of Plant Production*, *7*(2), 269-277. https://doi.org/10.22069/IJPP.2012.986
49. Vashev, B., Gaiser, T., Ghawana, T., de Vries, A., & Stahr, K. (2010). Biosafor Project Deliv- erable 9: Cropping Potentials for Saline Areas in India, Pakistan and Bangladesh. University of Hohenheim, Hohenheim, Germany.
50. Walia, H., Wilson, C., Wahid, A., Condamine, P., Cui, X., & Close, T.J. (2006). Expression analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) during salinity stress. *Functional and Integrative Genomics*, *6*(2), 143. https://doi.org/10.1007/s10142-005-0013-0
51. Wang, J., Yuan, J., Ren, Q., Zhang, B., Zhang, J., Huang, R., & Wang, G.G. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced salt tolerance of *Gleditsia sinensis* by modulating antioxidant activity, ion balance and P/N ratio. *Plant Growth Regulation*, *97*(1), 33-49. https://doi.org/10.1007/s10725-021-00792-8
52. Yadav, N.S., Shukla, P., Jha, A.K., Agarwal, P., & Jha, B. (2012). The *SbSOS1* gene from the extreme halophyte *Salicornia brachiata* enhances Na^+ loading in xylem and confers salt tolerance in transgenic tobacco. *BMC Plant Biology*, *12*(1), 188. https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-188
53. Zamani, S., Neza, M. T., Bybordi, A., Behdad, M., Behdad, M., & Khorshidi, B. (2011). Effect of different NaCl salinity on antioxidant enzyme activity and relative water in winter canola (*Brassica napus* L.). *Agricultural Science Research*, *7*, 49-57.
54. Zarei, M., Saleh-Rastin, N., Jouzani, G.S., Savaghebi, G., & Buscot, F. (2008). Arbuscular mycorrhizal abundance in contaminated soils around a zinc and lead deposit. *European Journal of Soil Biology*, *44*(4), 381-391. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.06.004

Archive of SID.ir