



Improvement of salinity stress tolerance in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) under the influence of symbiotic endophytic fungi

Reza Mohammadi

Assoc. Prof., Branch for Northwest & West region, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran.

Email: r.mohammadi@abrii.ac.ir;

Received: 17/05/2025

Revised: 11/06/2025

Accepted: 15/07/2025

Abstract

Background and Objectives: Tall fescue (*Festuca arundinacea*) is one of the most important grass species, widely used for forage production, soil conservation, and turf construction. It forms a symbiotic relationship with endophytic fungi of the genus *Epichloë* (Neotyphodium = *Acremonium*), which enhance the host plant's tolerance to biotic and abiotic stresses. This study aimed to investigate the role of symbiotic endophytic fungi in improving tall fescue tolerance to salt stress under hydroponic conditions.

Materials and Methods: To evaluate the effect of endophytic fungi on salt stress tolerance, endophyte-infected plants were first identified using rose bengal staining and propagated by tiller division. Half of the tillers were treated with fungicides (propiconazole and Folikor) to generate endophyte-free controls. Both endophyte-infected and endophyte-free clones were transferred to hydroponic culture containing Johnson's nutrient solution at half strength. After establishment, salinity treatments were applied gradually in three stages to avoid osmotic shock. A factorial experiment based on a completely randomized design with three replications was conducted, with factor A being the presence or absence of endophytic fungi and factor B being salinity stress at four levels (control, 0.5%, 1%, and 1.5% NaCl). One month after salt treatments, data were collected on tiller number, leaf length, shoot fresh and dry weight, root length, root fresh and dry weight, crown fresh weight per plant, and shoot-to-root dry weight ratio. Data were analyzed using ANOVA, followed by LSD test to compare the means of treatment.

Results: Analysis of variance indicated that endophytic fungi significantly affected tiller number, shoot and root fresh and dry weight, crown fresh weight, and shoot-to-root dry weight ratio ($P < 0.01$), and root length ($P < 0.05$), but had no significant effect on leaf length. Salinity significantly influenced all traits except shoot-to-root dry weight ratio ($P < 0.01$). The interaction between endophyte presence and salinity was significant only for root dry weight ($P < 0.05$). Endophyte-infected plants exhibited improved traits compared to endophyte-free clones; for example, shoot dry weight was 1.14 g/plant in infected plants versus 0.70 g/plant in endophyte-free plants, representing a 1.5-fold increase. Root dry weight increased from 0.14 g/plant in endophyte-free to 0.36 g/plant in infected plants, a two-fold increase. Mean comparisons under different salinity levels indicated that tall fescue tolerated 0.5% NaCl well, but higher concentrations caused significant reductions in all traits. Shoot fresh weight decreased from 38.7 g/plant (control) to 26.1 g/plant (1.5% NaCl), and root fresh weight decreased from 5.46 g/plant (0.5% NaCl) to 1.87 g/plant (1.5% NaCl), a nearly threefold reduction. The endophyte \times salinity interaction revealed



that under high salinity, endophyte-infected plants maintained significantly higher root dry weight than endophyte-free plants (0.34 g/plant vs. 0.11 g/plant at 1% NaCl), indicating enhanced rooting capacity under stress.

Conclusion: Endophyte-infected tall fescue plants demonstrated improved tolerance to salt stress. The use of endophyte-infected tall fescue can enhance the sustainability of forage yield in areas with moderately saline soils and water.

Key words: Salinity stress, root, tall fescue, symbiotic association, endophyte.

بهبود تحمل تنش شوری در فسکیوی بلند (*Festuca arundinacea* Schreb.) تحت تأثیر قارچ‌های اندوفیت همزیست

رضا محمدی

دانشیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی شمال غرب و غرب کشور، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.

پست الکترونیک: r.mohammadi@abrii.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: گیاه فسکیوی بلند از مهمترین گونه‌های جنس فستوکا می‌باشد که به منظور تولید علوفه، حفاظت خاک و احداث چمن استفاده می‌شود. فسکیوی بلند با قارچ‌های اندوفیت متعلق به جنس *Epichloë (Neotyphodium=Acremonium)* رابطه همزیستی برقرار می‌کند. قارچ‌های اندوفیت به عنوان یک عامل بیولوژیکی باعث افزایش تحمل گیاه میزبان در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شوند. هدف از این تحقیق، بررسی نقش قارچ‌های اندوفیت همزیست در بهبود تحمل فسکیوی بلند در برابر تنش شوری در شرایط کشت هیدروپونیک بود.

مواد و روش‌ها: برای بررسی اثر قارچ اندوفیت در بهبود تحمل تنش شوری گیاه فسکیوی بلند، ابتدا گیاه حاوی قارچ اندوفیت با رنگ آمیزی رنگ رزبنگال شناسایی و با تقسیم پنجه‌ها تکثیر شده و نیمی از پنجه‌ها با استفاده از قارچ‌کش‌های پروبیکونازول و فولیکور عاری از قارچ اندوفیت گردیدند. پنجه‌های جدید از کلون‌های حاوی قارچ اندوفیت و کلون‌های عاری از قارچ پس از رشد مناسب به محیط کشت هیدروپونیک حاوی محلول غذایی جانسون با نصف غلظت منتقل شدند. پس از استقرار گیاهان در شرایط کشت هیدروپونیک، تیمارهای شوری اعمال شد. برای جلوگیری از وارد آمدن فشار اسمزی مقدار نمک تعیین شده برای هر تیمار به تدریج و در سه مرحله به محیط کشت هیدروپونیک اضافه گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد که فاکتور اول وجود و عدم وجود قارچ اندوفیت و فاکتور دوم تنش شوری شامل ۴ سطح شوری نمک NaCl (شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد) بود. یک ماه پس از اعمال تنش شوری، صفات تعداد پنجه، طول برگ، وزن تر و خشک بخش هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر طوقه در واحد بوته و نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه اندازه‌گیری شدند. داده‌ها مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند و میانگین تیمارها به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) مقایسه شدند.

نتایج: براساس تجزیه واریانس داده‌ها، اثر قارچ اندوفیت بر روی صفات تعداد پنجه، وزن تر و خشک بخش هوایی، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر طوقه و نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه (ضریب آلومتری) در سطح احتمال یک درصد و برای طول ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، ولی برای طول برگ غیر معنی‌دار بود. همچنین اثر تیمارهای شوری بر روی همه صفات به جز نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل قارچ اندوفیت و تنش شوری فقط برای وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین صفات حکایت از بهبود صفات در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت نسبت به گیاهان عاری از قارچ بود. برای نمونه، وزن خشک بخش هوایی در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت ۱/۱۴ گرم و در گیاهان عاری از قارچ اندوفیت ۰/۷۰ گرم در بوته به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش بیش از ۱/۵ برابری آن در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت نسبت به گیاهان عاری از قارچ بود. وزن خشک ریشه در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت ۰/۳۶ گرم در بوته و در گیاهان عاری از قارچ اندوفیت ۰/۱۴ گرم در بوته به دست آمده است که افزایش بیش از ۲ برابری وزن خشک ریشه در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت را نشان داد. مقایسه میانگین صفات در تیمارهای مختلف تنش شوری نشان داد که گیاه فسکیوی بلند شوری ۰/۵ درصد را به خوبی تحمل می‌کند و شوری تا این سطح تأثیر محسوسی روی گیاه نمی‌گذارد ولی با افزایش غلظت نمک، میزان کاهش در همه صفات

معنی دار بود. وزن تر بخش هوایی گیاه از ۷/۳۸ گرم در تیمار شاهد به ۱/۲۶ گرم در تیمار ۱/۵ درصد نمک رسید. وزن تر ریشه از ۵/۴۶ گرم در تیمار ۰/۵ درصد به ۱/۸۷ گرم در تیمار ۱/۵ درصد کاهش پیدا کرد، این مقدار کاهش نزدیک سه برابر می‌باشد. مقایسه میانگین اثرهای متقابل شوری و قارچ اندوفیت نشان داد که تفاوت صفات بین گیاهان حاوی قارچ و عاری از قارچ در تنش‌های بالا، قابل ملاحظه می‌باشد. در تیمار شوری یک درصد وزن خشک ریشه‌ها در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت ۰/۳۴ گرم و در گیاهان عاری از قارچ ۰/۱۱ گرم بود که نشان‌دهنده حفظ قدرت ریشه‌زایی در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت در تنش شوری است. نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که گیاه فسکیوی بلند که حاوی قارچ اندوفیت همزیست باشد شرایط تنش شوری را به خوبی تحمل می‌کند. با استفاده از رابطه همزیستی قارچ‌های اندوفایت با فسکیوی بلند می‌توان پایداری عملکرد علوفه فستوکا را در مناطقی که آب و خاک با شوری متوسط دارند بهبود داد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، ریشه، فسکیوی بلند، رابطه همزیستی، اندوفیت

مقدمه

تخمین زده می‌شود که بیش از یک میلیون گونه قارچ اندوفیت در طبیعت وجود داشته باشد. با وجود این، شناخت ما از تنوع و کارکرد اندوفیت‌ها در حال حاضر محدود است. اندوفیت‌ها می‌توانند مواد شیمیایی زیست فعال مختلفی تولید کنند. بنابراین، قارچ‌های اندوفیت، به عنوان یکی از اجزای مهم اکوسیستم‌های طبیعی، می‌توانند نقش کلیدی در طبیعت ایفا کنند (Sun and Guo, 2012). قارچ‌های اندوفیت از جنس *Epichloë* (*Neotyphodium*=*Acremonium*) با اغلب گراس‌های سردسیری رابطه همزیستی برقرار می‌کنند. گونه فسکیوی بلند (*Festuca arundinacea* Schreb.) از گونه‌های مهم علوفه‌ای-مرتعی می‌باشد که به‌عنوان میزبان قارچ‌های اندوفیت شناخته شده است.

قارچ‌های اندوفیت همزیست گراس‌ها بذرزاد می‌باشند، میسلیوم‌های قارچ با جوانه زدن بذر وارد گیاهچه شده و در داخل غلاف برگ، بافت برگ گیاه جوان و پنجه‌های جدید توسعه می‌یابند. در نهایت از طریق ساقه گل‌دهنده وارد بذر شده و به نسل بعد منتقل می‌شوند (Malinowski and Belesky, 2019; Bacon and White, 1994). قارچ‌های اندوفیت به‌عنوان یک عامل بیولوژیکی باعث افزایش تحمل گیاه میزبان در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌گردند (Liu-Xu et al, 2022; Lee et al, 2021). این قارچ‌ها با تأثیر بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان

میزبان، باعث بهبود رشد و افزایش پایداری آنها می‌شوند (Mohammadi and Mirlohi, Vandana et al, 2024) آثار مهم قارچ‌های اندوفیت شامل افزایش مقاومت در برابر حمله آفات، نماتدها و برخی بیماری‌های گیاهبست (Kimmons et al, 1990; Xia et al, 2018; Mohammadi et al, 2024). قارچ‌های اندوفیت به دلیل تولید آلكالوئیدهای مختلف در گیاهان میزبان آنها را در برابر آفات مختلف حفاظت می‌کنند (Krauss et al, 2020).

علاقه فزاینده‌ای به درک نقش ریز موجودات همزیست در سازگاری فنوتیپی گیاه با تنش‌های محیطی وجود دارد. با توجه به تغییرات اقلیمی جهانی، همزیست‌های میکروبی برای گیاهان نقش اساسی برای مواجهه با شرایط تنش‌زای جدید، ایفا خواهند کرد (Decunata et al, 2021). قارچ‌های اندوفیت نقش مهمی در افزایش مقاومت علف‌های میزبان در برابر تنش شوری دارند. این قارچ‌های همزیست با تأثیر بر خواص خاک، جوامع میکروبی و پاسخ‌های فیزیولوژیکی، به گراس‌ها در مقابله با شرایط سخت محیطی کمک می‌کنند. اندوفیت‌های قارچی می‌توانند تنوع میکروبی خاک را تغییر دهند و باکتری‌ها و قارچ‌های مفیدی را که از سلامت گیاه در شرایط شور حمایت می‌کنند، غنی سازند (Wang et al, 2025). آنها در تنظیم اسمزی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و عملکرد آنزیم‌ها نقش دارند و به علف‌ها کمک می‌کنند تا با وجود غلظت بالای نمک، پایداری سلولی و رشد خود را حفظ کنند (Shankar Naik, 2019).

([Nihsen et al., 2004](#); [Gunter et al., 2004](#)).

فسکیوی بلند از مهمترین گونه‌های جنس فستوکا می‌باشد که به منظور تولید علوفه، حفاظت خاک و احداث چمن به کار می‌رود. در ایران فسکیوی بلند به طور طبیعی در مراتع شمالی، مرکزی و غربی رویش داشته و در تولید علوفه و حفاظت از خاک نقش ایفا می‌کند. کشت این گیاه در ایران به صورت زراعی متداول نشده است اما از ظرفیت بالایی برای تولید علوفه به صورت زراعی و مرتعی برخوردار است ([Mohammadi et al., 2009](#)). تنش‌های خشکی و شوری از مهمترین عوامل محیطی محدود کننده در بهره‌وری از زیست-بوم‌های طبیعی و زراعی در کشور می‌باشند. بنابراین در این تحقیق اثر قارچ‌های اندوفیت همزیست بومی در بهبود تحمل فسکیوی بلند در برابر تنش شوری در شرایط کشت هیدروپونیک بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

بذر گیاه فسکیوی بلند مورد مطالعه از منطقه فریمان استان خراسان رضوی جمع‌آوری شده است. این تحقیق در پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی منطقه شمال غرب کشور واقع در تبریز در سال ۱۴۰۲ انجام شد. روش رنگ‌آمیزی با رنگ رزبنگال ([Saha, et al., 1998](#)) برای شناسایی بذرها و گیاهان حاوی قارچ اندوفیت استفاده شد (شکل ۱). قارچ اندوفیت همزیست شناسایی شده با نام علمی (*Epichloë coenophiala*, previously known as *Neotyphodium coenophialum*) بود که به طور طبیعی با گیاه فسکیوی بلند رابطه همزیستی دارد. تکثیر گیاهان حاوی قارچ اندوفیت از طریق غیرجنسی (تقسیم کلونی) انجام شد. بخشی از کلون‌ها با استفاده از محلول دو نوع قارچ‌کش شامل پروبیکونازول به مقدار دو میلی‌لیتر در لیتر و فولیکور به میزان یک میلی‌لیتر در لیتر و اسپری کردن دوبار در یک هفته عاری از قارچ گردیدند ([Mohammadi, 2025](#)). بعد از سه ماه پنجه‌های جدید با رنگ‌آمیزی رزبنگال بررسی شده و پس از اطمینان از حذف کامل قارچ اندوفیت از گیاهان تیمار شده، پنجه‌های جدید از گیاهان حاوی اندوفیت و بدون اندوفیت انتخاب شدند.

تغییر محتوای مواد مغذی خاک و تعاملات میکروبی، اندوفیت‌ها شرایط خاک را بهبود می‌بخشند و آن را برای بقای گیاه در محیط‌های شور مساعدتر می‌کنند. این قارچ‌ها کاربردهای امیدوارکننده‌ای برای کشاورزی پایدار، به ویژه در مناطقی که تحت تأثیر شوری خاک قرار دارند، ارائه می‌دهند ([Wang et al., 2020](#)). در رابطه با نقش قارچ‌های اندوفیت در افزایش مقاومت گیاهان میزبان در برابر تنش‌های محیطی تحقیقات زیادی انجام شده است ولی بیشتر این تحقیقات بر روی تنش خشکی متمرکز بوده است و اثر این قارچ‌ها در تنش شوری کمتر مطالعه شده است ([Liu-Xu et al., 2022](#)).

گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد گیاهان حاوی قارچ اندوفیت در دام‌هایی که به طور مداوم از این گیاهان تغذیه می‌کنند مسمومیت ایجاد می‌کند. از این رو، مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده و مشخص کرده‌اند که آلکالوئیدهای متنوعی در رابطه همزیستی قارچ‌های اندوفیت با گراس‌ها تولید می‌شوند که برخی از آنها خاصیت آفت‌کشی دارند و برخی دیگر باعث مسمومیت در دام‌ها می‌شوند. برای نمونه، آلکالوئیدهای پایرولیزیدین شامل N-استیل لولین و N فرمیل لولین، پایرولولوپیرازین، ارگوپیتین و پیرامین ترکیباتی هستند که در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت تولید شده و باعث بازدارندگی تغذیه حشرات در گیاهان میزبان می‌شوند ([Krauss et al., 2020](#)). ولی آلکالوئیدهای ارگوالین و لولیترم B باعث ایجاد مسمومیت در دام‌های تغذیه‌کننده از گیاهان حاوی قارچ می‌شود. اندوفیت‌ها تنوع زیادی از نظر تولید آلکالوئید دارند و ژنوتیپ‌هایی شناسایی شده‌اند که حاوی آلکالوئیدهای مؤثر بر حشرات بوده ولی آلکالوئیدهای مسموم‌کننده برای دام‌ها را تولید نمی‌کنند. در قارچ‌های اندوفیت بومی شناسایی شده در ایران نیز تنوع در تولید انواع آلکالوئید مشاهده شده است ([Sobhani Najafabadi, et al., 2010](#)). قارچ‌های اندوفیت که آلکالوئیدهای مسموم‌کننده برای دام‌ها تولید نمی‌کنند ولی اثر مفید آنها بر روی گیاهان میزبان مشهود است با عنوان اندوفیت جدید (Novel endophyte) معرفی شده‌اند. در حال حاضر ارقام فسکیوی-بلند که حاوی این اندوفیت‌های جدید هستند استفاده می‌شوند

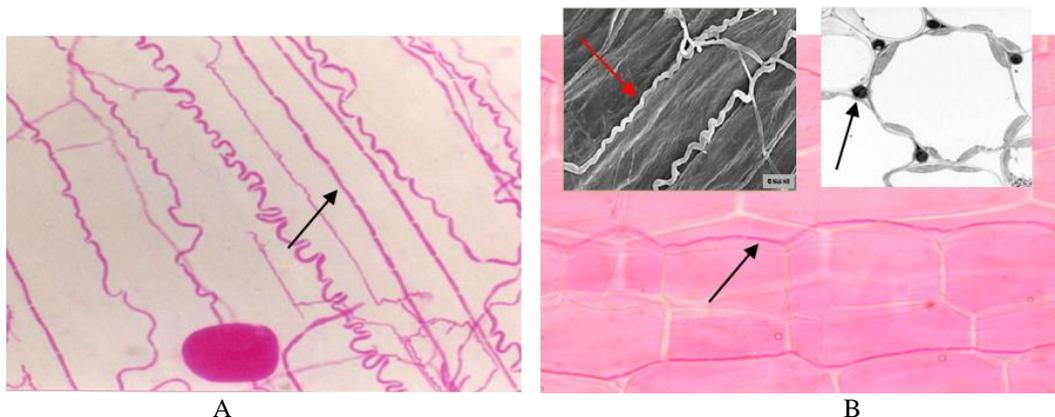
مقدار نمک تعیین شده برای هر تیمار به تدریج و در ۳ مرحله به ظروف اضافه گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای این آزمایش شامل ۴ سطح شوری نمک NaCl (شاهد، ۰/۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد) و وجود و عدم وجود قارچ اندوفیت بود. هدایت الکتریکی (EC) تیمارها (۰/۵ درصد نمک = ۱۰/۲۳ دسی زیمنس بر متر، ۱ درصد نمک = ۱۷/۸۸ دسی زیمنس بر متر، ۱/۵ درصد = ۲۶/۸ دسی زیمنس بر متر) بود (Mirmohammady Maibody and Ghaeyazie, 2002).

محلول غذایی هر ظرف در هر ۱۵ روز یکبار تعویض گردید. پس از گذشت یک ماه از اعمال تیمارهای شوری، زمانی که گیاهان شاهد (عاری از قارچ) در تیمار شوری ۱/۵ درصد در حال از بین رفتن بودند، اندازه‌گیری صفات بر روی گیاهان شروع شد. صفات مورد اندازه‌گیری شامل تعداد پنجه، طول برگ، وزن تر و خشک بخش هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر طوقه و نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه (ضریب آلومتری) بودند. داده‌های به دست آمده وارد نرم‌افزار EXCEL شدند. برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

برای بررسی تأثیر قارچ اندوفیت همزیست در افزایش تحمل به شوری گیاه فسکیوی بلند، پنجه‌های تازه از کلون های حاوی اندوفیت و کلون‌های عاری از قارچ اندوفیت تکثیر شده و در گلدان‌های مجزا کشت شدند و پس از رشد مناسب، گیاهان در اندازه‌های مساوی از نظر تعداد پنجه و وزن گیاهچه جدا شده و به ظروف حاوی محیط کشت هیدروپونیک انتقال یافتند. در سیستم هیدروپونیک از محلول غذایی جانسون (Johnson et al., 1957) به صورت نیمه غلظت استفاده شد (جدول ۱). برای اینکه همه تیمارها در هر تکرار در شرایط یکسان اعمال شود، از ظروف ۱۷ لیتری استفاده شد. هوادهی محلول غذایی به مدت ۳۰ دقیقه در هر دو ساعت به وسیله پمپ هوا انجام گردید. ظروف پس از کشت به داخل فیتوترون منتقل شدند. دمای فیتوترون ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت ۷۰٪ و طول روز ۱۶ ساعت در نظر گرفته شد (شکل ۲).

اعمال تیمارهای شوری

پس از اینکه گیاهان حاوی قارچ اندوفیت و عاری از قارچ اندوفیت در شرایط هیدروپونیک و محلول غذایی جانسون مستقر شدند، پس از گذشت ۱۰ روز تیمارهای شوری اعمال شد. برای جلوگیری از وارد آمدن فشار اسمزی



شکل ۱- مشاهده میکروسکوپی (A) میسلیوم‌های قارچ اندوفیت در بذر حاوی قارچ اندوفیت و (B) غلاف برگ گیاه حاوی قارچ اندوفیت فسکیوی-

بلند با روش رنگ آمیزی رزبنگال

Figure 1. Microscopic observation of A) Endophytic fungus mycelium in endophyte-infected seeds (left) and B) the leaf sheath of endophyte-infected plants (right) tall fescue using the Rose Bengal staining method.

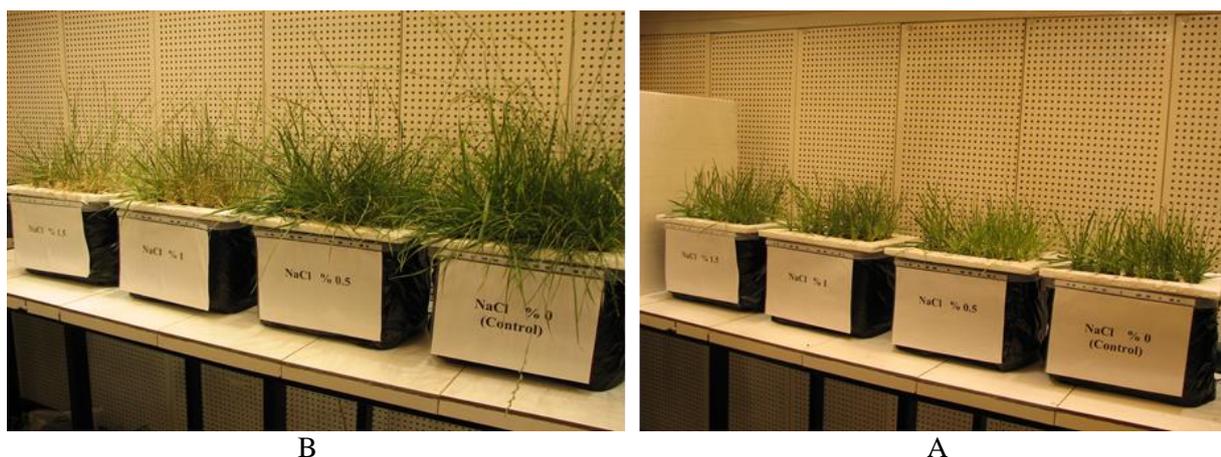
جدول ۱- اجزای مغذی و ریزمغذی محلول غذایی جانسون مورد استفاده در کشت هیدروپونیک

Table 1. Nutrient and micronutrient components of Johnson's nutrient solution used in hydroponic culture

Compounds	Molecular weight (MW)	Concentration of stock solution (M)	Concentration of stock solution (g/l)	Volume of stock Solution (ml)	Element
Major nutrients					
KNO ₃	101.1	1.00	101.1	3.0	N, K
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	236.2	1.00	236.2	2.0	Ca
NH ₄ H ₂ PO ₄	115.1	1.00	115.1	1.0	P
MgSO ₄ +7H ₂ O	246.5	1.00	246.5	0.5	S, Mg
Minor nutrients					
KCl	74.5	50 #	3.750	1.0	Cl
H ₃ BO ₃	61.8	25	1.550	1.0	B
MnSO ₄ . H ₂ O	169.0	2.0	0.338	1.0	Mn
ZnSO ₄ + 7H ₂ O	287.5	2.0	0.575	1.0	Zn
CuSO ₄ +5H ₂ O	249.7	0.5	0.125	1.0	Cu
H ₂ MoO ₄	162.0	0.5	0.081	1.0	Mo
Fe-EDTA	346.1	20	6.920	1.0	Fe

Micronutrient concentrations are presented in mM (millimolar).

غلظت‌های عناصر کم مصرف برحسب (mM میلی مولار) است.



شکل ۲- گیاهان فسکیوی بلند حاوی قارچ اندوفیت و عاری از قارچ اندوفیت در شرایط هیدروپونیک، (A) شاهد بدون شوری و (B) پس از اعمال تیمارهای شوری

Figure 2. Endophyte-infected and endophyte-free tall fescue plants under hydroponic conditions A) before applying salinity stress treatments and B) after applying salinity stress treatments.

نتایج

شد، ولی برای طول برگ غیر معنی‌دار بود. همچنین اثر تیمارهای شوری بر روی همه صفات به جز نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل قارچ اندوفیت و تنش شوری فقط برای وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار و برای سایر صفات غیر معنی‌دار گردید (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر قارچ اندوفیت بر صفات تعداد پنجه، وزن تر و خشک بخش هوایی، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر طوقه و نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه (ضریب آلومتری) در سطح احتمال یک درصد و برای طول ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف گیاهان فسکیوی بلند حاوی قارچ و عاری از قارچ اندوفیت در تنش شوری

در شرایط هیدروپونیک

Table 2: Analysis of variance (ANOVA) of different traits of endophyte-infected and endophyte-free tall fescue plants under salinity stress in hydroponic conditions

Sources	DF	MS								
		Tiller number	Leaf length	Shoot Fresh weight	Shoot dry weight	Root length	Root fresh weight	Root dry weight	Crown fresh weight	S/R
Endophyte(E)	1	181.50**	0.66	25.27**	1.17**	150.00*	51.48**	0.28**	17.90**	22.91**
Salinity (S)	3	55.00**	269.00**	46.00**	0.74**	468.11**	14.24**	0.05**	8.79**	4.31
E x S	3	9.61	6.77	2.83	0.09	32.33	4.34	0.02*	1.39	0.32
Error	16	9.99	11.28	1.77	0.05	17.83	1.16	0.005	0.75	1.58
CV %	-	27.48	9.20	32.92	25.89	13.77	29.24	27.20	13.68	29.83

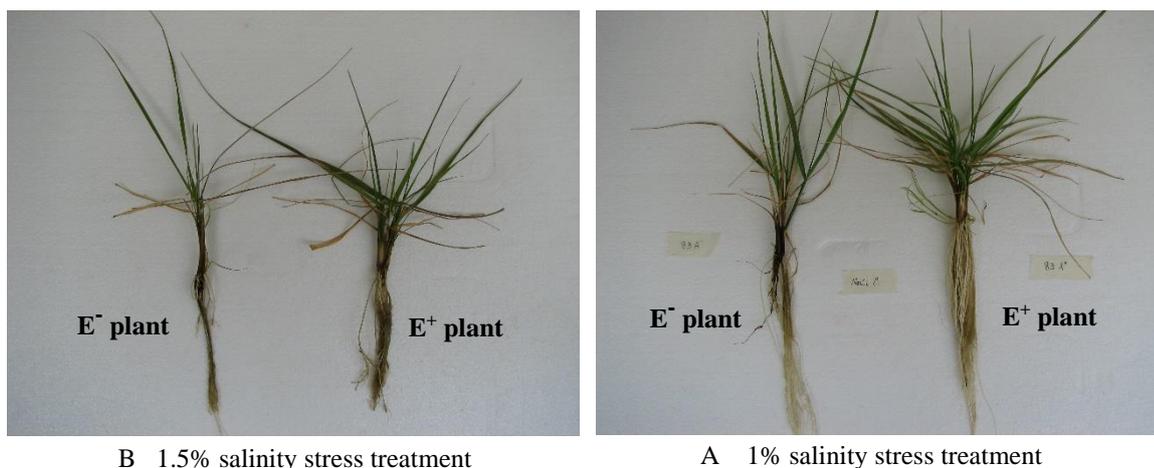
*, **, significant at the 5% and 1% probability level, respectively.
S/R= Shoot root dry weight ratio

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد
S/R= نسبت وزن اندام هوایی به ریشه

اندوفیت ۰/۳۶ گرم در بوته و در گیاهان عاری از قارچ اندوفیت ۰/۱۴ گرم در بوته به دست آمده است که حکایت از افزایش بیش از دو برابری وزن خشک ریشه در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت دارد (نمودار ۳). طول ریشه در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت نسبت به گیاهان عاری از قارچ ۵ سانتیمتر افزایش نشان داد (جدول ۳). وزن تر و وزن خشک ریشه در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت نسبت به گیاهان عاری از قارچ بیش از دو برابر افزایش نشان داد (جدول ۳). به طوری که ملاحظه می شود میزان افزایش وزن ریشه نسبت به وزن برگها (بخش هوایی گیاه) در گیاهان حاوی قارچ نسبت به گیاهان عاری از قارچ بسیار بیشتر است، به همین دلیل نسبت وزن خشک بخش هوایی به وزن خشک ریشه (ضریب آلومتری: Allometry Coefficient) در گیاهان حاوی قارچ کمتر شده است. در حقیقت در این حالت ریشه گیاه به عنوان بخش جذب کننده آب و مواد غذایی نسبت به برگها که محل مصرف و خروج آب از گیاه می باشد گسترش بیشتری پیدا کرده است. بنابراین گیاهان حاوی قارچ شرایط تنش رطوبتی را بهتر تحمل می کنند (شکل ۳).

مقایسه میانگین اثر اصلی قارچ اندوفیت برای صفات در گیاهان فسکیوی بلند نشان داد که تعداد پنجه در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت ۱۴/۲۵ و در گیاهان عاری از قارچ اندوفیت ۸/۷۵ پنجه در بوته به دست آمده است که نشان دهنده افزایش نزدیک به ۵۰ درصدی تعداد پنجه در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت نسبت به گیاهان عاری از قارچ می باشد. وزن تر و وزن خشک بخش هوایی در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت در مقایسه با گیاهان عاری از قارچ اندوفیت مقدار بیشتری را نشان داد. وزن خشک بخش هوایی در بوته در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت ۱/۱۴ گرم در بوته و در گیاهان عاری از قارچ اندوفیت ۰/۷ گرم در بوته به دست آمده است که حکایت از افزایش وزن خشک بخش هوایی در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت نسبت به گیاهان عاری از قارچ دارد. وزن طوقه نیز در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت و گیاهان بدون قارچ تفاوت معنی داری را نشان داد. به طوری که وزن طوقه در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت ۵/۵۳ گرم در بوته و در گیاهان بدون قارچ ۳/۸ گرم در بوته به دست آمد. طوقه در گراسها به عنوان محل پنجه زنی و رشد بسیار مهم می باشد. بنابراین گیاهان دارای طوقه قوی، رویش دوباره بهتری خواهند داشت (جدول ۳).

وزن خشک ریشه در بوته در گیاهان حاوی قارچ



شکل ۳- مقایسه شکل گیاه فسکیوی بلند حاوی قارچ اندوفیت و گیاه عاری از قارچ اندوفیت، (A) تیمار شوری ۱ درصد و (B) تیمار شوری ۱/۵ درصد

Figure 3. Image of endophyte-infected (E+) and endophyte free (E-) tall fescue plants under A) 1% (right) and B) 1.5% salinity stress.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات در گیاهان فسکیوی بلند حاوی قارچ اندوفیت و عاری از قارچ (میانگین تیمارهای شوری) در شرایط هیدروپونیک

Table 3-Mean comparison of traits in endophyte-infected and endophyte-free tall fescue plants (averaged salinity stress treatments) in hydroponic conditions

Endophyte fungi	Tiller number per plant	Leaf Length (cm)	Shoot fresh Weight (g/p)	Shoot dry Weight (g/p)	Root Length (cm)	Root fresh Weight (g/p)	Root dry Weight (g/p)	Crown fresh Weight (g/p)	S/R
E+	14.25 ^a	36.33 ^a	5.07 ^a	1.14 ^a	33.16 ^b	5.15 ^a	0.36 ^a	5.53 ^a	3.24 ^b
E-	8.75 ^b	36.66 ^a	3.02 ^b	0.70 ^b	28.16 ^b	2.22 ^b	0.14 ^b	3.80 ^b	5.19 ^a
LSD 5%	2.76	2.94	1.16	0.21	3.69	0.94	0.06	0.76	1.10

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letter in the columns have no significant differences at 5% probability by LSD test.

S/R= Shoot root dry weight ratio

S/R= نسبت وزن اندام هوایی به ریشه

E⁺ and E⁻, Endophyte infected Endophyte-free, respectively.

E⁻ و E⁺: به ترتیب گیاه حاوی قارچ اندوفیت و عاری از قارچ اندوفیت

درصد، در بیشتر صفات کاهش معنی‌دار مشاهده شد. در شوری ۱/۵ درصد کاهش مقدار در همه صفات چشمگیرتر شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود وزن تر بخش هوایی گیاه از ۷/۳۸ گرم در تیمار شاهد به ۱/۲۶ گرم در تیمار ۱/۵ درصد رسیده است. وزن تر ریشه از ۵/۴۶ گرم در تیمار ۰/۵ درصد به ۱/۸۷ گرم در تیمار ۱/۵ درصد کاهش پیدا کرده است، این مقدار کاهش نزدیک سه برابر می‌باشد. وزن تر طوقه نیز با افزایش سطح تنش شوری کاهش قابل توجهی داشته و از ۵/۷۵ در تیمار شاهد به ۳/۲۶ در تیمار شوری ۱/۵ درصد رسیده است (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر اصلی تنش شوری نشان داد که در تیمار شاهد و شوری ۰/۵ درصد در بیشتر صفات اختلاف معنی‌داری به جز برای طول برگ و وزن تر بخش هوایی دیده نشد (جدول ۴). در مورد وزن تر و وزن خشک ریشه در تیمار ۰/۵ درصد نمک نسبت به شاهد حتی افزایش قابل ملاحظه‌ای هم مشاهده شد که احتمال دارد به دلیل سازگاری نسبی این گیاه به سطوح پایین شوری باشد. بنابراین، می‌توان اظهار داشت که گیاه فسکیوی بلند شوری ۰/۵ درصد را به خوبی تحمل می‌کند و شوری تا این سطح تأثیر محسوسی روی عملکرد گیاه نمی‌گذارد. با افزایش غلظت نمک به ۱

جدول ۴- میانگین صفات در گیاهان فسکیوی بلند در تیمارهای مختلف شوری (میانگین گیاهان حاوی قارچ اندوفایت و عاری از قارچ) در شرایط هیدروپونیک

Table 4. Means comparison of traits in tall fescue plants in four salinity stress treatments (averaged endophyte infected endophyte-free plants) under in hydroponic conditions

Salinity stress	Tiller number per plant	Leaf Length (cm)	Shoot fresh Weight (g/p)	Shoot dry Weight (g/p)	Root Length (cm)	Root fresh Weight (g/p)	Root dry Weight (g/p)	Crown fresh Weight (g/p)	S/R
Control	14.50 ^a	45.66 ^a	7.38 ^a	1.29 ^a	37.66 ^a	4.28 ^a	0.25 ^b	5.75 ^a	5.46 ^a
0.5% salt	13.00 ^a	37.16 ^b	5.18 ^b	1.14 ^a	37.16 ^a	5.46 ^a	0.37 ^a	5.60 ^a	4.00 ^{ab}
1.0% salt	11.00 ^a	32.50 ^c	2.35 ^c	0.74 ^b	29.00 ^b	3.12 ^b	0.22 ^b	4.04 ^b	3.78 ^{bc}
1.5% salt	7.50 ^b	30.66 ^c	1.26 ^c	0.53 ^b	18.83 ^c	1.87 ^c	0.15 ^c	3.26 ^b	3.61 ^c
LSD 5%	3.91	4.16	1.64	0.29	5.23	1.33	0.08	1.08	1.55

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letter in the columns have no significant differences at 5% probability by LSD test.

S/R= Shoot root dry weight ratio

S/R= نسبت وزن اندام هوایی به ریشه

بوته است. از این رو، در تیمار ۰/۵ درصد شوری در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت در مقایسه با تیمار شاهد مشابه تعداد پنجه، نه تنها هیچ کاهش در وزن خشک برگ‌ها رخ نداده بلکه افزایش نیز حاصل شده است. در تیمار شوری یک درصد هم مقدار کاهش در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت کمتر بوده است، به طوری که وزن خشک برگ‌ها در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت ۰/۹۷ و در گیاهان بدون قارچ ۰/۴۹ گرم بود، ولی در تیمار شوری ۱/۵ درصد گیاهان حاوی قارچ اندوفایت و گیاهان عاری از قارچ اختلاف کمتری داشتند (جدول ۵).

اثر قارچ اندوفایت در بهبود وزن خشک ریشه‌ها در تنش شوری بسیار محسوس تر بوده است. به طوری که ملاحظه می‌شود وزن خشک ریشه‌ها در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت در تیمارهای شاهد و شوری ۰/۵ درصد نمک، به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۵۵ گرم در بوته به دست آمده است. در حالی که در گیاهان بدون قارچ، وزن خشک ریشه‌ها تغییر محسوسی نداشته و به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۱۹ گرم در بوته بود. از این رو، در تیمار ۰/۵ درصد نمک در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت در مقایسه با تیمار شاهد، وزن خشک ریشه‌ها افزایش معنی‌داری داشته است. تفاوت وزن خشک ریشه‌ها در گیاهان حاوی قارچ و عاری از قارچ اندوفایت در تیمار ۰/۵ درصد نمک نیز بسیار زیاد است. وزن خشک ریشه‌ها در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت در تیمار شوری ۰/۵ درصد نمک، ۰/۵۵ گرم در بوته ولی در گیاهان

مقایسه میانگین اثرهای متقابل شوری و قارچ اندوفایت نشان داد که تفاوت صفات بین گیاهان حاوی قارچ و گیاهان عاری از قارچ در تنش‌های بالا، قابل ملاحظه می‌باشد (جدول ۵). مقایسه تعداد پنجه‌ها در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت و گیاهان بدون قارچ در تیمارهای مختلف شوری نشان داد که در تیمار ۰/۵ درصد نمک در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت در مقایسه با تیمار شاهد نه تنها هیچ کاهش در تعداد پنجه‌ها رخ نداده بلکه افزایش جزئی نیز حاصل شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تعداد پنجه‌ها در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت در تیمار شاهد ۱۶/۳۳ و در تیمار شوری ۰/۵ درصد نمک ۱۷ به دست آمده است. این در حالی است که در گیاهان بدون قارچ تعداد پنجه‌ها از ۱۲/۶۶ به ۹ کاهش یافته است. مقایسه تعداد پنجه‌ها در تیمار شوری یک درصد در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت ۱۴/۶۶ و در گیاهان بدون قارچ ۷/۳۳ بود که نشان می‌دهد تعداد پنجه‌ها در تیمار شوری یک درصد دقیقاً دو برابر مقدار آن در گیاهان بدون قارچ می‌باشد. در تیمار شوری ۱/۵ درصد تعداد پنجه‌ها در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت ۹ و در گیاهان بدون قارچ ۶ بود (جدول ۵).

در مورد وزن خشک برگ‌ها همان‌طور که مشاهده می‌شود در گیاهان حاوی قارچ اندوفایت در تیمار شاهد و شوری ۰/۵ درصد نمک، وزن خشک برگ‌ها به ترتیب ۱/۴۸ و ۱/۵۱ گرم در بوته بوده است. در حالی که در گیاهان بدون قارچ، وزن خشک برگ‌ها به ترتیب ۱/۱ به ۰/۷۶ گرم در

در این تیمار وزن خشک ریشه‌ها در گیاهان عاری از قارچ به ۰/۱۱ گرم در بوته کاهش یافت. البته، وزن خشک ریشه‌ها در تیمار شوری ۱/۵ درصد نیز در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت (۰/۲ گرم در بوته) دو برابر گیاهان عاری از قارچ (۰/۱ گرم در بوته) ثبت شد (شکل ۴).

عاری از قارچ ۰/۱۹ گرم در بوته است. در تیمار شوری یک درصد وزن خشک ریشه‌ها در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت ۰/۳۴ گرم در بوته و برابر مقدار آن در تیمار شاهد بوده است که نشان‌دهنده حفظ قدرت ریشه‌زایی در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت در تنش شوری یک درصد است. این در حالی است که

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرهای متقابل قارچ اندوفیت در تنش شوری برای صفات مختلف گیاهان فسکیوی‌بلند در شرایط هیدروپونیک

Table 5- Mean comparison of Endophyte fungi and salinity stress interaction effects for different traits of tall fescue plants under hydroponic conditions

Salinity stress	Endophyte fungi	Tiller number per plant	Leaf Length (cm)	Shoot fresh Weight (g/p)	Shoot dry Weight (g/p)	Root Length (cm)	Root fresh Weight (g/p)	Root dry Weight (g/p)	Crown fresh Weight (g/p)	S/R
Control	E+	16.33 ^a	44.66 ^a	8.53 ^a	1.48 ^a	40.00 ^b	5.52 ^a	0.34 ^a	6.26 ^a	4.43 ^a
	E-	12.66 ^b	46.66 ^a	6.22 ^b	1.10 ^b	35.33 ^a	3.05 ^b	0.17 ^b	5.24 ^a	6.49 ^b
0.5% salt	E+	17.00 ^a	33.36 ^a	7.10 ^a	1.51 ^a	43.00 ^a	8.02 ^a	0.55 ^a	6.71 ^a	2.74 ^a
	E-	9.00 ^b	38.00 ^a	3.25 ^b	0.76 ^b	31.33 ^b	2.91 ^b	0.19 ^b	4.50 ^b	5.25 ^b
1.0% salt	E+	14.66 ^a	32.33 ^a	3.06 ^a	0.97 ^a	30.00 ^a	4.69 ^a	0.34 ^a	5.47 ^a	2.86 ^a
	E-	7.33 ^b	32.66 ^a	1.63 ^b	0.49 ^b	28.00 ^a	1.55 ^b	0.11 ^c	2.62 ^b	4.69 ^b
1.5% salt	E+	9.00 ^a	32.00 ^a	1.58 ^a	0.60 ^a	19.66 ^a	2.38 ^a	0.20 ^b	3.68 ^a	2.90 ^a
	E-	6.00 ^b	29.33 ^a	0.94 ^b	0.45 ^b	18.00 ^a	1.37 ^b	0.10 ^c	2.85 ^b	4.31 ^b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

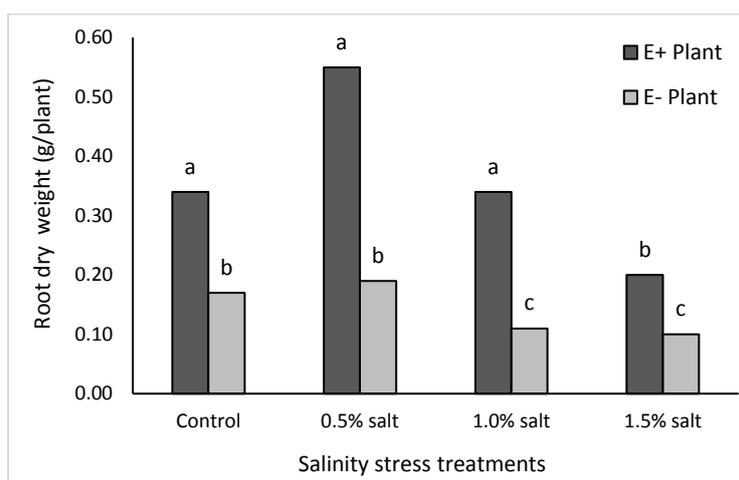
Means followed by the same letter in the columns have no significant differences at 5% probability by LSD test.

S/R= Shoot root dry weight ratio

S/R= نسبت وزن اندام هوایی به ریشه

E⁺ and E⁻, Endophyte infected and-free, respectively.

E⁻ و E⁺: به ترتیب گیاه حاوی قارچ اندوفیت و عاری از قارچ اندوفیت



شکل ۴- مقایسه وزن خشک ریشه‌ها در گیاهان E⁺ حاوی قارچ اندوفیت و E⁻ گیاهان عاری از قارچ اندوفیت در تیمارهای مختلف شوری در گیاه فسکیوی‌بلند

Figure 4. Means of root dry weight (g/plant) in endophyte-infected (E⁺ plant) and endophyte free (E⁻ plant) of tall fescue plants under salinity stress treatments.

بحث

در این مطالعه مشاهده شد که قارچ اندوفیت همزیست گیاه فسکیوی بلند نقش اساسی در بهبود پهنه‌زنی و رشد بخش هوایی و ریشه گیاه میزبان در شرایط تنش شوری داشته است. نتایج نشان داد که در تیمارهای مختلف تنش شوری وزن خشک ریشه‌ها نسبت به بخش هوایی در گیاهان حاوی قارچ اندوفیت در مقایسه با گیاهان عاری از قارچ اندوفیت افزایش محسوس‌تری داشتند. در تحقیقی که برای بررسی اثر قارچ اندوفیت بر روی رشد، خواص فیزیولوژیکی و جوانه‌زنی بذر جو وحشی (*Hordeum brevisubulatum*) در شرایط شور انجام شد، نشان داد که اندوفیت‌های *Epichloë bromicola* با افزایش جوانه‌زنی و رشد بذر و تغییر فیزیولوژی گیاه، تحمل به تنش شوری را در جو وحشی افزایش می‌دهند (Wang et al., 2019).

در مقایسه گیاهان جو وحشی عاری از قارچ با گیاهان جو حاوی قارچ ملاحظه شد که صفات ارتفاع گیاه، زیست توده شاخه، زیست توده کل، محتوای کلروفیل، سنتز اسمزی و تجمع متابولیت‌های سازگاری با تنش در گیاهان جو حاوی قارچ به طور قابل توجهی افزایش نشان دادند. قارچ اندوفیت *E. bromicola* تحمل جو کشت شده به تنش شوری را افزایش داد و اثر مثبت آن با شرایط مختلف تنش شوری همبستگی داشت (Wang et al., 2022).

مقایسه میانگین صفات در تیمارهای مختلف تنش شوری نشان داد که گیاه فسکیوی بلند شوری ۰/۵ درصد را به خوبی تحمل می‌کند و شوری تا این سطح تأثیر محسوسی روی صفات مختلف در گیاه نداشته است. بنابراین، می‌توان اظهار داشت که گیاه فسکیوی بلند سازگاری نسبی به سطوح پایین شوری دارد. ولی افزایش سطح تنش باعث کاهش معنی‌دار صفات شد که نشان داد تنش شوری بالا گیاه فسکیوی بلند را کاملاً تحت تأثیر قرار می‌دهد. ضریب آلمتری (نسبت وزن اندام هوایی به ریشه) نیز در همه تیمارهای شوری در گیاهان حاوی قارچ کمتر شده است که این موضوع باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش می‌شود. Mirlohi و Sabzalian (۲۰۱۰) در بررسی نقش قارچ‌های اندوفیت در تنش شوری

در دو گیاه فسکیوی بلند و فسکیوی مرتعی (*Festuca pratensis* Huds.) نیز در تنش شوری افزایش وزن خشک ریشه‌ها را در گیاهان حاوی قارچ بیشتر از افزایش وزن بخش هوایی ثبت کردند. آنها نسبت برگ‌ها به ریشه‌ها را در گیاهان حاوی قارچ ۱/۶۳ ولی در گیاهان بدون قارچ ۲/۴۰ گزارش کردند. این نسبت در این تحقیق در گیاهان حاوی قارچ ۳/۲۴ و در گیاهان بدون قارچ ۵/۱۹ به دست آمد. در حقیقت، در این حالت ریشه گیاه به عنوان بخش جذب کننده آب و مواد غذایی نسبت به برگ‌ها که محل مصرف و خروج آب از گیاه می‌باشد گسترش بیشتری پیدا کرده است. بنابراین، گیاهان حاوی قارچ با افزایش حجم و وزن ریشه‌ها قدرت جذب آب در گیاه را افزایش داده و شرایط تنش شوری را بهتر تحمل می‌کنند.

Gupta و همکاران (۲۰۲۱) در مورد کاهش اثر تنش شوری در گیاهان از طریق همزیستی قارچ اندوفیت با گیاه، گزارش کرده‌اند که در گیاهان عاری از همزیستی، تنش شوری باعث کاهش زیست توده ریشه به دلیل مهار تقسیم سلولی ناشی از نمک می‌شود و بر عملکرد کل زیست توده تأثیر می‌گذارد. ولی در گیاه کلونیزه شده با قارچ‌های اندوفیت از طریق تغییر ساختار ریشه و افزایش جذب مواد مغذی، تجمع زیست توده را بهبود می‌بخشد. آنها همچنین اشاره کرده‌اند که قارچ‌های اندوفیت، سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان را بهبود می‌بخشد و تنش اکسیداتیو را تحت تنش شوری کاهش می‌دهند.

با اینکه تحقیقات گسترده‌ای روی اندوفیت‌های قارچی و تعامل آنها با گیاه میزبان انجام شده ولی هنوز این رابطه همزیستی موضوع پیچیده‌ای است و مطالعه آن برای پژوهشگران جذاب است. با وجود این، اهمیت رابطه همزیستی گراس-اندوفیت به عنوان منبع بالقوه‌ای برای افزایش رشد و تحمل به تنش و اثرهای مفید آن بر فیزیولوژی بدون شک شناخته شده است (Liu-Xu et al., 2022).

نتیجه‌گیری

قارچ‌های اندوفیت با تولید هورمون‌های گیاهی و

کار این گیاه مطرح هستند و ما ملزم به استفاده از این پدیده طبیعی در افزایش کارایی و پایداری تولید در شرایط تنش شوری هستیم.

متابولیت‌های ثانویه می‌توانند رشد گیاهان میزبان را بهبود ببخشند. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که قارچ‌های اندوفیت نقش مؤثری در بهبود تحمل گیاه فسکیوی بلند در برابر تنش شوری محیطی دارند. بنابراین، می‌توان اظهار داشت که قارچ‌های اندوفیت به عنوان یک عامل بیولوژیک مهم در کشت و

References

- Bacon, C.W. and White, Jr., J.F. 1994. Biotechnology of endophytic fungi of grasses, CRC press. 226 Pages.
- Decunta, F.A., Pérez, L.I., Malinowski, D.P., Molina-Montenegro, M.A., Gundel, P.E. 2021. A systematic review on the effects of *Epichloë* fungal endophytes on drought tolerance in cool-season grasses. *Frontiers in Plant Science*, 12:644731. doi: 10.3389/fpls.2021.644731.
- Gunter, S.A., Beck, P.A. 2004. Novel endophyte-infected tall fescue for growing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 82:75-82. doi: 10.2527/2004.8213_supplE75x.
- Gupta, S., Schillaci, M., Walker, R., Smith, P.M.C., Watt, M., Roessner, U. 2021. Alleviation of salinity stress in plants by endophytic plant-fungal symbiosis: Current knowledge, perspectives and future directions. *Plant Soil* 461, 219–244. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04618-w>.
- Johnson, C.M., Stout, P.R., Broyer, T.C., and Carlton, A.B. 1957. Comparative Chlorine requirements of different plant species. *Plant and Soil*, 8: 337-353.
- Kimmons, C. A., Gwinn, K. D. and Bernard, E. C. 1990. Nematode reproduction on endophyte- infected and endophyte- free tall fescue. *Plant Disease*, 74: 757- 761.
- Krauss, J., Vikuk, V., Young, C.A., Krischke, M., Mueller, M.J., Baerenfaller, K. 2020. Epichloë endophyte infection rates and alkaloid content in commercially available grass seed mixtures in Europe. *Microorganisms*, 8: 498. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8040498>.
- Lee, K., Missaoui, A., Mahmud, K., Presley, H., Lonnee, M. 2021. Interaction between grasses and Epichloë endophytes and its significance to biotic and abiotic stress tolerance and the rhizosphere. *Microorganisms*, 9(11): 2186. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9112186>.
- Liu-Xu, L., Vicedo, B., García-Agustín, P., and Llorens, E. 2022. Advances in endophytic fungi research: a data analysis of 25 years of achievements and challenges. *Journal of Plant Interactions*, 17(1): 244–266. <https://doi.org/10.1080/17429145.2022.2032429>.
- Malinowski, D. P., and Belesky, D. P. 2019. Epichloë (formerly *Neotyphodium*) fungal endophytes increase adaptation of cool-season perennial grasses to environmental stresses. *Acta Agrobotanica*, 72(2). DOI: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i74770>.
- Mohammadi, R. 2025. The effect of symbiotic endophytic fungi in improving drought tolerance in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 32(2):184-196 (In Persian).
- Mirmohammady Maibody, S.A.M., and Ghaeyazie, B. 2002. Physiological aspects and breeding for salinity stress in plants. *Isfahan University of Technology publications*. 288 pages.
- Mohammadi, R., and A. F. Mirlohi. 2003. Influence of endophytic fungi on improvement of phenotypic characteristics in Iranian tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 7(2): 205-213.
- Mohammadi, R., M. Khayyam-Nekouei, and A. F. Mirlohi. 2009. Genetic variation and heritability of several quantitative traits in selected tall fescue genotypes. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 16(2): 254-272 (In Persian).
- Mohammadi, R., Nami, Y., Tajaddod, S. 2024. Biological pest control potential of symbiotic fungal endophytes of cool-season grasses. *Crop Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106751>.
- Nihsen, M.E., Piper, E.L., West, C.P., Crawford, R.J., Denard, T.M., Johnson, Z.B., Roberts, C.A., Spiers, D.E. and Rosenkrans Jr, C.F. 2004. Growth rate and physiology of steers grazing tall fescue inoculated with novel endophytes. *Journal of Animal Science*, 82: 878–883.
- Sabzalian, M.R., Mirlohi, A. 2010. *Neotyphodium*

- endophytes trigger salt resistance in tall and meadow fescues. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(6):952-957.
- Saha, D. C., Jackson, M.A. and Johnson- Cicalese, J.M. 1998. A rapid staining method for detection of endophytic fungi in turf and forage grasses, *Phytopathology*, 78: 237- 239.
 - Shankar Naik, B. 2019. Functional roles of fungal endophytes in host fitness during stress conditions. *Symbiosis*, 79(2): 99-115.
 - Sobhani Najafabadi, A., Mofid, M.R., Mohammadi, R. and Moghim, S. 2010. Quantification of ergovaline using HPLC and mass spectrometry in Iranian *Neotyphodium* infected tall fescue. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 5(2): 135–143.
 - Sun, X., and Guo, L.D. 2012. Endophytic fungal diversity: review of traditional and molecular techniques. *Mycology*, 3(1): 65–76. <https://doi.org/10.1080/21501203.2012.656724>.
 - Vandana, P., Kumari, A., Kumari, K. and Puzari, K.R. 2024. Endophytes: an insight into plants hidden treasure. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(7): 589–609. doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i74770.
 - Wang, Z. F., Li, C. J., and White, F. J. 2019. Effects of *Epichloë* endophyte infection on growth, physiological properties and seed germination of wild barley under saline conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206: 43–51. doi: 10.1111/jac.12366.
 - Wang J, Hou W, Christensen MJ, Li, X., Xia, C., Li, C., Nan, Z. 2020. Role of *Epichloë* endophytes in improving host grass resistance ability and soil properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(26):6944-6955. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c01396.
 - Wang, Z., Liu, J., White, J.F., and Li, C. 2022. *Epichloë bromicola* from wild barley improves salt-tolerance of cultivated barley by altering physiological responses to salt stress. *Frontiers in Microbiology*, 13:1044735. doi: 10.3389/fmicb.2022.1044735.
 - Wang, C., Wang, J., Yang, Y., Niu, X., Zheng, R., Liu, R., Malik, K., Gong, J., and Jin, J. 2025. *Epichloë* endophytes alter the soil microbial communities and soil metabolite profile after their host decomposition under salt stress. *Plant Soil*, 508: 987-1006. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06841-1>.
 - Xia, C., Li, N., Zhang, Y., Li, C., Zhang, X., Nan, Z. 2018. Role of *Epichloë* endophytes in defense responses of cool-season grasses to pathogens: A review. *Plant Disease*, 102(11): 2061-2073.