Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 52, No 4, Winter 2022 (73-86)
DOI: 10.22059/IJFCS.2020.310556.654754

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰ (ص۸۶-۷۳)

بررسی خصوصیات فیزیولوژیک دو رقم گندم (*Triticum aestivum*) در پاسخ به تنش شوری و مایکوریزا

رویا محمودیه چم پیری[1] و محمدعلی ابوطالبیان[2]
۱و۲- دانشجو و دانشیار، گروه زارعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۱۲)

چکیده

به‌منظور ارزیابی تاثیر دو گونه قارچ مایکوریزا بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد دو رقم گندم تحت تنش شوری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل، بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۴- ۱۳۹۳ و ۹۵- ۱۳۹٤ در مزرعه مرکز آموزش جهاد کشاورزی اصفهان انجام شد. تیمارها شامل آبیاری گیاهان با دو میزان شوری (با هدایت الکتریکی سه و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان عامل اصلی و سه سطح مایکوریزا (*G. intraradices*، *G. mossea* و عدم کاربرد) و دو رقم گندم ارگ و پارسی به‌عنوان عوامل فرعی به‌صورت فاکتوریل در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش نشان داد که شوری سبب کاهش حداکثر شاخص سطح برگ و سبزینگی، کلونیزاسیون ریشه و عملکرد دانه گندم، به‌ترتیب به‌میزان ۸/۵، ۲۰/۷، ۱۷ و ۳۵/۵ درصد شد و میزان سدیم اندام هوایی را ۸٤ درصد افزایش داد. همچنین موجب افت ۲۲ درصدی حداکثر شاخص سطح برگ رقم پارسی شد. کاربرد قارچ مایکوریزا سبب کاهش ۳۳ درصدی سدیم اندام‌های هوایی و افزایش شاخص سبزینگی، پرولین برگ و عملکرد دانه گندم، به‌ترتیب ۱۰، ۲۱/۵ و ۱٤/٤ درصد شد. *G. mossea* سبب افزایش شش درصدی حداکثر شاخص سطح برگ ارگ و ۳۷ درصدی پروتئین برگ هر دو رقم شد. در بیشتر صفات مورد بررسی، هر دو گونه مایکوریزا در مقایسه با تیمار عدم تلقیح، سودمندی بالایی نشان دادند و البته این گونه موسهآ بود که اثر معنی‌داری در افزایش عملکرد دانه داشت. در مجموع در شرایط شوری، کاربرد قارچ مایکوریزا به ویژه *G. mossea* و رقم گندم ارگ قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: پرولین، سدیم، شاخص سطح برگ، کلونیزاسیون، عملکرد دانه.

Physiological characteristics of two wheat cultivars (*Triticum aestivum*) in response to salinity stress and mycorrhiza

Roya Mahmoudieh Champiri[1] and Mohammad Ali Aboutalebian[2]
1,2. Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan
(Received: September 24, 2020 - Accepted: November 2, 2020)

ABSTRACT

To evaluate the effect of two species of mycorrhiza on physiological characteristics and yield of two wheat cultivars under salinity stress, a field experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications during two cropping years (2014-2016) in Isfahan. Irrigation of plants with two saline water (3 and 11 dS/m electrical conductivity) were main plots and mycorrhiza (*G. intraradices*, *G. mossea* and non-application) and two wheat cultivars (Arg and Parsi) were subplots. The results of combined analysis showed that salinity decreased the maximum leaf area index, SPAD index, root colonization and yield by 8.5, 20.7, 17 and 35.5%, respectively, and increased the shoot sodium 84%. Application of mycorrhiza decreased shoot sodium by 33% and an increaseed SPAD, proline and yield by 10, 21.5 and 14.4%, respectively. Salinity caused 22% reduction in the maximum leaf area index of Parsi cultivar. *Mossea* species caused 6% reduction in the Arg maximum leaf area index and 37% increase in the total leaf protein of both cultivars. In most of the studied traits, both species of mycorrhiza showed high usefulness in comparison with non-inoculation treatment, and of course, the species of *G. mossea* had a significant effect on increasing grain yield. In general, under salinity stress, mycorrhiza fungus application, especially *mossea* and Arg cultivar, is recommended.

Keywords: Colonization, grain yield, leaf area index, proline, sodium.

* Corresponding author E-mail: m.aboutalebian@basu.ac.ir

مقدمه

تنش شوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی، رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بر همه جنبه‌های متابولیسم گیاهی اثر می‌گذارد و تغییراتی را در آناتومی و مورفولوژی گیاه ایجاد می‌کند (Azarnivand & Ghorbani, 2007). در ایران، مساحت خاک‌هایی که تحت تأثیر شوری قرار دارند، بالغ بر ۳۲ میلیون هکتار برآورد شده است که نزدیک به ۳۰ درصد از سطح کل کشور و ۵۵ درصد از اراضی قابل کشت می‌باشد. در این مناطق، محدودیت آب شیرین سبب شده است تا کشاورزان برای تولید محصولات زراعی، از آب‌هایی شور و با کیفیت پایین استفاده کنند. (Abdollahi *et al*., 2017).

گندم به علت پتانسیل ژنتیکی و واکنش مناسب به محیط، نقش مهمی در افزایش تولید و امنیت غذایی دارد. واکنش این گیاه به تنش شوری بسیار متنوع است؛ بنابراین مطالعه واکنش این گیاه از جنبه‌های زراعی و فیزیولوژیکی بسیار با اهمیت است. از مهم‌ترین اثرات فیزیولوژیکی شوری بر گندم، کاهش میزان آماس سلول‌ها، کاهش تعداد سلول‌ها (Jamil *et al*., 2007; Tofighi *et al*., 2017) و در نتیجه کاهش سطح برگ‌ها (Grieve *et al*., 2012)، کاهش انسجام غشای سلولی و افزایش نشت از سلول‌ها (Borde *et al*., 2011)، کم شدن تولید آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز (Husain *et al*., 2003)، اختلال در جذب یون‌های غذایی (Mardukhi *et al*., 2011) و تجمع یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها (Giri *et al*., 2004) است که در نهایت، کاهش رشد گیاه و عملکرد دانه (Ghoochani *et al*., 2015) را در پی دارد. در پژوهشی با بررسی تأثیر شوری ۸/۷ و ۱۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم تجن و زاگرس، به کاهش قابل توجه سطح و وزن خشک برگ (۱۴ درصد)، ماده خشک کل (۱۶درصد)، عملکرد (۱۸ درصد) و اجزای عملکرد اشاره شده است (Ghorbani *et al*., 2003).

یکی از راهکارهای بهبود تحمل شوری در محصولات زراعی، معرفی میکروارگانیسم‌های متحمل به شوری از جمله قارچ‌های مایکوریزای آربسکولار است. این قارچ‌ها به‌صورت طبیعی در محیط‌های شور نیز یافت می‌شوند (Aliasgharzadeh *et al*., 2001) و با کمک در حفظ تعادل یونی سیتوپلاسم، تحمل گیاه به شوری را افزایش می‌دهند (Borde *et al*., 2011). قارچ مایکوریزا با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و آبی گیاه (Dodd & Perez-Alfocea, 2012) و تغییر در مورفولوژی ریشه و تحریک تبادلات گازی از طریق افزایش ظرفیت مقصد (Beltrano & Ronco, 2008)، سبب بهبود تحمل گیاه میزبان به تنش شوری می‌شود. در بررسی برهمکنش ترکیب ۲۴- اپی براسینولید[1] و *Glomus mosseae* بر گندم تحت تنش شوری، نشان داده شد که محتوای نسبی آب برگ، سرعت رشد نسبی و وزن تر بوته در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۶۲، ۴۰/۷ و ۳۹/۸ درصد افزایش داشته است (Tofighi *et al*., 2017). همچنین در بررسی چهار رقم گندم تلقیح شده با قارچ‌های آربوسکولار تحت تنش شوری، وزن تر شاخساره و وزن خشک شاخه و ریشه در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده به‌ترتیب ۱۰/۱۷، ۱۵/۶ و ۲۵/۲ درصد بیشتر بود. در پژوهشی دیگر گزارش شدکه گونه‌های *G. mosseae* و *G. geosporum* با افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش نشت الکترولیت، تحمل گندم در شرایط شوری را بهبود بخشیدند (Habibi *et al*., 2015). طبق بررسی‌های انجام شده، با وجود این‌که شوری، درصد کلونیزاسیون ریشه و تعداد دانه در سنبله گندم را کاهش می‌دهد (Ghoochani *et al*., 2015)، ولی تلقیح با گونه‌های قارچ مایکوریزا می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد و سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد سنبله و تعداد دانه در بوته شود (Grieve *et al*., 2012). در آزمایشی، ساز و کار اصلی در افزایش تحمل شوری گیاهان مایکوریزی، بهبود جذب فسفر عنوان شده است (Al-Karaki & Hammad, 2001)، در حالی که پژوهشگرانی دیگر، مکانیسم عمده بهبود رشد گیاهان را تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه

[1]- 24-epibrassinolide

عنوان کرده‌اند (Sheng *et al*., 2009).

با توجه به این‌که بخش گسترده‌ای از اراضی کشور با مشکل شوری و شور شدن مواجه هستند و با توجه به اهمیت نظام‌های کشاورزی پایدار و به‌کارگیری روش‌های مدیریتی آن نظیر کاربرد کودهای زیستی به‌منظور ارتقاء عملکرد کمی و کیفی محصولات، این آزمایش باهدف ارزیابی تلقیح دو گونه قارچ مایکوریزا بر خصوصیات فیزیولوژیکی رشد و عملکرد دو رقم گندم در شرایط تنش شوری حاصل از آب آبیاری در منطقه اصفهان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی دو سال و در سال‌های زراعی ۹۵-۱۳۹۳ در مزرعه مرکز آموزش جهاد کشاورزی اصفهان (عرض ۳۲ درجه و۳۱ دقیقه شمالی، طول ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۴۵ متر)، به‌صورت اسپیلیت پلات فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. اقلیم منطقه معتدل خشک است و میزان بارش و دما در طول فصل رشد در هر دو سال در جدول ۱ مشاهده می‌شود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در دو سال در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- میزان بارندگی و متوسط دمای هوا در سال‌های زراعی مورد مطالعه

Table 1. The rainfall and air temperature average in two years in the exprimental site

Month	The amount of rainfall (mm)			The average air temperature (°C)	
	2014-2015	2015-2016		2014-2015	2015-2016
November	26.2	2		9.8	11.4
December	1.6	7		7.2	5.7
January	8.1	0.4		7.4	6.6
February	3.8	0.2		9.6	9.5
Marrch	21.3	8.5		14.2	11.7
May	7	21.5		19.7	17.5
June	2.4	5		24.5	24.7
Total	70.4	44.6	The average	13.2	12.4

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در دو سال

Table 2. Physiochemical properties of experimental site soil in two years

soil texture	Organic matter (%)	pH	Electrical conductivity (dS/m)	Total Nitrogen (%)	Absorbable potassium (mg/kg)	Absorbable phosphorus (mg/kg)	Depth of sampling (cm)
Silty clay loam	0.95	7.6	6.83	0.09	370	26.6	0-30

تیمارها شامل آبیاری گیاهان با دو میزان شوری (هدایت الکتریکی سه و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر) در کرت‌های اصلی، سه کاربرد قارچ گلوموس (*G. intraradices* و *G. mossea* و عدم کاربرد) و دو رقم گندم (ارگ و پارسی) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی بودند. در هر دو سال، زمین در اواخر شهریور ماه شخم زده شد و کشت در دهه آخر آبان انجام شد. هر دو گونه قارچ مایکوریزا از شرکت زیست فناوران توران تهیه شد و در زمان کاشت به‌میزان ۱۰ گرم در متر مربع در کنار بذور مصرف شد. در هر گرم از این کودهای زیستی به‌طور متوسط ۱۵۰ اسپور قارچ وجود داشت. بر اساس نتایج آزمون خاک، تنها کود نیتروژن به‌میزان۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در دو مرحله کاشت و ساقه رفتن مصرف شد (جدول ۲).

هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول شش متر و عرض۱/۲ متر با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها بود و تراکم ۴/۵ میلیون بذر در هکتار در نظر گرفته شد. آبیاری با کنتور حجمی اعمال شد و برای محاسبه مقدار آب لازم در هر آبیاری، از رابطه ۱ استفاده شد (Mazaheri & Majnoon Hoseini, 2001):

$$d = \frac{Fc-P0}{100} \times A_S \times D \qquad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه،d: ارتفاع آب آبیاری (سانتی‌متر)، FC: درصد رطوبت وزنی خاک در مرحله ظرفیت زراعی

(۲۷/۵درصد)، P0: درصد رطوبت وزنی خاک در زمان آبیاری، A_S: وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D: عمق توسعه یا گسترش ریشه (۴۰ سانتی‌متر) است. با ضرب کردن ارتفاع (d) در عدد ۱۰۰، حجم آب مورد نیاز برحسب مترمکعب در هکتار مشخص شد. در این آزمایش، مزرعه هفت بار آبیاری شد؛ ضمنا در منطقه مورد تحقیق برای کاهش تجمع نمک، در سال زراعی بعدی از آب غیر شور برای آبیاری استفاده می‌کنند.

برای برآورد شاخص سطح برگ از سطح برگ مساحت ۲۰ در ۴۰ سانتی‌متر مربع از هر کرت در پنج مرحله رشدی پنجه‌زنی، ساقه رفتن، خوشه‌دهی، گل‌دهی و خمیری دانه استفاده شد و با کاربرد رابطه ۲، روند تغییرات شاخص‌سطح برگ در طول دوره رشد تعیین شد (Aboutalebian & Elahi, 2016). همچنین حداکثر شاخص سطح برگ در تمام تیمارها در هر دو سال آزمایش با استفاده از رابطه رگرسیونی برآورد و تجزیه و تحلیل شد.

$$LAI= Exp (a + bx + cx^2)$$ رابطه ۲

در این رابطه، LAI: شاخص سطح برگ و a، b و c ضرایب رگرسیون می‌باشد.

به‌منظور تعیین عملکرد دانه نیز دو مترمربع با در نظر گرفتن حاشیه‌ها از وسط هر کرت در انتهای فصل، به‌صورت جداگانه برداشت شد. همچنین، خصوصیات فیزیولوژیک شامل میزان پرولین، پروتئین کل برگ، شاخص سبزینگی و میزان سدیم در مرحله ظهور سنبله با استفاده از برگ‌های فوقانی بوته اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پرولین با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر صورت گرفت (Bates *et al.*, 1973) و غلظت پرولین برحسب میکروگرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد. میزان پروتئین کل برگ نیز با اضافه کردن۵۰ میکرولیتر از فاز بالایی عصاره گیاهی به ۲/۵ میلی‌لیتر محلول برادفورد در طول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج، اندازه‌گیری شد (Bradford, 1976) و غلظت پروتئین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد. شاخص سبزینگی توسط دستگاه SPAD 502 مینولتا و با استفاده از متوسط داده برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته ۱۰ بوته برآورد شد. میزان سدیم نیز با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Hamada & EL-enany. 1994). همچنین درصد کلون‌زایی، در مرحله ظهور سنبله و با استفاده از رنگ‌آمیزی ریشه گیاهان تعیین شد (Hayman & Phillips, 1970).

تجزیه و تحلیل داده‌ها بعد از اطمینان از نرمال بودن باقیمانده‌ها با استفاده از رویه UNIVARIATE بر اساس مدل آماری طرح به‌صورت مرکب و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد و مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای اکسل و سیگماپلات انجام شد.

نتایج و بحث

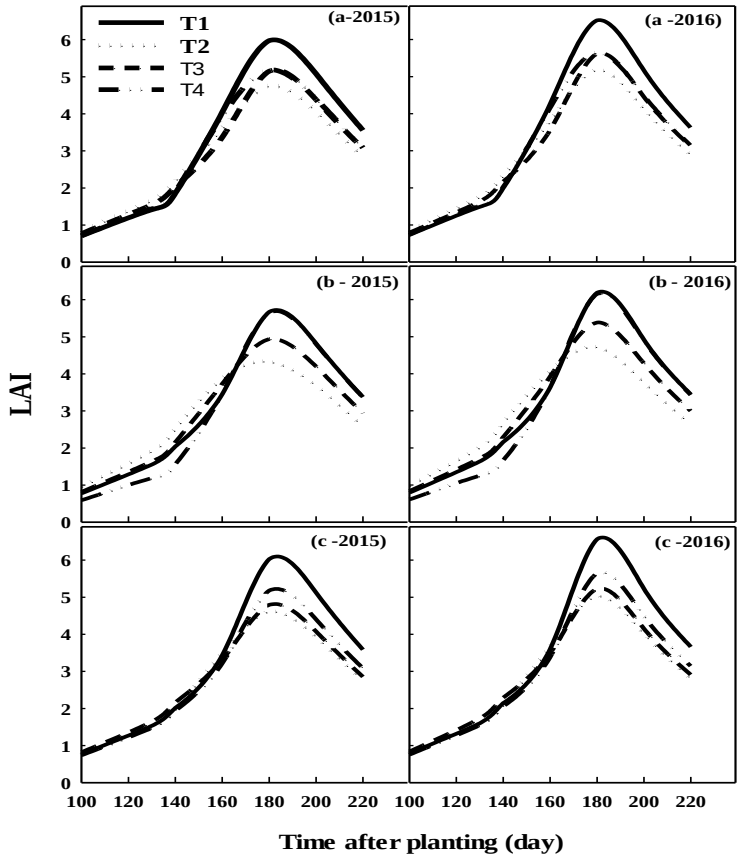
روند تغییرات شاخص سطح برگ

با توجه به تغییرات شاخص سطح برگ دو رقم گندم پارسی و ارگ مشخص شد که حداکثر شاخص سطح برگ در رقم پارسی بالاتر از رقم ارگ بود، ولی این صفت در این رقم بیشتر تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت (شکل ۱). تلقیح نیز موجب بهبود روند تغییرات شاخص سطح برگ در طی تنش شوری در هر دو رقم شد. بالاترین شاخص سطح برگ از رقم پارسی در هر دو سال در شرایط عدم شوری با تلقیح گونه *G. intraradices* (۶/۰۱ در سال اول و ۶/۴۸ در سال دوم) به‌دست آمد (شکل ۱).

نتایج تجزیه واریانس حداکثر شاخص سطح برگ نیز نشان داد که این شاخص تحت‌تأثیر سال، تنش شوری، رقم، تلقیح، برهمکنش رقم × تلقیح و سال × شوری × رقم قرار گرفت (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در تلقیح نشان داد که در رقم پارسی، تلقیح تأثیر معنی‌داری نداشته است، به نحوی که کاربرد *G. mosseae* موجب کاهش شش درصد حداکثر شاخص سطح برگ در مقایسه با عدم تلقیح شد و همچنین کاربرد *G. intraradices* تأثیر معنی‌داری با عدم‌کاربرد نداشت. نتایج در رقم ارگ بر

خلاف رقم پارسی بود و تلقیح با *G. intraradices* موجب بهبود چهار درصدی و تلقیح با *G. mosseae* موجب بهبود هفت درصدی حداکثر سطح برگ در مقایسه با عدم تلقیح شد (جدول ۴).



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام گندم تحت تأثیر تلقیح با قارچ در شرایط تنش شوری در دو سال. (**a**) تلقیح با *G. intraradices*، (**b**) تلقیح با *G. mosseae* و (**c**) عدم تلقیح می‌باشد.T1= عدم شوری رقم پارسی، T2= شوری رقم پارسی، T3= عدم شوری رقم ارگ، و T4= شوری رقم ارگ.

Figure 1. Leaf area index (LAI) changes of wheat cultivars affected by fungus inoculation under salinity stress conditions in the two years. (a) *G. intraradices*, (b) *G. mosseae*, (c) non-inoculation.T1= non salinity- Parsi cultivar, T2= salinity- Parsi cultivar, T3= non salinity- Arg cultivar, and T4= salinity- Arg cultivar.

مقایسه میانگین برهمکنش رقم در تنش در سال نیز نشان داد،که در شرایط بدون تنش، رقم پارسی در هر دو سال زراعی دارای حداکثر شاخص سطح برگ بالاتری بود، ولی در شرایط تنش شوری نتایج متفاوت بود و حداکثر شاخص سطح برگ در رقم ارگ بالاتر بود. شوری موجب کاهش ۲۱ و ۲۲ درصدی حداکثر شاخص سطح برگ در رقم پارسی در سال نخست و دوم شد؛ این در حالی بود تغییرات در رقم ارگ معنی-دار نبود (شکل ۲).

به‌نظر می‌رسد که افزایش سطح برگ گندم در شرایط استفاده از مایکوریزای، به دلیل فراهمی و جذب بهتر عناصرغذایی باشد. قارچ مایکوریزای با تولید هورمون‌های گیاهی می‌تواند سبب افزایش رشد ریشه شود؛ بنابراین سبب افزایش ظرفیت جذب عناصر غذایی (Barea *et al*., 2005) و افزایش سطح برگ می‌شود. کاهش معنی‌دار سطح برگ با افزایش شوری می‌تواند به علت کاهش تعداد و اندازه برگ باشد (Mirmohammadi Meibodi & Ghareyazi, 2002). افزایش معنی‌دار سطح برگ در گیاهان مایکوریزایی نسبت به غیر مایکوریزایی را شاید بتوان به افزایش سطح جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و تغییرات هورمونی به‌ویژه اکسین، در گیاهان مایکوریزایی نسبت

داد (Al-Karaki, 2000). در شرایط تنش شوری، ابتدا توسعه سطح برگ کاهش می‌یابد و برگ‌ها کوچک می‌شوند.

جدول ۳- نتایج تجزیه مرکب اثرات تلقیح قارچ بر تعدادی از خصوصیات فیزیولوژیک دو رقم گندم تحت تنش شوری

Table 3. Combined variance analysis of the effect of fungal inoculation on some of physiological traits of two wheat cultivars under salinity stress.

Sources Change	df	Means of Squares						
		LAI_{max}	Leaf sodium content	SPAD index	Colonization	Leaf proline content	Leaf protein content	Seed yield
Year (Y)	1	2.96**	11.29**	4.57^{ns}	255.38**	7812.5^{ns}	0.76^{ns}	47611.48*
Block error within year	4	0.076	0.45	1.34	6.57	29790.5	6.43	1714.24
Salinity (I)	1	11.34**	518.9**	3409.3**	974.2**	6716466.8**	1332.2**	882788.3**
Main error	4	0.124	2.42	63.32	10.59	80691.1	12.53	2734.90
Y×I	1	0.247^{ns}	1.25^{ns}	49.82^{ns}	21.36^{ns}	26607.4^{ns}	0.07ns	17750.90^{ns}
Cultivar (G)	1	4.73**	7.94**	141.20*	40594**	1158.1^{ns}	22.48**	530.84^{ns}
Y×G	1	0.975^{ns}	0.39^{ns}	7.11^{ns}	84.89^{ns}	10139.8^{ns}	17.95ns	1805.00^{ns}
I×G	1	0.692^{ns}	6.19**	78.56^{ns}	59.51^{ns}	56963.3^{ns}	0.46ns	1347.67^{ns}
Inoculation (T)	2	93.38**	57.81**	0.94^{ns}	8006.89**	219414.1**	92.11**	37582.20**
Y×T	2	0.097^{ns}	1.42^{ns}	30.50^{ns}	8.40^{ns}	32251.9^{ns}	12.29^{ns}	2620.92^{ns}
I×T	2	0.163^{ns}	12.05**	185.86**	14.31^{ns}	41187.7^{ns}	18.99^{ns}	6834.57^{ns}
G×T	2	0.992*	0.29^{ns}	210.91**	84.88*	23064.3^{ns}	2.12^{ns}	1479.14^{ns}
Y×I×G	1	4.63**	0.45^{ns}	3.96^{ns}	396.68**	8015.0^{ns}	4.20^{ns}	2363.28^{ns}
Y×I×T	2	0.180^{ns}	0.40^{ns}	12.06^{ns}	15.38^{ns}	11625.6^{ns}	8.56^{ns}	2426.71^{ns}
Y×G×T	2	0.254^{ns}	0.59^{ns}	12.05^{ns}	21.94^{ns}	2755.3^{ns}	2.03^{ns}	741.23^{ns}
I×G×T	2	0.252^{ns}	0.14^{ns}	13.13^{ns}	21.45^{ns}	38550.3^{ns}	16.71^{ns}	5322.57^{ns}
Y×I×G×T	2	0.028^{ns}	0.52^{ns}	25.06^{ns}	2.55^{ns}	32015.3^{ns}	0.05^{ns}	6571.64^{ns}
Sub error	40	0.213	0.77	21.23	18.33	34146.6	6.36	5408.91
Coefficient of variation (%)	-	10.8	9.71	7.77	10.7	21.07	20.28	14.23

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

**,* and ns: significant at 1% and 5% of probability levels, and non significant, respectively.

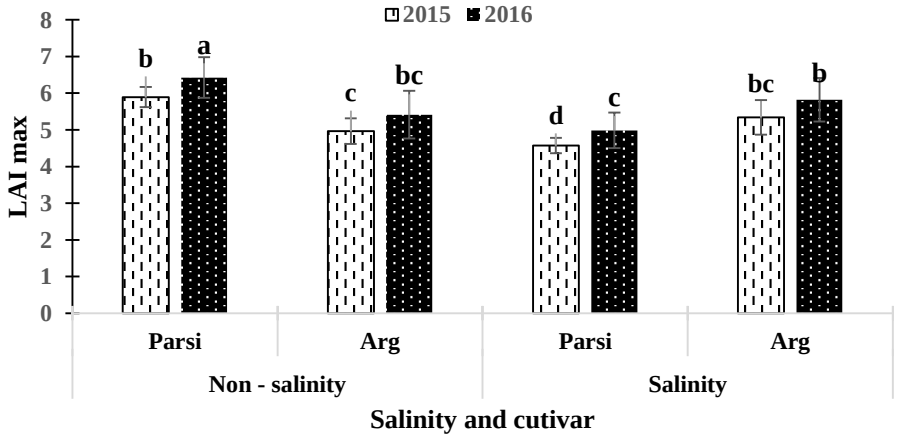
جدول ۴- تاثیر تلقیح گیاهان با قارچ های مایکوریزا بر شاخص سطح برگ، شاخص سبزنگی برگ و کلون‌زایی.

Table 4. Effect of mycorrhizal fungi inoculation of plant on LAI max, SPAD and colonization.

Cultivars	Inoculation	LAI max	SPAD	Colonization (%)
Parsi	*G. intraradices*	5.61±0.16a	61.30±1.65ab	41.61±1.5c
	G. mosseae	5.23±0.24b	60.18±1.99ab	51.41±2.2b
	Non-inoculation	5.56±0.18a	58.20±3.24b	19.24±1.7d
Arg	*G. intraradices*	5.40±0.22ab	62.04±2.29a	45.79±2.1c
	G. mosseae	5.53±0.18a	62.78±2.42a	60.17±1.7a
	Non-inoculation	5.21±0.19b	57.18±3.36b	20.54±1.8d

حروف مشابه در هر ستون نشان، دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letters in the same column indicates no significant difference based on LSD test at 5% of probability level.



شکل ۲- تاثیر تنش شوری بر حداکثر شاخص سطح برگ دو رقم گندم در دو سال. حروف متفاوت، نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Figure 2. Effect of salinity stress on maximum leaf area index of two wheat cultivars. Different letters indicate significant difference based on LSD test at 5% of probability level.

در پی کاهش سطح برگ، جذب نور کاهش می‌یابد که باعث کاهش تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد می‌شود. علاوه بر این، پیر شدن سریع برگ‌ها در اثر تنش شوری، به کاهش دوام سطح برگ منجر می‌شود. نتایج نشان داد که در سال دوم و با توجه به کاهش میزان بارندگی و افزایش تجمع نمک‌ها در خاک، سطح برگ بیشتر تحت تأثیر تنش شوری آب آبیاری قرار گرفت (جدول ۱، شکل ۲).

گزارش شده است که گیاهان دارای همزیستی مایکوریزایی نسبت به گیاهان غیر مایکوریزایی، آب را از خاک سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌کنند (Rejali *et al.*, 2010)، زیرا در گیاهان مایکوریزایی، معمولاً اندام‌های هوایی گیاه توسعه‌ی بیشتری پیدا می‌کند و سطح برگ‌ها افزایش می‌یابد و این خود باعث افزایش تعرق گیاهان مایکوریزایی می‌شود و از طرف دیگر، توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای در گیاهان مایکوریزایی، سطح تماس با خاک افزایش می‌دهد. بر طبق اظهارات پژوهشگران، تنش شوری سبب کاهش سطح برگ گیاه و افزایش نشت غشاء برگ شده است (Tofighi *et al.*, 2017). افزایش سطح برگ در شرایط کاربرد قارچ مایکوریزا آربسکولار تحت تنش شوری می‌تواند به دلیل بهبود دسترسی به آب و جذب انتخابی عناصر معدنی به‌ویژه نیتروژن و فسفر و نیز افزایش فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز و سنتز پروتئین باشد (Giri *et al.*, 2004).

میزان سدیم برگ‌ها

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که میزان سدیم برگ علاوه بر اثرات اصلی، تحت تأثیر برهم‌کنش شوری ورقم و نیز شوری و تلقیح گیاهان با قارچ‌های مایکوریزا قرار گرفت (جدول ۳). میزان سدیم تجمع یافته در برگ‌های گندم در سال دوم، نه درصد بیشتر از سال اول بود که علت آن را می‌توان به بالا بودن میزان بارندگی در سال نخست و شستشوی نمک خاک و رقیق تر شدن غلظت املاح خاک نسبت داد. مقایسه میانگین اثر دوگانه شوری در تلقیح نشان داد که شوری آب آبیاری، موجب افزایش میزان تجمع سدیم در برگ شد. این در حالی بود که کاربرد قارچ‌های مایکوریزا در شرایط غیر شور، سبب کاهش تجمع سدیم در برگ شد (جدول ۵). تأثیر تلقیح گیاهان با قارچ‌های مایکوریزا، در کاهش میزان سدیم برگ‌ها در شرایط غیر شور بیشتر از شرایط آبیاری با آب شور بود، به نحوی که در شرایط غیر شور، همزیستی مایکوریزا به‌طور متوسط نسبت به عدم تلقیح، سبب کاهش ۳۷ درصدی سدیم برگ‌ها شد، در صورتی‌که در شرایط شور، این کاهش حدود ۱۶/۶ درصد بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد که شوری سبب کاهش قابلیت جذب انتخابی قارچ‌های مایکوریزا می‌شود (Rahmani Iranshahi *et al.*, 2016).

جدول ۵- تاثیر تنش شوری و تلقیح گیاهان با قارچ مایکوریزا بر میزان سدیم قسمت‌های هوایی و شاخص سبزینگی گندم

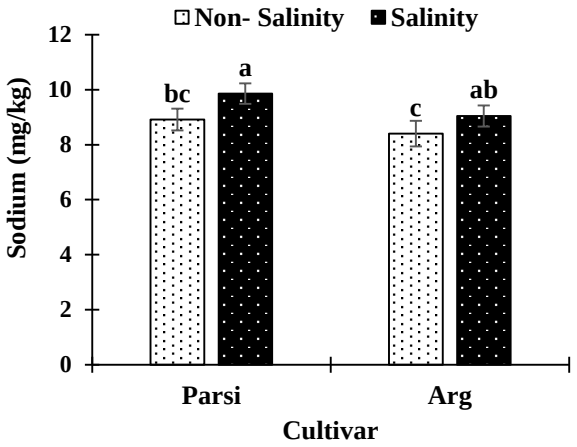
Table 5. Effect of salinity stress and mycorrhizal fungi inoculation of plant on sodium content and SPAD index

Salinity stress	Inoculation	Sodium content (mg / kg)	SPAD
Non-salinity	*G. intraradices*	5.77±0.28c	64.53±1.74ab
	G. mosseae	4.88±0.39c	64.72±2.11ab
	Non-inoculation	8.46±0.32b	69.28±1.53a
Salinity	*G. intraradices*	10.14±0.27ab	53.82±1.12c
	G. mosseae	11.88±0.20ab	54.33±1.57c
	Non-inoculation	13.20±0.35a	49.10±1.28d

حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD و در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letters in the same column indicates no significant difference based on LSD test at 5% of probability level.

مقایسه برهم‌کنش دوگانه شوری در رقم نیز نشان داد که شوری سبب افزایش میزان تجمع سدیم در برگ شد و رقم پارسی جذب سدیم بیشتری در شرایط شور نسبت به رقم ارگ داشت (شکل ۳). تفاوت دو رقم در جذب سدیم نشان داد که رقم پارسی توانسته است جذب سدیم را با قدرت انتخابی بیشتر، افزایش (نه درصد) دهد (شکل ۳).



شکل ۳- تاثیر تنش شوری بر میزان سدیم قسمت‌های هوایی دو رقم گندم. حروف متفاوت، نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Figure 3. Effect of salinity stress on sodium content of two wheat cultivars. Different letters indicate significant difference based on LSD test at 5% of probability level.

بارزترین آثار تنش شوری، کاهش میزان پتاسیم و افزایش جذب سدیم است (Alqarawi *et al*., 2014)؛ بنابراین تلقیح گیاه گندم با قارچ مایکوریزای آربسکولار، موجب کاهش جذب سدیم در برگ شده است. همراه با آن، تجمع بالای فسفر، منیزیم و کلسیم و جذب پایین‌تر سدیم در حضور قارچ‌ها در شرایط تیمار کلرید سدیم و کاهش اثر شوری نیز ملاحظه شده است (Hashem *et al*., 2015). مطالعات انجام شده بر روی گیاه گندم نشان‌دهنده نقش قارچ‌های مایکوریزا در کاهش تنش شوری از طریق افزایش جذب عناصر معدنی دیگر به‌ویژه در حضور مخلوطی از انواع گونه‌های گلوموس شده است (Mardukhi *et al*., 2011). در پژوهشی هماهنگ با نتایج حاضر گزارش شد که در شرایط تنش شوری، گندم مایکوریزایی رشد بهتری در مقایسه با گندم غیر مایکوریزایی داشته است (Ibrahim *et al*., 2011). به‌نظر می‌رسد که از ساز و کارهای دیگر سودمندی مایکوریزا، کاهش جذب و انتقال سدیم به اندام هوایی و متقابلاً افزایش جذب فسفر گیاه باشد (Abdel-Fattah & Asrar, 2012)؛ همچنین مایکوریزا با تجمع عناصر غذایی و نمک‌های محلول، به تنظیم اسمزی و خنثی کردن خسارت اکسیداتیو ناشی از شوری در ژنوتیپ‌های گندم کمک می‌کند (El – Amri *et al*., 2013).

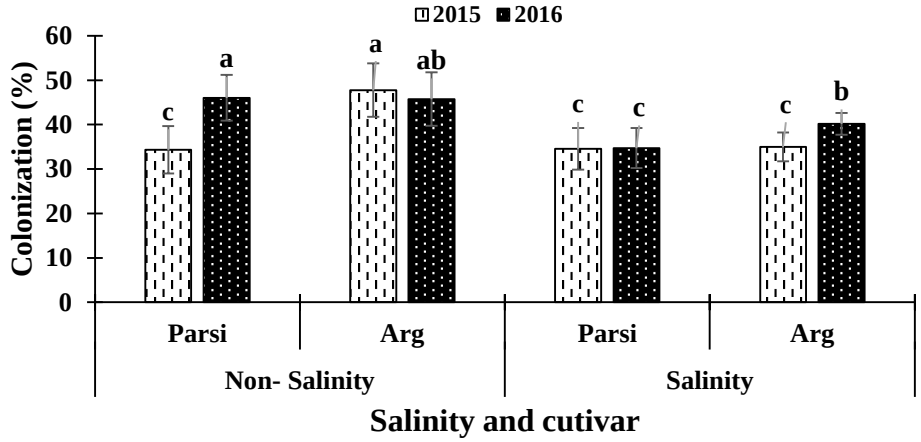
شاخص سبزینگی

شاخص سبزینگی تحت تأثیر شوری، رقم، اثر متقابل شوری و تلقیح و رقم در تلقیح قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه برهم‌کنش شوری در تلقیح نشان داد که برخلاف اثر کاهنده شوری بر شاخص سبزینگی، تلقیح مایکوریزایی شدت کاهش را به‌طور معنی‌داری کم کرد، به‌طوری‌که *G. mossea* نسبت به شاهد، نه درصد شاخص سبزینگی بیشتر داشت (جدول ۵). در تحقیقی، علت کاهش کلروفیل به تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی مانند پرولین جهت تنظیم اسمزی نسبت داده شده است (Jamil *et al*., 2007)؛ البته در شرایط بدون تنش شوری، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تلقیح و عدم تلقیح وجود نداشت (جدول ۵). از آن‌جا که تنش شوری سبب افزایش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (Yazici *et al*.,2007)، وجود همزیستی مایکوریزایی از طریق بهبود جذب آب و عناصر غذایی و افزایش توان آنتی اکسیدانی گیاه می‌تواند سبب کاهش غلظت گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه شود (Song, 2005). در مورد برهمکنش رقم و تلقیح با مایکوریزا، نتایج مقایسه میانگین نشان داد تنها رقم ارگ به تقلیح خوب واکنش داد و نسبت به تیمار شاهد خود، شاخص سبزینگی بالاتری داشت، اما در رقم پارسی، تفاوت معنی داری بین تیمار عدم تلقیح و تلقیح با دو

گونه قارچ مشاهده نشد (جدول ۴).

درصد کلون‌زایی

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که درصد کلون‌زایی علاوه بر اثرات اصلی، تحت تأثیر برهم‌کنش دوگانه رقم و در تلقیح و اثر سه‌گانه شوری ورقم و سال قرار گرفت (جدول ۳). میانگین‌های مربوط به اثر سه‌گانه نشان داد که در در رقم گندم ارگ در سال اول، شوری سبب کاهش معنی‌دار درصد کلون زایی ریشه شد، درحالی‌که در رقم پارسی، تفاوت معنی‌داری بین تیمار شور و غیر شور وجود نداشت. اما در سال دوم در رقم ارگ، شوری نتوانست کاهش معنی‌داری در کلون‌زایی ایجاد کند، درصورتی‌که در رقم پارسی، شوری منجر به کاهش معنی‌دار کلون‌زایی شد (شکل ۴).



شکل ۴- تاثیر تنش شوری بر میزان کلون‌زایی دو رقم گندم در دو سال. حروف متفاوت، نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Figure 4. Effect of salinity stress on colonization rate of two wheat cultivars in two years. Different letters indicate significant difference based on LSD test at 5% of probability level.

با توجه به کاهش بارش در سال دوم، به‌نظر می‌رسد در مقایسه با رقم پارسی، رقم ارگ دارای ثبات بیشتری در همزیستی با مایکوریزا باشد؛ این واکنش، تفاوت ارقام گندم را به لحاظ همزیستی مایکوریزا به خوبی نشان می‌دهد. شوری می‌تواند کلونیزاسیون قارچ را مستقیماً با کاهش رشد هیف و یا کاهش رشد گیاه (اختصاص کم‌تر کربوهیدرات) تقلیل دهد (Porras-Soriano *et al*., 2009). از جمله دلایل کاهش کلونیزاسیون با افزایش شوری، کاهش تندش اسپور و رشد هیف (Garg & Manchanda, 2009) است. کاهش درصد کلونیزاسیون در اثر شوری توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Giri *et al*., 2004; Scheloske *et al*., 2004; Habibi *et al*., 2015).

پرولین

میزان پرولین برگ تنها تحت تأثیر اثرات اصلی شوری و تلقیح با قارچ قرار گرفت (جدول ۳). میزان پرولین در اثر تلقیح با قارچ افزایش یافت، ولی بین نوع قارچ‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. نتایج نشان داد که شوری سبب افزایش پرولین به‌میزان ۱۰۶درصد شد (جدول ۶). تلقیح گیاه با دو قارچ *G. mossea* و *G. intraradices* نیز به‌طور متوسط سبب افزایش ۲۲ درصدی پرولین نسبت به عدم تلقیح شد، این در حالی بود که بین نوع قارچ‌های کاربردی در این مورد تفاوتی وجود نداشت (جدول ۶).

از دلایل عمده افزایش معنی‌دار پرولین گیاه با افزایش شوری در سیتوپلاسم، تنظیم فشار اسمزی سلول است که می‌تواند به‌منظور موازنه اسمزی در واکوئل و تعادل اسمزی بین سیتوپلاسم و اجزای گوناگون سلول نسبت به شوری محیط باشد (Mirmohammadi Meibodi *et al*., 2002). افزایش پرولین برگ در اثر افزایش سطوح شوری، شاید به سبب افزایش میزان اسید آبسزیک باشد. این هورمون انباشتگی اسیدهای

آمینه به‌صورت عام و پرولین به‌صورت خاص را موجب می‌شود و سازش با شوری را بهبود می‌بخشد که ممکن است یکی از دلایل افزایش پرولین در گیاهان مایکوریزی باشد. افزایش پرولین برگ‌ها با افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئاز، تجمع اسیدهای آمینه و آمونیوم و کاهش میزان کلروفیل برگ و پروتئین همراه است. مشاهدات نشان می‌دهد که تأثیر قارچ مایکوریزای بر غلظت پرولین در تنش شوری متغیر است، به‌طوریکه در گیاه باقلا (*Vicia faba*) (Rabie & Almadini, 2005) و گیاه ذرت (*Zea mays*) (Feng *et al*., 2002) تلقیح شده با قارچ‌های مایکوریزا تحت تنش شوری، غلظت پرولین به نحو معنی‌دار کمتر شده است و میزان تغییرات این ترکیب در ریشه این گیاهان کمتر از برگ بوده است.

جدول ۶- تاثیر تلقیح و تنش شوری بر میزان پرولین و پروتیئن برگ و عملکرد دانه دو رقم گندم

Table 6. Effects of inoculation and salinity on leaf proline and protein and grain yield of two wheat cultivars.

Treatment	Level	Leaf proline content (ug/g FW)	Leaf protein content (mg /g)	Grain Yield (g/m ^{2})
Salinity	Non- Salinity	571.5±19.7b	16.74±0.62a	624.1±16.1a
	Salinity	1182.3±42.1a	8.14±0.40b	402.6±9.8b
Cultivars	Parsi	872.9±57.5a	11.88±0.86b	510.6±23.0a
	Arg	880.9±64.7a	13.00±0.92a	516.1±22.7a
Inoculation	*G. intraradices*	922.5±79.0a	12.38±0.80ab	492.7±25.2b
	G. mosseae	941.2±72.7a	14.43±1.30a	559.0±32.6a
	Non-inoculation	767.0±69.2b	10.51±1.00b	488.4±23.4b

حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD و در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letters in the same column indicates no significant difference based on LSD test at 5% of probability level.

پروتئین کل برگ

نتایج نشان داد که تنها اثرات اصلی شوری، رقم و تلقیح گیاه با قارچ مایکوریزا بر میزان پروتئین کل برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). تنش شوری پروتئین را ۵۱ درصد کاهش داد (جدول ۶). رقم گندم ارگ نیز در مقایسه با رقم پارسی میزان پروتئین بالاتری داشت (جدول ۶). در شرایط تلقیح با قارچ *G. mossea*، بیشترین میزان پروتئین (۱۴/۴۳ میلی‌گرم بر گرم) تولید شد که با گونه‌ی *G. intraradices* تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

شوری باعث کاهش سنتز پروتئین برگ و افزایش هیدرولیز آن در بعضی از گیاهان می‌شود و در نتیجه سبب تولید اسیدهای آمینه می‌شود. نمک‌ها، اثرات مهارکنندگی روی پروتئین‌های برگ دارند؛ نخست این‌که باعث شکستن پیوندهای الکترواستاتیک می‌شوند و دوم این‌که افزایش برهم‌کنش‌های آب گریز را در پی دارند. گزارش شده است که تلقیح بذرهای گیاهان زراعی با سویه‌های مایکوریزا، باعث افزایش میزان پروتئین برگ به‌ویژه در شرایط نامساعد محیطی می‌شود؛ همچنین مایکوریزا موجب کد کردن ژن‌هایی در اندام‌های گوناگون گیاه از جمله دانه می‌شود که عامل سنتز برخی پروتئین‌های مقاومتی در گیاه هستند (Ruiz-Lozano *et al*., 2008)؛ بنابراین می‌توان اظهار بیان داشت که کاربرد مایکوریزا می‌تواند منجر به افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی شود.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثرات اصلی شوری و تلقیح بر این صفت مهم معنی‌دار بود (جدول ۳). بالاترین عملکرد دانه (۶۲۴/۱ گرم در متر مربع) در شرایط عدم تنش شوری تولید شد و با اعمال شوری، ۳۵ درصد افت عملکرد مشاهده شد (جدول ۶). همچنین عملکرد دانه در شرایط تلقیح با قارچ *G. mossea* به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (۵۵۹ گرم در متر مربع) که نسبت به تیمار عدم تلقیح سبب افزایش ۱۴/۴ درصدی عملکرد دانه شد (جدول ۶). از دلایل بالا بودن عملکرد دانه در شرایط تلقیح مایکوریزایی می‌توان به بهبود تنظیم اسمزی گیاه اشاره کرد (Garg & Manchanda, 2009) که از طریق بالاتر بودن مقدار پرولین و پروتئین (جدول ۶) گیاهان و همچنین بیشتر بودن شاخص سطح برگ (شکل ۱) و شاخص سبزینگی (جدول ۵) مشخص می‌شود.

افت عملکرد در اثر شوری به علت کاهش اجزای عملکرد می‌تواند به مراحل رویشی و کاهش فتوسنتز و

رشد زایشی نیز مرتبط باشد (Husain *et al*., 2003). همچنین گزارش شده است که تلقیح گندم با گونه‌های *G. etunicatum*، *G. mosseae* و *G. intraradices* موجب کاهش اثرات منفی تنش شوری و کاربرد هم‌زمان و تلفیقی آن‌ها موجب افزایش آثار مثبت آن‌ها می‌شود (Mardukhi *et al*., 2008). در آزمایشی، کاربرد *G. etunicatum* و *G. mosseae* بسته به ژنوتیپ متفاوت بود، به نحوی‌که کاربرد *G. etunicatum* در ژنوتیپ‌های کویر و طبسی، مؤثرتر و کاربرد *G. mosseae* موجب بهبود عملکرد ژنوتیپ روشن در تنش شوری شد (Daei *et al*., 2009). افزایش عملکرد دانه در اثر تلقیح با گونه‌های *etunicatum* و *G. mosseae* در شرایط تنش به بهبود زیست‌توده نسبت داده شده است (Al-Karaki *et al*., 2004). افزایش رشد و بهبود عملکرد گیاهان زراعی در اثر کاربرد کودهای زیستی توسط پژوهش‌های گوناگونی گزارش شده است. در پژوهشی گزارش شده است که قارچ مایکوریزا ،اجزای عملکرد دانه و تعداد سنبلچه گندم را به‌صورت معنی‌داری افزایش داده است (Bahrani *et al*., 2010). همچنین تلقیح گیاهان با کود زیستی از طریق گسترش ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی، اثر مثبت و معنی داری بر عملکرد گیاه ایجاد کرده است. بیان شده است که تلقیح گیاه با کودهای زیستی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد، موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم شد (Rouzbeh *et al*., 2009). برخی پژوهشگران بیان داشتند که کاربرد کودهای زیستی از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای جذب توسط گیاه، عملکرد و عملکرد اجزای گندم را بهبود داد (Ahmed *et al*., 2011). نتایج آزمایشی نشان داد که اثر قارچ مایکوریزا بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و تیمارهای قارچی، عملکرد دانه بالاتری نسبت به شاهد داشتند (Habibi *et al*., 2015).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که در شرایط تنش شوری، شاخص سبزینگی، کلون‌زایی، پروتئین و عملکرد دانه گندم کاهش و میزان سدیم افزایش یافت. همچنین مشخص شد که تلقیح با مایکوریزا از طریق کاهش جذب سدیم، سبب افزایش دسترسی به عناصر غذایی و در نهایت سبب تأثیر بر شاخص سطح برگ این گیاه می‌شود. بهبود شاخص سطح برگ نیز در نهایت منجر به بهبود عملکرد دانه شد. در بین دو گونه قارچ، با وجود این‌که کاربرد *G. mosseae* در افزایش عملکرد دانه معنی‌دار شد، ولی در سایر صفات دو گونه قارچ در مقایسه با تیمار عدم تلقیح خوب ظاهر شدند. به‌طور کلی تلقیح گیاه گندم با قارچ مایکوریزا، با تعدیل اثر آبیاری با آب شور، سبب بهبود عملکرد و کیفیت رشد گیاه در شرایط تنش شوری شد و رقم گندم ارگ در این پژوهش رقم برتری بود.

REFERENCES

1. Abdel-Fattah, G. M. & Asrar, A. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungal application to improve growth and tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in saline soil. *Acta Physiology Plantarum*, 34, 267-277.
2. Abdollahi, M., Ghorbani, H. & Heidari, M. (2017). Effects of salinity, molybdenum and mycorrhizal fungi (*Glomus versiform*) on the oxidative enzymes activity and some physiological characteristics in corn. *Iranian Journal of Plant Researches***,** 30(3), 607-618. (In Persian with English abstract)
3. Aboutalebian, M. A. & Elahi, M. (2016). Evaluation of changes in some physiological indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected by on-farm seed priming and bio-fertilizers at different phosphorus levels. *Journal of Crop Production & Processing*, 6 (20), 25-39. (In Persian with English abstract)

4. Ahmed, M. A., Amal, G. A., Magda, H. M. & Tawfik, M. M. (2011). Integrated effect of organic and biofertilizer on wheat productivity in new reclaimed sandy soil. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 7, 105-114.
5. Aliasgharzadeh, N., Saleh Rastin, N., Towfighi, H. & Alizadeh, A. (2001). Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. *Mycorrhiza*, 11(3), 119-122.
6. Al-Karaki, G., McMichael, B. & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhizae*, 14, 263-269.
7. Al-Karaki, G. N. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*, 10, 51-54.
8. Al-Karaki, G. N. & Hammad, R. (2001). Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 1311–1323.
9. Alqarawi, A. A., Abd-Allah, E. F., Hashem, A., Al Huqail, A. & Al Sahli, A. A. (2014). Impact of abiotic salt stress on some metabolic activities of Ephedra alata Decne. *The Journal of Food, Agriculture and Environment*, 12, 620-625.
10. Azarnivand, H. & Ghorbani, M. (2007). Effects of sodium chloride on the germination of two species of pasture *Artemisia scoparia* L. and *Artemisia vulgaris* L. *Iranian Journal of Range and Desert*, 4(3), 352-358. (In Persian with English abstract)
11. Bahrani, A., Pourreza, J. & Haghjoo, M. (2010). Response of winter wheat to co-inoculation with Azotobacter and Arbescular Mycorrhizal fungi (AMF) under different sources of nitrogen fertilizer. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science*, 8(1), 95-103.
12. Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcon, R. & Azcon-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 56, 1761-1778.
13. Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, L. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant & Soil*, 39, 205-207.
14. Beltrano, J. & Ronco, M. G. (2008). Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20, 29-37.
15. Borde, M., Dudhane, M. & Jite, P. (2011). Growth photosynthetic activity and antioxidant responses of mycorrhizal and non-mycorrhizal bajra (*Pennisetum glaucum*) crop under salinity stress condition. *Crop Protection*, 30, 265–271.
16. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-54.
17. Daei, G., Ardekani, M. R., Rejali, F., Teimuri, S. & Miransari, M. (2009). Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield components and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. *Journal of Plant Physiology*, 166, 617-625.
18. Dodd, I. C. & Pérez-Alfocea, F. (2012). Microbial amelioration of crop salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 3415-3428.
19. El – Amri, S. M., Al –Whaibi, H. M., Abdel-Fattah, G. M. & Siddiqui, M. H. (2013). Role of mycorrhizal fungi in tolerance of wheat genotypes to salt stress. *African Journal of Microbiology Research*, 7(14), 1286-1295.

20. Feng, G., Li, X., Zhang, F. and Li, S. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza 12:185-190.
21. Garg, N. & Manchanda, G. (2009). Role of arbuscular mycorrhizae in the alleviation of ionic, osmotic and oxidative stresses induced by salinity in *Cajanus cajan* (L.) Mill sp. (pigeon pea). *Journal Agronomy & Crop Science*, 195, 110-123.
22. Ghoochani, R., Riasat, M., Rahimi, S. & Rahmani, A. (2015). Biochemical and physiological characteristics changes of wheat cultivars under arbuscular mycorrhizal symbiosis and salinity stress. *Biological Forum–An International Journal*, 7(2), 370-378. (In Persian with English abstract)
23. Ghorbani, M. H., Zainali, E., Soltani, E. & Galeshi, S. (2003). Effect of salinity stress on growth, yield and comparing yield of two genotypes of wheat. *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 10 (4), 5-14. (In Persian with English abstract)
24. Giri, B., Kapoor, R. & Mukerji, G. (2004). Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza*, 14, 307-312.
25. Grieve, C. M., Grattan, S. R. & Maas, E. V. (2012). Plant salt tolerance. *Agricultural Salinity Assessment and Management*, 2, 405-459.
26. 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 Crop Research*, 13(3), 471-484. (In Persian with English abstract)
27. Hamada, A. M. & EL-enany, A. E. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, 36, 75- 81.
28. Hashem, A., Abd Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Alwhibi Mona S., Alenazi, M. M., Egamberdieva, D. & Ahmad, P. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi mitigates NaCl induced adverse effects on *Solanum lycopersicum* L. *Pakistan Journal of Botany*, 47, 327–340.
29. Hayman, D. S. & Phillips, J. M. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-161.
30. Husain, S., Munns, R. &. Condon, A. G. (2003). Effect of sodium exclusion trait on chlorophyll retention and growth of durum wheat in saline soil. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54, 589-597.
31. Ibrahim, A. H., Abdel-Fattah, G. M., Eman, F. M., AbdEl-Aziz, M. H. & Shohr, A. E. (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi and spermine alleviate the adverse effects of salinity stress on electrolyte leakage and productivity of wheat plants. *Phyton; Annales Rei Botanicae*, 51(2), 261-276.
32. Jamil, M., Lee, K. J., Kim, J. M., Kim, H. S. & Rha, E. S. (2007). Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. *Scientia Agricola*, 64(2), 111-118.
33. Mardukhi, B., Rejali, F., Daei, G., Ardakani, M. R., Malakouti, M. J. & Miransari, M. (2011). Arbuscular mycorrhizas enhance nutrient uptake in different wheat genotypes at high salinity levels under field and greenhouse conditions. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 334, 564-571.

34. Mardukhi, B., Rejali, F., Malakuti, M. J. & Mardukhi, V. (2008). Effect of symbiosis mycorrhizal fungus on yield and yield component of two varieties resistant and partially resistant of wheat in different levels of salinity. *Journal of Soil* & *Water*, 22 (1), 83-95.
35. Mazaheri, D. & Majnoon Hoseini, N. (2001). *Fundamental of agronomy*. Tehran University Press. 412 pages. (In Persian)
36. Mirmohammadi Meibodi, A. M. & Ghareyazi, B. (2002). *Physiological aspects and breeding for salinity stress in plants*. Isfahan University of Technology Publishing Center. 288 pages. (In Persian)
37. Porras-Soriano, A., Soriano-Martin, M. L., Porras-Piedra, A. & Azcon, R. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungi increased gowth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. *Journal of Plant Physiology*, 166, 1350-1359.
38. Rabie, G. H. & Almadini, A. M. (2005). Role of bioinoculants in development of salt tolerance of *Vicia faba* plants. *African Journal of biotechnology*, 4, 210-222.
39. Rahmani Iranshahi, D., Sepehri, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., Eshghizadeh, H. R. & Jahandideh Mahjen Abadi, V. (2016). Inoculation effects of endophytic fungus (*Piriformospora indica*) on antioxidant enzyme activity and wheat tolerance under phosphorus deficiency in hydroponic system. *Journal of Greenhouse Culture Science and Technology*, 6, 75-86. (In Persian with English abstract)
40. Rejali, F., Mardukhi, B. & Malekuti, M. J. (2010). The effect of mycorrhizal symbiosis on water use efficiency, proline accumulation and uptake of wheat nutrients in saline conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, 24 (2), 122- 111. (In Persian with English abstract)
41. Rouzbeh, R., Daneshian, J. & Farahani, H. A. (2009). Super nitro plus influence on yield and yield components of two wheat cultivars under NPK fertilizer application. *Journal of Plant Breeding* & *Crop Science*, 1, 293-297.
42. Ruiz-Lozano, M., Porcel, R. & Aroca, R. (2008). Evaluation of the possible participation of drought-induced genes in the enhanced tolerance of arbuscular mycorrhizal plants to water deficit. In: Varma A. (eds) Mycorrhiza, Springer- Berlin Heidelberg. 185-205.
43. Scheloske, S., Maetz, M., Schneider, T., Hildebrandt, U., Bothe, H. & Povh, B. (2004). Element distribution in mycorrhizal and nonmycorrhizal roots of the halophyte Aster tripolium determined by poroton induced X-ray emission. *Protoplasma*, 223, 183-189.
44. Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F. & Huang, Y. (2009). Influence of arbuscular mycorrhizae on the root system of maize plants under salt stress. *Canadian Journal of Microbiology*, 55, 879-886.
45. Song, H. (2005). Effects of VAM on host plant in condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology*, 1(3), 44-48.
46. Tofighi, C., Khavari-Nejad, R. A., Najafi, F., Razavi, K. & Rejali, F. (2017). Responses of wheat plants to interactions of 24-epibrassinolide and Glomus mosseae in saline condition. *Physiology Molecular Biology Plants*, 23 (3), 557-564.
47. Yazici, I., Turkan, F., Sekmen, A. H. & Demiral, T. (2007). Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental Experimental Botany*, 61 (1), 49-57.