Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Mycorrhizal symbiosis and glycine betaine effect foliar application on some agronomic traits of rainfed wheat in calcareous soils

Aziz Majidi [1]✉ | **Farhad Rejali** [2]

1. Corresponding Author, Soil and Water Research Dept., Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, West Azarbaijan, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Urmia, Iran. E-mail: a.majidi@areeo.ac.ir
2. Soil Biology Research Dept., Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. E-mail: F.rejali@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Jan. 1, 2023

Revised: March. 26, 2023

Accepted: Apr. 8, 2022

Published online: Apr. 21, 2023

Keywords:
Harvest index,
Grain yield,
Protein content,
Quality parameters.

ABSTRACT

In order to investigate the effect of mycorrhizal fungi symbiosis and glycine betaine foliar application on some quantitative and qualitative characteristics of rainfed wheat, this experiment was carried out in the Rainfed Research Station of Agricultural and Natural Resources Education and Research Center of West Azerbaijan, Iran during 2017-19 cropping seasons. The experiment was performed as a factorial randomized complete block design with three replications. The first factor was mycorrhizal fungi inoculum at three levels: (1) control, (2) inoculation of seeds before sowing with mycorrhizal fungus inoculum of *Rhizaphagus irregularis* (GI) at a rate of 2%, (3) inoculation of seeds before sowing with mycorrhizal fungi inoculum as a mixture of three species of *Funneliformis mosseae*, *Rhizaphagus irregularis* and *Claroideoglomus etunicatum* (GM) at a rate of 2% and the second factor was glycinebetaine in two levels (1) control (water spraying) and foliar application of glycinebetaine. The results showed that root colonization was significantly affected by mycorrhizal fungal treatments and increased from 9.89% in control to 30.57% and 40.71% in GI and GM treatments, respectively. Using GM and GI inoculum, wheat grain yield increased by 269 and 187 kg ha^{-1}, respectively. Application of mycorrhizal inoculum increased grain protein content and concentration of phosphorus (P) and zinc (Zn) in the grain. In all the mentioned traits, GM treatment had higher efficiency than GI treatment. Glycine betaine increased seed yield by 160 kg/ha. Foliar application of glycine betaine increased grain yield by 160 kg ha^{-1}. The highest grain yield in GM treatment + glycine betaine foliar application was 2163 kg ha^{-1} which was 196 kg more than the control treatment. Generally, the results suggested that the application of MI inoculant + foliar application of GB were highly effective in improving the grain yield, harvest index, and quality parameters of rainfed wheat in semi-arid regions.

Cite this article: Majidi, A., & Rejali, F. (2023). Mycorrhizal Symbiosis and Glycine Betaine Effect on Some Agronomic Traits of Rainfed Wheat in Calcareous Soils. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (2), 281-297. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352937.669423

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352937.669423

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۲ شاپا: ۲۴۲۳-۷۸۳۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تأثیر همزیستی میکوریزی و برگ‌پاشی گلایسین‌بتائین بر برخی صفات زراعی گندم دیم در خاک‌های آهکی

عزیز مجیدی[۱]✉ | فرهاد رجالی[۲]

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. رایانامه: a.majidi@areeo.ac.ir

۲. بخش تحقیقات بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران. رایانامه: F.rejali@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱/۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۱۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۲/۱

واژه‌های کلیدی:
شاخص برداشت،
عملکرد دانه،
عوامل کیفی،
مقدار پروتئین.

چکیده

هدف این تحقیق، بررسی تأثیر همزیستی قارچ‌های میکوریزا و برگ پاشی گلایسین بتائین بر برخی صفات کمی و کیفی گندم دیم رقم باران بود. آزمایش بصورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط خاک‌های آهکی با متوسط بارندگی ۹۷۶/۴۵ میلی‌متر طی دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹۶) در استان آذربایجان غربی اجرا شد. عامل اول، مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا در سه سطح (۱) شاهد (بدون تلقیح) (۲) تلقیح بذور با گونه Rhizaphagus irregularis (RI) (۲) تلقیح بذور با مرکب سه گونه Funneliformis mosseae (CI)، Rhizaphagus irregularis و Claroideoglomus etunicatum و عامل دوم شامل شاهد (برگ پاشی با آب) و برگ پاشی با گلایسین‌بتائین بود. نتایج نشان داد که درصد کلونیزاسیون ریشه از ۹/۹ ٪ در تیمار شاهد به ۳۰/۶ و ۴۰/۷ ٪ به ترتیب در تیمارهای RI و CI افزایش یافت. با مصرف مایه تلقیح CI و RI، عملکرد دانه گندم به ترتیب ۲۶۹ و ۱۸۷ کیلوگرم در هکتار افزایش یافتند. مایه تلقیح مرکب سه گونه میکوریزا (CI) باعث افزایش محتوی پروتئین دانه و غلظت عناصر فسفر و روی در دانه شد. گلایسین‌بتائین، عملکرد دانه را به میزان ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار CI + گلایسین‌بتائین به میزان ۲۱۶۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که ۴۷۷ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. بذرمال کردن گندم دیم با مایه تلقیح مرکب سه گونه میکوریزا همراه با برگ پاشی گلایسین بتائین، موجب بهبود عملکرد دانه و افزایش محتوی پروتئین دانه و غلظت عناصر فسفر و روی در دانه خواهد شد.

استناد: مجیدی، عزیز؛ رجالی، فرهاد (۱۴۰۲). تأثیر همزیستی میکوریزی و گلایسین‌بتائین بر برخی صفات زراعی گندم دیم در خاک‌های آهکی، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۲)، ۲۹۷-۲۸۱. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352937.669423

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352937.669423

مقدمه

رشد پایدار تولیدات کشاورزی، مهم‌ترین برنامه توسعه اغلب کشورها در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. تولید دیم در این کشورها، سهم قابل‌توجهی از محصولات کشاورزی را شامل می‌شود. در ایران، مقدار تولید گندم دیم در سال زراعی ۱۳۹۸–۹۷، حدود ۵/۵ میلیون تن بوده که در مساحتی بالغ بر ۳/۹ میلیون هکتار تولید و سهم آن از کل تولید محصولات زراعی دیم ۷۱/۵ درصد برآورد شده است (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰).

تنش‌های خشکی ناشی از کاهش بارندگی و افزایش دما، از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید دیم در کشور هستند (Kheiri *et al*., 2017). یکی از راهکارهای مقابله با تنش‌های خشکی، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین به‌زراعی است که می‌تواند به نحو مؤثری تولید محصولات دیم را بهبود دهند (Carberry *et al*., 2011; McLeod *et al*., 2021). یکی از این فناوری‌های مؤثر برای کاهش اثرات تنش خشکی بر روی رشد گیاهان، برقراری رابطه همزیستی میکوریزی است. گیاهانی که میزبان قارچ‌های میکوریزا هستند، از رشد و پتانسیل تولیدی بهتری در شرایط تنش خشکی برخوردارند (Jayne *et al*. 2014). یکی دیگر از روش‌های نوین به‌زراعی مقابله با تنش‌های خشکی، استفاده از تنظیم‌کننده‌های اسمزی است. تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی در سلول‌ها از پیامدهای بروز تنش خشکی در گیاهان است و به‌عنوان معیاری مهم در معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گندم در نظر گرفته می‌شود (Moinuddin, 2005). بخش مهمی از این مواد، ترکیبات آلی کاملا محلولی هستند که در غلظت بالاتر از حد معمول موجب بروز مسمومیت در گیاهان نمی‌شوند. یکی از مهمترین این ترکیبات آمینواسید گلایسین بتائین است که به هنگام بروز تنش‌های غیر زنده در گیاهان عالی تجمع می‌یابد (Ahmed *et al*., 2019).

هرچند مطالعاتی در زمینهٔ تأثیر قارچ‌های میکوریزای و تنظیم‌کننده‌های اسمزی در سلول‌ها بر روی رشد محصولات مختلف زراعی و مقابله با تنش‌های محیطی به انجام رسیده ولی، تحقیقات اندکی در شرایط اکولوژیکی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران بر روی گندم دیم به انجام رسیده است. بنابراین، هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی اثرات برهم‌کنش مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزای نوع آربسکولار و محلول‌پاشی گلایسین بتائین بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی محصول گندم دیم در شرایط خاک‌های آهکی بود.

پیشینهٔ پژوهش

تأثیر مثبت قارچ‌های میکوریزی نوع آربسکولار بر رشد گندم در شرایط تنش‌خشکی در تحقیقات متعددی مورد تائید قرار گرفته است. در پژوهشی بر روی ارقام گندم نان و دوروم، مشخص شد که مایه‌تلقیح این قارچ‌ها به‌طور معنی‌داری تولید زیست‌توده هردو رقم را در شرایط تنش خشکی افزایش داده که منجر به روند مثبتی در کارایی مصرف آب و کاهش آسیب اکسیداتیو در سلول‌ها شد (Bernardo *et al*., 2019). در تحقیقی دیگر، تلقیح بذور گندم با مایه‌تلقیح قارچ‌های میکوریزایی ضمن کاهش اثرات مخرب تنش خشکی، عملکرد زیستی، مقدار آب نسبی و میزان کلروفیل برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Beltrano *et al*., 2008). نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای بر روی ارقام زمستانه حساس و متحمل به خشکی نشان داد که عملکرد محصول در تمامی ارقام با مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Al-Karaki et al., 2004). در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که گندم‌های تلقیح‌شده با مایه تلقیح مرکب از سه گونه قارچ میکوریزا، موجب بروز آسیب کمتری به ساختار و عملکرد فتوسیستم‌های PSI و PSII فتوسنتز در شرایط تنش خشکی شده و افزایش بیشتر محتوی نسبی آب برگ را در پی داشت که به توانائی نفوذ هیف‌های قارچ به اعماق خاک و تأمین رطوبت موردنیاز گیاه نسبت داده شد (Al-Karaki et al., 2002). بررسی‌ها نشان داده است که همزیستی میکوریزی نه‌تنها کارایی جذب عناصر غذایی را در گیاهان بهبود بخشیده بلکه، با افزایش طول و عمق توسعه ریشه دسترسی آن را به آب موجود در خاک افزایش و درنتیجه مقاومت گیاهان به تنش خشکی ارتقاء می‌یابد (Al-Karaki *et al*., 2004; Ehrmann *et al*., 2014; Rehman *et al*. 2018; Berger *et al*., 2021).

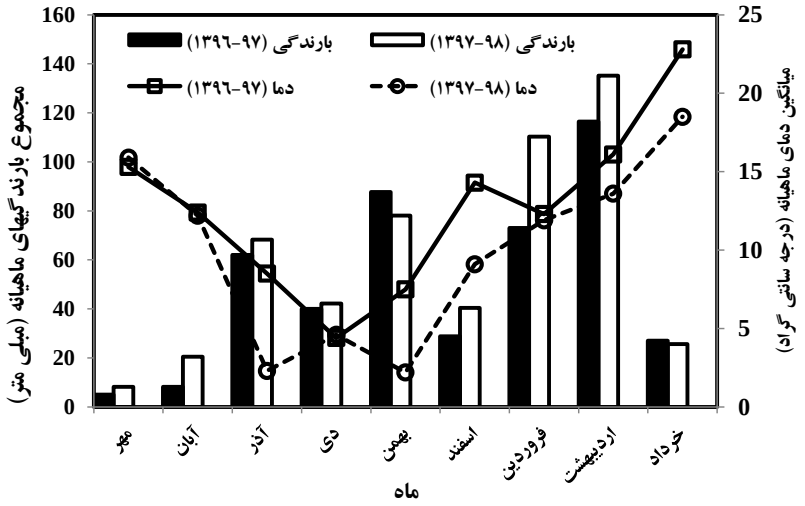
گلایسین بتائین یکی از مهمترین ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی است که ارتباط آن با افزایش درجه تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی توسط تعدادی از محققین گزارش شده است (Wang *et al*., 2010; Gupta *et al*., 2017; Ahmed *et al*., 2019). تلاش‌هایی از طریق مطالعات مهندسی ژنتیک برای بازتولید این حمایت‌کننده مهم اسمزی در گیاهان با استفاده از آنزیم‌های مؤثر در بیوسنتز گلایسین بتائین نیز به انجام رسیده است ولی، موفقیت‌های اندکی در انتقال ژن برای افزایش تولید گلایسین بتائین در گیاه

حاصل‌شده است (Wang *et al*., 2010; Park *et al*., 2007). به همین دلیل محلول‌پاشی گلایسین بتائین برای غلبه بر پیامدهای منفی تنش‌های غیر زنده به‌ویژه تنش خشکی و گرما برای بهبود رشد و تولید محصولات زراعی مختلف پیشنهاد شده است (Demiral *et al*., 2006; Ma *et al*., 2006; Gupta and Thind, 2017; Ahmed *et al*., 2019).

روش‌شناسی پژوهش

مکان اجرا و طرح آماری

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات دیم مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۶-۱۳۹۸) اجرا شد. ایستگاه مذکور در ´۲۱ °۴۱ عرض شمالی و ´۶۵ °۵۰ طول شرقی و در محدوده اراضی زراعی دیم شهرستان ارومیه واقع‌شده است. خاک محل اجرای آزمایش لوم رسی آهکی (fine mixed mesic typic Calcixerents) بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اول شامل مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا در سه سطح: (۱) شاهد، (۲) تلقیح بذور قبل از کشت با مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزای نوع آربسکولار گونه Rhizaphagus irregularis به میزان دو درصد با کد (RI)، (۳) تلقیح بذور قبل از کشت با مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا آربسکولار به‌صورت مخلوط سه گونه Funneliformis mosseae، Rhizaphagus irregularis و Claroideoglomus etunicatum به میزان دو درصد و با کد CI و عامل دوم، شامل محلول‌پاشی گلایسین بتائین در دو سطح (۱) شاهد (آب‌پاشی با آب معمولی) و محلول‌پاشی گلایسین بتائین با غلظت ۱۰۰ میلی مولار (معادل ۱۱/۷۱ گرم در لیتر) در دو مرحله تولید اولین گره ساقه (کد ۳۱ زادوکس) در هفته چهارم فروردین و مرحله نمو آبستنی (کد ۴۹ زادوکس) در اواخر اردیبهشت بودند (Zadoks, 1974). مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا آربسکولار از بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. تلقیح بذور با قارچ‌های میکوریزا با استفاده از ماده چسباننده و اضافه کردن مایه تلقیح قارچ به میزان دو درصد وزن بذر با جمعیت ۳۰۰ اندام فعال قارچ در هر گرم از مایه تلقیح انجام شد. محلول‌پاشی گلایسین بتائین (Guangzhou Zio Chemical Co., LTD) در مراحل رشدی فوق‌الذکر در کرت‌های مربوطه هنگام غروب آفتاب انجام شد. میانگین دما و بارندگی ماهیانه سال‌های زراعی انجام آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. میزان کل بارندگی در سال ۹۷-۱۳۹۶، ۴۴۸/۱ و در سال ۹۸-۱۳۹۷، ۵۲۸/۸ میلی‌متر بود. میانگین درجه حرارت در سال اول ۱۲/۶ و در سال دوم ۱۰/۰ درجه سانتی‌گراد بود (شکل۱ و جدول ۲).



شکل ۱- متوسط دما و بارندگی ماهیانه محل اجرای آزمایش

عملیات قبل از کشت

قبل از کشت، نمونه‌های مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری هر تکرار در اواخر شهریور ماه هر سال زراعی تهیه و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر اساس دستورالعمل‌های موجود اندازه‌گیری شدند (علی احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲). میانگین نتایج ویژگی‌های

فیزیکی و شیمیائی خاک محل‌های اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. بافت خاک به‌روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به‌روش خنثی کردن با اسید، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی، واکنش خاک در گل اشباع (pH) به‌وسیله الکترود شیشه‌ای، کربن آلی به‌روش اکسید کردن با اسیدسولفوریک غلیظ در مجاورت دی کرومات پتاسیم، فسفر قابل‌استفاده با روش اولسن، پتاسیم قابل‌استفاده به‌روش استات آمونیوم نرمال و غلظت عنصر کم‌مصرف روی (Zn) به‌روش DTPA اندازه‌گیری شدند.

خاک‌های مذکور غیر شور با pH قلیائی، آهک زیاد، مقدار کربن آلی کم و بافت نسبتاً سنگین بوده و ازنظر فسفر قابل‌جذب در حد متوسط و ازنظر پتاسیم در شرایط کفایت قرار داشتند.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی خاک محل اجرای آزمایش

سال اجرای آزمایش	عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	مواد خنثی شونده (%)	کربن آلی (%)	رس (%)	سیلت (%)	فسفر قابل‌جذب (mg/kg)	روی قابل‌جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل‌جذب (mg/kg)
۹۶-۹۷	۰-۳۰	۰/۵۳	†۷/۴۶	۲۸/۵	۰/۵۷	۴۵	۴۰	۱۰/۵	۰/۷۸	۳۲۹
۹۷-۹۸	۰-۳۰	۰/۶۳	۷/۵۲	۲۶/۱۶	۰/۶۸	۴۲/۴	۴۲	۹/۷	۰/۸۱	۳۱۳

†هر عدد میانگین سه تکرار است.

عملیات کاشت و اعمال تیمارها

کشت در تناوب آیش–گندم در مهر ماه انجام گرفت. در پائیز سال آیش، زمین ابتدا با گاوآهن برگردان‌دار شخم خورد و سپس در فصل بهار یک بار سووئیپ و در پائیز قبل از کشت گندم دیسک زده شد و با ماله تسطیح شد. قبل از کشت، اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بر اساس آزمایش‌های مزرعه‌ای و پاسخ گیاه در یک نوبت به مصرف رسید (سدری و همکاران، ۱۳۹۵). برای اینکار ابتدا اوره بطور یکنواخت در سطح هر کرت پخش شده و سپس با زدن دیسک با خاک سطحی مخلوط شد. عملیات کاشت با استفاده از دستگاه بذرکار آزمایشی وینتراشتایگر در هفته سوم مهر ماه انجام شد. تراکم بذر معادل ۴۵۰ بذر در مترمربع (معادل۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) از رقم باران بود. این رقم دارای تیپ رشد زمستانه، متحمل به تنش خشکی، سرما و نیمه مقاوم به زنگ زرد با میانگین عملکرد بالا، کیفیت خوب نانوایی و مناسب برای کاشت در شرایط دیم مناطق سرد و معتدل کشور است (روستائی و همکاران، ۱۳۹۳).

هر کرت آزمایشی شامل دوازده خط ۱۰ متری به عرض ۲/۴ متر بوده و فاصله بین ردیف‌های کشت بیست سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها، دو متر در نظر گرفته شدند. در مرحله داشت برای کنترل علفهای هرز پهن برگ از سم تو فوردی به مقدار ۱/۵ لیتر در هکتار و نازک برگها از سم پوماسوپر به میزان یک لیتر در هکتار استفاده شد.

عملیات برداشت و اندازه‌گیری‌ها

در مرحله برداشت محصول در اواخر تیرماه در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی (کد ۹۳ زادوکس)، صفات عملکرد دانه و عملکرد کاه در تمامی کرت‌ها اندازه‌گیری شدند. برداشت با حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌منظور حذف اثرات حاشیه به انجام رسید. عملکرد کاه از اختلاف عملکرد زیستی و عملکرد دانه محاسبه شد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه بر عملکرد زیستی محاسبه شد. غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و روی دانه تیمارهای آزمایشی بر اساس استانداردهای موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شدند (امامی، ۱۳۷۵). هضم نمونه‌های گیاه جهت اندازه‌گیری عناصر نیتروژن و فسفر از روش اکسیداسیون مرطوب با استفاده از اسید سالیسیلیک، اسیدسولفوریک و سلنیم و برای عنصر روی از روش اکسیداسیون خشک با استفاده از اسیدکلریدریک دو نرمال انجام شد. غلظت نیتروژن با روش کجلدال اندازه‌گیری و با اعمال ضریب ۵/۷، به درصد پروتئین خام دانه تبدیل شد (سدری و همکاران، ۱۳۹۵). اندازه‌گیری غلظت عنصر فسفر به روش کالریمتری (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر JENWAY مدل ۶۳۱۰ در طول موج ۴۷۰ نانومتر و اندازه گیری غلظت عنصر روی به روش جذب اتمی شعله‌ای با استفاده از دستگاه PerkinElmer مدل ۱۲۱۸ انجام شد.

رنگ‌آمیزی ریشه‌ها و برآورد درصد کلونیزاسیون ریشه با قارچ‌های میکورایزی به‌روش فیلیپس و هایمن (Phillips and Hayman, 1970) انجام شد. بدین منظور، اندام قارچ‌های میکوریزا آربسکولار در بافت ریشه گندم ابتدا رنگ‌آمیزی شدند و سپس نسبت به مشاهده آن‌ها با دستگاه استریو میکروسکوپ (نیکون مدل SMZ1000) با بزرگ‌نمائی ۱۲۵ برابر اقدام شد. برای رنگ‌آمیزی ریشه از محلول‌های رنگی تریپان بلو استفاده شد. برای محاسبه درصد همزیستی از یکصد قطعه ریشه رنگ‌آمیزی شده به طول یک الی دو سانتیمتر و با روش

تقاطع با خطوط شبکه[1] استفاده شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

قبل از انجام تجزیهٔ واریانس، آزمون نرمال بودن داده‌های آزمایشی برای دو سال و آزمون یکنواختی اشتباهات آزمایشی از طریق آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها برای صفات مختلف به‌صورت مرکب برای دو سال بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام گرفت. مقایسات میانگین تیمارها با استفاده از روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

یافته‌های پژوهش

ارزیابی نتایج تجزیه واریانس مرکب ، بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد بین سال‌های اجرای آزمایش برای صفات عملکرد دانه، عملکرد کاه، پروتئین دانه و درصد کلونیزاسیون ریشه بود (جدول ۲).

جدول ۲. آنالیز واریانس مرکب آزمایش فاکتوریل طرح بلوک کامل تصادفی در دو سال

منابع تغییرات†	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد دانه	عملکرد کاه	شاخص برداشت	پروتئین دانه
سال	۱	۱۹۷۹۷۳۳**	۱۷۵۲۶۷۵ **	۰/۰۰۲ ns	۸۴/۰۹**
اشتباه (تکرار×سال)	۴	۱۰۹۶۷۳	۸۱۹۲۴۷	۰/۰۰۲	۳۰/۹۴
میکوریزا	۲	۲۲۶۹۴۳**	۱۹۷۱۸۰ ns	۰/۰۰۹**	۱/۴۹*
سال× میکوریزا	۲	۳۵۹۱۶*	۲۳۶۱۸۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۶۸ ns
گلایسین بتائین	۱	۲۳۰۹۷۱**	۹۷۸۴۷ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۵ ns
سال×گلایسین بتائین	۱	۱۶ ns	۹۴۰۸۴۷**	۰/۰۰۶**	۰/۰۱ ns
میکوریزا×گلایسین بتائین	۲	۳۶۶۴۷ *	۱۴۲۸۲۳ ns	۰/۰۰۳*	۰/۰۵ ns
سال×میکوریزا×گلایسین	۲	۱۱۰۶ ns	۷۷۸۲۴ ns	۰/۰۰۱	۰/۲۲ ns
اشتباه	۲۰	۱۰۶۰۸	۷۳۷۸۱	۰/۰۰۱	۰/۲۶
ضریب تغییرات (CV)	–	۱۵/۲۴	۱۹/۰۴	۱۵/۸۹	۴/۱۷

†: ns، *و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح آماری پنج و یک درصد

ادامه جدول ۲.

منابع تغییرات†	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		کلونیزاسیون ریشه	غلظت فسفر دانه	غلظت روی دانه
سال	۱	۲۹۳۵/۰۴**	۰/۰۱۱ ns	۱۵۸/۳۸ ns
اشتباه (تکرار×سال)	۴	۱۸/۸۱	۰/۰۱	۲۶۶/۳۴
میکوریزا	۲	۱۳۲۲۰/۳۴**	۰/۰۲۶**	۲۹۴/۶۶**
سال× میکوریزا	۲	۱۱۲۱/۹۶ ns	۰/۰۰۱ ns	۱۴/۰۵*
گلایسین بتائین	۱	۷/۲۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۶۵ ns
سال×گلایسین بتائین	۱	۶۰/۸۸	۰/۰۰۱ ns	۰/۳۰ ns
میکوریزا×گلایسین بتائین	۲	۶/۳۲ ns	۰/۰۰۲ ns	۱۱/۷۷ ns
سال×میکوریزا×گلایسین	۲	۳۵/۹۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۲۲/۰۶**
اشتباه	۲۰	۴۸/۵۲	۰/۰۰۱	۴/۳۹
ضریب تغییرات (CV)	–	۲۵/۱۲	۶/۶۶	۱۲/۹۰

همچنین، نتایج مربوط به تلقیح قارچ‌های میکوریزا روی صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد کلونیزاسیون ریشه و غلظت عناصر فسفر و روی دانه دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و بر روی صفت پروتئین دانه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بودند. تفاوت معنی‌دار ($P<0.01$) در رابطه با اثرات متقابل سال در تلقیح قارچ مایکورایزا بر روی صفات عملکرد دانه و

1 Grid Line Intersect Method

غلظت روی در دانه وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس مرکب تأثیر گلایسین بتائین تنها بر روی صفت عملکرد دانه کاملاً معنی‌دار بود ($P<0.01$). اثرات متقابل سال در گلایسین بتائین بر روی دو صفت عملکرد کاه و شاخص برداشت معنی‌دار بود ($P<0.01$). برهم‌کنش تلقیح قارچ‌های مایکورایزا در گلایسین بتائین بر روی صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بود ($P<0.01$) (جدول ۲).

عملکرد دانه

با بررسی مقایسه میانگین‌ها مشاهده شد که بیشترین عملکرد دانه (۲۱۹۹ کیلوگرم در هکتار) مربوط به سال دوم اجرای آزمایش بود که به میزان ۲۷/۱ درصد نسبت به سال اول زراعی افزایش نشان داد (جدول ۳). همچنین، بیشترین مقدار عملکرد دانه به‌میزان ۲۰۸۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار CI به دست آمد. تیمار تلقیح با گونه قارچ RI به میزان کمتری عملکرد دانه گندم را نسبت به تیمار CI تحت تأثیر قرار داد. متداول‌ترین افزایش در تیمارهای CI و RI نسبت به شاهد به ترتیب برابر ۲۶۹ و ۱۸۷ کیلوگرم در هکتار بودند. نتایج مذکور با نتایج الکراکی و همکاران (Al-Karaki *et al*., 2004) مطابقت می‌نماید. محلول‌پاشی گلایسین بتائین در دو مرحله‌ی رشدی تولید اولین گره ساقه و اواخر مرحله رشد سنبله در غلاف، افزایش عملکرد دانه را به میزان ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌دنبال داشت.

جدول ۳. جدول مقایسه میانگین اثرات اصلی سال، قارچ میکوریزا و گلایسین بتائین بر برخی صفات کمی و کیفی گندم

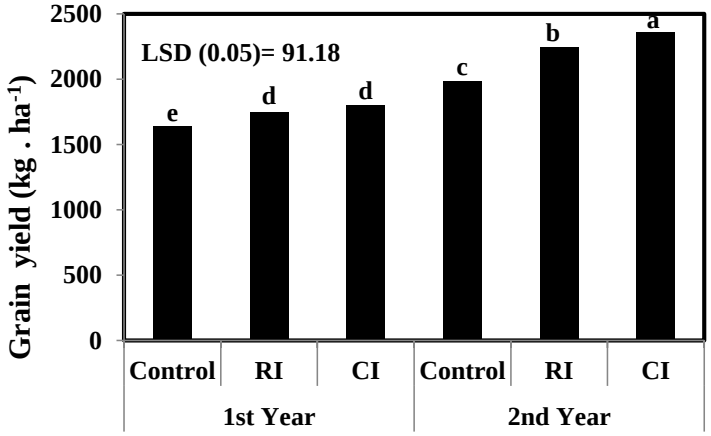
	تیمار	عملکرد دانه (kg ha^{-1})	عملکرد کاه	شاخص برداشت (%)	کلونیزاسیون ریشه
سال	۱۳۹۶–۹۷	۱۷۳۰^{b}	۲۷۸۴^{b}	۳۹^{a}	۳۲/۱۷^{a}
	۱۳۹۷–۹۸	۲۱۹۹^{a}	۳۲۲۵^{a}	۴۱^{a}	۲۳/۲۰^{b}
	LSD (0.05)	۷۱/۶۱	۱۸۸/۹	۲	۲/۶۹
قارچ میکوریزا	شاهد	۱۸۱۲^{c}	۲۷۹۴^{a}	۳۶/۹۲^{b}	۹/۸۷^{c}
	Rhizaphagus irregularis	۱۹۹۱^{b}	۲۸۹۴^{a}	۴۰/۹۴^{a}	۳۰/۵۴^{b}
	CI†	۲۰۸۱^{a}	۳۱۴۵^{a}	۴۲/۲۱^{a}	۴۲/۶۵^{a}
	LSD (0.05)	۸۷/۷۱	۳۳۱/۳	۲/۶۹	۳/۲۹
گلایسین بتائین	شاهد (آب‌پاشی)	۱۸۸۴^{b}	۲۹۵۲^{a}	۳۹^{a}	۲۷/۱۵^{a}
	برگ پاشی	۲۰۴۴^{a}	۳۰۵۷^{a}	۴۰^{a}	۲۹/۲۳^{a}
	LSD (0.05)	۷۱/۶۱	۱۸۸/۹	۲	۲/۶۹

† CI مخلوط سه گونه Funneliformis mosseae، Rhizaphagus irregularis و Claroideoglomus etunicatum

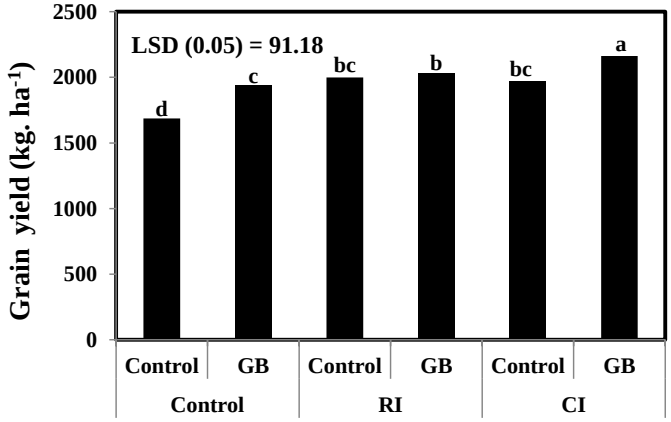
ادامه جدول ۳.

	تیمار	پروتئین دانه (%)	غلظت فسفر دانه (mg kg^{-1})	غلظت روی دانه
سال	۱۳۹۶–۹۷	۱۳/۷^{a}	۰/۴۱۳^{b}	۱۵/۲^{b}
	۱۳۹۷–۹۸	۱۰/۶^{b}	۰/۴۳۰^{a}	۱۷/۳^{a}
	LSD (0.05)	۰/۳۵	۰/۰۱۶	۰/۷۷
قارچ میکوریزا	شاهد	۱۱/۸^{b}	۰/۴۰^{b}	۱۴/۳^{c}
	Rhizaphagus irregularis	۱۲/۱^{ab}	۰/۴۲^{b}	۱۵/۳^{b}
	CI†	۱۲/۵^{a}	۰/۴۵^{a}	۱۷/۲^{a}
	LSD (0.05)	۰/۴۳	۰/۰۲	۰/۹۵
گلایسین بتائین	شاهد (آب‌پاشی)	۱۲/۱^{a}	۰/۴۱^{a}	۱۶/۰^{a}
	برگ پاشی	۱۲/۲^{a}	۰/۴۲^{a}	۱۶/۴^{a}
	LSD (0.05)	۰/۳۵	۰/۰۲	۰/۷۷

† CI مخلوط سه گونه *Funneliformis mosseae* ، *Rhizaphagus irregularis* و *Claroideoglomus etunicatum*



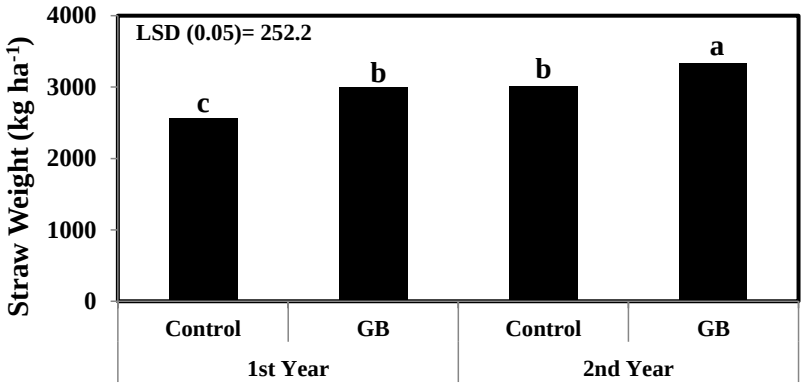
شکل ۲. برهمکنش سال و مایه تلقیح میکوریزا (CI و RI) بر عملکرد گندم؛ حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد است.



شکل ۳. برهمکنش مایه تلقیح میکوریزا (CI و RI) و گلایسین بتائین (GB) بر عملکرد گندم؛ حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد است.

عملکرد کاه

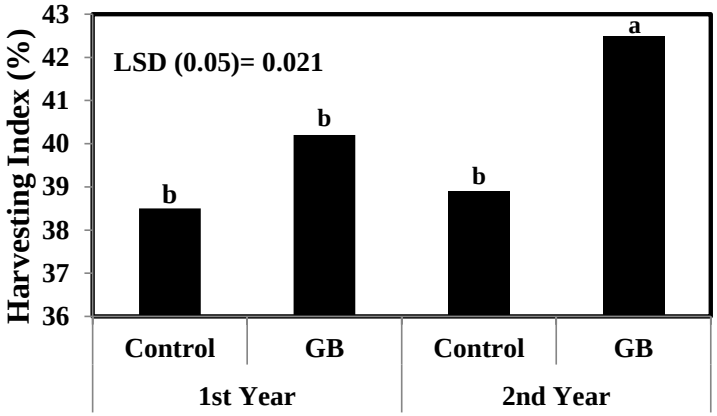
میانگین عملکرد کاه در سال دوم نسبت به سال اول به میزان ۱۵/۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). این میزان حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین دو سال اجرای آزمایش در سطح پنج درصد بود (شکل ۱). نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که عملکرد کاه گندم تحت تأثیر تیمارهای قارچ میکوریزا قرار نگرفت. برهمکنش سال در گلایسین بتائین نشان داد که بیشترین عملکرد کاه به سال دوم و کاربرد گلایسین بتائین و کمترین مقدار آن به سال اول و عدم کاربرد گلایسین بتائین تعلق گرفت (شکل ۴).



شکل ٤. برهم‌کنش سال و گلایسین بتائین بر عملکرد کاه گندم؛ حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد است.

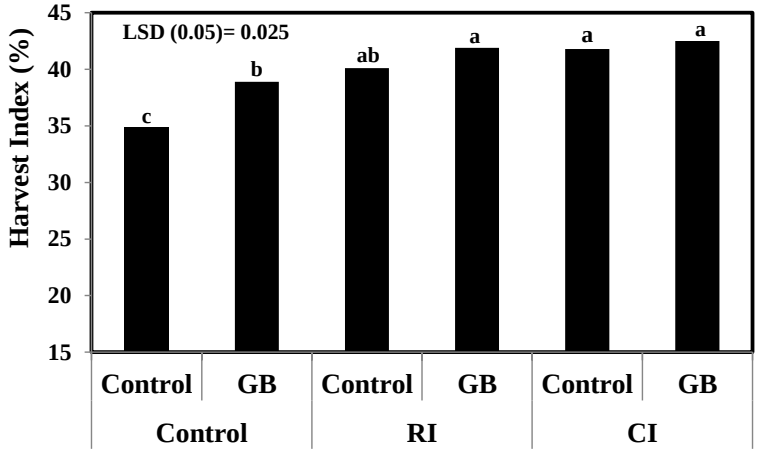
شاخص برداشت

شاخص برداشت تحت تأثیر اثر سال قرار نگرفت ولی، آغشته کردن بذور با هر دو مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا صفت شاخص برداشت را بطور متوسط ۱۳/۵ درصد افزایش داد (جدول ۳). برهم‌کنش سال در محلول‌پاشی گلایسین بتائین نشان داد که بیشترین شاخص برداشت به میزان ۴۲/۶ درصد به محلول‌پاشی گلایسین بتائین در سال دوم و کمترین آن به میزان ۳۹/۱ درصد به تیمار شاهد در سال اول تعلق گرفت (شکل ۵).



شکل۵. برهم‌کنش سال و گلایسین بتائین بر شاخص برداشت گندم؛ حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد است.

محلول‌پاشی گلایسین بتائین در سال اول بر شاخص برداشت بی‌تأثیر بود ولی، در سال دوم افزایش معنی‌دار آن را به دنبال داشت. برهمکنش قارچ‌های میکوریزا در گلایسین بتائین بر صفت شاخص برداشت نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص معادل ۴۳ درصد در تیمار آغشته کردن بذرهای گندم با مایه تلقیح CI و محلول‌پاشی گلایسین بتائین و کمترین مقدار آن برابر ۳۵ درصد در تیمار عدم آغشته کردن بذرهای گندم و عدم محلول‌پاشی به دست آمد (شکل ۶).

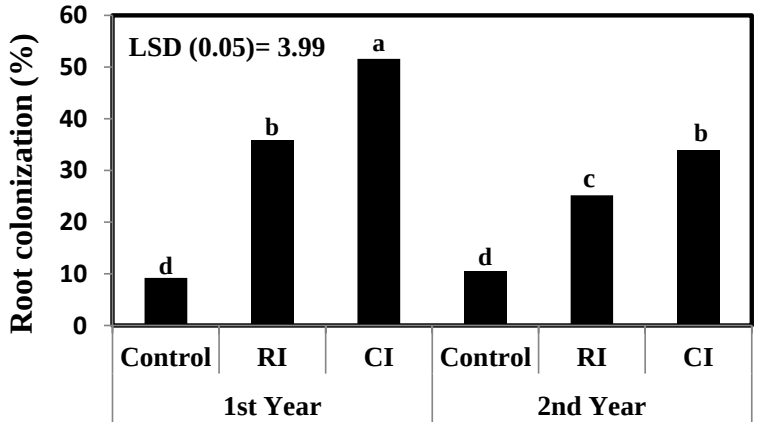


شکل ٦. برهم‌کنش مایه تلقیح میکوریزا (CI و RI) و گلایسین بتائین بر شاخص برداشت گندم؛ حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد است.

کلونیزاسیون ریشه

میانگین کلونیزاسیون ریشه در سال اول ۳۲/۲ درصد بود که نسبت به سال دوم به میزان ۳۸/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول۳). این تفاوت حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین سال‌های مختلف اجرای آزمایش بود. اختلاف بین تیمارهای آغشته نمودن بذور با قارچ‌های میکوریزا بر روی صفت کلونیزاسیون ریشه معنی‌دار بوده و میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه از ۹/۹ در تیمار شاهد به ۳۰/۵ و ۴۲/۷ درصد

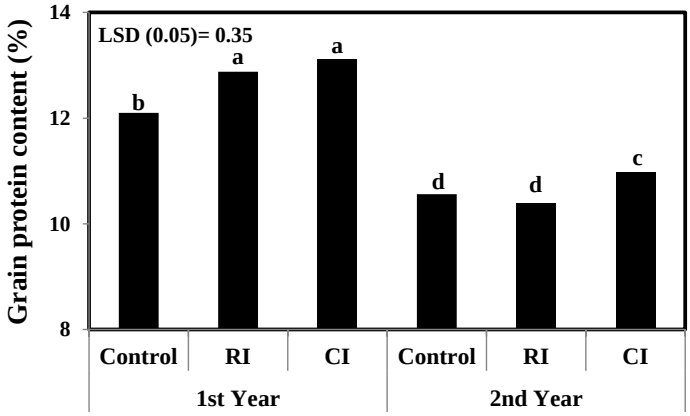
به ترتیب در تیمارهای RI و CI افزایش نشان داد (جدول۳). برهمکنش سال در قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین درصد کلونیزاسیون به میزان ۵۱/۶ درصد به سال اول و تیمار CI و کمترین مقدار آن به میزان ۹/۲ درصد به سال اول و دوم و تیمار شاهد (عدم بذر مال کردن گندم) متعلق بود (شکل ۷).



شکل ۷. برهم‌کنش سال و مایه تلقیح میکوریزا (CI و RI) بر کلونیزاسیون ریشه گندم؛ حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد است

پروتئین دانه

تفاوت معنی‌داری بین سال‌های مختلف اجرای آزمایش ازنظر میزان پروتئین دانه وجود داشت. بیشترین درصد پروتئین دانه در سال اول معادل ۱۳/۷درصد به دست آمد که نسبت به سال دوم ۳/۱ درصد بیشتر بود. تیمار مایه تلقیح CI باعث افزایش درصد پروتئین دانه به میزان ۵/۹ درصد نسبت به شاهد شد ولی، تیمار RI تأثیری بر درصد پروتئین دانه نداشت (جدول ۴). برهم‌کنش سال و قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین درصد پروتئین دانه در تیمار CI در سال اول به میزان ۱۳/۱درصد و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (عدم استفاده از مایه تلقیح) در سال دوم به دست آمد. محتوای پروتئین دانه بین تیمارهای CI و RI در سال اول تفاوت معنی داری وجود نداشت. مایه تلقیح RI مانند CI در افزایش پروتئین دانه مؤثر بود. در سال دوم کارایی مایه تلقیح RI کمتر از CI بود (شکل ۸).



شکل ۸. برهم‌کنش سال و مایه تلقیح میکوریزا (CI و RI) بر محتوی پروتئین دانه گندم؛ حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد است.

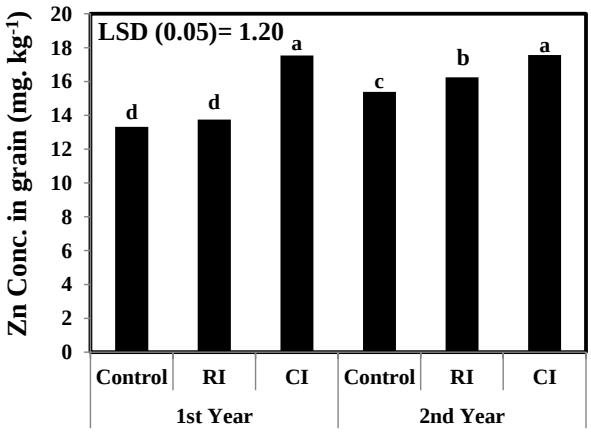
غلظت فسفر (P) دانه

یکی از عناصر ضروری پرمصرف که تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت، غلظت فسفر دانه بود. غلظت فسفر دانه در سال دوم بیشتر از سال اول بود (جدول۳). استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا موجب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر دانه در سطح پنج درصد شد

و بیشترین غلظت فسفر در تیمار CI حاصل شد که نسبت به شاهد (عدم استفاده از مایه تلقیح میکوریزا) به میزان ۱۲/۲درصد غلظت فسفر دانه را افزایش داد. تیمار RI نیز موجب افزایش غلظت فسفر دانه شد ولی، در کلاس آماری پایین‌تری نسبت به تیمار CI قرار گرفت. محلول‌پاشی گلایسین بتائین بر صفت غلظت فسفر دانه معنی دار نبود (جدول۴).

غلظت روی (Zn) دانه

در سال دوم آزمایش، با میزان بارندگی بیشتر و دمای متوسط سالیانه پائین‌تر به‌ترتیب به میزان ۸۰/۷ میلی‌متر و ۲/۶ درجه سانتی‌گراد، نسبت به سال اول غلظت روی دانه به میزان ۱۳/۸ درصد بیشتر بود. (جدول۴). مایه تلقیح قارچ میکوریزا باعث افزایش غلظت روی در دانه شده و استفاده از مایه تلقیح CI غلظت روی در دانه را به میزان ۲۰/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. کارایی مایه تلقیح CI نسبت به RI برافزایش غلظت روی در دانه ۱۲/۴۲ درصد بیشتر بود (جدول۴). برهمکنش سال و قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین غلظت روی در دانه به میزان ۱۷/۶ گرم بر کیلوگرم به سال دوم و مایه تلقیح CI و کمترین مقدار آن به میزان ۱۳/۳ به سال اول و عدم استفاده از مایه تلقیح قارچ میکوریزا (تیمار شاهد) تعلق گرفت (شکل۹).



شکل ۹. برهم‌کنش سال در مایه تلقیح قارچ میکوریزا بر غلظت روی دانه گندم دیم؛ حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد است.

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که صفات عملکرد دانه، عملکرد کاه، پروتئین دانه و درصد کلونیزاسیون ریشه گندم طی انجام دو سال آزمایش متفاوت بود. این تفاوت‌ها به احتمال قوی ناشی از تأثیر عوامل غیرقابل‌کنترل محیطی مؤثر بر رشد گندم طی دو سال اجرای آزمایش به‌ویژه تغییرات دما، بارندگی و توزیع آن در ماه‌های مهر تا خرداد باشد (شکل۱ و جدول ۲). با توجه به یکسان بودن تیمارهای موردمطالعه در طی دو سال زراعی، چنین استنباط می‌گردد که افزایش بارندگی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت به ترتیب به میزان ۵۱/۱ و ۱۶/۲ درصد و پایین‌تر بودن دما در ماه‌های اردیبهشت و خرداد به ترتیب به میزان ۳/۳ و ۱۸/۹ درصد در سال دوم زراعی نسبت به سال اول از دلایل افزایش ۲۷/۱ درصدی عملکرد دانه در سال دوم نسبت به سال اول بوده (جدول ۳) که وابستگی شدید عملکرد گندم را در شرایط دیم نسبت به تغییرات شرایط اقلیمی به‌ویژه وقوع بارندگی‌های اردیبهشت و خرداد و تغییرات درجه حرارت طی ماه‌های مذکور را در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد. این موضوع با نتایج خیری و همکاران (Kheiri *et al*., 2017) مطابقت دارد.

استفاده از مایه تلقیح CI در سال‌های اول و دوم به ترتیب به میزان ۹/۹ و۱۸/۸درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم استفاده از مایه تلقیح) عملکرد دانه را افزایش داد. چنین استنباط می‌گردد که بیشتر بودن میزان بارندگی و پایین‌تر بودن دما در سال دوم نسبت به سال اول شرایط را برای اثربخشی بیشتر مایه تلقیح CI بر روی ارتقاء عملکرد دانه گندم مساعدتر نموده است (شکل۱). از طرفی افزایش مقدار عملکرد دانه در تیمار مستقل CI نسبت به تیمار RI به میزان ۹۰ کیلوگرم در هکتار، مبین اثربخشی بیشتر مایه تلقیح CI در ارتقای تولید عملکرد دانه گندم است. افزایش عملکرد دانه ناشی از محلول‌پاشی گلایسین بتائین، احتمالاً از تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به بخش زایشی تحت تأثیر این تیمار مربوط باشد. برهم‌کنش قارچ میکوریزا CI و محلول‌پاشی گلایسین بتائین بر عملکرد دانه افزایش بیشتر تولید دانه را نسبت به اثرات مستقل تیمارها نشان داد. مقدار این افزایش برابر ۴۷۷ کیلوگرم در هکتار بود (شکل۳). نتیجه مذکور اثر هم افزائی

این دو تیمار را بر عملکرد دانه گندم تحت شرایط انجام این آزمایش را نشان می‌دهد.

افزایش ۱۵/۸ درصدی عملکرد کاه در سال دوم نسبت به سال اول، به احتمال زیاد به تغییرات شرایط جوی بین دو سال اجرای آزمایش مربوط می‌شود (شکل ۱). بررسی‌ها نشان داده است در شرایطی تنش خشکی، کاهش رشد رویشی گندم در شرایط دیم صورت می‌گیرد (Sallam *et al*., 2019, Pour-Aboughadareh *et al*., 2020). هرچند عملکرد کاه گندم تحت تأثیر مصرف مایه تلقیح قارچ میکوریزا قرار نگرفت ولی، با توجه به اینکه در سال اول، قارچ میکوریزا افزایش معنی‌دار عملکرد دانه را موجب شد، چنین استنباط می‌گردد که این قارچها با القای انتقال بیشتر مواد غذائی از اندام‌های رویشی به دانه تجمع کمتر مواد حاصل از فتوسنتز را در کلش موجب شده باشد. از طرفی، تأثیر مثبت گلایسین بتائین بر عملکرد کلش در سال دوم نسبت به سال اول (شکل ۴) ممکن است مربوط به بروز تنش رطوبتی کمتر ناشی از شرایط بارندگی و دمای محیط مساعدتر در آن سال باشد (شکل ۱). بدین مفهوم که در سال دوم، میزان بارندگی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت به‌مراتب بیشتر از مقادیر بارندگی در همان ماه‌ها در سال اول بوده و بنابراین، این امکان وجود دارد که شدت تنش خشکی در سال دوم زراعی کمتر از سال اول بوده باشد. به عبارت دیگر، شرایط محیطی برای اثربخشی بیشتر محلول‌پاشی گلایسین بتائین بر رشد رویشی گندم در سال دوم نسبت به سال اول مساعدتر بوده است.

شاخص برداشت بر توزیع نسبی محصولات فتوسنتز در بین مخزن‌های اقتصادی و سایر مخازن موجود در گیاه دلالت دارد. معنی‌دار بودن تأثیر تیمار مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا و برهم‌کنش آن با برگ پاشی گلایسین بتائین بر شاخص برداشت به مفهوم تأثیر بیشتر آن در ذخیره مواد تولیدشده در فرآیند فتوسنتز در دانه نسبت به اندام‌های رویشی گندم است. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص برداشت هرچند با مصرف مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا افزایش یافت ولی، اثربخشی محلول‌پاشی گلایسین بتائین متأثر از تغییرات شرایط محیطی بود بطوریکه، فقط در سال دوم این صفت تحت تأثیر گلایسین بتائین قرار گرفت و مقدار افزایش آن در سال دوم ۳/۵ درصد بیشتر از سال اول بود. نتایج مذکور با توجه به یکسان بودن اعمال تیمار محلول‌پاشی گلایسین بتائین در هر دو سال، به‌احتمال‌قوی به متفاوت بودن مقدار و توزیع فصلی بارندگی طی دو سال اجرای این مطالعه مربوط باشد (شکل۵). بدین مفهوم که، تأثیرگذاری محلول‌پاشی گلایسین بتائین بر افزایش ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه گندم دیم، به وضعیت رطوبتی محیط ریشه گیاه وابسته بوده و در شرایط حاکمیتی تنش خشکی اعمال این تیمار بر صفت شاخص برداشت یا افزایش ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه بی‌تأثیر است. نتایج مندرج در شکل ۶ مبین این واقعیت است که در شرایط عدم تلقیح بذرهای گندم با قارچ‌های میکوریزا، محلول‌پاشی گلایسین بتائین به‌طور معنی‌داری شاخص برداشت را افزایش داد. تلقیح بذرهای گندم با گونه‌های قارچ میکوریزا بر اثربخشی بیشتر محلول‌پاشی گلایسین بتائین برافزایش این صفت بی‌تأثیر بود. بنابراین احتمالاً در شرایط تنش خشکی، برهمکنش مثبت بین استفاده از مایه تلقیح قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی گلایسین بتائین به دلیل کمبود رطوبت قابل استفاده گیاه در خاک بر روی صفت شاخص برداشت محدود می‌شود.

کلونیزاسیون ریشه یکی از صفات مهمی است که میزان سرایت هیف‌های قارچ همزیست میکوریزا را در ریشه گندم نشان می‌دهد. میزان سرایت هیف‌های قارچ همزیست میکوریزا را در ریشه گندم طی دو سال اجرای آزمایش متفاوت بود (جدول۳). بررسی‌ها نشان داده است که دمای محیط تأثیر مستقیمی روی کلونیزاسیون ریشه می‌گذارد و با کاهش دما میزان سرایت هیف‌های قارچ و در نتیجه میزان کلونیزاسیون ریشه بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Hetrick *et al*., 1984). از طرفی پژوهش‌های جبری و همکاران (Jerbi *et al*., 2020) نشان دادند که درصد کلونیزاسیون با دما نسبت مستقیم و با میزان بارندگی نسبت عکس دارد. با توجه به بالاتربودن میانگین دما در سال اول نسبت به سال دوم به میزان ۲۵/۶ درصد و پائین‌تر بودن میزان بارندگی در سال اول نسبت به سال دوم به میزان ۱۸ درصد، احتمال اینکه این عوامل جوی روی صفت مذکور تأثیر گذاشته باشند، بسیار محتمل است (شکل ۱). نتایج این تحقیق نشان داد که باوجود درصد کلونیزاسیون بالاتر ریشه در سال اول نسبت به سال دوم، مقادیر صفات عملکرد دانه و حتی غلظت فسفر دانه در سال دوم نسبت به سال اول اجرای آزمایش بیشتر بود (جدول ۳). میزان کل بارندگی در سال اول ۴۴۸/۱ و در سال دوم ۵۲۸/۸ میلی‌متر بود. بنابراین، چنین به نظر می‌رسد که تأثیر میزان بارندگی و درنتیجه ذخیره رطوبتی خاک اثر بیشتری نسبت به رابطه همزیستی میکوریزائی بر عملکرد محصول و غلظت فسفر دانه در شرایط دیم دارد.

تفاوت مشاهده شده در بین تأثیر تیمارهای قارچ‌های میکوریزا بر صفت مذکور (جدول۳) بیانگر این واقعیت است که درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار CI کارایی بالاتری نسبت به گونه‌های قارچ RI دارد. بررسی‌ها نشان داده است که کارائی گونه‌های مختلف قارچ برای تشکیل رابطه همزیستی میکوریزا بسیار متفاوت بوده و ساختار ژنتیکی ریشه در برقراری این رابطه نیز تأثیرگذار است (Lehnert *et al*., 2017). بنابراین، متفاوت بودن درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمارهای مایه تلقیح قارچ می‌تواند ناشی از مکانیسم پیچیده‌ای باشد که

کارائی گونه‌های قارچ را در تشکیل این رابطه همزیستی تعیین کرده و کارائی بیشتر تیمار CI، که مرکب از ترکیب سه گونه قارچ بود، احتمالاً ناشی از همین مکانیسم است.

محتوی پروتئین دانه یک صفت کیفی مهم برای گندم بوده که متأثر از عوامل محیطی و ژنتیکی است. درصد پروتئین دانه در سال اول نسبت به سال دوم ۳/۱درصد بیشتر بود. سایر محققین نتایج مشابهی را گزارش کردند. بالا و همکاران (Balla *et al*., 2011) دریافتند که تنش خشکی موجب کاهش میزان تجمع نشاسته در دانه و به دنبال آن افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود. احتمالاً افزایش درصد پروتئین دانه ناشی از کاهش سلول‌های آندوسپرم و کاهش همزمان میزان نشاسته باشد.کاهش این سلول‌ها، نسبت پوسته دانه به آندوسپرم را کاهش داده و از آنجائی که پوسته نسبت به سایر اجزای دانه از میزان پروتئین بیشتری برخوردار است، درمجموع میزان پروتئین دانه افزایش می‌یابد. نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار مایه تلقیح CI باعث افزایش درصد پروتئین دانه شد (جدول ۴). نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش شده است. مظلومی و همکاران (Mazlomi Mamyandi *et al*., 2017) گزارش کردند که در گیاه چاودار در شرایط دیم، همزیستی مایکوریزی موجب افزایش درصد پروتئین دانه شد. با توجه به تفاوت‌های اقلیم در دو سال اجرای آزمایش، چنین استنباط می‌گردد که برهم‌کنش سال و قارچ میکوریزا بر روی صفت پروتئین دانه گندم دیم تحت تأثیر تغییرات شرایط اقلیمی قرار می‌گیرد (شکل ۸). در سال اول میزان بارندگی کمتر و میانگین دمای سالیانه بیشتر از سال دوم بوده است (شکل ۱) و احتمالاً تحت چنین شرایطی، میزان سرایت و کارائی رابطه همزیستی بین قارچ و ریشه گندم افزایش می‌یابد. نتایج مذکور با نتایج بدست آمده توسط سایر محققین مطابقت می‌نماید (Hetrick and Bloom, 1984; Jerbi *et al*., 2020).

غلظت فسفر دانه گندم نیز در سال‌های اجرای این پژوهش متفاوت بود بطوریکه، مقدار آن در سال دوم بیشتر از سال اول بود (جدول۴). نتایج تجزیه خاک مکان‌های اجرای تحقیق مندرج در جدول ۱ نشان داد که تفاوت زیادی بین ویژگی‌های خاک وجود نداشته و حتی میزان فسفر قابل جذب خاک در سال دوم به میزان ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمتر بود. بنابراین، با توجه به رفتار شیمیائی فسفر در خاک، احتمال اینکه ذخیره رطوبتی خاک متأثر از میزان و توزیع بارندگی بر قابلیت جذب و عرضه فسفر خاک به محیط ریشه تأثیر گذار باشد، بسیار محتمل است. نتایج بررسی‌ها نشان داده است عرضه فسفر به محیط ریشه گیاهان از طریق فرآیند پخشیدگی است که وابستگی زیادی به میزان رطوبت محیط ریشه به‌ویژه در شرایط دیم داشته و هرچه مقدار رطوبت اطراف ریشه بیشتر باشد عرضه فسفر به محیط ریشه با سهولت و سرعت بیشتری صورت گرفته و در نتیجه این امر می‌تواند جذب بیشتر فسفر توسط ریشه را فراهم نماید (Bahl *et al*., 2009). استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا موجب افزایش غلظت فسفر دانه شد و تیمار CI درصد غلظت فسفر دانه را بیشتر از تیمار RI افزایش داد. این امر کارایی بیشتر مایه تلقیح CI نسبت به RI در رابطه با تأثیر آن بر میزان جذب فسفر در گندم را نشان می‌دهد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش شده است (Al-Karaki *et al*., 2004; Li *et al*., 2005; GanuRI *et al*., 2019; Watts-Williams and RIlbert., 2021). در پژوهشی الیوت و همکاران (Elliott *et al*., 2020) دریافتند که استفاده از مایه تلقیح مایکوریزی قادر است جذب فسفر را در ارقام مختلف گندم تا ۳۰ درصد افزایش دهد.

محتوای روی دانه یک صفت کیفی مهم برای گندم است که متأثر از عوامل محیطی و ژنتیکی است. نتایج نشان داد که غلظت روی در دانه گندم دیم تحت تأثیر شرایط محیطی قرارگرفته و مقدار آن به‌احتمال‌قوی با تغییرات بارندگی و دمای محیط تغییر می‌یابد (شکل ۱ و جدول۴). نتایج مذکور با نتایج الکراکی و همکاران (Al-Karaki *et al*., 2004) مطابقت می‌نماید. آنان دریافتند که تنش خشکی بر غلظت عنصر روی در اندام‌های هوائی و دانه گندم تأثیر منفی داشته و هرچه مقدار تنش خشکی بیشتر باشد غلظت روی در اندام‌های هوائی و دانه کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که برگ پاشی گلایسین بتائین تأثیری بر غلظت روی دانه نداشت. علت چنین مشاهده‌ای مشخص نیست و ضرورت دارد تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود. نتایج نشان داد که استفاده از مایه تلقیح قارچ میکوریزا، افزایش غلظت روی در دانه را در پی داشت. سایر محققین نتایج مشابهی را گزارش کردند. در یک تحقیق مشخص شد که همزیستی مایکوریزی بر جذب روی در دانه گندم کاملاً موثر بوده و قادر است میزان جذب روی را در دانه گندم تا ۲۴/۳ درصد افزایش دهند (Coccina *et al*., 2019). افزایش معنی‌دار غلظت روی دانه گندم در اثر همزیستی مایکوریزی تحت شرایط تنش خشکی توسط رجالی و همکاران (Rejali *et al*., 2007) نیز گزارش شده است. کارایی بیشتر مایه تلقیح CI نسبت به RI برافزایش غلظت روی در دانه می‌تواند به دلیل تنوع گونه‌های قارچ همزیست در مایه تلقیح CI و سازگاری بیشتر این مایه تلقیح با سیستم ریشه گیاه میزبان باشد. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که کارائی سیستم‌های مایکوریزی در جذب عنصر روی توسط گیاه میزبان، به درجه سازگاری گونه‌های قارچ همزیست با ریشه ارقام مختلف گندم

بستگی داشته و متفاوت است (Coccina *et al*., 2019).

یکسان بودن تأثیر CI بر غلظت روی دانه در هر دوسال، تأثیر مثبت رابطه همزیستی مایکوریزی را بر افزایش این صفت تحت شرایط مختلف اقلیمی اعم از دما و یا میزان بارندگی را نشان داده (اشکال ۱ و ۹) که به واسطه تأثیر آن بر بهبود کیفیت گندم به‌ویژه در شرایط دیم از نظر غنی‌سازی[1] دانه با عنصر روی، بسیار حائز اهمیت است. بررسی‌ها نشان داده است که قارچ‌های مایکوریزی مستقل از گیاه میزبان، نسبت به تنش‌های غیر زنده سازگاری پیدا کرده و تحت شرایط مختلف تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری و حضور فلزات سنگین، رشد و تعادل تغذیه‌ای گیاهان را بهبود می‌بخشند (Diagne *et al*., 2020).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مایه تلقیح قارچ میکوریزا در بهبود عملکرد گندم دیم مؤثر بوده و مایه تلقیح مرکب (CI) متشکل از سه گونه *Funneliformis mosseae*، *Rhizaphagus irregularis* و *Claroideoglomus etunicatum*، نسبت به گونه *Rhizaphagus irregularis* از کارایی بیشتری برخوردار است. در صورت استفاده از مایه تلقیح CI، به مقدار ۲۶۹ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد دانه، تحت شرایط مشابه انجام این آزمایش، مورد انتظار است. استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا موجب افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه شده و در این رابطه، کارایی مایه تلقیح مرکب قارچ میکوریزای CI نسبت به RI بیشتر است. استفاده از مایه تلقیح CI باعث افزایش پروتئین دانه و غلظت عناصر فسفر و روی در دانه شده و در این رابطه استفاده از مایه تلقیح مرکب CI، کارایی بیشتری نسبت به مایه تلقیح RI دارد. محلول‌پاشی گلایسین بتائین در زمان‌های تولید اولین گره ساقه (کد۲۱ زادوکس) و مرحله نمو آبستنی (کد۴۱ زادوکس) در شرایط مشابه انجام این پژوهش، به‌ویژه از نظر شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک و نوع رقم گندم، افزایش محصول دانه گندم به میزان ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار را در پی خواهد داشت. اثر هم افزائی برهم‌کنش مثبت کاربرد مایه تلقیح CI به همراه محلول‌پاشی گلایسین بتائین بر بهبود تولید عملکرد دانه به میزان ۲۹/۱۲ درصد نسبت به تیمار شاهد از نتایج امید بخش در این پژوهش است. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد در برنامه مدیریت تلفیقی تغذیه‌ای گندم دیم رقم باران، از مایه تلقیح مرکب قارچ‌های مایکوریزی CI و محلول‌پاشی گلایسین بتائین در مناطق مشابه انجام این تحقیق استفاده شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

احمدی، کریم؛ عباد زاده، حمیدرضا؛ حاتمی، فرشاد؛ محمد نیا افروزی، شهریار؛ اسفندیاری پور، الهام؛ و عباس طاقانی، رضا (۱۴۰۰). *آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸. جلد اول: محصولات زراعی*. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. تهران: معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی.

امامی، عاکفه (۱۳۷۵). *روش های تجزیه گیاه*. تهران: موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. نشریه شماره ۹۸۲.

علی احیائی، مریم؛ بهبهانی زاده، علی اصغر (۱۳۷۲). *شرح روش‌های تجزیه شیمیائی خاک*. تهران: موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی. نشریه شماره ۸۹۲. (علی احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲)

سدری، محمد حسین؛ گلچین، احمد؛ فیضی اصل، ولی؛ سی و سه مرده، عادل (۱۳۹۵). اثرات مصرف بهینه نیتروژن بر کارایی استفاده از آب باران و عملکرد گندم دیم در رژیم های متفاوت رطوبتی. *زراعت دیم ایران*. ۵ (۱): ۸۵-۶۳.

روستایی، مظفر؛ حسنپور حسنی، مقصود؛ اسماعیل‌زاد، حسن؛ صادق‌زاده، داود؛ صادق زاده، بهزاد؛ امیری، عارف؛ اسلامی، رسول؛ رضایی، رضا؛ گلکاری، صابر؛ سلیمانی، کاظم؛ عابدی اصل، غلامرضا؛ روحی، ابراهیم؛ پاشاپور، هوشنگ؛ حق‌پرست، رضا؛ آقایی، مصطفی؛ احمدی، ملک مسعود؛ دریایی، امیر؛ افشاری، فرزاد؛ ترابی، محمد؛ دهقان، محمد علی؛ مردوخی، وفا؛ هوشیار، رحیم؛ دادرضایی، سید طه؛ عطاحسینی، سید محمود (۱۳۹۳). باران، رقم جدید گندم نان زمستانه برای کاشت در دیمزارهای مناطق سرد و معتدل کشور. *یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی*. ۳ (۴): ۲۴۲-۲۳۳.

REFERENCES

Ahmadi, K., Gholizdeh, H., Ebadzadeh, H., Hosseinpour, R., Abdeshah, A., Kazemian, A., & Rafiee, M. (2021). *Agricultural Statistics of the Crop Year 2019-20, Volume 1: Crops*. Deputy of Planning and

1 Enrichment

Economy. Tehran: Information Technology Center of the Ministry of Jihad Agriculture. (In Persian)
Ahmed, N., Zhang, Y., Li, K., Zhou, Y., Zhang, M., & Li, Z. (2019). Exogenous application of glycine betaine improved water use efficiency in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) via modulating photosynthetic efficiency and antioxidative capacity under conventional and limited irrigation conditions. *The Crop Journal*, **7**(5), 635-650.
Aliehyaei, M., & Behbahanizada, A. A. (1993). *Description of Soil Chemical Analysis Methods.* Number 892. Tehran: Soil and Water Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization. (In Persian)
Al-Karaki, G., McMichael, B., & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14, 263-269.
Al-Karaki, G.N., & Al-Omoush, M. (2002). Wheat response to phosphogypsium and mycorrhizal fungi in alkaline soil. *Journal of Plant Nutrition*, 25, 873-883.
Amami, A. (1996). Methods of Plant Analysis. Number 982. Tehran: Soil and Water Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization. (In Persian)
Bahl, G. S., & Singh, N. T. (2009). Phosphorus diffusion in soils in relation to some edaphic factors and its influence on P uptake by maize and wheat. *The Journal of Agricultural Science*, 107(2): 335-341.
Balla, K., Rakszeri, M., Li, Z., Békés, F., Bencze, S., & Veis, Z. (2011). Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. *Czech Journal Food Scienc*e, 29, 117–128.
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(1), 29-37.
Berger, F., & Gutjahr, C. (2021). Factors affecting plant responsiveness to arbuscular mycorrhiza. *Current Opinion in Plant Biology*, 59, 101994.
Bernardo, L., Carletti, P., Badeck, F. W., Rizza, F., Morcia, C., Ghizzoni, R., Rouphael, Y., Colla, G., Terzi, V., & Lucini, L. (2019). Metabolomic responses triggered by arbuscular mycorrhiza enhance tolerance to water stress in wheat cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, 137, 203-212.
Carberry, P., Bruce, S., Walcott, J., & Keating, B. (2011). Innovation and productivity in dryland agriculture: A return-risk analysis for Australia. *The Journal of Agricultural Science*, 149, 77-89.
Coccina, A., Cavagnaro, T. R., Pellegrino, E., Ercoli, L., McLaughlin, M. J. & Watts-Williams, S. J. (2019). The mycorrhizal pathway of zinc uptake contributes to zinc accumulation in barley and wheat grain. *BMC Plant Biology*, 19(1), 133-147.
Demiral, T., & Türkan, I. (2006). Exogenous glycinebetaine affects growth and proline accumulation and retards senescence in two rice cultivars under NaCl stress. *Environmental and Experimental Botany*, 56, 72-79.
Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P. I., Fall, D., Hocher, V., & Svistoonoff, S. (2020). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. *Diversity*, 12(10), 370-395.
Ehrmann, J., & Ritz, K. (2014). Plant: soil interactions in temperate multi-cropping production systems. *Plant and Soil*, 376(1), 1-29.
Elliott, A.J., Daniell, T.J., Cameron, D. D. & Field, K. J. (2020). A commercial arbuscular mycorrhizal inoculum increases root colonization across wheat cultivars but does not increase assimilation of mycorrhiza-acquired nutrients. *Plants, People, Planet*, 3, 588-599.
GanuRI, P., Masoni, A., Pietramellara, G., & Benedettelli, S. (2019). A review of studies from the last twenty years on plant–arbuscular mycorrhizal fungi associations and their uses for wheat crops. *Agronomy*, 9(12): 840-855.
Gupta, N., & Thind, S.K. (2017). Grain yield response of drought stressed wheat to foliar application of glycine betaine. *Indian Journal of Agricultural Research*, 51(3), 287-91.
Hetrick, B. A. D., & Bloom, J. (1984). The influence of temperature on colonization of winter wheat by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *MycoloRIa*, 76(5), 953-956.
Jayne, B., & Quigley, M. (2014). Influence of arbuscular mycorrhiza on growth and reproductive response of plants under water deficit: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, 24(2), 109-119.
Jerbi, M., Labidi, S., Lounès-Hadj Sahraoui, A., Chaar, H., & Faysal, B. (2020). Higher temperatures and lower annual rainfall do not restrict, directly or indirectly, the mycorrhizal colonization of barley *(Hordeum vulgare* L.) under rainfed conditions. *PloS one*, 15(11), p.e0241794.
Kheiri, M., Soufizadeh, S., Ghaffari, A., Aghaalikhani, M., & Eskandari, A. (2017). Association between temperature and precipitation with dryland wheat yield in northwest of Iran. *Climatic Change*, 141(4),

703-717.
Lehnert, H., Serfling, A., Enders, M., Friedt, W., & Ordon, F. (2017). Genetics of mycorrhizal symbiosis in winter wheat (*Triticum aestivum*). *New Phytologist*, 215(2), 779-791.
Li, H.Y., Zhu, Y.G., Marschner, P., Smith, F.A., & Smith, S.E. (2005). Wheat responses to arbuscular mycorrhizal fungi in a highly calcareous soil differ from those of clover, and change with plant development and P supply. *Plant and Soil*, 277(1), 221-232.
Ma, Q.Q., Wang, W., Li, Y. H., Li, D. Q., & Zou, Q. (2006). Alleviation of photo inhibition in drought stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliar applied glycine betaine. *Journal of plant physiology*, 163(2), 165-75.
Mazlomi Mamyandi, M., Pirzad, A., & Jalilian, J. (2017). Effect of mycorrhizal symbiosis on the yield and quality of rainfed rye (*Secale cereal* L.) under varying end season rainfall. *Journal of agricultural science and sustainable production*, 27(4), 1-22.
McLeod, M.K., Sufardi, S. & Harden, S. (2021). Soil fertility constraints and management to increase crop yields in the dryland farming systems of Aceh, Indonesia. *Soil Research*, 59(1), 68-82.
Moinuddin, A. S. (2005). Osmotic adjustment in wheat in relation to grain yield under water deficit environments. *Agronomy Journal*, 97(4), 1062-1071.
Park, E.J., Jeknic, Z., Pino, M.T., Murata, N., & Chen, T.H.H. (2007). Glycinebetaine accumulation is more effective in chloroplasts than in the cytosol for protecting transgenic tomato plants against abiotic stress. *Plant, cell & environment*, 30(8), 994-1005.
Phillips, J. M., & Hayman, D. (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(1), 118-158.
Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Etminan, A., Shooshtari, L., Maleki-Tabrizi, N. & Poczai, P. (2020). Effects of drought stress on some agronomic and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. *Sustainability*, 12(14), 5610-5624.
Rehman, A., Farooq, M., Ozturk, L., Asif, M., & Siddique, K.H.M. (2018). Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. *Plant and Soil*, 422(1), 283-315.
Rejali, F., Alizadeh, A., Malakouti, M. J., & Saleh Rastin, N. (2007). The effect of arbuscular mycorrhizal symbiosis in growth, yield and nutrient uptake in wheat under drought stress. *Iranian Journal of Soil and Water sciences*, 21(2), 241-259.
Rostaii, M., Hassanpour Hosni, M., Esmailzad, H., Sadeghzadeh, D., Sadeghzadeh, B., Amiri, A., Eslami, R., Rezaii, R., Golkari, S., Soleimani, K., Abedi Asl, G., Rohi, E., Pashapour, H., Haghparast, R., Aghaee, M., Ahmadi, M., Daryaee, A., Afshari, F., Torabi, M., Dehghan, M., Mardokhi, V., Hoshyar, R., Dadrezaii, S., & Ata Hosseini, S. (2014). Baran a New Winter Bread Wheat Cultivar for Dryland Condition in Cold and Moderate Regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *3*(4), 233-242.
Sallam, A., Alqudah, A.M., Dawood, M.F.A., Baenziger, P.S., & Börner, A. (2019). Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. *International journal of molecular sciences*, 20(13), 3137-3173.
Sedri, M., Golchin, A., Feiziasl, V., & Sioseh-Mardeh, A. (2016). Effect of optimal nitrogen application on water use efficiency of rain and rainfed wheat yield under different moisture conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 5(1), 63-85. (In Persian)
Wang, G.P., Zhang, X.Y., Li, F., Luo, Y., & Wang, W. (2010). Overaccumulation of glycine betaine enhances tolerance to drought and heat stress in wheat leaves in the protection of photosynthesis. *Photosynthetica*, 48(1), 117-126.
Watts-Williams, S.J., & RIlbert, S. E. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi affect the concentration and distribution of nutrients in the grain differently in barley compared with wheat. *Plants, People, Planet*, 3 (5), 567-577.
Zadoks, J.C., Chang, T.T., & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415-421.

Mycorrhizal Symbiosis and Glycine Betaine Effect Foliar Application on Some Agronomic Traits of Rainfed Wheat in Calcareous Soils

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In this study, the roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and glycine betaine (GB) in nutrition, yield, and grain protein content of field-grown wheat (Triticum aestivum L.) subjected to dryland condition examined through a 2-year crop sequence experiment (2017/19) on a clay loam soil (Calcixerents) in the northwest of Iran.

Methods and Materials

This experiment was performed as a factorial randomized complete block design (RCBD) with three replications. Trail 1 consisted of AMF treatments inoculated of seeds with specie Rhizaphagus irregularis (RI) alone, or in combination with three species of Funneliformis mosseae, Rhizaphagus irregularis and Claroideoglomus etunicatum (CI) and without inoculation as the control. Trail 2 included two treatments: water spraying as the control and foliar application of GB with a concentration of 100 mM applied at two growth stages viz. vegetative (GS 31 Zadoks) and grain filling (GS 49 Zadoks).

Results and Discussion

Field AMF inoculation showed increased grain yield for RI and MI treatments by 269 and 187 kg ha-1, respectively, indicating that AMF hyphae help the plant to obtain water and mineral nutrients from the soil. On the straw weight trait, its effect was non-significant.GB foliar application resulted in a significant increase in grain yield by 160 kg ha-1, which seems to be related to the allocation of more photosynthetic substances to the reproductive parts under the influence of this treatment.The highest grain yield in the combined treatment of MI + GB was 2163 kg ha-1 which was 477 kg more than the control. Seed treatments with both AMF inoculants enhanced the harvest index by an average of 13.50%. Maximum harvest index was recorded when MI inoculant was used with GB treatment, while this combined treatment further promoted harvest index by 8% compared to the control. Mycorrhizal colonization was higher in plants colonized with AMF inoculants than in the control plants and increased from 9.9% to an average of 35.7%. Plants inoculated with MI treatment significantly had higher colonization than the plants colonized with RI inoculants. MI treatment significantly increased grain protein content by 5.9% compared to the control, but RI treatment did not affect the grain protein content. Mycorrhizae-inoculated plants significantly exhibited higher zinc (Zn) and phosphorus (P) nutrient concentrations in the grain than non-inoculated plants ($p<0.05$). Compared with non-inoculated plants, the highest P and Zn concentrations were measured in MI treatment that increased by 12.2% and 20.87%, respectively. The foliar application of GB was ineffective on the traits of harvest index, mycorrhizal colonization, grain protein content, and P and Zn nutrient concentrations in the grain.

Conclusion

Generally, the results suggested that the application of MI inoculant + foliar application of GB was highly effective in improving the grain yield, harvest index, and quality parameters of rainfed wheat in semi-arid regions.

Keywords: Harvest index, Grain yield, Protein content, Quality parameters.