

Effects of glycine-betaine and mycorrhizal fungi application on the quantitative and qualitative performance of dryland wheat in field conditions

S. M. Hosseini*, A. Majidi, and H. Pirasteh-Anosheh

Associate Prof.; Department of Soil and Water Research; Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center; Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); Shiraz, Iran.

mhoseini20@yahoo.ca

Associate Prof.; Department of Soil and Water Research; West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center; AREEO; Urmia, Iran. az.majidi89@gmail.com

Assistant Prof.; National Salinity Research Center; AREEO; Yazd, Iran. h.pirasteh.a@gmail.com

Assistant Prof.; Department of Natural Resources Research; Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center; AREEO; Shiraz, Iran. h.pirasteh.a@gmail.com.

Received: September 2023 and Accepted: July 2024

Abstract

Reports are indicative of the promising effects of using mycorrhizal fungi and glycine betaine on enhancing drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) and, thereby, increasing its yield and quality under rainfed farming. The present investigation was carried out as an on-farm experiment in Abadeh characterized by calcareous soils, Fars Province, in the 2021-22 growing season under field conditions. The experimental treatments included: 1) application of mycorrhizal fungi inoculum to seeds before cultivation + foliar spray of glycine betaine in accordance with the integrated plant nutrition system, and 2) the control involving common field management. The endomycorrhizal inoculum consisted of a mixture of the three species of *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus irregularis*, and *Glomus etunicatum* at 2% (2 kg with surfactant in 100 kg of seeds) and glycine betaine foliar spray applied at 5 mg L⁻¹ during early stem node and booting stages. The measured characteristics consisted of grain yield components (No. of ears per m², No. of grains per ear, and one thousand-grain weight), grain yield, biological yield, harvest index, and seed quality (grain concentrations of N, P, K, Fe, Mn, Zn, and Cu). The results showed that using mycorrhizal fungi and glycine betaine in the experimental treatment led to significantly rising yield as evidenced by the increased grain numbers per ear. Grain yield, biological yield, and harvest index in the experimental treatment were found to be higher by about 60%, 39%, and 14%, respectively, than those of the control. Furthermore, the wheat grain quality measures of nitrogen, phosphorus, iron, manganese, and zinc concentrations in the same treatment were found to have significantly increased. In general, it seems that application of seed-applied mycorrhizal fungi inoculant before planting along with glycine betaine foliar spraying is capable of increasing grain yield by 60% and improving crop quality (as indicated by grain nitrogen, phosphorus, iron, manganese, and zinc contents) under rainfed conditions, which leads to sustainable production and higher farmers' income.

Keywords: Drought, Grain quality, Optimum nutrition, Rainfed, Yield

*- Corresponding author's email: mhoseini20@yahoo.ca

<https://doi.org/10.22092/lmj.2024.363124.343>

تأثیر گلايسين-بتائين و قارچ‌های مايکوزيزا بر عملکرد کمی و کیفی گندم ديم در

شرایط مزرعه‌ای

سید ماشاله حسینی*، عزیز مجیدی و هادی پیراسته انوشه

دانشیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز.

mhoseini20@yahoo.ca

دانشیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، ارومیه. az.majidi89@gmail.com

مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد و بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع

طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز. h.pirasteh.a@gmail.com

دریافت: شهریور ۱۴۰۲ و پذیرش: تیر ۱۴۰۳

چکیده

گزارش‌ها بیانگر تأثیر امیدبخش استفاده از قارچ‌های مايکوزيزا و گلايسين-بتائين برای بهبود تحمل به خشکی گندم (*Triticum aestivum* L.) و در نتیجه افزایش کمی و کیفی محصول در شرایط ديم است. بنابراین، آزمایش حاضر، با هدف بررسی این تأثیر به صورت آنفارم در شرایط خاک‌های آهکی در منطقه آباده استان فارس در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ در شرایط مزرعه‌ای اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل (۱) استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های مايکوزيزا به صورت بذرمال پیش از کشت به علاوه برگ‌پاشی گلايسين-بتائين بر مبنای سیستم تلفیقی تغذیه گیاهی و (۲) مدیریت رایج مزرعه به عنوان شاهد بود. مایه تلقیح قارچ اندومايکوزيزا شامل ترکیبی از سه گونه *Rhizophagus irregularis*، *Funneliformis mosseae* و *Glomus etunicatum* به میزان دو درصد (دو کیلوگرم همراه با ماده مویان با یکصد کیلوگرم بذر) و برگ‌پاشی گلايسين-بتائين با غلظت پنج میلی‌گرم در هر لیتر در مراحل اولین گره ساقه و آبستنی بود. نتایج نشان داد که کاربرد قارچ‌های مايکوزيزا و گلايسين-بتائين در تیمار تحقیقاتی با افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله موجب افزایش عملکرد گردید. عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در تیمار تحقیقاتی به ترتیب حدود ۶۰، ۳۹ و ۱۴ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. همچنین، غلظت نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز و روی دانه گندم تحت تأثیر تیمار تحقیقاتی افزایش معنی‌داری داشت؛ که بیانگر بهبود کیفیت دانه در شرایط تیمار تحقیقاتی بود. به طور کلی، به نظر می‌رسد که کاربرد مایه تلقیح قارچ‌های مايکوزيزا به صورت بذرمال قبل از کشت به همراه محلول‌پاشی شاخساره‌ای گلايسين-بتائين می‌تواند باعث افزایش ۶۰ درصدی عملکرد دانه و بهبود کیفیت محصول (محتوای نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز و روی دانه) در شرایط ديم گردد، که پایداری محصول و افزایش درآمد کشاورزان را نیز به دنبال خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: تغذیه بهینه، خشکی، ديم، عملکرد، کیفیت دانه

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: mhoseini20@yahoo.ca

نوع مقاله: فنی ترویجی



خشکی، ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی است. مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی بیشتر شامل اسیدهای آمینه، قندها و برخی یون‌های معدنی، هورمون اسید آسبیزیک و پروتئین‌ها هستند (Anjum et al., 2023). تجمع این ترکیبات محلول در سلول‌ها یک عکس‌العمل عمومی برای غلبه بر پیامدهای منفی کمبود آب در تولید محصولات زراعی است که به‌عنوان یک مکانیسم سازگاری و معیار انتخاب در برنامه‌های اصلاح نباتات برای ارتقاء عملکرد دانه در محیط‌های خشک پیشنهاد شده است (Khan et al., 2021; Anjum et al., 2023).

مجیدی و همکاران (Majidi et al., 2020) نشان دادند که آمینواسید گلايسين-بتائين همراه با مایه تلقیح قارچ‌های مايکوري‌زا از ترکیباتی است که برای مقابله با تنش خشکی و بهبود عملکرد محصول در گندم می‌تواند مؤثر باشد. آن‌ها گزارش کردند که درصد کلونیزاسیون ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مایه تلقیح قارچ مايکوري‌زا قرار گرفته و از ۹/۹ درصد در تیمار شاهد به ۴۰/۷ درصد افزایش یافت. کاربرد مایه تلقیح مايکوري‌زا باعث افزایش وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، محتوی پروتئین دانه، غلظت عناصر فسفر، روی و مس در دانه شد.

عملکرد گندم ديم در کشور از ۲۱۸ کیلوگرم در هکتار در بوشهر تا ۲۴۵۵ کیلوگرم در هکتار در مازندران متغیر است؛ با این حال، عملکرد گندم ديم در استان فارس (۵۷۵ کیلوگرم در هکتار) به‌طور قابل توجهی کمتر از میانگین کشوری (۹۸۶ کیلوگرم در هکتار) است؛ بنابراین، استفاده از رهیافت‌های کاربردی برای افزایش عملکرد و پایداری تولید گندم ديم در استان فارس، موضوعی حیاتی برای حفظ و ارتقاء تولید این محصول در کشور است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مدیریت بهینه تغذیه بر مبنای سیستم تلفیقی تغذیه گیاهی^۱ با استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های مايکوري‌زا و محرک رشد گلايسين-بتائين جهت

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات اساسی کشور است که کاهش مقدار و تغییر الگوی پراکنش نزولات جوی طی چند دهه گذشته عملکرد آن را به‌ویژه در شرایط ديم با خطر کاهش تولید مواجه کرده است (Majidi et al., 2020). بر اساس آخرین آمار رسمی، در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ میزان تولید محصول گندم ديم در کشور ۴/۴۷ میلیون بوده که ۷۴/۹۸ درصد کل محصولات زراعی ديم را شامل می‌شود. سطح زیر کشت گندم ديم در همان سال ۴/۵۴ میلیون هکتار برآورد گردید (Anonymous, 2023).

گیاهان به طرق مختلف در مقابل تنش خشکی مقابله می‌کنند. یکی از روش‌های کاربردی افزایش پایداری تولید گیاهان در شرایط تنش خشکی، استفاده از گونه‌های کارا با درجه همزیستی بالای قارچ‌های مايکوري‌زا و استفاده از ترکیبات گلايسين-بتائين است (Jamshidi et al., 2009). بررسی‌ها نشان داده است که قارچ‌های مايکوري‌زا قادر هستند که اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل کنند (Augé, 2001). همزیستی قارچ مايکوري‌زا با اغلب گیاهان در شرایط تنش خشکی باعث بهبود تولید از طریق جذب بیشتر عناصر غذایی غیرمتحرک مانند فسفر، روی و مس شده و تحمل گیاهان به خشکی را با بهبود جذب آب و پتانسیل آماس برگ، کنترل منافذ روزنه‌ای و تعرق، افزایش طول و عمق ریشه و توسعه هیف‌های انتهایی افزایش می‌دهد (Sajedi & Sajedi, 2009). قارچ مايکوري‌زا ارتباط آب با گیاه میزبان را به‌وسیله افزایش دسترسی گیاه به آب خاک، افزایش نسبت تعرق و کاهش مقاومت روزنه‌ای به‌وسیله تغییر در تعادل هورمون‌های گیاهی بهبود می‌بخشد (Elwan, 2001). اوسنوبی (Thangaraj et al., 2022) گزارش کرد که تلقیح بوته‌های سورگوم با قارچ مايکوري‌زا سبب افزایش طول ریشه و عملکرد گردیده و میزان تحمل به تنش خشکی گیاهان مذکور را بهبود بخشید. یکی دیگر از مؤثرترین روش‌ها برای مقابله با تنش

اوره (۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) تحت مدیریت کشاورز مصرف شد و هیچ‌گونه قارچ و محلول‌پاشی استفاده نشد. هم در کرت‌های استفاده از قارچ‌های مایکوریزا + گلايسين-بتائين و هم در کرت‌های مدیریت کشاورز، یک‌سوم کود نیتروژن در هنگام کاشت و مابقی طی دو قسط در مراحل اوج پنجه‌زنی و ظهور سنبله مصرف شد.

قبل از کشت از هرکدام از کرت‌های آزمایشی، نمونه‌های مرکب خاک تهیه و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. با توجه به یکنواختی کرت‌های آزمایشی، از هر کرت سه نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری به‌صورت زیگزاگ گرفته شد و برای آزمون خاک با هم مخلوط شدند (Bahrampour and Akhavan, 2015). بافت خاک به‌روش هیدرومتری، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با هدایت سنج الکتریکی، واکنش خاک در گل اشباع (pHs) به‌وسیله الکتروود 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 عناصر کم‌مصرف به‌روش دی‌تی‌پی‌ا اندازه‌گیری شدند (Emami et al., 1996; Ali Ehyaei, 1997).

افزایش تولید کمی و کیفی محصول گندم دیم در شرایط دیم اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به دنبال یک پژوهش تحقیقاتی (Majidi et al., 2020) و به‌صورت یک پروژه تحقیقی ترویجی در شرایط دیم در روستای خسرو شیرین شهرستان آباد در استان فارس در سال ۱۴۰۰-۰۱ انجام شد. بدین منظور، تیمار برتر به‌دست‌آمده از پژوهش تحقیقاتی در مزرعه یکی از کشاورزان پیشرو با شرایط مناسب و با مدیریت بهینه در مقیاس وسیع بررسی گردید. پروژه شامل یک تیمار: (۱) استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های مایکوریزا جهت بذر مال بذور گندم به میزان دو درصد قبل از کشت به‌علاوه برگ‌پاشی گلايسين-بتائين به غلظت پنج میلی‌گرم در لیتر در دو مرحله ظهور اولین گره و آبستنی و شاهد (۲) مصرف کود مطابق عرف کشاورزان منطقه بود. مایه تلقیح قارچ اندومایکوریزا شامل ترکیبی از سه گونه *Rhizophagus Funneliformis mosseae* *Glomus etunicatum* *irregularis* به میزان دو درصد بود. از میان کودهای پایه، بر مبنای تفسیر نتایج آزمون خاک میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره مصرف شد و نیازی به استفاده از کودهای فسفردار و پتاسه نبود. در تیمار شرایط بهره‌بردار، تنها کود شیمیایی

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری

Table 1- Some soil physicochemical properties of the experimental field at 0-30 cm depth

ECe (dS.m ⁻¹)	pH	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Texture	OC (%)	OM (%)
0.27	8.14	16	61.6	22.4	Silty loam	1.4	2.42
TNV (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	
20.6	30	1060	2.7	12.12	0.22	21.7	

تیمارها، دو متر در نظر گرفته شد. رقم گندم مورد استفاده توده گل حیدری و تاریخ کاشت ۱۵ آبان بود. در هنگام کشت، مایه تلقیح قارچ اندومایکوریزا به میزان دو کیلوگرم همراه با ماده مویان با یکصد کیلوگرم بذر گندم

اندازه هر کرت، ۲۱۶ مترمربع بود و هر کرت آزمایشی شامل ۳۶ خط (عمیق کار دیم با عرض کار ۲/۲ متر) به طول ۳۰ متر و به عرض ۷/۲ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌ها بیست سانتی‌متر و فاصله بین

نمونه صدتایی بذر) اندازه‌گیری شد. وزن کل نمونه‌های برداشت‌شده به‌عنوان عملکرد بیولوژیک و وزن دانه‌ها به‌عنوان عملکرد دانه در نظر گرفته شد. از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت به دست آمد. یک نمونه بذر از هر تیمار آزمایشی به وزن تقریبی ۵۰۰ گرم جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی به آزمایشگاه منتقل گردید. در این نمونه‌ها غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس مطابق روش‌های استاندارد موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (امامی و همکاران، ۱۳۷۵؛ علی‌احیایی و همکاران، ۱۳۷۶). داده‌های جمع‌آوری‌شده پس از آزمون همگونی واریانس‌ها (Levene's Test)، مورد تجزیه واریانس قرار گرفت؛ و میانگین‌ها با استفاده از آزمون t (با ۱۰ تکرار) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس تجزیه آماری، تلقیح قارچ‌های مایکوریزا و برگ پاشی گلاسیسین-بتائین به‌عنوان تیمار تحقیقاتی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله داشت (جدول ۲)؛ ولی تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت.

مخلوط شد. برای اینکار بذر مورد نیاز برای کشت را روی پوشش نایلونی ریخته، سپس مایه تلقیح و ماده مویان را بر مبنای نسبت فوق محاسبه و با بذر مخلوط شد و پس از خشک شدن (حدود یک ساعت)، بذرها با تراکم ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار کشت شدند.

در طول فصل رشد مزرعه از نظر ابتلا به علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها نیازمند کنترل نبود. برگ پاشی گلاسیسین-بتائین در مرحله ظهور اولین گره (کد ۳۱ زیداکس) در بهار سال ۱۴۰۱ و مرحله نمو آبستنی (کد ۴۹ زیداکس) به انجام رسید. گلاسیسین بتائین استفاده شده مربوط به شرکت Sigma-Aldrich با کد ۶۱۹۶۲ و وزن مولکولی ۱۱۷/۱۵ گرم در مول بود.

در کرت آزمایشی توصیه تحقیقات، برگ پاشی آمینواسید گلاسیسین-بتائین با غلظت پنج میلی‌گرم در هر لیتر معادل دو کیلوگرم در ۴۰۰ لیتر آب برای یک هکتار در هنگام غروب آفتاب اعمال گردید.

در مرحله برداشت محصول، خطوط کشت ۴، ۸، ۱۲، ۱۸، ۲۲، ۲۶ و ۳۰ را با حذف یک متر از ابتدا و انتهای کرت برداشت گردید. عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، اجزای عملکرد دانه شامل تعداد سنبله در مترمربع (شمارش سنبله‌های بارور در چهار نمونه تصادفی یک مترمربعی)، تعداد دانه در سنبله (در ۱۰ سنبله به‌صورت تصادفی) و وزن هزار دانه (توزین چهار

جدول ۲- تأثیر کاربرد تیمار بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه گندم

Table 2- The effect of treatment on yield components and grain yield of wheat

تیمار Treatment	تعداد سنبله در مترمربع Spike number m ⁻²	تعداد دانه در سنبله Seed number spike ⁻¹	وزن هزار دانه Thousand kernel weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
Treatment	297.0 ^b	13.7 ^a	35.5 ^a	1487 ^a	3630 ^a	40.1 ^a
Control	357.8 ^a	7.6 ^b	33.7 ^a	913 ^b	2605 ^b	35.3 ^b
MS _t	4.65 [*]	55.35 ^{**}	3.62 ^{ns}	39.19 ^{**}	26.03 ^{**}	18.72 [*]

میانگین‌های با حروف یکسان در هر ستون بر اساس آزمون t تفاوت معنی‌دار ندارند.

The means with similar letters in each column had no significant difference based on the T-test

بود (جدول ۲)، به‌طوری‌که کرت‌های شاهد ۲۰/۵ درصد تعداد سنبله بیشتری نسبت به تیمار تحقیقاتی داشت. با

نتایج نشان داد که تعداد سنبله در متر مربع در تیمار تحقیقاتی به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد کشاورز

میزان ۵۹/۹، ۳۹/۳ و ۱۳/۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه داده‌ها نشان داد که غلظت نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز و روی دانه گندم تحت تأثیر تیمار تحقیقاتی قرار گرفت (جدول ۳)؛ ولی تأثیر آن بر غلظت پتاسیم و مس دانه معنی‌دار نبود. کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و محلول‌پاشی گلاسیسین-بتائین به ترتیب با افزایش ۱۹/۸، ۱۹/۸، ۶۸/۶، ۱۶/۰ و ۵۲/۲ درصدی غلظت نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز و روی دانه گندم نسبت به تیمار شاهد همراه بود. میانگین غلظت پتاسیم در تیمارهای تحقیقاتی و شاهد به ترتیب ۰/۷۰ و ۰/۶۷ درصد و میانگین غلظت مس به ترتیب ۷/۲۵ و ۷/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۳).

وجود این، تعداد دانه در سنبله تیمار تحقیقاتی به طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود، به طور میانگین کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و گلاسیسین-بتائین با افزایش ۸۰/۳ درصدی تعداد دانه در سنبله همراه بود. وزن هزار دانه در بین کرت‌های تحقیقاتی از نظر آماری یکسان بود و دامنه‌ای بین ۳۰ تا ۳۸ گرم داشت؛ با وجود این میانگین وزن هزار دانه در تیمارهای تحقیقاتی و شاهد به ترتیب برابر با ۳۵/۵ و ۳۳/۷ گرم بود (جدول ۲).

عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در تیمار تحقیقاتی به طور معنی‌داری بیشتر از کرت‌های شاهد بود (جدول ۲). تلقیح قارچ‌های مایکوریزا و محلول‌پاشی گلاسیسین-بتائین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را به ترتیب ۵۷۴ و ۱۰۲۵ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. به طور میانگین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در کرت‌های تحقیقاتی به

جدول ۳- غلظت عناصر غذایی در دانه گندم در تیمار و شاهد

Table 3- Nutrient concentration in wheat grain in the treatment and control

Treatment	N (%)	P (%)	K (%)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)
Treatment	1.87 a	0.33 a	0.70 a	139.50 a	45.25 a	17.50 a	7.25 a
Control	1.56 b	0.28 b	0.67 a	82.75 b	39.00 b	11.50 b	7.00 a
MSt	0.102 *	0.01 *	0.005 ns	357.58 **	110.74 *	16.08 **	0.021 ns

میانگین‌های با حروف یکسان در هر ستون بر اساس آزمون t تفاوت معنی‌دار ندارند

The means with similar letters in each column had no significant difference based on the T-test

گیاهی به میزان بالا در پاسخ به انواع تنش‌های محیطی سنتز می‌شود (Majidi et al., 2020)؛ که کاربرد خارجی آن نیز می‌تواند سبب بهبود تحمل به خشکی و در نتیجه افزایش رشد و عملکرد دانه در شرایط دیم گردد. گلاسیسین-بتائین با نفوذ به داخل برگ‌های گیاهی، بلافاصله به ریشه‌ها، مریستم‌ها و برگ‌های توسعه‌یافته منتقل می‌شود و اندام‌های گیاهی در حال نمو و توسعه را از تنش حفظ می‌کند (He et al., 2011)؛ به‌عنوان مثال یکی از اثرات حفاظتی این ماده، جلوگیری از صدمه به فتوسیستم II در کلروفیل‌هاست (Allakhverdiev et al., 2003).

به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد دانه گندم در اثر کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و گلاسیسین-بتائین به دلیل

نتایج نشان داد که استفاده از قارچ‌های مایکوریزا و گلاسیسین-بتائین باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه گندم در شرایط دیم می‌گردد. شواهد زیادی مبتنی بر افزایش تحمل به خشکی در گیاهان زراعی توسط قارچ‌های مایکوریزا وجود دارد. یکی از دلایل این تأثیر مثبت این است که در شرایط خشکی گیاهان تلقیح شده با میکوریزا، آب و مواد غذایی بیشتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده جذب می‌کنند (Jamshidi et al., 2009). ریشه بسیاری از گیاهان به‌وسیله میکوریزای بومی خاک کلونیزه می‌شود. این قارچ‌ها قادر به جذب و انتقال مواد آلی به گیاهان هستند (Chalk et al., 2006). از سوی دیگر، گلاسیسین-بتائین نیز به‌عنوان یک دسته از مواد آلی سازگار در بسیاری از گونه‌های

محیطی حفظ می‌کند (Gupta et al., 2014; Gupta & Thind, 2015).

غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس در دانه گندم رشد کرده تحت مدیریت تحقیقاتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود که نشان‌دهنده تأثیر مثبت کاربرد قارچ‌های مايکوري‌زا و گلايسين-بتائين بر کیفیت دانه بود. مايکوري‌زا آربوسکولار قادر به افزایش جذب و انتقال و قابلیت دسترسی به عناصر معدنی مانند فسفر، نیتروژن، مس و روی به گیاه میزبان خود است که به نوبه خود می‌تواند سبب افزایش رشد و عملکرد در شرایط خشکی گردد (Jamshidi et al., 2009). اثرات مثبت ناشی از تأثیر تلقیح مايکوري‌زا بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه ممکن است ناشی از افزایش جذب مواد معدنی توسط ریشه گیاهان باشد که ضمن تأیید این نتایج در پژوهش حاضر با یافته‌های سایر محققان که افزایش در اجزای عملکرد را ناشی از بهبود وضعیت جذب عناصر و آب به‌وسیله هیف دانسته‌اند (Clark & Zeto, 2000)، مطابقت دارد. بهبود جذب عناصر غذایی توسط ریشه بوته‌های گندم تیمار شده با قارچ‌های مايکوري‌زا و گلايسين-بتائين می‌تواند به افزایش توان جذب آب توسط ریشه‌ها و همچنین افزایش طول و عمق ریشه و توسعه هیف‌های انتهایی نسبت داده شود (Sajedi & Sajedi, 2009; Allakhverdiev et al., 2003).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج این پژوهش که به‌صورت یک تحقیق آن‌فارم^۳ و در شرایط واقعی کشاورزان انجام شد، استفاده از قارچ‌های مايکوري‌زا توأم با گلايسين-بتائين می‌تواند باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه در شرایط ديم گردد که افزایش درآمد کشاورزان را نیز به دنبال دارد؛ بنابراین، استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های مايکوري‌زا به‌صورت بذرمال قبل از کشت به همراه محلول‌پاشی

افزایش تعداد دانه در سنبله باشد. اثر تیمارهای تحقیقاتی باعث شده است که تعداد دانه‌های پوک کمتر و در نتیجه تعداد دانه‌های بارور بیشتر گردد. جمشیدی و همکاران (Jamshidi et al., 2009) نشان دادند که تیمار گیاهان آفتابگردان با قارچ‌های مايکوري‌زا آربوسکولار سبب کاهش درصد پوکی دانه می‌شود. در شرایط ديم، تلقیح قارچ‌های مايکوري‌زا و محلول‌پاشی گلايسين-بتائين با بهبود وضعیت آبی گیاه موجب تخصیص میزان بالاتری از مواد فتوسنتزی به مبداهای فیزیولوژیک^۱ شده و در نتیجه تعداد دانه بیشتری پر گردید که موجب افزایش صفت تعداد دانه در سنبله گردیده است (Gupta & Thind, 2015). ضمن اینکه گلايسين-بتائين منبع غنی از نیتروژن و کربن به‌منظور رشد بیشتر است، لذا سبب افزایش تولید مواد پرورده برای پرکردن تعداد دانه بیشتری می‌شود (Miri & Zamani Moghadam, 2014). افزایش اجزای عملکرد و در نتیجه عملکرد دانه در اثر همزیستی با قارچ مايکوري‌زا همچنین می‌تواند به بهبود جذب عناصر غذایی غیرمتحرک مانند فسفر، روی و مس، بهبود جذب آب و پتانسیل آماس برگ و کنترل منافذ روزنه‌ای و تعرق نسبت داده شود (Sajedi & Sajedi, 2009).

در بین اجزای عملکرد وزن هزار دانه، صفتی تقریباً ثابت است و کمتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد. این موضوع به دلیل محدودیت مبداهای^۲ در گندم و سایر غلات است (Emam et al., 2013). در این مطالعه، اثر کاربرد قارچ‌های مايکوري‌زا و گلايسين-بتائين تعداد دانه در سنبله افزایش یافت، بنابراین افزایش مواد پرورده تولیدی محصول فتوسنتز در تعداد دانه بیشتری ذخیره می‌شد و میانگین وزن دانه‌ها بدون تغییر باقی ماند. از نظر فیزیولوژیک، نقش حفاظتی گلايسين-بتائين به‌طور مستقیم از طریق اثر مثبت روی آنزیم‌ها و سیالیت غشاء و به‌طور غیرمستقیم از طریق نقش آن در انتقال پیام به‌عنوان یک حفاظت‌کننده اسمزی، سلول‌ها را از تنش‌های

1 -Physiological sinks

2. -Sink limited

3.-On-farm research

شاخساره‌ای گلايسين-بتائين برای افزایش عملکرد گندم
در مزارع ديم پیشنهاد می‌شود. غلظت ۲۰ گرم قارچ‌های
مایکوریزا به ازای هر کیلوگرم بذر و پنج میلی‌گرم
آمینواسید گلايسين-بتائين در هر لیتر توصیه می‌گردد.

References

1. Ali Ehyaei, M., 1997. Description of soil chemical analysis methods. Agriculture Research, Education and Extension Organization. No 1024. (In Persian).
2. Allakhverdiev, S.I., Hayashi, H., Nishiyama, Y., & Ivanov, A.G. 2003. Glycine betaine protects the D1/D2/Cyt559 Complex of Photosystem II against photo-induced and heat-induced inactivation. *Journal of Plant Physiology*, 160, pp. 41-49. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00845>
3. Anjum, N.A., Thangavel, P., Rasheed, F., Masood, A., Pirasteh-Anosheh, H., & Khan, N.A. 2023. Osmolytes: efficient oxidative stress-busters in plants. P. 399-409. In Ansari, M.W., Singh, A.K., Tuteja, N. (Eds.), *Global Climate Change and Plant Stress Management*. John Wiley & Sons, Ltd, New York. <https://doi.org/10.1002/9781119858553.ch27>
4. Anonymous, 2023. Agricultural statistics of 2021-22. 1st Volume: Field Crops. The Ministry of Agriculture-Jahad of Iran. (In Persian).
5. Augé, R.M., 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, pp. 3-42. <https://doi.org/10.1007/s005720100097>
6. Bahrampour, T., & Akhavan, K., 2015. The Sampling of soil, water and plant and proper fertilizer recommendations. Agriculture Research, Education and Extension Organization. Technical Manual, No 51, Registration code 48072. (In Persian).
7. Chalk, P.M., Souza, R.D.F., Urquiaga, S., Alves, B.J.R., & Boddey, R.M., 2006. The role of arbuscular mycorrhiza in legume symbiotic performance. *Soil Biology and Biochemistry*, 47, pp. 487-499. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.05.005>
8. Clark, R.B., & Zeto, S.K., 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition*, 23, pp. 876-902. <https://doi.org/10.1080/01904160009382068>
9. Elwan, L.M., 2001. Effect of soil water regimes and inoculation with mycorrhiza on growth and nutrients content of maize plants. *Journal of Agricultural Research*, 28, pp. 162-172.
10. Emam, Y., Hosseini, E., Rafiei, N., & Pirasteh-Anosheh, H., 2013. Response of early growth and sodium and potassium ions concentrations in ten barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in salinity tension conditions. *Crop Physiology Journal*, 19, pp. 5-15. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.2008403.1392.5.19.1.0>
11. Emami, A., Ali Ehyaei, M., & Behbahanizadeh, A.A., 1996. Methods of chemical analysis of soil and plants. Soil and Water Research Institute, No 982. (In Persian).
12. Gupta, N., & Thind, S., 2015. Improving photosynthetic performance of bread wheat under field drought stress by foliar applied glycine betaine. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, pp. 75-86. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2015.17.1.6.7>
13. Gupta, N., Thind, S.K., & Bains, N.S., 2014. Glycine betaine application modifies biochemical attributes of osmotic adjustment in drought stressed wheat. *Plant Growth Regulation*, 72, pp. 221-228. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9853-0>
14. He, C., Zhang, W., Gao, Q., Yang, A., Hu, X., & Zhang, J., 2011. Enhancement of drought resistance and biomass by increasing the amount of glycine betaine in wheat seedlings. *Euphytica*, 177, pp. 151-167. <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0263-3>
15. Jamshidi, E., Ghalavnd, A., Salahi, A., Zare, M.J., & Jamshidi, A.R., 2009. Effect of *Arbuscular mycorrhizal* on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 11, pp. 136-150. (In Persian). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1388.11.2.4.6>
16. Khan, M.T., Ahmed, S., Shah, A.A., Noor Shah, A., Tanveer, M., El-Sheikh, M.A., & Siddiqui, M.H., 2021. Influence of zinc oxide nanoparticles to regulate the antioxidants enzymes, some osmolytes and agronomic attributes in *Coriandrum sativum* L. grown under water stress. *Agronomy*, 11(10), 2004. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102004>
17. Majidi, A., Rejali, F., Mahmoudi Kamelabad, H., Khalilzadeh, G., & Valizadeh Osalo, G., 2020. Investigating the effect of mycorrhizal fungi, humic acid and glycine betaine on

- agronomic characteristics and yields of rainfed wheat cultivars. Final Report, No 58869. Dryland Agricultural Research Institute, AREEO (in Persian).
18. Miri, H.R., & Zamani Moghadam, A., 2014. The effect of external usage of glycine betaine on corn (*Zea mays* L.) in drought condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), pp. 704-717. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.24221>
 19. Sajedi, N.A., & Sajedi, A., 2009. Effect of drought stress, mycorrhiza and zinc rates on agro-physiologic characteristics of maize cv. KSC704. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11 (3), pp. 202-222 (In Persian) <http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1388.11.3.2.6>
 20. Thangaraj, K., Li, J., Mei, H., Hu, S., Han, R., Zhao, Z., & Kamatchi Reddiar, D., 2022. Mycorrhizal colonization enhanced Sorghum bicolor tolerance under soil water deficit conditions by coordination of proline and reduced glutathione (GSH). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(14), pp. 4243-4255. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07184>