نشریه علمی مدیریت اراضی/ جلد ۱۲ / شماره ۱ / ۱۴۰۳. ص۸۱- ۸۸
https://doi.org/10.22092/lmj.2024.363124.343

تأثیر گلایسین-بتائین و قارچ‌های مایکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی گندم دیم در شرایط مزرعه‌ای

سید ماشااله 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 مایکوریزا و گلایسین-بتائین برای بهبود تحمل به خشکی گندم (*Triticum aestivium* L.) و در نتیجه افزایش کمی و کیفی محصول در شرایط دیم است. بنابراین، آزمایش حاضر، با هدف بررسی این تأثیر به‌صورت آنفارم در شرایط خاک‌های آهکی در منطقه آباده استان فارس در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ در شرایط مزرعه‌ای اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل ۱) استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های مایکوریزا به‌صورت بذرمال پیش از کشت به‌علاوه برگ‌پاشی گلایسین-بتائین بر مبنای سیستم تلفیقی تغذیه گیاهی و ۲) مدیریت رایج مزرعه به‌عنوان شاهد بود. مایه تلقیح قارچ اندومایکوریزا شامل ترکیبی از سه گونه *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus irregularis* و *Glomus etunicatum* به میزان دو درصد (دو کیلوگرم همراه با ماده مویان با یکصد کیلوگرم بذر) و برگ‌پاشی گلایسین-بتائین با غلظت پنج میلی‌گرم در هر لیتر در مراحل اولین گره ساقه و آبستنی بود. نتایج نشان داد که کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و گلایسین-بتائین در تیمار تحقیقاتی با افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله موجب افزایش عملکرد گردید. عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در تیمار تحقیقاتی به‌ترتیب 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. به‌طورکلی، به نظر می‌رسد که کاربرد مایه تلقیح قارچ های مایکوریزا به‌صورت بذرمال قبل از کشت به همراه محلول‌پاشی شاخساره‌ای گلایسین-بتائین می‌تواند باعث افزایش ۶۰ درصدی عملکرد دانه و بهبود کیفیت محصول (محتوای نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز و روی دانه) در شرایط دیم گردد، که پایداری محصول و افزایش درآمد کشاورزان را نیز به دنبال خواهد داشت.

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

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

نوع مقاله: فنی ترویجی

مقدمه

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 دیم 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 دیم در کشور ۴/۴۷ میلیون بوده که ۷۴/۹۸ درصد کل محصولات زراعی دیم را شامل می شود. سطح زیر کشت گندم دیم 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 مایکوریزا و استفاده از ترکیبات گلایسین-بتائین است (Jamshidi et al., 2009). بررسی‌ها نشان داده است که قارچ‌های میکوریزا قادر هستند که اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل کنند (Augé, 2001). همزیستی قارچ میکوریزا 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 میکوریزا 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 میکوریزا 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 خشکی، ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی است. مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی بیشتر شامل اسیدهای آمینه، قندها و برخی یون‌های معدنی، هورمون اسید آبسیزیک 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 گلایسین-بتائین همراه با مایه تلقیح قارچ‌های مایکوریزا 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 مایکوریزا قرارگرفته و از ۹/۹ درصد در تیمار شاهد به ۴۰/۷ درصد افزایش یافت. کاربرد مایه تلقیح مایکوریزا 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 دیم در کشور از ۲۱۸ کیلوگرم در هکتار در بوشهر تا ۲۴۵۵ کیلوگرم در هکتار در مازندران متغیر است؛ بااین‌حال، عملکرد گندم دیم 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 دیم 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[1] با استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های مایکوریزا و محرک رشد گلایسین-بتائین جهت

1. -IPNS: Integrated Plant Nutrition System

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 آباده در استان فارس در سال ۰۱-۱۴۰۰ 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 گلایسین-بتائین 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 *Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus irregularis* و *Glomus etunicatum* 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 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 + گلایسین-بتائین 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 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 عناصر کم‌مصرف به‌روش دی‌تی‌پی‌ا اندازه‌گیری شدند (Emami et al., 1996; Ali Ehyaei, 1997).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی 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	

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 تیمارها، دو متر در نظر گرفته شد. رقم گندم مورد استفاده توده کَل 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

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 گلایسین-بتائین در مرحله ظهور اولین گره (کد ۳۱ زیداکس) در بهار سال ۱۴۰۱ و مرحله نمو آبستنی (کد ۴۹ زیداکس) به انجام رسید. گلایسین 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 گلایسین-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 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؛ علی احیایی 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 نرم‌افزارSPSS انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس تجزیه آماری، تلقیح قارچ‌های مایکوریزا و برگ پاشی گلایسین-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.

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

نتایج نشان داد که تعداد سنبله در متر مربع در تیمار تحقیقاتی به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد کشاورز بود (جدول ۲)، به‌طوری‌که کرت‌های شاهد ۲۰/۵ درصد تعداد سنبله بیشتری نسبت به تیمار تحقیقاتی داشت. با

وجود این، تعداد دانه در سنبله تیمار تحقیقاتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود، به‌طور میانگین کاربرد قارچ های مایکوریزا و گلایسین-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 دامنه ای 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 به‌طور معنی‌داری بیشتر از کرت‌های شاهد بود (جدول ۲). تلقیح قارچ‌های مایکوریزا و محلول‌پاشی گلایسین-بتائین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را به ترتیب ۵۷۴ و ۱۰۲۵ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. به‌طور میانگین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در کرت‌های تحقیقاتی به 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 گلایسین-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 به‌ترتیب 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).

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

نتایج نشان داد که استفاده از قارچ‌های مایکوریزا و گلایسین-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، گلایسین-بتائین نیز به‌عنوان یک دسته از مواد آلی سازگار در بسیاری از گونه‌های 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. گلایسین-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 گلایسین-بتائین به دلیل

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 میکوریزا آربوسکولار سبب کاهش درصد پوکی دانه می‌شود. در شرایط دیم، تلقیح قارچ‌های مایکوریزا و محلول‌پاشی گلایسین-بتائین با بهبود وضعیت آبی گیاه موجب تخصیص میزان بالاتری از مواد فتوسنتزی به مبداهای فیزیولوژیک[1] شده و درنتیجه تعداد دانه بیشتری پر گردید که موجب افزایش صفت تعداد دانه در سنبله گردیده است (Gupta & Thind, 2015). ضمن اینکه گلایسین-بتائین 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 درنتیجه عملکرد دانه در اثر همزیستی با قارچ میکوریزا 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 مبدا[2] در گندم و سایر غلات است (Emam et al., 2013). در این مطالعه، در اثر کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و گلایسین-بتائین تعداد دانه در سنبله افزایش یافت، بنابراین افزایش مواد پرورده تولیدی محصول فتوسنتز در تعداد دانه بیشتری ذخیره می شد و میانگین وزن دانه‌ها بدون تغییر باقی ماند. از نظر فیزیولوژیک، نقش حفاظتی گلایسین-بتائین به‌طور مستقیم از طریق اثر مثبت روی آنزیم‌ها و سیالیت غشاء و به‌طور غیرمستقیم از طریق نقش آن در انتقال پیام به‌عنوان یک حفاظت کننده اسمزی، سلول‌ها را از تنش‌های 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 مایکوریزا و گلایسین-بتائین بر کیفیت دانه بود. میکوریزا 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 میکوریزا بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه ممکن است ناشی از افزایش جذب مواد معدنی توسط ریشه گیاهان باشد که ضمن تائید 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 تیمارشده با قارچ‌های مایکوریزا و گلایسین-بتائین 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[3] و در شرایط واقعی کشاورزان انجام شد، استفاده از قارچ‌های مایکوریزا توأم با گلایسین-بتائین می تواند باعث افزایش قابل‌توجه عملکرد دانه در شرایط دیم گردد که افزایش درآمد کشاورزان را نیز به دنبال دارد؛ بنابراین، استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های مایکوریزا به‌صورت بذرمال قبل از کشت به همراه محلول‌پاشی

1 -Physiological sinks
2. -Sink limited
3.-On-farm research

شاخساره‌ای گلایسین-بتائین برای افزایش عملکرد گندم در مزارع دیم پیشنهاد می‌شود. غلظت ۲۰ گرم قارچ‌های مایکوریزا به ازای هر کیلوگرم بذر و پنج میلی‌گرم آمینواسید گلایسین-بتائین 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**