

تأثیر قارچ‌های میکوریزا آربسکولار و هیومیک-فولویک اسید بر ویژگی‌های زراعی گندم در شرایط دیم

عزیز مجیدی^{۱*}، غلامرضا خلیل زاده^۲

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۲- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محدودکننده رشد گیاهان در شرایط دیم مناطق خشک و نیمه خشک جهان است. یکی از روش‌های افزایش پایداری تولید در شرایط تنش خشکی، استفاده از روابط همزیستی میکوریزی است. مطالعات قبلی نشان داده است که قارچ‌های میکوریزا قادر هستند اثرات منفی تنش خشکی را در گیاهان زراعی تعدیل کنند. هیومیک و فولویک اسید، اسیدهای آلی محلول در آب هستند که به‌طور طبیعی در مواد آلی خاک وجود دارند. این ترکیبات اثرات بسیار مفیدی بر فرآیند رشد گیاه و نفوذپذیری سلول گیاهی داشته و جذب عناصر توسط گیاهان را افزایش می‌دهند. تاکنون در زمینه اثرات همزیستی میکوریزی و بذر مال کردن گندم دیم با ترکیبات هیومیک-فولویک اسید پژوهشی در کشور انجام نشده است. بنابراین، این تحقیق به منظور بررسی برهم‌کنش بذر مال مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا آربسکولار و هیومیک-فولویک اسید بر عملکرد کمی و برخی ویژگی‌های کیفی گندم در شرایط دیم انجام گرفت.

روش‌شناسی پژوهش: این پژوهش در ایستگاه تحقیقات دیم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۶ اجرا گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بود. عامل اول شامل مایه تلقیح جامد قارچ‌های میکوریزا آربسکولار در سه سطح (۱) شاهد (عدم تلقیح) (۲) بذر مال با گونه *Glomus intraradices* (GI) به میزان دو درصد (۳) بذر مال با ترکیب سه گونه *G. mosseae* (GM)، *G. intraradices* و *G. etunicatum* به میزان دو درصد، عامل دوم شامل هیومیک-فولویک اسید در دو سطح (۱) شاهد (عدم بذر مال) و (۲) بذر مال با غلظت پنج درصد هیومیک-فولویک اسید بودند.

یافته‌های تحقیق: نتایج نشان داد درصد کلونیزاسیون ریشه تحت‌تأثیر تیمارهای قارچ میکوریزا قرارگرفته و از ۹/۹۸ درصد در تیمار شاهد به ترتیب به ۳۰/۵۷ و ۴۰/۷۱ درصد در تیمارهای GI و GM افزایش یافت. با مصرف مایه تلقیح GM و GI، عملکرد دانه گندم به ترتیب ۲۶۹ و ۱۸۷ کیلوگرم در هکتار افزایش نشان داد. کاربرد مایه تلقیح میکوریزا باعث افزایش محتوی پروتئین دانه و غلظت عناصر فسفر، روی و مس در دانه شد. کارایی تیمار GM در تمامی صفات مذکور بیشتر از تیمار GI بود. بذر مال هیومیک-فولویک اسید، باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار، درصد کلونیزاسیون ریشه به میزان ۳/۰۹ درصد و غلظت فسفر دانه به میزان ۲/۶۴ درصد شد. بنابراین، بذر مال

* نگارنده مسئول: a.majidi@areo.ac.ir تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۳

کردن گندم با مایه تلقیح سه گونه قارچ میکوریزا آربسکولار و هیومیک-فولویک اسید در شرایط دیم، سبب افزایش عملکرد و محتوی پروتئین دانه و غنی‌سازی آن با عناصر روی و فسفر می‌گردد.

کلمات کلیدی: بذر مال، عملکرد گندم دیم، غنی‌سازی زیستی، مایه تلقیح میکوریزا.

مقدمه

و سلول‌های گیاهی به تدریج ازدست‌رفته و در متابولیسم طبیعی آن‌ها اختلال ایجاد شده و در نتیجه عملکرد به شدت کاهش می‌یابد (Maghsoudi and Maghsoudimoud, 2008). تنش خشکی، عملکرد گیاهان زراعی را از طریق کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتز (PAR^1)، کاهش کارایی مصرف نور به‌زای واحد نور جذب‌شده و شاخص برداشت کاهش می‌دهد (Vafabakhsh *et al.*, 2008). در شرایط مطلوب، تقریباً ۷۰-۹۰ درصد عملکرد دانه گندم به فتوسنتز موفقیت‌آمیز برگ پرچم وابسته است (Bidinger *et al.*, 1977; Austin *et al.*, 1977). بر اثر تنش خشکی، فتوسنتز در برگ پرچم گندم طی مرحله گرده‌افشانی به سرعت کاهش‌یافته، انتقال مواد فتوسنتزی به دانه محدود شده و در نتیجه پیری برگ و کل گیاه تشدید می‌گردد (Yang *et al.*, 2003a). بنابراین، راندمان فتوسنتزی گندم به شدت کاهش می‌یابد.

گیاهان به روش‌های مختلف با تنش خشکی مقابله می‌کنند. یکی از روش‌های افزایش پایداری تولید در شرایط تنش خشکی، استفاده از روابط هم‌زیستی میکوریزی است (Jamshidi *et al.*, 2009). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که قارچ‌های میکوریزا قادر هستند اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل کنند (Augé, 2001). در اغلب گیاهان، هم‌زیستی میکوریزی باعث بهبود تولید از طریق جذب بیشتر عناصر غذایی غیرمتحرک مانند فسفر، روی و مس در شرایط تنش خشکی می‌شود. در نتیجه این هم‌زیستی، تحمل گیاهان به خشکی با بهبود در جذب

دستیابی به رشد پایدار در تولید محصولات کشاورزی، از نکات مهمی است که اغلب کشورهای در حال توسعه با آن مواجه هستند. در اغلب کشورهای جهان، تولید محصول در شرایط دیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بخش عمده محصولات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه در شرایط دیم تولید می‌شود (Shiferaw *et al.*, 2013). میزان تولید گندم در جهان طی سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۲ در محدوده ۷۸۰-۶۸۵ میلیون تن متغیر بوده است (FAO, 2022). اگرچه سطح زیر کشت گندم طی سال‌های اخیر کاهش‌یافته ولی میزان تولید آن افزایش داشته است (Ahmadi *et al.*, 2018). تولید گندم در شرایط دیم وابستگی شدیدی به وضعیت بارندگی دارد. مقادیر بارندگی و الگوی پراکنش آن در ایران طی چند ده گذشته متغیر بوده و موجب بروز تنش‌های خشکی در تولید محصولات مختلف به‌ویژه در شرایط دیم شده است (Maghrebi *et al.*, 2020). نتایج تحقیقات انجام‌گرفته در نقاط مختلف دنیا نشان داده که برای مقابله با تنش‌های خشکی در دیم‌زارها، علاوه بر توسعه کشت ارقام مقاوم گندم، بهره‌گیری از روش‌های به زراعی می‌تواند به نحو مؤثری در رشد محصولات و بهبود وضعیت اقتصادی مؤثر واقع شود.

تنش خشکی از اصلی‌ترین تنش‌های غیرزنده محدودکننده رشد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا بوده و در بیشتر مراحل رشد گیاه، دستیابی به عملکرد بالا را دشوار می‌سازد (Augé, 2001). با تشدید تنش خشکی، آب موجود در بافت‌ها

¹ Photosynthetic Active Radiation ۱،۱،۱

توسط گیاهان را افزایش می‌دهند (Mackowiak et al., 2001؛ Atiyeh et al., 2002؛ Rahmat et al., 2010). دلفین و همکاران (Delfine et al., 2005) تأثیر مصرف هیومیک اسید بر رشد و عملکرد گندم دوروم را بررسی و نشان دادند که هیومیک اسید عملکرد دانه و کلش و جذب منیزیم، آهن و منگنز را افزایش داد. کتکت و همکاران (Katkati et al., 2009) نیز گزارش کردند که با افزایش مصرف هیومیک اسید، علاوه بر افزایش عملکرد ماده خشک گندم، جذب عناصر مهمی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مس و روی هم افزایش یافت. نقش هیومیک-فولویک اسید در بهبود رشد گیاه به طور کامل شناخته نشده است. اما چندین نظریه توسط بعضی از محققین پیشنهاد شده که از آن جمله افزایش قابلیت نفوذ غشاء سلولی از نظر انتقال و قابلیت استفاده عناصر کم مصرف و جذب عناصر غذائی، جوانه زنی و قوه نامیه بذر، جذب اکسیژن، تنفس (به ویژه در ریشه‌ها) و فتوسنتز و تحریک رشد طولی سلول ریشه را نام برد (Mishra et al., 1988؛ Ahmad and Tan, 1991؛ Chen and Thangavelu and Ramabadrana, 1992؛ Murata, 2002). وقاس و همکاران (Waqas et al., 2014) گزارش کردند که پیش تیمار بذر با هیومیک-فولویک اسید موجب افزایش معنی دار عملکرد دانه و اجزای عملکرد در ماش شد. خاتک و همکاران (Khattak et al., 2006) دریافتند که کاربرد خاکی یک کیلوگرم هیومیک اسید در هکتار می‌تواند عملکرد محصولات گندم، ذرت، پنبه، چغندر قند، بادام زمینی را تا ۲۰ درصد افزایش و شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشد. کایا و خاور (Kaya and Khawar, 2005) نیز دریافتند که بذر مال کردن بذور لوبیا با هیومیک-فولویک اسید نسبت به سایر روش‌های مصرف آن، عملکرد محصول را بیشتر افزایش داد. حق پرست و همکاران (Haghparast et al., 2021) با بذر مال کردن گندم با هیومیک اسید دریافتند که در شرایط تنش خشکی استفاده از مواد آلی هیومیک و

آب و پتانسیل آماس برگ، کنترل منافذ روزنه‌ای و تعرق، افزایش طول و عمق ریشه و توسعه هیف‌های انتهایی افزایش می‌یابد (Sajedi and Sajidi, 2009). از طرفی، قارچ میکوریزا با کاهش مقاومت روزنه‌ای و افزایش نسبت تعرق، دسترسی گیاه به آب را افزایش می‌دهد (Elwan, 2001). اوسنوبی (Osonubi, 1994) گزارش کرد که تلقیح گیاهان ذرت و سورگوم با قارچ میکوریزا طول ریشه را افزایش و میزان تحمل به تنش خشکی گیاهان مذکور را بهبود بخشید. آمرین و استیوارد (Amerian and Stewart, 2001) دریافتند که در طول دوره تنش خشکی، پتانسیل آبی برگ، آسمیلاسیون دی اکسید کربن و تعرق ذرت تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزی نسبت به شاهد افزایش یافت. الکاراکی و همکاران (Al-karaki et al., 2004) گزارش کردند که غلظت عناصر فسفر و آهن در گندم تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزا نسبت به شاهد بیشتر بود. آن‌ها همچنین مشاهده کردند که کلونیزاسیون میکوریزی ریشه منجر به افزایش زیست توده و عملکرد دانه گندم شد. اسرار و الهندی (Asrar and Elhindi, 2011) گزارش کردند که با تلقیح قارچ میکوریزا، تمامی پارامترهای رشد در گیاه جعفری نسبت به عدم تلقیح آن در شرایط تنش خشکی افزایش یافت. همچنین همزیستی مذکور، مقدار رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی کاروتن و کلروفیل‌های a و b را در جعفری تحت تنش خشکی و بدون تنش افزایش داد. آنان نتیجه گرفتند همزیستی گیاه جعفری با قارچ میکوریزا سبب بهبود رشد و افزایش محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی شده و اثرات سوء تنش خشکی را کاهش می‌دهد.

هیومیک و فولویک اسید، اسیدهای آلی محلول در آب هستند که به طور طبیعی در مواد آلی خاک وجود دارند. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که این ترکیبات اثرات بسیار مفیدی بر ساختمان و جمعیت میکروبی خاک و سازوکارهای اصلاح‌کننده مرتبط با فرآیند رشد گیاه و نفوذپذیری سلول گیاهی داشته و جذب عناصر

و (۲) بذر مال کردن بذور گندم با محلول پنج درصد هیومیک - فولویک اسید (قبل از کشت) بودند. هیومیک - فولویک اسید (Bioveg Agro) مورد استفاده دارای ۲۴ درصد عصاره هیومیک-فولویک اسید (محتوی ۱۲ درصد هیومیک اسید و ۱۲ درصد فولویک اسید) و ۴/۲ درصد پتاسیم (K₂O) با وزن مخصوص ۱۲ گرم در سانتی متر مکعب بود.

عملیات قبل از کشت: قبل از کشت، نمونه‌های مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی متری از هر تکرار تهیه و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). بافت خاک به روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن با اسید، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با هدایت سنج الکتریکی، واکنش خاک در گل اشباع به وسیله الکتروود شیشه‌ای، کربن آلی به روش اکسید کردن با اسیدسولفوریک غلیظ در مجاورت دی کرومات پتاسیم، فسفر قابل استفاده با روش اولسن، پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم نرمال و غلظت عناصر کم‌مصرف به روش دی تی پی ۱ اندازه‌گیری شدند (علی احیائی، ۱۳۷۶). خاک‌های مذکور غیر شور با pH بازی، آهک زیاد، مقدار کربن آلی کم و بافت نسبتاً سنگین بوده و از نظر فسفر قابل جذب در حد متوسط و از نظر پتاسیم در شرایط کفایت قرار داشتند.

آمار هواشناسی دو سال اجرای آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. میزان کل بارندگی در سال اول آزمایش (۱۳۹۶-۹۷)، ۴۴۸/۱ میلی‌متر و در سال دوم (۱۳۹۷-۹۸)، ۵۲۸/۸ میلی‌متر بود. میانگین درجه حرارت در سال اول ۱۲/۶ و در سال دوم ۱۰/۰۳ درجه سانتی‌گراد بود.

عملیات کاشت و اعمال تیمارها: در سال اول، آزمایش در یک قطعه زمین آیش اجرا شد. در اوایل مهرماه، ابتدا زمین با گاواهن برگردان‌دار شخم زده شده و قبل از کشت با زدن دیسک و با ماله تسطیح شد. در سال دوم اجرای آزمایش نیز، کشت در قطعه‌ای

هیومکس باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه چه نسبت به تیمار شاهد آب مقطر و تیمار خشکی پلی اتیلن گلیکول شده و از نظر شاخص استرس جوانه‌زنی، بیشترین مقدار این شاخص مربوط به تیمار هیومکس بود و در بین ارقام مورد مطالعه رقم اوحدی در تیمار هیومکس و رقم آذر-۲ در تیمار هیومیکا بالاترین مقدار را نشان دادند.

تاکنون پژوهشی در زمینه اثرات هم‌زیستی میکوریزی و بذر مال کردن گندم با ترکیبات هیومیک-فولویک اسید در کشور به انجام نرسیده است. بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی برهم‌کنش بذر مال مایه تلقیح قارچ میکوریزا آربسکولار و هیومیک-فولویک اسید بر عملکرد کمی و برخی ویژگی‌های کیفی گندم در شرایط دیم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

کلیات پروژه: این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی واقع در ۴۱°۲۱' عرض شمالی و ۵۰°۶۵' طول شرقی و در محدوده اراضی زراعی جنوب شهرستان ارومیه به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۶-۹۷ و ۹۸-۱۳۹۷) اجرا شد. خاک محل اجرای آزمایش جزء خاک‌های *fine mixed mesic typic Calcixerents* بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بود. فاکتور اول شامل مایه تلقیح قارچ میکوریزا در سه سطح (۱) شاهد (عدم تلقیح)، (۲) تلقیح بذور گندم (رقم باران) با مایه تلقیح قارچ اندومیکورایزا گونه *Glomos intraradices* (GI) به میزان دو درصد (قبل از کشت) و (۳) تلقیح بذور با مایه تلقیح قارچ اندومیکورایزا به صورت ترکیب سه گونه *G.mosseae* (GM)، *G.intraradices* و *G.etunicatum* به میزان دو درصد. فاکتور دوم شامل (۱) شاهد (عدم بذر مال)

به آزمایشگاه ارسال شدند. غلظت عناصر بر اساس استانداردهای مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شدند. برای هضم نمونه‌های گیاه از روش اکسیداسیون مرطوب با استفاده از اسید سالیسیلیک، اسیدسولفوریک و سلنیم و برای عناصر روی و مس از روش اکسیداسیون خشک با استفاده از اسیدکلریدریک دو نرمال استفاده شد (Amami, 1996). غلظت نیتروژن با روش کج‌دال اندازه‌گیری و با اعمال ضریب ۵/۷، به درصد پروتئین خام دانه تبدیل شد (Sedri et al., 2016).

رنگ‌آمیزی ریشه‌ها و برآورد درصد کلونیزاسیون ریشه با قارچ‌های میکوریزی به روش فیلیپس و هایمن (۱۹۷۰) انجام شد. در این روش رنگ‌آمیزی، آلودگی‌های میکوریزی شامل وزیکول‌ها و آربوسکول‌ها به شکل نقاط پررنگ در طول ریشه در درون سلول‌های کورتکس ریشه مشاهده می‌شوند (شکل ۲). برای محاسبه درصد همزیستی از یکصد قطعه ریشه رنگ‌آمیزی شده به طول ۱ الی ۲ سانتی‌متر و با روش تقاطع با خطوط شبکه^۱ استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری: قبل از انجام تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن داده‌های آزمایشی برای دو سال و آزمون یکنواختی اشتباهات آزمایشی از طریق آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها برای صفات مختلف به صورت 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.

جدول ۱. میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل‌های اجرای آزمایش

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the field soil of the experimental sites

Year	Depth (cm)	EC (dS/m)	pH	TNV	OC	Clay	Silt	Pava.	ZNava.	Kava.
				————— (%) —————			————— (mg/kg) —————			
2016-17	0-30	0.53	7.46	28.5	0.57	45.0	40.0	10.5	0.78	329
2017-18	0-30	0.63	7.52	26.2	0.68	42.4	42.0	9.7	0.81	313

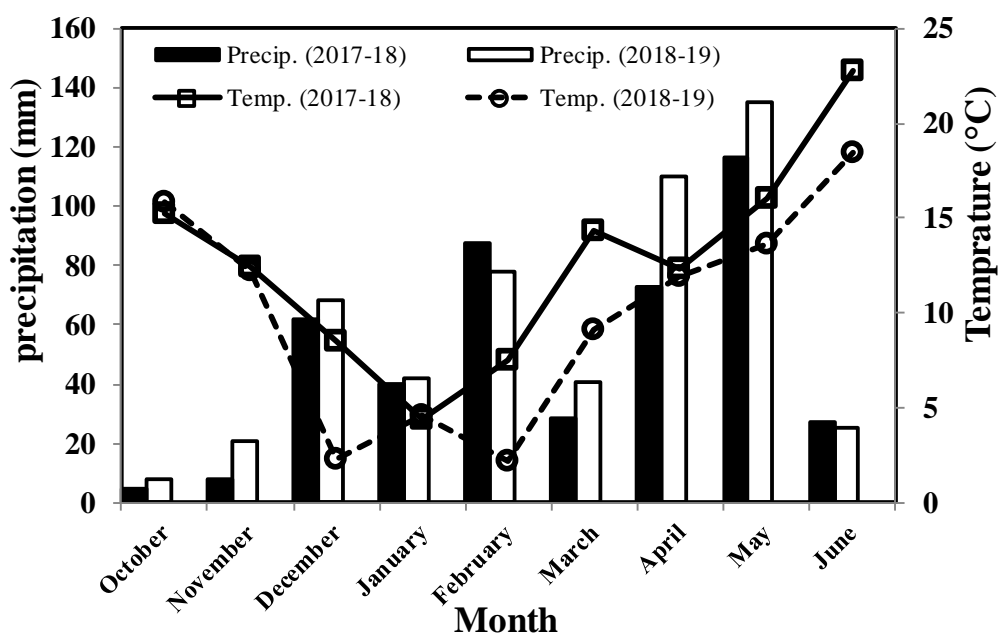
Each number is the average of three replicates.[†]

در مجاورت قطعه سال اول با همان رده‌بندی خاک به انجام رسید.

قبل از آغشته کردن بذور گندم با هیومیک - فولویک اسید، pH محلول پنج درصد آن با استفاده از محلول یک نرمال اسید سولفوریک در pH برابر ۶-۶/۵ در آزمایشگاه تنظیم شد. دو ساعت قبل از عملیات کشت، بذور مطابق تیمارها با این محلول آغشته و در سایه خشک شدند. پس از خشک شدن، مجدداً بذور گندم مطابق تیمارها با مایه تلقیح‌های قارچ‌های میکوریزا تلقیح و سپس با استفاده از دستگاه بذرکار آزمایشی وینتر اشتایگر کشت شدند. قبل از کشت، اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بر اساس آزمایش‌های مزرعه‌ای و پاسخ گیاه در یک نوبت به مصرف رسید (Sedri et al., 2016). تراکم بذور معادل ۴۵۰ بذور در مترمربع از رقم باران بود. هر کرت آزمایشی شامل دوازده خط به طول ۱۰ متر و به عرض ۲/۴ متر 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 برای کنترل نازک برگ‌ها از سم پوماسوپر به میزان یک لیتر در هکتار استفاده شد.

اندازه‌گیری صفات: صفات مختلف در طی دوره رشد گیاهان در مزرعه و پس از برداشت محصول اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی (کد ۹۳ زادوکس) گیاه اندازه‌گیری شد. برداشت با حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به منظور حذف اثرات حاشیه انجام شد. پس از برداشت محصول، نمونه‌های دانه از تیمارها تهیه و جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، روی و مس

[†] Grid Line Intersect Method



شکل ۱- آمار بارندگی و درجه حرارت ماهیانه مکان‌های اجرای آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸
Figure 1- Monthly average precipitation and temperature of the experimental area of the crop years 2016-17 and 2017-18



شکل ۲- آلودگی میکوریزی نمونه ریشه‌های گندم رقم باران در شرایط استفاده از مایه تلقیح مرکب قارچ میکوریزا
Glomus mixed
Figure 2- Mycorrhizal contamination of rainfed wheat roots var. Baran under the conditions of using Glomus mixed mycorrhizal inoculum

مؤثر در رشد گندم طی دو سال اجرای آزمایش از جمله شرایط اقلیمی به‌ویژه دما، بارندگی و توزیع آن در ماه‌های رشد از مهر تا خرداد باشد (شکل ۱ و جدول ۲). اثر قارچ‌های میکوریزا بر عملکرد دانه، پروتئین دانه و غلظت عناصر فسفر، روی و مس دانه و درصد

نتایج و بحث

نتیجه تجزیه واریانس مرکب دوساله آزمایش، بیانگر وجود اختلاف آماری معنی‌دار ($P \leq 0.01$) برای صفات عملکرد دانه، پروتئین دانه و درصد کلونیزاسیون ریشه بود. این امر می‌تواند ناشی از تأثیر عوامل غیرقابل کنترل

صفات اختلاف معنی داری وجود نداشت. اثرات متقابل سال×هیومیک-فولویک اسید بر روی عملکرد دانه و غلظت عنصر روی کاملاً معنی دار ($P \leq 0.05$) ولی، بر روی سایر صفات معنی دار نبود. ارزیابی اثرات متقابل قارچ میکوریزا×هیومیک اسید نشانگر اختلاف آماری کاملاً معنی دار ($P \leq 0.01$) بر روی صفت عملکرد دانه و اختلاف معنی دار بر روی غلظت مس در دانه ($P \leq 0.05$) بود.

کلونیزاسیون ریشه، معنی دار ($P \leq 0.01$) بود. اثر هیومیک - فولویک اسید بر عملکرد دانه، درصد کلونیزاسیون ریشه و غلظت فسفر دانه معنی دار بود؛ در صورتیکه بر درصد پروتئین دانه و غلظت عناصر روی و مس در دانه اثر معنی دار نداشت. اثرات متقابل سال×قارچ میکوریزا برای هر کدام از صفات عملکرد دانه، درصد کلونیزاسیون ریشه و غلظت عناصر نیتروژن و مس در دانه کاملاً معنی دار ($P \leq 0.01$) بود. بین سایر

جدول ۲- میانگین مربعات تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در طی دو سال زراعی

Table 2- Mean square analysis of the variance of the evaluated traits during two crop years

SV	df	Grain yield	Root colonization	Grain Protein	Grain P concentration	Grain Zn concentration	Grain Cu concentration
Year (Y)	1	7919003**	2935.0**	336.2**	0.011 ^{ns}	158.38 ^{ns}	4.75 ^{ns}
Error (Y)	4	151822	99.39	2.63	0.002	59.14	23.39
Mycorrhiza (M)	2	907780**	13220.3**	6.22**	0.026**	294.66**	58.72**
M×Y	2	143666**	1121.9 ^{ns}	2.73**	0.001 ^{ns}	14.05*	5.57 ^{ns}
Humic Acid (HA)	1	432923**	344.9**	0.17 ^{ns}	0.003*	4.18 ^{ns}	0.13 ^{ns}
Y×HA	1	343428**	11.3 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.001 ^{ns}	12.31 ^{ns}	1.06 ^{ns}
M×HA	2	171006**	80.4 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.001 ^{ns}	27.67 ^{ns}	6.33*
Y×M×HA	2	28538 ^{ns}	136.9 ^{ns}	0.80 ^{ns}	0.001 ^{ns}	1.34 ^{ns}	1.23 ^{ns}
Error	20	25259	48.5	0.37	0.001	4.39	1.63
CV	-	8.1	12.3	4.97	6.66	12.90	11.29

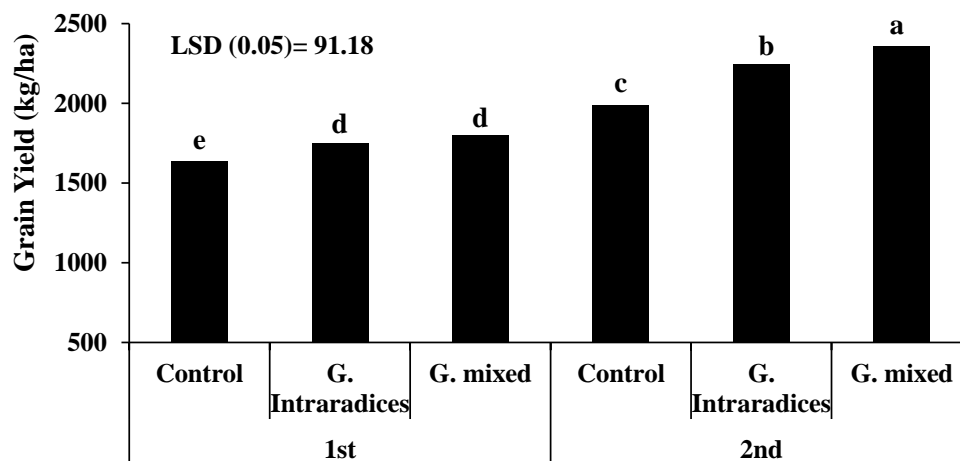
* and **: significant at 5 and 1% levels of probability, respectively; ^{ns}: not significant.

خرداد و تغییرات درجه حرارت در ماه‌های مذکور در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این موضوع با نتایج خیری و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. باتوجه به معنی دار بودن اثر تیمارهای بذور تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزی در سطح احتمال آماری ۱٪ (شکل ۳)، بیشترین مقدار این صفت با ۲۰۸۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار GM به دست آمد. افزایش عملکرد دانه گندم در تیمار GI، ۱۸۷ کیلوگرم در هکتار و کمتر از تیمار GM با افزایشی معادل ۲۶۹ کیلوگرم در هکتار بود. اختلاف عملکرد دانه در تیمار بذرمال با هیومیک-فولویک اسید در مقایسه با شاهد در حدود ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار و معنی دار بود ($P \leq 0.05$). نتایج مذکور با نتایج الکرکی و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد.

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که عملکرد دانه در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ نسبت به سال ۹۷-۱۳۹۶ بیشتر بود. مقدار آن در سال دوم ۲۱۹۹ کیلوگرم در هکتار و در سال اول ۱۷۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. مقایسه میانگین عملکرد دانه در دو سال زراعی نشانگر افزایش ۲۷/۱ درصدی عملکرد دانه در سال دوم نسبت به سال اول بود (شکل ۳). باتوجه به آمار هواشناسی دو سال اجرای آزمایش، افزایش بارندگی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت به ترتیب به میزان ۵۱/۱ و ۱۶/۲ درصد و پایین بودن دما در ماه‌های اردیبهشت و خرداد ماه به ترتیب به میزان ۳/۳ و ۱۸/۹ درصد نسبت به سال اول، دلیل اصلی این اختلاف معنی دار محسوب می‌شود. لذا نتایج مذکور وابستگی شدید عملکرد گندم دیم به شرایط اقلیمی به‌ویژه وقوع بارندگی‌های اردیبهشت و

به تیمار شاهد (عدم استفاده از مایه تلقیح) عملکرد دانه را افزایش داد. چنین استنباط می‌گردد که بیشتر بودن میزان بارندگی در سال دوم و پایین‌تر بودن دما در همان سال نسبت به سال اول اجرای آزمایش (شکل ۳) شرایط را برای کارایی بیشتر مایه تلقیح GM بر روی ارتقای عملکرد دانه گندم مساعدتر نموده است.

اثر متقابل سال و میکوریزا نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در سال دوم و در شرایط استفاده از مایه تلقیح GM به میزان ۲۳۶۱ و کمترین مقدار آن در سال اول و تیمار شاهد به میزان ۱۶۳۸ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۳). استفاده از مایه تلقیح GM در سال‌های اول و دوم به ترتیب به میزان ۹/۸۹ و ۱۸/۸۲ درصد نسبت



شکل ۳- برهم‌کنش سال و مایه تلقیح میکوریزا (GI و GM) بر عملکرد گندم دیم

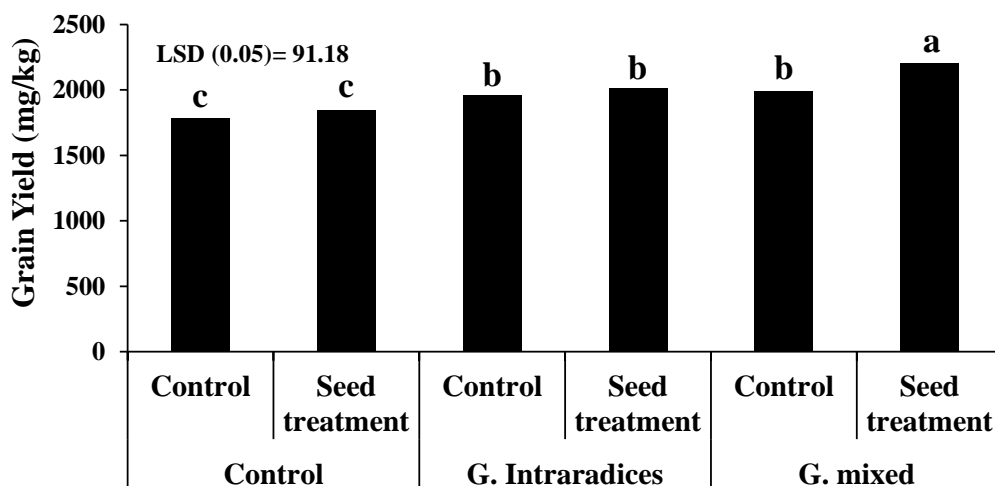
Figure 3- Interaction of year and Mycorrhiza inoculum on yield of the rainfed wheat

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 جربی و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که درصد کلونیزاسیون با دما نسبت مستقیم و با میزان بارندگی نسبت عکس دارد.

بین تیمارهای آغشته به قارچ‌های میکوریزا اختلاف معنی‌داری وجود داشت. میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه از ۹/۸۹ درصد در تیمار شاهد به ۳۰/۵۷ و ۴۰/۷۱ درصد به ترتیب در تیمارهای GI و GM افزایش یافت (جدول ۳). تفاوت آماری بین تیمارهای قارچ‌های میکوریزا بیانگر این واقعیت است که درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار GM کارایی بالاتری نسبت به گونه‌های قارچ GI دارد.

اثر متقابل میکوریزا و هیومیک - فولویک اسید نیز نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در زمان استفاده همزمان مایه تلقیح قارچ میکوریزا GM و بذر مال هیومیک اسید به میزان ۲۲۰۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (عدم استفاده از قارچ میکوریزا و هیومیک-فولویک اسید) به میزان ۱۷۸۲ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۴).

کلونیزاسیون ریشه: کلونیزاسیون ریشه یکی از صفات مهمی است که میزان سرایت هیف‌های قارچ هم‌زیست میکوریزا را در ریشه گندم نشان می‌دهد. میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه در سال دوم ۳۲/۲۴ بود که نسبت به سال اول به میزان ۳۸/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). این میزان اختلاف حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین سال‌های مختلف اجرای آزمایش بود. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که دمای محیط



شکل ۴- برهم کنش مایه تلقیح میکوریزا و بذر مال هیومیک - فولویک اسید بر عملکرد دانه گندم دیم
Figure 4- Interaction of Mycorrhiza inoculum and seed treatment of humic-fulvic acid on grain yield of the rainfed wheat

جدول ۳- اثرات اصلی سال، قارچ میکوریزا و گلایسین بتائین بر برخی صفات کمی و کیفی گندم
Table 3. Main effects of year, mycorrhizal fungus and humic-fulvic acid on some traits of the rainfed wheat

Treatment		Grain Protein	Root Colonization	Grain P Conc.	Grain Zn Conc.	Grain Cu Conc.
		(%)	(%)	(%)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
Year	2016-17	13.70a	32.24a	0.413a	15.20a	11.47 a
	2017-18	11.64b	23.21b	0.431a	17.30a	11.11 a
LSD (0.05)		0.75	4.61	0.021	3.56	2.24
mycorrhizal fungus	Control	11.83b	9.89c	0.402c	14.35c	10.25 c
	G.intraradices	12.13b	30.57b	0.417b	15.35b	11.17b
	GM [†]	12.55a	40.71a	0.447a	19.05a	12.45 a
LSD (0.05)		0.25	2.83	0.013	0.85	0.52
Humic-Fulvic Acid	Control	12.21a	26.18b	0.416b	16.08a	11.26 a
	Seed treatment	12.14a	29.27a	0.427a	16.42a	11.32 a
LSD (0.05)		0.20	2.31	0.01	0.85	0.52

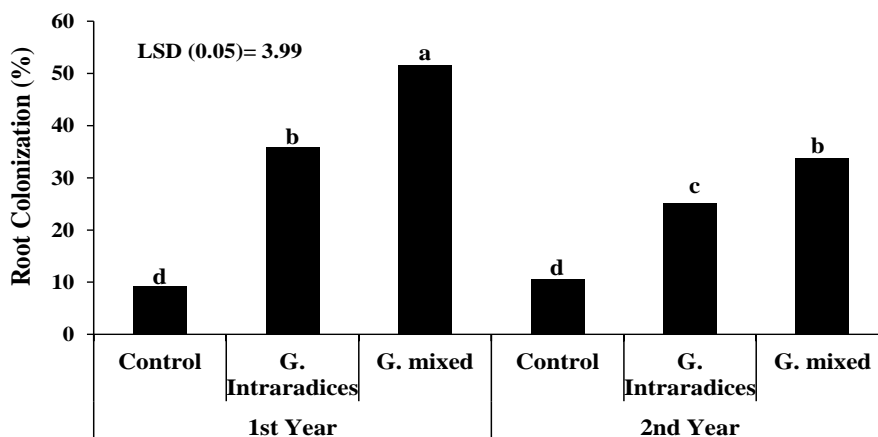
G.etunicatum and *G.intraradices*, GM: Mixed of three species *G.mosseae*, [†]

هیومیک-فولویک اسید قرار گرفت. میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه در تیمار بذر مال گندم با هیومیک-فولویک اسید ۲۹/۲۷ درصد بود که نسبت به شاهد ۳/۰۹ درصد افزایش نشان داد (شکل ۵). چنین استنباط می‌گردد که شرایط اقلیمی در میزان سرایت

نتایج بررسی‌ها نشان داده است که کارایی 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). کلونیزاسیون ریشه تحت تأثیر اثر تیمار بذر مال با

آن‌ها دلالت دارد و ضروری است در این رابطه پژوهش‌ها تداوم یابد.

هیف‌های قارچ و رابطه همزیستی آن‌ها با ریشه‌های گندم دیم تأثیر مهمی دارد. نتایج مذکور به اهمیت تفاوت‌های ژنتیکی ارقام در رابطه با مدیریت تغذیه



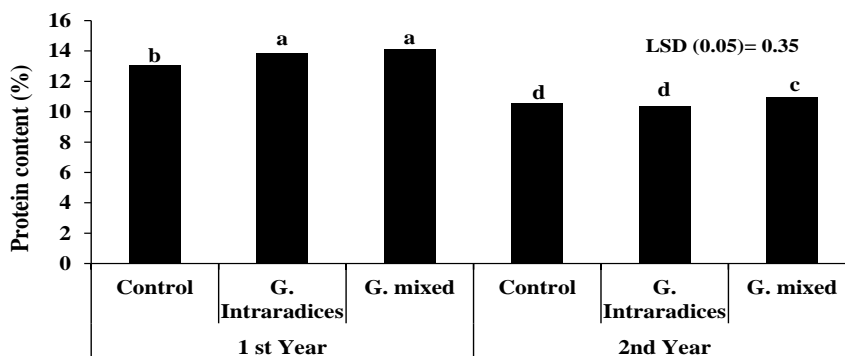
شکل ۵- برهم‌کنش سال و مایه تلقیح میکوریزا بر کلونیزاسیون ریشه گندم دیم

Figure 5- Interaction of year and Mycorrhiza inoculum on root colonization of the rainfed wheat

اثر متقابل سال و قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین درصد پروتئین دانه در تیمار GI در سال اول به میزان ۱۴/۱۲ درصد و کمترین میزان آن در تیمار شاهد (عدم استفاده از مایه تلقیح) در سال دوم به دست آمد. تیمارهای GI و GM در سال اول هر دو در یک کلاس آماری قرار داشتند و مایه تلقیح GI به میزان تیمار GM در افزایش پروتئین دانه مؤثر بود ولی در سال دوم کارایی گونه‌های قارچ GI کمتر از GM بود (شکل ۶). برهم‌کنش سال در مایکوریزا در هیومیک - فولویک اسید نشان داد که بیشترین درصد پروتئین دانه به میزان ۱۳/۹۹ در سال اول در تیمار GM و بذر مال هیومیک-فولویک اسید و کمترین مقدار آن در سال دوم و تیمار شاهد به میزان ۱۰/۲۷ به دست آمد. کاربرد مایه تلقیح مایکوریزا در هر دو تیمار GM و GI نسبت به عدم کاربرد آن در تیمار شاهد در هر دو سال، درصد پروتئین دانه گندم را افزایش داد. در سال اول، برهم‌کنش تیمارهای قارچ مایکوریزا و هیومیک - فولویک اسید بر درصد پروتئین دانه گندم تأثیری نداشت؛ ولی در سال دوم این برهم‌کنش معنی‌دار و مثبت بود؛ بطوریکه استفاده از مایه تلقیح‌های GM و GI به ترتیب به میزان ۷/۲۳ و ۵/۴۵

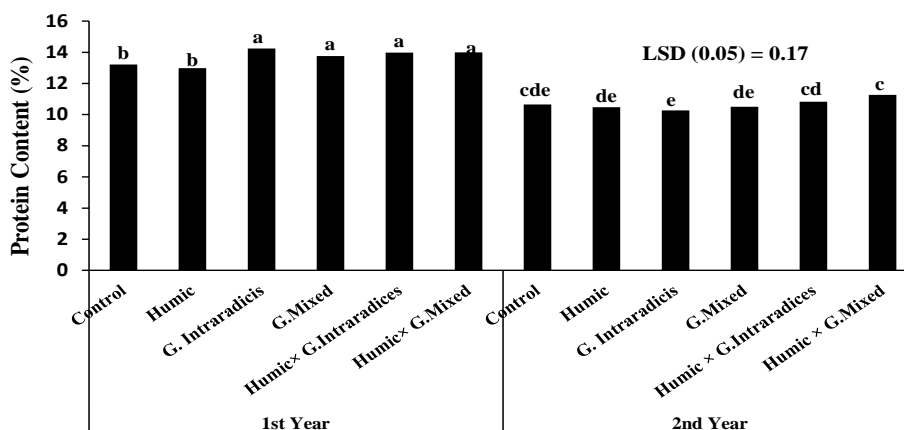
پروتئین دانه: از نظر میزان پروتئین دانه، تفاوت معنی‌داری بین سال‌های مختلف اجرای آزمایش وجود داشت. بیشترین درصد پروتئین دانه در سال اول به میزان ۱۳/۰۷ درصد به دست آمد که نسبت به سال دوم ۱۱/۶۴ درصد افزایش نشان داد. سایر محققین نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. به‌عنوان مثال، بالا و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند 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 می‌دهد و از آنجایی که پوسته نسبت به سایر اجزای دانه از میزان پروتئین بیشتری برخوردار است، در مجموع میزان پروتئین دانه افزایش می‌یابد. تیمارهای مایه تلقیح GM باعث افزایش درصد پروتئین دانه به میزان ۶/۰۹ درصد شد ولی تیمار GI بر درصد پروتئین دانه اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۳). همچنین تیمار بذرمال با هیومیک-فولویک اسید بر میزان پروتئین دانه اثر معنی‌دار نداشت.

درصد میزان پروتئین دانه گندم را به طور معنی داری افزایش دادند (شکل ۷).



شکل ۶- برهم کنش سال در مایه تلقیح میکوریزا بر محتوی پروتئین دانه گندم دیم

Figure 6- Interaction of year and Mycorrhiza inoculum on protein content of the rainfed wheat grain



شکل ۷- برهم کنش سال در مایه تلقیح میکوریزا و بذر مال هیومیک-فولویک اسید بر محتوی

پروتئین دانه گندم دیم

Figure 7- Interaction of year, Mycorrhiza inoculum, and humic-fulvic acid seed treatment on the protein content of the rainfed wheat grain

تلقیح GM نسبت به تیمار GI در رابطه با تأثیر آن بر میزان جذب فسفر را نشان می دهد. در پژوهشی الیوت و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند که استفاده از مایه تلقیح میکوریزی قادر است جذب فسفر را در ارقام مختلف گندم تا ۳۰ درصد افزایش دهد. بذر مال کردن گندم با هیومیک-فولویک اسید به طور معنی داری غلظت فسفر دانه را تحت تأثیر قرارداد؛ به طوری که غلظت فسفر دانه را نسبت به شاهد به میزان ۲/۶۴ درصد افزایش داد (جدول ۴). دو نکته در این زمینه قابل تعمق است: اول اینکه بذر مال کردن گندم با قارچ میکوریزا بر غلظت فسفر دانه مؤثر است. دوم، تأثیر

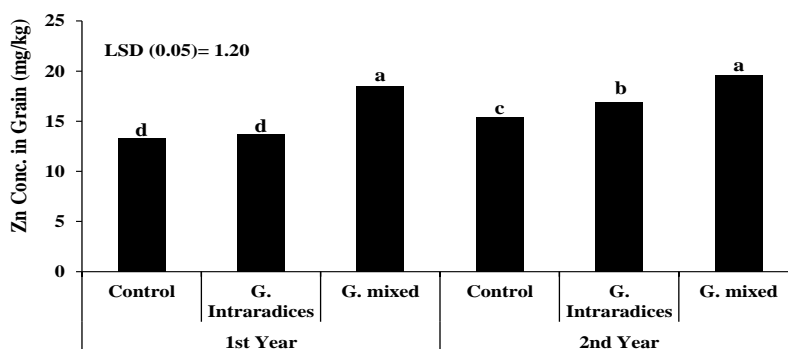
غلظت فسفر (P) دانه: یکی از عناصر ضروری پرمصرف که تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت، غلظت فسفر دانه بود (جدول ۳). اثر سال تأثیر معنی داری بر غلظت فسفر دانه نداشت. استفاده از مایه تلقیح قارچهای میکوریزا موجب افزایش معنی دار غلظت فسفر دانه شد. بیشترین غلظت فسفر در تیمار GM حاصل شد که نسبت به شاهد (عدم استفاده از مایه تلقیح میکوریزا) ۱۱/۱۹ درصد افزایش نشان داد. تیمار GI نیز افزایش غلظت فسفر دانه را در پی داشت ولی در کلاس آماری پایین تری نسبت به تیمار GM قرار گرفت (جدول ۴). این امر کارایی بیشتر مایه

روی را در دانه گندم تا ۲۴/۳ درصد افزایش دهد (Coccina et al., 2019). اثرات مستقل تیمار هیومیک-فولویک اسید بر صفت مذکور از نظر آماری معنی دار نبود (جدول ۳). برهم کنش قارچ میکوریزا و هیومیک-فولویک اسید بر غلظت روی دانه نشان داد که بیشترین غلظت روی در تیمار GM و بذر مال هیومیک-فولویک اسید به دست آمد که با تیمار GM و عدم بذر مال هیومیک-فولویک اسید در یک کلاس آماری قرار گرفتند (شکل ۸).

غلظت مس (Cu) دانه: عنصر مس یکی از عناصر کم مصرف مهم در تغذیه گندم محسوب می گردد. نتایج تحقیق نشان داد که تفاوت معنی داری بین غلظت مس در سال های اجرای آزمایش وجود نداشت (جدول ۳). تیمار قارچ میکوریزا بر غلظت مس دانه اثر معنی دار داشت ($P \leq 0.05$). بیشترین غلظت مس در تیمار GM به میزان ۱۲/۴۵ درصد بود که نسبت به شاهد ۲۱/۴۶ درصد افزایش نشان داد. تیمار GI نیز افزایش غلظت مس در دانه را موجب شد ولی تأثیر آن نسبت به تیمار GM کمتر بود.

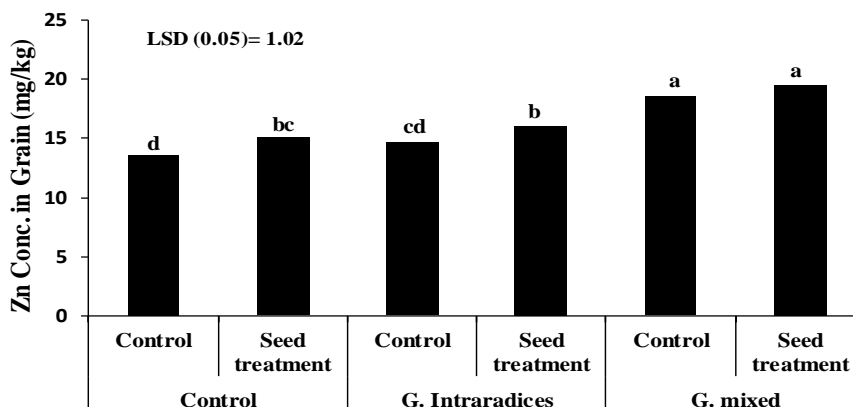
هیومیک-فولویک اسید در مقایسه با قارچ میکوریزا بر افزایش غلظت فسفر دانه بسیار کمتر است. برهم-کنش قارچ میکوریزا×هیومیک-فولویک اسید بر غلظت فسفر دانه معنی دار نبود (جدول ۲).

غلظت روی (Zn) دانه: محتوای روی دانه یک صفت کیفی مهم برای گندم است که متأثر از عوامل محیطی و ژنتیکی است. در این آزمایش تفاوتی بین سال های اجرای آزمایش از نظر غلظت روی در دانه مشاهده نشد (جدول ۳). مایه تلقیح قارچ میکوریزا باعث افزایش غلظت روی در دانه شده و استفاده از مایه تلقیح GM غلظت روی در دانه را به میزان ۳۲/۷۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. کارایی این تیمار نسبت به تیمار GI بر افزایش غلظت روی در دانه به طور معنی داری بیشتر بود. اثر متقابل سال و قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین غلظت روی در دانه در سال دوم و به میزان ۱۹/۵۷ گرم بر کیلوگرم در مایه تلقیح GM و کمترین مقدار آن به مقدار ۱۳/۳۲ گرم بر کیلوگرم مربوط به سال اول و تیمار عدم استفاده از مایه تلقیح قارچ میکوریزا تعلق داشت (شکل ۸). در یک تحقیق مشخص شد که همزیستی میکوریزی بر جذب روی در دانه گندم کاملاً موثر بوده و قادر است میزان جذب



شکل ۸- برهم کنش سال و مایه تلقیح قارچ میکوریزا بر غلظت روی دانه گندم دیم

Figure 8- Interaction of year and Mycorrhiza inoculum on Zn concentration in the rainfed wheat grain

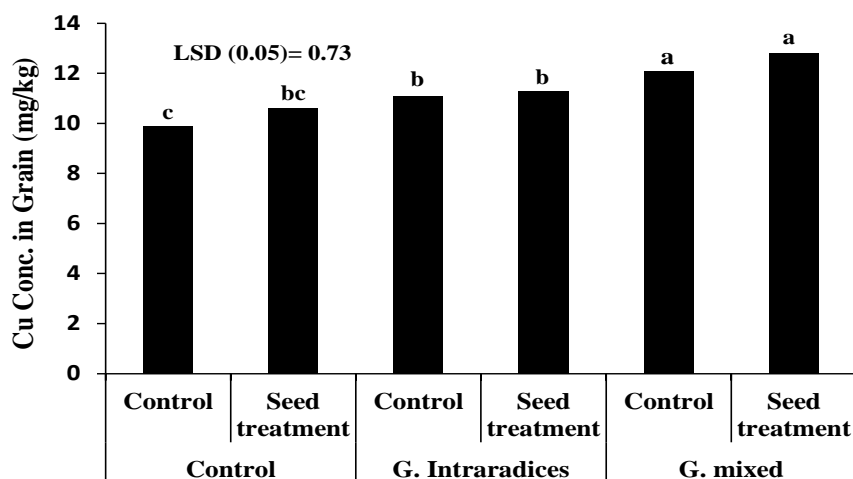


شکل ۹- برهم کنش مایه تلقیح قارچ میکوریزا و بذر مال هیومیک - فولویک اسید بر غلظت روی دانه گندم دیم

Figure 9- Interaction of Mycorrhiza inoculum and humic-fulvic acid seed treatment on Zn concentration in the rainfed wheat grain

تیمار GM و عدم مصرف هیومیک-فولویک اسید نسبت به مصرف همزمان تیمار GM + بذر مال هیومیک-فولویک اسید در یک کلاس آماری قرار گرفتند. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که استفاده همزمان مایه تلقیح قارچ و بذر مال کردن هیومیک-فولویک اسید تأثیر مثبت بر غلظت مس دانه نداشته است.

اثرات مستقل تیمار هیومیک - فولویک اسید بر غلظت مس در دانه از نظر آماری معنی دار نشد (جدول ۴). اثرمتقابل قارچ میکوریزا و هیومیک-فولویک اسید نشان داد که بیشترین غلظت مس در دانه به تیمار قارچ میکوریزا GM به میزان ۱۲/۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار آن به تیمار شاهد (عدم استفاده از قارچ میکوریزا) و هیومیک-فولویک اسید (به میزان ۹/۹۰) تعلق گرفت (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- برهم کنش مایه تلقیح قارچ میکوریزا در هیومیک - فولویک اسید بر غلظت مس دانه گندم دیم

Figure 10- Interaction of Mycorrhiza inoculum and humic-fulvic acid seed treatment on Cu concentration in the rainfed wheat grain

۱۳۹۷) برتر از سال اول (۱۳۹۶-۹۷) اجرای آزمایش بود. قارچ میکوریزا در بهبود عملکرد دانه مؤثر بود. دراین ارتباط، مایه تلقیح GM از کارایی بیشتری

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که اکثر صفات مورد بررسی به استثنای درصد کلونیزاسیون ریشه در سال دوم (۹۸-

مس دانه را افزایش داد و در این رابطه استفاده از مایه تلقیح GM، کارایی بیشتری نسبت به مایه تلقیح GI داشت. بنابراین، بر اساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌گردد در برنامه مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزی GM و بذر مال هیومیک-فولویک اسید در مناطق مشابه این تحقیق استفاده شود تا بتوان در راستای تأمین امنیت غذایی و ارتقاء سطح سلامت جامعه، محصولی بیشتر و باکیفیت مطلوب‌تر تولید نمود.

برخوردار بود. بذر مال کردن هیومیک-فولویک اسید در زمان کشت، عملکرد دانه گندم دیم را به میزان ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. استفاده از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزا درصد کلونیزاسیون ریشه را به طور معنی‌داری افزایش داده و کارایی مایه تلقیح GM نسبت به GI به میزان ۳۳/۱۷ درصد بیشتر بود. بررسی پتانسیل کیفی دانه نشان داد که استفاده از مایه تلقیح GM درصد پروتئین دانه را افزایش داد. همچنین، همزیستی میکوریزی غلظت فسفر، روی و

منابع

- Ahmad F, Tan KH. 1991. Availability of fixed phosphate to corn seedlings as affected by Humic Acid. Indonesian Journal of Agricultural Science 2:66-72.
- Al-Karaki G, McMichael B, Zak J. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza 14:263-269.
- Ahmadi K, Gholizadeh H, Ebadzadeh H, Hosseinpour R, Abdeshah A, Kazemian A, Rafiee M. (2018). Agricultural Statistics of the Crop Year 2016-17, Volume 1: Crops. Deputy of Planning and Economy, Information Technology Center of the Ministry of Jihad Agriculture, Tehran, Iran (in Persian)
- Alihyaei M. (1997). Description of Soil Chemical Analysis Methods. Volume 2, Number 1024, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran (in Persian)
- Amami A. (1996). Methods of Plant Analysis. Volume 1, Number 982, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran (in Persian)
- Amerian BMR, Stewart WS. 2001. Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, Assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). Aspects of Applied Biology 58- 63.
- Asrar AWA, Elhindi KM. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences 18:93-98.
- Atiyeh RM, Edwards CA, Metzger JD, Lee S, Arancon NO. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm processed organic wastes on plant growth. Bioresource Technol 84:7-14.
- Augé RM. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11:3-42.
- Austin RB, Edrich JA, Ford MA, Blackwell RD. 1977. The Fate of the Dry Matter, Carbohydrates and ¹⁴C Lost from the Leaves and Stems of Wheat during Grain Filling. Annals of Botany 41:1309-1321.
- Bidinger F, Musgrave RB, Fischer RA. 1977. Contribution of Stored Pre-Anthesis Assimilate to Grain Yield in Wheat and Barley. Nature 270:431-433.
- Chen THH, Murata N. 2002. Enhancement of Tolerance to Abiotic Stress by Metabolic Engineering of Betaines and Other Compatible Solutes. Current Opinion in Plant Biology 5:250-257
- Chen Y, Clapp CE, Magen H. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organic-iron complexes. Soil Science and Plant Nutrition 50:1089-1095.
- Coccina A, Cavagnaro TR, Pellegrino E, Ercoli L, McLaughlin MJ. and Watts-Williams SJ. 2019. The mycorrhizal pathway of zinc uptake contributes to zinc accumulation in barley and wheat grain. BMC Plant Biology. 19(1): 133-147.
- Delfine S, Tognetti R, Desiderio E, Alvino A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. Agronomy for Sustainable Development 25:183-191.

- Elwan LM. 2001. Effect of soil water regimes and inoculation with mycorrhiza on growth and nutrient content of maize plants *Journal of Agricultural Research* 28:162-172.
- FAO. 2022. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/wheat>
- Haghparast R, Zangeneh S, Rajabi R. 2021. The effect of seed treatment with Humic and Fulvic acid on the germination wheat under drought stress conditions. The 6th National Conference on New Ideas in Agriculture. Islamic Azad University Esfahan (Khorasghan), Khorasghan, Iran (in Persian)
- Haroon B. 2009. Increasing crop production through humic acid in salt-affected soils. Ph.D. Dissert. Department of Soil Environmental Science, The University of Agriculture. Peshawar, Pakistan.
- Hetrick BAD, Bloom J. 1984. The influence of temperature on the colonization of winter wheat by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycologia* 76(5): 953-956.
- Jamshidi EH, Ghalavand A, Salehi AM, Zare MJ, Jamshidi AR. 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(2):136-50.
- Jerbi M, Labidi S, Lounès-Hadj Sahraoui A, Chaar H, and 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.
- Katkat AV, Çelik H, Turan MA, Asik BB. 2009. Effects of soil and foliar applications of humic substances on dry weight and mineral nutrients uptake of wheat under calcareous soil conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3:1266-1273.
- Kaya M, Khawar KM. 2005. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common bean. *International Journal of Agriculture and Biology* 7: 875-878.
- Khazaie H, Kafi M. 2009. Effect of humic acid on root and shoot growth of two wheat cultivars (*Triticum aestivum*. L)', *Water and Soil* 23(2): 87-94 (in Persian)
- Khattak RA, Muhammad D. 2006. Effect of pre-sowing seed treatments with humic acid on seedling growth and nutrient uptake internship report. Department of Soil and Environmental Science. NWFP Agriculture University. Peshawar, Pakistan.
- Kheiri M, Soufizadeh S, Ghaffari A, Aghaalikhani M, and Eskandari A. 2017. Association between temperature and precipitation with dryland wheat yield in northwest of Iran. *Climatic Change* 141(4): 703-717.
- Kramer PJ. 1980. Drought Stress and the Origin of Adaptation, p. 7-20, In N. C. Ludlow MM, Muchow RC. 1990. A Critical Evaluation of Traits for Improving Crop Yields in Water Limited Environments. *Advances in Agronomy* 43:107-153.
- Lehnert H, Serfling A, Enders M, Friedt W, and Ordon F. 2017. Genetics of mycorrhizal symbiosis in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *New Phytologist* 215(2): 779-791.
- Mackowiak CL, Grossi PP, Bugbei BG. 2001. Beneficial effect of humic acid on micronutrient availability of wheat. *Soil Science Society of America Journal* 56:1744- 1750.
- Maghrebi M, Noori R, Bhattarai R, Mundher Yaseen Z, Tang Q, Al-Ansari N, Danandeh Mehr A, Karbassi A, Omidvar J, Farnoush H, Torabi Haghighi A. 2020. Iran's Agriculture in the Anthropocene. *Earth's Future* 8(9): e2020EF001547.
- Maghsoudi K. and Maghsoudimoud AA. 2008. Assessment of osmoregulation capability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using response of projected pollen grains to drought stress. *Iranian Journal of Crop Sciences* (1)10: 1-14 (in Persian)
- Mishra B, Srivastava LL. 1988. Physiological properties of have isolated from major soil associations of Bihar. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 36: 1-89.
- Osonubi O. 1994. Comparative effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization on grown and phosphorus uptake of maize and sorghum plants under drought -stressed condition *Biology and Fertility of Soils* 18: 55-59.
- Rahmat UK, Rashid A, Khan MS, Ozturk E. 2010. Impact of humic acid and chemical fertilizer application on growth and grain yield of rainfed wheat (*Truticum aestivum*, L.). *Pakistan Journal of Agricultural Research* 23:113-121.
- Sajedi NA, 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): 202-222 (in Persian)

- 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)
- Shiferaw B, Smale M, BraunHJ, Duveiller E, Reynolds M, Muricho G. 2013. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security* 5(3): 291-317.
- Thangavelu R, Ramabadran R. 1992. Effect of humic acid on severity of rice blast Int, *Rice Res. News letter* 17:3-18.
- Vafabakhsh J, Nasiri mahalati M, Koocheki A. 2008. Effects of drought stress on radiation use efficiency and yield of winter Canola (*Brassica napus L.*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 6(1): 193-204 (in Persian)
- Waqas M, Ahmad B, Arif M, Munsif F, Khan AL, Amin M, Kang SM, Kim YH, Lee IJ. 2014. Evaluation of humic acid application methods for yield and yield components of mungbean. *American Journal of Plant Sciences* 5:2269-2276.
- Yang JC, Zhang JH, Wang ZQ, Liu LJ, Zhu QS. 2003a. Post-anthesis Water Deficits Enhance Grain Filling in Two-line Hybrid Rice. *Crop Science* 43:2099-2108.
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF. 1974. A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. *Weed Research* 14:415-421.

Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and humic-fulvic acid on the agronomic characteristics of wheat in dryland conditions

Aziz Majidi^{1*}, Gholamreza Khalilzadeh²

1- Soil and Water Research Dept., Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, West Azerbaijan, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Urmia, Iran

2- Seed and Plant Improvement Dept., Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, West Azerbaijan, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Urmia

EXTENDED ABSTRACT

Abstract

Introduction: Drought stress is one of the most important abiotic stresses limiting the growth of plants in dry and semi-arid regions of the world. One of the ways to increase production stability in drought-stress conditions is by using mycorrhizal symbiotic relationships. Previous studies have revealed that mycorrhizal fungi can moderate the adverse impacts of drought stress on crops. Humic and fulvic acids are water-soluble organic acids that occur naturally in soil organic matter. These compounds have got very beneficial effects on the plant growth process and cell permeability and increase the absorption of nutrients by plants. So far, there has not been any research on the symbiosis effects of Mycorrhiza and seed treatment of dryland wheat with humic-fulvic acid compounds in Iran. Therefore, this research aimed to investigate the interaction of the seed inoculum of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and humic-fulvic acid (HFA) on the quantitative yield and some qualitative characteristics of winter wheat under dry conditions.

Materials and Methods: This study was conducted at the Rainfed Research Station of the Agricultural Research and Center of West Azerbaijan, Iran during the wheat growing season in 2017-19. The experiment was conducted as a factorial randomized complete blocks design (RCBD) with three replications. The first factor consisted of three levels of bio-fertilizer application (1- non-application or control, 2- inoculation with *Glomus intraradices* (GI), 3- the combination of fungal species inoculation with *G.mosseae*, *G.intraradices*, and *G.etunicatum* (GM)). The second factor included two levels of HFA application including control (non-application) and seed treatment at 5% HFA/seeds.

Research finding: The results showed that root colonization was significantly affected by AMF treatments and increased from 9.89% in control to 30.57% and 40.71% in GI and GM, respectively. Wheat grain yield increased by 269 and 187 kg ha⁻¹ in the GM and GI treatments, respectively (P≤0.05). Application of AMF treatments increased grain protein content, phosphorus (P), zinc (Zn), and copper (Cu) concentrations in the grain. GM treatment had higher efficiency than GI treatment in all the mentioned traits (P≤0.05). HFA seed treatment increased grain yield by 110 kg ha⁻¹, root colonization (3.09%), and phosphorus concentration in the wheat grain (2.64 %) (P≤0.05). Therefore, seed treatments of rainfed wheat with a compound inoculum of three species of arbuscular mycorrhizal fungi and humic-fulvic acid increase the grain yield and protein content and grain enrichment by Zn and P nutrients under similar conditions to this experiment.

Keywords: AMF inoculant, Biological enrichment, Rainfed wheat yield, seed treatment.

* Corresponding author: a.majidi@areeo.ac.ir Submit date: 2023/02/17 Accept date: 2023/05/01