

برهمکنش قارچ عامل بیوکنتری *Microdochium bolleyi* با عامل بیماری پاخوره غلات (*Gaeumannomyces graminis*) در خاک تیمار شده با کودهای ازته و فسفره

امیرحسین شریفی^۱، صمد جمالی^{۲*}، اکرم فاطمی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بیماری شناسی گیاهی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، ۲. دانشیار قارچ‌شناسی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، ۳. استادیار علوم و مهندسی خاک، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱)

چکیده

پاخوره گندم از جمله مهم‌ترین بیماری‌های گندم در سراسر جهان می‌باشد. در این تحقیق برای اولین بار اثر کودهای فسفره و ازته و قارچ اندوفیت *Microdochium bolleyi* بر کنترل بیماری پاخوره گندم (رقم پیشگام) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی و شامل تیمارهای شاهد، کاربرد کودهای ازته و فسفره به نسبت‌های مختلف (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سوپرفسفات تریپل، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اوره) به تنهایی، همراه با بیمارگر (*Gaeumannomyces graminis*) همچنین قارچ اندوفیت *M. bolleyi* بود. وزن خشک ریشه، وزن تر اندام هوایی، ارتفاع گیاه و کلروفیل برگ و درصد آلودگی ریشه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه، وزن تر اندام هوایی، ارتفاع گیاه و کلروفیل برگ به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) در تیمارهایی به دست آمد که حاوی اوره و سوپرفسفات تریپل در سطوح مختلف و قارچ اندوفیت *M. bolleyi* بودند. از نظر کنترل بیماری زایی، در تیمارهایی که به تنهایی از کود اوره و سوپرفسفات تریپل استفاده شد حدود ۴۶ درصد بیماری پاخوره گندم کاهش یافت. در تیمارهایی که از قارچ اندوفیت *M. bolleyi* به تنهایی استفاده شده بود، حدود ۵۸ درصد بیماری کنترل شد. در تیمارهایی که از قارچ اندوفیت و بیشترین سطح کود اوره و سوپرفسفات تریپل استفاده شد حدود ۷۵ درصد بیماری کنترل شد.

واژه‌های کلیدی: پاخوره غلات، مهار زیستی، میکرودوخیوم، گندم، کرمانشاه.

Interaction of biocontrol agent *Microdochium bolleyi* on take-all disease (*Gaeumannomyces graminis*) in the soil treated with phosphorus and nitrogen fertilizers

Amirhosein Sharifi¹, Samad jamali^{2*} and Akram Fatemi³

1. MSc Student of Plant Pathology, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

2. Associate Prof. in Mycology, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

3. Assistant Prof. in Soil Science, Department of Soil Science, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

(Received: Apr ,12, 2022- Accepted: Oct ,03, 2022)

Abstract

Take-all is one of the most important wheat diseases worldwide. The present study assessed the effect of nitrogen and phosphorus fertilizers, and endophytic fungus *Microdochium bolleyi* on controlling this disease in wheat 'Pishgam' cultivar for the first time. A greenhouse experiment was conducted based on a completely randomized design (CRD) with the treatments of control, nitrogen+phosphorus fertilizers (100 and 200 mg kg⁻¹ urea, and 50 and 100 mg kg⁻¹ triple superphosphate) alone and their combination with pathogen *Gaeumannomyces graminis* and endophytic fungus *M. bolleyi*. Then, root dry and shoot fresh weights, plant height, and leaf chlorophyll content, as well as the percentage of root contamination were measured. Based on the results, root dry and shoot fresh weight, plant height, and leaf chlorophyll content were significantly maximized following the treatments containing urea and triple superphosphate at various levels, and endophytic fungus ($p < 0.05$). In terms of pathogenesis control, about 46% decrease was observed in take-all disease for the treatment receiving urea+triple superphosphate alone. The disease was respectively controlled by around 58 and 75% after applying endophytic fungus *M. bolleyi* alone and in combination with the highest amount of urea+triple superphosphate, respectively.

Key words: Take-all disease, Biocontrol, *Microdochium*, Wheat, Kermanshah.

مقدمه

گندم از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان زراعی جهان می‌باشد، به طوری که از سالیان بسیار دور جزء مهم‌ترین منابع غذایی بشر بوده است. بر اساس گزارش فائو در سال ۲۰۰۷ تولید جهانی گندم ۶۰۷ میلیون تن بوده که آن را به سومین غلات تولیدشده پس از ذرت و برنج تبدیل کرده است (Shahabivand et al. 2012). گندم مهم‌ترین غله از نظر سطح زیر کشت، تولید و مصرف در ایران است. محصول گندم در ایران با داشتن ۵۲/۲ درصد از سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، همواره در زمره کالاهای حساس زیر بخش کشاورزی ایران بوده است. به دلیل تولید فراوان و نقش اصلی گندم و محصولات آردی آن در جیره غذایی انسان و حیوان، در صورت آلودگی با بیمارگرها، صدمات زیادی به زنجیره غذایی انسان وارد می‌شود. تاکنون بیماری‌های زیادی از گندم گزارش شده است که بیماری پاخوره گندم (wheat take all) ناشی از *Gaeumannomyces graminis* یکی از بیماری‌های مهم گندم در سراسر جهان است. این گونه قارچی دارای چهار وارسته است. وارسته *G. graminis* var. *tritici* مخرب‌ترین وارسته از گونه *G. graminis* است که می‌تواند به گندم تریتیکاله و بقیه محصولات کشاورزی آسیب وارد کند. وارسته *G. graminis* (Ggg) باعث ایجاد علائم متعدد در گیاهان مختلف از جمله سیاه شدن ریشه برنج، سرخشیدگی علف برمودا، سیاه شدن ریشه در جو دوسر، چمن، چاودار، جو و گندم و سایر علفزارها می‌شود. این بیماری همچنین باعث کاهش رشد، زودرس شدن خوشه و خرد شدن دانه گندم می‌شود که باعث ضررهای مالی شدید ناشی از کاهش عملکرد و کیفیت می‌شود (Cook 2003).

استفاده از قارچ‌های اندوفیت از روش‌های مؤثر کنترل بیماری محسوب می‌شود. آنتوان دباری، گیاه‌شناس آلمانی، اصطلاح اندوفیت را برای اولین بار در سال ۱۸۸۶ برای توصیف میکروارگانسیم‌هایی که بافت‌های داخلی ساقه و برگ را تسخیر می‌کنند به کاربرد (Wilson 1995). از آن زمان به بعد این تعریف اصلاح شد و برای مشخص کردن عفونت‌های ایجاد شده توسط قارچ‌هایی که به صورت بدون علامت، ریشه‌ها، شاخه و برگ را تسخیر می‌کنند و ممکن است در سراسر چرخه زندگی خود اندوفیت باقی نمانند بکار رفت. با این تعریف گسترده، علاوه بر همزیستی دوطرفه و کامنسالیسم، اندوفیت‌ها می‌توانند بیمارگرهای نهفته و

پوده‌رست‌های نهفته و مراحل اولیه تسخیر توسط قارچ میکوریزا و ریزوبیوم را نیز شامل شوند (Porras-Alfaro and Bayman 2011). قارچ‌های میکوریزا از لحاظ فیلوژنتیکی از اکثر گروه‌های اندوفیتی متمایز هستند (Arnold and Lutzoni 2008; Porras-Alfaro et al. 2008) و امروزه از تعریف قارچ‌های اندوفیت خارج شده‌اند (Brundrett 2002). قارچ‌های اندوفیت اکثراً آنامورف هستند و می‌توانند در ریشه، ساقه و حتی برگ گیاه میزبان وجود داشته باشند. قارچ‌های اندوفیت به علت بدون علامت بودن و داشتن نقش همزیستی با گیاهان مهم هستند (Khan et al 2011). به نظر می‌رسد همه گیاهان در اکوسیستم‌های طبیعی با قارچ‌های اندوفیت‌های همزیستی دارند. اندوفیت‌ها علاوه بر تولید تنظیم‌کننده‌های رشد مانند جیبرلین و اکسین می‌توانند به گیاه میزبان برای مقابله با شرایط زیست‌محیطی دشوار کمک کنند. حضور قارچ‌های اندوفیت در گیاه مزایای زیادی برای گیاه میزبان به همراه دارد که از جمله باعث مقاومت به تنش‌های محیطی شامل سرما، تغییرات اسیدیته، خشکی و یون‌های سمی در خاک می‌شوند (Dehghanpour et al. 2006; Malinowski and Belesky 1999; Parsaeian et al. 2007). همچنین از طریق تولید آلکالوئیدها باعث ایجاد مقاومت گیاه به تنش‌های زیستی شامل بیماری‌های ویروسی، باکتریایی و حشرات می‌گردند (Sabzaljan et al. 2004). قارچ *M. bolleyi* (syn.: *Idriella bolleyi*) معمولاً به صورت اندوفیتی داخل ریشه گیاهان به‌ویژه گراس‌ها رشد می‌کند (Mandyam et al. 2010). این قارچ به علت دیواره‌های سلولی ملانیزه و رشد بین سلولی و داخل سلولی در ریشه‌های گیاهان سالم به‌عنوان اندوفیت‌های ریشه سیاه (DSE) معرفی شده است (Jumpponen and Trappe 1998). در محیط کشت، *M. bolleyi* کنیدیوم‌های تک‌سلولی و هلالی شکل تولید می‌کند (David et al. 2016). هیف‌های آن قهوه‌ای تیره می‌باشد و ممکن است حاوی رنگ‌دانه‌های نارنجی نیز باشد (De Hoog et al. 1977). این گونه اغلب با گراس‌ها مرتبط است (David et al. 2016) و به‌طور مرتب از ریشه جو (*Hordeum vulgare*)، جو دو سر (*Avena sativa*) و چمن مراتع جداسازی و گزارش شده است (Gadd 1981). تاکنون روش‌های مختلفی برای مدیریت بیماری پاخوره گندم توصیه شده است که استفاده از عناصر تغذیه‌ای تا حدودی موفقیت‌آمیز بوده است. در تعدادی از مطالعات مشخص شده که استفاده از کود فسفره شدت بیماری

حاوی عصاره سیبزمینی دکستروز آگار در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند (Tsao 1970).

تهیه اینوکولوم قارچ‌های بیمارگر و اندوفیت

برای تهیه اینوکولوم بیمارگر، بذور گندم پس از شستشو به مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده شدند و سپس طی سه نوبت بافاصله زمانی ۲۴ ساعت در فشار ۱۵ پوند بر اینچ مربع و دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه سترون شدند. سپس از پرگنه‌های در حال رشد فعال قارچ پنج بلوک برداشته و داخل هر یک از ارلن‌ها قرار داده شد. ارلن‌ها به مدت چهار هفته درون انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا تمام سطح بذور با قارچ پوشانده شود. تهیه اینوکولوم قارچ اندوفیت نیز به روش مشابه و با استفاده از بذور گندم سترون انجام شد.

تهیه مقادیر مختلف کودی

در این تحقیق از چهار سطح کودی استفاده شد. تیمار $T1U_1$ دارای پایین‌ترین سطح کودی و مقدار ۰/۱ گرم کود اوره و ۰/۰۵ گرم کود سوپرفسفات تریپل بود. در تیمار $T1U_2$ مقدار کود اوره با سوپرفسفات تریپل برابر و هر دو کود به مقدار ۰/۱ گرم مورد استفاده قرار گرفت. در تیمار $T2U_1$ نسبت اوره به سوپرفسفات تریپل چهار برابر بود (۰/۲ گرم اوره، ۰/۰۵ گرم سوپرفسفات تریپل). در تیمار $T2U_2$ میزان کود اوره دو برابر کود سوپرفسفات تریپل بود (۰/۲ گرم اوره، ۰/۱ گرم سوپرفسفات تریپل). مقادیر کودی ذکر شده ابتدا در یک لیتر آب حل شدند. کود اوره به راحتی در آب حل شد اما برای حل کردن کود سوپرفسفات تریپل بطری‌ها را حدود ۲۴ ساعت روی شیکر قرار داده تا به صورت کامل حل شوند.

آزمایشات گلخانه‌ای

به منظور بررسی اثر مهارکنندگی قارچ اندوفیت *M. bolleyi* و کودهای ازته و سوپرفسفات تریپل و اثر متقابل آن‌ها بر بیماری پاخوره گندم، آزمایشی در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل شاهد (بدون کاربرد کودهای شیمیایی و قارچ بیمارگر و اندوفیت)، قارچ بیمارگر به تنهایی (G)، قارچ اندوفیت به تنهایی (MW)، کاربرد توأم (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کود اوره و ۵۰ میلی‌گرم کود

پاخوره را به صورت قابل توجهی کاهش می‌دهد (Brennan 1992). اسیدپته یکی از عوامل مؤثر در شدت پاخوره می‌باشد، بطوریکه هر چه مقدار اسیدپته کاهش یابد مقدار و شدت بیماری پاخوره نیز کمتر می‌شود (Datnoff et al. 2007). کاربرد نیتروژن آمونیومی در خاک به دلیل کاهش اسیدپته فراریشه باعث کاهش بیماری پاخوره در گیاه گندم می‌شود، اما نیتروژن نیتراتی به دلیل افزایش اسیدپته فراریشه باعث شدت بیماری می‌شود (Datnoff et al. 2007). علاوه بر مدیریت تغذیه‌ای بیماری پاخوره، استفاده از عوامل کنترل بیولوژیک از جمله قارچ‌ها نیز در مهار زیستی پاخوره گندم مؤثر بوده است. گونه *M. bolleyi* از جمله قارچ‌های اندوفیت مناسب علیه بیماری پاخوره گندم می‌باشد (Shadmani et al. 2018) که تا کنون اثر متقابل آن همراه با کودهای نیتروژنه و فسفره صورت نگرفته است و بنابراین اهداف پژوهش حاضر استفاده از کودهای مرسوم نیتروژنه و سوپرفسفات تریپل به مقادیر مختلف در کشاورزی و تلفیق آن با گونه قارچی *M. bolleyi* و اثر و برهمکنش آنها در مهار بیماری پاخوره برای اولین بار بود.

مواد و روش‌ها

تهیه و تعیین ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی خاک

خاک مورد استفاده در این پژوهش از مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی تهیه شد. پس از خشک شدن در مجاورت هوا و عبور از الک ۲ میلی‌متری خصوصیات فیزیکیوشیمیایی آن از جمله بافت خاک، اسیدپته، رسانایی الکتریکی عصاره اشباع، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی خاک، نیتروژن کل، پتاسیم و کلسیم خاک اندازه‌گیری شد (Sparks, 1996).

تهیه جدایه بیمارگر و قارچ اندوفیت

جدایه بیمارگر مورد استفاده در این پژوهش با کد G64 از کلکسیون قارچ‌های بیمارگر گیاهی آزمایشگاه قارچ‌شناسی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه رازی تهیه شد که بیماری‌زایی آن از قبل روی گندم به اثبات رسیده بود. قارچ اندوفیت *bolleyi* *Microdochium* نیز با کد W2 و رأس شماره KX343031 که از ریشه جو جداسازی شده بود (Shadmani et al. 2018)، از کلکسیون قارچ‌های گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه رازی تهیه شد. تا زمان استفاده، قارچ‌ها در لوله‌های آزمایش

گیاه شامل درصد آلودگی، وزن خشک ریشه، وزن تر گیاه، ارتفاع، مقدار کلروفیل موجود در برگ بود. برای اندازه‌گیری کلروفیل برگ از دستگاه کلروفیل سنج استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به وسیله نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. ابتدا توزیع نرمال داده‌ها بررسی شد. برای داده‌هایی که توزیع نرمال داشتند برای تجزیه واریانس از آزمون one-way ANOVA استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. برای داده‌هایی که توزیع نرمال نداشتند ابتدا از روش‌های مختلف تبدیل داده استفاده شد. همچنین نرمال‌سازی داده‌ها به روش Johnson's با نرم‌افزار Minitab هم بررسی شد. داده‌هایی که توزیع نرمال نداشتند با آزمون کروسکال والیس تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج

خاک مورد استفاده در این پژوهش دارای رس به مقدار ۴۵/۲ درصد، سیلت ۴۱/۴ درصد، شن ۱۳/۴ و از نظر بافت سنگین و لوم سیلتی بود. پ‌هاش خاک مورد استفاده ۷/۱۹ که خنثی و به مقدار کم قلیایی بود. بافت خاک مورد آزمایش بوده و به لحاظ بالا بودن مقدار بقایای گیاهی سال قبل درصد کربن آلی و نیتروژن کل آن بالا بود. مقدار ماده آلی خاک ۱/۵ درصد بود که به علت بالا بودن میزان بقایای گیاهی سال قبل میزان ماده آلی خاک بالا بود. میزان EC خاک ۰/۹ بود که از این نظر جزء خاک‌های غیر شور تقسیم‌بندی می‌شود. میزان آهک خاک نیز ۲۶/۲ بود؛ بنابراین خاک مورد آزمایش خنثی تا قلیایی، غیر شور و آهکی بود که با خاک سایر مناطق زیر کشت گندم در استان کرمانشاه مشابهت داشت. سایر خصوصیات خاک مورد مطالعه در جدول یک ذکر شده است.

سوپرفسفات تریپل (T1U₁)، کاربرد توأم ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از هر دو کود اوره و سوپرفسفات تریپل (T1U₂)، کاربرد توأم ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کود اوره و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل (T2U₁) و کاربرد توأم ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اوره و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سوپرفسفات تریپل (T2U₂) بود. برای کشت گندم، بذر گندم (رقم پیشگام) به مدت ۲ دقیقه در هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد ضد عفونی سطحی شده و سپس سه بار با آب مقطر سترون شستشو داده شدند. برای کاشت بذور در گلخانه، از گلدان‌های پلاستیکی به گنجایش دو کیلوگرم خاک، به قطر ۱۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر تهیه شدند. قبل از پر کردن گلدان‌ها با خاک، ابتدا خاک‌های اتوکلاو شده با سطوح مختلف کودی اسپری شدند. پس از اینکه خاک به صورت کامل با کودها خیس شد، مقدار یک کیلوگرم داخل گلدان‌ها ریخته شد. سپس ۵ گرم مایه بیمارگر در سطح خاک قرار داده شده و ۱۰ گرم خاک روی آن ریخته شد. در تیمارهای حاوی قارچ بیمارگر و قارچ اندوفیت، روی این خاک ۵ گرم مایه قارچ اندوفیت و حدود ۲۰ گرم خاک قرار گرفت. داخل هر گلدان تعداد ۱۰ بذر جوانه زده گندم کاشته شد. تمام گیاهان به صورت هفتگی تا ظهور اولین علائم بررسی شدند. به طور کلی بین ۵-۸ هفته طول کشید تا علائم بیماری بروز کند.

اندازه‌گیری پارامترهای رشدی گیاه و تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از بروز علائم بیماری، گیاهچه‌ها از گلدان‌ها خارج و ریشه گیاهان زیر آب روان برای حذف کامل خاک شسته شدند. پارامترهایی اندازه‌گیری شده برای بررسی تأثیر قارچ اندوفیت و کودهای ازته و سوپرفسفات بر کنترل بیماری

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Physico-chemical parameters of the studied soil

Soil parameters	Unit	Value
Sand	%	13.4
Clay	%	45.2
Silt	%	41.4
Electrical Conductivity	ds/m	0.9
P (Available)	mg/kg	16.2
N	mg/kg	523.7
K	-	653.4
pH	-	7.11
Organic matter	%	1.5
CaCO ₃	%	26.2
Mn	mg/kg	33.2
Cu	mg/kg	1.9
Fe	mg/kg	4.6
Zn	mg/kg	1.6

درصد آلودگی قارچ بیمارگر

در تیمارهای حاوی قارچ بیمارگر *G. graminis* نسبت به شاهد بدون بیمارگر، ریشه گندم رشد کمتری داشت. ریشه‌ها دچار تیرگی و پوسیدگی بوده تراکم و تعداد ریشه‌ها کمتر بود. رشد ریشه در تیمارهای دارای قارچ بیمارگر ۴۵ درصد کاهش یافته بود. در تیمارهایی که از قارچ اندوفیت *M. bolleyi* به تنهایی استفاده شده بود، حدود ۵۸ درصد بیماری کنترل شد. در تیمارهایی که از قارچ اندوفیت و بیشترین سطح کود اوره و سوپرفسفات تریپل استفاده شد حدود ۷۵ درصد بیماری کنترل شد. نتیجه آزمون کروسکال والیس برای بررسی میزان آلودگی طوقه نشان داد که اختلاف معناداری بین مقدار آلودگی در تیمارهایی که آلودگی دیده شده وجود نداشت.

مقدار کلروفیل

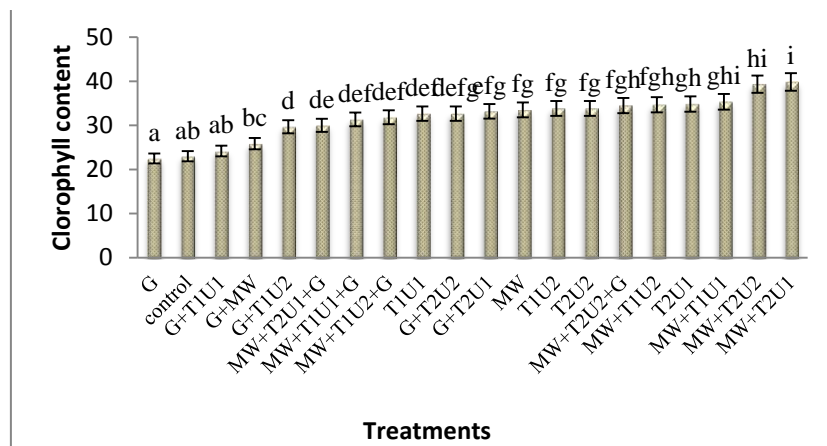
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقدار کلروفیل در تیمارهای مورد آزمایش دارای اختلاف معنی دار می‌باشد ($P < 0.05$). به طور کلی، مقدار کلروفیل در تیمارهای دارای بیمارگر (G) نسبت به شاهد و تیمارهای دارای قارچ اندوفیت و سطوح مختلف کودی بدون بیمارگر، مقدار کلروفیل نسبت به سایر تیمارهای دارای بیمارگر کمتر بود. کمترین مقدار کلروفیل مربوط به تیمار گیاه دارای بیمارگر بود. بیشترین

مقدار کلروفیل در تیمارهای بود که در آن‌ها کود اوره (۲۰۰ میلی گرم) به میزان چهار برابر کود سوپرفسفات تریپل (۵۰ میلی گرم) به همراه قارچ اندوفیت استفاده شده بود (تیمار MW+T2U1). از نظر آماری بین این دو تیمار اختلاف معنی داری وجود نداشت. همچنین در تمام تیمارهایی که از کودهای اوره و سوپرفسفات تریپل استفاده شده بود، حتی در تیمارهای حاوی قارچ بیمارگر، مقدار کلروفیل به طور معنی داری افزایش یافت (شکل ۱).

وزن خشک ریشه

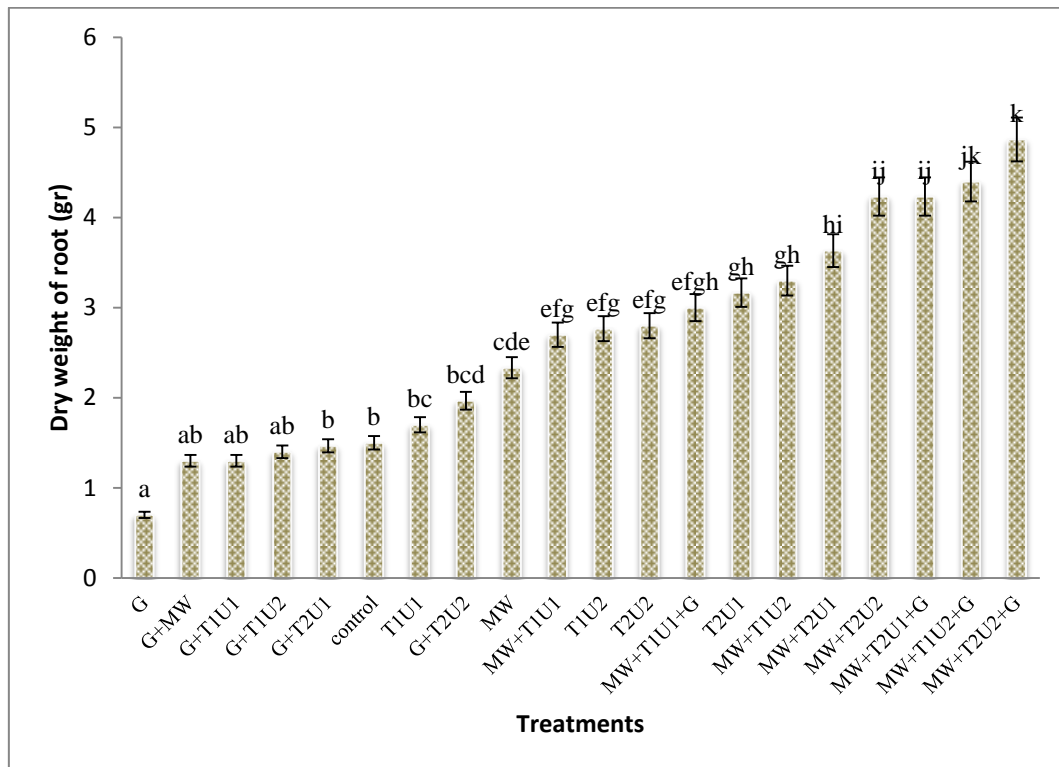
نتایج آنالیز آماری داده‌های به دست آمده از مقدار وزن خشک ریشه نشان داد که وزن خشک گیاه در تیمارهایی که تنها دارای بیمارگر (G) بودند نسبت به تیمار شاهد دارای اختلاف معنادار هستند (شکل ۲). میزان وزن خشک ریشه در تیمارهای دارای سطوح کودی بالا و قارچ اندوفیت نسبت به سایر تیمارها از وزن خشک بالاتری برخوردار بودند (شکل ۲). در تیمارهای دارای

بیمارگر و سطوح پایین کودی، وزن خشک ریشه گیاهان کمتر بود. در این بررسی بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمارهایی بود که دارای قارچ اندوفیت و کود اوره به مقدار ۲۰۰ میلی گرم و سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۰۰ میلی گرم (T2U2) به همراه قارچ بیمارگر بود (MW+T2U2+G).



شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف کودهای اوره (U) و سوپرفسفات تریپل (T) (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اوره و ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم سوپرفسفات تریپل) به تنهایی و به همراه قارچ اندوفیت *M. bolleyi* بر مقدار کلروفیل گندم (رقم پیشگام). در تمام تیمارها علامت G بیمارگر *G. graminis*، MW قارچ اندوفیت *M. bolleyi* و TU سطوح مختلف کودی می‌باشد. حروف مشابه بین تیمارها نشانه عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ یا ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

Fig. 1. Effect of different levels of urea (U) and triple superphosphate (T) fertilizers (100 and 200 mg kg⁻¹ urea, and 50 and 100 mg kg⁻¹ triple superphosphate) alone and together with endophytic fungi *M. bolleyi* on chlorophyll content of wheat (cv. Pishgam). In all treatments, G: *G. graminis*, MW: *M. bolleyi* and TU is different levels of fertilizer. Similar letters between treatments indicate no significant difference at the 5% or 1% probability level based on Duncan's test.



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف کودهای اوره (U) و سوپرفسفات تریپل (T) (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اوره و ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سوپرفسفات تریپل) به تنهایی و به همراه قارچ اندوفیت *M. bolleyi* بر میزان وزن خشک گندم (رقم پیشگام). در تمام تیمارها علامت G بیمارگر *G. graminis*، MW: *M. bolleyi* قارچ اندوفیت *M. bolleyi* و TU سطوح مختلف کودی می‌باشد. حروف مشابه بین تیمارها نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ یا ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

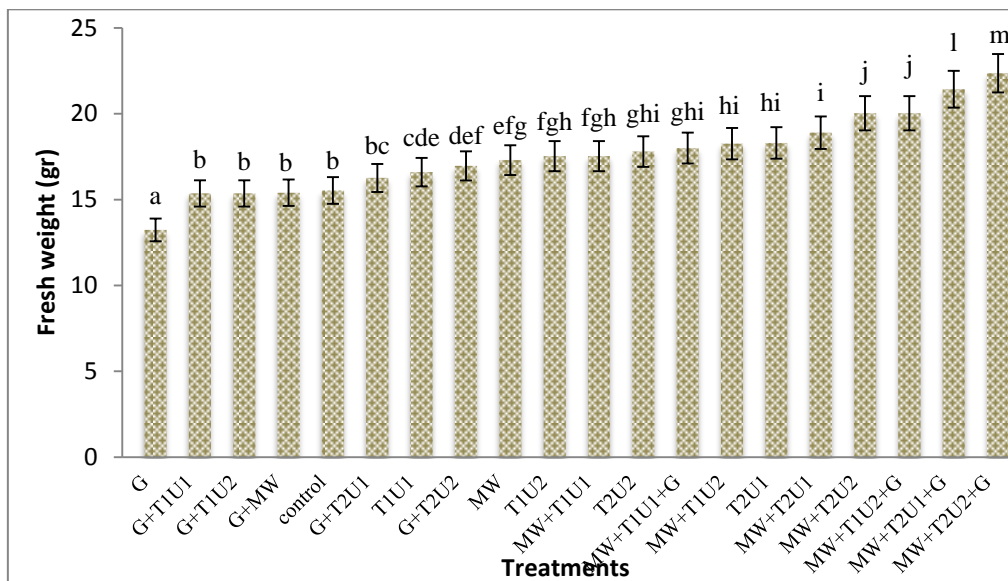
Fig. 2. The effect of different levels of urea (U) and triple superphosphate (T) fertilizers (100 and 200 mg kg⁻¹ urea, and 50 and 100 mg kg⁻¹ triple superphosphate) alone and together with *M. bolleyi* on the dry weight of wheat (cv. Pishgam). In all treatments, G: *G. graminis*, MW: *M. bolleyi* and TU is different levels of fertilizer. Similar letters between treatments indicate no significant difference at the 5% or 1% probability level based on Duncan's test.

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع گیاه بین تیمارهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری نشان داد. کمترین ارتفاع در تیمارهای شاهد و دارای قارچ بیمارگر به همراه کمترین سطح کودی (۱۰۰ میلی‌گرم کود اوره و ۵۰ میلی‌گرم کود سوپرفسفات تریپل) دیده شد. بین این دو تیمار با تیمار حاوی قارچ بیمارگر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمارهایی بود که دارای قارچ اندوفیت و کود اوره به مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم و سوپرفسفات تریپل به مقدار ۵۰ میلی‌گرم (T2U1) و کود اوره به مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم و سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم (T2U2) به همراه قارچ بیمارگر بود (شکل ۴).

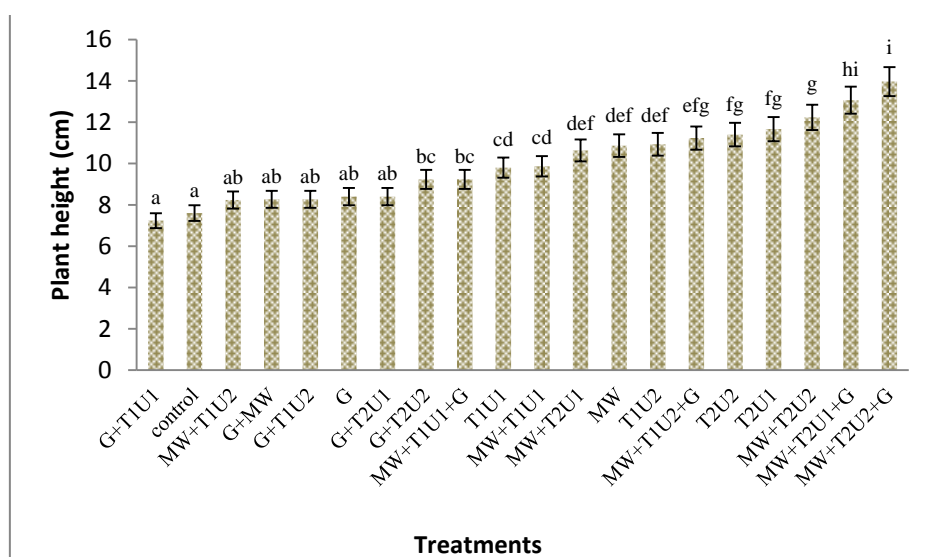
وزن تر اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن تر گیاه بین تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود. کمترین وزن تر اندام هوایی در تیمار آلوده به بیمارگر بدون قارچ اندوفیت دیده شد. وزن تر اندام هوایی در تیمارهای کودی با و بدون قارچ بیمارگر به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار حاوی قارچ بیمارگر افزایش یافت. همچنین افزودن قارچ اندوفیت سبب شد که وزن تر گیاه به طور معنی‌داری افزایش یابد. بیشترین وزن تر مربوط به تیمارهایی بود که دارای قارچ اندوفیت و کود اوره به مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم و سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم (T2U2) به همراه تیمار قارچ بیمارگر بود (شکل ۳).



شکل ۳. تأثیر سطوح مختلف کودهای اوره (U) و سوپرفسفات تریپل (T) (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اوره و ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سوپرفسفات تریپل) به تنهایی و به همراه قارچ اندوفیت *M. bolleyi* بر میزان وزن تر گندم (رقم پیشگام). در تمام تیمارها علامت G بیمارگر *G. graminis*، قارچ اندوفیت *M. bolleyi* و MW، سطوح مختلف کودی می‌باشد. حروف مشابه بین تیمارها نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ یا ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

Fig. 3. Effect of different levels of urea (U) and triple superphosphate (T) fertilizers (100 and 200 mg kg⁻¹ urea, and 50 and 100 mg kg⁻¹ triple superphosphate) alone and together with *M. bolleyi* on the fresh weight of wheat (cv. Pishgam). In all treatments, G: *G. graminis*, MW: *M. bolleyi* and TU is different levels of fertilizer. Similar letters between treatments indicate no significant difference at the 5% or 1% probability level based on Duncan's test.



شکل ۴. تأثیر سطوح مختلف کودهای اوره (U) و سوپرفسفات تریپل (T) (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اوره و ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سوپرفسفات تریپل) به تنهایی و به همراه قارچ اندوفیت *M. bolleyi* بر میزان ارتفاع گندم (رقم پیشگام). در تمام تیمارها علامت G بیمارگر *G. graminis*، قارچ اندوفیت *M. bolleyi* و MW، سطوح مختلف کودی می‌باشد. حروف مشابه بین تیمارها نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

Fig. 4. Effect of different levels of urea (U) and triple superphosphate (T) fertilizers (100 and 200 mg kg⁻¹ urea, and 50 and 100 mg kg⁻¹ triple superphosphate) alone and together with *M. bolleyi* on wheat height (cv. Pishgam). In all treatments, G: *G. graminis*, MW: *M. bolleyi* and TU is different levels of fertilizer. Similar letters between treatments indicate no significant difference at the 5% or 1% probability level based on Duncan's test.

بحث

در این تحقیق تأثیر سطوح مختلف کودی به همراه قارچ اندوفیت *M. bolleyi* بر فاکتورهای رشدی گیاه گندم و تأثیر آن‌ها بر عامل بیماری پاخوره گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. در اکثر تیمارهای مورد استفاده مشخص شد که کودها قادر به افزایش پارامترهای رشدی، افزایش مقدار کلروفیل گیاه و مهار بیماری پاخوره گندم به مقدار ۵۰ درصد هستند. کودها جزء مهم‌ترین عوامل مؤثر در کنترل بیماری می‌باشند. در تحقیقات مختلف مشخص شده عناصر غذایی مهم مانند اوره و فسفات نقش مؤثری در کنترل بیماری‌های قارچی دارند. طبق تحقیقات ژانگ و همکاران کودهای آلی باعث کاهش بیماری پژمردگی فوزاریومی خیار به مقدار ۵۱ درصد گردیده‌اند (Zhang et al. 2008). طبق تحقیقات موسی و همکاران هر چه مقدار استفاده کود سوپر فسفات تریپل بیشتر باشد، مقاومت گیاه باقلا در برابر بیمارگر ریزوکتونیا افزایش می‌یابد (Mousa and El-Sayed 2016). در تحقیق دیگری استفاده هم‌زمان از نیتروژن و فسفر باعث کاهش شدت پوسیدگی ناشی از *Rhizoctonia solani* و *Fusarium oxysporum* در مزرعه نخود گردیده است (Srihuttagam and Sivasithamparam 1991). در این تحقیق در تیمارهایی که از سطوح بالای کودی اوره و سوپرفسفات تریپل استفاده شد، شدت بیماری پاخوره گندم ناشی از *G. graminis* var. *tritici* کاهش یافت که با نتایج سایر محققین مطابقت داشت. کود سوپرفسفات تریپل و اوره باعث رشد بهتر گیاهان و فرار گیاه از مرحله حساس بیماری می‌گردد (Williams and David 1973). افزایش رشد گیاهان به دلیل تأثیر غذایی کودها و در نتیجه کاهش بیماری به واسطه رشد سریع‌تر، مقاوم شدن و فرار از بیماری می‌باشد (Mézière et al. 2013). طبق نتایج به دست آمده مهم‌ترین عنصر برای رشد گیاه و جلوگیری از افزایش بیماری، فسفر می‌باشد (McDowell et al. 2003). در تیمارهایی که از کود فسفر استفاده می‌شود، فسفر به تنهایی تا حدود زیادی می‌تواند از ایجاد بیماری جلوگیری نماید. کمبود همه عناصر غذایی

تأثیر به سزایی در تشدید بیماری پاخوره دارند (Huber 2002). همچنین گزارش‌هایی وجود دارد که استفاده از مقادیر زیاد برخی عناصر باعث تشدید بیماری پاخوره می‌شود، به‌طور مثال مقدار زیاد آهن و مس باعث افزایش بیماری پاخوره می‌شود.

با توجه به مصرف روزافزون استفاده از کودهای شیمیایی توسط کشاورزان و از طرفی تأثیر مخرب بعضی از کودها مانند کودهای نیتروژنه بر سلامت انسان، توجهات زیادی امروزه به استفاده از عوامل کنترل بیولوژیک برای مهار بیماری‌ها و افزایش رشد گیاهان معطوف شده است. عوامل کنترل بیولوژیک شامل برخی باکتری‌ها، قارچ‌ها و حتی نماتودها می‌باشند. قارچ‌های اندوفیت در زمره میکروارگانیزم‌هایی قرار می‌گیرند که امروزه نقش مهم آن‌ها در مهار بیماری‌های گیاهی، افزایش رشد گیاه، تولید متابولیت‌ها، مقاومت به فلزات سنگین، استفاده در زیست پالایی و تولید سایر فرآورده‌ها مانند آنتی‌بیوتیک‌ها و داروهای انسانی به اثبات رسیده است. اندوفیت، میکروارگانیزم‌هایی هستند که به داخل ریشه گیاهان نفوذ کرده و علاوه بر تقویت و گسترش ریشه، باعث ایجاد مقاومت در برابر پاتوژن‌های خاک‌زاد می‌شوند (Fakhro et al. 2010). قارچ اندوفیت *Trichoderma harzianum* از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر رقابت با قارچ بیمارگر بر سر فضا و مواد مغذی، ترشح آنزیم‌های کیتینولیتیک و تولید ترکیبات مهارکننده می‌تواند بیماری‌های خاک‌زاد را کنترل نماید (Wu et al. 2006). تحقیقات نشان داده است

که قارچ‌های اندوفیت *Sebacina vermifera*، *Trichoderma* و *Piriformospora indica* در اطراف *G. graminis* پیچیده شده، به هیف‌ها نفوذ می‌کنند و از فعالیت و رشد تدریجی میسلیم بیمارگر جلوگیری می‌کند. همچنین گونه *T. harzianum* و *S. vermifera* با نفوذ به ریشه گیاه باعث افزایش رشد گیاه و جلوگیری از تشدید بیماری پاخوره گندم می‌شود (Durán et al. 2018). گزارش‌هایی از کاهش شدت بیماری ناشی از *Verticillium dahliae* توسط قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* در

می‌یابد و همان اثرات محافظتی زمانی که عصاره‌های کشت قارچی به تنهایی در گیاهان به کار گرفته شدند، مشاهده شده است (Istifadah and MacGee 2006). هنگامی که مخلوطی از شش گونه اندوفیتی، برای مایه‌زنی برگ‌های نهال‌های عاری از اندوفیت گیاه کاکائو استفاده شده، شدت بیماری ناشی از *Phytophthora sp.* به‌طور قابل‌توجهی در برگ‌های مایه‌زنی شده با اندوفیت کاهش یافته است. مکانیزم القاء مقاومت گیاه به نظر نمی‌رسد نقش داشته باشد، به این دلیل که شدت بیماری بین برگ‌های مایه‌زنی شده با اندوفیت و مایه‌زنی نشده از همان گیاه متفاوت بودند. در این مورد محافظت در برابر یک بیمارگر می‌تواند در نتیجه رقابت مستقیم بین اندوفیت‌های موجود در برگ‌ها و بیمارگرها باشد (Arnold et al. 2007). گیاهان جو مایه‌زنی شده با گونه اندوفیت *Piriformospora indica* Sav. مقاومت به عوامل بیماریزای آوندی *Fusarium culmorum* و برگری *Blumeria graminis* در گرمینه‌ها، علاوه بر افزایش در عملکرد و تحمل به تنش شوری را نشان داده‌اند (Frank et al. 2005). برخی اندوفیت‌ها ممکن است پارازیت قارچی باشند. گونه *Acremonium strictum* W. Gams یک اندوفیت است که به فراوانی از *Dactylis glomerata* L. و دیگر گراس‌ها جدا شده است (Sánchez Márquez et al. 2007). اخیراً نشان داده شده که این قارچ پارازیت قارچی بیمارگر سیب‌زمینی، است (Rivera Varas et al. 2007). کاربردهای مشابه از دیگر گونه‌های اندوفیت‌ها ممکن است در آینده دیده شود. مطالعات فوق نشان می‌دهد که نتیجه حملات برخی بیمارگرها ممکن است به جمعیت قارچ‌های اندوفیت مربوط به گیاه میزبان وابسته باشد (Zabalgoeazcoa 2008). اندوفیت‌های ریزوسفر می‌توانند عامل کنترل‌زیستی کارآمد بیمارگرهای ریشه در مقایسه با دیگر موجودات زنده باشند که قادر به وارد شدن به کورتکس ریشه هستند و در معرض همکنش‌های رقابتی با دیگر میکروارگانیسم‌های خاک قرار می‌گیرند (Tjamos et

al. 2002). گوجه‌فرنگی نیز وجود دارد که باعث افزایش مقدار زیست‌توده گیاه به مقدار ۲۰ درصد نیز شده است (Kazuhiko et al. 2002).

جنس *Microdochium* در حال حاضر شامل حدود بیست گونه است (Seifert et al. 2011)، اما تنها تعداد کمی از آن‌ها به‌خوبی شناخته شده‌اند و در کشت خالص مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. فرم جنسی گونه‌های میکرودوخیوم در *Monographella* از خانواده *Amphisphaeriaceae* و راسته *Xylariales* قرار دارند (Jaklitsch and Voglmayr 2012). گونه‌های میکرودوخیوم به دفعات زیادی به‌عنوان اندوفیت از ریشه گراس‌ها جداسازی شده‌اند (Shadmani et al. 2021a; Shadmani, et al. 2018, 2021b). بسیاری از قارچ‌های اندوفیت قادر به تسخیر داخل سلولی و بین سلولی سلول‌های اپیدرمی و کورتکس خارجی ریشه‌های سالم هستند (Bazin et al. 1990). شواهد قابل‌توجهی وجود دارد که اندوفیت‌های ریشه نسبت به محدوده میزبان و محیط‌زیست ترجیحاتی دارند (Snoeijers et al. 2000). حضور محلی یا ناحیه‌ای آن‌ها می‌تواند به متغیرهای محیطی مانند نوع خاک و عوامل زنده مانند فنولوژی میزبان مرتبط باشد (Maciá-Vicente Macia-Vicente et al. 2012). بسیاری از گونه‌های اندوفیتی مواد آنتی‌بیوتیک تولید می‌کنند (Strobel et al. 2004). عصاره کشت قارچ‌های اندوفیت مانع رشد چندین گونه از قارچ‌های بیمارگر گیاهی شده‌اند. اگر یک چنین ترکیباتی توسط اندوفیت‌ها در گیاهان نیز تولید شوند می‌توانند یک مکانیزم دفاعی در برابر بیمارگرهای قارچی تشکیل دهند. آزمایش‌هایی که در آن پس از مایه‌زنی گیاهان با اندوفیت‌ها و همچنین پس از کاربرد عصاره‌های کشت اندوفیت‌ها، از گیاه در برابر بیمارگرهای قارچی حفاظت شده، نشان می‌دهد که اندوفیت ممکن است یک ترکیب ضد قارچی یا یک ماده‌ای که مکانیزم‌های دفاعی در گیاه را القاء می‌کند، تولید کند. این امر در مورد *Chaetomium* و *Phoma*، اندوفیت‌های گندم وجود دارد، زمانی که این قارچ‌ها در ابتدا به گیاهان مایه‌زنی می‌شوند، شدت بیماری برگی ناشی از *Puccinia* و *Pyrenophora spp.* کاهش

کاهش بیماری شده‌اند (Macia-Vicente *et al.* 2008). در این بررسی برای اولین بار کارآمدی گونه اندوفیت *M. bolleyi* همراه با کودهای اوره و سوپرفسفات تریپل علیه عامل بیماری پاخوره استفاده شد که طبق نتایج به دست آمده بهترین تیمار برای مقابله با بیماری پاخوره تیمارهایی بودند که دارای قارچ اندوفیت و سطوح بالای کودی می‌باشند.

چندین گونه قارچ اندوفیت دارای فعالیت همستیزی علیه *G. graminis* var. *tritici* تاکنون گزارش شده‌اند. گونه‌های *Acremonium blochii*، *Aspergillus fumigatus*، *Acremonium furcatum*، *Gibberella*، *Dactylaria* sp.، *Cylindrocarpon* sp.، *Ilyonectria intricans*، *Fusarium equiseti*، *Phoma*، *Cylindrocarpon destructans*، *radicicola* و *P. leveillei* و *herbarum* تسخیر ریشه‌های جو توسط *G. graminis* var. *tritici* را کاهش داده و منجر به

REFERENCES

- Arnold AE, Lutzoni F** (2007) Diversity and host range of foliar fungal endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots? *Ecology* 88:541-549.
- Bazin M, Markham P, Scott E, Lynch J** (1990) Population dynamics and rhizosphere interactions. *The rhizosphere*: 99-127.
- Brennan RF** (1992) Effect of superphosphate and nitrogen on yield and take-all of wheat. *Fertilizer Research* 31: 43-49.
- Brundrett MC** (2002) Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist* 154: 275-304.
- Cook RJ** (2003) Take-all of wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 62:73-86.
- Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM** (2007) Mineral nutrition and plant disease. USA: American Phytopathological Society (APS Press)- APS Press-The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA 278 pp. ISBN 978-0-89054-346-7.
- David AS, Haridas S, LaButti K, Lim J, Lipzen A, Wang M, Barry K, Grigoriev IV, Spatafora JW, May G** (2016) Draft genome sequence of *Microdochium bolleyi*, a dark septate fungal endophyte of beach grass. *Genome Announcements* 4:e00270-00216.
- De Hoog, Sijbrand G, Hermanides-Nijhof EJ** (1977) The black yeasts and allied Hyphomycetes. *Studies in mycology* 15.
- Dehghanpour FS, Sharif NB, Mirlouhi A** (2006) Application of 5.8 S gene and ITS, PCR-RFLP patterns in taxonomy of *Neotyphodium* endophytic fungi. *Rostaniha* 7(1): 1-16.
- Durán P, Viscardi S, Acuña JJ, Cornejo P, Azcón R, Mora MdLL** (2018) Endophytic selenobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus for *Selenium biofortification* and *Gaeumannomyces graminis* biocontrol. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 18:1021-1035.
- Fakhro A, et al.** (2010) Impact of *Piriformospora indica* on tomato growth and on interaction with fungal and viral pathogens. *Mycorrhiza* 20(3): 191-200.
- Gadd G** (1981) Preliminary studies on *Microdochium bolleyi* with special reference to colonization of barley. *Transactions of the British mycological Society* 76:397-403.
- Huber DM** (2002) Relationship between mineral nutrition of plants and disease incidence, Workshop-Relação entre nutrição de plantas e incidência de doenças. Piracicaba, Potafos, Anais e Vídeo, vídeo.
- Istifadah N, McGee PA** (2006) Endophytic *Chaetomium globosum* reduces development of tan spot in wheat caused by *Pyrenophora tritici-repentis*. *Australasian Plant Pathology* 35(4): 411-418.
- Jaklitsch WM, Voglmayr H** (2012) Phylogenetic relationships of five genera of Xylariales and Rosasphaeria gen. nov. (Hypocreales). *Fungal Diversity* 52(1): 75-98.
- Jumpponen A, Trappe JM** (1998) Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New Phytologist* 140:295-310.
- Khan AL, Hamayun M, Ahmad N, Waqas M, Kang SM, Kim YH, Lee IJ** (2011) Exophiala sp. LHL08 reprograms *Cucumis sativus* to higher growth under abiotic stresses. *Physiologia Plantarum* 143:329-343.
- Maciá-Vicente JG, Jansson HB, Abdullah SK, Descals E, Salinas J, Lopez-Llorca LV** (2008) Fungal root endophytes from natural vegetation in Mediterranean environments with special reference to *Fusarium* spp. *FEMS Microbiology Ecology* 64:90-105.
- Macia-Vicente JG, Ferraro V, Burruano S, Lopez-Llorca LV** (2012) Fungal assemblages associated with roots of halophytic and non-halophytic plant species vary differentially along a salinity gradient. *Microbial Ecology* 64:668-679.
- Malinowski DP, Belesky DP** (1999) Tall fescue aluminum tolerance is affected by *Neotyphodium coenophialum* endophyte. *Journal of Plant Nutrition* 22:1335-1349.
- Mandyam K, Loughin T, Jumpponen A** (2010) Isolation and morphological and metabolic characterization of common endophytes in annually burned tallgrass prairie. *Mycologia* 102: 813-821.
- McDowell RW, Monaghan RM, Carey PL** (2003) Potential phosphorus losses in overland flow from pastoral soils receiving long-term applications of either superphosphate or reactive phosphate rock. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 46(4): 329-337.

- Mézière D, Lucas P, Granger S, Colbach N** (2013) Does Integrated Weed Management affect the risk of crop diseases? A simulation case study with blackgrass weed and take-all disease. *European Journal of Agronomy* 47: 33-43.
- Mousa AM, El-Sayed SA** (2016) Effect of intercropping and phosphorus fertilizer treatments on incidence of *Rhizoctonia* root-rot disease of faba bean. *International Journal Curr Microbiological Applied Science* 5:850-863.
- Kazuhiko N, et al.** (2002) Suppression of Verticillium wilt in eggplant by some fungal root endophytes." *European Journal of Plant Pathology* 108(2): 103-109.
- Parsaeian M, Mirlohi A, Rezaie A, Nekoie MK** (2007) The effect of endophytic fungi on physiological characteristics and cold tolerance of two species of Meadow Fescue and Tall Fescue. *JWSS-Isfahan University of Technology* 10:197-212.
- Porrás-Alfaro A, Bayman P** (2011) Hidden fungi, emergent properties: endophytes and microbiomes. *Annual Review of Phytopathology* 49:291-315.
- Porrás-Alfaro A, Herrera J, Sinsabaugh RL, Odenbach KJ, Lowrey T, Natvig DO** (2008) Novel root fungal consortium associated with a dominant desert grass. *Applied and Environmental Microbiology* 74:2805-2813.
- Rivera-Varas V, et al.** (2007) Mycoparasitism of *Helminthosporium solani* by *Acremonium strictum*." *Phytopathology* 97(10): 1331-1337.
- Sabzalian MR, Hatami B, Mirlohi A** (2004) Mealybug, *Phenacoccus solani*, and barley aphid, *Sipha maydis*, response to endophyte-infected tall and meadow fescues. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 113:205-209.
- Sánchez Márquez M, Gerald F, Zabalgozcoa I** (2007) The endophytic mycobiota of the grass *Dactylis glomerata*.
- Seifert K, Morgan-Jones G, Gams W, Kendrick B** (2011) The genera of Hyphomycetes. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre Utrecht.
- Shadmani L, Jamali S, Fatemi A** (2018) Biocontrol activity of endophytic fungus of barley, *Microdochium bolleyi*, against *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Mycologia Iranica* 5:7-14.
- Shadmani L, Jamali S, Fatemi A** (2021a) Effects of root endophytic fungus, *Microdochium bolleyi* on cadmium uptake, translocation and tolerance by *Hordeum vulgare* L. *Biologia* 76:711-719.
- Shadmani L, Jamali S, Fatemi A** (2021b) Isolation, identification, and characterization of cadmium-tolerant endophytic fungi isolated from barley (*Hordeum vulgare* L.) roots and their role in enhancing phytoremediation. *Brazilian Journal of Microbiology* 52(3): 1-10.
- Shahabivand S, Maivan HZ, Goltapeh EM, Sharifi M, Aliloo AA** (2012) The effects of root endophyte and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and cadmium accumulation in wheat under cadmium toxicity. *Plant Physiology and Biochemistry* 60:53-58.
- Snoeijers SS, Pérez-García A, Joosten MH, De Wit PJ** (2000) The effect of nitrogen on disease development and gene expression in bacterial and fungal plant pathogens. *European Journal of Plant Pathology* 106(6): 493-506.
- Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME** (1996) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* Soil Science Society of America, Madison.
- Srihuttagam M, Sivasithamparam K** (1991) The influence of fertilizers on root rot of field peas caused by *Fusarium oxysporum*, *Pythium vexans* and *Rhizoctonia solani* inoculated singly or in combination. *Plant and Soil* 132: 21-27.
- Strobel G, Daisy B, Castillo U, Harper J** (2004) Natural products from endophytic microorganisms. *Journal of Natural Products* 67: 257-268.
- Tjamos EC, Polymnia P, Tjamos SE** (2000) Implementation of soil solarization in Greece: conclusions and suggestions." *Crop Protection* 198(10): 843-846.
- Tsao PH** (1970) Selective media for isolation of pathogenic fungi. *Annual Review of Phytopathology* 8:157-186.
- Frank W, et al.** (2005) The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102(38): 13386-13391.
- Williams CH, David DJ** (1973) The effect of superphosphate on the cadmium content of soils and plants. *Soil Research* 11(1): 43-56.
- Wilson D** (1995) Endophyte: the evolution of a term, and clarification of its use and definition. *Oikos* 274-276.
- Wu Y, Von Wettstein D, Gamini Kannangara C, Nirmala J, James Cook R** (2006) Growth inhibition of the cereal root pathogens *Rhizoctonia solani* AG8, *R. oryzae* and *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* by a recombinant 42-kDa endochitinase from *Trichoderma harzianum*. *Biocontrol Science and Technology* 16:631-646.
- Zabalgozcoa I** (2008) Fungal endophytes and their interaction with plant pathogens: a review. *Spanish Journal of Agricultural Research* 6:138-46.
- Zhang S, Raza W, Yang X, Hu J, Huang Q, Xu Y, Liu X, Ran W, Shen Q** (2008) Control of Fusarium wilt disease of cucumber plants with the application of a bioorganic fertilizer. *Biology and Fertility of Soils* 44: 1073-1080.

