نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، ص. ۷۳-۶۳

Journal of Agroecology
Vol. 4, No. 1, Spring 2012, p. 63-73

ارزیابی واکنش گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) رقم آذر ۲ به همزیستی با قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار و شبه میکوریزا در سطوح مختلف تنش خشکی

یاسر یعقوبیان[۱]، همت اله پیردشتی[۲*]، ابراهیم محمدی گل‌تپه[۳]، ولی فیضی اصل[۴] و عزت‌اله اسفندیاری[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۵/۲۹

چکیده

به منظور بررسی اثر قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار (*Glomus mossea*) و شبه‌میکوریزا (*Piriformospora indica*) بر عملکرد و اجزای عملکرد و بعضی صفات مورفولوژیکی گندم (*Triticum aestivum* L.) (رقم آذر ۲) در شرایط کم‌آبی، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور در بهار ۱۳۸۹ به اجرا در آمد. تیمارها شامل تنش خشکی در سه سطح (رطوبت FC، ۵- و ۱۰- بار) و همزیستی قارچی در چهار سطح (شاهد، قارچ میکوریزا، شبه‌میکوریزا و تلقیح همزمان دو قارچ) بود. نتایج نشان داد که اثر ساده تنش خشکی باعث کاهش معنی‌داری در وزن هزار دانه، ضریب تبدیل، درصد باروری سنبلچه، ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول بیرون‌آمدگی پدانکل و طول سنبله و همچنین درصد کلونیزاسیون ریشه شد، ولی تراکم دانه در سنبله را به صورت معنی‌داری افزایش داد. تیمارهای قارچی نیز بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده به جز شاخص برداشت و وزن هزار دانه و درصد تلقیح ریشه اثر مثبت معنی‌داری ($p\leq۰/۰۱$) داشت که بهترین تیمار قارچی مربوط به تلقیح همزمان دو قارچ بود. اثر متقابل رطوبت و قارچ بر عملکرد بوته ($p\leq۰/۰۱$)، عملکرد بیولوژیک ($p\leq۰/۰۵$)، تعداد سنبله ($p\leq۰/۰۱$) و تعداد دانه ($p\leq۰/۰۵$) در بوته معنی‌دار بود که در همه آنها همزیستی قارچی در سطوح مختلف رطوبتی اثر مثبت داشت. در میان تیمارهای قارچی تلقیح همزمان دو قارچ بیشترین اثر مثبت را بر صفات مورد مطالعه داشته و می‌تواند برای شرایط تنش و بدون تنش مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: درصد کلونیزاسیون، عملکرد، صفات مورفولوژیک

مقدمه

تنش‌های محیطی مهمترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات کشاورزی در سطح جهان هستند (Kafi & Mahdavi Damghani, 2003). تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که همراه با فقر عناصر غذایی خاک در بسیاری از مناطق نیمه‌خشک جهان باعث محدودیت تولید گیاهان زراعی از جمله گندم (*Triticum aestivum* L.) می‌شود، در این مناطق بیشتر گندم‌ها در شرایط دیم رشد می‌کنند که در هر زمان از دوره رشد ممکن است با خشکی مواجه شوند (Al-Karaki, 1997).

نتایج برخی مطالعات نشان داد که تلقیح خاک با قارچ‌های میکوریزا بخصوص در صورت نبود میکوریزای بومی می‌تواند موجب بهبود تغذیه‌ی گیاه شود (Al-karaki, 1997). قارچ‌های میکوریزای آرباسکولار[۶] (AM) در بین میکروارگانیسم‌هایی که محیط ریزوسفر را اشغال می‌کنند منحصر به فرد بوده (Hu & Schmidhalter, 1998) و با ایجاد رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی موجب افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماریزا شده و سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Sharma, 2002). برای مثال، در گیاه پیاز (*Allium cepa* L.) همزیستی با قارچ میکوریزای *G. macrocarpum* ماده‌ی خشک آن را پنج تا شش برابر نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی افزایش داد (Thomas et

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، استاد گروه بیماری شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، مربی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه مراغه
(*- نویسنده مسئول: E-mail: pirdasht@yahoo.com)

6-Arbuscular Mycorrhiza

(Al-Karaki & Hammad, 2001 ,al., 1986) الکراکی و حمد در گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicum esculentum* L.) و گیری و موکرجی (Giri & Mukerji, 2004) در گونه‌های مختلف سزبانیا (*Sesbania aegyptiaca* Poir. و *S. gradiflora* L.) نیز بهبود عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در حضور میکوریزا گزارش نمودند.

میکوریزایی شدن نه تنها رشد گیاه و جذب مواد معدنی را افزایش می‌دهد، بلکه ممکن است در شرایط خشکی مقاومت بالایی را نیز به گیاه القاء کند (Beltrano & Ronaco, 2008). همچنین این قارچها می‌توانند بر تعادل آبی گیاه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش اثر بگذارند (Auge, 2001) و حتی تأثیر آنها در شرایط تنش افزایش می‌یابد (Abo-Galia & Khalafollah, 2008). سانگ (Song, 2005) همبستگی بالایی را بین وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مقاومت به خشکی آن در حضور میکوریزا گزارش کرد، ولی گزارشات دیگر نشان می‌دهد که اثرات قارچهای AM روی روابط آبی گیاه میزبان می‌تواند مستقل از وضعیت تغذیه‌ای فسفر باشد (Belthenfalvay et al., 1998)، به طوریکه حتی وقتی گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی وضعیت فسفر مشابهی دارند رشد گیاهان میکوریزی بیش از گیاهان غیرمیکوریزی است (Feng et al., 2002; Rabie & Almadini, 2005; Mansoori & Ahmadi moghadam, 2007). این موضوع نشان می‌دهد که مزیت AM برای رشد گیاه تنها به دلیل افزایش جذب فسفر نیست. رویزلوزانو و همکاران (Ruiz-Lozano et al., 1996) نیز نتیجه گرفتند که مکانیسم‌هایی که باعث بهبود رشد گیاه در تنش می‌شوند بیشتر بر اساس فرایندهای فیزیولوژیکی هستند تا جذب عناصری مانند نیتروژن یا فسفر. در همین زمینه نتایج تحقیقات نیز نشان می‌دهد که اصلاح روابط آبی گیاه توسط قارچهای AM می‌تواند به واسطه افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق، اثرات هورمونی و تعادل هورمونی، افزایش سریع جذب آب و رساندن پتانسیل گیاه به حد تعادل، جذب بیشتر آب به واسطه هیف‌ها و خاکدانه‌سازی تحت تأثیر قرار گیرد (Manafi, 2010). همزیستی میکوریزایی اغلب منجر به ایجاد تغییراتی در سرعت حرکت آب به داخل، سراسر و یا خارج گیاه میزبان می‌گردد و بر آبگیری بافت و فعالیت‌های فیزیولوژیکی برگ تأثیر گذاشته (Auge, 2001) و می‌تواند سطح جذب ریشه را حدود ۴۷ برابر افزایش دهد (Smith & Read, 1997). سفیر و همکاران (Safir et al., 1972) نیز گزارش کردند که اثر اصلی میکوریزا در گیاه میزبان به علت کاهش مقاومت به انتقال آب در ریشه است.

علاوه بر قارچهای میکوریزای آربوسکولار، بعضی از قارچهای خانواده سباسیناسه[1] نیز می‌توانند نقش میکوریزا را برای گیاه بازی کرده و باعث افزایش رشد رویشی گیاه شوند. قارچهای *Piriformospora indica* (Verma et al., 1998) به همراه *Sebacina vermifera* Sencu (Warcup & talbot, 1967) جزو این خانواده می‌باشند که به گروه قارچهای بازیدیومیست‌ها[2] تعلق دارند (Kharkwal et al., 2007; Kumar et al., 2010; Sun et al., 2010) و از آنجایی که مانند قارچهای AM همزیست داخلی ریشه هستند و ویژگی‌های آنها را تقلید می‌کنند (Kharkwal et al., 2007; Lugtenberg & Kanilova, 2009)، به عنوان قارچهای شبه‌میکوریزا[3] شناخته می‌شوند (Baldi et al., 2008). این قارچها برخلاف میکوریزای‌آربوسکولار همزیست اختیاری هستند و می‌توانند به راحتی در محیط‌های کشت مصنوعی مختلف بدون نیاز به گیاه میزبان کشت شوند و این یکی از مهمترین مزیت‌های آنها نسبت به AM به شمار می‌رود (Varma et al., 2001).

قارچ *P. indica* نیز با ریشه بسیاری از گونه‌های گیاهی همزیستی داشته و رشد رویشی و عملکرد آنها را افزایش می‌دهد (Oelmulder et al., 2009)، همچنین باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده از قبیل خشکی (Sun et al., 2010)، شوری (Waller et al., 2005; Baltruschat et al., 2008) و بیماری‌ها (Kumar et al., 2009; Ghahfarokhi & Goltapeh, 2010) می‌شود.

بنابراین این تحقیق با هدف بررسی اثرات قارچهای میکوریزا و شبه میکوریزا در مقاومت به خشکی گندم دیم و همچنین مقایسه اثرات این قارچها در تلقیح جداگانه و همزمان با یکدیگر اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور در بهار سال ۱۳۸۹ به صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با چهار تکرار به اجرا درآمد. تیمارها شامل ۱) تنش خشکی در سه سطح شامل رطوبت FC، تنش ملایم رطوبتی (۵- بار) و تنش شدید رطوبتی (۱۰- بار)، ۲) همزیستی قارچی در چهار سطح شامل بدون تلقیح قارچ (شاهد)، قارچ میکوریزای آربوسکولار گونه *Glomus mossea* (AM)، قارچ شبه‌میکوریزا گونه *Piriformospora indica* (ML) و تلقیح همزمان دو قارچ (AM+ML) بود. گلخانه مورد نظر دارای نور طبیعی و درجه حرارت ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود.

جدایه قارچ *P. indica* از بخش بیماری شناسی دانشگاه تربیت مدرس تهیه شده و در محیط کشت کفر[4] (Sherameti et al.,

1- Sebacinaceae

2- Basidiomycota
3- Arbuscular Mycorrhiza-Like Fungi
4- Kaefer

(2005 در پتریدیش به مدت دو هفته کشت گردید سپس به محیط کشت مایع منتقل و به مدت دو هفته در انکوباتور با دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۵۰ دور (rpm) در تاریکی قرار داده شد. برای تلقیح، ۱۰ میلی لیتر از محیط کشت حاوی تعداد زیادی از قطعات قارچ به قطر حدود شش میلی‌متر، در هر گلدان استفاده شد.

در قارچ *G. mossea* از اسپورهای داخل خاک و قطعات ریشه تازه تلقیح شده ذرت به عنوان مایه تلقیح استفاده شد که در هر گرم آن حدود ۱۰۰ عدد اسپور وجود داشت. برای هر گلدان ۵۰ گرم مایه تلقیح استفاده گردید. در گلدان‌های بدون میکوریزا نیز ۵۰ گرم مایه تلقیح اتوکلاو شده اضافه شد. قارچ‌ها به صورت خطی در سه سانتی-متری زیر بذر قرار گرفتند.

خاک مورد استفاده حاوی نسبت ۱:۲ خاک مزرعه و ماسه بود (مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است). خاک پس از الک کردن کاملاً مخلوط و به مدت ۴۸ ساعت در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (بدون استفاده از فشار هوا) استریل شد (Kungu et al., 2008). برای این آزمایش گلدان‌هایی با قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و در هر گلدان از ۱/۵ گیلوگرم سنگ‌ریزه ضدعفونی شده با هیپوکلریت سدیم دو درصد (برای زهکشی مناسب) و ۱۰ کیلوگرم خاک آون خشک استفاده گردید.

بذور گندم پاییزه رقم آذردو از بخش غلات مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور تهیه شد. بذور ابتدا با هیپوکلرید سدیم یک درصد به مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی شدند (Gong et al., 2005) و سپس به مدت ۴۵ روز در دمای سه تا چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا ورنالیزه شوند. بذور پس از ورنالیزه شدن در عمق دو سانتی-متری داخل گلدان‌ها کشت شدند. در داخل هر گلدان ۱۵ بذر کشت شد که در مرحله سه برگی به ۱۰ بوته کاهش یافت.

آبیاری گلدان‌ها تا شروع مرحله گلدهی به طور روزانه و به صورت وزنی انجام گرفت، در شروع مرحله گلدهی تیمارهای رطوبتی با کاهش آب آبیاری تا حدی که پتانسیل رطوبت خاک به مقدار مورد نظر (ظرفیت زراعی[1] (FC)، ۵- و ۱۰-) برسد، اعمال شد. برای تعیین درصد رطوبت خاک در هر سطح رطوبتی از دستگاه صفحه فشار استفاده شد.

پس از رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه، هر ۱۰ بوته گلدان کف‌بر شده و صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد (عملکرد بوته، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد سنبله، شاخص برداشت سنبله، درصد باروری سنبلچه و تراکم دانه در سنبله) و صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، طول پدانکل و طول بیرون‌آمدگی پدانکل (اکستراژن[2]) و طول سنبله) و همچنین درصد تلقیح ریشه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در درجه حرارت ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند.

برای مطالعه همزیستی، قطعات یک سانتی‌متری رشد گندم در محلول KOH ۱۰ درصد به مدت هفت دقیقه رنگ‌بری شده و سپس با استفاده از محلول پنج درصد جوهر و سرکه رنگ‌آمیزی شد (Vierheilig et al., 1998). برای اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه، ۴۰ قطعه یک سانتی‌متری از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده روی لام قرار داده شدند و با استفاده از میکروسکوپ نوری درصد کلونیزاسیون اندازه‌گیری شد (Norris et al., 1992). برای قارچ *G. mossea* درصد حضور آرباسکول، وزیکول و میسیلیوم‌های قارچی (Kohler et al., 2009b) و برای قارچ *P. indica* توزیع کلامیدوسپورها (Varma et al., 1999) در طول ریشه به عنوان معیار برای اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون در نظر گرفته شدند.

داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار آماری GenStat Ver 12.0 تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار[3] (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر ساده رطوبت بر تمامی صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد به جز شاخص برداشت معنی‌دار بود که این معنی‌داری برای تراکم دانه در سنبله در سطح پنج درصد و برای سایر صفات در سطح یک درصد بود. همچنین تیمار ساده قارچ نیز بر تمامی صفات به جز شاخص برداشت و وزن هزار دانه اثر معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) داشت.

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) افزایش تنش خشکی از FC به ۱۰- بار باعث کاهش وزن هزار دانه، شاخص برداشت سنبله و درصد باروری سنبلچه گندم شد که این کاهش برای صفات مذکور به ترتیب حدود ۲۷، شش و چهار درصد بوده و در این میان وزن هزار دانه بیشترین حساسیت را به کاهش رطوبت نشان داد. برخلاف صفات مذکور افزایش تنش خشکی اثر مثبت معنی‌داری بر تراکم دانه در سنبله، داشت، به طوری که در تیمار رطوبتی ۱۰- بار نسبت به FC حدود نه درصد افزایش نشان داد که این افزایش می‌تواند ناشی از کاهش بیشتر طول سنبله نسبت به تعداد دانه در سنبله در اثر تنش خشکی و به عبارت دیگر، حساسیت بیشتر طول سنبله در مقایسه با تعداد دانه در سنبله نسبت به تنش خشکی

1- Field Capacity
2- Extrogen
3- Least Significant Difference

باشد که در نهایت افزایش تراکم بذر در طول سنبله را درپی داشت.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physicochemical characteristics of soil

بافت خاک Soil Texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس‌برمتر) EC ($dS.m^{-1}$)	درصد اشباع (درصد) SP (٪)
	(درصد) (٪)				(پی پی ام) (ppm)				
شنی لومی	14	17	69	0.04	4.8	251	7.40	0.11	35

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر رطوبت و میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 2- Analysis of variance for effect of moisture and fungi on wheat yield and yield components

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه 1000-grain weight
رطوبت Moisture	2	1.79^{**}	11.41^{**}	93.11^{ns}	853.82^{**}
قارچ Fungi	3	0.63^{**}	3.45^{**}	119.39^{ns}	47.90^{ns}
رطوبت × قارچ Moisture × fungi	6	0.17^{**}	1.48^{*}	160.64^{ns}	127.38^{ns}
خطای آزمایشی Error	36	0.29	2.95	699.31	371.90
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	14.90	18.00	11.50	9.80

^{ns}، * و ** به ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۲

Table 2- continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد دانه در بوته No. of grain/plant	تعداد سنبله No. of spike	شاخص برداشت سنبله Harvest index of spike	درصد باروری سنبلچه Spikelet fertility percentage	تراکم دانه در سنبله Density of grains/spike
رطوبت Moisture	2	625.81^{**}	1.49^{**}	151.65^{**}	78.22^{**}	0.311^{*}
قارچ Fungi	3	710.94^{**}	0.23^{**}	143.72^{*}	444.26^{**}	3.60^{**}
رطوبت × قارچ Moisture × fungi	6	75.25^{*}	0.34^{**}	58.21^{ns}	82.28^{ns}	0.55^{ns}
خطای آزمایشی Error	36	170.56	0.59	433.36	266.62	1.57
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	11.90	10.70	5.00	3.50	8.90

^{ns}، * و ** به ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

تلقیح قارچ میکوریزا و شبه‌میکوریزا اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت، ولی اثر آن بر شاخص برداشت سنبله ($p\leq ۰/۰۵$)، درصد باروری سنبلچه ($p\leq ۰/۰۱$) و تراکم دانه در سنبله ($p\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار بود (جدول ۲) که در هر سه این صفات استفاده همزمان دو قارچ میکوریزا و شبه میکوریزا (AM+ML) بیشترین اثر مثبت را داشت که تفاوت معنی‌داری با تلقیح قارچ میکوریزا (AM) نداشت، ولی

اختلاف آنها با شاهد (به جز در شاخص برداشت سنبله) معنی‌دار بود. شاخص برداشت سنبله در تیمار تلقیح قارچ شبه‌میکوریزا به صورت معنی‌داری (p≤۰/۰۵) از دو تیمار قارچی دیگر (میکوریزا و تلقیح همزمان دو قارچ) کمتر بود (جدول ۳).

با توجه به نتایج، اثر متقابل رطوبت و قارچ بر صفات عملکرد بوته (p≤۰/۰۱)، عملکرد بیولوژیک (p≤۰/۰۵)، تعداد دانه در بوته (p≤۰/۰۵) و تعداد سنبله در بوته (p≤۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۲). عملکرد بوته با افزایش پتانسیل رطوبتی به صورت معنی‌داری در تیمارهای قارچی تیمار شاهد کاهش یافت. در همه سطوح رطوبتی تلقیح قارچ میکوریزای آربوسکولار باعث افزایش عملکرد بوته نسبت به شاهد شد که این افزایش در ۵- بار معنی‌دار نبود. قارچ شبه-میکوریزا با اینکه عملکرد بوته را افزایش داد، ولی این افزایش در هیچ یک از سطوح رطوبتی معنی‌دار نبود و در میان تیمارهای قارچی تلقیح همزمان دو قارچ بیشترین اثر مثبت را بر عملکرد داشته و در تمام سطوح رطوبتی به جز سطح ۵- بار باعث افزایش معنی‌دار (p≤۰/۰۵) عملکرد بوته نسبت به شاهد و تیمار شبه‌میکوریزا شد که این افزایش در سطح رطوبتی FC نسبت به تلقیح جداگانه میکوریزا نیز معنی‌دار بود (شکل ۱). ابوقلیا و خلف الله (Abo-Ghalia & Khalafallah, 2008) نیز نتایج مشابهی را در مورد تلقیح گندم توسط تلفیقی از گونه‌های مختلف قارچ میکوریزای آربوسکولار در شرایط مختلف رطوبتی گزارش کرده‌اند.

عملکرد بیولوژیک نیز با افزایش تنش خشکی به صورت معنی-داری کاهش یافت. تلقیح قارچ بر عملکرد بیولوژیک نیز اثر مثبت داشت که این نتایج با نتایج بلترانو و رونکو (Beltrano & Ronco, 2008) همخوانی دارد. وو و ژیا (Wu & Xia, 2006) و وو و همکاران (Wu et al., 2008) نیز نتیجه گرفتند که گیاهچه‌های میکوریزایی نارنگی (*Citrus tangerine* L.) و نارنج سه برگ (*Poncirus trifoliate* L.) هم در شرایط رطوبتی مناسب و هم تحت شرایط تنش خشکی به صورت قابل‌توجهی رشد رویشی بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشتند. تلقیح قارچ میکوریزا در تمام سطوح رطوبتی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد شد که این افزایش تنها در تیمار رطوبتی FC معنی‌دار بود. تلقیح قارچ شبه‌میکوریزا در هیچ یک از سطوح رطوبتی تفاوت معنی-داری با شاهد نداشت، ولی تلقیح همزمان دو قارچ در تمام سطوح رطوبتی به جز ۵- بار باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد بیولوژیک بوته شد. ابوقلیا و خلف الله (Abo-Ghalia & Khalafallah, 2008) نیز در تحقیقی که در مورد تلقیح گندم توسط تلفیقی از گونه‌های مختلف قارچ میکوریزای آربوسکولار در شرایط مختلف رطوبتی انجام دادند دریافتند که همزیستی میکوریزایی در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش خشکی می‌تواند رشد رویشی و زایشی گیاه را افزایش دهد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده رطوبت و تلقیح با قارچ بر اجزای عملکرد گندم

Table 3- Mean comparison of single effect of moisture and Fungi inoculation on wheat yield components

منابع تغییر S.O.V.	تراکم دانه در سنبله (سانتی‌متر) Density of grains/spike (cm)	درصد باروری سنبلچه Spikelet fertility (٪)	شاخص برداشت سنبله (درصد) Harvest index of spike (٪)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight (g)
		رطوبت Moisture		
ظرفیت زراعی FC	2.25[b]*	79.68[a]	71.84[a]	37.45[a]
-5	2.31[ab]	77.82[ab]	70.50[a]	33.48[b]
-10	2.45[a]	76.57[b]	67.58[b]	27.21[c]
		قارچ Fungi		
شاهد Control	1.96[c]*	74.01[c]	69.28[ab]	34.11[a]
AM	2.55[a]	80.07[a]	71.18[a]	31.63[a]
ML	2.21[b]	76.29[b]	67.49[b]	33.21[a]
AM+ML	2.64[a]	81.73[a]	71.95[a]	31.92[a]

*در هر ستون و برای هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means in each column and for each treatment followed by similar letter(s) have not significantly different at 5% probability level.

به‌طور کلی، در میان تیمارهای قارچی، گیاهانی که به صورت همزمان با هر دو قارچ همزیستی داشتند بیشترین عملکرد بیولوژیک را دارا بودند. در بین تیمارهای قارچی، عملکرد بیولوژیک گیاهان تلقیح شده با قارچ شبه‌میکوریزا کمتر از تیمارهای میکوریزایی و تلقیح همزمان دو قارچ بود (شکل ۲) که این نتیجه با نتایج سینگ و وارما (Singh & Varma, 2005) مطابقت ندارد، ولی با توجه به کلونیزاسیون کمتر ریشه گیاه توسط این قارچ نسبت به دو تیمار قارچی دیگر طبیعی به نظر می‌رسد، زیرا القای رشدی قارچ رابطه

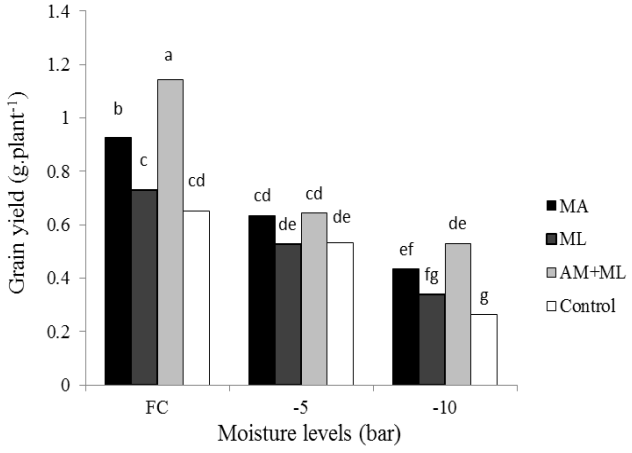
مستقیمی با درصد کلونیزاسیون آن دارد (Al-Karaki & Al-Raddad, 2005).

افزایش پتانسیل رطوبتی خاک باعث کاهش معنی‌داری در تعداد سنبله در بوته شد که تیمار تلقیح همزمان دو قارچ میکوریزا و شبه-میکوریزا بیشترین حساسیت را نسبت به تنش خشکی نشان داده و بیشتر از سایر تیمارهای قارچی (حدود ۳۸ درصد) کاهش یافت. در سطح رطوبتی FC تنها تلقیح همزمان دو قارچ باعث افزایش معنی-داری در تعداد سنبله بوته نسبت به شاهد و سایر تیمارهای قارچی شد که این افزایش حدود ۳۹ درصد بود. در سایر سطوح رطوبتی تیمارهای قارچی اختلاف معنی‌دای با شاهد و یکدیگر نداشتند (شکل ۳).

با توجه به نمودار اثر متقابل (شکل ۴) افزایش تنش خشکی، تعداد دانه کل بوته را نیز به صورت معنی‌داری کاهش داد، با این حال همزیستی قارچی اثر مثبت بر تعداد دانه در بوته داشته و باعث افزایش آن شد. تعداد دانه بوته در سطح رطوبتی ۱۰- بار با تلقیح قارچ شبه-میکوریزا به صورت معنی‌داری افزایش یافت، ولی در کل اثر مثبت این قارچ از دو تیمار قارچی دیگر کمتر بود، به طوری که تلقیح جداگانه قارچ میکوریزا و همچنین تلقیح همزمان آن با قارچ شبه میکوریزا در تمام سطوح رطوبتی اثر مثبت معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. در هر سه سطح رطوبتی تلقیح همزمان دو قارچ بیشترین اثر مثبت را به همراه داشت و بیشترین اثر مثبت آن (۸۶ درصد) در تیمار رطوبتی ۱۰- بار (تنش شدید رطوبتی) بود. با توجه به اینکه در تعداد سنبله بوته در سطح رطوبتی ۱۰- بار بین تیمارهای قارچی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، بدین ترتیب، می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش ۸۶ درصدی تعداد دانه در بوته ناشی از افزایش تعداد دانه در سنبله بوده است.

صفات مورفولوژیک

با توجه به جدول تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک (جدول ۴)، اثرات ساده رطوبت و قارچ بر صفات ارتفاع بوته، طول پدانکل، طول بیرون‌آمدگی پدانکل و طول سنبله معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. به طوریکه تمامی این صفات با افزایش تنش خشکی از FC به ۱۰- بار کاهش نشان دادند.



شکل ۱- اثر متقابل رطوبت و قارچ بر عملکرد دانه گندم

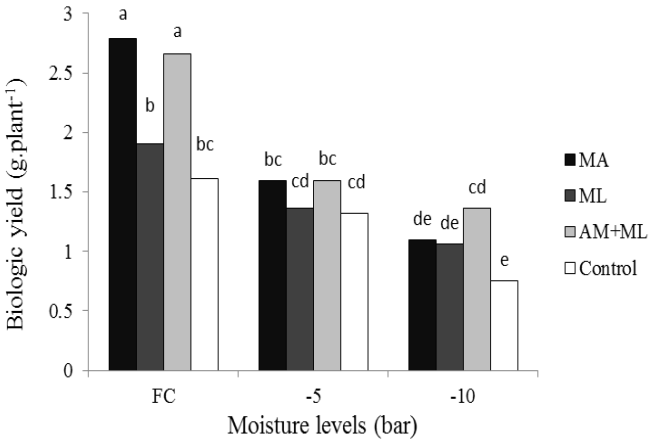
Fig. 1- Interaction effect between water stress and fungi on grain yield of wheat

AM: میکوریزای آربوسکولار و ML: شبه‌میکوریزا

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

AM: Arbuscular Mycorrhiza and ML: Mycorrhiza-Like

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by LSD test.



شکل ۲- اثر متقابل رطوبت و قارچ بر عملکرد بیولوژیک بوته گندم

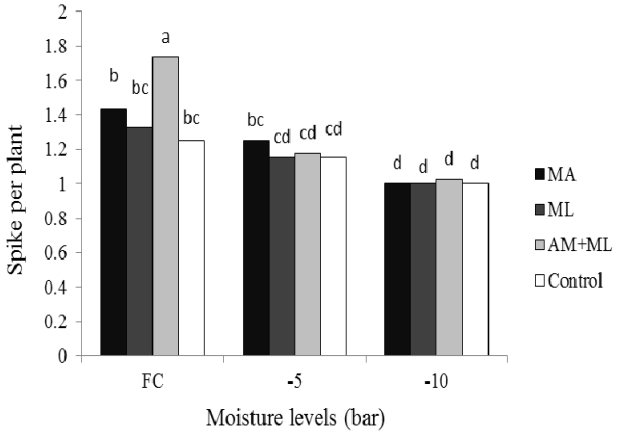
Fig. 2- Interaction effect between water stress and Fungi on biologic yield of wheat

AM: میکوریزای آربوسکولار و ML: شبه‌میکوریزا

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

AM: Arbuscular Mycorrhiza and ML: Mycorrhiza-Like

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by LSD test.



شکل ۳- اثر متقابل رطوبت و همزیستی قارچ بر تعداد سنبله در بوته

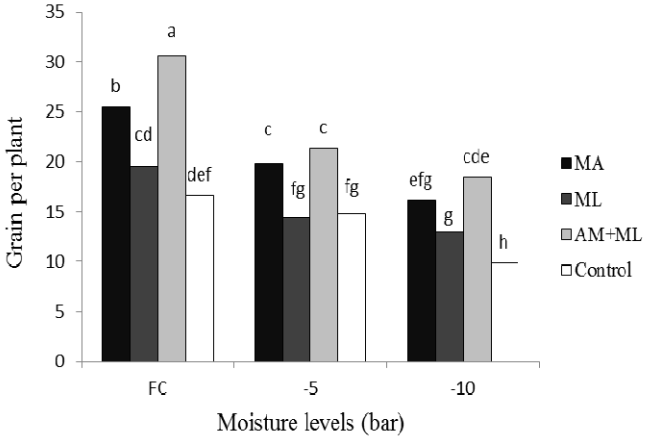
Fig. 3- Interaction effect of water stress and fungi on spike number in plant

AM: میکوریزای آربوسکولار و ML: شبه‌میکوریزا

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

AM: Arbuscular Mycorrhiza and ML: Mycorrhiza-Like

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by LSD test.



شکل ٤- اثر متقابل رطوبت و همزیستی قارچ بر تعداد دانه در بوته

Fig. 4- Interaction effect of water stress and fungi on grain number in plant

AM: میکوریزای آربوسکولار و ML: شبه‌میکوریزا

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

AM: Arbuscular Mycorrhiza and ML: Mycorrhiza-Like

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by LSD test.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر رطوبت و میکوریزا بر صفات مورفولوژیکی گندم

Table 4- Analysis of variance for effect of moisture and Fungi morphological characteristic of wheat

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant high	طول پدانکل Peduncle length	طول بیرون آمدگی پدانکل Extrusion length	طول سنبله Spike length
رطوبت Moisture	2	2758.12**	1460.21**	12088.53**	1.089**
قارچ Fungi	3	759.14**	161.81**	68.11**	3.703**
رطوبت × قارچ Moisture × fungi	6	232.43ns	21.37ns	9.82ns	0.683ns
خطای آزمایشی Error	36	744.65	199.36	154.86	2.315
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	–	6.60	8.40	15.50	4.00

*در هر ستون و برای هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means in each column and for each treatment followed by similar letter(s) have not significantly different at 5% probability level.

در میان صفات مورفولوژیک طول بیرون‌آمدگی پدانکل (۶۶ درصد) و طول سنبله (۵/۶ درصد) به ترتیب بیشترین و کمترین کاهش را نسبت به FC نشان دادند (جدول ۵) که حاکی از حساسیت بالای طول بیرون‌آمدگی پدانکل به تنش خشکی می‌باشد و می‌توان علت آن را رشد این قسمت از ساقه در زمان گلدهی گیاه که همزمان با اعمال تیمار رطوبتی می‌باشد، دانست. در بین تیمارهای قارچی تلقیح همزمان دو قارچ میکوریزا و شبه میکوریزا و همچنین تلقیح قارچ میکوریزای آربوسکولار باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، طول پدانکل و طول بیرون‌آمدگی پدانکل نسبت به شاهد و تیمار شبه میکوریزایی شد (جدول ۵). همانند تیمار رطوبتی، در تیمار قارچی نیز طول بیرون‌آمدگی پدانکل با ۲۳ درصد افزایش نسبت به شاهد حساسیت بیشتری نسبت سایر صفات نشان داد. طول سنبله نیز در تلقیح همزمان دو قارچ و تلقیح جداگانه قارچ میکوریزا نسبت به شاهد و تلقیح قارچ شبه‌میکوریزا افزایش معنی‌داری نشان داد که بیشترین

طول سنبله مربوط به تیمار تلقیح همزمان دو قارچ بود و با قارچ میکوریزا تفاوت معنی‌داری داشت. در میان این صفات نیز طول پدانکل (r=۰/۸۴**) بیشترین همبستگی را با عملکرد بوته داشت (شکل ۸). اثرات مثبت همزیستی میکوریزا و شبه میکوریزایی در رشد رویشی و عملکرد گیاه می‌تواند به علت بهبود جذب فسفر و افزایش جذب آب به وسیله هیف‌های قارچی و همچنین افزایش تراکم و طول ریشه گیاه، بخصوص در شرایط تنش خشکی باشد (Abo-Ghalia & Khalafallah, 2008). اثر مثبت همزیستی قارچی بر رشد رویشی گیاه با نتایج بلترانو و رونکو (Beltrano & Ronco, 2008) همخوانی دارد.

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثرات ساده تنش خشکی و تیمارهای قارچی بر درصد همزیستی ریشه با قارچ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تنش خشکی باعث کاهش آلودگی ریشه گیاه گندم با قارچ میکوریزا و شبه‌میکوریزا شده و درصد همزیستی آن را در تیمار ۱۰- بار نسبت به FC حدود ۳۵ درصد کاهش داد. با توجه به اینکه یکی از شرایط لازم برای همزیستی بین میکوریزا و گیاه انتقال مواد آلی از گیاه به قارچ است، بنابراین، می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاهش رطوبت خاک، کاهش فتوسنتز و رشد رویشی گیاه را به دنبال دارد، در نتیجه منابع کربن کمتری در اختیار قارچ قرار می‌گیرد که می‌تواند باعث کاهش همزیستی آن با گیاه شود. این نتایج در گندم (Al-Karaki & Al-Raddad, 1997) و کاهوی (*Lactuca sativa* L.) میکوریزایی شده (Kohler et al, 2009a) نیز به دست آمده است. در بین تیمارهای قارچی، تلقیح همزمان دو قارچ (۶۹/۷ درصد) و تلقیح شبه‌میکوریزا (۵۱/۳ درصد) به ترتیب بیشترین و کمترین درصد همزیستی را با ریشه گیاه میزبان داشتند که همزیستی تلقیح همزمان دو قارچ نسبت به تلقیح شبه‌میکوریزا حدود ۳۶ درصد بیشتر بود. همچنین تلقیح همزمان دو قارچ با تلقیح قارچ میکوریزا تفاوت معنی‌داری نداشتند. در میان تیمارهای قارچی، درصد همزیستی قارچ شبه میکوریزا کمتر از قارچ میکوریزا بود (شکل ۶) که می‌توان علت آن را کمبود ماده آلی خاک دانست چون قارچ شبه میکوریزا یک ساپروفیت اختیاری است و همزیستی آن تحت تأثیر ماده آلی خاک قرار می‌گیرد به طوریکه در حضور ماده آلی همزیستی آن با گیاه بیشتر از میکوریزا بود (داده‌ها نشان داده نشده است).

تمام صفات مورد مطالعه به جز تراکم دانه در سنبله همبستگی مثبت معنی‌داری با عملکرد دانه در بوته داشتند که در این میان تعداد دانه در بوته و تعداد سنبله در بوته به ترتیب با ۰/۹۲ و ۰/۸۸ بیشترین ضریب همبستگی را با عملکرد بوته داشتند (شکل‌های ۷ و ۸).

بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش بخصوص عملکرد بوته و سایر صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد می‌توان چنین نتیجه گرفت که همزیستی با قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا در شرایط مختلف رطوبتی می‌تواند باعث افزایش عملکرد گندم شود و در شرایط تنش خشکی باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش می‌شود.

علاوه بر این، در میان تیمارهای قارچی نیز، گیاهانی که به صورت همزمان با هر دو قارچ همزیستی داشتند بیشترین عملکرد را دارا بودند.

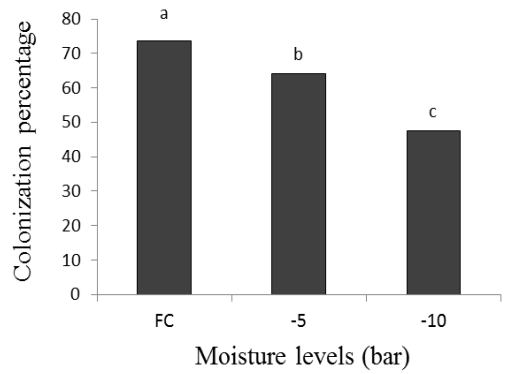
جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده رطوبت و قارچ بر صفات مورفولوژیک

Table 5- Mean comparison single effect of soil-moisture and fungi on wheat morphological characteristic

منابع تغییر S.O.V.	ارتفاع بوته Plant high	طول پدانکل Peduncle length	طول بیرون آمدگی پدانکل Extrusion length	طول سنبله Spike length
	(سانتی‌متر) (cm)			
رطوبت Moisture				
ظرفیت زراعی FC	76.91 a*	33.67 a	18.62 a	6.60 a
-5	70.01 b	29.47 b	15.11 b	6.40 b
-10	58.53 c	20.45 c	6.30 c	6.23 b
قارچ Fungi				
شاهد Control	63.04 b	25.74 b	11.97 b	6.08 c
AM	71.27 a	29.13 a	14.30 a	6.52 b
ML	66.47 b	26.42 b	12.37 b	6.23 c
AM+ML	73.16 a	30.16 a	14.72 a	6.80 a

*در هر ستون و برای هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means in each column and for each treatment followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level.



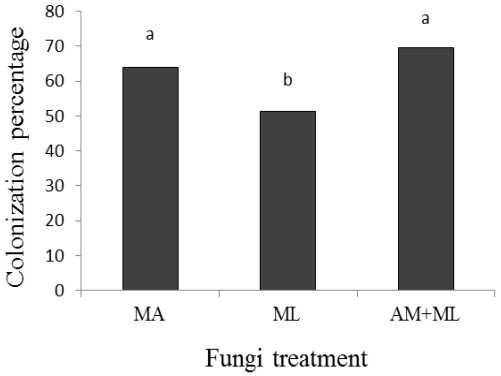
شکل ۵- اثر ساده تنش رطوبتی در درصد کلونیزاسیون ریشه با قارچ میکوریزا و شبه میکوریزا

Fig. 5- Effect of water stress on root colonization percent with Mycorrhiza and Mycorrhiza like fungi

AM: میکوریزای آربوسکولار و ML: شبه‌میکوریزا

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

AM: Arbuscular Mycorrhiza and ML: Mycorrhiza-Like
Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by LSD test.



شکل ٦- درصد کلونیزاسیون ریشه گندم با قارچ میکوریزای آربوسکولار و شبه میکوریزا.

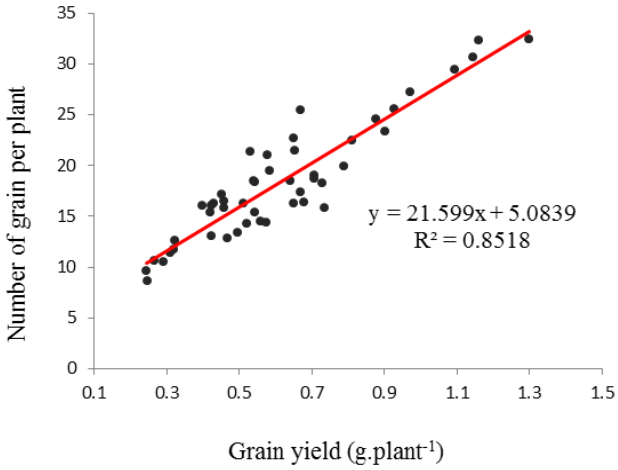
Fig. 6- Root colonization percent with Mycorrhiza and Mycorrhiza like fungi

AM: میکوریزای آربوسکولار و ML: شبه‌میکوریزا

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

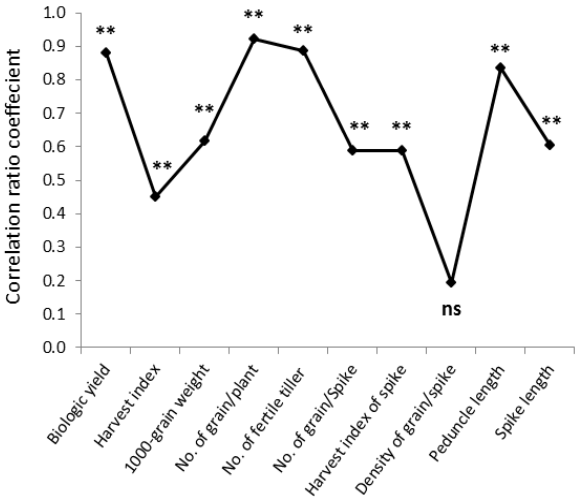
AM: Arbuscular Mycorrhiza and ML: Mycorrhiza-Like
Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by LSD test.

این نتیجه علاوه بر اینکه نشان‌دهنده عدم وجود خاصیت آنتاگونیستی بین این قارچ می‌باشد، بلکه می‌تواند بیانگر این مسئله باشد که این قارچ‌ها به صورت تلقیح همزمان به عنوان مکملی برای یکدیگر در همزیستی با گیاه باشند. نتایج حاصل از اثر قارچ شبه-میکوریزا در ایجاد مقاومت به خشکی و افزایش رشد رویشی و زایشی گیاه، در این آزمایش با نتایج شرامتی و همکاران (Sherameti et al., 2008) توسط گونه *Piriformospora indica* روی گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana* L.) و سینگ و وارما (singh & varma, 2005) توسط *Sebacina vermifera* در ذرت (*Zea mays* L.) مطابقت دارد.



شکل ۷- رابطه بین عملکرد دانه و تعداد دانه بوته در گندم

Fig. 7- Relation between grain yield and number of grain in wheat plant.



شکل ۸- همبستگی تعدادی از صفات مورد مطالعه با عملکرد دانه

Fig. 8- Correlation of some studied parameters with grain yield.

ns، * و ** به ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشـور و دانشـگاه مراغه به دلیل همکاری‌هایشان تشکر می‌گردد.

منابع

1- Abo-Ghalia, H.H., and Khalafallah, A.A. 2008. Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4: 570-580.
2- Al-Karaki, G., and Hammad, N.R. 2001. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. Journal of Plant Nutrition 24: 1311-1323.
3- Al-Karaki, G.N., and Al-Raddad, A. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. Mycorrhiza 7: 83–88.
4- Auge, R.M. 2001. Water relations, drought and VA mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11: 3–42.
5- Baldi, A., Jain, A., Gupta, N., Srivastava, A.K., and Bisaria, V.S. 2008. Co-culture of arbuscular mycorrhiza-like fungi (*Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera*) with plant cells of *Linum album* for enhanced production of podophyllotoxins: a first report. Biotechnology Letters 30: 1671-1677.
6- Baltruschat, H., Fodor, J.B.D., Harrach, E., Niemczyk, B., Barna, G., Gullner, A., Janeczko, K., Kogel, H., Schäfer, P., Schwarczinger, I., Zuccaro, A., and Skoczowski., A. 2008. Salt tolerance of barley induced by the root endophyte *Piriformospora indica* is associated with a strong increase in antioxidants. New Phytologist 180: 501-510.
7- Beltrano, J., and Ronco, M.G. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: effect on growth and cell membrane stability. Brazilian Society of Plant Physiology 20(1): 29-37.
8- Bethlenfalvay, G.J., Brown, M.S., Ames, R.N., and Thomas, R.S. 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. Physiologia Plantarum 72: 565-571.
9- Feng, G., Zhang, F.S., Li, X.L., Tian, C.Y., and Tang Regel, C.Z. 2002. Improved tolerance of mays plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza 12: 185-190.
10- Ghahfarokhi, R.M., and Goltapeh, M.E. 2010. Potential of the root endophytic fungus *Piriformospora indica*; *Sebacina vermifera* and *Trichoderma species* in biocontrol of take-all disease of wheat *Gaeumannomyces graminis* var. Tritici in vitro. Journal of Agricultural Technology 6: 11-18.
11- Giri, B., and Mukerji, K.G. 2004. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptica* and *S. gradiflora* under field condition: evidenced for reduced sodium and improved magnesium uptake. Mycorrhizal 14: 307-312.
12- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., and Zhang, C. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science 169: 313-321.
13- Hu, Y., and Schmidhalter, U. 1998. Spatial distribution of inorganic ions and sugars contributing to osmotic adjustment in the elongating wheat leaf under saline soil conditions. Australian Journal of Plant Physiology 25: 591-597.
14- Kafi, M.A., and Mahdavi Damghani, M. 2003. Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants. Ferdwsi University of Mashhad Publication, Iran 467 pp. (In Persian)
15- Kharkwal, A.C., Prasad, R., Kharkwal, H., Das, A., Bhatnagar, K., Sherameti, I., Oelmüller, R., and Varma, A. 2007. Co-cultivation with Sebacinales. p. 247-270 In: Varma, A., Oelmüller, R., (Ed.) Soil Biology. (Vol. 11. Advanced Techniques in Soil Microbiology). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
16- Kohler, J., Caravaca, F., and Roldan, A. 2009a. Effect of drought on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa* grown in a degraded soil inoculated with PGPR and AM fungi. Applied Soil Ecology 42: 160-165.
17- Kohler, J., Hernández, J.A., Caravaca, F., and Roldán, A. 2009b. Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. Environmental and Experimental Botany 65: 245-252.
18- Kumar, M., Yadav, V., Tuteja, N., and Johri, A.K. 2009. Antioxidant enzyme activities in mays plants colonized with *Piriformospora indica.* Microbiology 155: 780-790.
19- Kumar, V., Sahai, V., and Bisaria, V.S. 2011. High-density spore production of *Piriformospora indica*, a plant growth-promoting endophyte, by optimization of nutritional and cultural parameters. Bioresource Technology 102: 3169-75.
20- Kungu, J.B., Lasco, R.D., Cruz, L.U.D., Cruz, R.E.D., and Husain, T. 2008. Effect of vesicular arbuscular

mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on copping ability and drought resistance of senna spectabilis. Pakistan Journal of Botany 40: 2217-2224.
21- Lugtenberg, B., and Kamilova, F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. Annual Review of Microbiology 63: 541-56.
22- Manafi, H. 2010. Influence of mycorrhizosphere on soil hydraulic properties and tomato tolerance to water deficit stress. MS Thesis, University of Tabriz, Iran. (In Persian with English Summary)
23- Mansoori, H., and Ahmadi moghadam, A. 2007. Effect of mycorrhiza in salt resistance of barley (*Hordum vulgare*). Research Journal of University of Isfahan 7: 27-38. (In Persian with English Summary)
24- Norris, I.R., Read D.J., and Varma, A.K. 1992. Methods in Microbiology. Techniques for Study of Mycorrhiza. Academic Press, London 450 pp.
25- Oelmüller, R., Sherameti, I., Tripathi, S., and Varma, A. 2009. *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. Symbiosis 19: 1-19.
26- Rabie, G., and Almadini, A.M. 2005. Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of *Vicia faba* plants under salinity stress, African Journal of Biotechnology 4(3): 210-222.
27- Ruiz-Lozano, J.M., Azcon, R., and Gomez, M. 1996. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal *Glomus species* in *Lactuca sative* plant. Physiologia Plantarum 98: 767-772.
28- Safir, G.R., Boyer, J.S., and Gerdemann, J.W. 1972. Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. Plant Physiology 49:700-703.
29- Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India 407 pp.
30- Sherameti, I., Shahollari, B., Venus, Y., Altschmied, L., Varma A., and Oelmüller, R. 2005. The endophytic fungus Piriformospora indica stimulates the expression of nitrate reductase and the starch-degrading enzyme glucan-water dikinase in tobacco and *Arabidopsis* roots through a homeodomain transcription factor which binds to a conserved motif in their promoters. Journal of Biological Chemistry 280: 2641-7.
31- Singh, A., and Varma, A. 2005. Functional and immuno-characterization of sebacinaes: fungi with a broad mycorrhizal potentials. Scientific World 3: 53-61.
32- Smith, S.E., and Read, D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis 2nd Edition. Academic Press. USA 803 pp.
33- Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. Electronic Journal of Biology 1: 44-48.
34- Sun, C., Johnson, J.M., Cai, D., Sherameti, I., Oelmüller, R., and Lou, B. 2010. *Piriformospora indica* confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought-related genes and the plastid-localized CAS protein. Journal of Plant Physiology 167: 1009-1017.
35- Thomas, R.S., Dakessian, S., Ames, R.N., Brown, M.S., and Bethlenfalvay, G.J. 1986. Aggregation of a silty clay loam by mycorrhizal onion roots. Soil Science Society of America Journal 50: 1494–1499.
36- Varma, A, Verma, S., Sudha Sahay, N.S., Bütehorn, B., and Franken, P. 1999. *Piriformospora indica*, a cultivable plant growth promoting root endophyte. Applied and Environmental Microbiology 65: 2741-4.
37- Varma, A., Singh, A., Sudha, Sahay, N., Sharma, J., Roy, A., Kumari, M., Rana, D., Thakran, S., Deka, D., Bharti, K., Franken, P., Hurek, T., Blechert, O., Rexer, K-H., Kost, G., Hahn, A., Hock, B., Maier, W., Walter, M., Strack, D., and Kranner, I. 2001. *Piriformospora indica*: an axenically culturable mycorrhiza-like endosymbiotic fungus. In: Hock, B., ed. Mycota IX. Springer, Berlin Heidelberg New York p. 123-150.
38- Verma, SA, Varma, A., Rexer, K.H., Hassel, A., Kost, G., Sarbhoy, A., Bisen, P., Butehorn, B., and Franken, Ph. 1998. *Piriformospora indica*, gen. et sp. nov., a new root-colonizing fungus. Mycologia 90(5): 896-903.
39- Vierheilig, H., Coughlan, A.P., Wyss, U., and Piche, Y. 1998. Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. Applied and Environmental Microbiology 64(12): 5004-5007.
40- Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Huckelhoven, R., Neumann, Ch., Wettstein, D., Franken, P., and Kogel, K.H. 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America 102(38): 13386-91.
41- Warcup, J.H., and Talbot, P.H.B. 1967. Perfect states of rhizoctonias associated with orchids. New Phytologists 66: 631-641.
42- Wu, Q.S., and Xia, R.X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163: 417-425.
43- Wu, Q.S., Xia, R.X., and Zou, Y.N. 2008. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. European Journal of Soil Biology 44: 122-128.