



دانشگاه سیلان

دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

سال سوم / شماره سوم / ۱۳۹۲ (۲۲۶-۲۱۱)

## اثر قارچ‌های *Piriformospora indica* و *Glomus mosseae* و سطوح مختلف مواد آلی بر روابط بین صفات مرتبط با عملکرد گندم

یاسر یعقوبیان<sup>۱</sup>، خلیل عالمی سعید<sup>۲</sup>، همت‌اله پیردشتی<sup>۳\*</sup>، ابراهیم محمدی گل تپه<sup>۴</sup>، ولی فیضی اصل<sup>۵</sup> و عزت‌اله اسفندیاری<sup>۶</sup>

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان،  
۳- دانشیار گروه زراعت پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،  
۴- استاد گروه بیماری شناسی دانشگاه تربیت مدرس، ۵- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور،  
۶- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۱۳)

### چکیده

به منظور بررسی عکس‌العمل عملکرد و اجزای عملکرد گندم به قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا در سطوح مختلف مواد آلی و همچنین روابط بین صفات موثر بر عملکرد دانه، آزمایشی گلخانه‌ای در بهار ۱۳۸۹ در گلخانه موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارها شامل ماده آلی از منبع کمپوست مصرف شده قارچ خوراکی در سه سطح (صفر، ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار) و همزیستی قارچی در چهار سطح (عدم تلقیح، میکوریزا (*Glomus mosseae*))، شبه میکوریزا (*Piriformospora indica*) و تلقیح همزمان دو قارچ) بود. صفات مورد اندازه‌گیری شامل عملکرد و اجزای عملکرد گیاه و همچنین صفاتی مانند طول پدانکل، طول اکستراژن، ارتفاع بوته و طول سنبله بود. نتایج نشان داد که استفاده از کمپوست در تمامی صفات مورد مطالعه به جز وزن هزار دانه اثر مثبت معنی‌داری داشت. هرچند در سطوح پایین ماده آلی، قارچ *P. indica* و در سطوح متوسط و بالای آن قارچ *G. mosseae* عملکرد دانه و بیولوژیک بالاتری داشتند اما در مجموع صفات مورد مطالعه تلقیح همزمان دو قارچ بهترین کارایی را نشان داد. تجزیه رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت به طور جداگانه در هر سطح ماده آلی نشان داد که در تیمار بدون کمپوست صفات تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه، در تیمار مصرف ۲۵ تن کمپوست صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و درصد باروری سنبله و در تیمار مصرف ۵۰ تن کمپوست عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در فرمول نهایی وارد شدند که از این میان در کمپوست صفر تعداد دانه در بوته و در ۲۵ و ۵۰ تن عملکرد بیولوژیک بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد دانه داشتند.

**واژه‌های کلیدی:** تجزیه علیت، رگرسیون گام به گام، شبه‌میکوریزا، کمپوست، میکوریزا

\* نویسنده مسئول: pirdasht@yahoo.com; h.pirdashti@sanru.ac.ir

## مقدمه

بوده و می‌تواند به راحتی در محیط‌های کشت مصنوعی مختلف بدون نیاز به همزیستی کشت شود و این یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این قارچ نسبت به میکوریزای آربوسکولار به‌شمار می‌رود (Varma et al., 2001). گزارش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد همزمان کمپوست و قارچ میکوریزا باعث افزایش رشد و پخشیدگی میسلیوم-های قارچ میکوریزا در داخل خاک شده (Labidi et al., 2007) و از این رو ترکیب کمپوست و قارچ میکوریزا می‌تواند وضعیت تغذیه‌ای و رشد گیاه را بهبود دهد که گمان می‌رود این امر به دلیل تغذیه بهتر گیاه و در نتیجه توانایی بیشتر آن برای تأمین مواد هیدروکربنی مورد نیاز میکوریزا است (Perner et al., 2007). اورتاس و همکاران (Ortas et al., 2009) نشان دادند که کاربرد ترکیبی کمپوست مصرف‌شده قارچ خوراکی و قارچ میکوریزای آربوسکولار باعث افزایش رشد گیاه فلفل و گوجه‌فرنگی می‌شود. سیکدر و همکاران (Sikder et al., 2010) نیز در آزمایشی که در ارتباط اثر میکوریزا و کمپوست مصرف‌شده قارچ خوراکی در پیاز انجام دادند افزایش رشد رویشی و عملکرد این گیاه را در استفاده ترکیبی آن‌ها گزارش نمودند. بنابراین پژوهش حاضر به منظور بررسی عکس-العمل صفات مرتبط با عملکرد گندم به تأثیر استفاده همزمان کمپوست مصرف‌شده قارچ خوراکی همراه با قارچ میکوریزای *Glomus mosseae* و همچنین بررسی روابط موجود میان عملکرد و صفات وابسته به آن در سطوح مختلف ماده آلی طراحی و اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار ۱۳۸۹ در گلخانه‌ی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (مراغه) و به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل کمپوست مصرف-شده قارچ خوراکی در سه سطح (صفر، ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار) و همزیستی قارچی در چهار سطح [عدم تلقیح، تلقیح قارچ میکوریزای *Glomus mosseae* (Gm)، تلقیح قارچ شبه‌میکوریزای *Piriformospora indica* (Pi) و تلقیح همزمان دو قارچ میکوریزا و شبه‌میکوریزا (Gm+Pi)] بود.

خاک مورد استفاده حاوی نسبت ۱:۲ خاک مزرعه و

کمپوست به عنوان یکی از مهم‌ترین کودهای زیستی (Ortas et al., 2009) با فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول (Arancon et al., 2004) باعث افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود رشدی گیاه می‌شود (Celik et al., 2004). از سوی دیگر کمپوست مصرف‌شده قارچ خوراکی نیز نوعی کمپوست است که محصول زائد تولید قارچ خوراکی بوده و به عنوان فراورده جنبی صنعت قارچ خوراکی به حساب می‌آید که دور ریختن آن در طبیعت باعث ایجاد مشکلات محیطی می‌شود (Levanon and Danai, 1995). هر چند این ماده برای کشت دوباره قارچ خوراکی اقتصادی نیست ولی در عوض ماده‌ای با ارزش برای اصلاح خاک و همچنین منبع تغذیه‌ای مناسب برای مزارع است و مواد ارگانیکی به خاک اضافه می‌کند که ساختمان خاک، ظرفیت نگهداری آب، مواد غذایی و در نتیجه باروری خاک را افزایش داده و نیاز تغذیه‌ای گیاه را برای محصول دهی تأمین می‌کند و بدینسان می‌تواند جایگزین کودهای شیمیایی غیر ارگانیک شود (Levanon and Danai, 1995; Kutuk et al., 1998; Stewart et al., 1998; Onal and Topcuoglu, 2008). در همین زمینه پولات و همکاران (Polat et al., 2004) نتیجه گرفتند که استفاده از سطوح ۲ و ۴ تن در هکتار کمپوست مصرف‌شده قارچ خوراکی باعث افزایش عملکرد کاهو می‌شود. اونال و تاپکوقلو (Onal and Topcuoglu, 2008) نیز افزایش عملکرد میوه و جذب عناصر N، P، K، Fe و Zn را در گیاه فلفل دلمه‌ای در واکنش به کاربرد این نوع کمپوست گزارش کردند. علاوه بر این افزایش کمپوست مصرف‌شده قارچ خوراکی به خاک باعث بهبود محیط فیزیکی رشد ریشه، کاهش کلوخه و تشکیل سله سطحی خاک، افزایش سرعت نفوذ خاک و بهبود گنجایش رطوبتی خاک شد (Stewart, 1995).

از طرف دیگر قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار و شبه-میکوریزای *Piriformospora indica* دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی بوده و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (Sharma, 2002; Oelmulder et al., 2009). قارچ *P. indica* برخلاف میکوریزای آربوسکولار همزیست اختیاری

اتوکلاو شده اضافه شد. قارچ‌ها به صورت خطی در ۳ سانتی‌متری زیر بذر قرار گرفتند.

بذور گندم پاییزه رقم آذر ۲ از بخش غلات مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور تهیه شد. بذور ابتدا با هیپوکلرید سدیم ۱ درصد به مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی (Gong et al., 2005) و سپس به مدت ۴۵ روز در دمای ۳-۴ درجه قرار گرفتند تا ورنالیزه شوند. بذور پس از ورنالیزه شدن در عمق دو سانتی‌متری داخل گلدان‌ها کشت شدند. در داخل هر گلدان ۱۵ بذر کشت شد که در مرحله ۳ برگی به ۱۰ بوته کاهش یافت.

آبیاری گلدان‌ها تا مرحله رسیدگی دانه به طور روزانه در حد ظرفیت زراعی انجام گرفت. پس از رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه، هر ۱۰ بوته گلدان کف بر شده و صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد (عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد سنبله در بوته، شاخص برداشت سنبله، درصد باروری سنبلچه، تعداد دانه در سنبله و وزن هر سنبله) و صفات مورفولوژیک (طول پدانکل، طول بیرون آمدگی پدانکل یا اکستراژن، ارتفاع بوته و طول سنبله) اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها قبل از اندازه‌گیری به مدت ۲۴ ساعت در ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند.

داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار آماری GenStat 12 تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون New LSD در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین ضرایب همبستگی ساده بین صفات و تجزیه رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته و کلیه صفات دیگر به عنوان متغیرهای

ماسه بود که پس از عبور از الک دو میلی‌متری، به مدت ۴۸ ساعت در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (بدون استفاده از فشار هوا) استریل شد (Kungu et al., 2008). برای این پژوهش گلدان‌هایی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و در هر گلدان از ۱/۵ کیلوگرم سنگریزه ضدعفونی شده با هیپوکلریت سدیم ۲ درصد (برای زهکشی مناسب) و ۱۰ کیلوگرم خاک آون خشک استفاده شد. میزان کمپوست در هر تیمار با توجه به متوسط وزن مخصوص ظاهری مزارع ایستگاه تحقیقات دیم و به صورت وزنی به خاک گلدان‌ها اضافه شد. جدول ۱ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و کمپوست مصرف شده قارچ خوراکی را نشان می‌دهد.

جدایه قارچ *P. indica* از بخش بیماری شناسی دانشگاه تربیت مدرس تهیه شده و در محیط کشت کفر (Kaefer) (Sherameti et al., 2005) در پتری‌دیش به مدت ۲ هفته کشت شد. سپس به محیط کشت مایع منتقل و به مدت دو هفته در انکوباتور با دمای ۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۵۰ دور در دقیقه (rpm) در تاریکی قرار داده شد. برای تلقیح، ۱۰ میلی‌لیتر از محیط کشت حاوی تعداد زیادی از قطعات قارچ به قطر حدود ۶ میلی-متر در هر گلدان استفاده شد. برای گلدان‌های بدون *P. indica* نیز ۱۰ میلی‌لیتر از محیط کشت اتوکلاو شده اضافه شد.

در قارچ *G. mosseae* از اسپوره‌های 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 شد. در گلدان‌های بدون میکوریزا نیز ۵۰ گرم مایه تلقیح

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و کمپوست مصرف‌شده قارچ خوراکی

Table 1. Physical and chemical characteristics of soil and spent mushroom compost

بافت خاک	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	نیترژن N	فسفر P	پتاسیم K	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	
								Soil texture	درصد (%)
خاک Soil	شنی لومی Sandy loam	14	17	69	0.04	4.8	251	7.40	0.11
کمپوست مصرف‌شده قارچ خوراکی Spent mushroom compost	-	-	-	1.98	0.26 (%)	1.1 (%)	7.5	7.10	

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کمپوست و قارچ بر صفات مورد بررسی در گندم

Table 2. Analysis of variance for the effect of compost and fungi on studied characteristics of wheat

S.O.V.	منابع تغییر	میانگین مربعات (MS)			خطای آزمایشی Error	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
		کمپوست Compost	قارچ Fungi	کمپوست × قارچ Compost × Fungi		
df	درجه آزادی	2	3	6	36	
Grain yield	عملکرد دانه	26.15**	0.28**	0.07*	0.02	6.8
Biological yield	عملکرد بیولوژیک	120.20**	1.13**	0.35**	0.07	5.3
Harvest index	شاخص برداشت	139.49**	6.33 <sup>ns</sup>	13.62 <sup>ns</sup>	12.73	8.4
1000-grain weight	وزن هزار دانه	66.83**	5.10 <sup>ns</sup>	12.78 <sup>ns</sup>	6.38	7.4
No. of grain/plant	تعداد دانه در بوته	26031.16**	226.79**	61.50*	20.37	6.7
No. of spike/plant	تعداد سنبله در بوته	28.31**	0.06	0.09 <sup>ns</sup>	0.63**	8.6
Harvest index of spike	شاخص برداشت سنبله	18.05**	5.64 <sup>ns</sup>	6.49 <sup>ns</sup>	2.75	2.3
Spikelet fertility percentage	درصد باروری سنبلچه	688.53**	10.17 <sup>ns</sup>	10.12 <sup>ns</sup>	4.76	2.5
No. of grain/spikelet	تعداد دانه هر سنبله	459.03**	11.69**	6.72*	2.2	6.8
Spike weight	وزن هر سنبله	0.57**	0.03*	0.01 <sup>ns</sup>	0.01	9.9
Peduncle length	طول پدانکل	196.20**	5.24 <sup>ns</sup>	7.94 <sup>ns</sup>	7.27	7.2
Extrusion length	طول اکستراژن	93.01**	3.36 <sup>ns</sup>	4.07 <sup>ns</sup>	5.23	10.9
Plant height	ارتفاع بوته	1353.75**	12.93 <sup>ns</sup>	33.73 <sup>ns</sup>	34.28	6.8
Spike length	طول سنبله	18.31**	0.05 <sup>ns</sup>	0.17**	0.05	2.9

\* و \*\* معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. ns غیر معنی‌دار.

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

درصد باروری سنبلچه، وزن هر سنبله، طول پدانکل و اکستراژن و همچنین ارتفاع بوته داشت که در این میان تعداد سنبله در بوته با افزایش بیش از ۲/۵ برابر نسبت به کمپوست صفر، بیشترین عکس‌العمل را به تغییرات میزان ماده آلی نشان داد. ولی تغییرات وزن هزار دانه در قبال افزایش سطوح کمپوست با سایر صفات متفاوت بوده و با افزایش مقدار کمپوست کاهش یافت که این کاهش در سطح کمپوست ۲۵ تن حدود ۹ درصد و در سطح ۵۰ تن حدود ۱۰ درصد بود (جدول ۳). این نتایج با نتایج پولات و همکاران (Polat *et al.*, 2004) در گیاه کاهو و اونال و تاپکوقلو (Onal and Topcuoglu, 2008) در گیاه فلفل مطابقت دارد. اثر ساده تیمار قارچی در صفات تعداد سنبله در بوته و وزن هر سنبله معنی‌دار بود (جدول ۲). بر این اساس تلقیح همزمان دو قارچ در تعداد سنبله و تلقیح جداگانه میکوریزا و شبه‌میکوریزا در وزن هر سنبله اثر مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۳).

مستقل، در هر سطح ماده آلی (کمپوست) صورت گرفته و سپس با توجه به صفات وارد شده در معادله رگرسیون تجزیه علیت برای عملکرد دانه با استفاده از نرم افزارهای Minitab 16 و Path 2 انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده از آزمایش (جدول ۲) نشان داد که اثر ساده رطوبت بر تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین تیمار تلقیح قارچی بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در بوته، تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در هر سنبله در سطح یک درصد و در وزن هر سنبله در سطح ۵ درصد اثر معنی‌داری داشت. با توجه به نتایج، کاربرد کمپوست مصرف شده قارچ خوراکی اثر مثبت معنی‌داری بر صفات شاخص برداشت، تعداد سنبله در بوته، شاخص برداشت سنبله،

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده کمپوست و قارچ بر صفات مورد بررسی در گندم  
Table 3. Wheat yield related traits as influenced by compost and fungi

منابع تغییر S.O.V.	شاخص Harvest index	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight (g)	تعداد سنبله در بوته No. of Spike/plant	شاخص برداشت سنبله Harvest index of spike	درصد باروری سنبله Spikelet fertility percentage	وزن هر سنبله (گرم) Spike weight (g)	طول پدانکل Peduncle length	طول اکستراژن Extrusion length (سانتی متر) (cm)	ارتفاع بوته Plant height
0	38.95 <sup>b</sup>	36.50 <sup>a</sup>	1.39 <sup>c</sup>	71.33 <sup>b</sup>	79.68 <sup>b</sup>	0.793 <sup>b</sup>	33.21 <sup>b</sup>	18.25 <sup>b</sup>	75.91 <sup>b</sup>
25	43.73 <sup>a</sup>	33.17 <sup>b</sup>	3.32 <sup>b</sup>	73.16 <sup>a</sup>	90.53 <sup>a</sup>	1.107 <sup>a</sup>	39.62 <sup>a</sup>	22.71 <sup>a</sup>	91.70 <sup>a</sup>
50	44.33 <sup>a</sup>	32.79 <sup>b</sup>	3.94 <sup>a</sup>	73.17 <sup>a</sup>	91.5 <sup>a</sup>	1.130 <sup>a</sup>	38.87 <sup>a</sup>	22.08 <sup>a</sup>	91.98 <sup>a</sup>
کمپوست (تن در هکتار) Compost (Mg ha <sup>-1</sup> )									
شاهد (Control)	42.41 <sup>a</sup>	34.72 <sup>a</sup>	2.77 <sup>b</sup>	72.37 <sup>a</sup>	86.45 <sup>a</sup>	0.96 <sup>c</sup>	36.45 <sup>a</sup>	20.29 <sup>a</sup>	85.12 <sup>a</sup>
Gm	41.43 <sup>a</sup>	33.54 <sup>a</sup>	2.70 <sup>b</sup>	72.94 <sup>a</sup>	87.50 <sup>a</sup>	1.05 <sup>ab</sup>	36.94 <sup>a</sup>	20.98 <sup>a</sup>	86.43 <sup>a</sup>
Pi	42.31 <sup>a</sup>	34.71 <sup>a</sup>	2.87 <sup>b</sup>	71.67 <sup>a</sup>	86.56 <sup>a</sup>	1.06 <sup>a</sup>	37.64 <sup>a</sup>	21.26 <sup>a</sup>	87.48 <sup>a</sup>
Gm+Pi	43.20 <sup>a</sup>	33.64 <sup>a</sup>	3.22 <sup>a</sup>	73.23 <sup>a</sup>	88.42 <sup>a</sup>	0.97 <sup>bc</sup>	37.91 <sup>a</sup>	21.52 <sup>a</sup>	87.10 <sup>a</sup>
قارچ Fungi									

در هر ستون و هر تیمار میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵ 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 based on LSD test.

۴). تعداد دانه در بوته در سطح کمپوست صفر، در تلقیح میکوریزا و تلقیح همزمان میکوریزا و شبه میکوریزا و همچنین در سطوح ۲۵ و ۵۰ تن کمپوست، در تلقیح شبه میکوریزا و تلقیح همزمان دو قارچ، نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری داشت. در صفات تعداد دانه در سنبله و طول سنبله نیز، قارچ میکوریزا و تلقیح همزمان دو قارچ در تیمار بدون کمپوست اثر مثبت معنی‌داری داشت (جدول ۴). این نتایج می‌تواند در اثر افزایش رشد و پوشیدگی میسلیوم‌های قارچ میکوریزا در داخل خاک حاوی کمپوست مصرف‌شده قارچ خوراکی (Labidi et al., 2007) و در نتیجه بهبود وضعیت تغذیه‌ای و رشد گیاه (Perner et al., 2007) است. این نتایج با نتایج اورتاس و همکاران (Ortas et al., 2009) در گیاه فلفل و گوجه‌فرنگی و سیکدر و همکاران (Sikder et al., 2010) در پیاز مطابقت دارد. همچنین قارچ *P. indica* حاوی مقدار قابل توجهی اسید فسفاتاز است که پتانسیل محلول سازی فسفر در خاک و فراهمی آن برای گیاه میزبان را دارد (Malla et al., 2004). بنابراین به نظر می‌رسد این قارچ می‌تواند در خاک‌هایی که غنی از ماده آلی هستند اثر بهتری داشته است.

اثر متقابل تلقیح قارچی و کمپوست مصرف‌شده قارچ خوراکی در عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در هر سنبله و طول سنبله معنی‌دار بود. به طور کلی مصرف کمپوست ۵۰ تن در هکتار عملکرد دانه بوته را به حدود چهار برابر نسبت به تیمار بدون کمپوست افزایش داد. در تیمارهای قارچی، تلقیح قارچ میکوریزای آربوسکولار در هیچ یک از سطوح کمپوست تفاوت معنی‌داری با شاهد (تیمار عدم تلقیح) نداشت ولی تلقیح شبه میکوریزا در سطوح کمپوست ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار به صورت معنی‌داری عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین تلقیح همزمان دو قارچ نیز در سطوح صفر و ۵۰ تن کمپوست باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد بیولوژیک نیز افزایش کمپوست باعث افزایش معنی‌داری در این صفت شد. در بین تیمارهای قارچی در سطح صفر کمپوست، تیمارهای تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح همزمان دو قارچ و در سطوح کمپوست ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار تیمارهای تلقیح قارچ شبه میکوریزا و تلقیح همزمان دو قارچ عملکرد بیولوژیک بوته را به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل کمپوست و قارچ بر صفات مورد بررسی در گندم

Table 4. Interaction effect of compost and fungi on studied characteristics of wheat

منابع تغییر		عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	تعداد دانه در بوته	تعداد دانه در سنبله	طول سنبله (سانتی‌متر)
کمپوست (تن در هکتار) Compost (Mg ha <sup>-1</sup> )	قارچ Fungi	Grain yield (g/plant)	(گرم در بوته) Biological yield (g/plant)	No. of grain/plant	No. of grain/spikelet	Spike length (cm)
0	شاهد (Control)	0.65 <sup>g</sup>	1.62 <sup>f</sup>	16.57 <sup>g</sup>	13.16 <sup>e</sup>	6.34 <sup>e</sup>
	Gm	0.82 <sup>fg</sup>	2.43 <sup>c</sup>	23.92 <sup>ef</sup>	17.50 <sup>c</sup>	6.69 <sup>d</sup>
	Pi	0.73 <sup>g</sup>	1.91 <sup>f</sup>	19.55 <sup>fg</sup>	14.82 <sup>de</sup>	6.55 <sup>de</sup>
	Gm+Pi	1.01 <sup>f</sup>	2.38 <sup>e</sup>	27.50 <sup>e</sup>	16.74 <sup>cd</sup>	6.83 <sup>d</sup>
25	شاهد (Control)	2.53 <sup>e</sup>	5.70 <sup>d</sup>	75.32 <sup>d</sup>	24.29 <sup>ab</sup>	8.24 <sup>c</sup>
	Gm	2.66 <sup>de</sup>	6.09 <sup>cd</sup>	80.45 <sup>cd</sup>	24.95 <sup>ab</sup>	8.49 <sup>abc</sup>
	Pi	2.81 <sup>cd</sup>	6.38 <sup>c</sup>	83.55 <sup>c</sup>	25.51 <sup>a</sup>	8.40 <sup>abc</sup>
	Gm+Pi	2.70 <sup>de</sup>	6.31 <sup>c</sup>	83.95 <sup>c</sup>	22.87 <sup>b</sup>	8.39 <sup>bc</sup>
50	شاهد (Control)	2.97 <sup>bc</sup>	6.94 <sup>b</sup>	95.29 <sup>b</sup>	24.30 <sup>ab</sup>	8.72 <sup>a</sup>
	Gm	3.08 <sup>b</sup>	6.89 <sup>b</sup>	91.15 <sup>b</sup>	26.02 <sup>a</sup>	8.55 <sup>abc</sup>
	Pi	3.51 <sup>a</sup>	7.79 <sup>a</sup>	104.50 <sup>a</sup>	26.24 <sup>a</sup>	8.57 <sup>ab</sup>
	Gm+Pi	3.42 <sup>a</sup>	7.63 <sup>a</sup>	105.30 <sup>a</sup>	24.27 <sup>ab</sup>	8.23 <sup>c</sup>

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری مطابق آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) have not significantly different at 5% probability level based on LSD test.

کرده‌اند. علاوه بر آن در شرایط عدم مصرف کمپوست مصرف شده قارچ خوراکی، تمامی صفات مورد مطالعه بجز شاخص برداشت و وزن هزار دانه همبستگی مثبت معنی-داری با عملکرد دانه داشته‌اند که این معنی‌داری در شرایط استفاده از کمپوست ۲۵ تن، تنها محدود به صفات عملکرد بیولوژیک و تعداد دانه در بوته بوده است و سایر صفات نیز (علیرغم معنی‌دار نبودن) همبستگی مثبتی با عملکرد دانه داشته‌اند. ولی در سطح کمپوست ۵۰ تن در هکتار علاوه بر اینکه تنها صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در بوته و شاخص برداشت همبستگی مثبت معنی-داری با عملکرد دانه داشتند بلکه صفاتی مانند درصد باروری سنبله، طول پدانکل، طول اکسترانژن، ارتفاع بوته و طول سنبله که در سطوح پایین ماده آلی، با عملکرد دانه همبستگی مثبت داشتند در این سطح ماده آلی همبستگی منفی اما غیرمعنی‌دار نشان دادند. از طرف دیگر صفت شاخص برداشت که در هیچ یک از سطوح صفر و ۲۵ تن کمپوست همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نداشت در سطح ۵۰ تن، همبستگی مثبت معنی‌داری ( $0/65^*$ ) نشان داد. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2012)، ایندو و همکاران (Indoo *et al.*, 2004) و لیلا و خطیب (Leilah and Al-Khateeb, 2005) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص برداشت و عملکرد دانه گندم گزارش کرده‌اند.

برای حذف متغیرهای کم اهمیت و همچنین تعیین سهم اثرات تجمعی صفات در عملکرد دانه، در هر یک از سطوح ماده آلی، از تجزیه رگرسیون گام به گام استفاده شد. برای این منظور عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته در برابر دیگر صفات اندازه‌گیری شده به عنوان متغیرهای مستقل، مورد تجزیه قرار گرفت که نتایج آن برای هر یک از سطوح کمپوست مصرف شده قارچ خوراکی به ترتیب در جدول‌های ۸، ۹ و ۱۰ آورده شده است. در شرایط عدم مصرف کمپوست تعداد دانه در بوته به عنوان اولین صفتی بود که وارد مدل شد و به تنهایی ۹۰/۱۱ درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد. پس از آن متغیر وزن هزار دانه وارد مدل شده و همراه با تعداد دانه در بوته ۹۹/۷۱ درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد (جدول ۸). برخلاف سطح کمپوست صفر، در کمپوست ۲۵ تن در هکتار صفاتی که وارد مدل تجزیه رگرسیونی عملکرد دانه شده‌اند به ترتیب عبارت بودند از عملکرد بیولوژیک، شاخص

بر اساس نتایج این پژوهش، تلقیح قارچ میکوریزا در سطوح پایین ماده‌ی آلی و تلقیح قارچ شبه‌میکوریزا در سطح متوسط و بالای ماده آلی افزایش قابل توجهی در عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بوته نسبت به تیمار عدم تلقیح داشته‌اند که می‌توان دلیل این نتیجه را به رفتار ساپروفیتی قارچ شبه‌میکوریزا نسبت داد که در سطوح بالای مواد آلی کارایی بیشتری دارد. علاوه بر این تلقیح همزمان دو قارچ هم در عملکرد دانه و هم در عملکرد بیولوژیک تقریباً در تمامی سطوح کمپوست نتیجه قابل قبولی از خود نشان داده که می‌تواند ناشی از همپوشانی این قارچ‌ها در سطوح مختلف ماده آلی است بنابراین از تلقیح همزمان این دو قارچ می‌توان به عنوان مکملی برای یکدیگر در خاک‌هایی با ماده آلی متفاوت بهره برد.

عملکرد دانه مهم‌ترین صفت مورد ارزیابی در غلاتی مانند گندم است که تحت تأثیر اجزای عملکرد قرار می‌گیرد. بنابراین تعیین روابط میان عملکرد و اجزای آن از اهمیت ویژه‌ای برای افزایش عملکرد در شرایط مختلف رشدی برخوردار است. ضرایب همبستگی ساده میان کلیه صفات مورد بررسی در سطوح صفر، ۲۵ و ۵۰ تن ماده آلی، به ترتیب در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ آورده شده است. نتایج نشان داد که در سطح صفر ماده آلی تعداد دانه در بوته ( $0/95^*$ ) و تعداد سنبله در بوته ( $0/85^*$ ) بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد دانه داشت (جدول ۵). در تیمارهای ماده آلی نتایج همبستگی بین صفات مورد مطالعه قدری متفاوت از نتایج تیمار بدون کمپوست بود به طوری که در سطح ماده آلی ۲۵ تن در هکتار صفات عملکرد بیولوژیک ( $0/77^*$ ) و تعداد دانه در بوته ( $0/64^*$ ) و همچنین در سطح کمپوست ۵۰ تن در هکتار نیز عملکرد بیولوژیک ( $0/95^*$ ) و تعداد دانه در بوته ( $0/80^*$ ) بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد دانه داشتند (جدول ۶ و ۷). قادری و همکاران (Ghaderi *et al.*, 2009)، لیلا و خطیب (Leilah and Al-Khateeb, 2005) و کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2005) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گزارش کرده‌اند. همچنین حسن‌زاده قوروت‌تپه و همکاران (Hassanzadeh *et al.*, 2008) انتخاب ژنوتیپ‌های برخوردار از عملکرد بیولوژیک بالا را به عنوان یک راه حل مناسب جهت بالا بردن میزان عملکرد دانه در گندم پیشنهاد

جدول ۵- همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط عدم مصرف کمپوست (n=۱۶)  
Table 5. Correlation between studied characteristics of wheat when no compost was applied (n=16)

شماره No	صفات characteristics	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Grain yield	عملکرد دانه	1												
2	Biological yield	عملکرد بیولوژیک	0.74**	1											
3	Harvest index	شاخص برداشت	0.45	0.04	1										
4	1000-grain weight	وزن هزار دانه	0.39	-0.12	0.27	1									
5	No. of grain/plant	تعداد دانه در بوته	0.95**	0.84**	0.40	0.08	1								
6	No. of spike/plant	تعداد سنبله در بوته	0.85**	0.62**	0.53*	0.12	0.87**	1							
7	Harvest index of spike	شاخص برداشت سنبله	0.70**	0.31	0.44	0.48	0.60	0.50*	1						
8	Spikelet fertility percentage	درصد باروری سنبلچه	0.71**	0.64**	0.22	0.01	0.77**	0.55*	0.55*	1					
9	No. of grain/spikelet	تعداد دانه هر سنبله	0.70**	0.80**	0.05	-0.03	0.78**	0.37	0.49	0.81**	1				
10	Spike weight	وزن هر سنبله	0.77**	0.60*	0.13	0.53*	0.66**	0.34	0.54*	0.67**	0.81**	1			
11	Peduncle length	طول پدانکل	0.64**	0.59*	0.25	0.14	0.66**	0.56*	0.19	0.58*	0.55*	0.58*	1		
12	Extrusion length	طول اکستراژن	0.59*	0.56*	0.22	0.13	0.60*	0.53*	0.15	0.48	0.47	0.98**	1		
13	Plant high	ارتفاع بوته	0.51*	0.36	0.15	0.32	0.45	0.28	0.19	0.56*	0.51*	0.68**	0.82**	1	
14	Spike length	طول سنبله	0.68**	0.57*	0.08	0.06	0.71**	0.57*	0.50*	0.81**	0.67**	0.58*	0.74*	0.29	1

\*. \*\* Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.



جدول ۶- همبستگی بین صفات مورد مطالعه در مصرف ۲۵ تن کمپوست (n=۱۶)  
Table 6. Correlation between studied characteristics of wheat when 25 ton of compost was applied (n=16)

شماره No	صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Grain yield	1													
2	Biological yield	0.77**	1												
3	Harvest index	0.24	-0.44	1											
4	1000-grain weight	0.09	-0.29	0.57*	1										
5	No. of grain/plant	0.64**	0.76**	-0.26	-0.71**	1									
6	No. of spike/plant	0.30	0.53*	-0.38	-0.71**	0.75**	1								
7	Harvest index of spike	0.18	-0.24	0.60*	0.67**	-0.38	-0.29	1							
8	Spikelet fertility percentage	0.08	0.15	-0.10	-0.16	0.18	0.22	-0.16	1						
9	No. of grain/spikelet	0.18	-0.03	0.30	0.35	-0.13	-0.75**	0.03	-0.14	1					
10	Spike weight	0.14	-0.16	0.44	0.71**	-0.44	-0.89**	0.24	-0.16	0.90**	1				
11	Peduncle length	0.37	0.11	0.35	0.11	0.17	0.14	0.45	0.34	-0.04	-0.05	1			
12	Extrusion length	0.40	0.07	0.47	0.22	0.11	0.11	0.53*	0.29	-0.06	-0.01	0.98**	1		
13	Plant height	0.16	0.30	-0.21	-0.28	0.32	0.32	0.13	0.52*	-0.16	-0.30	0.79**	0.67**	1	
14	Spike length	0.10	0.26	-0.25	0.15	-0.04	-0.39	-0.09	0.28	0.55*	0.49	-0.02	-0.09	0.21	1

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

\*\* \* Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

جدول ۷- همبستگی بین صفات مورد مطالعه در مصرف ۵۰ تن کمپوست (n=۱۶)  
 Table 7. Correlation between studied characteristics of wheat when 50 ton of compost was applied (n=16)

شماره No	characteristics	صفت	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Grain yield	عملکرد دانه	1													
2	Biological yield	عملکرد بیولوژیک	0.95**	1												
3	Harvest index	شاخص برداشت	0.65**	0.37	1											
4	1000-grain weight	وزن هزار دانه	0.32	0.06	0.79**	1										
5	No. of grain/plant	تعداد دانه در بوته	0.80**	0.91**	0.15	-0.31	1									
6	No. of spike/plant	تعداد سنبله در بوته	0.49	0.57*	0.07	-0.45	0.80**	1								
7	Harvest index of spike	ضریب تبدیل سنبله	0.44	0.18	0.86**	0.93**	-0.15	-0.32	1							
8	Spikelet fertility percentage	درصد باروری سنبلچه	-0.01	0.06	-0.15	-0.21	0.14	0.35	-0.19	1						
9	No. of grain/spikelet	تعداد دانه هر سنبله	0.21	0.21	0.09	0.35	-0.04	-0.64**	0.35	-0.38	1					
10	Spike weight	وزن هر سنبله	0.30	0.18	0.43	0.73**	-0.19	-0.68**	0.67**	-0.37	0.89**	1				
11	Peduncle length	طول بدانگل	-0.18	-0.20	-0.04	0.03	-0.21	-0.30	0.03	-0.58**	0.21	0.16	1			
12	Extrusion length	طول اکستراژن	-0.13	-0.22	0.14	0.22	-0.28	-0.31	0.22	-0.65**	0.14	0.20	0.93**	1		
13	Plant height	ارتفاع بوته	-0.25	-0.29	-0.03	0.40	-0.52*	-0.68**	0.23	-0.07	0.47	0.56*	0.27	0.19	1	
14	Spike length	طول سنبله	-0.22	-0.24	-0.08	0.11	-0.31	-0.34	-0.08	0.42	0.16	0.21	-0.20	-0.37	0.45	1

\*\* و \* Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

جدول ۸- تجزیه رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه (متغیر وابسته) با سایر صفات در عدم مصرف کمپوست  
Table 8. Stepwise regression for grain yield (dependent variable) with other characteristics when no compost was applied

متغیر وارد شده به مدل Variables added to the model	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	b در مرحله وارد شدن به مدل b to enter the model	b در مدل نهایی b in the final model	خطای استاندارد Standard error
تعداد دانه در بوته No. grain/plant	90.11	0.039	0.038	0.001
وزن هزار دانه 1000-grain weight	99.71	0.019	0.019	0.001

برداشت و درصد باروری سنبله که سهم اثرات تجمعی آن‌ها در تغییرات عملکرد دانه طی مرحله اول، دوم و سوم به ترتیب ۵۸/۵۵، ۹۹/۹۳ و ۹۹/۹۵ درصد بود (جدول ۹). در سطح کمپوست ۵۰ تن، تنها متغیرهای عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت وارد مدل شده‌اند که عملکرد بیولوژیک به تنهایی ۸۹/۶۵ و همراه با شاخص برداشت ۹۹/۹۹ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد (جدول ۱۰). در شرایط عدم استفاده از کمپوست صفاتی که مربوط به اجزای عملکرد بودند، اثر بیشتری روی عملکرد دانه داشتند، ولی در شرایط استفاده از ماده آلی که شرایط رشدی گیاه را بهبود می‌دهد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت جایگزین آن‌ها می‌شوند و با افزایش سطوح ماده آلی سهم عملکرد بیولوژیک در توجیه تغییرات عملکرد دانه افزایش می‌یابد، به طوری که در سطح کمپوست ۵۰ تن به بیشترین مقدار خود می‌رسد (جدول ۸، ۹ و ۱۰). به نظر می‌رسد بالا بردن عملکرد بیولوژیک در خاک‌هایی با سطوح پایین ماده آلی به دلیل عدم تأمین مناسب مواد غذایی مورد نیاز گیاه کمک چندانی به افزایش عملکرد نخواهد کرد ولی در خاک‌هایی با ماده آلی بالا می‌تواند در افزایش عملکرد گندم مفید واقع شود. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2012) نیز در آزمایشی که در دو شرایط فاریاف و تنش خشکی روی گندم انجام دادند گزارش کردند که عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در هر دو شرایط رطوبتی بیشترین تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. در آزمایش آن‌ها نیز در شرایط مطلوب رشدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شاخص برداشت سهم بیشتری در تغییرات عملکرد دانه داشت. در آزمایشات گل‌پرور و همکاران (Golparvar *et al.*, 2008)، قادری و همکاران (Ghaderi *et al.*, 2009) و ملاصدقی و همکاران

(Mollasadeghi *et al.*, 2011) نیز دو صفت عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نسبت به سایر صفات ضریب تبیین بالاتری نشان دادند، با این تفاوت که در آزمایش قادری و همکاران (Ghaderi *et al.*, 2009) برخلاف این آزمایش ابتدا شاخص برداشت و سپس عملکرد بیولوژیک وارد مدل شد. در آزمایش لیل و خطیب (Leilah and Al-Khateeb, 2005) روی گندم نیز عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت از صفات اصلی وارد شده در مدل بودند. برای تفسیر واضح‌تر و دقیق‌تر نتایج بدست آمده از همبستگی‌های ساده و رگرسیون گام به گام، تجزیه علیت در هر سطح ماده آلی برای صفاتی که وارد مدل رگرسیونی شده بودند انجام گرفت و اثرات مستقیم و غیرمستقیم هر کدام از متغیرها تفکیک شد. به طوری که متغیر عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته، در سطح کمپوست صفر در مقابل تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه، در سطح کمپوست ۲۵ تن در مقابل متغیرهای عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و درصد باروری سنبله و در سطح ۵۰ تن نیز در مقابل صفات شاخص برداشت و درصد باروری سنبله به عنوان متغیرهای مستقل مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۱۱، ۱۲ و ۱۳). براساس نتایج حاصل از تجزیه علیت برای عملکرد دانه در شرایط عدم مصرف کمپوست، متغیر تعداد دانه در بوته با ضریب مسیر ۰/۹۲ بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه بوته داشت (جدول ۱۱)، ولی در هر دو سطح کمپوست ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار ابتدا عملکرد بیولوژیک به ترتیب با ضریب مسیر ۱/۰۸ و ۰/۸۲ و پس از آن شاخص برداشت به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۷۱ و ۰/۳۵ بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه بوته نشان دادند. در رگرسیون گام به گام نیز این صفات (در هر یک از سطوح ماده آلی مربوط به خود) اولین صفاتی بودند که وارد مدل شدند (جدول‌های ۹ و

جدول ۹- تجزیه رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه (متغیر وابسته) با سایر صفات در مصرف ۲۵ تن کمپوست  
Table 9. Stepwise regression for grain yield (dependent variable) with other characteristics when 25 ton of compost was applied

متغیر وارد شده به مدل Variables added to the model	ضریب تبیین $R^2$	b در مرحله وارد شدن به مدل b to enter the model	b در مدل نهایی b in the final model	خطای استاندارد Standard error
عملکرد بیولوژیک Biological yield	58.55	0.320	0.451	0.004
شاخص برداشت Harvest index	99.93	0.064	0.064	0.001
درصد باروری سنبلچه Spikelet fertility percentage	99.95	-0.002	-0.002	0.001

جدول ۱۰- تجزیه رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه (متغیر وابسته) با سایر صفات در مصرف ۵۰ تن کمپوست  
Table 10. Stepwise regression for grain yield (dependent variable) with other characteristics when 50 ton of compost was applied

متغیر وارد شده به مدل Variables added to the model	ضریب تبیین $R^2$	b در مرحله وارد شدن به مدل b to enter the model	b در مدل نهایی b in the final model	خطای استاندارد Standard error
عملکرد بیولوژیک Biological yield	89.65	0.520	0.449	0.002
شاخص برداشت Harvest index	99.99	0.070	0.070	0.001

مستقیم وزن هزار دانه از طریق تعداد دانه در بوته بیشتر بود (جدول ۱۱). در مصرف ۲۵ تن کمپوست از بین متغیرهایی که در تجزیه گام به گام (جدول ۹) وارد مدل شده بودند، بیشترین اثر غیر مستقیم (ضریب مسیر ۰/۴۷-) مربوط به صفت شاخص برداشت بود که از طریق عملکرد بیولوژیک اثر غیر مستقیم منفی بر عملکرد دانه داشت و بعد از آن نیز صفت عملکرد بیولوژیک (ضریب مسیر ۰/۳۱-) از طریق شاخص برداشت بود (جدول ۱۲) که می‌تواند نشانگر رابطه معکوس این دو صفت در میزان محصول تولیدی است (جدول ۱۲). نتایج این آزمایش در سطح کمپوست ۲۵ تن با نتایج گل‌پرور و همکاران (Golparvar *et al.*, 2008) در شرایط مطلوب رشدی گندم مطابقت دارد، چرا که در آزمایش آن‌ها نیز دو متغیر عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت همبستگی غیر مستقیم و منفی از طریق یکدیگر بر عملکرد دانه داشتند. بیشترین اثر غیر مستقیم مثبت نیز مربوط به درصد

(۱۰). لایلا و خطیب (Leilah and Al-Khateeb, 2005) نیز نشان دادند که عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به ترتیب بیشترین اثر مثبت مستقیم را بر عملکرد دانه دارد. همچنین گل‌پرور و همکاران (Golparvar *et al.*, 2008) و قادری و همکاران (Ghaderi *et al.*, 2009) نیز اثر مستقیم، مثبت و نسبتاً بالای عملکرد بیولوژیک را بر عملکرد دانه در گندم گزارش کردند. افزایش عملکرد بیولوژیک زمانی مؤثر خواهد بود که مواد فتوسنتزی تولید شده به اندام‌های اقتصادی یا دانه تخصیص یابد (Reynolds *et al.*, 2009). به عبارت بهتر در این شرایط افزایش همزمان عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت، افزایش عملکرد گیاه را به دنبال خواهند داشت. در سطح ماده آلی ۲۵ تن در هکتار، درصد باروری سنبلچه اثر مستقیم منفی بر عملکرد دانه بوته داشت (جدول ۱۲). در شرایط عدم مصرف کمپوست اثرات غیرمستقیم هر دو متغیر تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه از طریق یکدیگر مثبت و نسبتاً ناچیز بود که در این میان اثر غیر

جدول ۱۱- نتایج تجزیه علیت برای عملکرد دانه در عدم مصرف کمپوست

Table 11. Path analysis result for grain yield when no compost was applied

متغیر Variables	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect via		همبستگی کل با عملکرد دانه Total correlation with yield
		تعداد دانه در بوته No. of grain/plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight	
تعداد دانه در بوته No. of grain/plant	0.924	-	0.024	0.949**
وزن هزار دانه 1000-grain weight	0.311	0.073	-	0.385 <sup>ns</sup>
اثر باقیمانده Residual effect	0.057			

جدول ۱۲- نتایج تجزیه علیت برای عملکرد دانه در مصرف ۲۵ تن کمپوست

Table 12. Path analysis result for grain yield when 25 ton of compost was applied

متغیر Variables	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect via			همبستگی کل با عملکرد دانه Total correlation with yield
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد باروری سنبلچه Spikelet fertility percentage	
عملکرد بیولوژیک Biological yield	1.078	-	-0.312	-0.003	0.765**
شاخص برداشت Harvest index	0.713	-0.471	-	0.001	0.245 <sup>ns</sup>
درصد باروری سنبلچه Spikelet fertility percentage	-0.015	0.164	-0.073	-	0.078 <sup>ns</sup>
اثر باقیمانده Residual effect	0.036				

جدول ۱۳- نتایج تجزیه علیت برای عملکرد دانه در مصرف ۵۰ تن کمپوست

Table 13. Path analysis result for grain yield when 50 ton of compost was applied

متغیر Variables	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect via		همبستگی کل با عملکرد دانه Total correlation with yield
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.819	-	0.127	0.947**
شاخص برداشت Harvest index	0.346	0.300	-	0.647**
اثر باقیمانده Residual effect	-0.001			

می‌توان استنباط نمود که برای بهبود عملکرد دانه گندم در خاک‌های فقیر از نظر ماده آلی باید به دنبال افزایش تعداد دانه در بوته بود چرا که بالاترین ضریب همبستگی را با عملکرد دانه داشته و تقریباً تمام این همبستگی (به جز بخش ناچیزی از آن) مربوط به اثر مستقیم این صفت روی عملکرد دانه بوده است (جدول ۱۱). ولی در مقادیر

باروری سنبلچه از طریق عملکرد بیولوژیک (ضریب مسیر ۰/۱۶) بود (جدول ۱۲). در سطح ماده آلی ۵۰ تن در هکتار بر خلاف سطح ۲۵ تن، اثر غیر مستقیم شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک از طریق همدیگر مثبت بود که مقدار آن برای شاخص برداشت بیشتر از عملکرد بیولوژیک بود (جدول ۱۳). بنابراین از نتایج تجزیه علیت

گیاه گندم شود. همچنین در مقادیر متفاوت ماده آلی خاک روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد متغیر بود به طوری که در خاک فقیر از ماده آلی صفات تعداد دانه و وزن هزار دانه، و در خاک حاوی ماده آلی متوسط و بالا صفات عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند. بنابراین به نظر می‌رسد صفات مؤثر در افزایش عملکرد گندم به میزان ماده‌ی آلی خاک بستگی دارد.

#### سپاسگزاری

بدین‌وسیله از موسسه تحقیقات دیم کشور (مراغه) و دانشگاه مراغه به دلیل همکاری‌های ارزنده در اجرای پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

بالای ماده آلی خاک می‌توان به ترتیب صفات عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را در گیاه افزایش داد، چرا که عملکرد بیولوژیک بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد دانه داشت و اثر غیرمستقیم آن از طریق شاخص برداشت نیز مثبت بود. شاخص برداشت نیز علاوه بر اثر مستقیم خود، اثر غیر مستقیم مثبت و بالایی نیز از طریق عملکرد بیولوژیک روی عملکرد دانه داشت (جدول ۱۳). این نتایج با نتایج گل‌پرور و همکاران (Golparvar *et al.*, 2008) در شرایط تنش خشکی مطابقت دارد.

در مجموع بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش با توجه به میزان ماده آلی خاک کارایی قارچ‌های *P. indica* و *G. mosseae* روی گیاه گندم متفاوت بود با این حال در مجموع تلقیح همزمان دو قارچ در خاک‌هایی با سطوح متفاوت ماده آلی توانست موجب بهبود رشد و عملکرد

#### References

- Abdolshahi, R., Omidi, M., Talei, A. R. and Yazdi Samadi, B. 2010. Evaluation of bread wheat genotypes for drought tolerance. **Electronic Journal of Crop Production** 3 (1): 159-171. (In Persian).
- Arancon, N., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C. and Metzger, J. D. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. **Bioresource Technology** 93: 145-153.
- Beyca, J., De Chant, L., Conditt, M. and Jones, B. 1993. Wet bag composting trial yields promising results. **Biocycle** 34 (4): 72-75.
- Celik, I., Ortas, I. and Kili, S. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. **Soil & Tillage Research** 78: 59-67.
- Farshadfar, M., Zamani, M., Motallebi, M. and Imamjomeh, A. 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. **Iranian Journal of Agricultural Science** 32 (1): 65-77. (In Persian).
- Ghaderi, M. G., Zeinali Khanghah, H., Hosseinzadeh, A. H., Taleei, A. R. and Naghavi, M. R. 2009. Evaluation of relationships between grain yield, yield components and the other characteristics associated with grain yield in bread wheat using multivariate statistical analysis. **Journal of Iranian Field Crop Research** 7 (2): 573-583. (In Persian).
- Golparvar, A. R., Madani, H. and Rasouli, M. 2007. Relationship between yield and yield components in wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under normal and drought stress conditions. **Journal of New findings in Agriculture** 2 (2): 151-159. (In Persian).
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., Zhang, C. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science** 169: 313-321.
- Hassanzadeh Gorttapeh, A., Fathollahzadeh, A., Nasrollahzadeh Asl, A. and Akhondi, N. 2008. Agronomic nitrogen efficiency in different wheat genotypes in west Azerbaijan province. **Electronic Journal of Crop Production** 1 (1): 82-100. (In Persian).
- Indoo, B., Randawa, A. S. and Sharma, S. K. 2004. Path analysis in wheat. **Journal of Research Punjab Agricultural University** 41: 183-185.
- Kumar, S., Mittal, R. K., Gupta, D. and Katna, G. 2005. Correlation among some morpho-physiological characters associated with drought tolerance in wheat. **Annals of Agri Bio Research** 10: 129-134.
- Kutuk, C., Topcuoglu, B. and Demir, K. 1999. Effects of different organic matters applied to soil on yield and some quality factors and mineral contents in spinach plants. **Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture** 12: 31-36.

- Labidi, S., Nasr, H., Zouaghi, M. and Wallander, H. 2007.** Effects of compost addition on extra-radical growth of arbuscular mycorrhizal fungi in *Acacia tortilis* ssp. *raddiana savanna* in a pre-Saharan area. **Applied Soil Ecology** 35: 184-192.
- Leilah, A. A. and Al-Khateeb, S. A. 2005.** Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. **Journal of Arid Environment**. 61: 483-496.
- Levanon, D. and Danai, O. 1995.** Chemical, physical and microbiological consideration in recycling spent mushroom substract. **Compost Science and Utilization** 3: 72-79.
- Malla, R., Prasad, R., Kumari, R., Giang, P. H., Pokharel, U., Oelmüller, R. and Varma, A. 2004.** Phosphorus solubilizing symbiotic fungus: *Piriformospora indica*. **Endocytobiosis Cell Research** 15: 579-600.
- Mohammadi, H., Ahmadi, A., Moradi, F., Abbasi, A. R., Poustini, K., Joudi, M., Fatehi, F. 2011.** Evaluation of critical traits for improving wheat yield under drought stress. **Iranian Journal of Filed Crop Science** 42 (2): 373-385. (In Persian).
- Mollasadeghi, A., Imani, A. A., Shahryari, R. and Khayatnezhad, M. 2011.** Classifying bread wheat genotypes by multivariable statistical analysis to achieve high yield under after anthesis drought. **Middle-East Journal of Scientific Research** 7(2): 217-220.
- Oelmüller, R., Sherameti, I., Tripathi, S. and Varma, A. 2009.** *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. **Symbiosis** 19: 1-19.
- Onal, M. K. and Topcuoglu, B. 2008.** The effect of spent mushroom compost on the dry matter and mineral content of pepper (*Piper nigrum*) grown in greenhouse. **American Journal of Enology and Viticulture** 59 (4): 364-374.
- Ortas, I., Demirbas, A., Akpınar, Ç., Şimşek, M. and Kaya, Z. 2009.** The effects of organic material and mycorrhizal inoculation on horticultural seedling quality. Healthy Plants and Healthy Human. Proceeding of 16<sup>th</sup> International Plant Nutrition Colloquium: Plant Nutrition for Sustainable Development and Global Health, August 26-30, Sacramento, California. pp: 311.
- Perner, H., Schwarz, D., Bruns, C., Mäder, P. and George, E. 2007.** Effect of arbuscular mycorrhizal colonization and two levels of compost supply on nutrient uptake and flowering of pelargonium plants. **Mycorrhiza** 17: 469-474.
- Polat, E., Onus, A. N. and Demir, H. 2004.** The effects of spent mushroom compost on yield and quality in lettuce growing. **Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture** 17 (2): 149-154.
- Reynolds, M., Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Berry, P., Parry, M. A. J., Snape, J. W. and Angus, W. J. 2009.** Raising yield potential in wheat. **Journal of Experimental Botany** 60: 1899-1918.
- Robin, A. K., Szamidt, K., Andrew, A. and Dickson, W. 2001.** Use of compost in agriculture, Frequently Asked Questins (FAQs). Remade Scotland.
- Sharma, A. K. 2002.** Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India. Pp: 407.
- Sikder, M. M., Khair, A. and Khanom, D. 2010.** Effect of spent mushroom compost and arbuscular mycorrhiza on the growth, yield and nutritional status of onion. **SAARC Journal of Agriculture** 8: 46-58.
- Stewart, D. P. C. 1995.** The effect of spent mushroom compost on soil conditions and plant growth. Ph.D. Dissertation. Lincoln University.
- Stewart, D. P. C., Cameron, K. C., Cornforth, I. S. and Sedcok, J. R. 1998.** Effects of spent mushroom substrate on soil physical conditions and plant growth in an intensive horticultural system. **Austuralian Journal of Soil Research** 36 (6): 899-912.
- 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.). *The Mycota IX*. Springer, Berlin Heidelberg, New York. pp: 125-150.

## Effect of *Glomus mosseae* and *Piriformospora indica* and different levels of organic matter on the relationships between related characters with wheat yield

Yasser Yaghoubian<sup>1</sup>, Khalil Alamisaeid<sup>2</sup>, Hemmatollah Pirdashti<sup>3\*</sup>, Ebrahim Mohammadi Goltapeh<sup>4</sup>, Vali Feiziasl<sup>5</sup>, Ezatollah Esfandiari<sup>6</sup>

1 and 2. Ph. D. Student and Assist. Prof., respectively, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Ramin Agricultural and Natural Resources University of Khouzestan, 3. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 4. Prof., Dept. of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran, 5. Scientific Member, Dryland Agricultural Research Institute of Iran (DARI), 6. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Maragheh

(Received: May 26, 2013- Accepted: November 4, 2013)

### Abstract

To study the response of yield and yield components of wheat to mycorrhiza and mycorrhiza-like fungi at different levels of organic matters and to determine the relationship between the effective characteristics on yield, a pot experiment was conducted in 2010, at Dryland Agricultural Research Institute using randomized completely design with four replications. Treatments were considered organic matter from spent mushroom compost at three levels (0, 25 and 50 Mg ha<sup>-1</sup>) and fungi symbiosis in four levels [non-inoculation mycorrhiza (*Glomus mosseae*), mycorrhiza-like (*Piriformospora indica*) and co-inoculation of two fungi]. The measured characteristics included plant yield, yield components and characteristics such as peduncle length, extrusion length, plant height and spike length. Results indicated that compost had a positive and significant effect in all studied characteristics except 1000-grain weight. Although *P. indica* in low levels and *Glomus mosseae* in moderate and high levels of organic matter produced more grain and biological yield, overall, co-inoculation of two fungi showed the best performance. Stepwise regression and path analysis were conducted separately for each levels of organic matter. The results indicated that grain number per plant and 1000-grain weight in the without compost treatment, biologic yield, harvest index and spikelet fertility percentage in the 25 Mg ha<sup>-1</sup> of compost and biologic yield and harvest index in the 50 Mg ha<sup>-1</sup> of compost were entered in the final model. In general, grain number per plant in without compost and biological yield in 25 and 50 Mg ha<sup>-1</sup> of compost had the most direct effect on grain yield.

**Keywords:** Compost, Mycorrhiza, Mycorrhiza-like fungi, Path analysis, Stepwise regression

\*Corresponding author: pirdasht@yahoo.com; h.pirdashti@sanru.ac.ir