نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۳
http://ejsms.gau.ac.ir

اثر تلقیح قارچ *Piriformospora indica* بر جذب و انتقال برخی از عناصر در دو رقم گندم

***وحیداله جهاندیده مهجن‌آبادی[۱] و مژگان سپهری[۲]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۱۵

چکیده

روش‌های بیولوژیک مبتنی بر استفاده از پتانسیل ریزجانداران مفید خاکزی در برقراری رابطه‌های همزیستی با گیاهان، با تغییر ساختار ژنتیکی گیاهان، موجب بهبود وضعیت تغذیه‌ای و به دنبال آن کیفیت محصولات زراعی شود. این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر تلقیح قارچ *Piriformospora indica* در کلنیزاسیون ریشه و جذب و انتقال عناصر فسفر، روی و آهن توسط دو رقم گندم (نیک‌نژاد و آزادی) در بستر کشت شن و پرلیت (۲:۱ v/v) استریل صورت پذیرفت. آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تلقیح قارچ *P. indica*، غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل رقم نیک‌نژاد را افزایش داد اما تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های نام‌برده در رقم آزادی نداشت. تلقیح قارچ *P. indica* به‌ترتیب موجب افزایش و کاهش غلظت آهن بخش‌های شاخساره و ریشه رقم نیک‌نژاد شد. قارچ *P. indica*، با وجود تأثیر نداشتن بر غلظت روی ریشه رقم نیک‌نژاد، نقش مهمی در افزایش غلظت روی در شاخساره این رقم ایفا کرد. قارچ *P. indica* موجب افزایش غلظت روی در ریشه رقم آزادی شد اما، بدون تأثیر معنی‌دار بر غلظت روی شاخساره بود. غلظت فسفر شاخساره و ریشه رقم نیک‌نژاد تلقیح‌یافته با *P. indica* افزایش یافت. تلقیح *P. indica* با ریشه رقم آزادی موجب افزایش غلظت فسفر شاخساره شد اما، بدون تأثیر معنی‌دار بر غلظت فسفر ریشه بود. به‌طورکلی نیک‌نژاد به‌عنوان رقمی با سازگاری بالا با قارچ *P. indica* به‌منظور افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه بهبود کیفیت محصول پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ارقام گندم، *P. indica*، عناصر غذایی، کلروفیل

* مسئول مکاتبه: vahid.jahandideh67@gmail.com

مقدمه

گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک در بین غلات مورد توجه می‌باشد که بیش‌ترین سطح زیر کشت و بالاترین میزان تولید را در بین گیاهان مختلف زراعی دنیا دارا می‌باشد (حیدریان‌پور و همکاران، ٢٠١٣). این گیاه در ایران نیز یک محصول بسیار مهم غذایی است که سطح زیر کشت وسیعی را به خود اختصاص داده است (امام، ٢٠٠٧). توجه به نقش مهم گندم در تغذیه انسان، بهبود کیفیت آن را امری اجتناب‌ناپذیر نموده است. پژوهش‌ها نشان داده است که کمبود عناصر غذایی، مهم‌ترین عامل مؤثر در کاهش کیفیت محصولات زراعی از جمله گندم در بسیاری از نقاط دنیا است. از این‌رو، بهبود تغذیه این گیاه برای افزایش کیفیت و در نتیجه درآمد کشاورزان امری مهم به‌شمار می‌آید (ملکوتی و نفیسی، ١٩٩٤).

کاربرد کودهای شیمیایی، به‌دلیل برخی محدودیت‌های زراعی، محیطی و اقتصادی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، راه‌حل مناسبی برای رفع کمبود عناصر غذایی نمی‌باشد (گالگو و همکاران، ١٩٩٦). امروزه راهبرد برنامه‌های بهبود تغذیه‌ای گیاه تغییر یافته است، به این صورت که کاهش مصرف کودهای شیمیایی به‌عنوان یک اصل مهم در برنامه‌های زراعی مورد توجه ویژه قرار گرفته است (اسمولدر و ام‌سی‌لوقلین، ١٩٩٦).

یکی از اهداف مهم مدیریت حاصل‌خیزی خاک در جهت نیل به کشاورزی پایدار، افزایش قابلیت جذب و دسترسی عناصر غذایی گیاهان با بهره‌گیری از ریزجانداران مفید خاک می‌باشد. قارچ‌های اندوفایت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ریزجانداران مفید خاک، با ایجاد تغییرات ژنتیکی، فیزیولوژیکی و اکولوژیکی در گیاهان میزبان خود، عملکرد آن‌ها را در واحد سطح افزایش داده و امکان توسعه کشت آن‌ها را در خاک‌هایی با شرایط نامساعد محیطی و تغذیه‌ای فراهم می‌آورند (لینداحل و همکاران، ٢٠٠٧). قارچ *Piriformospora indica* از قارچ‌های اندوفایت شبه میکوریزی[1] است که در سال ١٩٩٨ توسط وارما و همکاران از ریزوسفر دو گیاه خشکی پسند کهور (*Zizyphus nummularia*) و گز (*Prosopis juliflora*) از صحرای تار[2] کشور هندوستان جداسازی شد. این قارچ بر خلاف قارچ‌های AMF[3] به راحتی بر روی محیط‌های کشت مصنوعی رشد می‌کند. این قارچ با برقراری رابطه همزیستی با طیف وسیعی از گیاهان میزبان و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی توسط ریشه

1- Mycorrhizal-Like Fungi
2- Thar
3- Arbuscular Mycorrhizal Fungi

و نیز افزایش توان تحمل گیاهان میزبان خود به بسیاری از تنش‌های زیستی و غیرزیستی به‌عنوان یک قارچ محرک رشد گیاه (PGPF)[1] شناخته می‌شود (وارما و همکاران، ۲۰۱۲). گوسال و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که تلقیح گیاهچه‌های *Chlorophytum borivilianum* با قارچ *P. indica* بقاء گیاهچه، غلظت کلروفیل، فسفر، روی و آهن را بهبود داد. همچنین، نتایج پژوهش‌های پژوهشگران نشان‌دهنده اثر تحریک‌کنندگی این قارچ بر جذب و انتقال فسفر توسط گیاه می‌باشد (یاداو و همکاران، ۲۰۱۰).

کارایی همزیستی قارچ‌های همزیست با ریشه‌های گیاهان، وابستگی بالایی به نوع رقم گیاهی دارد (فیتر، ۲۰۰٤؛ پندی و همکاران، ۲۰۰۵؛ یوسل و همکاران، ۲۰۰۹). تفاوت در سطوح همزیستی قارچ با رقم‌های مختلف گندم توسط پژوهشگران گزارش شده است به‌طوری‌که دامنه پاسخ رقم‌های گندم به برقراری رابطه همزیستی با قارچ‌های مفید خاکزی بسیار گسترده (مثبت تا منفی) می‌باشند (اکساویر و گرمیدا، ۱۹۹۸؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۲). اطلاعات محدودی در رابطه با میزان سازگاری بین قارچ اندوفایت *P. indica* و رقم‌های مختلف گندم (*Triticum aestivum* L.) وجود دارد. استفاده از رقم‌های گندم با سازگاری و کارآیی بالا در برقراری رابطه همزیستی با قارچ‌های مفید خاکزی مانند *P. indica* به‌عنوان روشی مهم در بهره‌گیری از روابط همزیستی قارچ- گیاه به‌منظور افزایش استفاده عناصر غذایی مطرح می‌گردد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی توانایی قارچ *P. indica* در کلونیزاسیون ریشه دو رقم گندم، بهبود کلروفیل و جذب و انتقال عناصر فسفر، روی و آهن توسط آن‌ها صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه مرکز کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان، با آرایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. عوامل مورد مطالعه شامل دو رقم گندم (نیک‌نژاد و آزادی) و ۲ سطح قارچ اندوفایت *Piriformospora indica* (تلقیح و عدم تلقیح قارچ) بودند.

تکثیر و تولید مایه تلقیح قارچ *P. indica*: جدایه قارچ اندوفایت *P. indica* به‌صورت کشت خالص از آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه گردید. کلنیزاسیون ریشه گیاه با مایه تلقیح قارچ *P. indica* مستلزم وجود تعداد کافی اسپور قارچ است، بنابراین با تهیه تعداد کافی پتری‌دیش محتوی محیط کشت پیچیده[2] (فام و همکاران، ۲۰۰۸) جدایه قارچی نام‌برده بر روی این

1- Plant Growth Promoting Fungus
2- Complex Medium

محیط، کشت و درون انکوباتور در دمای ٢٤ درجه به‌مدت ٤ هفته نگهداری شدند. پس از سپری شدن این زمان، با استفاده از محلول آب توئین ٢٠ درصد اقدام به جمع‌آوری اسپورهای قارچی از سطح محیط کشت شد و پس از انجام مراحل مختلف سانتریفیوژ، شستشو و انحلال طی سه مرتبه، تعداد اسپورها در مایه تلقیح قارچ با استفاده از لام نئوبار شمارش و در حدود ۵×۱۰^{۷} اسپور در هر میلی‌لیتر محلول آب توئین ٢٠ درصد تنظیم شد.

آماده‌سازی و جوانه‌دار کردن بذرهای گندم: بذرهای گندم با استفاده از الکل ٩٦ درصد به‌مدت ٣٠ ثانیه و محلول رقیق (٥ درصد) هیپوکلریت سدیم به‌مدت ٥ دقیقه ضدعفونی و برای حذف هیپوکلریت سدیم باقی‌مانده در سطح بذور، چندین مرتبه با آب مقطر استریل شستشو شدند (ارزانش و همکاران، ٢٠١١). بذرهای ضدعفونی شده گندم به‌صورت یکنواخت بر روی کاغذ صافی استریل درون پتری‌دیش‌های شیشه‌ای پخش و پس از چند روز خوابانیدن در دمای ٢٥ درجه سانتی‌گراد (درون انکوباتور) جوانه‌دار شدند.

کشت گیاه و اعمال تیمارها: برای بررسی توانایی قارچ *P. indica* در کلنیزاسیون و جذب و انتقال عناصر فسفر، روی و آهن توسط دو رقم گندم در شرایط گلخانه، از گلدان‌های ٣ کیلوگرمی شامل مخلوط ماسه و پرلیت استریل (٢:١ v/v) استفاده شد. به‌منظور اعمال تیمار قارچ، بذور جوانه‌دار شده گندم در پتری‌دیش استریل قرار داده شدند و با محلول اسپور قارچ (شامل ۵×۱۰^{۷} اسپور در هر میلی‌لیتر) تلقیح و به‌مدت ٤ ساعت بر روی به‌هم‌زن دورانی با سرعت ١٢٠ دور در دقیقه قرار داده شدند. لازم به ذکر است که در مورد تیمارهای عدم تلقیح قارچ، ریشه گیاهان تنها با سوسپانسیون آب توئین ٢٠ درصد بدون اسپور قارچ آغشته شدند (قبولی و همکاران، ٢٠١٣). سپس، تعداد چهار گیاهچه در داخل هر گلدان کاشته شد. برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در طی دوره رشد آن از محلول غذایی جانسون استفاده شد (جانسون، ١٩٥٧). برای اطمینان از برقراری رابطه همزیستی قارچ و گیاه، پس از گذشت یک هفته از کاشت، نمونه‌برداری از ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ صورت پذیرفت. گیاهان در گلخانه به‌مدت ٢ ماه در دمای روزانه ٢٥–١٨ درجه سانتی‌گراد، دمای شبانه حداقل ١٥ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ٤٠ درصد، شدت روشنایی ١٠٠٠٠ لوکس و ١٢–١١ ساعت دوره روشنایی نگهداری شدند.

اندازه‌گیری کلروفیل a و b: کلروفیل a و b با استفاده از استون ٨٠ درصد از برگ‌های گیاهان استخراج و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج به‌ترتیب در طول موج‌های ٦٦٣ و ٦٤٥ نانومتر از طریق روش آرنون (١٩٦٧) و با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$Chlorophyll\ a=(۱۹/۳\times A٦٦٣-۰/٨٦\times A٦٤٥)\ V/۱۰۰۰W$$

$$Chlorophyll\ b=(۱۹/۳\times A٦٤٥-۳/٦\times A٦٦٣)\ V/۱۰۰۰W$$

که در آن، V= حجم محلول صاف شده بر حسب میلی‌لیتر (محلول فوقانی به‌دست آمده از سانتریفیوژ)، A= جذب نور در طول موج‌های ٦٦٣ و ٦٤٥ نانومتر و W= وزن تر نمونه بر حسب گرم.

اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی: پس از پایان دوره کشت ۲ ماهه، نمونه‌برداری از اندام‌های گیاه (برگ و ریشه) انجام شد. نمونه‌های نام‌برده به‌مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. مقدار فسفر شاخساره و ریشه با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مدل PD-303 و مقدار عناصر آهن و روی موجود در شاخساره و ریشه با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل PERKIN ELMER 3030 اندازه‌گیری شد.

رنگ‌آمیزی و بررسی کلنیزاسیون ریشه توسط قارچ *Piriformospora indica*: برای رنگ‌آمیزی و بررسی کلنیزاسیون ریشه از روش کورمانیک و مک‌گرو (۱۹۸۲) استفاده شد. ریشه‌های نازک موجود در هر نمونه پس از شستشو با آب، در محلول KOH ۱۰ درصد به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. سپس، ۵-۳ مرتبه با آب مقطر استریل شستشو و به‌مدت حداقل ۱۵ دقیقه در محلول HCL ۲ درصد قرار داده شدند. قطعات ریشه اسیدی شده بدون شستشو با آب، در محلول رنگی شامل تریپان بلو ۰/۲ درصد و مخلوط اسیدلاکتیک- گلیسرول- آب (به نسبت ١:١:١٤) به نسبت ۱:۱ به‌مدت ۱۲-٦ ساعت رنگ‌آمیزی شدند. برای تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه، تعدادی از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به‌صورت تصادفی انتخاب و در گروه‌های ۱۰ تایی بر روی هر لام میکروسکوپ قرار داده شده و با استفاده از میکروسکوپ نوری مورد مطالعه قرار گرفتند. سپس با تعیین تعداد قطعات ریشه آلوده شده موجود در هر گروه و بر طبق فرمول زیر درصد کلنیزاسیون محاسبه گردید:

$$\text{درصد کلنیزاسیون} = \frac{\text{تعداد قطعات ریشه آلوده شده به قارچ}}{\text{تعداد کل قطعات ریشه مطالعه شده}} \times ۱۰۰$$

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

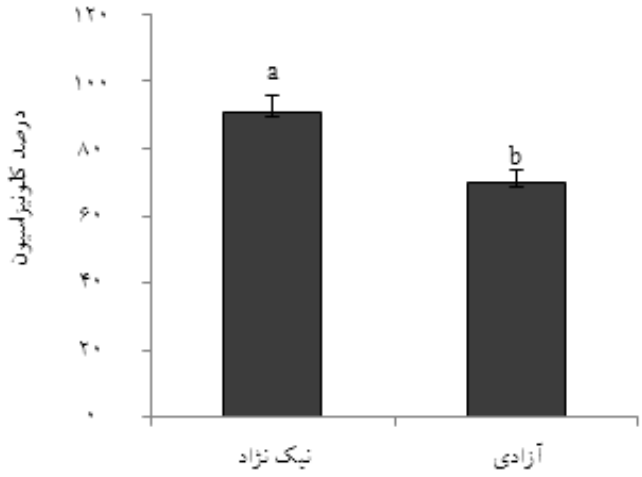
بررسی توان کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ *Piriformospora indica*: مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته بر روی ریشه ارقام گندم تلقیح شده با اسپورهای قارچ *P. indica*، نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار عامل رقم بر کلنیزاسیون ریشه است (جدول ۱). نتایج بیانگر توان بالای این قارچ در کلنیزاسیون ریشه ارقام گندم، به‌ویژه رقم نیک‌نژاد است، به‌طوری‌که درصد کلونیزاسیون ریشه در رقم نیک‌نژاد ۹۰ درصد و در رقم آزادی ۷۰ درصد بود (شکل ۱). انبوهی از هیف‌های برون‌ریشه‌ای به‌دست آمده از تندش اسپورهای قارچ در سطح خارجی و بخش کورتکس ریشه مشاهده گردید (شکل ۲). قارچ *P. indica* در داخل کورتکس ریشه، علاوه بر توسعه هیف‌های رویشی، اندامی اختصاصی به نام اجسام کروی[1] تولید می‌نماید که به‌نظر می‌رسد نقشی معادل وزیکول در قارچ‌های میکوریزی AM را به عهده داشته باشند (شکل ۳).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر غلظت کلروفیل ارقام گندم.

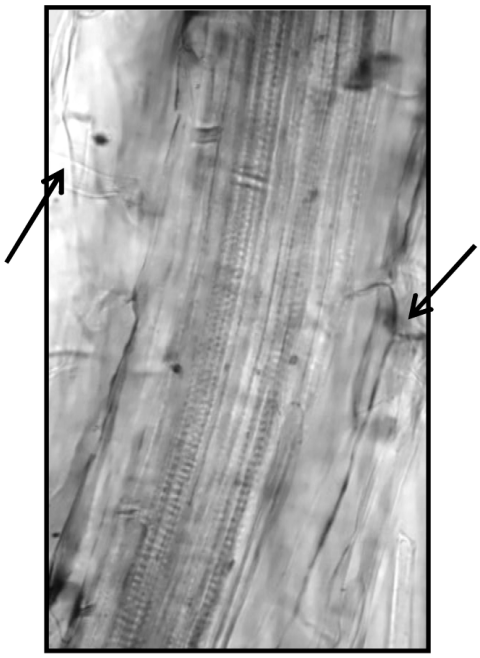
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد کلونیزاسیون	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
رقم	۱	٦٦١*	۰/۰۱۲ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۲۹ns
قارچ	۱	-	۰/۵۸**	۰/۰٦۳**	۱/۰۳**
رقم × قارچ	۱	-	۰/۰۷۳**	۰/۰۲*	۰/۱۷**
خطای آزمایشی	٦	۳۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۱۷
C.V		۷	۳	٦/۵	۳/۵

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار.

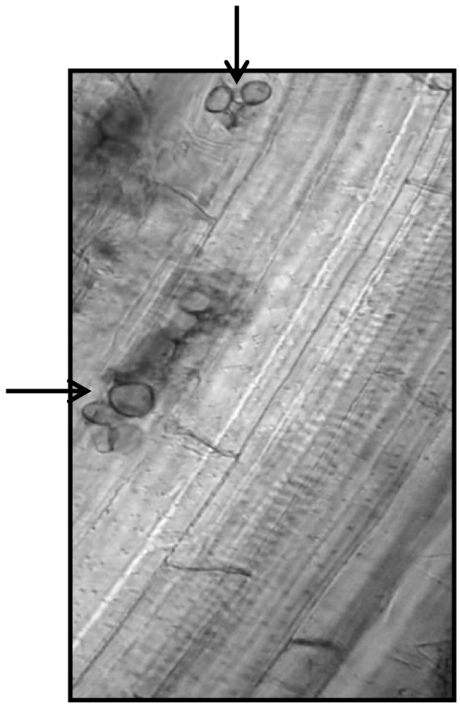
1- Round Bodies



شکل ۱- درصد کلونیزاسیون ریشه ارقام گندم.



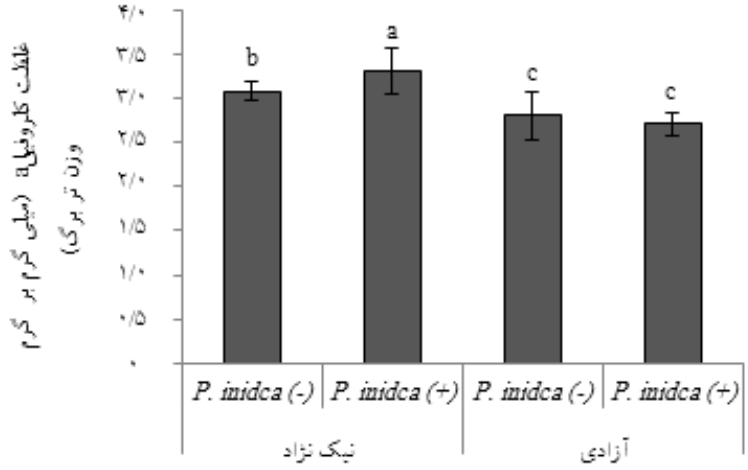
شکل ۲- هیف‌های رشدیافته قارچ *P. indica* بر روی ریشه گندم رقم نیک‌نژاد.



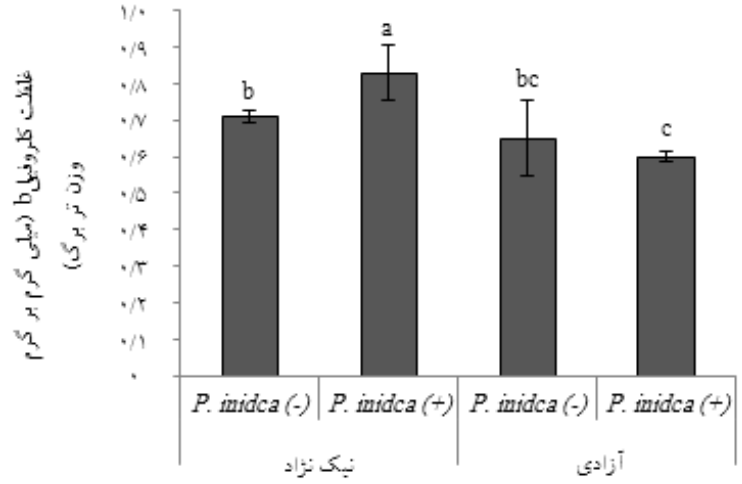
شکل ٣- اجسام کروی قارچ *P. indica* بر روی ریشه گندم رقم نیک‌نژاد.

غلظت کلروفیل: نتایج تجزیه آماری داده‌های مربوط به محتوای کلروفیل نشان‌دهنده آن است که غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل ارقام گندم به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر عوامل مورد آزمایش قرار گرفتند (جدول ١).

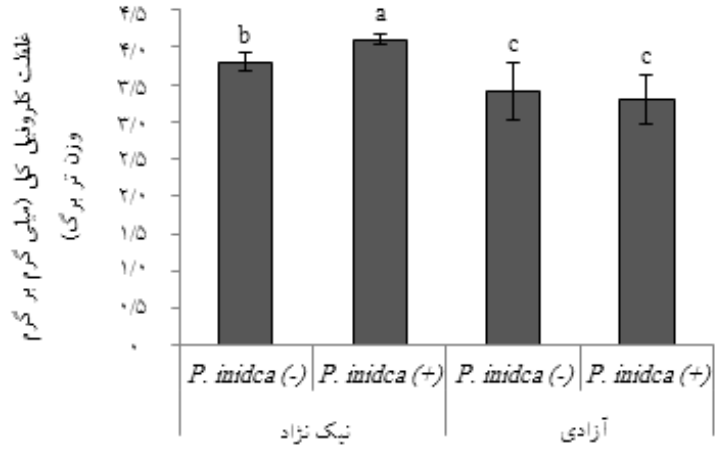
نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل رقم نیک‌نژاد تلقیح‌یافته با قارچ *P. indica* به‌ترتیب به مقدار ٧، ١٧ و ٧/٨ درصد در مقایسه با تیمار عدم تلقیح قارچ افزایش یافت، اما تلقیح این قارچ بر ریشه رقم آزادی تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل نداشت (نمودارهای ٤، ٥ و ٦).



شکل ٤- اثر قارچ *P. indica* بر غلظت کلروفیل a ارقام گندم.



شکل ٥- اثر قارچ *P. indica* بر غلظت کلروفیل b ارقام گندم.



شکل ٦- اثر قارچ *P. indica* بر غلظت کلروفیل کل ارقام گندم.

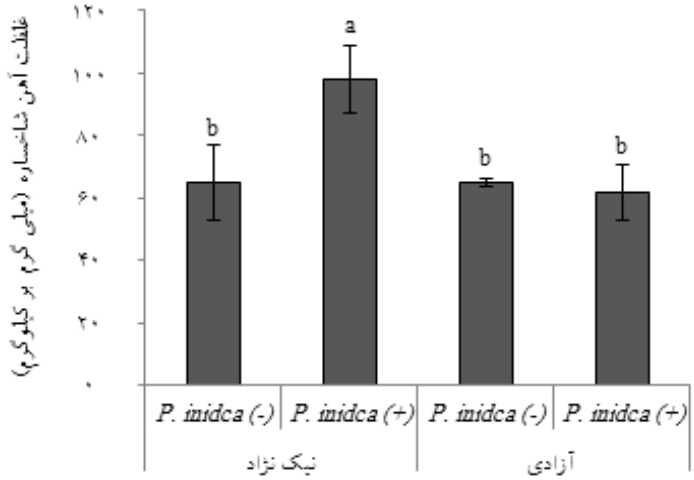
غلظت آهن شاخساره و ریشه: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که غلظت آهن شاخساره و ریشه ارقام گندم به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر عوامل مورد آزمایش قرار گرفتند (جدول ٢).

جدول ٢- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر آهن، روی و فسفر در شاخساره و ریشه ارقام گندم.

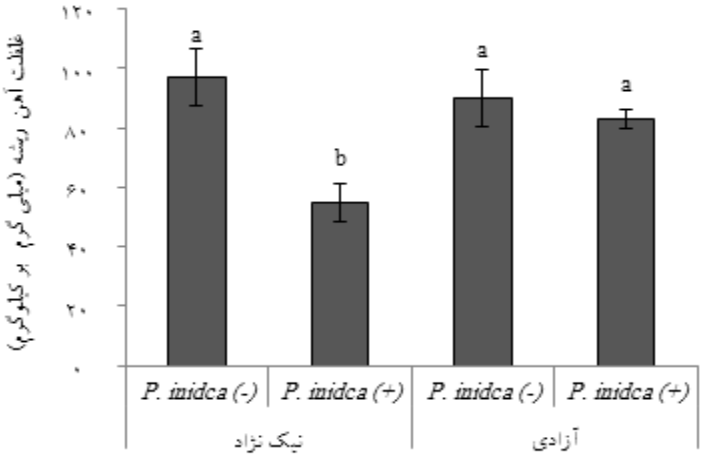
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		آهن شاخساره	آهن ریشه	روی شاخساره	روی ریشه	فسفر شاخساره	فسفر ریشه
رقم	١	٩٩٩*	٣٣٠^{ns}	١٣*	١/٣٣^{ns}	٠/٢٢٣*	٠/٠٠٠٣^{ns}
قارچ	١	٦٣٨*	١٨٠٠**	٦*	٤/٠٨*	٠/١٨٣**	٠/٠٣٦*
رقم × قارچ	١	٩٦٣*	٨٦٧*	٧/٥*	٢/٧*	٠/٢٨*	٠/٠٠٦^{ns}
خطای آزمایشی	٦	٧٥	٧٧	٠/٩	٠/٤	٠/٠٢٤	٠/٠٠٥
C.V		١٢	١٠/٨	٦/٥	٦/٥	٥/٧	٥/٦٧

*معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد، **معنی‌دار در سطح احتمال ١ درصد و ^{ns}غیرمعنی‌دار.

مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر آن است که تلقیح قارچ *P. indica* با ریشه رقم نیک‌نژاد به‌ترتیب موجب افزایش (۵۰ درصد) و کاهش (۷۶ درصد) غلظت آهن شاخساره و ریشه نسبت به تیمار عدم تلقیح قارچ شد. اما، قارچ *P. indica* بدون تأثیر معنی‌دار بر غلظت آهن شاخساره و ریشه رقم آزادی بود (شکل‌های ۷ و ۸).

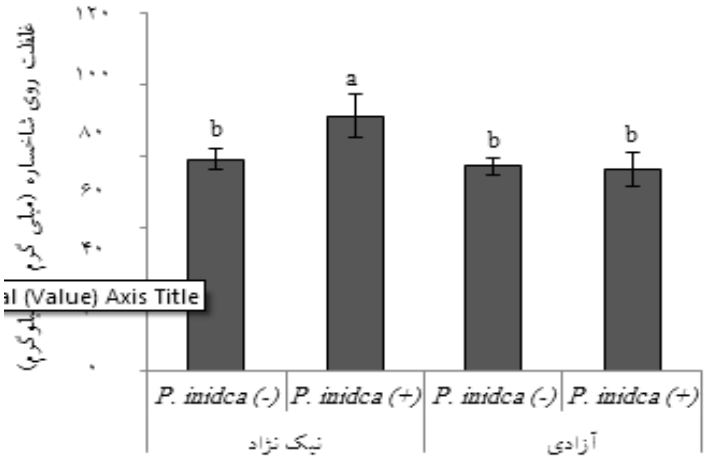


شکل ۷- اثر قارچ *P. indica* بر غلظت آهن شاخساره ارقام گندم.

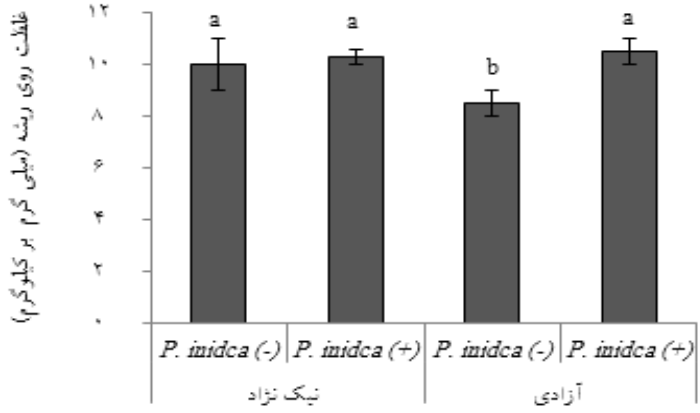


شکل ۸- اثر قارچ *P. indica* بر غلظت آهن ریشه ارقام گندم.

غلظت روی شاخساره و ریشه: نتایج جدول تجزیه واریانس بیانگر آن است که عوامل مورد آزمایش دارای تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی شاخساره و ریشه ارقام گندم بودند (جدول ۲). تلقیح قارچ *P. indica*، موجب افزایش غلظت روی شاخساره رقم نیک‌نژاد به‌میزان ۲۰ درصد نسبت به تیمار عدم تلقیح قارچ شد، اما تأثیر معنی‌داری بر غلظت این عنصر در ریشه نداشت. قارچ *P. indica* با وجود نداشتن تأثیر معنی‌دار بر غلظت روی شاخساره رقم آزادی، موجب افزایش ۲۳ درصدی غلظت روی در ریشه، نسبت به عدم تیمار تلقیح قارچ گردید (شکل‌های ۹ و ۱۰).

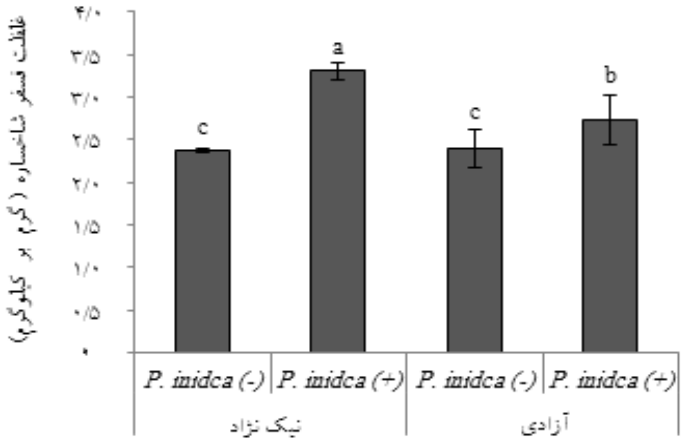


شکل ۹- اثر قارچ *P. indica* بر غلظت روی شاخساره ارقام گندم.

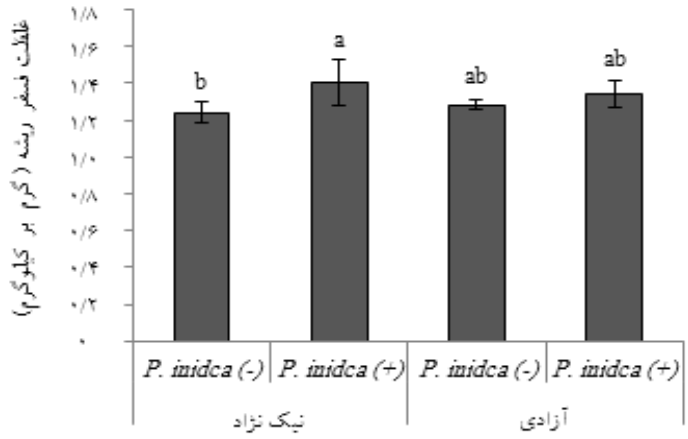


شکل ۱۰- اثر قارچ *P. indica* بر غلظت روی ریشه ارقام گندم.

غلظت فسفر شاخساره و ریشه: نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان‌دهنده آن است که عوامل مورد آزمایش دارای تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر شاخساره و ریشه ارقام گندم بودند (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده بیانگر افزایش غلظت فسفر شاخساره و ریشه رقم نیک‌نژاد تلقیح‌یافته با قارچ اندوفایت *P. indica* به‌ترتیب به مقدار ۳۹ و ۱۳ درصد در مقایسه با تیمار عدم تلقیح قارچ است. این در حالی است که تلقیح قارچ *P. indica* بر ریشه رقم آزادی موجب افزایش ۱۳ درصدی غلظت فسفر شاخساره شد، اما، تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر ریشه نداشت (نمودارهای ۱۱ و ۱۲).



شکل ۱۱- اثر قارچ *P. indica* بر غلظت فسفر شاخساره ارقام گندم.



شکل ۱۲- اثر قارچ *P. indica* بر غلظت فسفر ریشه ارقام گندم.

بحث و نتیجه‌گیری

بهره‌گیری از ریزجانداران مفید خاک به‌منظور افزایش جذب و دسترسی عناصر غذایی برای بهبود کیفیت غلات، به‌ویژه گندم امری ضروری به‌نظر می‌رسد. افزایش کارآیی همزیستی ریزجانداران خاک با ریشه گیاه مستلزم وجود تعداد کافی از سویه‌های میکروبی فعال در ناحیه ریزوسفر و نیز افزایش میزان آلودگی ریشه گیاه توسط همزیست میکروبی است تا بتوان از بیش‌ترین توان و ظرفیت آن‌ها استفاده نمود (سینگ و همکاران، ۲۰۰۰). انتخاب رقم‌های گندم دارای سازگاری و کارآیی بالا در برقراری رابطه همزیستی بالا با قارچ *P. indica* به‌منظور استفاده از عناصر غذایی به‌عنوان روشی مفید مطرح می‌گردد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که قارچ *P. indica* دارای توان بالایی در اشغال کورتکس ریشه ارقام گندم، به‌ویژه رقم نیک‌نژاد می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که وابستگی بالای رقم نیک‌نژاد به قارچ *P. indica* به‌دلیل کارایی متابولیکی ضعیف آن در شرایط حضور نداشتن قارچ باشد که این نتیجه با نتایج سینگ و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. نحوه ورود هیف‌های قارچ به درون ریشه به این صورت می‌باشد که هیف‌های برون‌ریشه‌ای پس از برخورد با سلول‌های سطح ریشه، منشعب می‌شوند و از انتهای هر انشعاب پس از تشکیل آپرسوریوم[1] بر روی سطح ریشه، هیف نازکی به درون آن نفوذ پیدا می‌کند. برخی از پژوهشگران، آنزیم‌های هیدرولیک مانند کربوکسی متیل سلولاز، گزیلانازو پلی‌گالاکتوناز را عاملی مؤثر در نفوذ قارچ به درون ریشه دانسته‌اند. از این‌رو می‌توان بیان نمود که نفوذ قارچ به ریشه، نتیجه عمل هم‌زمان آنزیم‌های نام‌برده و فشار مکانیکی اعمال شده از طریق آپرسوریوم یا یکی از این دو عمل می‌باشد (بنفنت و پروتو، ۱۹۹۵).

بررسی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش بیانگر رابطه همزیستی بسیار مؤثر قارچ *P. indica* با رقم نیک‌نژاد و ارتباط آن با غلظت کلروفیل و جذب و انتقال عناصر آهن، روی و فسفر است. مقایسه غلظت کلروفیل ارقام گندم تلقیح شده با قارچ نسبت به گیاهان بدون قارچ، به خوبی تأییدکننده اثر مثبت قارچ در بهبود غلظت غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل رقم نیک‌نژاد است اما، تأثیری بر شاخص‌های نام‌برده در رقم آزادی نداشت. نقش مثبت قارچ *P. indica* در بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز توسط پژوهشگران گزارش شده است (زارعی و همکاران، ۲۰۱۲؛ گوسال و همکاران، ۲۰۱۰). جنت‌اسچکی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که یکی از دلایل افزایش غلظت کلروفیل در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ، جذب بیش‌تر عناصر معدنی می‌باشد.

1- Appresorium

نتایج این پژوهش نیز نشان‌دهنده افزایش جذب عناصر غذایی توسط رقم نیک‌نژاد در شرایط تلقیح قارچ *P. indica* می‌باشد. قارچ *P. indica* موجب کاهش غلظت آهن در ریشه و افزایش غلظت این عنصر در شاخساره رقم نیک‌نژاد شد که این نتیجه اشاره به نقش مثبت این قارچ در انتقال عنصر آهن از ریشه به شاخساره دارد که این امر را می‌توان به توان همزیستی بالای قارچ *P. indica* با رقم نیک‌نژاد مرتبط دانست. این در حالی است که تلقیح قارچ نقشی در جذب و انتقال آهن در رقم آزادی نشان نداد. یکی از دلایل افزایش انتقال آهن از ریشه به شاخساره رقم نیک‌نژاد را می‌توان به توان تولید سیدروفور توسط قارچ *P. indica* مرتبط دانست (وارما و کینکولکار، ۲۰۰۷). واکنش اختصاصی ارقام مختلف گندم نسبت به جذب مواد معدنی صرف‌نظر از منبع تلقیح میکوریزایی یک صفت ژنتیکی می‌باشد (هتریک و همکاران، ۱۹۸٤). بررسی و مقایسه غلظت روی شاخساره و ریشه ارقام گندم مورد مطالعه در این پژوهش نشان می‌دهد که قارچ *P. indica* نقش بارزی را در افزایش غلظت روی شاخساره رقم نیک‌نژاد ایفا کرد. این در حالی است که در مورد رقم آزادی موجب تجمع غلظت روی در ریشه شد ولی در انتقال این عنصر به شاخساره نقشی به عهده نداشت. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش به خوبی تأییدکننده مطالعات گذشته مبتنی بر وجود دامنه گسترده‌ای از پاسخ رقم‌های گندم به قارچ‌های میکوریزا است (هتریک و همکاران، ۱۹۹٦؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۲). پژوهشگران بیان داشتند که اختلاف‌های ژنتیکی رقم‌های گندم نقش مهمی در میزان وابستگی آن‌ها به قارچ‌های میکوریزا است (هتریک و همکاران، ۱۹۹۳؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۲). گوسال و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که تلقیح گیاهچه‌های *Chlorophytum borivilianum* با قارچ *P. indica* جذب عناصر غذایی از جمله فسفر، روی و آهن را بهبود داد. وابستگی بالای ارقام گندم به قارچ *P. indica* تا حد زیادی بستگی به نقش این قارچ در تأمین عنصر فسفر برای گیاه دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه تلقیح قارچ اندوفایت *P. indica* موجب افزایش غلظت فسفر شاخساره هر دو رقم گندم شد اما، این تأثیر مثبت قارچ در رقم نیک‌نژاد بارزتر بود. یاداو و همکاران (۲۰۱۰) اثر افزایشی این قارچ بر جذب و انتقال فسفر توسط گیاه را گزارش کردند. قارچ *P. indica* به‌دلیل تحریک تشکیل ریشه‌های عرضی و به دنبال آن افزایش سطح ریشه از طریق تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین، موجب افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (اسچافر و همکاران، ۲۰۰۹).

به‌طورکلی نتایج این پژوهش اختلاف‌های ژنتیکی دو رقم گندم در میزان سازگاری آن‌ها به قارچ *P. indica* و به دنبال آن تأثیر این قارچ بر غلظت کلروفیل و جذب و انتقال عناصر آهن، روی و

فسفر را تأیید می‌کند. رقم نیک‌نژاد به‌عنوان رقمی با سازگاری بالا با قارچ *P. indica* به‌منظور افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه بهبود کیفیت پیشنهاد می‌گردد. امید است با جداسازی جدایه‌های بومی قارچ *P. indica* و بهره‌گیری از این قارچ در تولید کود بیولوژیک برای مصرف در مزارع ارقام گندم دارای سازگاری بالا با این قارچ، بتوان از پتانسیل‌های قارچ نام‌برده برای بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه گندم و رسیدن به کشاورزی پایدار استفاده نمود.

منابع

1.Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agr. J. 23: 112-121.

2.Arzanesh, M.H., Alikhani, H.A., Khavazi, K., Rahimian, H.A., and Miransari, M. 2011. Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum sp.* under drought stress. World J. Microbiol. Biotechnol. 27:197-205.

3.Bonfante, P., and Perotto, S. 1995. Strategies of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plants. New phytol. 130: 3-21.

4.Emam, Y. 2007. Cereal Production. Shiraz University Press, 190p. (In Persian)

5.Fitter, A.H. 2004. Magnolioid roots-hairs, architecture and mycorrhizal dependency. New Phytol. 164: 15-16.

6.Gallego, S.M., Benavides, M.P., and Tomaro, M.L. 1996. Effect of heavy metal ion excess on sunflower leaves: evidence for involvement of oxidative stress. Plant Sci. 121: 151-159.

7.Ghabooli, M., Khatabi, B., Farajolah, S.A., Sepehri, M., Mirzaei, M., Amirkhani, A., Jorrín-Novo, J.V., and Hosseini Salekdeh, G. 2013. Proteomics study reveals the molecular mechanisms underlying water stress tolerance induced by *Piriformospora indica* in barley. 94: 289-301.

8.Gosal, S., Karlupia, A., Gosal, S., Chhibba, I., and Varma, A. 2010. Biotization with *Piriformospora indica* and *Pseudomonas fluorescens* improves survival rate, nutrient acquisition, field performance and saponin content of micropropagated *Chlorophytum sp.* Ind. J. Biotechnol. 9: 289-297.

9.Heidarianpour, M.B., Ramezani Mojde, Z., and Sameni, A.M. Effect of nitrogen and biological bacteria on yield, nutrient concentration, and total nutrient uptake of wheat shoot. Iran. J. Soil Res. 27: 141-148. (In Persian)

10.Hetrick, B.A.D., Bockus, W.W., and Bloom, J. 1984. The role of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in the growth of *Kansas* winter wheat. Can. J. Bot. 62: 735-740.

11.Hetrick, B.A.D., Wilson, G.W.T., and Cox, T.S. 1993. Mycorrhizal dependence of modern wheat cultivars and ancestors: a synthesis. Can. J. Bot. 71: 512-518.

12. Hetrick, B.A.D., Wilson, G.W.T., and Todd, T.C. 1996. Mycorrhizal response in wheat cultivars: relationship to phosphorus. Can. J. Bot. 74: 19-25.
13. Johnson, C., Stout, P., Broyer, T.C., and Carlton, A.B. 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant Soil. 8: 337-353.
14. Kormanik, P., and McGraw, A. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots, P 37-45. In: Schenck, N.C. (Ed.), Methods and Principles of Mycorrhizal Research. The American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota.
15. Lindahl, B.D., Ihrmark, K., Boberg, J., Trumbore, S.E., Högberg, P., Stenlid, J., and Finlay, R.D. 2007. Spatial separation of litter decomposition and mycorrhizal nitrogen uptake in a boreal forest. New Phytol. 173: 611-620.
16. Malakoti, M.G., and Nafisi, M. 1994. Fertilizer Application in Irrigated and Dryland Farms. 2nd Edition. Tarbiat Modares University Press, 242p. (In Persian)
17. Pandey, R., Singh, B., and Nair, T.V.R. 2005. Impact of arbuscular-mycorrhizal fungi on phosphorus efficiency of wheat, rye, and triticale. J. Plant Nutr. 28: 1867-1876.
18. Schafer, P., Pfiffi, S., Voll, L.M., Zajic, D., Chandler, P.M., Waller, F., Scholz, U., Pons-Kuhnemann, J., Sonnewald, S., Sonnewald, U., and Kogel, K.H. 2009. Manipulation of plant innate immunity and gibberellin as factor of compatibility in the mutualistic association of barley roots with *Piriformospora indica*. Plant J. 59: 461-474.
19. Singh, A.K., DePauw, R.M., Hamel, C., and Knox, R.E. 2012. Genetic variability in arbuscular mycorrhizal fungi compatibility supports the selection of durum wheat genotypes for enhancing soil ecological services and cropping systems in Canada. Can. J. Microbiol. 58: 293-302.
20. Singh, A., Sharma, J., Rexer, K.H., and Varma, A. 2000. Plant productivity determinants beyond Minerals, water and light. *Piriformospora indica*: A revolutionary plant growth promoting fungus. Current Sci. 79: 101-106.
21. Smolders, E., and McLaughlin, M.J. 1996. Chloride increases cadmium uptake in swiss chard in a resin-buffered nutrient solution. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 1443-1447.
22. Varma, A., and Chincholkar, S. 2007. Microbial siderophores, P 1-42. In: Das, A., R. Prasad, A. Srivastava, P.H. Giang, K. Bhatnagar and A. Varma (Eds.), Fungal Siderophores: Structure, Functions and Regulation. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
23. Varma, A., Bakshi, M., Lou, B., Hartmann, A., and Oelmueller, R. 2012. *Piriformospora indica*: A Novel Plant Growth-Promoting Mycorrhizal Fungus. Agric Res. 1: 117-131.
24. Verma, S., Varma, A., Rexer, K.H., Hassel, A., Kost, G., Sarbhoy, A., Bisen, P., Bütehorn, B., and Franken, P. 1998. *Piriformospora indica*, gen. et sp. nov., a new root-colonizing fungus. Mycologia. 90: 896-903.

25. Xavier, L.J.C., and Germida, J.J. 1998. Response of spring wheat cultivars to *Glomus clarum NT4* in a P-deficient soil containing arbuscular mycorrhizal fungi. Can. J. Soil Sci. 78: 481-484.
26. Yadav, V., Kumar, M., Deep, D.K., Kumar, H., Sharma, R., Tripathi, T., Tuteja, N., Saxena, A.K., and Johri, A.K. 2010. A phosphate transporter from the root endophytic fungus *Piriformospora indica* plays a role in phosphate transport to the host plant. J. Biol. Chem. 285: 26532-26544.
27. Yücel, C., Özkan, H., Ortaş, I., and Yağbasanlar, T. 2009. Screening of wild emmer wheat accessions (*Triticum turgidum subsp. dicoccoides*) for mycorrhizal dependency. Turk. J. Agric. For. 33: 513-523.
28. Zarea, M., Hajinia, S., Karimi, N., Mohammadi Goltapeh, E., Rejali, F., and Varma, A. 2012. Effect of *Piriformospora indica* and *Azospirillum* strains from saline or non-saline soil on mitigation of the effects of NaCl. Soil Biol. Biochem. 45: 139-146.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(3), 2014
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of *Piriformospora indica* fungus inoculation on uptake and transportation of some nutrients in two wheat cultivars

***V. Jahandideh Mahjen Abadi[1] and M. Sepehri[2]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology,
[2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology
Received: 03/05/2014; Accepted: 05/05/2014

Abstract

Biological methods based on using soil beneficial microorganisms' potentials for creating symbiosis relationship with plants by modifying genetic structure of plants has resulted in improving nutritional status and crops quality. This study was conducted to investigate the effect of *Piriformospora indica* inoculation on root colonization and uptake and transportation of phosphorus, zinc and iron by two wheat cultivars (Nicknejad and Azadi) in sterile sand-perlite (2:1 v/v) pot medium. The greenhouse experiment was conducted as a factorial, completely randomized design with three replications. Inoculation of *P. indica* increased chlorophyll a, b and total chlorophyll concentrations of Nicknejad cultivar, however had no significant effect on the mentioned index in Azadi cultivar. *P. indica* inoculation resulted in increase and decrease of iron concentration in shoot and root parts of Nicknejad cultivar, respectively. Despite no significant effect of *P. indica* on root zinc concentration of Nicknejad cultivar, this fungus played an important role in increasing zinc concentration in the shoot of this cultivar. *P. indica* resulted in increase of zinc concentration in the root of Azadi cultivar but, had no significant effect on shoot zinc concentration. Phosphorus concentration in shoot and root of Nicknejad cultivar inoculated with *P. indica*, increased. Inoculation of *P. indica* resulted in increase of phosphorus concentration in shoot of Azadi cultivar but, had no significant effect on phosphorus concentration of root. In general, Nicknejad cultivar is proposed as a high compatible cultivar with the *P. indica* in order to enhance nutrient uptake and thus improving yield quality.

Keywords: Wheat cultivars, *P. indica*, Nutrient, Chlorophyll

* Corresponding Authors; Email: vahid.jahandideh67@gmail.com