نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران
شماره ۲۳، صفحات ۳۶ - ۲۵، ۱۳۸۰

بررسی کارآیی میکوریزا و استرپتومیسس تحت تأثیر سطوح مختلف مصرف فسفر در کشت گندم با استفاده از فسفر - ۳۲ در شرایط گلخانه

محمدرضا اردکانی، فرامرز مجد
مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای کرج، سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

به منظور بررسی همزیستی قارچهای «میکوریزا»[۱] (قارچ ریشه) و آکتینومیسیت‌هایی[۲] از جنس استرپتومیسس[۳] با ریشهٔ گندم به عنوان کودهای زیست‌شناختی که می‌توانند نقش مهمی در تامین غذای موردنیاز گیاه و یا حفاظت از آن داشته باشند، یک طرح تحقیقاتی در شرایط گلخانه‌ای همراه با مصرف مقادیر مختلف کود فسفر به اجرا درآمد. برای بدست آوردن بهترین ترکیب کودشیمیایی با کمترین مصرف، برهم‌کنش (تعامل) این ریزسازواره‌ها[۴] نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی دقیقتر کارآیی و فعالیت ریزسازواره‌های مصرف شده، از فسفر-۳۲ نیز استفاده شد. چهار سطح مصرف کود فسفر شامل ۰، ۰/۲۰، ۰/۴۰ و ۰/۶۰ گرم در هر گلدان، و برای هر یک از ریزسازواره‌ها نیز دو سطح (با مصرف و بدون مصرف) در نظر گرفته شد که به هنگام کاشتِ بذر با آن آغشته گردیدند. آزمایش به صورت سازه‌ای (فاکتوریل) در قالب کَرتهای کاملاً تصادفی و در سه تکرار به اجرا در آمد.

نتیجهٔ بدست آمده حاکی از این بود که قارچهای میکوریزا بر همهٔ صفات مورد بررسی اثر مثبت و معنی‌دار داشتند، امّا با افزایش مقدار کود فسفر مصرف‌شده کارآیی قارچهای میکوریزا کاهش می‌یافت. استفاده از فسفر-۳۲ و بررسی نتایج بدست آمده نشان دادند که کاربرد میکوریزا در سطح مصرف ۰/۴۰ گرم کود فسفر در هر گلدان کارایی مطلوبی داشته است. همچنین تاثیر منفی و متضادی بین دو ریزسازواره که در این تحقیق بکار رفته‌اند مشاهده شد به طوریکه کاربرد آنها با هم باعث ایجاد اختلال در اغلب صفات مورد بررسی می‌شد.

۱- مقدمه

ریشه گیاه و ریشه گاه[۵]، زیستگاه مناسبی برای فعالیت بسیاری از ریزسازواره‌های خاک فراهم می‌کنند. در این مورد، همزیستی میکوریزایی از متداول‌ترین و سابقه‌دارترین روابط همزیستی در زنجیرهٔ گیاهان است، به طوریکه بیشتر آنها (یعنی در حدود ۹۵ درصد از گونه‌های گیاهان آوندی) دست‌کم یکی از انواع میکوریزا را دربر دارند [۴]. متأسّفانه در حال حاضر دخالت غیر اصولی انسان، به‌ویژه از راه مصرف زیاد و مکرّر سموم قارچ‌کُش و یا استفاده فراوان از کودهای فسفات‌دار، این همزیستی سودمند را مورد تهدید جدّی قرار داده است. قارچهای میکوریزا علاوه بر اینکه اثر قابل‌توجّهی در بهبود رشد گیاهان میزبان دارند، به دلایل دیگری مانند جذب عناصر غذایی از جمله فسفر، ازت، و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، تولید هورمونهای گیاهی، کاهش تنشهای محیطی، افزایش مقاومت گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا، تاثیر بر دانه‌بندی خاک، کاهش آسیبهای ریشه‌ای به هنگام جابجایی نشاها، تشدید فعّالیت تثبیت زیست‌شناختی ازت، تاثیر مثبت بر پاره‌ای از ریزسازواره‌های مفید خاکزی و همچنین بهبود ویژگیهای کیفی و کمّی محصولات زراعی مورد توجّه و بررسی قرار گرفته‌اند [۶ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ و ۱۹و ۲۶]. افزایش جذب عناصر غذایی در ریشه، بیشتر به علّت انتشار میسلیوم[۶]های قارچ میکوریزای مرتبط با بافتهای درونی ریشه و تشکیل سیستم جذب اضافی به صورت مکمّل سیستم ریشهٔ گیاه است و بهره‌گیری از حجم بیشتر خاک را که ریشه‌های تغذیه کننده به آن دسترسی ندارند ممکن می‌سازد [۱۱ و ۱۳و ۱۴و ۲۱ و ۲۲]. از طرف

۱- Mycorrhiza
۲- Actinomycetes
۳- Stroptomyces
۴- Microorganisms
۵- Rrizosphere
۶- Mycelium (قسمتهای ریسه‌ای)

دیگر، قارچهای میکوریزا دارای «فسفاتازهای» مختلف برای تجزیهٔ فسفاتهای آلی و پیروفسفاتهای معدنی می‌باشند [۲۰].

یکی از هدفها در این تحقیق کاستن مصرف کودهای شیمیایی و سموم مختلف بوده است؛ با توجّه به اینکه هنگام ضدعفونی کردن بذرها به وسیلهٔ سموم، احتمال آسیب‌رسیدن به قارچهای میکوریزا وجود دارد، برای جلوگیری از فعّالیت عوامل بیماریزا از سازواره‌های ردهٔ آکتینومیست‌ها از جنس اِستروپتومیسس استفاده شد که نقش مهمی در کنترل زیست‌شناختی بیماریها دارد. علاوه بر این، استرپتومیسس‌ها نقش موثّری در بهبود رشد گیاهان دارند، به این جهت به عنوان تنظیم کنندهٔ رشد گیاهی[۷] مطرح می‌باشند [۲۴ و ۲۵]. کاربرد این‌گونه مواد زیست‌شناختی در سیستمهای زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و یکی از وسایل اساسی دستیابی به کشاورزی پایدار است. از طرف دیگر کاربرد فنون هسته‌ای روشی دقیق و مناسب برای اندازه‌گیری مقدار مواد غذایی جذب‌شده در گیاهان و تعیین چگونگی حرکت و جابجایی آنها در خاک می‌باشد. با استفاده از ایزوتوپها می‌توان مقدار مطلوب کودهای شیمیایی، مناسب‌ترین زمان مصرف آنها، مکان قرار گرفتن و میزان آنها را در خاک حساب کرد. در این تحقیق، به منظور بررسی دقیقتر تاثیر ریزسازواره‌های بکار رفته در جذب عناصر غذایی در گیاه از فسفر رادیوآکتیو (^{۳۲}P) استفاده شد. این رادیوایزوتوپ از بمباران گوگرد-۳۲ با نوترونها برطبق واکنش هسته‌ای زیر بدست می‌آید:

$$_{۱۶}S^{۳۲} + _{۰}n^{۱} \longrightarrow _{۱۵}P^{۳۲} + _{۱}H^{۱}$$

فسفر رادیوآکتیو معمولاً به صورت محلول ارتوفسفات در طرح‌های تحقیقاتی زراعی بکار می‌رود. یون فسفات پس از وارد شدن به شیره گیاهی در بعضی نقاط گیاه متمرکز شده و در ساختار بعضی از مولکولها نمایان می‌گردد. در یاخته‌ها، فسفر در مولکول اسیدنوکلئیک وارد شده و در برخی نقاط دیگر به صورت ترکیبات ناپایدار متمرکز می‌شود. عنصر فسفر در مراکز رشد ساقه و ریشه، یعنی در جاهایی که در آنها تقسیمات یاخته‌ای به تعداد زیاد انجام می‌گیرد، موردنیاز گیاه است. ایزوتوپ رادیوآکتیو ^{۳۲}P بدون‌اینکه اثر تخریبی بر رشد گیاه داشته باشد به قسمتهای مختلف آن منتقل می‌شود، زیرا اگر تابش حاصل از ^{۳۲}P موجب تغییراتی در بافت ریشه شود، رشد گیاه طبیعی نبوده و ارزش فسفر جذب شده نامشخص است. بنابر گزارشهای موجود، استفاده از کودی که در هر گرم فسفر معمولی تا حد ۲۰۰ میلی‌کوری ^{۳۲}P وجود داشته باشد، مورد اطمینان است. یکی از پارامترهای مهمّ رادیوایزوتوپها، فعالیت ویژه آنها، یعنی میزان آکتیویته (یا مقدار ^{۳۲}P) در هر گرم از عنصر یا مادّه است که برحسب یکاهای بکرل بر گرم (Bq/g)، میکروکوری بر گرم (μCi/g)، واپاشی بر میلی‌گرم در ثانیه (dps/mg)[۸] و یا واپاشی بر میلی‌گرم در دقیقه (dpm/mg) بیان می‌شود. فعالیت ویژهٔ ایزوتوپ خالص ^{۳۲}P برابر $۳\times۱۰^{۱۱}\mu Cig^{-۱}$ است (یک میکروکوری معادل $۲/۲\times۱۰^{۶}$dpm است)، بنابراین یک گرم ^{۳۲}P عملکردی معادل $۶/۶\times۱۰^{۱۷}$dpm دارد. در بسیاری از تحقیقات مشخّص شده است که تعداد ۳۰ تا ۳۵ شمارش در ثانیه (cps) و یا ۲۰۰۰ شمارش در دقیقه (cpm) برای آزمایشهای بررسی خاک و تغذیه گیاهی مناسب است. باید در نظر داشت که سه عامل در اندازه‌گیری فعّالیت ویژه کود نشاندار شده با ^{۳۲}P مهم هستند که عبارتند از کارآیی و حساسیت دستگاه شمارنده، میزان ترقیق زیست‌شناختی و شیمیایی، و دورهٔ رشد گیاه در رابطه با نیمه عمر ماده رادیوآکتیو. ^{۳۲}P دارای نیمه عمر ۱۴/۳ روز و ^{۳۳}P دارای نیمه عمر ۲۵/۳ روز است. هر دو ذرات بتا تابش می‌کنند، ولی انرژی تابش بتای ^{۳۲}P بیشتر است. در آزمایشهایی که بیش از ۱۲۰ روز طول می‌کشند باید از ^{۳۳}P استفاده کرد[۱ و ۵].

۲- مواد و روشها

این آزمایش در سال زراعی ۷۷-۱۳۷۶ در گلخانهٔ مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای کرج با مختصّات جغرافیایی تقریبی °۳۶ عرض شمالی، °۵۱ طول شرقی و ارتفاع ۱۳۱۰ متر از سطح دریا به اجرا در آمد. به منظور

۷- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

۸- disintegration per second

جدول ۱- ویژگیهای خاک مورد استفاده

بافت خاک	شن %	سیلت %	رس %	پتاسیم قابل جذب ppm	فسفر قابل جذب ppm	ازت کل %	کربن آلی %	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی× 10^{3} ds/m	درصد اشباع
رس لومی	۴۱	۲۷	۳۲	۲۹۰	۸/۵	۰/۰۸۵	۰/۸۰	۷/۹	۱/۳	۳۸

فراهم کردن ویژگیهای هر چه نزدیکتر به شرایط مزرعه، خاک مورد استفاده در این آزمایش از مزارع تحقیقاتی بخش کشاورزی هسته‌ای واقع در زعفرانیه کرج تهیه شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این خاک در جدول ۱ مندرج است.

در این تحقیق، از گندم رقم مهدوی استفاده شد. این رقم از نوع رشد بهاره بوده و در مقابل بیماریها، شوری، سرما و خوابیدگی مقاوم است. دانه‌های آن دارای حدود ۱۰ تا ۱۱ درصد پروتیین بوده و از کیفیت نانوایی نسبتاً خوبی برخوردار است. این رقم برای کشت در مناطق معتدل و سرد کشور و حتّی در زمینهای نسبتاً شور مناسب است.

روش تحقیق بر اساس آزمایش سازه‌ای (فاکتوریل) در قالب کَرتهای کاملاً تصادفی با سه سازه (فاکتور) و درسه تکرار در شرایط گلخانه طرح ریزی و اجرا گردید. هر تکرار شامل ۱۶ تیمار آزمایشی بود و مجموعاً ۴۸ تیمار آزمایشی (گلدان) در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. عوامل مورد بررسی (سازه‌های آزمایشی) عبارت بودند از:

- کود فسفر به صورت سوپر فسفات تریپل در چهار سطح (۰ و ۰/۲۰ و ۰/۴۰ و ۰/۶۰ گرم) که هر یک از این مقادیر جداگانه برای هر گلدان (تیمار) توزین و به صورت کاملاً پودر، قبل از کاشت بذرها درون گلدانها با خاک مخلوط شد:
- دو سطح مصرف، بدون استفاده میکوریزا (Glomus sp.) و با استفاده از آن به مقدار یک گرم برای هر گلدان که جداگانه توزین و با بذر گندم به هنگام کاشت آمیخته می‌شد انجام گرفت؛ مادّهٔ حامل آن رس بود که در هر گرم از آن حدود 10^{5} اسپورقارچ وجود داشت (تهیه شده از شرکت اگری فیوچر - ایتالیا).
- دو سطح مصرف، بدون استفاده و با استفاده از استرپتومیسس (Streptomyces sp.S57) به میزان ۰/۸ گرم برای هر گلدان، که جداگانه توزین و با بذر گندم در هنگام کاشت آغشته می‌شد صورت گرفت. مادّهٔ حامل آن رس و حاوی 10^{8}cfu/g استرپتومیسس (تهیه شده در دانشگاه میلان ایتالیا) بود.

در تاریخ ۱۳۷۶/۹/۵ نمونه‌های بذر گندم که قبلاً با ریزسازواره‌ها به طور جداگانه آغشته شده بودند، درون گلدانهایی با ظرفیت وزنی ۲/۵ کیلوگرم کاشته شدند. به منظور تامین نیاز نیتروژن گیاهان در مراحل رشد، پیش از کاشت مقدار ۰/۵ گرم کود اوره با خاک هر یک از گلدان‌ها مخلوط شد. ابتدا در هر گلدان تعداد ۱۰ دانهٔ گندم در عمق ۲ سانتی‌متر کاشته شد. آبیاری به طور غیر مستقیم، با ریختن آب درون زیر گلدانی‌ها انجام می‌گرفت تا از شسته شدن کود، یا سله بستن خاک و همچنین تماس مستقیم گیاه با آب جلوگیری شود. عمل تنک‌کردن و حذف بوته‌های اضافی ۱۰ روز پس از کاشت، هنگامی که گیاهان سبز شده بودند، صورت گرفت و در هر گلدان ۵ گیاه به فاصله‌های نسبتاً یکسان نگهداشته شدند. در این مرحله، دفعات آبیاری بسته به دمای محیط و رطوبت خاک هر هفته یکبار و در پایان مراحل رشد گیاهان که دمای محیط افزایش بیشتری داشت، هر دو روز یکبار صورت گرفت. در تاریخ ۱۳۷۷/۱/۵ که مصادف با مرحله ساقه دهی گندم بود، مقدار ۰/۵ گرم کود اوره به صورت محلول به عنوان کود سرک، دوباره به هر یک از گلدانها داده شد.

۲-۱-کاربرد فسفر- ۳۲

به منظور بررسی دقیقتر کارآیی ریزسازواره‌های موردنظر، به ویژه میکوریزا، در تعامل با مقادیر مختلف فسفر از فسفر-۳۲ استفاده شد. مقدار ۶/۷۸ میلی کوری فسفر-۳۲ به صورت

اسید ارتوفسفریک در تاریخ ۷۶/۱۱/۲۰ (یعنی ۷۵ روز پس از کاشت گلدانها) مورد استفاده قرار گرفت. این مقدار مادّه رادیوآکتیو پس از حل کردن در آب مقطر و رساندن به حجم ۱۴۴ میلی‌لیتر بطور مساوی به میزان ۳ میلی‌لیتر در گلدانهاتوزیع شد. آکتیویته موجود برای هر گلدان در زمان مصرف، ۰/۱۴۱ میلی‌کوری معادل $۵/۲۱۷ \times ۱۰^{۶}$ بکرل بود. پس از توزیع این مادّه بر سطح خاک گلدان، بی‌درنگ به هر گلدان مقداری آب داده شد تا کاملاً به عمق ریشه‌گاه گیاه نفوذ نماید. در مرحلهٔ پرشدن دانه‌ها که بوته‌ها هنوز کاملاً سبز بودند، (یعنی در تاریخ ۷۷/۱/۲۵) عملیات برداشت گیاهان رادیوآکتیو شده انجام گرفت. بوته‌های هر گلدان پس از کف بر شدن از سطح خاک، در پاکتهای جداگانه جمع آوری گردیدند و به مدت ۴۸ ساعت در گرمخانه (آون) در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین و آسیاب شدند. نمونه‌های گیاهی آسیاب شده از الکهای ویژه عبور داده شدند تا اندازهٔ ذرات یکسان شوند. سپس از هر نمونه مقدار یک گرم در طشتک فولادی ریخته شد و برای هموار شدن سطح نمونه، به هر یک از طشتک‌ها ۱۰ میلی لیتر استون اضافه و در زیر لامپ مولّد اشعهٔ فروسرخ قرار داده شد. نمونه‌های هموارشده به وسیلهٔ دستگاه شمارش‌گر β (مدل Multi. low. level counter FHT 770 ساخت کمپانی Eberline) به مدت ۱۰۰۰ ثانیه شمارش و آکتیویته (A) موجود در هر نمونه (یک گرم گیاه خشک) برحسب بکرل از رابطهٔ زیر حساب شد:

$$A = \frac{CPS}{E} \left(\frac{\text{تعداد واپاشیها در ثانیه}}{\text{بازده دستگاه}} \right)$$

چون درجه‌بندی (کالیبراسیون) دستگاه شمارنده با توجّه به بازده چشمه‌های استاندارد فسفر-۳۲ به روش سیستم تناسبی گازی (Gas proportional system) صورت گرفته، بازده E برطبق ضوابط این روش، ۰/۳۶ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲- متوسّط دماهای حداقل و حداکثر گلخانه در مدت رویش گیاهان

ماه	حداقل دما (C°)	حداکثر دما (C°)
آذر	۰	۱۹
دی	-۲	۱۸
بهمن	-۱/۵	۱۷/۵
اسفند	-۱/۵	۱۸
فروردین	۹/۵	۲۹

۳- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی واکنش قارچهای میکوریزا و توان آنها در بر قراری همزیستی با ریشهٔ گندم نشان داد که این ریزسازواره در برابر مقادیر زیاد فسفر حسّاس بوده و کارایی آن کاهش می‌یابد ولی دوام و بر قراری همزیستی بین استرپتومیسس و ریشهٔ گندم متأثّر از مقادیر مختلف فسفر نبوده است. بر این اساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل جوراجوری[۹] مربوط به صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۳ درج شده است. همچنین مقایسه میانگین اثرهای اصلی و اثرهای متقابل تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Dunkan's Multiple Range Test) به منظور بررسی صفات انجام گرفت که نتایج حاصل از آنها در جدول‌های ۴ و ۵ مندرج است.

جدول ۳ نشان می‌دهد که بین مقادیر مختلف فسفر اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۱٪ وجود دارد. افزودن فسفر به خاک سبب افزایش تعداد پنجه‌ها در گیاه گردید و تیمار $P_۳$ (۰/۴۰ گرم فسفر در گلدان) با دارا بودن ۳/۵۲ پنجه در گیاه نسبت به سایر سطوح در گروه برتر قرار گرفت (جدول ۴). همچنین در موارد کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا بین این دو مورد از نظر تاثیر بر پنجه‌زنی گیاه، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ مشاهده شد، به طوری که کاربرد میکوریزا سبب شد که تعداد پنجه‌ها در گیاه افزایش یابند. به عبارت دیگر، با توجّه به یکسان بودن تراکم (تعداد گیاه در هر گلدان) و مشابه بودن

۹- Variance analysis

جدول ۳- تجزیه و تحلیل جوراجوری صفات تعیین شده

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات			
		تعداد پنجه در گیاه	وزن خشک گیاه (g)	آکتیویته در گرم ماده خشک(Bq/g)	آکتیویته در هر گیاه (Bq)
(P) فسفر	۳	۴۰/۸۹۵**	۳۱/۳۵**	۳۲۴۵۳۹/۱۹**	۲۱۹۲۷۵۹/۷۹۴**
(M) میکوریزا	۱	۳۲/۳۶۵**	۱۴۲/۲۸۷**	۳۱۵۳۲۵/۴۰۵**	۴۱۹۶۸۲۳/۷۴۸**
(PM) فسفر × میکوریزا	۳	۸۵/۸۲۷**	۰/۶۴۶ns	۱۳۵۸۶۰/۰۷۴**	۳۴۸۳۳۵/۵۷۳**
(S) استرپتومیسس	۱	۱۱۰۱۵ns	۰/۶۹۳ns	۱۱۸۴۹/۹۸۰ns	۷۱۷۲۵/۶۷ns
(PS) فسفر × استرپتومیسس	۳	۱۶/۶۴۴	۱۱/۹۶۷**	۳۸۰۵۷/۷۰۶**	۱۴۹۰۳۶/۵۳۷**
(MS) time میکورریزا × استرپتومیسس	۱	۱۲۰/۹۷۵**	۱۴۹/۲۴۴**	۲۲۸۴۲۷/۵۷۱**	۳۷۳۴۶۳۲/۱۹**
(PMS) timeفسفر× میکورریزا×استرپتومیسس	۳	۵۴/۰۷۰**	۰/۵۳۹ns	۱۱۴۹۱۹/۴۷۶**	۲۰۴۵۲۷/۷۷۴**
(E) خطا	۳۲	۶/۵۷۷	۲/۰۴۲	۷۲۹۸/۲۱۷	۴۱۸۹۱/۶۲۳
ضریب تغییرات (CV%)	-	۷/۸۷	۷/۰۱	۱۰/۴۲	۱۱/۸۹

* معنی دار در سطح ۵٪ ** معنی دار در سطح ۱٪ ns غیر معنی دار

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرهای اصلی سازه‌های آزمایشی برای صفات تعیین شده

تیمار	تعداد پنجه‌درگیاه	وزن خشک گیاه (g)	آکتیویته درگرم ماده خشک (Bq/g)	اکتیویته در هر گیاه (Bq)
P۰	۳/۱۲b	۱/۸۵c	۶۱۶/۷۵d	۱۱۴۰/۹۸d
P۱	۳/۱۴b	۱/۹۶c	۷۷۵/۵۱c	۱۵۱۹/۹۹c
P۲	۳/۲۴b	۲/۱۰b	۸۸۴/۰۶b	۱۸۵۶/۵۲b
P۳	۳/۵۲a	۲/۲۳a	۱۰۰۳/۶۹a	۲۲۳۸/۲۲a
m۰	۳/۱۷	۱/۸۶	۷۳۸/۹۵	۱۳۷۴/۴۴
m۱	۳/۳۴	۲/۲۱	۹۰۱/۰۵	۱۹۹۱/۳۲
s۰	۳/۲۱	۲/۰۲	۸۰۴/۲۹	۱۶۲۴/۶۶
s۱	۳/۳۰	۲/۰۵	۸۳۵/۷۱	۱۷۱۳/۲۰

جدول ۵- مقایسه میانگین تعامل سازه‌های آزمایشی برای صفات تعیین‌شده

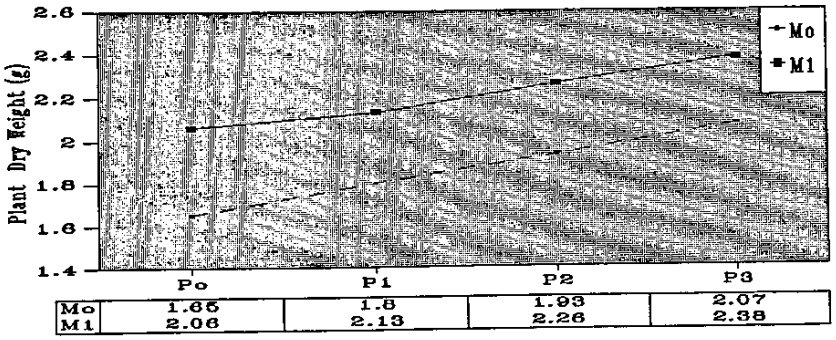
تیمار	تعداد پنجه‌درگیاه	وزن خشک گیاه (g)	آکتیویته درگرم ماده خشک (Bq/g)	اکتیویته در هر گیاه (Bq)
p۰m۰	۲/۶۷e	۱/۶۵f	۳۸۵/۸۰d	۶۳۶/۵۷e
p۰m۱	۳/۵۷ab	۲/۰۶cd	۸۴۷/۷۰b	۱۷۴۶/۲۶c
p۱m۰	۳/۰۰d	۱/۸۰ef	۷۰۳/۶۰c	۱۲۶۶/۴۸c
p۱m۱	۳/۱۶cd	۲/۱۳bc	۸۴۷/۱۴b	۱۸۰۴/۹۸c
p۲m۰	۳/۲۹bcd	۱/۹۳de	۸۴۵/۹۶b	۱۶۳۲/۷۰c
p۲m۱	۳/۳۲bc	۲/۲۶ab	۹۲۲/۱۶ab	۲۰۸۴/۰۸b
p۳m۰	۳/۴۱abc	۲/۰۷cd	۱۰۲۰/۴۴a	۲۱۱۲/۳۱b
p۳m۱	۳/۶۲a	۲/۳۸cd	۹۸۶/۹۴a	۲۳۴۸/۹۱a
p۰s۰	۳/۰۳c	۱/۸۰f	۵۵۱/۷۰f	۹۸۷/۵۴d
p۰s۱	۳/۰۵c	۱/۹۲def	۶۸۱/۸۰e	۱۳۰۹/۰۵d
p۱s۰	۳/۰۷c	۱/۸۶ef	۸۰۷/۳۴cd	۱۵۰۱/۶۵c
p۱s۱	۳/۱۹bc	۲/۰۶bcd	۷۴۳/۶۷de	۱۵۳۱/۹۶d
p۲s۰	۳/۲۵abc	۲/۰۰cde	۹۱۴/۱۵b	۱۸۲۸/۳۰b
p۲s۱	۳/۴۲ab	۲/۲۰ab	۸۵۳/۹۷bc	۱۸۷۸/۷۳c
p۳s۰	۳/۴۷ab	۲/۱۴abc	۹۳/۷۲b	۲۰۰۶/۷۲ab
p۳s۱	۳/۵۷ab	۲/۳۱a	۱۰۶۹/۷۲a	۲۴۷۱/۰۵a
m۰s۰	۲/۹۷b	۱/۷۰c	۶۸۵/۶۸c	۱۱۶۵/۶۵c
m۰s۱	۳/۳۸a	۲/۰۳b	۷۹۲/۲۳b	۱۶۰۸/۲۲b
m۱s۰	۳/۴۵a	۲/۴۰a	۹۸۵/۷۵a	۲۳۶۵/۸۰a
m۱s۱	۳/۲۳a	۲/۰۲b	۸۱۶/۳۵b	۱۶۴۹/۰۲b
p۰m۰s۰	۲/۲۰e	۱/۴۱f	۱۰۶/۷۳h	۱۵۰/۴۹i
p۰m۰s۱	۳/۱۴bc	۱/۷۴e	۶۶۴/۸۶g	۱۱۵۶/۸۵h
p۰m۱s۰	۳/۲۴bc	۲/۱۷cd	۹۹۶/۶۸abc	۲۱۶۲/۶۹bc
p۰m۱s۱	۲/۶۲d	۱/۷۸e	۶۹۸/۷۳fg	۱۲۴۳/۷۳h
p۱m۰s۰	۲/۹۱cd	۱/۸۶e	۶۹۴/۹۳fg	۱۲۹۲/۵۶h
p۱m۰s۱	۳/۳۶bc	۱/۸۸e	۷۱۲/۲۷efg	۱۳۳۹/۰۶gh
p۱m۱s۰	۳/۴۴ab	۲/۳۸abc	۹۱۹/۷۴bcd	۲۱۸۸/۹۸bc
p۱m۱s۱	۳/۲۲bc	۱/۸۶e	۷۷۵/۰۷defg	۱۴۴۱/۶۳gh
p۲m۰s۰	۳/۶۳ab	۱/۸۷e	۸۵۸/۵۹cde	۱۶۰۵/۵۶efg
p۲m۰s۱	۳/۴۱ab	۲/۰۰de	۸۳۳/۳۲cdef	۱۶۶۶/۶۴efg
p۲m۱s۰	۳/۴۲ab	۲/۵۳a	۹۶۹/۷۰abc	۲۴۵۳/۳۴ab
p۲m۱s۱	۳/۱۴bc	۲/۰۰de	۸۷۴/۶۱cd	۱۷۴۹/۲۲efg
p۳m۰s۰	۳/۳۱bc	۱/۹۶de	۱۰۸۲/۴۵a	۲۱۲۱/۶۰bc
p۳m۰s۱	۳/۵۲ab	۲/۳۶abc	۹۵۸/۴۴abc	۲۲۶۱/۹۲ab
p۳m۱s۰	۳/۹۰a	۲/۵۰ab	۱۰۵۶/۸۷ab	۲۶۴۲/۱۷a
p۳m۱s۱	۳/۶۲ab	۲/۲۶bc	۹۱۷/۰۰bcd	۲۰۷۲/۴۲b

شرایط کاشت، علت افزایش تعداد پنجه‌ها در گندم،وجود شرایط همزیستی ریشه با میکوریزا بوده است. گزارش Panwar(۱۹۹۳)، همچنین محمد و همکاران (۱۹۹۵) دربارهٔ افزایش تعداد پنجه‌های گیاه در اثر کاربرد میکوریزا، مؤیّد این موضوع است [۱۸ و ۲۰]. تعامل فسفر و میکوریزا، بر تعداد پنجه‌ها در گیاه بسیار معنی‌دار بود (جدول ۳). این امر نشان می‌دهد که اثر میکوریزا بر تعداد پنجه‌ها مستقل از اثر فسفر نبوده و تحت تاثیر آن واقع شده است. مقایسه میانگین اثر متقابل فسفر و میکوریزا بر تعداد پنجه‌ها در گیاه نشان داد که در تیمار بدون میکوریزا،با افزودن مقدار فسفر تعداد پنجه‌ها در گیاه نیز افزایش می‌یابد در حالیکه در تیمار با میکوریزا بیشترین میزان پنجه‌زنی در سطح P_2 فسفر بود (جدول ۵). وجود یا عدم وجود استرپتومیسس در گیاه هیچگونه اختلاف معنی‌داری را از نظر تاثیر بر تعداد پنجه‌ها نشان نداده است. همچنین تعامل فسفر و استرپتومیسس، بر تعداد پنجه‌ها در گیاه نیز معنی دار نبود. بررسی تعامل میکوریزا و استرپتومیسس نیز نشان داد که وجود این دو ریزسازواره با هم سبب کاهش تعداد پنجه‌ها در گیاه می‌شود. این امر در واقع مربوط به نقش استرپتومیسس‌ها در تولید آنتی‌بیوتیک می‌باشد. تحقیقات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که استرپتومیسس (استرین S57) مانع رشد و فعالیت بسیاری از قارچها به ویژه عوامل بیماری‌زای قارچی می‌شود [۲۴ و ۲۵]. به همین جهت، در حالتی که میکوریزا به تنهایی بکار رفته است، تعداد پنجه‌ها در گیاه بیشتر از حالتی بوده که همراه با استرپتومیسس مصرف شده است. تعامل سه گانهٔ فسفر، میکوریزا و استرپتومیسس نیز از نظر تأثیر بر تعداد پنجه‌ها در گیاه اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ داشتند به طوری که بیشترین تعداد پنجه‌های تولیدشده در این حالت مربوط به تیمار $p_4m_1s_0$ است که با تولید ۴/۹۰ پنجه در مقایسه با سایر تیمارها در سطح بالاتری قرار گرفته است.

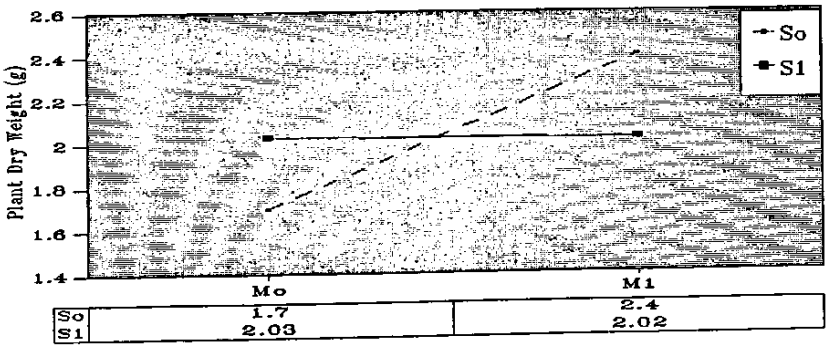
بررسی اثر سطوح مختلف مصرف فسفر بر وزن خشک گیاه نیز نشان داد که بین آنها تفاوت بسیار معنی‌دار وجود دارد. چون وجود فسفر باعث رشد سیستم ریشه گیاهان می‌شود، جذب آب و مواد غذایی بهتر و بیشتر صورت گرفته و همزمان با افزایش فتوسنتز، میزان جذب در گیاه نیز بالا می‌رود. جدول ۴ نشان می‌دهد، تیمار P_4 بالاترین سطح مصرف فسفر را داشته و توانسته است وزن خشک بیشتری در گیاه تولید کند و در گروه برتر قرار گیرد. Rodriguese و همکاران نیز اظهار داشته‌اند که کمبود فسفر سبب کاهش تعداد پنجه‌ها و کاهش وزن خشک اندام هوایی در گندم به میزان ۲۵ درصد شده است [۲۳]. کاربرد میکوریزا سبب افزایش وزن خشک گیاه نسبت به حالت عدم استفاده از آن شد. در این مورد می‌توان گفت که میکوریزا از راه افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش عمل فتوسنتز در گیاه، و در نتیجه، تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و بهبود رشد گیاه می‌شود. افزایش وزن خشک گیاه در اثر کاربرد میکوریزا توسّط «طرفدار» و «Marschner» نیز گزارش شده است [۲۷]. با توجّه به تعامل فسفر و میکوریزا بر گیاه، تیمار P_4m_1 با دارا بودن ۲/۳۸ گرم وزن خشک، بالاترین مقدار را داشته و در گروه برتر قرار گرفته است (شکل ۱). استرپتومیسس در دو حالت کاربرد و عدم کاربرد آن، هیچگونه اثر معنی‌دار آماری بر وزن خشک گیاه نشان نداده است ولی بررسی تعامل فسفر و استرپتومیسس نشان داد که تیمار P_4S_1 بیشترین مقدار وزن خشک را تولید کرده است.

تعامل میکوریزا و استرپتومیسس اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ نشان دادند، به طوریکه بیشترین مقدار وزن خشک تولید شده (یعنی ۲/۴۰ گرم) مربوط به تیمار m_1s_0 بوده و در گروه برتر قرار گرفته است. در تیمار m_1s_1، استرپتومیسس باعث کاهش فعّالیت گیاه و جلوگیری از گسترش ریسه‌های قارچ شده در نتیجه جذب آب و مواد غذایی در این تیمار نسبت به تیمار m_1s_0 کاهش یافته و در پی آن مواد فتوسنتزی و وزن خشک بافتهای گیاهی نیز اُفت داشته است. مقایسه میانگین تعامل سه گانهٔ سازه‌های آزمایشی نیز نشان داد که تیمار $p_1m_1s_0$ با تولید ۲/۵۳ گرم ماده خشک در گروه برتر قرار گرفته است (شکل ۲).

دربارهٔ وجود رادیوآکتیویته در گیاه خشک، قابل ذکر است که این خاصیت به طور غیرمستقیم نشان دهندهٔ کارآیی ریزسازواره‌ها به ویژه میکوریزا می‌باشد. مقدار فسفر-۳۲ برای کلّیه تیمارهای آزمایشی (گلدانها) یکسان و نحوهٔ توزیع و مدّت مصرف آنها نیز مشابه بوده است. بنابراین می‌توان



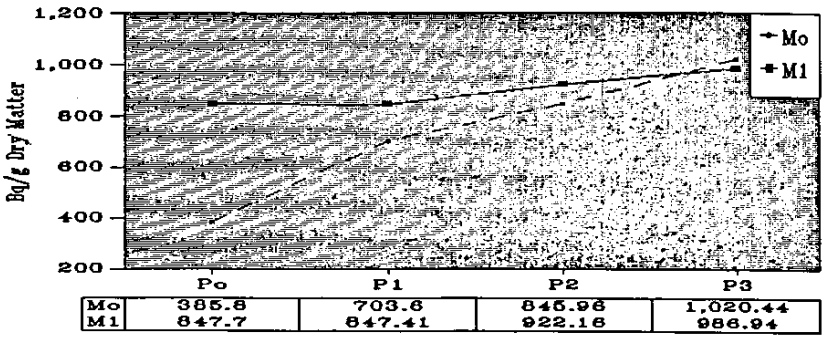
شکل ۱- پاسخ وزن خشک گیاه به ازای سطوح مختلف فسفر در دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا



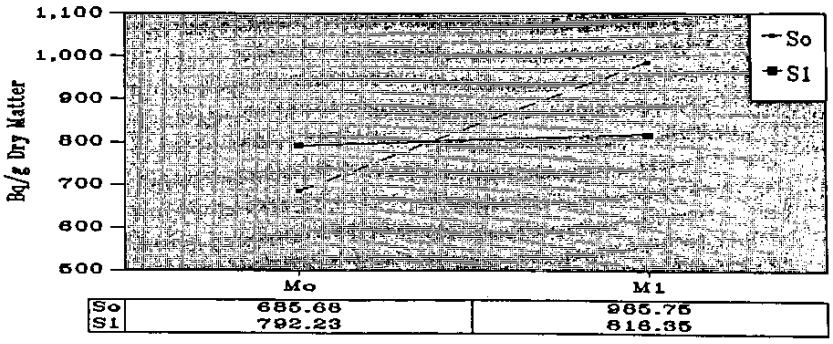
شکل ۲- پاسخ وزن خشک گیاه به ازای سطوح مختلف فسفر در دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا

گفت که تفاوت‌های مشاهده شده در مقادیر آکتیویته در مادّهٔ خشک گیاه در واقع بیان کننده فعّالیت ریزسازواره‌ها است و در این رابطه نقش میکوریزا از این نظر اهمیت دارد که هر اندازه توسعهٔ ریسه‌های قارچ بیشتر باشد، مقدار بیشتری از عناصر مختلف، از جمله فسفر-۳۲ را جذب می‌کند. جدول ۴ نشان می‌دهد که اثر سطوح مختلف مصرف فسفر بر این خاصیت در سطح ۱٪ معنی دار است و تیمار P_3 با دارا بودن آکتیویته ۱۰۰۳/۶۹ بکرل در گرم مادّهٔ خشک گیاهی در گروه برتر قرار گرفته است. می‌توان گفت که در این مورد با توجّه به نقش فسفر در توسعهٔ سیستم ریشه گیاه، جذب مواد و عناصر مختلف افزایش می‌یابد و به همین دلیل جذب فسفر-۳۲ در این جا بیشتر شده است.

کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا به لحاظ میزان آکتیویته در هر گرم ماده خشک، در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است. بطورکلی، کاربرد میکوریزا چنانکه گفته شد، به دلیل توسعهٔ سطح جذب گیاه از طریق تولید ریسه‌های قارچی توانسته است مقدار فسفر-۳۲ بیشتری را جذب و به بافتهای رویشی گیاه منتقل کند. بررسی تعامل سطوح فسفر و میکوریزا نیز نشان داد که تیمارهای P_2m_1، P_3m_0 و P_3m_1 بیشترین مقدار جذب را داشته و در گروه برتر قرار گرفته‌اند (شکل ۳). در این میان تیمار P_2m_1 با وجود کمتر بودن مقدار فسفر، به علت وجود میکوریزا توانسته است مقدار فسفر-۳۲ بیشتری را جذب نماید که این امر ممکن است به دلیل فعّالیت بهتر میکوریزا در سطوح پائین‌تر فسفر باشد. بنابراین، مشخّص می‌شود که سطح کودی P_2 (۰/۴۰ گرم فسفر در گلدان) در همزیستی میکوریزا و گندم حائز اهمیت بیشتری است. کاربرد و عدم کاربرد استرپتومیسس از نظر تأثیر بر مقدار آکتیویته در مادّهٔ خشک گیاه، اختلاف معنی‌داری نشان ندادند و تعامل سطوح فسفر و استرپتومیسس نیز نشان داد که تیمار P_3s_1 توانسته است از این نظر در گروه برتر قرار گیرد. همچنین تعامل میکوریزا و استرپتومیسس نشان داد که وجود استرپتومیسس در کنار میکوریزا به دلیل وجود اثر متضاد، موجب کاهش فعالیت میکوریزا شده است. در این مورد، تیمار m_1s_1 به دلیل اثر منفی استرپتومیسس بر میکوریزا در گروه پائین‌تر قرار گرفته است. بررسی تعامل سه گانه فسفر، میکوریزا و استرپتومیسس نیز نشان داد که تیمارهای $p_2m_1s_0$، $p_3m_0s_0$، $p_3m_0s_1$ و $p_3m_1s_0$ در گروه برتر قرار گرفته‌اند (شکل ۴).



شکل ۳- پاسخ میزان آکتیویته در هر گرم مادهٔ خشک گیاه به ازاء سطوح مختلف فسفر در دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا



شکل ۴- پاسخ میزان آکتیویته در هر گرم مادهٔ خشک گیاه به ازاء سطوح مختلف فسفر در دو حالت کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا

مقدار رادیوآکتیویته در گیاه در واقع از حاصلضرب وزن خشک گیاه در آکتیویته موجود در هر گرم ماده خشک گیاه بدست آمده است که با واحد بکرل بیان می‌شود. بدیهی است هر اندازه تاثیر تیمارها بر رشد گیاه و تولید مادّهٔ خشک آن بیشتر باشد، به همان نسبت مقدار این رادیوآکتیویته افزایش می‌یابد. بنابراین اکثر تیمارهایی که وزن خشک بالاتری داشته‌اند و یا سطح جذب آنها (انتشار میسلیوم‌ها) بیشتر بوده است، به لحاظ این صفت، در گروه برتر قرار گرفته‌اند و نتایج حاصل در جدولهای ۳ و ۴ و ۵ درج شده است.

در این پژوهش، به منظور تجزیه و تحلیل همبستگی بین صفات مختلف، پس از بررسی این صفات ضرائب همبستگی بین آنها حساب شد؛ نتایج حاصل از این محاسبه در جدول ٦ مندرج است. این جدول نشان می‌دهد که بین تعداد پنجه‌ها در گیاه با کلّیه صفات، بین آکتیویته در گرم ماده خشک با تعداد پنجه در گیاه و وزن خشک گیاه، بین آکتیویته در گیاه با تعداد پنجه در گیاه، وزن خشک گیاه و آکتیویته در گرم ماده خشک همبستگی مثبت و معنی داری در سطح ۱٪ وجود دارد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از زحمات آقایان دکتر شیرانی‌راد، مهندس لشکری، مهندس مصطفوی، فتح‌الهی، فتحی‌وند، بیت‌الهی، ستارزاده، مسینه و سرکارخانم حافظی که در انجام این تحقیق ما را یاری دادند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمائیم.

جدول ٦- ضرائب همبستگی صفات بررسی شده

	تعداد پنجه در گیاه	وزن خشک گیاه	آکتیویته در گرم ماده خشک	اکتیویته در هر گیاه
تعداد پنجه در گیاه	۱۰۰۰**			
وزن خشک گیاه	۰/۴۰۹**	۱۰۰۰**		
آکتیویته در گرم ماده خشک	۰/٦۲۵**	۰/٦۴۸**	۱۰۰۰**	
آکتیویته در گیاه	۰/۵۵۸**	۰/۸۸۳**	۰/۹۱۸**	۱۰۰۰**

**: معنی دار در سطح ۱٪

References

۱ - م. ابوکاظمی، (ترجمه). آشنایی با فیزیک بهداشت از دیدگاه پرتوشناسی، مرکز نشر دانشگاهی (۱۳۷۱).

۲ - م. اردکانی. بررسی کارآیی کودهای بیولوژیک در زراعت پایدار گندم. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات تهران (۱۳۷۴).

۳ - الف. ح. شیرانی راد. بررسی اکوفیزیولوژیک همزیستی قارچهای VAM با گندم و سویا. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات تهران (۱۳۷۷).

۴ - ن. صالح راستین. کودهای بیولوژیک. نشریه علمی خاک و آب. جلد ۱۲، شماره ۳، ص ۱ تا ۳۶. سازمان تحقیقات، آموزشی و ترویج کشاورزی . موسسه تحقیقات خاک و آب (۱۳۷۷).

۵ - م. قنادی مراغه، (ترجمه). اصول و مبانی شیمی هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران (۱۳۷۲).

۶ - الف. مستاجران، ف. ضوئی. همزیستی - میکوریزا . انتشارات دانشگاه اصفهان (۱۳۷۸).

7. *L.K. Abbott, and A.D.Robson, Infectivity and effectiveness of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal fungi: Effect of inoculant type. Aust. J. Agric. Res.32: 631 - 639, (1981).*

8. *I.I. Arias, Koomen. J.C.Dodd, R.P. White and D.S. Hayman. Growth responses of mycorrhizal and non- mycorrhizal tropical forage species to diffenent levels of Soil phosphate Plant and Soil. 132: 253-260, (1991).*

9. *G.J. Bethlenfalvay, and R.G. Linderman, Mycorrhiza in sustainable agriculture. American Sociely of Agronony Inc., (1992).*

10 *A.H. Fitter, and J. Garbaye, Interactions between mycorrhizal fungi and other soil organisms. In: Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. (Ed. by A. D. Robson, L.K. Abbott and N. Malajczuk). PP. 123-130. Kluwer Academic Publisher, (1994).*

11. *M.E. Gavito, and L. Varela, Response of "criollo" maize to single and mixed species inocula of arbuscular mycorrhiza fungi. Plant and Soil. 176: 101-105, (1995).*

12. *E.,K. George, S.K. Haussler, X. L. Li. Kothari, and H. Marschner, Contribution of mycorrhizal hyphae in ecosytems. (Ed.by D.J. Read, D.H. Lewis, A.H. Fitter, I.J. Alexander) PP.42-47. CAB International Publisher, (1994).*

13. *J.L. Harley, and S. E. Smith, Mycorrhizal symbiosis. Academic Press (1983).*

14. *S. Isaac, Fungal-plant Intera ctions. Chapman and Hall Publisher, (1992).*

15. *E.L. Kherbawy, Soil PH, Rhizobia and VAM inoculation effects on growth and heavy metal uptake of alfalfa (Medicago sativa). Biol. Fertil. Soil. 8:61-65, (1989).*

16. *D.H. Lambert, and T.C. Weidensaul, Element uptake by mycorrhizal soybean from sewage sludge treated soil. Journal of Soil Science of America. 55:393-398, (1991).*

17. *H. Marschner, and B. Dell. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. In: Management of mycorrhizas in agricultaue, horticulture and forestry. (Ed. by A. D. Robson, L.K. Abbott and N.Malajczuk). PP. 89-102. Kluwer Academis Publishec.*

18.M.J. Mohammad, W.L. Pan and A.C. Kennedy, Wheat responses to Vesicular Arbuscular Mycorrhizal fungi inoculation of soils from eroded to posequence. Journal of American Soil Science Society. 59: 1086-1090, (1995).

19.J.M. Oades, and A.G. Waters, Aggregate hierarch in soils. Aust. J. soil Res. 29: 815-828, (1991).

20.J.D.S. Panwar, Response of VAM and Azospirillam inoculation to water status and grain yield in wheat under water stress Condition. Indian Journal of Plant Physiology. 36: 71-73, (1993).

21.C. Plenchette, V. Furlan and A. Fortin, Responses of endomycorrhizal plants grown in calcined montmorlionite clay to different levels of soluble phosphorus. Can. J. Bot. 61: 1377-1383, (1983).

22.C.L. Powell, and D.J. Baggara, VA mycorrhizae. CRC press Inc, (1986).

23.D. Rodrigues, M.C. Pomar and J. Gourdiaan, Leaf primordia initation, leaf emergence and tillering in wheat (Triticum aestivum) grown under low-phosphorus conditions. Plant and Soil. 202: 149-159, (1998).

24.M. Saracchi, S. Quaroni, P. Sardi and B. Petrolini, Relationships between streptomyces sp. S57 and roots and its utilization in the improvement of crop production. New approaches in biological control of soil - borne diseases. Proceeding workshop, Copenhaggen, (1991).

25.P. Sardi, M. Saracchi, S. Quaroni, B. Petrolini, G. Borgonovi and S. Meril, Isolation of endophytic streptomyces strains from surface sterlized roots. Appl. Environ. Microbiol. 58: 2691-2693, (1992).

26.D.E. Smith, D.J.D. Nicholas and F.A. Smith, Effect of early mycorrhizal infection on nodulation and nitrogen fixation in Trifolium subterraneum. Aust. J. Plant Physiol. 6: 305-316, (1997).

27.J.C. Tarafdar, and H. Marschner, Dual inoculation with Aspergillus fumigatus and Glumus mosseae enhances biomass production and nutrient uptake in wheat (T. aestivuml) Suppliced with organic phosphorus as Na-phytate. Plant and Soil. 173: 97-102, (1994).

AEOI Scientific Bulletin

No. 23, pp. 25 - 36,2001

The study of Mycorrhiza and Streptomyces' efficiency at different levels of phosphorus by using ^{32}P in Greenhouse Condition

M.R.Ardakani, F. Majd

Nuclear Research Center for Agriculture and Medicine Agriculture Section, AEOI, P.O. Box 31585-4395, Karaj-Iran

Abstract

In order to study the symbiosis of Mycorrhiza and Streptomyces from actinomycetes with the roots of wheat as bioferfilizers that could provide plant nutrients and plant protection, a research has been established with different levels of phosphorus at greenhouse condition. On the other hand, the interaction of two microorganisms, to achive a good fertilization formula was also studied. For obtaining the best results, ^{32}P was also utilized. A factorial experiment in a completely randomizad design in 3 replication was used in which 4 levels of P (0 , 0.20 , 0.40 and 0.60 g/pot) were applied and for each microorganisms 2 levels (one with and one without using) in form of seed inoculation was utilized. Our results showed that, using Mycorrhiza has a positive and significant effect in all characters. By increasing the phosphorus levels, however, the Mycorrhizal activity increased at the rate of 0.40 g/pot which showed a good activity. There were a negative or antagonistic interaction between two microorganisms and all characters reduced by using them together.