بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشگاه صنعتی شاهرود**
**دانشکده کشاورزی**
**گروه زراعت**

# بررسی تلقیح مضاعف قارچ میکوریزای آرباسکولار و باکتری حل کننده فسفات و کاربرد کود فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود

**عصمت محمدی**

**اساتید راهنما:**
**دکتر حمیدرضا اصغری**
**دکتر احمد غلامی**

**اساتید مشاور:**
**دکتر حمید عباسدخت**
**مهندس مهدی رحیمی**

**پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد**

**دی ماه ۱۳۹۰**

شماره : ۴۲۸ /ت
تاریخ : ۱۳۹۰/۱۱/۰۱
ویرایش :

دانشگاه صنعتی شاهرود

**بسمه تعالی**

مدیریت تحصیلات تکمیلی

**فرم شماره (۶)**

## فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم **عصمت محمدی** رشته **آگرواکولوژی** تحت عنوان : **" بررسی تلقیح مضاعف قارچ میکوریزایی آرباسکولار و باکتری حل کننده فسفات و کاربرد کود فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود"** که در تاریخ **۱۳۹۰/۱۰/۱۹** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول ( با درجه : عالی امتیاز ۱۹/۱۷ ) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹ ) ۲ـ بسیار خوب ( ۱۸/۹۹ ـ ۱۸ )

۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ۱۶ ) ۴ـ قابل قبول ( ۱۵/۹۹ ـ ۱۴ ) ۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

| عضو هیأت داوران | نام ونام خانوادگی | مرتبهٔ علمی | امضاء |
|---|---|---|---|
| ۱ـ استادراهنما | حمیدرضا اصغری<br>احمد غلامی | استادیار<br>دانشیار | |
| ۲ـ استاد مشاور | حمید عباس دخت<br>مهدی رحیمی | استادیار<br>مربی | |
| ۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی | محمود رحیمی | استادیار | |
| ۴ـ استاد ممتحن | محمدرضا عامریان | استادیار | |
| ۵ ـ استاد ممتحن | ناصر فرخی | استادیار | |

رئیس دانشکده :

تقدیم به

بی‌بدیل‌ترین گنجینه‌های هستی

پدر گرانقدر و مادر صبورم

برادران و خواهران عزیزم

که همواره مشوق و پشتیبانم بوده‌اند

و همه آنانی که هستی علم مدیون وجود آنهاست.

## تشکر و قدردانی

سپاس می گویم خداوند منان را که به من نعمت خواندن و نوشتن عطا نمود. در پایان این مرحله از تحصیل بر خود لازم می دانم که از بزرگوارانی که در طی مراحل زندگی و تحصیل یاریم نمودند قدردانی نمایم.

نخست از پدر و مادر گرامی ام تشکر و قدرانی می نمایم. آنان که دعای خیرشان حامی و پشتیبان اینجانب نه تنها در دوران تحصیل بلکه در تمام زندگی ام بود. از برادران و خواهرانم که با قبول مسئولیتهایم در خانواده فرصت تحصیل را برایم فراهم آوردند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

این پایان نامه تحت راهنمائیهای ارزنده و علمی اساتید گرامی ام آقای دکتر حمیدرضا اصغری و آقای دکتر احمد غلامی انجام شد که در طی انجام این پایان نامه حضوری فعال داشته و بی شک بدون مساعدت و یاری ایشان انجام این تحقیق محال بوده است لذا از محبت های بی دریغ آنان صمیمانه سپاسگزارم. از اساتید مشاور پایان نامه آقای دکتر عباسدخت و آقای مهندس رحیمی به سبب راهنمائیهای علمی شان و از اساتید محترم داور این پایان نامه آقای دکتر محمدرضا عامریان و آقای دکتر ناصر فرخی که زحمت بازخوانی این پایان نامه را به عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از ریاست محترم دانشکده کشاورزی و کارکنان آموزش دانشکده، از کارشناس های آزمایشگاه های گیاهشناسی، خاکشناسی و زراعت آقای مهندس حسین پور، آقای مهندس شاکری و آقای مهندس مطهری نژاد، خانم مهندس تربتیان مسئول آزمایشگاه پارک علم و فناوری شهرستان شاهرود و از همکلاسی های خوبم خانم مهندس فاطمه رجب زاده و مهندس زهرا مرزبان و سایر دوستان و سرورانی که به نحوی از الطاف بی ریایشان بهره مند گشتم تشکر و قدردانی می نمایم.

برای همه بهترین آرزوها را دارم.

عصمت محمدی

دی ماه ۱۳۹۰

# تعهد نامه

اینجانب عصمت محمدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی اکولوژیک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی تلقیح مضاعف قارچ میکوریزای آرباسکولار و باکتری حل کننده فسفات و کاربرد کود فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود تحت راهنمایی آقای دکتر اصغری و آقای دکتر غلامی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .

**در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .**

تاریخ

امضای دانشجو


## مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های حل کننده فسفات از جمله میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی هستند که می‌توانند به عنوان یکی از انواع کودهای زیستی بخشی از احتیاجات غذایی گیاهان تلقیح شده را تأمین نمایند. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر کارایی میکوریزا (*Glomus intraradices*) و باکتری حل کننده فسفات (کود زیستی فسفاته بارور-۲) به همراه مصرف کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود رقم هاشم در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به اجرا گذاشته شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. عامل اصلی شامل کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل در سه سطح (۰، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل فرعی به صورت فاکتوریل شامل تلقیح میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بود. میکوریزا در دو سطح، شامل تلقیح میکوریزا و عدم تلقیح میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات در دو سطح شامل تلقیح باکتری و عدم تلقیح آن بود. نتایج نشان داد اثر تلقیح میکوریزا بر ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته، درصد کلونیزاسیون ریشه و فسفر دانه معنی‌دار بود و باکتری حل کننده فسفات اثر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی نداشت. همچنین افزایش کود فسفر به تنهایی موجب افزایش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، فسفر قابل دسترس خاک، فسفر دانه و سطح برگ تک بوته گردید، اما درصد کلونیزاسیون ریشه با افزایش کود فسفر کاهش یافت. در این تحقیق، اثرات متقابل دو فاکتور کود فسفر و تلقیح میکوریزا بر روی تعداد غلاف در بوته و دو فاکتور کود فسفر و تلقیح باکتری حل کننده فسفات بر روی فسفر دانه و اثرمتقابل سه‌گانه فاکتورهای مورد آزمایش بر روی تعداد غلاف در بوته معنی‌دار گردید.

با توجه به عملکرد مناسب میکوریزا در شرایط غیاب کود فسفر معادل مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفاته می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر، میکوریزا قادر است سبب تأثیرات مثبتی بر صفات مورد بررسی شود و عملکردی معادل ۵۰ کیلوگرم

در هکتار کود فسفر داشته باشد. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که در شرایط کاهش استفاده از کود فسفر (سیستم‌های ارگانیک) می‌توان استفاده از میکوریزا را در دستور کار قرار داد.

کلمات کلیدی: نخود، کود فسفر، میکوریزا، باکتری حل کننده فسفات

**مقالات مستخرج**

محمدی ع، اصغری ح. ر، غلامی ا، عباسدخت ح و رحیمی م (۱۳۹۰) "تأثیر تلقیح همزمان میکوریزا و کود زیستی فسفاته بارور-۲ در سطوح مختلف فسفر بر برخی پارامترهای زراعی نخود رقم هاشم" اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی، ص ۳۶۹، دانشگاه زنجان، زنجان.

محمدی ع، اصغری ح. ر، غلامی ا، عباسدخت ح و رحیمی م (۱۳۹۰) "تأثیر میکوریزا و کود زیستی فسفاته بارور-۲ بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود رقم هاشم تحت تأثیر سطوح مختلف فسفر" نخستین همایش ملی جهاد اقتصادی در عرصه کشاورزی و منابع طبیعی، ص ۶۶۱، دانشگاه قم، قم.

## فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول: مقدمه ..... ۱**

**فصل دوم: بررسی منابع ..... ۶**

۲-۱- نخود ..... ۷
۲-۱-۱- گیاه‌شناسی نخود ..... ۷
۲-۱-۲- اهمیت نخود ..... ۸
۲-۱-۳- شرایط لازم برای رشد گیاه ..... ۹
۲-۱-۴- زمان کاشت نخود ..... ۱۰
۲-۱-۵- نیازهای غذایی نخود ..... ۱۱
۲-۲- نقش فسفر در افزایش رشد گیاهان زراعی ..... ۱۲
۲-۳- قارچ میکوریزا ..... ۱۶
۲-۳-۱- اثر همزیستی میکوریزا بر رشد گیاه میزبان ..... ۱۸
۲-۳-۲- اثر همزیستی میکوریزا بر جذب عناصر غذایی ..... ۲۱
۲-۳-۲-۱- اثر همزیستی میکوریزا بر جذب فسفر توسط گیاه میزبان ..... ۲۲
۲-۳-۳- اثر کودهای معدنی روی میکوریزا ..... ۲۴
۲-۴- باکتری‌های حل کننده فسفات ..... ۲۵
۲-۴-۱- نقش باکتری‌های حل‌کننده فسفات در افزایش عملکرد گیاهان زراعی ..... ۲۶
۲-۴-۲- مقدار حلالیت فسفر ..... ۳۰
۲-۵- روابط متقابل بین باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا ..... ۳۰

**فصل سوم: مواد و روشها ..... ۳۵**

۳-۱- زمان و محل اجرای آزمایش ..... ۳۶
۳-۲- موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش ..... ۳۶
۳-۳- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش ..... ۳۶
۳-۴- مطالعات مزرعه‌ای ..... ۳۶
۳-۵- داشت ..... ۳۸
۳-۶- نمونه‌برداری ..... ۳۸
۳-۷- شاخص های فیزیولوژیکی رشد ..... ۳۸
۳-۷-۱- سرعت رشد محصول (CGR) ..... ۳۸

۳-۷-۲- سرعت رشد نسبی (RGR) ۳۹
۳-۷-۳- شاخص سطح برگ (LAI) ۳۹
۳-۸- تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها ۳۹
۳-۹- اندازه‌گیری فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن ۴۰
۳-۹-۱- اصول ۴۰
۳-۱۰- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها ۴۰

**فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۱**

۴-۱- ارتفاع بوته ۴۲
۴-۲- عملکرد بیولوژیک ۴۲
۴-۳- عملکرد دانه ۴۴
۴-۴- وزن صد دانه ۴۵
۴-۵- شاخص برداشت ۴۶
۴-۶- تعداد غلاف در بوته ۴۶
۴-۷- تعداد دانه در غلاف ۴۸
۴-۸- درصد کلونیزاسیون ریشه ۴۹
۴-۹- فسفر قابل دسترس خاک ۵۱
۴-۱۰- فسفر دانه ۵۲
۴-۱۱- سطح برگ تک بوته ۵۳
۴-۱۲- شاخص‌های رشد نخود ۵۴
۴-۱۲-۱- تجمع ماده خشک (TDM) ۵۴
۴-۱۲-۲- سرعت رشد محصول (CGR) ۵۷
۴-۱۲-۳- سرعت رشد نسبی (RGR) ۶۰
۴-۱۲-۴- شاخص سطح برگ (LAI) ۶۲
نتیجه‌گیری کلی ۶۴
پیشنهادات ۶۵
پیوست‌ها ۷۸
منابع ۸۱

## فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


شکل ۴-۱- اثر متقابل کود فسفر و تلقیح میکوریزا بر تعداد غلاف در بوته ..... ۴۸
شکل ۴-۲- اثر متقابل کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر تعداد غلاف در بوته..... ۴۸
شکل ۴-۳- اثر متقابل کود فسفر و تلقیح میکوریزا بر تعداد دانه در غلاف..... ۴۹
شکل ۴-۴- اثر متقابل کود فسفر و باکتری حل کننده فسفات بر غلظت فسفر دانه ..... ۵۳
شکل ۴-۵- تأثیر سطوح کود فسفر بر روند تغییرات تجمع ماده خشک در طول دوره رشد..... ۵۶
شکل ۴-۶- تأثیرسطوح میکوریزا بر روند تغییرات تجمع ماده خشک در طول دوره رشد ..... ۵۶
شکل ۴-۷- تأثیرسطوح باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات تجمع ماده خشک در طول دوره رشد ..... ۵۷
شکل ۴-۸- تأثیرسطوح میکوریزا بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول دوره رشد..... ۵۹
شکل ۴-۹- تأثیر سطوح کود فسفر بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول دوره رشد..... ۵۹
شکل ۴-۱۰- تأثیرسطوح باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول دوره رشد ..... ۵۹
شکل ۴-۱۱- تأثیر سطوح کود فسفر بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد..... ۶۱
شکل ۴-۱۲- تأثیر سطوح میکوریزا بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد..... ۶۱
شکل ۴-۱۳- تأثیر سطوح باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد ..... ۶۱
شکل ۴-۱۴- تأثیرسطوح میکوریزا بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد..... ۶۳
شکل ۴-۱۵- تأثیر سطوح کود فسفر بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد..... ۶۳
شکل ۴-۱۶- تأثیرسطوح باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد ..... ۶۴

## فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**

جدول ۳-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش ..... ۳۶
جدول ۴-۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ..... ۶۶
جدول ۴-۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی نخود در سطوح مختلف کود فسفر، تلقیح میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات ..... ۶۸
جدول ۴-۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل کود فسفر و تلقیح میکوریزا بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف و نیز اثر متقابل کود فسفر و باکتری حل کننده فسفات بر فسفر دانه ..... ۷۰
جدول ۴-۴- جدول تجزیه واریانس تغییرات تجمع ماده خشک (TDM) ..... ۷۱
جدول ۴-۵- تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات تجمع ماده خشک (TDM) در طول دوره رشد (گرم در بوته) ..... ۷۲
جدول ۴-۶- تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات سرعت رشد محصول (CGR) در طول دوره رشد (گرم برمترمربع در روز) ..... ۷۳
جدول ۴-۷- تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات برروند تغییرات سرعت رشد نسبی(RGR) در طول دوره رشد (گرم بر گرم در روز) ..... ۷۴
جدول ۴-۸- تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) مشاهده شده در طول دوره رشد ..... ۷۵
جدول ۴-۹- مقایسه میانگین اثر متقابل کود فسفر، تلقیح میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات بر تعداد غلاف ..... ۷۶
جدول ۴-۱۰- نقشه کاشت ..... ۷۷

# فصل اول: مقدمه

**مقدمه**

جمعیت جهان با یک روند تقریباً نمایی در حال رشد است. با افزایش جمعیت جهان، فشار بیشتری بر زمین‌های زراعی موجود، محیط و منابع طبیعی به ویژه منابع غیر قابل تجدید وارد می‌آید. از جمله راهبردهایی که برای تأمین یک منبع غذایی مطمئن جهت جمعیت رو به رشد آتی مطرح هستند، محدودسازی رشد جمعیت، بهبود توزیع غذا، افزایش عملکرد گیاهان زراعی، کاهش ضایعات محصول و افزایش زمین‌های زراعی برای تولید غذای انسانی از طریق کوتاه کردن زنجیره‌های غذایی قابل ذکر می‌باشند. با توجه به مشکلات ناشی از محدودیت منابع آب و خاک در ایران امکان توسعه سطح زیر کشت برای افزایش تولیدات کشاورزی میسر نبوده و تنها راه عملی برای خودکفایی در محصولات کشاورزی و تهیه غذای کافی برای جمعیت در حال رشد کشور، افزایش تولید در واحد سطح می‌باشد (ملکوتی، ۱۳۷۵). برای افزایش تولید از روش‌های گوناگون استفاده شده است، اما به کارگیری مستمر و زیاد این روش‌ها موجب تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شده است و در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش حاصلخیزی خاک‌ها گردیده است (شارما، ۲۰۰۲). امروزه زیان‌های اقتصادی و زیست محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده و بدیهی است که باید جایگزین مناسبی برای این نوع کودها در نظر گرفته شود (ابوت و مورفی، ۲۰۰۷).

هدف اصلی کشاورزی پایدار که به وجود آمدن آن برای حیات انسانی یک ضرورت است، کاهش نهاده‌های مصرفی، افزایش چرخه داخلی عناصر غذایی خاک از طریق کاهش خاکورزی و استفاده از کودهای زیستی بجای کودهای شیمیایی در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تولید غذای بیشتر است (لیگرید و همکاران، ۱۹۹۹؛ کوچکی و همکاران، ۲۰۰۸). کودهای زیستی فسفره می‌توانند قابلیت جذب فسفر را زیاد کرده و رشد گیاه را با افزایش کارایی تثبیت زیستی نیتروژن، دسترسی

عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد افـزایش دهنـد (آمـر و آتخیـد، ۲۰۰۰؛ بیـسواس و همکـاران، ۲۰۰۰).

کودهای زیستی حاوی مواد نگهدارنده‌ای با جمعیت متراکم یک یا چند ارگانیسم مفید خاکزی و یا به صورت فرآورده متابولیک این موجودات می‌باشند کـه بـه منظـور بهبـود حاصـلخیزی خـاک و عرضـه مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در یک سیستم کشاورزی پایدار به کار می‌رونـد (صـالح راسـتین، ۱۳۸۰) که در این بین می‌توان بـه قـارچ‌هـای میکـوریزای آرباسـکولار (Arbuscular Mycorrhiza) و میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات اشاره کرد. قارچ‌های میکوریزا دارای روابط همزیـستی بـا ریـشه اغلب گیاهان زراعی می‌باشند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فـسفر و برخـی عناصـر کـم مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطـی و افـزایش مقاومـت در برابـر عوامـل بیماری‌زا، سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌هـای کـشاورزی پایـدار مـی‌شـوند (شارما، ۲۰۰۲). میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات نیـز کـه عمـدتاً شـامل بـاکتری‌هـا و قـارچ‌هـا می‌باشند با تولید اسیدهای آلی، موجب حلالیت فسفات‌های معدنی کم محلـول نظیـر سـنگ فـسفات می‌شوند. همچنین بسیاری از آنها با تولید آنزیم‌های فسفاتاز، سبب آزاد شدن فـسفر از ترکیبـات آلـی نیز می‌گردند (جاینشوار و همکاران، ۲۰۰۲).

پس از غلات، دومین منبع غذایی بشر حبوبات است. نخود هم در میان حبوبات بـا سـطح زیـر کـشت حدود ۱۱ میلیون هکتار و تولید ۶۵۰ کیلوگرم در هکتار از نظر سطح زیر کشت و تولید بـذر در مقـام سوم است (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶). در بـسیاری از کـشورهای در حـال توسـعه مـردم اساسـاً از محصولات پر نشاسته مثل برنج، گندم، ذرت، سورگوم، سیب زمینی و کاسـاوا تغذیـه مـی‌کننـد. ایـن محصولات از نظر پروتئین غنی نیستند، حال آنکه یکی از مشکلات نابهنجار فعلی میلیونها نفر از مردم خصوصاً آنهایی که در مناطق گرم زندگی می‌کنند، کمبود پروتئین است. کمبود پروتئین یا عدم توازن بین مصرف پروتئین و هیدرات کربن از مشخصات رژیم غذایی انسانها در اقلیم‌های گرمـسیری اسـت، لذا افزایش گوشت و حبوبات این تغذیه را متعادل و کامـل مـی‌کنـد. پـروتئین موجـود در انـدام‌هـای

رویشی و دانه‌های حبوبات ۲ تا ۳ برابر غلات و ۱۰ تا ۲۰ برابر بیشتر از گیاهان غده‌ای است. اگر گیاه نخود به طور متوسط دارای ۲۴ درصد پروتئین باشد، نزدیک به ۱/۶ میلیون تن از پروتئین تولید شده در دنیا را به خود اختصاص داده است (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر مورد نیاز گیاهان و ریزجانداران می‌باشد و در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا و ساخت و کارهای انتقال انرژی دخالت دارد، افزون بر آن فسفر جزئی از پروتئین یاخته بوده و به عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشاء یاخته‌ای و اسیدهای نوکلئیک نقشی ویژه دارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۷۳). فسفر مورد نیاز گیاهان عموماً از طریق استفاده از کودهای شیمیایی تأمین می‌شود، ولی مقدار زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی بعد از ورود به خاک نامحلول شده و به وسیله واکنش با $AL^{3+}$ و $Fe^{3+}$ در خاک‌های اسیدی و $Ca^{2+}$ در خاک‌های آهکی یا خنثی رسوب می‌کند (جاینشوار و همکاران، ۲۰۰۲؛ هاو و همکاران، ۲۰۰۲). شکل‌های مختلف فسفر در خاک بوسیله ویژگی‌هایی از قبیل pH، مقدار ماده آلی، نوع ذرات خاک و سطح آنها کنترل می‌شود و برخلاف ازت، ترکیبات فسفری تقریباً نامحلول بوده و تحرک چندانی در خاک ندارند و به راحتی از نیمرخ خاک شسته نمی‌شوند (وگر و همکاران، ۲۰۰۴).

حبوبات به فسفر نیز نیاز دارند، ریشه‌های حبوبات در مقایسه با غلات به طور قابل توجهی ترکیبات فسفره را بهتر جذب می‌کنند. در تمام مناطق زیر کشت حبوبات گرمسیری مصرف کود فسفر ضمن کاهش دوره بلوغ، میزان محصول را افزایش می‌دهد. این مورد مخصوصاً در زراعت‌های فصل مرطوب حائز اهمیت است. گیاه نخود بر روی اکثر خاک‌ها مخصوصاً لومهایی که به اندازه کافی دارای آهک هستند رشد می‌کند و حاصلخیز کردن محیط کشت نخود ضمن افزایش محصول آن، گیاه را به پژمردگی مقاوم می‌کند. مهمترین کود معدنی توصیه شده برای آن کود فسفر است همراه با کمی ازت و در صورتی که خاک کمبود پتاس داشته باشد از کودهای پتاسه نیز استفاده می‌شود. واکنش نخود به فسفر متغیر است، جایی که آب عامل محدود کننده‌ای برای رشد گیاه باشد معمولاً گیاه به فسفر

واکنش نشان می‌دهد. در هر حال میزان مصرف کود فسفر در زراعت نخود به طور متوسط ۹۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

از آنجا که فسفر به عنوان یکی از عناصر غذایی اصلی مورد نیاز گیاهان، نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی داشته و از طرف دیگر اطلاعات در مورد اثرات متقابل کودهای زیستی بر روی محصولات زراعی از جمله نخود، خصوصاً ارقام ایرانی بسیار اندک می‌باشد. تحقیق حاضر در راستای قدم گذاری در مسیر توسعه و ترویج سیستم کشاورزی پایدار و استفاده از نهاده‌های آلی به جای کودهای شیمیایی انجام شده است. هدف از این مطالعه بررسی اثر بخشی یک گونه قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات بعنوان کود زیستی و تأمین کننده فسفر، بر افزایش رشد و تولید نخود رقم هاشم همراه با سه سطح کود شیمیایی فسفر بوده است.

# فصل دوم: بررسی منابع

## ۲-۱- نخود

نخود یکی از مهمترین حبوبات است که سرشار از پروتئین و نشاسته بوده و در جیره غذایی بشر از اهمیت زیادی برخوردار است (باقری و همکاران، ۱۳۷۶). امروزه نخود زراعی در بیش از ۶۰ کشور و در تمام قاره‌های جهان به جز قطب کشت و کار می‌شود و از نظر سطح زیر کشت در جهان در بین حبوبات در رده سوم قرار دارد (احمد و همکاران، ۲۰۰۵). با وجود توزیع گسترده نخود در دنیا ۷۳ درصد تولید آن در جنوب آسیا، ۱۳ درصد در منطقه وانا، ۶ درصد در آمریکای شمالی، ۴ درصد در شرق آفریقا، ۲ درصد در استرالیا و کمتر از ۱ درصد در اروپا، آمریکای جنوبی، شرق و مرکز آسیا گزارش شده است (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). در ایران نیز محصول نخود با ۴۳/۲۵ درصد سهم تولید در بین حبوبات رتبه اول را حائز می‌باشد که بالغ بر ۶۴۸ هزار هکتار (۳۲ درصد آبی و ۶۸ درصد دیم) سطح زیر کشت و حدود ۳۳۶ هزار تن (۱۵ درصد آبی و ۸۵ درصد دیم) تولید دارد و در اکثر نقاط کشور به استثنای سواحل دریای خزر کشت می‌شود (مجنون حسینی، ۱۳۸۷).

### ۲-۱-۱- گیاه‌شناسی نخود

نخود (*Cicer arietinum*) گیاهی است یکساله، روز بلند. از خانواده Fabaceae و با ۱۴، ۱۶ و ۲۴ کروموزوم. گیاهی به ارتفاع ۳۰ تا ۷۰ سانتی‌متر بوده و سطح کلیه اندام‌های هوایی با کرک‌های ظریف پوشیده شده است، که مایع چسبناک و اسیدی محتوی ۹۴ درصد اسید مالیک و ۶ درصد اسید اگزالیک از آنها تراوش می‌شود. ریشه اصلی نخود قطور و عمودی بوده و ممکن است تا عمق ۲-۱ متر در خاک نفوذ نماید و ریشه‌های فرعی باریک‌تر و اکثراً به صورت افقی در خاک گسترش می‌یابند. در روی ریشه‌ها گرهک‌های قلوه‌ای شکل بر اثر فعالیت باکتری‌های ریزوبیوم لگومینوزارم به وجود می‌آید. ریشه‌های نخود در جذب فسفر خاک کارآمد هستند.

ساقه مستقیم یا زیگزاگ‌دار است که شاخه‌های فرعی از قاعده یا وسط آن انشعاب می‌یابند و تعداد شاخه‌های اصلی از ۱ تا ۸ شاخه نوسان دارد و معمولاً از گره‌های پنجم تا هفتم ساقه‌های فرعی به وجود می‌آیند.

برگ‌های حقیقی نخود مرکب شانه‌ای فرد بوده، دارای ۳ تا ۱۵ برگچه بیضی شکل، نوک‌دار با حاشیه مضرس است. معمولاً برگچه‌ها دو به دو مقابل یکدیگر قرار دارند و به شرایط محیطی حساس و قابل تغییر هستند. رنگ برگچه‌ها سبز تیره و سبز زیتونی می‌باشد و در تمامی سطح بالایی و زیر برگچه‌ها کرک‌ها و روزنه‌ها منتشر هستند.

گلدهی در نخود تقریباً ۵۰ روز بعد از سبز شدن گیاهچه‌ها رخ می‌دهد. گل‌های منفرد نخود بر روی دمگل کوتاه (۱۳-۶ میلی‌متر) در محور جانبی برگ‌ها تشکیل می‌شوند. رنگ گل سفید، صورتی تا ارغوانی است. گل‌های نخود دارای کاسه گل بلند و باریک (لوله‌ای) و پنج کاسبرگ به هم پیوسته می‌باشد. گرده‌افشانی در نخود معمولاً قبل از باز شدن گل‌ها صورت می‌گیرد و در واقع گیاهی کاملاً خودگشن است. میزان دگرگشنی در نخود کمتر از یک درصد گزارش شده که توسط حشرات صورت می‌گیرد. میوه نخود به شکل غلاف (نیام) به طول ۳-۱/۵ سانتی‌متر، در وسط پهن و در طرفین باریک، پوشیده از کرک‌های بسیار ریز می‌باشد. هر بوته نخود ممکن است به طور متوسط بین ۵۰ تا ۱۵۰ عدد غلاف تولید نماید، غلاف رسیده معمولاً دارای یک تا دو دانه است.

وزن هزار دانه بین ۷۵۰-۸۰ گرم متغیر بوده و هر چه رنگ بذر روشن‌تر باشد وزن آنها بیشتر است. این گیاه در مدت ۱۱۰ تا ۱۳۰ روز به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک می‌رسد که در این مرحله رنگ برگ‌ها به زرد یا قهوه‌ای تغییر یافته و برگ‌های پایینی بوته شروع به ریزش می‌کنند. توسعه رشد رویشی در زمان گلدهی و تشکیل غلاف‌ها ادامه می‌یابد (رشد نامعین)، لذا بین قسمت‌های رویشی گیاه و بخش‌های زایشی آن رقابت وجود دارد. به طور کلی دو فرم نخود (گروه دانه سفید و دانه رنگی) در دنیا وجوددارد. نخودهای سفید یا تیپ کابلی دانه‌های درشت، سطح دانه صاف و رنگ بذر روشن دارند ولی نخودهای رنگی یا تیپ دسی دانه‌های ریز و تیره دارند و سطح دانه چروکیده می‌باشد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷).

### ۲-۱-۲- اهمیت نخود

نخود از لگوم‌هایی است که در مزارع به عنوان تأمین کننده پروتئین برای غذای دام و مصرف انسان کشت می‌شود. دانه کامل نخود در صد گرم ماده خشک حدود ۲۳ درصد پروتئین، ۶۳/۵ درصد کربوهیدرات، ۵/۸ درصد قندهای محلول، ۵/۳ درصد چربی، ۳/۲ مواد معدنی (خاکستر) دارد و غنی از کلسیم (۱۸۶/۶ میلی‌گرم)، فسفر (۳۴۲/۹ میلی‌گرم) و منگنز (۱۴۱ میلی‌گرم) می‌باشد. ۷۰ درصد کلسیم دانه نخود در پوسته آن قرار دارد. نخود دارای مقادیر زیادی اسیدهای آمینه لیسین و تریپتوفان می‌باشد که مقدار آن‌ها در دانه‌های غلات پایین‌تر است (چپمن، ۲۰۰۱). بازدارنده‌های تریپسین در نخود ۵ تا ۲۰ درصد کمتر از سویا است که به دام‌ها اجازه تغذیه مستقیم از آنها را بدون پروسه‌های فرآوری و آماده‌سازی می‌دهد (اشنایدر، ۲۰۰۲). استفاده از نخود به عنوان گیاه پوششی خاک را از فرسایش حفاظت نموده و کیفیت خاک را بهبود بخشیده و از تلفات آبی به وسیله تبخیر و یا شستشو جلوگیری می‌کند (رایس و همکاران، ۱۹۹۳).

### ۲-۱-۳- شرایط لازم برای رشد گیاه

عمدتاً گیاه نخود در نیمکره شمالی و بین مدار ۴۰-۲۰ درجه عرض شمالی کشت می‌شود. نخود نوع کابلی در مناطق معتدل بالای ۳۰ درجه عرض شمالی و نخود دسی در نواحی گرمسیری نیمه خشک، بیشتر بین مدار ۳۰-۲۰ درجه عرض شمالی رشد می‌کند (سینگ و دل‌سایت، ۱۹۹۲).

مهمترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد نخود عبارتند از:

**دما**: حرارت مناسب رشد و نمو آن بین ۳۰-۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. حداقل دمای جوانه‌زنی برای نخود ۶-۵ درجه و مناسب‌ترین دما ۱۲-۹ درجه سانتیگراد است. با افزایش دما سرعت جوانه زدن بذر افزایش می‌یابد. حداقل درجه حرارت برای رشد اندام‌های رویشی ۶-۵ درجه و مناسب‌ترین دما ۱۸-۱۷ درجه سانتیگراد است. حرارت مناسب در مرحله زایشی ۲۱-۱۷ و برای دوره غلاف و بذردهی ۲۴-۲۰ درجه سانتیگراد است. نخود تا حدود زیادی شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی، گرما و سرما را تحمل می‌کند، بیشتر ارقام نخود زراعی سرمای ۱۲-۱۰ درجه سانتیگراد زیر صفر را به خوبی تحمل می‌کنند. در مناطق معتدله و سردسیر کشور بهتر است نخود در بهار زودتر کشت شود (وراکشت) تا از

نزولات بهاره استفاده کامل را ببرد، سرمای اوایل بهار به بوته‌ها آسیبی نمی‌زند، اما چنانچه در بهار دیرتر کاشته شود نه تنها میزان محصول به شدت کاهش می‌یابد بلکه میزان مواد غذایی موجود در بذر نیز کم می‌شود.

**خاک**: گیاه نخود قادر است در دامنه وسیعی از خاک‌ها رشد نماید، نخود بیشتر از سایر حبوبات شوری خاک را تحمل می‌کند ولی در خاک‌های سنگین محصول خوبی نمی‌دهد زیرا به تهویه نامناسب و رطوبت زیاد خاک خیلی حساس است. در خاک‌هایی که زهکشی نامناسبی دارند ریشه نخود به خوبی رشد نمی‌کند و ممکن است بوته‌ها دچار بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه شوند. خاک‌های شنی-رسی، لوم رسی با کمی آهک و عاری از نمک‌های محلول مناسب رشد نخود است. خاک‌هایی با اسیدیته ۸/۶-۵/۵ برای رشد آن مناسب می‌باشد (مجنون حسینی، ۱۳۸۷).

**رطوبت**: در زراعت‌های دیم و یا در کوهپایه‌ها محصول نخود به کمک رطوبت ذخیره شده خاک و بارندگی‌های فصل کشت وکار می‌شود. کشت دیم نخود با ۹۰۰-۶۰۰ میلی‌متر بارندگی مناسب می‌باشد، ولی در مناطقی با کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر بارندگی آبیاری تکمیلی در کشت نخود سودمند است (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). به طور کلی نخود بین ۱۱۰ تا ۲۴۰ میلی‌متر آب مصرف می‌کند تا حدود ۹۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بذر تولید کند (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶). در زراعت آبی، بلافاصله بعد از کاشت مزرعه را آبیاری می‌کنند و نوبت‌های بعدی آبیاری در صورت وجود بارندگی کافی تا هنگام به گل نشستن در فصل بهار ممکن است به تعویق افتد. ۴-۳ مرتبه آبیاری به فاصله هر ۱۰-۷ روز یک بار از شروع گلدهی تا رسیدن دانه‌ها لازم می‌باشد و آبیاری بیشترین اثر خود را در مرحله گلدهی نشان می‌دهد (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

### ۲-۱-۴- زمان کاشت نخود

فصل کاشت نخود در مناطق کم ارتفاع و عرض‌های جغرافیایی پایین، در پاییز (آبان ماه تا اوایل آذر ماه) یا اوایل زمستان (در کشت انتظاری) است. در عرض‌های جغرافیایی بالاتر مانند نواحی معتدل و مدیترانه‌ای کاشت نخود در اواخر زمستان (اسفند ماه) یا اوایل بهار انجام می‌شود (مجنون حسینی،

۱۳۸۷). نخود در ایران در فاصله بین ماه‌های اسفند و اردیبهشت کاشته می‌شود (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶). در این مواقع طول روز رو به افزایش است و به این ترتیب، سرعت رشد محصول (CGR)[۱] افزایش خواهد یافت.

### ۲-۱-۵- نیازهای غذایی نخود

استفاده صحیح از کود می‌تواند باعث افزایش عملکرد شود. این گیاه اکثراً برای افزایش محصول نیاز به کودهای فسفره، پتاس‌دار و آهک دارد. مقدار کل نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده از خاک توسط نخود به ترتیب حدود ۲۰۰-۶۰، ۱۴-۸ و ۱۶۰-۶۰ کیلوگرم در هکتار بوده که با توجه به مقدار محصول متفاوت خواهد بود.

**نیتروژن**: نخود نیازی به کودهای نیتروژن به مقدار زیاد ندارد زیرا قادر به تثبیت نیتروژن هوا و تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز خود می‌باشد. اما چنانچه در زمین اولین بار کشت می‌شود باید قبل از کاشت بذرها به تلقیح و آلوده‌سازی آنها با گونه ریزوبیوم مناسب اقدام شود. به طور کلی در موقع کاشت نخود حدود ۲۵-۱۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مصرف می‌شود (مجنون حسینی، ۱۳۸۷). علائم کمبود نیتروژن در نخود شامل کلروزه شدن برگ‌های پیر می‌باشد. این علائم معمولاً زمانی در نخود ظاهر می‌شود که تثبیت بیولوژیک نخود دچار نقصان شده باشد یا میزان نیتروژن در خاک پایین باشد. دیگر علائم کمبود نیتروژن شامل ایجاد رنگدانه‌های زرد در ساقه‌ها و سطوح بالائی برگ‌های قدیمی است.

**فسفر**: واکنش نخود به فسفر متغیر است، جایی که آب عامل محدودکننده‌ای برای رشد گیاه باشد معمولاً گیاه به فسفر واکنش نشان می‌دهد حتی اگر خاک از نظر فسفر در دسترس گیاه فقیر باشد. آزمایشات در انستیتو تحقیقات زراعی در مناطق نیمه خشک حاره (ICRISAT) نشان داده است که نخود هنگامی که در خاک تنها ppm ۲ فسفر قابل دسترس وجود داشته باشد کمبودی نشان نمی‌دهد. به نظر می‌رسد یا نیاز به فسفر در این گیاه کم است یا جذب فسفر از خاک توسط نخود

۱ - Crop Growth Rate

بسیار کارآمد است، به هر حال حدود ۹۰ کیلوگرم فسفر در هر هکتار بدون تماس بذر و در عمقی پایین‌تر از آن مصرف می‌شود (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶). واکنش گیاه به مصرف کود فسفر به میزان فسفر موجود در خاک بستگی دارد، در شرایط طبیعی وجود ppm ۵-۳ فسفر در خاک برای تأمین نیاز نخود کافی است. کمبود این عنصر در خاک از تثبیت نیتروژن به طریق همزیستی جلوگیری می‌کند (مجنون حسینی، ۱۳۸۷) و علائم کمبود آن در نخود شامل سبز تیره شدن شاخ و برگ و ایجاد رنگدانه‌های قرمز مایل به ارغوانی در ساقه و سطوح بالایی برگچه و برگ‌های پایینی است. سپس برگ‌ها و برگچه‌ها به رنگ سبز متمایل به زرد در می‌آیند.

**پتاسیم**: در مورد عکس العمل نخود به پتاسیم تلاش زیادی انجام نشده است. در مطالعات اولیه‌ای که سکسینا و یاداو (۱۹۷۶) انجام دادند گیاه به پتاسیم عکس العمل نشان نداد، زیرا اصولاً وضعیت پتاسیم قابل دسترس اکثر خاک‌هایی که نخود در آنجا کشت می‌شود، در حد بالایی است. علائم شاخص کمبود پتاسیم در نخود شامل کلروز حاشیه و نوک برگ‌های پیر، ایجاد رنگدانه‌های قرمز در برگچه‌ها و نکروزه شدن آنها، که در نهایت تمام قسمت‌های برگچه‌ها به رنگ قهوه‌ای روشن درمی‌آید.

**سایر عناصر غذایی**: برای دستیابی به حداکثر عملکرد نخود نیاز به مقدار کافی گوگرد است. بدون گوگرد نخود قادر به تثبیت ازت به میزان لازم نخواهد بود. پس از آزمایش خاک چنانچه مقدار گوگرد آن حدود ppm ۱۰ باشد بایستی حدود ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار مصرف کرد. واکنش نخود به عنصر روی بسیار کم است و در صورتی که مقدار آن در خاک کمتر از ppm ۰/۶ باشد بایستی به مقدار ۵ کیلوگرم روی در هکتار مصرف کرد. در صورت کمبود منگنز نیز حدود ۱۰ کیلوگرم از آن در هر هکتار استفاده می‌شود. چنانچه pH خاک کمتر از ۵/۵ باشد و یا نخود برای سومین سال در مزرعه کاشته شود ناچاراً باید مولیبدن مصرف کرد. تا به حال گزارشی در مورد واکنش نخود به کلر، مس و آهن اعلام نشده است (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶).

## ۲-۲- نقش فسفر در افزایش رشد گیاهان زراعی

فسفر نقش اساسی در تغذیه همه گیاهان دارد و در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در موجودات زنده شرکت دارد (وانس و همکاران، ۲۰۰۳)، جزئی از ساختمان فسفولیپیدهاست و مهمترین نقش آن، شرکت در فرآیند تولید و انتقال انرژی است (معزاردلان و ثواقبی فیروزآبادی، ۱۳۸۱). گیاهان زراعی در سال بین ۱۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر جذب می‌کنند شواهدی در دست است که فسفر محلول خاک باید دائماً جایگزین شود و اگر مقدار کمی فسفر به صورت پایدار در اختیار گیاهان باشد به خوبی می‌توانند رشد کنند (لطف الهی و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین شارما (۲۰۰۲) بیان کرد یکی از فواید کود فسفر این است که باعث می‌شود گیاهان ریشه‌های بیشتر و عمیق‌تری تولید کنند و فسفر با دخالت در طول، ظرافت و تراکم ریشه به طور غیر مستقیم موجب افزایش عملکرد می‌گردد.

در بعضی موارد حتی اهمیت فسفر از نیتروژن نیز بیشتر است، زیرا بعضی از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند نیتروژن اتمسفر را برای گیاهان فراهم کنند ولی برخلاف نیتروژن، منابع اتمسفری برای فسفر وجود ندارد تا آن را در اختیار گیاهان قرار دهد (ایزاوا، ۲۰۰۲). اثرات کمبود فسفر سریع قابل تشخیص نیست، بر این اساس مقدار ناکافی فسفر باعث کاهش کمی و کیفی محصول می‌شود. خاک‌هایی که به اندازه کافی فسفر قابل استفاده نداشته باشند، وضعیت گیاهان را در خطر قرار می‌دهند.

تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان عموماً از طریق استفاده از کودهای شیمیایی انجام می‌شود با این وجود پس از پخش کودهای حاوی ترکیبات فسفر در خاک، به سرعت به شکل کم محلول یا نامحلول درمی‌آیند و فقط ۱۵ تا ۲۰ درصد از کود مصرفی به صورت قابل جذب گیاهان درمی‌آیند. در یک آزمایش گلخانه‌ای کاربرد سه سطح فسفر شامل (۴۰ mg/kg و ۲۰ و۰) در گیاه گوجه‌فرنگی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک بخش هوایی ($P < ۰/۰۱$) و غلظت منگنز در اندام هوایی شد (علیزاده اسکوئی، ۱۳۸۰). همچنین تحقیقات در گیاه گندم نشان داد با افزایش سطح فسفر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک گیاه به طور معنی‌داری در هر دو آزمایش گلخانه‌ای و

مزرعه‌ای افزایش یافت (گنجعلی و همکـاران، ۱۳۸۸) و در تحقیـق دیگـری در گیـاه ذرت بـا افـزایش سطوح مختلف کود فسفر (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) غلظت فسفر در انـدام‌هـای هـوایی (به میزان ۲۵/۶ درصد) و عملکرد ماده خـشک (بـه میـزان ۱۷/۷ درصـد) بهبـود یافـت (امیرآبـادی و همکاران، ۱۳۸۸). در پژوهش مالیک و همکاران (۲۰۰۴) روی آفتابگردان، نیز با افـزایش مقـدار کـود فسفر وزن هزار دانه افزایش یافـت و در بررسـی دیگـری در گیـاه آفتـابگردان توسـط امـانولا و خـان (۲۰۱۰) کاربرد سطوح فسفر وزن هزار دانه را نسبت به شاهد افزایش داد و بیشترین وزن هزار دانه در ۹۰ کیلوگرم در هکتار فسفر بدست آمد و کمترین وزن هزار دانه مربوط به کرت شاهد بود.

در جنوب غربی استرالیا عملکرد دانه باقلا با کاربرد سطوح مختلف فسفر (سوپرفسفات تریپـل) ۵۰ تـا ۱۰۰ درصد افزایش یافته بود (بولاند و همکـاران، ۲۰۰۰) و آنهـا علـت افـزایش ۵۰ تـا ۱۰۰ درصـدی عملکرد باقلا را در قبال دریافت سطوح مختلف کود فسفر به افزایش تعـداد غـلاف در هـر گیـاه ربـط دادند، علاوه بر آن اضافه کردن فسفر غلظت این عنصر را در دانه افزایش داد. در پژوهش ترک و تاواها (۲۰۰۲) با کاربرد مقادیر مختلف فسفر (۰، ۱۷/۵، ۳۵ و ۵۲/۵ کیلـوگرم در هکتـار) بـالاترین عملکـرد گیاه باقلا در سطح ۵۲/۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد و آنها گزارش کردند علاوه بر عملکـرد، اجـزای عملکرد شامل وزن صد دانه، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، تعداد غلاف در بوته به طـور معنـی‌داری با کاربرد کود فسفر در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش یافت و بالاترین مقدار تعداد دانه در غـلاف در سطح ۵۲/۵ کیلوگرم در هکتار فسفر بدست آمد، ولی لوپز بلید و همکاران (۲۰۰۵) بر این باورنـد کـه تعداد دانه در غلاف به وسیله ژنوتیپ تعیین می‌شود و کمتـر شـرایط محیطـی بـر روی آن تأثیرگـذار است. کاظمی پشت‌مساری و همکاران (۱۳۸۶) نیز گزارش کردند که تعـدا دانـه در غـلاف و وزن صـد دانه گیاه باقلا با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل به طور معنی‌داری نـسبت بـه تیمار شاهد افزایش یافت.

در دسترس بودن یون فسفات، باعث مقاومت گیاه در برابـر ورس، زودرسـی محـصول، کیفیـت بـالاتر، افزایش سرعت نمو گیاهی از سبز شدن تا آغـازش گلـدهی و گـرده‌افـشانی شـده، در نتیجـه عملکـرد

افزایش می‌یابد (ترک و تاواها، ۲۰۰۲؛ حسین‌زاده، ۱۳۸۳). مطالعات نشان می‌دهد که در تمام مناطق زیر کشت حبوبات افزایش عملکرد و کوتاه شدن دوره رسیدن و افزایش تعداد غلاف در بوته با افزایش مصرف کودهای فسفاته همراه است (کوچکی و بنایان اول، ۱۳۸۶؛ مجنون حسینی، ۱۳۸۷). در تحقیقی بر روی گیاه عدس گزارش شد که افزایش عملکرد دانه عدس به واسطه مصرف فسفر به دلیل رشد و نمو، گلدهی و غلاف‌بندی بهتر می‌باشد (یزدی صمدی و همکاران، ۱۳۸۰).

در آزمایش انجام شده توسط باگیاکو و همکاران (۲۰۰۰) مشخص گردید که با افزایش غلظت فسفر در خاک مقدار آن در بافت گیاه افزایش پیدا کرد. همچنین در بررسی رفیعی و همکاران (۱۳۸۳) روی گیاه ذرت افزایش کود فسفر (۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیم) بر افزایش فسفر دانه تأثیر معنی‌داری داشت. شانتی و همکاران (۲۰۰۲) هم مشاهده کردند که درگیاه آفتابگردان جذب فسفر در سطوح بالاتر فسفر (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) افزایش یافت اما عملکرد بالاتر دانه در ۷۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمده بود و افزایش بیشتر در مقدار فسفر عملکرد را افزایش نداد. در مقاله خودشناس (۱۳۸۶) با عنوان مطالعه پاسخ لوبیا به مصرف فسفر در تعدادی از خاک‌های استان مرکزی نتایج حاکی از آن بود که مصرف ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر در خاک بر روی وزن ماده خشک، غلظت و جذب کل فسفر تفاوت آماری معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد به وجود آورده است.

تحقیقات نشان داد شاخص سطح برگ و فتوسنتز گیاه نیز با افزایش میزان مصرف فسفر افزایش می‌یابد و در نهایت موجب افزایش عملکرد می‌گردد (کولومب و همکاران، ۲۰۰۰).

همچنین فسفر اثرات مثبتی روی شکل‌گیری گره و تثبیت نیتروژن در لگوم‌ها دارد (سپیتوگلو، ۲۰۰۲) و اثر فسفر روی رشد ریشه، گره و تثبیت نیتروژن که روی جذب عناصر غذایی اثر می‌گذارد به خوبی شناخته شده است. حبوبات و از جمله نخود برای رشد و تثبیت نیتروژن به کود فسفر احتیاج دارند. در تحقیقی در گیاه نخود با افزایش سطوح کود فسفر ارتفاع گیاه، ارتفاع اولین غلاف، تعداد شاخه‌ها، تعداد دانه‌ها و غلاف، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی آن افزایش یافته بود و کمترین مقادیر این صفات در کرت‌های شاهد بدست آمده بود و با افزایش مقدار فسفر، جذب عناصر غذایی

مانند فسفر، نیتروژن، پتاسیم و سایر عناصر در دانه به طور معنی‌داری افزایش یافته بود (توگای و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین در گیاه شبدر کود فسفر به طور معنی‌داری عملکرد ماده خشک را تغییر داده بود، در حالی که باکتری حل کننده فسفات هیچ اثری روی عملکرد ماده خشک نشان نداد (ارکوان و همکاران، ۲۰۱۰). در تحقیقی دیگری فسفر اثر معنی‌داری روی عملکرد دانه، وزن صد دانه و غلاف‌های گیاه، شاخص برداشت و جذب نیتروژن نداشت و نتایج بیانگر این بود که ۵۰ کیلوگرم در هکتار $P_2O_5$ برای بدست آوردن عملکرد بالا در گیاه نخود مناسب است (منصور و همکاران، ۲۰۰۹). افزایش در عملکرد ماده خشک گیاه به وسیله کود فسفر به دلیل اثر متقابل نیتروژن و فسفر در منطقه ریشه می‌باشد، برای اینکه افزایش فسفر قابل دسترس، جذب نیتروژن توسط گیاه را افزایش می‌دهد (بندیکا و همکاران، ۱۹۹۲). درگیاه آفتابگردان با افزایش در سطوح فسفر عملکرد دانه و مقدار نیتروژن در مقایسه با شاهد افزایش یافته بود (مورالید-هارودو و همکاران، ۲۰۰۳) و سطوح بالاتر فسفر عملکرد و کارایی استفاده از نیتروژن را افزایش داد (زوبیلاگا و همکاران، ۲۰۰۲).

### ۲-۳- قارچ میکوریزا

ریشه گیاه و ریزوسفر، زیستگاه مناسبی را برای فعالیت بسیاری از میکروارگانیسم‌های خاک فراهم می‌نمایند. همزیستی میکوریزایی از رایج‌ترین و سابقه‌دارترین رابطه همزیستی در سلسله گیاهان است و یکی از مهمترین انواع میکوریزاها، میکوریزای آرباسکولار (AM) می‌باشد که از نظر کشاورزی اهمیت فوق‌العاده زیادی دارد و به عنوان یک نوع کود زیستی برای افزایش محصولات کشاورزی بااهمیت می‌باشد، زیرا ریشه اغلب گیاهان مرتعی، زراعی و باغی با میکوریزا همزیست هستند (شارما و جوهری، ۲۰۰۲؛ نوربخش و حاج عباسی، ۱۳۷۸) و در اکثر اکوسیستم‌ها وجود دارد به طوری که اکثر گیاهان (در حدود ۹۵ درصد گونه‌های گیاهان آوندی) لااقل یکی از تیپ‌های میکوریزا را دارا هستند (صالح راستین، ۱۳۷۷). همزیستی قارچ با گیاهان از حدود یک قرن پیش مشخص شده است و تا امروز اطلاعات فراوانی در مورد ویژگی‌های ساختاری، پراکنش، فیزیولوژی و بوم‌شناسی این همزیستی به دست آمده است. تأثیرات متنوع و مثبت ناشی از برقراری این نوع همزیستی بر بقاء و افزایش رشد

گیاهان میزبان در مناطق مختلف جهان از اوایل دهه ۱۹۷۰ به بعد مورد توجه محققین قرار گرفته و تاکنون تحقیقات زیادی در این زمینه به انجام رسیده است. مطلالعه روی ساختار میکوریزا اولین بار توسط Unger در سال ۱۸۳۰ صورت گرفت و فرانک گیاه‌شناس آلمانی در سال ۱۸۸۵ کلمه‌ی یونانی Mycorrhizae را که به معنی ریشه‌ی قارچی است، به کار برد که از دو بخش Myco به معنای قارچ و Rhizae به معنی ریشه تشکیل شده است.

میکوریزا به دو دسته کلی اکتومیکوریزا[۱] و اندومیکوریزا[۲] تقسیم می‌شود، که در حالت اندومیکوریزا میسیلیوم قارچ به داخل بافت ریشه و سلول‌های روپوست و پوست نفوذ می‌کند، ولی هیچ نوع میسیلیومی بر سطح ریشه مشاهده نمی‌شود. در نتیجه هیف‌ها در داخل و یا در فضای سلول‌های میزبان قرار می‌گیرند. این قارچ به آندودرم و استوانه‌ی آوندی و مریستم‌های ریشه نفوذ نمی‌کند. در همه‌ی قارچ‌های VAM[۳] هیف داخل سلول می‌تواند ساختاری مشابه با مکنده ایجاد کند که از نظر شکل ظاهری درختچه مانند است و آرباسکول[۴] نامیده می‌شود و وظیفه‌ی آن تبادل مواد غذایی مابین قارچ و گیاه میزبان است. عمر هر آرباسکول بین ۱۴-۷ روز است و پس از این مدت، آرباسکول تخریب و جذب سلول گیاهی می‌شود. هر آرباسکول توسط غشای پلاسمایی سلول‌های میزبان احاطه شده است. به غیر از آرباسکول، وزیکول‌ها[۵] که اندام‌های بیضوی یا تخم‌مرغی شکل و غنی از ترکیبات لیپیدی با دیواره نازک هستند، از متورم شدن سلول‌های میانی یا انتهایی هیف‌های درون ریشه‌ای تشکیل می‌شوند که در برخی جنس‌ها دیده نمی‌شود. احتمال می‌رود بعد از آن که اعمال متابولیسمی ریشه‌ی گیاه متوقف می‌شود، قارچ‌های میکوریزا با استفاده از منبع ذخیره شده در وزیکول رشد خود را از سر می‌گیرند. استقرار میکوریزا در ریشه باعث تغییر فیزیولوژی گیاه می‌شود مانند تغییر در ترکیب عناصر در بافت‌های گیاهی، تعادل هورمونی و الگوی تخصیص منابع کربن، همچنین قارچ

۱ - Ectomycorrhiza
۲ - Endomycorrhiza
۳ - Vesicular Arbuscular Mycorrhiza
۴ - Arbuscule
۵ - Vesicle

ترکیب ترشحات ریشه را تغییر می‌دهد و گسترش میسیلیوم‌ها در خاک به عنوان منبعی از کربن برای جوامع میکروبی خاک عمل می‌کند و باعث تغییر فیزیکی محیط خاک می‌شود (گرینـدر، ۲۰۰۰). همچنین کلونیزاسیون میکوریزا باعث تغییرات وسیع شاخص‌های مورفولوژیکی ریشه به ویژه افزایش شاخه‌دهی ریشه می‌شود (برتا و همکاران، ۲۰۰۲). قارچ‌های میکوریزا با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه باعث بهبود استقرار گیاه، افزایش جذب آب و عناصر غذایی مخصوصاً فسفر، روی، مس و نیتروژن (کلارک و زتو، ۲۰۰۰) و مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده (باسکوت، ۲۰۰۵؛ اسمیت و رید، ۲۰۰۸) می‌شوند.

افزایش رشد گیاه و جذب مواد غذایی در نتیجه تلقیح میکوریزا، نشان دهنده یک رابطه مثبت قوی بین کلونیزاسیون ریشه، جذب عناصر غذایی و بهبود رشد می‌باشد (زیدی و خان، ۲۰۰۶). ریسه‌های قارچ که در اطراف و در داخل ریشه پخش می‌شوند نقش یک ریشه‌ی ثانویه را برای گیاه میزبان بازی می‌کنند. در بسیاری موارد علاوه بر اثر این نوع میکروارگانیسم‌ها بر افزایش محصول، نقش مهمی درحفظ تعادل اکولوژیک در خاک ایفا می‌کنند (ابوت و مورفی، ۲۰۰۷).

**۲-۳-۱- اثر همزیستی میکوریزا بر رشد گیاه میزبان**

قارچ میکوریزا رشد گیاه و سازگاری به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (اینتری و همکاران، ۲۰۰۲؛ صالح الگارنی، ۲۰۰۶) و روی عملکرد گیاه اثر مثبتی دارد. در شرایط وجود مقادیر بالای فسفر در خاک گیاهان نیازی به فسفر آماده شده از طریق قارچ ندارند، در این شرایط گیاهان ترجیح می‌دهند بدون صرف هزینه (انتقال کربن به AM) فسفر مورد نیاز خود را از سیستم ریشه‌ای تأمین نمایند (خلیک و سندرز، ۲۰۰۰؛ کهیلوتو و همکاران، ۲۰۰۱) و در شرایطی که منابع کربن محدود باشد (نور پائین) قارچ به صورت انگل عمل می‌کند (سان و اسمیت، ۱۹۸۸). تحت شرایط مزرعه‌ای به دلیل نوسانات آب و هوایی و تغییر مراحل چرخه زندگی گیاه میزبان و قارچ میکوریزا، اثرات قارچ بین مفید و انگلی بودن نوسان می‌کند (لرت و همکاران، ۲۰۰۳؛ ریان و همکاران، ۲۰۰۵) بنابراین اثر قارچ میکوریزا روی رشد گیاه یک مکانیزم پیچیده می‌باشد.

از شاخص‌های مهم فعالیت قارچ‌های میکوریزا، میزان کلونیزاسیون سیستم ریشه‌ای توسط این قارچ‌ها می‌باشد که به وسیله عوامل مختلفی از جمله خصوصیات ظاهری و ساختمانی سیستم ریشه‌ای، مقدار و کیفیت ترشحات ریشه‌ای، مصرف کودهای شیمیایی فسفر و غلظت‌های بالای عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرد (الکراکی و کلارک، ۱۹۹۸؛ گاویتو و میلر، ۱۹۹۸).

در یک آزمایش گلخانه ای با تلقیح دو گونه قارچ میکوریزای *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه گوجه‌فرنگی افزایش یافت. همچنین بررسی روابط همبستگی بین خصوصیات اندازه‌گیری شده نشان داد که درصد کلونیزاسیون ریشه با درصد فسفر بخش هوایی همبستگی مثبت و معنی‌داری($P < ۰/۰۱$) داشت (علیزاده اسکوئی،۱۳۸۰). در تحقیق دیگری تلقیح قارچ میکوریزای *Glomus intraradices* در ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰۴) عملکرد ماده خشک ($P <۰/۰۵$) و درصد کلونیزاسیون ریشه ($P <۰/۰۱$) را افزایش داد (امیرآبادی و همکاران، ۱۳۸۸).

تلقیح با قارچ میکوریزا در گیاه دارویی رازیانه سبب افزایش معنی‌دار بیوماس و درصد همزیستی ریشه گردید، مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین سطوح تلقیح میکوریزا تفاوت قابل توجهی وجود داشت به طوری که عملکرد بیولوژیک گیاه رازیانه در تلقیح با میکوریزا (۵۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با عدم تلقیح (۴۴۸۰ کیلوگرم در هکتار) در حدود ۱۹/۴ درصد بیشتر بود. در خصوص اثر همزیستی میکوریزایی بر روی عملکرد بیولوژیک رازیانه، می‌توان استنباط کرد که بهبود میزان فتوسنتز و رشد، موجب افزایش بیوماس بوته و در نهایت عملکرد بیولوژیک می‌گردد (درزی و همکاران، ۱۳۸۷).

ارتاس و هریس (۱۹۹۶) اظهار داشتند که استفاده از قارچ میکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر گذاشته، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آنها وزن خشک اندام هوایی افزایش یافت. الکراکی (۲۰۰۶) نیز گزارش کرد که تلقیح بذور گوجه‌فرنگی با *Glomus mosseae* باعث افزایش ماده خشک ریشه، اندام هوایی و همچنین

غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس شد. همچنین سنزارو و همکاران (۲۰۰۶) اثر قارچ *Glomus intraradices* را بر نوعی عدس بررسی کردند، نتایج تحقیق آنها نشان داد که قارچ میکوریزا رشد گیاه را بهبود بخشیده بود. ثواقبی و همکاران (۱۳۸۹) نیز در بررسی روی گیاه گندم به این نتیجه رسیدند که در رقم سیستان با تلقیح *Glomus etunicatum* وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه افزایش یافت و تلقیح با *Glomus intraradices* منجر به افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه شد.

تاکور و پانوار (۱۹۹۷) گزارش کردند که میکوریزا در گیاه لوبیا باعث ۹/۱ درصد افزایش در سطح برگ شد. همچنین گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر اینکه قارچ‌های همزیست میکوریزا سطح برگ را مستقیماً افزایش نمی‌دهند بلکه بر دوام سطح برگ و وزن مخصوص برگ تأثیر می‌گذارند (والنتین و همکاران، ۲۰۰۶؛ رایت و همکاران، ۱۹۹۸).

تحقیقات نشان داد حضور میکوریزا گره‌زایی در بقولات را افزایش می‌دهد (جوهانسن و همکاران، ۲۰۰۴؛ ربیعی و المدینی، ۲۰۰۵). درگیاه نخود با تلقیح میکوریزای *Glomus mosseae* جذب فسفر، تعداد گره‌ها، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و فعالیت نیتروژناز افزایش یافت (گارگ و چندل، ۲۰۱۱). در بعضی آزمایش‌ها میکوریزا به تنهایی تأثیر زیادی بر رشد و عملکرد نخود نداشته است (سلیمان و همکاران، ۲۰۰۵)، ولی در بهبود گره‌بندی باکتری ریزوبیوم و جذب عناصر غذایی نقش داشته است (القندور و گالال، ۲۰۰۲). همچنین محققین نشان دادند که شاخص برداشت در گیاه نخود در صورت وجود میکروارگانیسم‌ها و میکوریزا بیشتر بود که این افزایش را ناشی از افزایش جذب فسفر و نیتروژن و افزایش فتوسنتز گیاه دانستند (جکوبسن، ۱۹۸۷).

یکی دیگر از فواید میکوریزا افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده می‌باشد. فنگ و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق خود بر روی تأثیر تنش خشکی بر میزان تحمل گیاه ذرت میکوریزایی شده، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی در نتیجه همزیستی با میکوریزا (جنس گلوموس) افزایش یافت. آنها این موضوع را به افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول و مقدار

الکترولیت در ریشه‌ها نسبت دادند و آن را ناشی از ظرفیت بالای چنین گیاهانی برای تنظیم اسمزی دانستند. سوبرامانیان و همکاران (۲۰۰۵) نیز اثر قارچ میکوریزای *Glomus intraradices* را بر تولید میوه، گل و همچنین کیفیت میوه گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی بررسی کردند. بر این اساس، قارچ میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار در تعداد گل و میوه شده بود و میوه‌ها از کیفیت بالاتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی برخوردار بودند و وزن خشک اندام هوایی، جذب فسفر و پتاسیم در ساقه و ریشه گیاهان میکوریزی به طور قابل توجهی افزایش یافته بود. در مقاله ساجدی و ساجدی (۱۳۸۸) با عنوان اثر تنش خشکی، میکوریزا و مقادیر روی بر خصوصیات اگروفیزیولوژیک ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، اثر میکوریزا بر صفات خشک ریشه، درصدکلونیزاسیون و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود و تلقیح با قارچ میکوریزا باعث بهبود صفات مورد بررسی نسبت به شاهد شد.

در سطوح مختلف شوری نیز کلونیزاسیون میکوریزا سبب افزایش شاخص‌های رشد (سطح برگ، ارتفاع گیاه و قطر ساقه) در سطح پایین فسفر خاک گردید. تأثیر مثبت این قارچ بر وزن خشک قسمت هوایی و ریشه گیاه نیز در سطح فسفر پایین معنی‌دار بود. اما با افزایش فسفر به خاک به دلیل کاهش درصد کلونیزاسیون ریشه اثر تلقیح میکوریزایی محدود گردید. همچنین همزیستی میکوریزا اثر بسیار معنی‌داری بر جذب عناصر غذایی توسط گیاه داشت و باعث افزایش جذب فسفر گردید (قول لرعطا، ۱۳۸۴). نتایج تحقیق حاجی بلند و همکاران (۲۰۰۹) بر روی گیاه برنج نشان داد که تلقیح میکوریزا به طور معنی‌داری جذب فسفر را افزایش داد و در شرایط غرقابی تلقیح گیاه برنج با *Glomus mosseae* باعث افزایش معنی‌دار جذب فسفر در هر دو تیمار کود فسفر شد ولی در شرایط غیر غرقابی تلقیح میکوریزا باعث کاهش آن شد.

### ۲-۳-۲- اثر همزیستی میکوریزا بر جذب عناصر غذایی

به نظر می‌رسد که اثر میکوریزا در کیفیت تولید، مرتبط به افزایش غلظت عناصر غذایی در دانه باشد (کهیلوتو و همکاران، ۲۰۰۱). افزایش جذب فسفر به وسیله میکوریزا، گره‌زایی به وسیله ریزوبیوم را افزایش می‌دهد و به طور غیرمستقیم عنصر نیتروژن را در گیاه افزایش می‌دهد (لکبرگ و کاید،

۲۰۰۵). همچنین تحقیقات نشان داده که قارچ‌های میکوریزا قادرند مقدار بیشتری از نیتروژن را به گیاه انتقال دهند (گووینداراجلو و همکاران، ۲۰۰۵) و بعضی گزارشات وجود دارد که قارچ میکوریزا عنصر نیتروژن را در گیاهان لگوم و غیر لگوم افزایش می‌دهد (گار و ادهولیا، ۲۰۰۲). قارچ میکوریزا جذب عناصری دیگری مانند سولفور، بور، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، روی، مس، منگنز، آهن، آلومینیوم و سیلیوم را نیز افزایش می‌دهد (کلارک و زتو، ۲۰۰۰) که این پدیده در محیط‌هایی که مواد معدنی مورد نیاز کم است، بسیار اهمیت دارد و به بقای گیاه کمک می‌کند. اثر قارچ میکوریزا روی این عناصر می‌تواند مثبت، خنثی یا منفی باشد که به نوع خاک، گیاه میزبان و دیگر عوامل بستگی دارد.

همچنین جذب منگنز در گیاهان میکوریزایی کاهش می‌یابد (کوهساری و همکاران، ۱۹۹۱) و قارچ‌های میکوریزا جذب عناصر سنگین را نیز کاهش می‌دهند (کلارک و زتو، ۲۰۰۰). در کالیفرنیای ایالات متحده آمریکا کاواگنارو و همکاران (۲۰۰۶) در گیاه گوجه‌فرنگی تلقیح میکوریزای جهش یافته و نوع وحشی آن را مقایسه کردند و دریافتند که میکوریزا اثر اندکی روی عملکرد داشت، اما غلظت روی را تا حدود ۲۴ درصد افزایش داد.

### ۲-۳-۲-۱- اثر همزیستی میکوریزا بر جذب فسفر توسط گیاه میزبان

میکروارگانیسم‌های رایزوسفر توانایی گیاهان را برای جذب عناصر غذایی از خاک، از طریق افزایش سامانه ریشه‌ای (به عنوان مثال با افزایش هیف قارچ) یا حلالیت عناصر ماکرو نظیر فسفر یا سولفور افزایش می‌دهند (باکیو و همکاران، ۲۰۰۷). همزیستی میکوریزا در ریزوسفر، نقش واسطه‌ای را بین ریشه گیاه و توده خاک عهده‌دار است و به گیاه در جهت جذب آب و عناصر غذایی به ویژه (فسفر) از خاک کمک می‌نماید (خاوازی و ملکوتی، ۱۳۸۰). نقش مهم میکوریزا تأمین فسفر گیاه می‌باشد (جونر و همکاران، ۲۰۰۰؛ ریچاردسون و همکاران، ۲۰۰۷؛ ترک و همکاران، ۲۰۰۶) زیرا فسفر در خاک عنصری فوق‌العاده کم تحرک است. حتی در صورتی که فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود به سرعت در اشکال فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به صورت غیر متحرک در می‌آید. لذا

قارچ‌های میکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به ویژه فسفر و تجمع زیست توده بسیاری از محصولات در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند.

افزایش جذب فسفر به وسیله میکوریزا به دلیل افزایش فسفر قابل دسترس در خاک می‌باشد (بولان، ۱۹۹۱). میکوریزا از طریق افزایش سطح جذب و با کاهش ناحیه تخلیه از فسفر به وسیله هیف‌های خارجی، این عنصر را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (پیترسو و مسیکوت، ۲۰۰۴؛ شنوی و کلگودی، ۲۰۰۵)، هیف‌های قارچ به دلیل قطر کم آنها نسبت به تارهای کشنده در منافذ ریزتری از خاک نفوذ می‌کنند (جکوبسن و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین جذب بیشتر فسفر در گیاهان میکوریزایی به دلیل گسترش هیف‌ها (اسنف و همکاران، ۲۰۰۸) و توانایی رقابت آنها برای جذب فسفر (تیبت و سندرس، ۲۰۰۲؛ کاواگنرو و همکاران، ۲۰۰۵) می‌باشد.

همچنین حلالیت فسفر به وسیله رهایی اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز انجام می‌شود (شنوی و کلگودی، ۲۰۰۵؛ کاید و کبیر، ۲۰۰۰؛ جونر و جوهانسن، ۲۰۰۰). هیف‌های قارچ میکوریزا موادی مانند اسید سیتریک ترشح می‌کنند که قادرند فسفر را از منابع غیر آلی به شکل قابل دسترس درآورند (تاواریا و همکاران، ۲۰۰۶). مکانیسم‌های غیر مستقیم شامل اثر میکوریزا بر روی ویژگی رایزوسفر مانند تغییر pH (لی و کرسی، ۲۰۰۱) و الگوی سیستم ریشه‌ای (لایورت و همکاران، ۱۹۹۰) می‌باشد. به هر حال توانایی میکوریزا برای افزایش حلالیت فسفر از منابع با حلالیت کم، بسیار مهم می‌باشد علاوه بر این با استفاده از میکوریزا می‌توانیم به کشاورزی ارگانیک کمک کنیم. ماکل (۲۰۰۳) بیان کرد جذب فسفر از سطح ریشه میکوریزی در اراضی ارگانیک نسبت به اراضی کشت رایج بیشتر بود.

قارچ‌های میکوریزا عنصر فسفر را در گیاهان افزایش می‌دهند مخصوصاً در شرایط کمبود فسفر (بارا و همکاران، ۲۰۰۸). برای مثال تاواریا و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که ترشحات هیف‌های قارچ، فسفر را بیشتر از ترشحات ریشه حل کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهد. در این زمینه مطالعات زیادی نشان داده‌اند که بین تراکم و طول هیف با جذب فسفر، بیوماس اندام هوایی گیاهان کلونیزه شده با

میکوریزا همبستگی مثبت وجود دارد (اویو و همکاران، ۲۰۰۶؛ جکوبسن و همکاران، ۲۰۰۱). در بعضی موارد افزایش هیف با رشد گیاه همبستگی مثبت ندارد (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۴) و در بعضی مواقع مخصوصاً در شرایطی که به زمین کود می‌دهیم میکوریزا نقش کمتری در بهبود جذب فسفر دارد (ریان و آنگوس، ۲۰۰۳؛ ریان و همکاران، ۲۰۰۵).

در گیاه گندم تلقیح میکوریزا باعث شد که جذب فسفر به طور معنی‌داری افزایش پیدا کند (فارودی، ۲۰۱۰). رئیسی و قول لرعطا (۲۰۰۶) اثر تلقیح میکوریزای *Glomus intraradices* را بر جذب فسفر در گیاه شبدر برسیم بررسی کردند و آنها به این نتیجه رسیدند که جذب این عنصر به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. در تحقیق دیگری غلظت فسفر در اندام‌های هوایی گیاه سورگوم در اثر تلقیح با قارچ میکوریزا افزایش یافته بود (ویدادا و همکاران، ۲۰۰۷) ولی در ریشه غلظت فسفر نسبت به شاهد کاهش یافته بود. همچنین نتایج تحقیق حاجی بلند و همکاران (۲۰۰۹) بر روی گیاه برنج نشان داد که تلقیح میکوریزا به طور معنی‌داری جذب فسفر را افزایش داد.

### ۲-۳-۳- اثر کودهای معدنی روی میکوریزا

یکی از خصوصیات بیولوژیک خاک که در اثر مصرف کود شیمیایی فسفر تحت تأثیر قرار می‌گیرد، همزیستی ریشه گیاه با قارچ‌های میکوریزا می‌باشد. در خاکهایی که مقادیر بالای فسفر دارند یا مقادیر زیادی کود فسفر در آنها به کار برده شده است، کلونیزاسیون میکوریزا کاهش می‌یابد و میکوریزا نقش کمی در رشد گیاه دارد (گالوز و همکاران، ۲۰۰۱؛ کهیلوتو و همکاران، ۲۰۰۱؛ اسمیت و رید، ۲۰۰۸). جورج و همکاران (۱۹۹۴) نیز اظهار داشتند که توانایی قارچ میکوریزا در اشغال سیستم ریشه‌ای گیاه همبستگی منفی با مقدار فسفر موجود در خاک دارد. کمبود زیاد فسفر نیز مانع از کلونیزاسیون میکوریزا می‌شود (کلی و همکاران، ۲۰۰۵).

میزان فسفر در خاک بر ترشحات ریشه‌ای مؤثر است به طوری که مقدار فسفر در داخل گیاه میزبان بر کربوهیدرات‌های محلول در ریشه‌ها و ترشحات ریشه‌ای تأثیر داشته و باعث کاهش میزان ترشح کربوهیدرات توسط ریشه می‌شود (گراهام و همکاران، ۱۹۸۱)، بنابراین می‌تواند میزان هیدرات کربن

اختصاص یافته به قارچ میکوریزا را تنظیم کرده و در نتیجه بر درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها مؤثر باشد (سیکوئیرا و ساجین، ۱۹۹۸).

اثرپذیری میکوریزا از کود نیتروژن در سیستم‌های کشاورزی متغیر می‌باشد (ریان و اش، ۱۹۹۹). به هر حال تعدادی از مطالعات اخیر نشان داده‌اند که فراوانی میکوریزا در واکنش به کود نیتروژن کاهش می‌یابد (ایگرتون-وربرتون و آلن، ۲۰۰۰؛ برادلی و همکاران، ۲۰۰۶). اثر کود پتاسیم روی میکوریزا کمتر مورد مطالعه قرار گرفته، اما بیان شده که تولید اسپور را تحریک می‌کند (فورلان و برنیر- کاردو، ۱۹۸۹). امیرآبادی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند افزایش سطوح مختلف فسفر (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به نحو معنی‌داری سبب کاهش درصد کلونیزاسیون ریشه (۱۶/۶ درصد) شد و اثر متقابل قارچ میکوریزا و فسفر از نظر تأثیر بر درصد کلونیزاسیون ریشه، عملکرد ماده خشک، غلظت فسفر اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P <$ ۰/۰۵)، در اثر کاربرد قارچ میکوریزا به همراه فسفر (تا سطح سوم کاربرد فسفر)، عملکرد ماده خشک و غلظت فسفر در اندام‌های هوایی افزایش یافت ولی درصد کلونیزاسیون ریشه یک روند کاهشی داشته است.

### ۲-۴- باکتری‌های حل کننده فسفات

باکتری‌ها نسبت به قارچ‌ها در انحلال فسفر مؤثرترند (علم و همکاران، ۲۰۰۲). در بین جوامع میکروبی خاک، باکتری‌های حل کننده فسفات ۱ تا ۵۰ درصد و قارچ‌ها ۰/۱ تا ۰/۵ درصد توانایی انحلال دارند (چن و همکاران، ۲۰۰۶). سویه‌های از جنس *Pseudomonas*، *Bacillus* و *Rhizobium* به عنوان توانمندترین حل کننده‌های فسفر هستند (وایتلو، ۲۰۰۰). تعداد باکتری‌های حل کننده فسفات به شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، ماده آلی، مقدار فسفر موجود درخاک و فعالیت‌های زراعی بستگی دارد (کیم و همکاران، ۱۹۹۸). در شمال ایران، جمعیت باکتری‌های حل کننده فسفات در حدود ۰ تا ۱۰۷ سلول در هر گرم خاک می‌باشد که ۳/۹۸ درصد از جمعیت کل باکتری‌هاست (فلاح، ۲۰۰۶). روابط همزیستی بین باکتری‌های حل کننده فسفات و گیاهان یک رابطه سینرژیستی است. همانگونه

که باکتری فسفر محلول را در اختیار گیاه قرار می‌دهد گیاهان هم، ترکیبات کربنه را برای باکتری فراهم می‌کنند که برای رشد باکتری استفاده می‌شود (پرز و همکاران، ۲۰۰۷).

میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات و سایر میکروارگانیسم‌هایی که به طرق مختلف باعث حل شدن فسفات می‌شوند، می‌توانند به عنوان عوامل مؤثر در بهبود تأثیر خاک فسفات، در خاک به کار روند. مکانیسم اثر میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات در انحلال فسفات‌های نامحلول پیچیده است، ولی براساس نظر محققان، این میکروارگانیسم‌ها با اکسیداسیون ناقص قندها، اسیدهای آلی تولید می‌کنند که باعث کاهش pH محیط می‌شود (کیانی راد، ۱۳۷۴). با ترشح ترکیبات قندی در منطقه ریشه، توسط گیاهان میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات فعالیت خود را تشدید کرده و با تولید اسیدهای آلی موجب کاهش pH در محدوده اطراف خود شده و اسید تولید می‌کنند. اسید حاصل طی انجام واکنش با یون کلسیم اثر آن را در غیر فعال کردن فسفر خنثی می‌کند (کیانی راد، ۱۳۷۴). به غیر از تأثیر اسیدهای آلی در انحلال فسفات‌های نامحلول نمی‌توان اثر واکنش آنزیمی به ویژه آنزیم‌های گروه فسفاتاز تولید شده توسط برخی از این میکروارگانیسم‌ها را از نظر دور داشت. این آنزیم‌ها نقش اصلی را در معدنی شدن فسفر آلی در خاک بازی می‌کنند.

### ۲-۴-۱- نقش باکتری‌های حل‌کننده فسفات در افزایش عملکرد گیاهان زراعی

امروزه ریزجانداران حل کننده فسفات در سطوح وسیع به عنوان کود زیستی به منظور افزایش تولید و حفظ سلامت خاک استفاده می‌شوند (خان و همکاران، ۲۰۰۷a). توانایی ریزموجودات برای حل کردن فسفر خاک و تبدیل آن به حالت قابل دسترس برای گیاه ابتدا به وسیله گرستن در سال ۱۹۴۸ ثابت شد آزمایش‌های وی نشان داد که ریزموجودات ریزوسفری در جذب فسفر توسط گیاه مؤثرند (به نقل از خاوازی و ملکوتی، ۱۳۸۴). پس از آن دانشمندان تحقیقات زیادی را برای جداسازی ریزموجودات حل‌کننده فسفر و استفاده از آنها برای ساختن مایه تلقیح فسفاته جهت افزایش فسفر قابل دسترس در کشاورزی انجام دادند.

آزادسازی فسفر به وسیله باکتری‌های حل کننده فسفات از شکل‌های نامحلول و غیر قابل جذب، یکی از جنبه‌های رهاسازی و قابلیت دسترسی فسفر در خاک‌ها می‌باشد (خان و جورجنسن، ۲۰۰۹). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که PSMها[1] فسفر تثبیت شده در خاک را حل کرده و باعث بهبود عملکرد گیاه می‌شوند (گال و همکاران، ۲۰۰۴؛ زیدی، ۱۹۹۹). میکروارگانیسم‌ها با توانایی حل‌کنندگی فسفات، رشد محصول را از طریق بهبود تثبیت بیولوژیکی نیتروژن نیز افزایش می‌دهند (پانمیورگن و گوپی، ۲۰۰۶).

میکروارگانیسم‌ها فسفر قابل جذب را از طریق معدنی کردن فسفر و حلالیت فسفات‌های ته‌نشین شده، افزایش می‌دهند (چن و همکاران، ۲۰۰۶؛ کنگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ پرادهن و ساکلا، ۲۰۰۵). یکی از علت‌های عمده حل‌کنندگی فسفات تولید اسیدهای آلی توسط ریزجانداران می‌باشد. تولید اسیدهای آلی باعث اسیدی شدن سلول میکروبی و محیط اطراف آن می‌شود در نتیجه فسفر در اثر جایگزینی پروتون به جای کلسیم آزاد می‌شود. اسید گلوکونیک یکی از این اسیدها می‌باشد. مکانیزم‌های دیگری که برای حل‌کنندگی فسفر پیشنهاد شده‌اند عبارتند از تولید مواد کلات کننده، تولید اسیدهای معدنی از قبیل اسید سولفوریک، اسید نیتریک و کربنیک به وسیله ریزجانداران می‌باشد (رودریگز و فراگا، ۱۹۹۹؛ دوبل و مربچ، ۲۰۰۵). باکتری‌های حل‌کننده فسفات ایندول تری استیک اسید تولید می‌کنند. ایندول تری استیک اسید هورمونی است که در شکل‌گیری ریشه، تقسیم سلولی و توسعه سلولی نقش دارد (بارازانی و فریدمن، ۱۹۹۹).

پونگوزالی و همکاران (۲۰۰۵) ضمن بررسی ۱۰ سویه سودوموناس با توان حل‌کنندگی فسفات و همچنین تولید ACC د-آمیناز دریافتند که سویه‌ها رشد و زیست توده ریشه را افزایش دادند، اما اثری بر جذب فسفر توسط گیاه نداشتند. آنها نتیجه‌گیری کردند که تحریک رشدی گیاه در اثر عوامل دیگری به جز از حل‌کنندگی فسفر رخداد داده است.

---

۱-Phosphate Solubilizing Microorganisms

تحقیقات نشان داده است که استفاده از PSMها جوانه‌زنی، جذب عناصر، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، گره‌بندی، بیوماس کل و عملکرد نخود را نسبت به شاهد افزایش داده است (رودرش و همکاران، ۲۰۰۵). گال و همکاران (۲۰۰۴) نیز مشاهده کردند استفاده از باکتری حل کننده فسفات باعث افزایش ۱/۵ تا ۲ برابری تعداد گره در نخود شد. مکانیسم ایجاد چنین اثرات مثبتی می‌تواند به علت فراهمی عناصر غذایی توسط این ریزجانداران (زیدی و همکاران، ۲۰۰۳؛ زیدی و خان، ۲۰۰۶)، ترشح مواد محرک رشد (زیدی و همکاران، ۲۰۰۳) و همچنین تغییر در ساختمان ریشه (برتا و همکاران، ۲۰۰۲) باشد.

راثی‌پور (۱۳۸۱) با بررسی اثر سه فاکتور، میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات (چهار سطح: بدون میکروارگانیسم و سه میکروارگانیسم با پتانسیل انحلال بالا (*Pseudomonas putida*، *Aeromonas hydrophila* و *Pseudomonas fluorescens*)، باکتری *Bradyrhizobium japanicum* (بدون باکتری و با باکتری)، کود فسفر (سه سطح: بدون کود، نصف مقدار کود فسفر توصیه شده برای سویا، کود فسفر توصیه شده برای سویا) روی سویا در گلخانه به این نتیجه رسید که میکروارگانیسم‌های حل‌کننده بر روی وزن خشک، درصد فسفر، پتاسیم، ازت، غلظت آهن و مس بخش هوایی گیاه، تعداد، وزن تر و وزن خشک گره‌های ریشه ($P <$۰/۰۱) و بر غلظت روی بخش هوایی گیاه ($P <$۰/۰۵) تأثیر معنی‌داری دارند. مقایسه میانگین اثر میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات در مورد پتاسیم، غلظت مس و روی در بخش هوایی گیاه مشخص کرد که باکتری *Pseudomonas putida* بیشترین تأثیر را بر روی صفات فوق دارد.

بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش ارتقاء شاخص‌های عملکرد محصولاتی چون گندم (شاهارونا و همکاران، ۲۰۰۸)، ذرت (شاهارونا و همکاران، ۲۰۰۶a؛ شاهارونا و همکاران، ۲۰۰۶b)، سیب زمینی (آمد و حسنین، ۲۰۰۸) و بادام زمینی (دی و همکاران، ۲۰۰۴) گردید. در گیاه فلفل قرمز قطر ساقه، طول ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد بر اثر تلقیح با *Bacillus* در یک مطالعه مزرعه‌ای افزایش یافته بود (میریک و

همکاران، ۲۰۰۸). در گیاه ذرت نیز تلقیح با باکتری‌های *Bacillus megaterium*، *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas corrugate* به ترتیب باعث افزایش عملکرد به میزان ۱۲۲، ۱۳۵ و ۱۹۴ درصد شد. رویهم رفته اثرات مفید مایه تلقیح باکتری‌ها مربوط به بقا و کلونیزاسیون آنها و تحریک میکروفلورهای بومی در رایزوسفر می‌باشد (کومار و همکاران، ۲۰۰۷). شارما و همکاران (۲۰۰۷) نیز مشاهده کردند که تلقیح بذور نخود با *Pseudomonas fluorescens* و *Bacillus megaterium* منجر به افزایش جوانه‌زنی بذور و رشد گیاهچه‌ها شد.

نتایج حاصل از مصرف کود زیستی فسفاته در مقایسه با کودهای سوپرفسفات تریپل در ذرت، سویا و گندم مؤید تأثیر رضایت بخش این کود می‌باشد، به طوری که مشخص شده است که کود فسفاته نه تنها بازده جذب کود را بالا می‌برد بلکه باعث افزایش قابل ملاحظه عملکرد نیز می‌شود (صالح راستین، ۱۳۷۷). با استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و مقادیر مختلف کودهای NPK مشخص گردید که حداکثر عملکرد دانه در تیمار حاوی باکتری‌ها و میزان کود مصرفی ۰: ۵۰: ۳۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (اشرف و همکاران، ۲۰۰۳). نتایج تحقیقی در *Phaseolus mungo* L. با استفاده از تیمارهای مختلف کود فسفر و کودهای زیستی (رایزوبیوم و باسیلوس) نشان داد که اثر متقابل بین میزان کود فسفر و کودهای زیستی معنی‌دار است، همچنین تلقیح با هر دو مایه تلقیح به علاوه کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر باعث بالاترین تعداد گره در گیاه و عملکرد بذر شد (تانوار و همکاران، ۲۰۰۲). در گیاه گندم نیز تلقیح PSB به تنهایی و تلقیح مضاعف آن با ریزوبیوم، همراه با کود فسفر عملکرد دانه را نسبت به استفاده از کود فسفر به تنهایی، ۳۰ تا ۴۰ درصد بهبود داد. در حالی که تلقیح مضاعف آنها بدون استفاده از کود فسفر عملکرد دانه را تا ۲۰ درصد افزایش داد (افضل و بنو، ۲۰۰۸).

برخی از محققین گزارش کرده‌اند که بعضی از این ریزموجودات، رشد گیاه را کاهش می‌دهند (آندراد و همکاران، ۱۹۹۸). مهرورز و همکاران (۲۰۰۸) نیز مشاهده کردند استفاده از باکتری *Pseudomonas putida* (S41) در گیاه جو باعث کاهش وزن هزار دانه شد که با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت.

### ۲-۴-۲- مقدار حلالیت فسفر

حلالیت فسفر در خاک در نتیجه کاهش pH و تولید اسیدهای آلی می‌باشد (فانکم و همکاران، ۲۰۰۶). باکتری‌های حل کننده فسفات، فسفر تثبیت شده در خاک را حل می‌کنند و منجر به عملکرد بالاتر محصول می‌شوند (گال و همکاران، ۲۰۰۴).

اسیدهایی که توسط میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شود، قادرند حلالیت سنگ فسفات را افزایش دهند (جاینشوار و همکاران، ۲۰۰۲). باکتری‌های حل کننده فسفات قادرند بین $\mu g\ P\ mL^{-1}$ ۲۵-۴۲ فسفر معدنی را حل کنند و مقدار $\mu g\ P\ mL^{-1}$ ۸-۱۸ فسفر آلی را معدنی نمایند (تاو و همکاران، ۲۰۰۸). استفاده از باکتری‌های حل کننده فسفات همراه با سوپر فسفات ساده یا سنگ فسفات استفاده از کودهای فسفر را به ترتیب ۲۵ تا ۵۰ درصد کاهش داد (ساندرا و همکاران، ۲۰۰۲). *Pseudomonas putida*، *Pseudomonas flourscens* (chao) و *Pseudomonas flourscens* (Tabriz) به ترتیب به میزان ۵۱، ۲۹ و ۶۲ درصد منجر به حلالیت فسفر شدند (قادری و همکاران،۲۰۰۸). رودریگز و فراگا (۱۹۹۹) نیز گزارش کردند که *Pseudomonas striata* و *Bacillus polymyxa* منجر به حلالیت ۱۵۶ و ۱۱۶ $mg\ P\ L^{-1}$ شدند. *Pseudomonas flourscens* باعث حلالیت $mg\ P\ L^{-1}$ ۱۰۰ خاک شد، وقتی که خاک شامل $Ca_3(PO_4)_2$ بود و وقتی خاک دارای $ALPO_4$ و $FePO_4$ بود به ترتیب ۹۲ و ۵۱ $mg\ P\ L^{-1}$ محلول شدند (هنری و همکاران، ۲۰۰۸).

### ۲-۵- روابط متقابل بین باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا

ارتباط همزیستی با ریزموجودات حل کننده فسفات‌های غیر قابل جذب برای گیاه بسیار مهم و ضروری است (صالح راستین، ۱۳۸۰) و این ریزموجودات حل کننده فسفات به عنوان یک گروه کمک کننده در همزیستی میکوریزا شناخته شده‌اند. یکی از اهداف بیوتکنولوژی، استفاده از تلقیح ترکیبی ریزجانداران انتخابی ریزوسفری برای به حداقل رساندن کاربرد کود شیمیایی و به حداکثر رساندن رشد و تغذیه گیاه است (بارآو همکاران، ۱۹۹۸؛ پروبانزا و همکاران، ۲۰۰۱). تلقیح باکتری‌های حل

کننده فسفات و میکوریزا جذب فسفر از خاک و سنگ فسفات را بهتر مـی‌کنـد (گونـادی و همکـاران، ۲۰۰۰؛ کابلو و همکاران، ۲۰۰۵).

عده‌ای از میکروارگانیسم‌های خاکزی از طریق ترشح اسیدهای آلی و همچنین با استفاده از آنزیم‌هـای فسفاتاز اسیدی و قلیایی و از طریق کاهش موضعی pH خاک این توانایی را دارند کـه فـسفر را از فـاز نامحلول موجود در خاک وارد فاز محلول خاک نمایند. چنانچـه در مجـاورت ایـن میکروارگانیـسم‌هـا قارچ‌های میکوریزای همزیست با ریشه نیز فعال باشند، فسفر وارد شده در فاز محلول را قبل از اینکـه دو مرتبه در خاک رسوب نمایند را جذب کرده و به گیاه میزبـان منتقـل مـی‌نماینـد و بـدین ترتیـب فعالیت این دو گروه از میکروارگانیسم‌های خاکزی افزایش رشد و عملکرد گیاه را در پی خواهد داشت و فسفر حل شده به وسیله این موجودات به طور مؤثری از طریق قارچ‌ها به گیـاه میزبـان انتقـال داده می‌شود. یافت شده است که باکتری‌های چسبیده به هیف‌های قارچ به درون دیواره اسپور قـارچ نفـوذ می‌کنند، این باکتری‌ها از ترشحات قارچ تغذیه می‌کنند و یا میسیلیوم را به عنـوان یـک عامـل بـرای کلونیزه شدن ریزوسفر مورد استفاده قرار می‌دهنـد (بیـانکیو و همکـاران، ۱۹۹۶). در منـاطق خـشک برخی گونه‌های باکتریایی و قارچی نظیر باسیلوس، آسـپرژیلوس همزمـان بـا همزیـستی میکـوریزا در سطح ریشه گیاهان ایجاد رابطه همزیستی کرده و با انحلال فـسفات‌هـای نـامحلول بـه جـذب فـسفر توسط گیاه کمک می‌کنند (اصغر زاده و صالح راستین، ۱۳۸۰).

مطالعات نشان داده است که تلقیح بذر با مخلوطی از ریزموجودات باعث افزایش جذب عناصر غذایی و بالطبع افزایش عملکرد در مقایسه با تلقیح جداگانه هر یک از آنها گردید (پـروین و همکـاران، ۲۰۰۲؛ زیـدی و همکـاران، ۲۰۰۳). در پـژوهش دیگـری کـاربرد *Azotobacter chroococcum* و *Bacillus megaterium* و *Bacillus mucilaginous* به طور معنی‌داری رشد گیاه ذرت را افزایش داد. عـلاوه بـر آن تلقیح این باکتری‌ها باعث افـزایش N کـل، P و K در گیـاه شـد (وو و همکـاران، ۲۰۰۵). در یـک آزمایش تأثیر تلقیح مخلوطی از ریزموجودات حل کننده فسفات و قارچ‌های میکوریزا بر رشد، عملکرد و میزان عناصر غذایی گندم بررسی شد، نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد دانه و جذب فسفر به طور

معنی‌داری در تیمارهای شامل ریزموجودات حل کننده فسفات و یا قارچ‌های میکوریزا نسبت به شاهد افزایش یافته است. براساس این نتایج تلقیح توأم ریزموجودات و قارچ همراه با کابرد کود فسفات عملکرد گیاهان زراعی در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی را بهبود بخشید (سینگ و کاپور، ۱۹۹۹).

نتایج جوادی اصفهانی (۱۳۸۶) در بررسی روی گیاه گندم حاکی از این بود که ارتفاع اندام هوایی و نیز وزن تر و خشک اندام هوایی گیاهچه‌های تلقیح شده با باکتری *Pseudomonas putida* و میکوریزا *Glomus intraradices* بیشتر بود. این شواهد حاکی از تأثیر مثبت برهم‌کنش باکتری و قارچ در رشد گندم و نیز تأثیر مثبت اکسین در این تحریک است. همینطور مشخص گردید بیشترین درصد کلونیزاسیون میکوریزا مربوط به تلقیح میکوریزا و سویه وحشی باکتری بود. بنابراین می‌توان این طور استنباط نمود که باکتری *Pseudomonas putida* مولد اکسین تأثیر مثبت بر کلونیزاسیون قارچ میکوریزا دارد. در مورد تأثیر قارچ میکوریزا بر میزان کلونیزاسیون باکتری نیز دیده شد که *Glomus intraradices* هیچ تأثیر قابل توجهی بر کلونیزاسیون جمعیت سویه وحشی *Pseudomonas putida* در ریزوپلین نداشت ولی جمعیت میکروبی را در اندورایزوسفر افزایش داده بود. در مورد جدایه ۳۶ که اکسین کمتری تولید می‌کرد، میکوریزا هیچ تأثیری بر جمعیت میکروبی نه در ریزوپلین و نه در رایزوسفر نداشت. بنابراین می‌توان این طور نتیجه‌گیری کرد که اکسین با گسترش سیستم ریشه و نیز افزایش طول ریشه موجب می‌گردد هیف‌های میکوریزا بیشتر به داخل سیستم ریشه نفوذ کنند و در نتیجه باکتری‌ها بهتر داخل اندورایزوسفر کلونیزه شوند. در یک آزمایش گلدانی اثر جذب کنندگی ریزموجودات ریزوسفری بر رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی گندم مورد بررسی قرار گرفت و بیشترین اثر مثبت بر جذب عناصر غذایی و عملکرد در تیمار دریافت کننده مخلوطی از ازتوباکتر و باکتری حل کننده فسفات و قارچ مشاهده شد، همچنین یافته‌ها نشان داد که افزایش جذب فسفر منتهی به افزایش عملکرد گردید (زیدی و خان، ۲۰۰۵).

تلقیح ترکیبی از *Glomus intraradices* و *Bacillus subtilis* با تأثیر هم افزایی رشد کاهو را در مقایسه با تیمارهای تلقیح جداگانه در حدود بیش از ۷۷٪ افزایش داد (کوهلر و همکاران، ۲۰۰۷).

بررسی تأثیر قارچ میکوریزا *Glomus macrocarpum* و ریزموجودات حل کننده فسفات *Bacillus megatreium* در افزایش قابلیت دسترسی فسفر در ذرت تحت میزان‌های مختلف کود فسفر مشخص ساخت که تلقیح بذر به وسیله قارچ میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات باعث افزایش جذب فسفر و عملکرد ذرت شد (رامادان و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین عملکرد دانه باقلا با تلقیح سه‌گانه با *Glomus fasciculatum*، *Bacillus subtilis* و *Bradyrhizobium* تا ۲۴ درصد افزایش یافت (زیدی و خان، ۲۰۰۶).

کاربرد باکتری حل کننده فسفات به تنهایی باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی شد، در حالی که استفاده از همان باکتری همراه با میکوریزا باعث بالاترین وزن دانه شد و میزان کلروفیل برگ در تلقیح مضاعف افزایش یافت (مهرورز و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج راجا و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان داد که میزان عملکرد دانه در اثر کاربرد توأم قارچ و باکتری افزایش یافت.

تأثیر تلقیح مخلوطی از ریزموجودات بر افزایش عملکرد بقولات نیز گزارش شده است (زیدی و همکاران، ۲۰۰۴). زیدی و همکاران (۲۰۰۴) مشاهده کردند که در خاک‌های با میزان فسفر پایین رشد گیاه و جذب عناصر غذایی در نخود پس از تلقیح با مخلوطی از ریزجانداران در مقایسه با تلقیح جداگانه هر کدام از آنها افزایش یافت. تأثیر دو سویه *Bacillus* بر یونجه نشان داد که کارایی گونه‌های قارچ میکوریزا توسط سویه باکتری تحت تأثیر قرار گرفت و بالاترین وزن خشک در تیمار تلقیح شده با ترکیبی از *Bacillus pumillus* و *Glomus deserticola* مشاهده شد (مدینا و همکاران، ۲۰۰۳). در تحقیق دیگری در گیاه نخود نتایج بیانگر آن بود که در اکثر موارد اثر باکتری‌های حل کننده فسفات و میکوریزا بر خصوصیات تثبیت نیتروژن مثبت و در مواردی بی‌تأثیر بود و اثر متقابل باکتری حل کننده فسفات و میکوریزا باعث افزایش دو برابری وزن خشک گره شد (علیمددی و همکاران، ۱۳۸۹). تحقیقات نشان داد در تلقیح گیاه نخود با *Pseudomonas striata* و *Glomus fasciculatum* عملکرد دانه و کلش به طور معنی‌داری تغییر پیدا نکرد (زیدی و همکاران، ۲۰۰۳) و عملکرد گیاه با تلقیح مضاعف میکروارگانیسم‌ها در مقایسه با تلقیح هر کدام از آنها افزایش یافته بود. تلقیح با قارچ میکوریزا

جذب فسفر را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد در گیاه نخود افـزایش داد و جـذب فـسفر در تلقـیح مضاعف قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات افزایش یافتـه بـود. همچنـین، وزن خـشک گـره و کلونیزاسیون ریشه در تلقیح مضاعف میکروارگانیسم‌ها نسبت به تلقیح منفرد آنهـا بیـشتر بـود. اثـرات مطلوب تلقیح با میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر و افزایش معنی‌دار در گـره‌زایـی و عملکـرد گیـاه لگوم توسط خان و همکاران (۱۹۹۷) نیز گزارش شده بود.

موسوی جنگلی و همکاران (۱۳۸۳) نشان دادند که اگرچه کودشیمیایی فسفر، باکتری‌های حل کننده فسفات یا قارچ میکوریزا هر یک به تنهایی بر رشد و عملکـرد ذرت مـؤثر بـوده‌انـد ولـی هنگـامی کـه کودهای زیستی همراه با کود شیمیایی فسفر استفاده شد نتایج مطلوب‌تـری داشـتند، در واقـع نتـایج حاصل از این تحقیقات حاکی از آن است که استفاده از کود زیستی میکـوریزا و بـاکتری ضـمن آنکـه باعث کاهش مصرف کود شیمیایی فسفر می‌گردد از سوی دیگر موجب افزایش عملکرد نیـز مـی‌شـود. با تلفیق نیمی از کودهای N و P با کودهای بیولوژیک عملکرد محصول نسبت به اسـتفاده از کودهـای شیمیایی بالاتر بود و از طریق کاهش مصرف کودها هزینه تولید کاهش و سود خـالص افـزایش یافـت (جیلانـی و همکـاران، ۲۰۰۷). همچنـین تحقیقـات نـشان داد بـاکتری‌هـای حـل کننـده فـسفات و باکتری‌های محرک رشد گیاه با هم می‌توانند مصرف کود فسفر را تا ۵۰ درصـد کـاهش دهنـد بـدون اینکه عملکرد محصول به طور معنی‌داری کاهش یابد (یزدانی و همکاران، ۲۰۰۹).

# فصل سوم: مواد و روشها

## ۳-۱- زمان و محل اجرای آزمایش

این آزمایش در سال ۸۹ - ۱۳۸۸ در مزرعه آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در شهرستان شاهرود به اجرا درآمد.

## ۳-۲- موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش

شهرستان شاهرود با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی دارای اقلیم سرد و خشک می‌باشد. ارتفاع مرکز شهرستان از سطح دریا ۱۳۶۷ متر و ارتفاع محل اجرای آزمایش ۱۳۴۹ متر است. براساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی میانگین سالانه دما در این منطقه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر گزارش شده است.

## ۳-۳- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

قبل از انجام عملیات آماده‌سازی و اجرای نقشه آزمایش به منظور تعیین بافت خاک و وضعیت عناصر غذایی به خصوص N-P-K از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در ۸ نقطه از خاک محل کشت نمونه‌گیری شد. بدین منظور محل مورد نظر به ۸ قسمت فرضی تقسیم و از هر نقطه حدود یک کیلوگرم خاک برداشته شد. سپس خاک‌ها با هم مخلوط شده و نهایتاً یک نمونه یک کیلوگرمی که گویای تمام سطح مزرعه بود به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۳- ۱ آمده است. با توجه به نتایج بدست آمده، خاک دارای بافت لومی رسی با pH = ۸/۱۰ و EC = ۵/۶۸ دسی زیمنس بر متر بود.

جدول ۳-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

| عمق (cm) | EC ($dS.m^{-1}$) | pH | $P_{ava}$ | $K_{ava}$ | N | T.N.V | O.C | رس | لای | شن |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ppm | | | | درصد | | | |
| ۰-۳۰ | ۵/۶۸ | ۸/۱۰ | ۱۹ | ۱۴۹ | ۰/۰۶۶ | ۲۷/۲ | ۰/۷۷ | ۲۸ | ۴۲ | ۳۰ |

## ۳-۴- مطالعات مزرعه‌ای

این آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد (نقشه کاشت در جدول ۴-۱۰ آورده شده است). عامل اصلی شامل کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل در سه سطح (۰، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار) و عامل فرعی به صورت فاکتوریل شامل میکوریزا و کود زیستی فسفاته بارور-۲ بود. کود زیستی فسفاته در دو سطح شامل تلقیح و عدم تلقیح باکتری و میکوریزا در دو سطح، شامل تلقیح میکوریزا (*Glomus intraradices*) و عدم تلقیح آن بود. هر کرت آزمایشی به ابعاد ۴/۵ × ۲/۲۵ متر شامل ۶ خط کاشت با فاصله خطوط ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر بلوک (تکرار) شامل ۱۲ کرت و تعداد کل کرتها ۳۶ کرت بود. فاصله بین کرتها در هر بلوک ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۳ متر در نظر گرفته شد. در زمان کاشت برای اعمال تیمارهای آزمایش در هر ردیف شیاری در سراسر پشته به عمق ۱۰ سانتی‌متر ایجاد و پس از قرار دادن کود فسفر داخل شیار روی آن با خاک پوشانیده شد. سپس مقدار ۱۵ گرم مایه تلقیح قارچی که شامل خاک، بقایای ریشه‌ای و اندام‌های قارچی بود به صورت کپه‌هایی با فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر در پایین‌تر از بذور قرار گرفت. بعد از آن ۲ بذر نخود رقم هاشم که با باکتری حل کننده فسفات (کود زیستی فسفاته بارور-۲) تلقیح شده بودند، در عمق ۵ سانتی‌متری با فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر از همدیگر کاشته و روی بذرها با خاک پوشانده شد. برای افزایش چسبندگی باکتری‌ها بر روی بذرها از محلول ۲۰ درصد شکر استفاده شد. همچنین برای جلوگیری از عمل تداخل و آلودگی باکتری‌ها و قارچ‌ها یک خط نکاشت به عنوان محافظ بین کرت‌های اصلی قرار گرفت. جوی‌های آبیاری به نحوی تعبیه شد که آب آبیاری اضافی هر کرت توسط یک جوی خروجی در انتهای کرت‌ها از مزرعه خارج شود.

کود زیستی فسفاته مورد آزمایش از شرکت زیست فناور سبز با نام بارور-۲ تهیه گردید. این کود حاوی باکتری‌هایی از جنس‌های *Bacillus* و *Pseudomonas* می‌باشد که با استفاده از دو ساز و کار ترشح اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز، فسفر نامحلول خاک را به شکل قابل جذب برای گیاه در می‌آورند. ماده تلقیح قارچ میکوریزا نیز از شرکت زیست فناور توران تهیه گردید که نوعی ماده تلقیح

خاک بوده که حاوی خاک، ریشه‌های گیاه شبدر برسیم و اندام قارچ *Glomus intraradices* بود. کاشت در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۲۴ انجام شد.

### ۳-۵- داشت

در طی فصل رشد برای تأمین شرایط مناسب برای رشد گیاه در مزرعه عملیات داشت شامل آبیاری و کنترل علف‌های هرز در سه مرحله انجام شد. به منظور تأمین رطوبت خاک مزرعه آبیاری به طور منظم هر ۱۰ روز یکبار انجام پذیرفت.

### ۳-۶- نمونه‌برداری

از تاریخ ۱۳۸۹/۲/۲۶ هر ۷ روز یکبار نمونه‌برداری صورت گرفت. در زمان نمونه‌برداری ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای کرت و دو خط کشت از هر طرف به عنوان حاشیه حذف گردید، سپس دو بوته به طور تصادفی از هر کرت برداشت شد. برداشت بوته‌ها همراه با ریشه صورت گرفت. سپس ریشه، برگ، ساقه و غلاف بوته‌ها در پاکت‌های کاغذی شماره‌گذاری شده قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت اندازه‌گیری سطح برگ از کاغذ شطرنجی استفاده شد. برای خشک کردن، نمونه‌ها داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. توزین بوته‌ها با استفاده از ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم صورت گرفت. در آخرین نمونه‌برداری در تاریخ ۱۳۸۹/۴/۲۰ از هر کرت ۱۰ بوته برداشت و صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن صد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد.

### ۳-۷- شاخص های فیزیولوژیکی رشد

به منظور بررسی تأثیر عوامل آزمایش بر پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه نخود و تجزیه و تحلیل رشد آن برخی از شاخص های فیزیولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفت.

#### ۳-۷-۱- سرعت رشد محصول (CGR)

سرعت رشد محصول، افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح و در واحد زمان می‌باشد و به طور وسیعی در تجزیه و تحلیل رشد محصولات به کار گرفته شده است. که از رابطه CGR =

$(W_2-W_1)/(T_2-T_1).(1/G_A)$ محاسبه می‌شود. در این رابطه $W_1$, $W_2$ وزن خشک گیاه در زمان‌های $T_1$, $T_2$ و $G_A$ مساحت زمین است.

### ۳-۷-۲- سرعت رشد نسبی (RGR)

سرعت رشد نسبی، بیان کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی معین است که از رابطه $RGR = (LnW_2-LnW_1)/(T_2-T_1)$ حاصل می‌شود. در این رابطه $W_1$, $W_2$ وزن خشک گیاه در دو زمان متوالی نمونه برداری $T_1$, $T_2$ است.

### ۳-۷-۳- شاخص سطح برگ (LAI)

این شاخص بیان کننده سطح برگ (فقط یک طرف) به سطح زمین اشغال شده توسط محصول است. که از رابطه $LAI =(L_{A2}+ L_{A1})/2.(1/G_A)$ به دست می‌آید که $L_A$ سطح برگ و $G_A$ مساحت زمین می‌باشد. به همین منظور با تعیین سطح برگ بوته‌ها در هر مرحله و با توجه به مساحت نمونه برداری LAI محاسبه گردید.

### ۳-۸- تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها

جهت تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه از نمونه‌های تهیه شده از ریشه‌ها (ریشه مویی) که در داخل محلول (۵۰ درصد آب مقطر و ۵۰ درصد الکل سفید) نگهداری شده بود، استفاده شد. جهت رنگ‌آمیزی ریشه‌ها در محیط آزمایشگاه از روش تغییریافته فیلیپس و هیمن (۱۹۷۰) استفاده گردید. پس از شستشوی کامل ریشه‌ها با آب جهت رنگبری، ریشه‌ها به داخل شیشه‌های حاوی KOH ده درصد منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس ۳ الی ۴ بار با آب مقطر کاملاً شسته شدند و جهت خنثی کردن محیط قلیایی به مدت دو دقیقه در محلول HCl یک دهم نرمال قرار گرفتند. سپس ریشه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محلولی با فرمولاسیون ۰/۶۵ گرم پودر تریپان بلو در ۳۲۵ میلی‌لیتر اسید لاکتیک، ۳۰۰ میلی‌لیتر گلیسرین و ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفتند. برای تعیین میزان همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه‌ها از روش خطوط متقاطع (Gridline Intersect Method) استفاده شد (جیبووانی و موس، ۱۹۸۰).

### ۳-۹- اندازه‌گیری فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن

#### ۳-۹-۱- اصول

نمونه خاک با محلول بیکربنات سدیم pH = ۸/۵ عصاره‌گیری می‌شود. این روش در خاک‌های آهکی، قلیایی و خنثی قابل استفاده می‌باشد. غلظت کلسیم در عصاره با راسب شدن کلسیم کاهش و در نتیجه غلظت فسفر در محلول افزایش می‌یابد. در خاک‌های اسیدی کربنات به عنوان بافر، حلالیت آلومینیوم و آهن را متوقف می‌نماید و بنابراین غلظت فسفر در محلول را افزایش می‌دهد. فسفر در عصاره خاک به روش اولسن (به ضمیمه ۱ مراجعه شود) و به کارگیری اسیدآسکوربیک به عنوان ماده احیاءکننده به طریق کالریمتری اندازه‌گیری می‌شود.

### ۳-۱۰- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

# فصل چهارم: نتایج و بحث

### ۴-۱- ارتفاع بوته

ارتفاع نهایی گیاه معمولاً تحت تأثیر عوامل ژنتیکی می‌باشد ولی محیط نیز ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارتفاع جزء مهمی در تعیین عملکرد نمی‌باشد، ولی احتمالاً ارقام با ارتفاع بلندتر عملکرد ماده خشک بیشتری دارند (سلیمی، ۱۳۸۹). بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) ارتفاع بوته با تلقیح میکوریزا تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داد. اما کود فسفر، باکتری حل کننده فسفات و اثرات متقابل بین فاکتورها تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشتند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴-۲) نشان داد که بین تلقیح با میکوریزا (۴۴/۴۸ سانتی‌متر) و عدم تلقیح (۴۱/۵۶ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که ارتفاع بوته در تلقیح با میکوریزا حدود ۷/۰۲ درصد بیشتر بود. به نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزا با ریشه نخود از طریق افزایش جذب آب و مواد غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و بهبود رشد نظیر ارتفاع گردیده است. در مطالعات مرادی و همکاران (۱۳۸۸) و درزی و همکاران (۱۳۸۵) به ترتیب در مورد گیاه نخود و رازیانه تلقیح میکوریزا ارتفاع گیاه را به طور معنی‌داری افزایش داد. ویدادا و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیان داشتند که گیاه سورگوم تلقیح شده با میکوریزا دارای ارتفاع بیشتری بود.

### ۴-۲- عملکرد بیولوژیک

طبق نتایج مندرج در (جدول ۴-۱) اثر تلقیح میکوریزا در سطح ۵ درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد بیولوژیک در تلقیح میکوریزا (۸۱۵۴/۲۱ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با عدم تلقیح (۷۲۱۳/۶۰ کیلوگرم در هکتار) حدود ۱۳/۰۳ درصد بیشتر بود. در خصوص تأثیر همزیستی میکوریزا بر روی عملکرد بیولوژیک نخود، می‌توان اظهار کرد که تلقیح میکوریزا از طریق بهبود میزان فتوسنتز و رشد موجب افزایش بیوماس گیاهی و در نهایت عملکرد بیولوژیک می‌گردد. هیف‌های میکوریزا به دو دسته تقسیم می‌شوند، تعدادی از آنها وارد سیستم ریشه گیاه شده و سبب کاهش غلظت ABA (Abscisic acid) گشته و میزان سیتوکنین را افزایش می‌دهند. این عمل سبب افزایش جذب آب و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌گردد. دسته

دوم از هیف‌ها خارج از سیستم ریشه بوده، این هیف‌ها از خود اسیدهای آلی محلول کننده فسفر نظیر اسید مالیک ترشح کرده که جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهد. این عوامل دست به دست هم داده و سبب افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا می‌گردد. در همین زمینه گارگ و چندل (۲۰۱۱) با تلقیح *Glomus mosseae* در گیاه نخود به نتایج مشابهی دست یافتند و وزن خشک اندام هوایی با تلقیح میکوریزا افزایش یافت. همچنین نتایج تحقیقات ارتاس (۲۰۰۸) در مورد نخود، عدس، باقلای علوفه‌ای و علی آبادی فراهانی و همکاران (۲۰۰۸) در مورد گشنیز مؤید این مطلب است که همزیستی میکوریزا سبب بهبود عملکرد بیولوژیکی در گیاهان مذکور گردیده است.

اثر کود فسفر نیز بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۱). بیشترین عملکرد بیولوژیک (۹۱۹۴/۷۱ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و کمترین عملکرد بیولوژیک با صفر کیلوگرم در هکتار کود فسفر (۶۳۶۱/۴۸ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد، که این دو مقدار از لحاظ آماری با هم اختلاف معنی‌داری داشتند. فسفر به عنوان یکی از سه عنصر اصلی مورد نیاز گیاه سبب افزایش عملکرد گردید، زیرا فسفر با تنظیم هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در تقسیم سلولی دارد، از طرفی نقش مهمی در تولید مواد فتوسنتزی داشته و سبب تولید انرژی در گیاه می‌شود و این امر باعث افزایش عملکرد بیولوژیک می‌گردد. ایسلام و همکاران (۲۰۰۹) اعلام کردند که افزایش کود سوپر فسفات تریپل (۰، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) باعث افزایش عملکرد بیولوژیک نخود شد. توگای و همکاران (۲۰۰۸) نیز در یک آزمایش افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه نخود را در اثر استفاده از کود فسفر (۰، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده کردند. محققان دیگری از جمله حسن زاده و همکاران (۱۳۸۶) و جنوبی و دانشیان (۱۳۸۵) گزارش کردند مصرف کود فسفر باعث افزایش عملکرد بیولوژیک جو و سویا شد.

براساس نتایج این تحقیق هرچند استفاده از باکتری حل کننده فسفات باعث کاهش عملکرد بیولوژیک گردید (جدول ۴-۲) اما این مقدار کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴-۱). برخی عوامل محیطی غیر قابل کنترل از قبیل کمبود مواد آلی و یا عوامل ژنتیکی و برخی عوامل زراعی

می‌توانند در نتایج بدست آمده دخیل باشند. مینا و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که تلقیح *Pseudomonas striata* در گیاه نخود باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید. اما نتایج تحقیقات خان و همکاران (۲۰۰۷b) و رخزادی و توشی (۲۰۱۱) بیانگر اثر مثبت تلقیح باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد بیولوژیک گیاه نخود بود و آنها گزارش کردند در تلقیح گیاه نخود با *Pseudomonas* عملکرد بیولوژیک از ۱۰۸۲/۳ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۱۴۴۵/۸ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر متقابل بین فاکتورها بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نشد.

**۴-۳- عملکرد دانه**

عملکرد دانه از مهمترین شاخص‌های اقتصادی در گیاهان دانه‌ای محسوب می‌گردد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) حاکی از تأثیر معنی‌دار کود فسفر بر عملکرد دانه می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴-۲) نشان داد بین مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار (۴۵۸۳/۹۷ کیلوگرم در هکتار) و صفر کیلوگرم در هکتار کود فسفر (۳۱۷۷/۳۵ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت، به طوری که عملکرد دانه با مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار حدود ۴۴/۲۷ درصد بیشتر بود، ولی بین مصرف ۵۰ کیلوگرم و ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

افزایش عملکرد دانه نخود به واسطه مصرف کود فسفر به دلیل رشد و نمو، گلدهی و غلاف‌بندی بهتر می‌باشد. از طرفی افزایش کود فسفر باعث افزایش تجمع اسیمیلات‌ها در دانه می‌شود و در نهایت منجر به افزایش وزن دانه می‌گردد. علی و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای اثر سطوح مختلف کود فسفر (۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل) را بر روی گیاه نخود بررسی کردند. آنها گزارش کردند که کاربرد کود فسفر تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشته و اختلاف بین سطوح ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم معنی‌دار نبوده است و مصرف ۹۰ کیلوگرم کود فسفر سبب افزایش ۷۴/۹ درصدی عملکرد دانه گردید. در تحقیق دیگری توگای و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که فسفر اثر

معنی‌داری بر عملکرد نخود داشته است. میرآخوری و همکاران (۱۳۸۹)، حسن زاده و همکاران (۱۳۸۶)، اکین و همکاران (۲۰۱۰) و افضل و بنو (۲۰۰۸) نیز نشان دادند که کود فسفر به ترتیب تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه گیاهانی مانند لوبیا سفید، جو، آفتابگردان و گندم داشته است.

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) تلقیح قارچ میکوریزا اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت. همچنین طبق نتایج جدول (۴-۲) تلقیح باکتری حل کننده فسفات باعث کاهش عملکرد دانه نسبت به شاهد شد اما این مقدار کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴-۱). مینا و همکاران (۲۰۱۰) نیز در تحقیقی بر روی گیاه نخود مشاهده کردند که تلقیح باکتری *Pseudomonas striata* باعث کاهش ۲۲/۴۵ درصدی عملکرد دانه گردید. در بررسی‌های افضل و بنو (۲۰۰۸) تلقیح باکتری حل کننده فسفات تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گیاه گندم نداشته است. در گیاه بابونه آلمانی نیز تأثیر باکتری حل کننده فسفات (کود زیستی فسفاته بارور-۲) بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (فلاحی و همکاران، ۱۳۸۸)، اما نتایج تحقیقات رخزادی و توشی (۲۰۱۱) و رضوان بیدختی و همکاران (۱۳۸۸) بیانگر اثر مثبت و معنی‌دار باکتری حل کننده فسفات بر عملکرد دانه نخود و گندم بود. اثر متقابل بین فاکتورها نیز بر عملکرد دانه معنی‌دار نشد (جدول ۴-۱).

**۴-۴- وزن صد دانه**

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) مبین آن بود که عامل میکوریزا بر وزن صد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴-۲) نشان داد وزن صد دانه در تلقیح با میکوریزا (۲۶/۴۹ گرم) در مقایسه با عدم تلقیح (۲۵/۲۷ گرم) به میزان ۴/۸۲ درصد بیشتر بود. احتمالاً تلقیح میکوریزا موجب گردیده که آب و مواد غذایی بیشتری به دانه‌ها منتقل شده و سبب بهبود وزن صد دانه گردد. در همین رابطه درزی و همکاران (۱۳۸۵) در پژوهشی در مورد گیاه رازیانه، به نتایج مشابهی دست یافتند و با تلقیح میکوریزای *Glomus intraradices* وزن هزار دانه ۶ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. اختر و سیدیکویی (۲۰۰۹) و شاه حسینی و همکاران (۱۳۸۹) نیز اثر مثبت میکوریزا بر وزن صد دانه نخود و ذرت را گزارش کرده‌اند.

همچنین بر طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر کود فسفر بر وزن صد دانه معنی‌دار نـشد. در همین رابطه براساس نتایج تحقیق منصور و همکاران (۲۰۰۹) با افزایش مقدار کـود فـسفر (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در نخود وزن صد دانه افزایش یافت ولی این افزایش معنی‌دار نبود. داشادی و همکاران (۱۳۸۴) و افضل و همکاران (۲۰۰۵) نیز عدم معنی‌داری کود فسفر بر وزن صد دانـه نخـود و وزن هزار دانه گیاه گندم را گزارش کردند. اما کاظمی پشت مساری و همکـاران (۱۳۸۶) و گنجعلـی و همکاران (۱۳۸۸) اثر مثبت و معنی‌دار کاربرد کود فسفر را بر وزن صد دانـه بـاقلا و هـزار دانـه گنـدم مشاهده کردند.

تلقیح باکتری حل کننده فسفات نیز اثر معنی‌داری بر وزن صد دانـه نداشـت (جـدول ۴-۱). افـضل و همکاران (۲۰۰۵) با کاربرد همزمان باکتری *Pseudomonas* و *Bacillus* بر روی بذور گنـدم، کـاهش غیرمعنی‌دار وزن هزار دانه را مشاهده کردند. مهرورز و همکاران (۲۰۰۸) نیـز در گیـاه جـو بـا تلقـیح *Pseudomonas putida* سویه ۹ به نتایج مشابهی دست یافتند. اما نتایج تحقیقات اختر و سـیدیکویی (۲۰۰۹) و کارلیر و همکاران (۲۰۰۸) بیانگر اثر مثبت و معنی‌دار باکتری حل کننـده فـسفات بـر وزن صد دانه نخود و هزار دانه گندم بود. همچنین اثر متقابل فاکتورهای مورد آزمـایش بـر وزن صـد دانـه معنی‌دار نشد (جدول ۴-۱).

### ۴-۵- شاخص برداشت

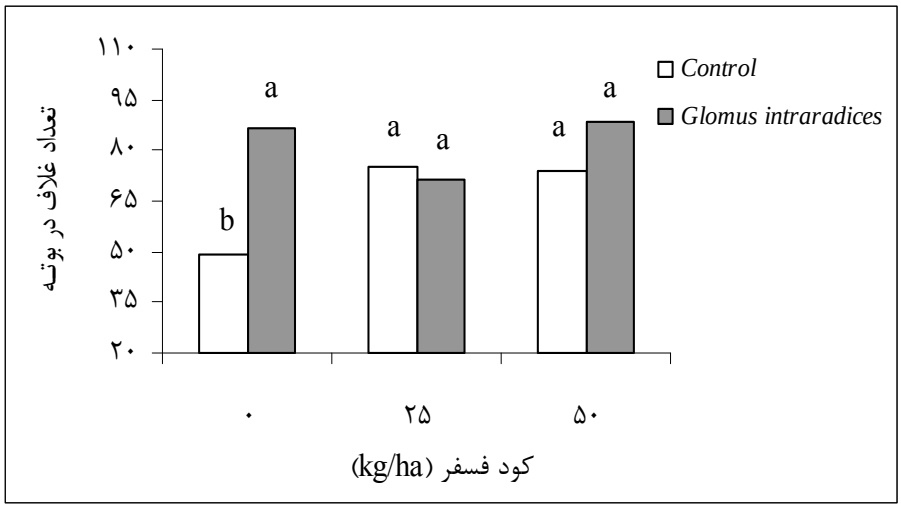
شاخص برداشت بیان کننده‌ی نسبت توزیع مواد فتوسـنتزی بـین عملکـرد اقتـصادی و عملکـرد کـل می‌باشد. عملکرد یک گیاه را می‌توان از طریق افزایش کل ماده خشک تولید شده در مزرعه یا افـزایش سهم عملکرد اقتصادی (شاخص برداشت) و یا هر دو بـالا بـرد (کـوچکی و سـرمدنیا، ۱۳۷۷). در ایـن بررسی اثرات اصلی کود فسفر، تلقیح میکوریزا، باکتری حـل کننـده فـسفات، اثـرات متقابـل فـسفر و میکوریزا، فسفر و باکتری حل کننده فسفات، تلقیح مضاعف باکتری حل کننده فـسفات و میکـوریزا و اثر متقابل سه‌گانه فاکتورهای آزمایش بر شاخص برداشت معنی‌دار نشد (جدول ۴-۱).

### ۴-۶- تعداد غلاف در بوته

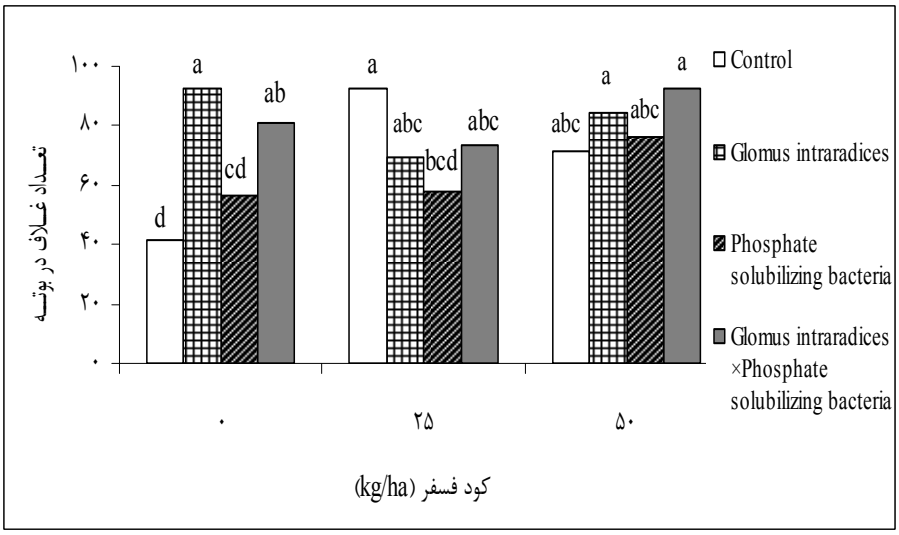
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) نشان داد که عامل میکوریزا بر تعداد غلاف در بوته در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد، به طوری که بیشترین تعداد غلاف در بوته‌های تلقیح شده با میکوریزا بدست آمد. اختر و سیدیکویی (۲۰۰۹) در یک آزمایش تأثیر *Glomus intraradices* را بر رشد نخود بررسی کردند و آنها گزارش کردند که میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته گردید.

اثر متقابل کود فسفر و تلقیح میکوریزا نیز بر تعداد غلاف در بوته در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴-۱) و کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و تلقیح میکوریزا منجر به افزایش تعداد غلاف به بالاترین مقدار شد، که از لحاظ آماری با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت و با سایر تیمارها در یک گروه آماری قرار داشت (جدول ۴-۳، شکل ۴-۱). در آزمایشی که توسط میرزاخانی و همکاران (۱۳۸۹) بر روی گیاه گلرنگ صورت گرفت، مشاهده شد که اثر متقابل میکوریزا در سطوح کودی به طور چشم‌گیری تعداد غوزه را در مقایسه با شاهد افزایش دادند.

طبق نتایج بدست آمده (جدول ۴-۱) اثر متقابل کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر تعداد غلاف در بوته در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد، به گونه‌ای که بیشترین تعداد غلاف در تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر، تلقیح میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بدست آمد (جدول ۴-۹، شکل ۴-۲). نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) نشان داد که اثر کود فسفر، باکتری حل کننده فسفات، اثر متقابل کود فسفر و باکتری حل کننده فسفات و اثر متقابل میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر تعداد غلاف معنی‌دار نشد.




شکل ۴-۱- اثر متقابل کود فسفر و تلقیح میکوریزا بر تعداد غلاف در بوته



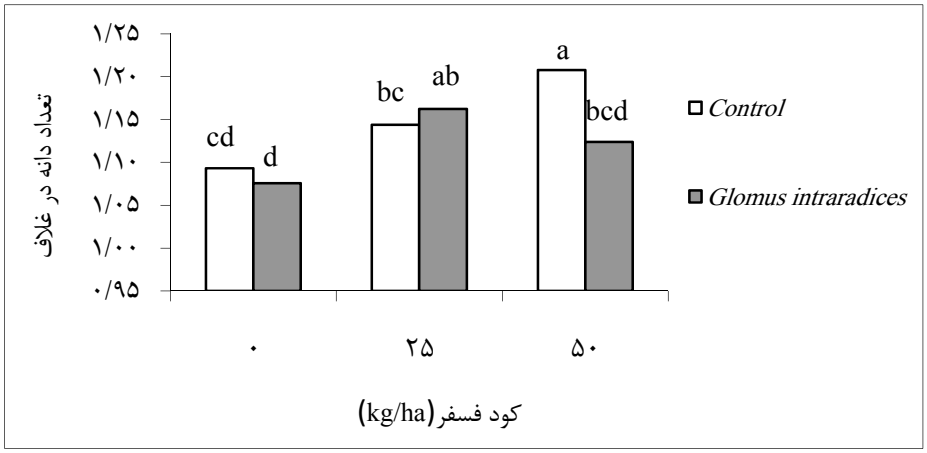

شکل ۴-۲- اثر متقابل کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر تعداد غلاف در بوته

### ۴-۷- تعداد دانه در غلاف

تعداد دانه در غلاف یکی از اجزای مهم برای رسیدن بـه عملکـرد اقتـصادی مطلـوب در نخـود اسـت. پتانسیل تولید دانه در غلاف در زمان گلدهی تعیین می‌شود و به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر کود فسفر بر تعداد دانه در غلاف معنـی‌دار نبود. در پژوهشی بولاند و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که کود فسفر اثر معنی‌داری بر تعـداد دانـه در غلاف گیاه باقلا نداشت.

همچنین میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در غلاف نداشتند. کاظمی پشت‌مساری و همکاران (۱۳۸۶) اثر باکتری حل کننده فسفات (کود زیستی فسفاته بارور-۲) را بر روی باقلا بررسی کردند و به نتایج مشابهی دست یافتند و اثر باکتری حل کننده فسفات بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود. ولی کارلیر و همکاران (۲۰۰۸) و مرادی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که باکتری حل کننده فسفات اثر مثبت و معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله گندم و تعداد دانه در طبق آفتابگردان داشته‌اند.

همچنین نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) مبین آن بود که اثر متقابل کود فسفر و میکوریزا بر تعداد دانه در غلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴-۳) نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف با مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و عدم تلقیح میکوریزا بدست آمد که با مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و تلقیح میکوریزا تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری نداشت (شکل۴-۳). اثر متقابل کود فسفر و باکتری حل کننده فسفات، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات و اثر متقابل سه‌گانه فاکتورهای مورد آزمایش بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴-۱).




شکل ۴-۳- اثر متقابل کود فسفر و تلقیح میکوریزا بر تعداد دانه در غلاف

## ۴-۸- درصد کلونیزاسیون ریشه

تأثیر کود فسفر بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح ۱ درصد معنـی‌دار بـود (جـدول ۴-۱). مقایـسه میانگین‌ها (جدول ۴-۲) نشان داد که با افزایش مقادیر کود فـسفر (۰، ۲۵ و ۵۰ کیلـوگرم در هکتـار) درصد کلونیزاسیون ریشه کاهش یافت، به طوری که در سطح سوم (۲۶/۲۴٪) و در سـطح دوم (۵۱٪) به ترتیب در حدود ۵۵/۸۳ و ۱۴/۱۵ درصد کمتر از سطح اول (۵۹/۴۱٪) بود. در همین رابطـه کـانم و همکاران (۲۰۰۶) و آلـوش و همکـاران (۲۰۰۰) گـزارش نمودنـد کـه بـا افـزایش کـود فـسفر درصـد کلونیزاسیون ریشه در گیاه نخود کاهش یافت. در پژوهش دیگری در گیاه یونجه مصرف ۶۰ کیلـوگرم در هکتار کود فسفر درصد کلونیزاسـیون *Glomus intraradices* را بـه طـور معنـی‌داری کـاهش داد (ساغری و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین رئیسی و قول لرعطا (۲۰۰۶) به نتایج مـشابهی در گیـاه شـبدر برسیم دست یافتند. چهار مکانیسم برای توصـیف دلایـل ممانعـت و یـا محـدود شـدن توسـعه قـارچ میکوریزا در اثر بالا بودن فسفر پیشنهاد شده (ناگاهاشی و همکاران، ۱۹۹۶) کـه عبـارت اسـت از : ۱- ایجاد تغییرات آناتومیک و یا فیزیولوژیک که ممکن است در ریـشه‌هـا رخ دهـد و توسـعه قـارچ را در درون ریشه‌های گیاه (هیف‌های درون ریشه) محدود سازد ۲- کندتر شدن جریان کربن به ازای واحـد طول ریشه‌های کلنی‌زایی شده در سطح بالای فسفر نسبت به سطوح پایین‌تر فسفر ۳- تغییرات کمـی و کیفی در ترشحات ریشه که به نوعی بر رشد هیف‌های برون ریشه‌ای و گستردگی نفوذ آنها به ریـشه تأثیر می‌گذارند ۴- فسفر ممکن است به طور مستقیم مانع رشد قارچ‌ها در خاک شود.

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) عامل میکـوریزا تـأثیر معنـی‌داری در سـطح ۱ درصـد بـر میزان کلونیزاسیون ریشه ایجاد کرد، مقایسه میانگین‌ها (جـدول ۴-۲) نـشان داد کـه بـین تلقـیح بـا میکوریزا (۶۰/۱۳٪) و عدم تلقیح (۳۰/۹۷٪) تفاوت معنـی‌داری وجـود داشـت بـه طـوری کـه درصـد کلونیزاسیون ریشه با تلقیح *Glomus intraradices* در حدود ۹۴/۱۵ درصد بیشتر بود. نتایج پـژوهش اختر و سیدیکویی (۲۰۰۸) و آلوش و همکاران (۲۰۰۰) هم بیانگر افزایش درصد کلونیزاسـیون ریـشه نخود با تلقیح میکوریزا بود. همچنین در نتایج تحقیقات سبنور و کلشمن (۲۰۰۹) و ثواقبی و همکاران (۱۳۸۹)، تلقیح قارچ میکوریزا اثر معنی‌داری بر درصد کلونیزاسیون گیاه کنجد و گندم داشت.

همچنین اثر باکتری حل کننده فسفات بر درصد کلونیزاسیون میکوریزایی ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴-۱). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴-۲) نشان داد که باکتری حل کننده فسفات باعث کاهش ۱۴/۹۵ درصدی کلونیزاسیون ریشه شد. شیرمردی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند تلقیح *Pseudomonas fluorescens* سویه‌های ۹ و ۱۲ درصد کلونیزاسیون میکوریزایی ریشه گیاه آفتابگردان را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داد.

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثرات متقابل فاکتورهای مورد آزمایش بر درصد کلونیزاسیون ریشه معنی‌دار نبود.

### ۴-۹- فسفر قابل دسترس خاک

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر کود فسفر بر فسفر قابل جذب خاک معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴-۲) نشان داد که بین سطح سوم کود فسفر (۲۱/۲۴ mg/kg) و سطح اول کود فسفر (۱۳/۵۹ mg/kg) در سطح ۵ درصد تفاوت وجود داشت، به نحوی که فسفر قابل جذب خاک در سطح سوم حدود ۵۶/۲۹ درصد بیشتر بود. قول لرعطا (۱۳۸۴) نیز در پژوهش خود مشاهده کرد، افزایش فسفر خاک به طور معنی‌داری فسفر قابل جذب خاک را افزایش داد.

تلقیح میکوریزا اثر معنی‌داری بر فسفر قابل دسترس خاک نداشت (جدول ۴-۱). خان و زیدی (۲۰۰۷) اظهار داشتند که فسفر قابل جذب خاک در اثر تلقیح میکوریزا به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین نتایج تحقیقات وو و همکاران (۲۰۰۵) و زیدی و همکاران (۲۰۰۳) نیز بیانگر افزایش فسفر قابل جذب در اثر تلقیح میکوریزا می‌باشد، اما اصغری (۱۳۸۶) گزارش کرد که خاک حاوی گیاهان میکوریزی میزان کمتری فسفر قابل جذب داشت. مقدار فسفر قابل جذب در خاک بعد از برداشت در تلقیح منفرد و مضاعف میکروارگانیسم‌ها نسبت به شاهد بالاتر بود در حالی که مقدار فسفر قابل جذب با رشد گیاه نخود در گیاهان تلقیح نشده کاهش یافت.

اثر باکتری حل کننده فسفات و اثر متقابل فاکتورهای مورد آزمایش بر میزان فسفر قابل جذب خاک معنی‌دار نبود (جدول ۴-۱).

### ۴-۱۰- فسفر دانه

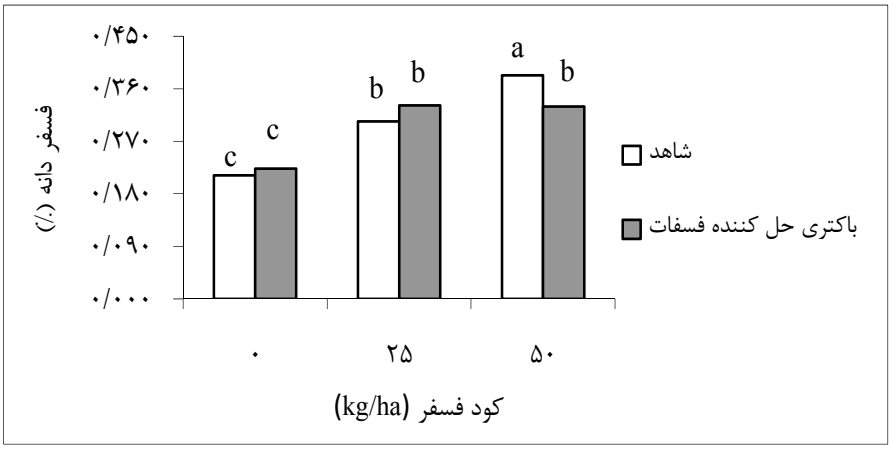
نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) گویای آن بود که تأثیر کود فسفر و میکوریزا بـه تنهـایی در سطح ۱ درصد و نیز اثر متقابل دو فاکتور کود فسفر و باکتری حل کننده فسفات در سطح ۵ درصد بر غلظت فسفر در دانه معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین‌ها (جـدول ۴-۲) نـشان داد کـه بـین تلقـیح میکوریزا (۰/۳۲۶ درصد) و عدم تلقیح (۰/۲۶۹ درصد) تفاوت قابل توجهی وجود داشت، به نحوی کـه غلظت فسفر در دانه در تلقیح با میکوریزا حدود ۲۱/۱۸ درصـد بیـشتر بـود. نتیجـه پـژوهش کـاپور و همکاران (۲۰۰۴) نیز بیانگر همین مطلب است. آنها در تحقیق خود نشان دادند کـه میـانگین غلظـت فسفر در تلقیح رازیانه با دو گونه VAM (۱/۶۲ درصد) به نحو بـارزی نـسبت بـه تیمـار شـاهد (۱/۱۵ درصد) بیشتر شد. محققان یـاد شـده دریافتنـد کـه همزیـستی میکـوریزا از طریـق بهبـود گـسترش هیف‌های قارچ در منافذ خاک به طور فیزیکی موجب افزایش جذب فسفر در پیکره رویشی رازیانه شد و متعاقب آن با افزایش وزن خشک گیاه سبب بهبود غلظت فسفر در دانه رازیانه شد. یافته‌های رئیسی و قول لرعطا (۲۰۰۶)، آیلباس و ساهین (۲۰۰۵) و شاکلی و همکاران (۲۰۰۴) بـه ترتیـب در گیاهـان شبدر برسیم، سویا و شبدر در خصوص افزایش غلظت فسفر گیاهان یاد شده در همزیستی میکوریزا با نتیجه پژوهش حاضر مطابقت دارد.

همچنین تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین سطوح کود فسفر از نظر تأثیر بر غلظت فسفر دانه مـشاهده شـد به نحوی که غلظت فسفر در دانه در سطح سـوم (۰/۳۵۶ درصـد) در حـدود ۱۱/۹۴ درصـد بیـشتر از سطح دوم (۰/۳۱۸ درصد) و ۶۳/۳۰ درصد بیشتر از سطح اول (۰/۲۱۸ درصد) بود. یافته‌های توگای و همکاران (۲۰۰۸) و آلوش و همکاران (۲۰۰۰) بر روی نخود با نتیجه پژوهش حاضر هماهنگی دارد.

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثر متقابل تلقیح باکتری حل کننده فسفات و کود فسفر در سطح ۵ درصد بر فسفر دانه معنی‌دار شد (جدول ۴-۱). بیشترین مقدار فسفر دانه بـا مـصرف ۵۰ کیلـوگرم در هکتار کود فسفر بدون تلقیح باکتری حل کننده فسفات بدست آمد که بـا سـایر تیمارهـا در سـطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۴-۳، شکل ۴-۴). افضل و بنو (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند اثـر

متقابل کود فسفر و باکتری حل کننده فسفات بر غلظت فسفر دانه معنـی‌دار بـوده و کـاربرد همزمـان آنها منجر به افزایش غلظت فسفر در دانه شد.

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱) اثر باکتری حـل کننـده فـسفات، اثـر متقابـل کـود فـسفر و میکوریزا، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات و اثر متقابـل سـه‌گانـه فاکتورهـا بـر روی فـسفر بـذر معنی‌دار نبود.




شکل ۴-۴- اثر متقابل کود فسفر و باکتری حل کننده فسفات بر غلظت فسفر دانه

### ۴-۱۱- سطح برگ تک بوته

براساس نتایج آزمایش (جدول ۴-۱) تأثیر کاربرد کود فسفر بر سطح برگ در سطح ۱ درصد معنـی‌دار بود. در نتیجه کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر میزان سطح برگ حدود ۹۳/۲۳ درصـد نـسبت به مصرف صفر کیلوگرم در هکتار کود فسفر افزایش یافت. علت افزایش سطح برگ را می‌توان به نقش تغذیه‌ای این عنصر نـسبت داد. قـول لرعطـا و همکـاران (۱۳۸۷) و پـورابراهیمی و همکـاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که کود فسفر سطح برگ شبدر برسیم و ذرت را به طور معنی‌داری افزایش داد.

علی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که افزودن کود فسفر (۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلـوگرم در هکتـار سوپرفسفات تریپل) به محیط کـشت نخـود باعـث افـزایش شـاخص سـطح بـرگ گردیـد. کولومـب و همکاران (۲۰۰۰) نیز اظهار داشتند با افزایش میزان فسفر رشد گیـاه ذرت تحـت تـأثیر قـرار گرفتـه، شاخص سطح برگ و فتوسنتز گیاه افزایش یافتـه و در نهایـت موجـب افـزایش عملکـرد گردیـد. اثـر

میکوریزا، باکتری حل کننده فسفات و اثر متقابل فاکتورهای آزمایش بر سطح برگ معنی‌دار نبود (جدول ۴-۱).

### ۴-۱۲- شاخص‌های رشد نخود

#### ۴-۱۲-۱- تجمع ماده خشک (TDM)[۱]

روند تجمع ماده خشک در طول دوره رشد در مراحل مختلف متفاوت است. مرحله اول: مرحله رشد آهسته که چون گیاه هنوز در حال رشد است شاخ و برگ چندانی ایجاد نمی‌شود، لذا ماده خشک تولیدی کم است. مرحله دوم: مرحله رشد سریع است که به سبب فتوسنتز برگها و ماده‌سازی، وزن خشک گیاه افزایش می‌یابد. مرحله سوم: در این مرحله همزمان با انتقال مواد از اندام‌ها به دانه‌ها به علت ریزش برگ‌ها در اثر سایه‌اندازی، پیری و عدم توانایی کافی جهت فتوسنتز و ماده سازی، تجمع ماده خشک در گیاه ثابت و حتی کاهش می‌یابد.

میزان تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی گیاه نخود در طول دوره رشد در پاسخ به کاربرد کود فسفر در شکل (۴-۵) آمده است. روند تغییرات ماده خشک در پاسخ به کاربرد کود فسفر در مراحل مختلف رشد نخود از الگوی یکسانی برای هر سه سطح فسفر تبعیت کرد. بیشترین و کمترین میزان ماده خشک در ۱۱۸ روز پس از کاشت به ترتیب از کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر (۴۸/۳۹ گرم در بوته) و صفر کیلوگرم در هکتار کود فسفر (۳۳/۴۸ گرم در بوته) بدست آمد که مقدار محاسبه شده نسبت به سطح اول کود فسفر معادل ۴۴/۵۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴-۵). کود فسفر موجب افزایش چشم‌گیر میزان ماده خشک تولیدی در طی دوره رشد گردید که علت آن می‌تواند افزایش در عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته و توسعه بافت سبزینه‌ای با کاربرد فسفر باشد. به نظر می‌رسد کود فسفر باعث تولید سطوح فتوسنتز کننده و برگ‌ها می‌شود و با افزایش وزن خشک برگ‌ها بر میزان فتوسنتز گیاه و در نهایت عملکرد گیاه می‌افزاید. در همین راستا آلوش و همکاران (۲۰۰۰) نیز نتیجه گرفتند که کاربرد کود فسفر باعث بهبود وزن خشک کل گیاه نخود گردید. همچنین در

---

۱ -Total Dry Matter

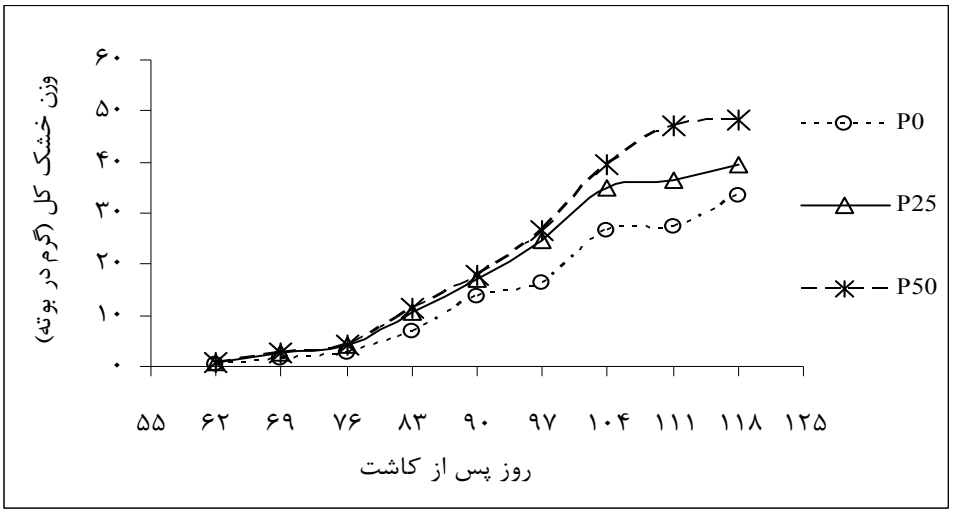
تحقیق دیگری تجمع ماده خشک در گیاه ذرت با کاربرد کود فسفر به طور معنی‌داری افـزایش یافـت (رستمی و عباسدخت، ۱۳۸۹).

در شکل (۴-۶) تأثیر تلقیح میکوریزا بر مقدار تجمع ماده خشک بوته‌های نخود مـشخص شـده اسـت. در فاصله ۶۲ تا ۹۰ روز پس از کاشت کاربرد میکوریزا تأثیر معنی‌داری بر میزان تجمـع مـاده خـشک نداشت (جدول ۴-۴). میزان TDM در ۹۷ روز پس از کاشت به طور معنـی‌داری تحـت تـأثیر کـاربرد میکوریزا قرار گرفت (جدول ۴-۴). در این زمان بیـشترین میـانگین مـاده خـشک براسـاس داده‌هـای حاصل از آزمایش از تلقیح میکوریزا (به میزان ۲۳/۸۵ گرم در بوته) و کمترین مقدار از شـاهد (۲۱/۳۱ گرم در بوته) بدست آمد (جدول ۴-۵). با آغاز رشد زایشی اختلاف بین تأثیر میکوریزا و شاهد بیـشتر شد. روند افزایشی میزان وزن خشک بوته با تلقیح میکوریزا در فاصله ۱۰۴ تا ۱۱۸ روز پس از کاشـت نیز مشاهده شد به طوری که در ۱۱۸ روز پس از کاشت میانگین وزن خشک بوتـه بـه میـزان ۱۳/۰۳ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ۴-۵). بررسی فرزانه و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد کـه در اثر تلقیح میکوریزا تجمع ماده خشک کل گیاه نخود بـه میـزان ۴۳ درصـد افـزایش یافـت. خـان و زیدی (۲۰۰۷) گزارش کردند که میکوریزا تجمع ماده خشک گندم را در ۱۳۵ روز بعـد از کاشـت بـه طور معنی‌داری افزایش داد. معمولاً اثر همزیستی میکوریزایی را می‌توان در مراحل اولیه رشد دید امـا در این آزمایش اثربخشی میکوریزا دیرتر اتفاق افتاده است که این موضوع می‌تواند در اثر نوع گیاه، نوع قارچ، اثرات اقلیمی و خاک و یا اثرات متقابل آنها اتفاق افتاده باشد.

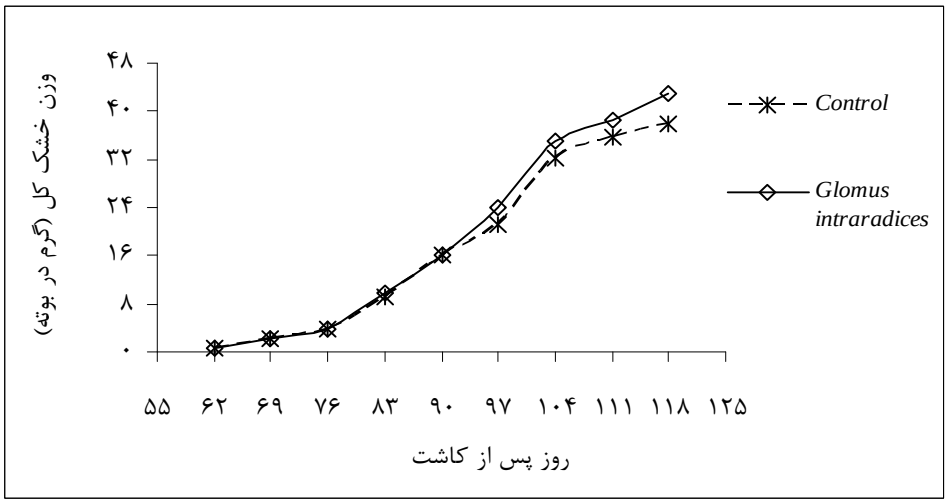
تلقیح باکتری حل کننده فسفات در ۶۲ روز پس از کاشت بـر میـزان TDM اثـر معنـی‌داری نداشـت. میزان تجمع ماده خشک در فاصله ۶۹ تا ۱۱۱ روز پس از کاشت به طور معنی‌داری تحت تأثیر تلقـیح باکتری حل کننده فسفات قرار گرفت (جدول ۴-۴). مقـدار تجمـع مـاده خـشک در ۱۱۸ روز پـس از کاشت به بالاترین میزان خود رسید و با تلقیح باکتری حل کننده فسفات وزن خشک کل بوته معـادل ۶/۲۹ درصد در مقایسه با عدم تلقیح کاهش یافت البته این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول

۴-۵). برخی عوامل محیطی غیر قابل کنترل از قبیل کمبود مواد آلی و یا عوامل ژنتیکی و برخی عوامل زراعی می‌تواند در نتایج بدست آمده دخیل باشد.

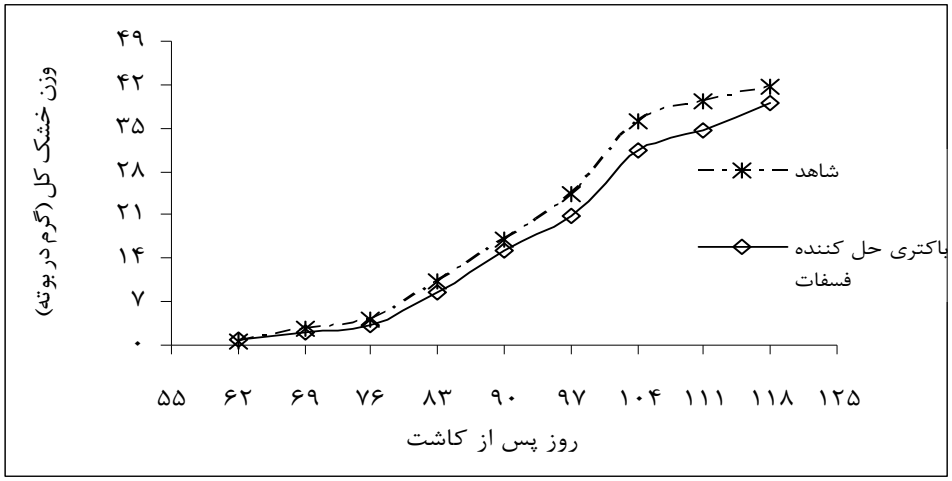
آندراد و همکاران (۱۹۹۸) هم مشاهده کردند وزن خشک اندام هوایی نخودفرنگی با تلقیح *Pseudomonas* به طور معنی‌داری کاهش یافت.




شکل ۴-۵- تأثیر سطوح کود فسفر بر روند تغییرات تجمع ماده خشک در طول دوره رشد




شکل ۴-۶- تأثیرسطوح میکوریزا بر روند تغییرات تجمع ماده خشک در طول دوره رشد




شکل ۴-۷- تأثیرسطوح باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات تجمع ماده خشک در طول دوره رشد

### ۴-۱۲-۲- سرعت رشد محصول (CGR)[۱]

پارامتر سرعت رشد محصول یکی از شاخص‌هایی است که با عملکرد گیاهان زراعی همبستگی بالایی نشان می‌دهد و عبارت است از افزایش وزن ماده خشک یک جامعه گیاهی در واحد سطح و در واحد زمان و معمولاً بر حسب گرم در مترمربع در روز بیان می‌شود (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۷۷). ملاحظه می‌شود که سرعت رشد محصول در مراحل اولیه رشد، به دلیل کافی نبودن پوشش گیاهی، کوتاه بودن روزها و درصد کم نور روند کندی دارد و سپس همراه با افزایش شاخص سطح برگ به سرعت افزایش می‌یابد. با رسیدن گیاه به حد نهایی رشد در اثر سایه‌اندازی اندام‌های فوقانی بر روی برگ‌ها، کاهش قدرت فتوسنتزی گیاه، پیری و ریزش برگ‌ها، سرعت رشد محصول شدیداً کاهش یافت.

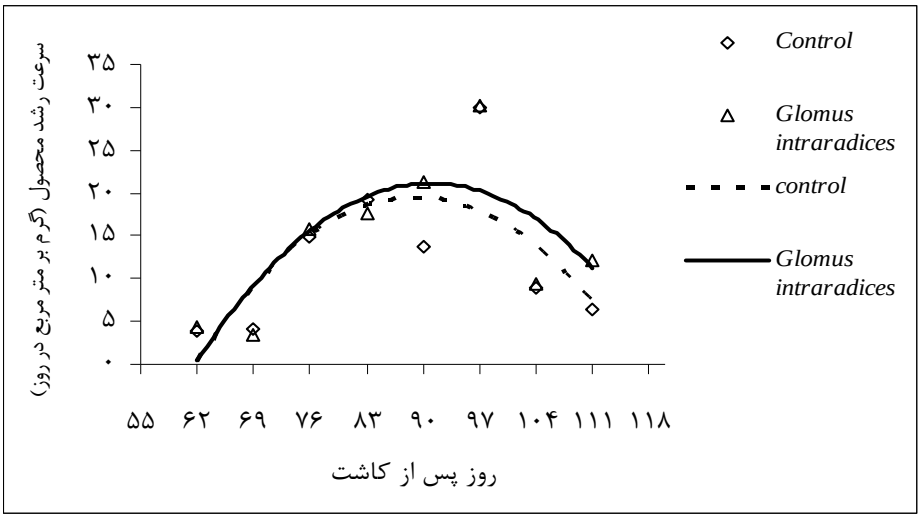
در شکل (۴-۸) منحنی برازش شده تأثیر تلقیح میکوریزا بر سرعت رشد محصول ارائه شده است. بررسی روند تغییرات CGR در طول دوره رشد نخود حاکی از آن است که بیشترین رشد محصول در کل دوره نمونه‌برداری مربوط به شرایط تلقیح میکوریزا و حداکثر آن در ۹۷ روز پس از کاشت حدود ۳۰/۱۶ گرم بر مترمربع در روز بدست آمد. در حالی که در همین زمان حداکثر سرعت رشد محصول در شرایط عدم تلقیح میکوریزا ۲۹/۹۹ گرم بر مترمربع در روز بود (جدول ۴-۶). در همین راستا وبر و همکاران (۱۹۹۳) گزارش کردند تلقیح میکوریزا در مرحله گلدهی وزن خشک اندام هوایی را به طور

۱ -Crop Growth Rate

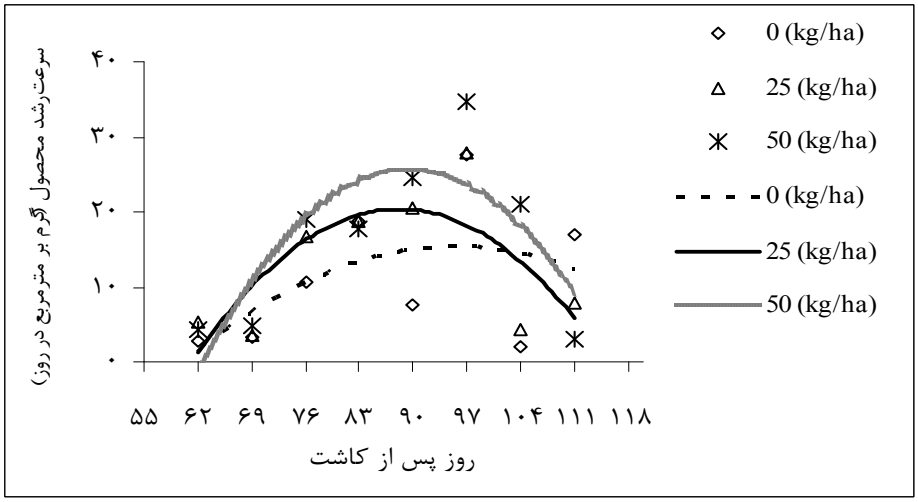
معنی‌داری افزایش داد. همچنین در گیاه ذرت تلقیح میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار CGR گردید (وو و همکاران، ۲۰۰۵). آنان دلیل افزایش سرعت رشد گیاه را بهبود جذب مواد غذایی توسط گیاه دانستند.

تغییرات سرعت رشد محصول در پاسخ به کاربرد کود فسفر در طول دوره رشد برای هر سه سطح از روند یکسانی پیروی کرد بدین صورت که سرعت رشد محصول با گذشت زمان افزایش یافته و پس از رسیدن به مقدار حداکثر خود (در ۹۷ روز پس از کاشت) در انتهای فصل رشد به دلیل زرد شدن و ریزش برگها روند کاهشی پیدا کرد (شکل ۴-۹). بیشترین میزان CGR در ۹۷ روز پس از کاشت با کاربرد ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به ترتیب با میانگین ۳۴/۷۸ و ۲۷/۸۱ گرم بر مترمربع در روز و کمترین میزان آن از تیمار شاهد با میانگین ۲۷/۶۴ گرم بر مترمربع در روز بدست آمد که مقادیر محاسبه شده به ترتیب در حدود ۲۵/۰۶ و ۰/۶۱ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۴-۶). علی و همکاران (۲۰۰۴) اظهار داشتند کاربرد کود فسفر در گیاه نخود باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید. در تحقیق دیگری بر روی گیاه ذرت، کود فسفر سرعت رشد محصول را به طور معنی‌داری افزایش داد (رستمی و عباسدخت، ۱۳۸۹).

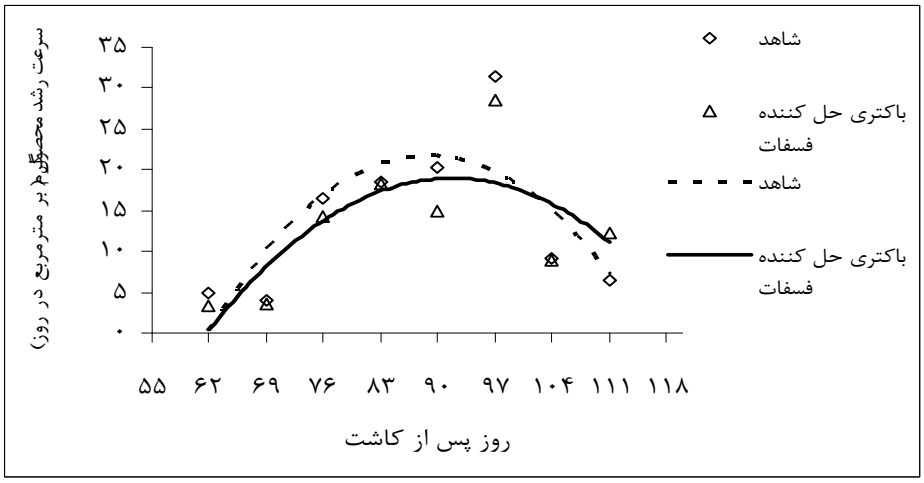
سرعت رشد محصول در پاسخ به تلقیح باکتری حل کننده فسفات در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است. در طول دوره رشد با نمو گیاه سرعت رشد افزایش یافت و در فاصله ۹۷ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید. در این زمان میزان CGR در تلقیح باکتری حل کننده فسفات با میانگین ۲۸/۶۴ گرم بر مترمربع در روز نسبت به عدم تلقیح با میانگین ۳۱/۵۱ گرم بر مترمربع در روز حدود ۹/۱۰ درصد کمتر بود (جدول ۴-۶) و در تمام دوره رشد در شرایط تلقیح باکتری حل کننده فسفات سرعت رشد محصول نسبت به عدم تلقیح کمتر بود.




شکل ۴-۸- تأثیرسطوح میکوریزا بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول دوره رشد




شکل ۴-۹- تأثیر سطوح کود فسفر بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول دوره رشد




شکل ۴-۱۰- تأثیرسطوح باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول دوره رشد

### ۴-۱۲-۳- سرعت رشد نسبی (RGR)[۱]

سرعت رشد نسبی (RGR) بیان کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است. میزان سرعت رشد نسبی پس از جوانه‌زنی به کندی آغاز شده و متعاقب آن به سرعت افزایش می‌یابد و با گذشت زمان و رشد بیشتر گیاه مقدار سرعت رشد نسبی کاهش پیدا می‌کند.

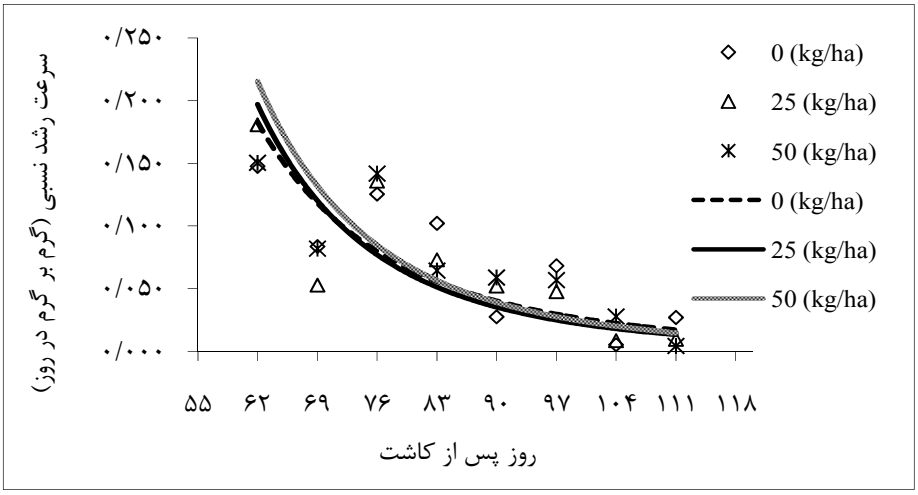
روند تغییرات سرعت رشد نسبی بین سطوح کود فسفر، تلقیح میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات به ترتیب در اشکال ۴-۱۱، ۴-۱۲ و ۴-۱۳ مقایسه شده است. سرعت رشد نسبی در طی فصل رشد، مشابه آنچه در سایر گیاهان زراعی معمول است یک روند کلی کاهشی داشت.

در اولین نمونه‌برداری (۶۲ روز پس از کاشت) مقدار RGR در بالاترین حد خود قرار داشت و با گذشت زمان کاهش پیدا نمود. چنانچه ملاحظه می‌شود به طور کلی با گذشت زمان سرعت رشد نسبی گیاه کاهش یافته است. علت کاهش RGR این است که هر چند مقدار وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند اما سرعت افزایش به دلیل افزایش نسبت بافت‌های بالغ به بافت‌های مریستمی کاهش می‌یابد. از طرفی بخشی از این کاهش می‌تواند مربوط به در سایه قرار گرفتن و یا افزایش سن برگ‌های پایین گیاه باشد که باعث کاهش فتوسنتز می‌گردد.

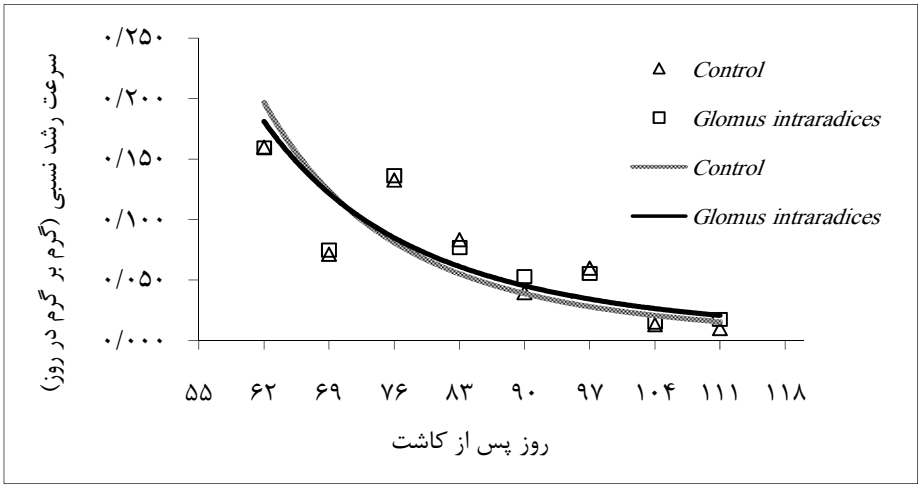
در ابتدای رشد اختلاف بین سطوح کود فسفر محسوس بوده ولی با گذشت زمان و افزایش رشد اختلاف محسوسی بین سطوح کود مشاهده نشد (جدول ۴-۷). رستمی و عباسدخت (۱۳۸۹) در گیاه ذرت مشاهده کردند که کاربرد کود فسفر اثر معنی‌داری بر سرعت رشد نسبی داشته است. تغییرات سرعت رشد نسبی در پاسخ به تلقیح میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات (جدول ۴-۷) نیز نشان داد که مقدار سرعت رشد نسبی در اوایل دوره رشد بیشترین مقدار بوده و در طول دوره رشد کاهش یافت.

---

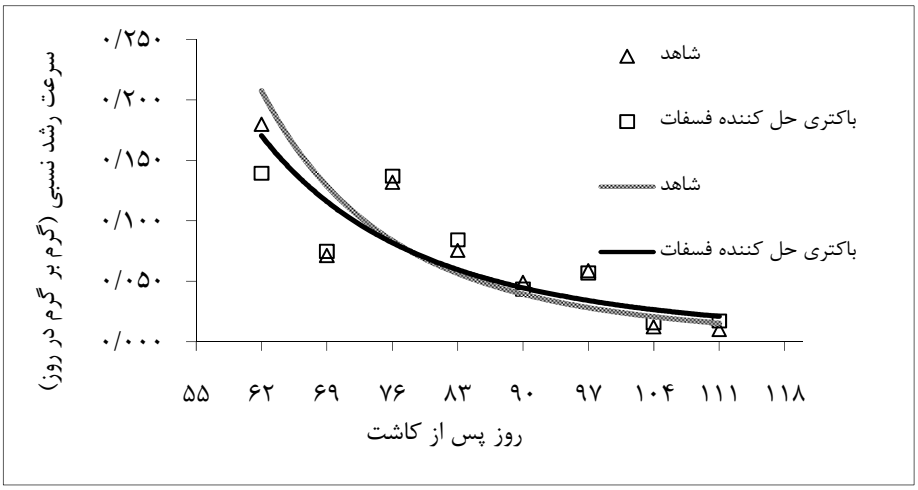
۱ - Relative Growth Rate




شکل ۴-۱۱- تأثیر سطوح کود فسفر بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد




شکل ۴-۱۲- تأثیر سطوح میکوریزا بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد




شکل ۴-۱۳- تأثیر سطوح باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد

### ۴-۱۲-۴- شاخص سطح برگ (LAI)[۱]

شاخص سطح برگ نسبت سطح برگ محصول به سطح زمینی که روی آن سایه می‌اندازد، می‌باشد. چون تشعشع خورشیدی به طور یکنواختی روی سطح زمین پخش می‌شود لذا LAI یک معیار تقریبی از مساحت برگ‌ها در واحد سطح است که تشعشع خورشید برای آنها قابل دسترس می‌باشد. افزایش در شاخص سطح برگ سبب افزایش در فتوسنتز می‌شود و در نتیجه عملکرد ماده خشک و دانه نیز بیشتر خواهد بود.

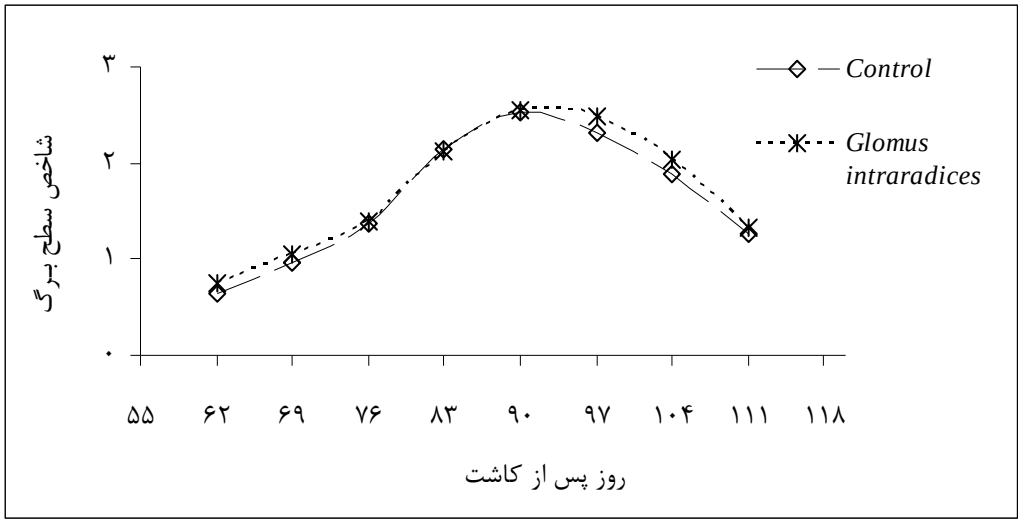
تغییرات شاخص سطح برگ گیاه نخود در طول فصل رشد در پاسخ به تلقیح میکوریزا در شکل (۴-۱۴) آمده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود روند تغییرات شاخص سطح برگ در پاسخ به تلقیح و عدم تلقیح میکوریزا در مراحل مختلف رشد نخود از الگوی یکسانی برای هر دو تیمار تبعیت کرد. حداکثر و حداقل میزان شاخص سطح برگ در ۹۰ روز پس از کاشت به ترتیب از تلقیح میکوریزا (۲/۵۵) و شاهد (۲/۵۳) بدست آمد که مقدار محاسبه شده نسبت به شاهد به میزان ۰/۷۹ درصد برتر بود (جدول ۴-۸). اصلانی و همکاران (۱۳۸۷) اظهار داشتند که تلقیح بذرهای ریحان با میکوریزا باعث افزایش تعداد برگ، سطح برگ و شاخص سطح برگ گردید.

تغییرات شاخص سطح برگ در پاسخ به کاربرد کود فسفر در طول دوره رشد (شکل ۴-۱۵) برای تمامی تیمارها روند مشابهی داشته و زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در تمامی تیمارها همزمان بود. به طوری که در ابتدای فصل رشد میزان شاخص سطح برگ با شیب کم و بعد از آن با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی با شتاب زیاد تا حداکثر ۹۰ روز پس از کاشت افزایش یافته و سپس در انتهای فصل رشد به دلیل زرد شدن و همچنین ریزش برگ‌ها روند نزولی مشاهده شد. بیشترین میزان LAI در ۹۰ روز پس از کاشت از کاربرد ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر (به ترتیب با مقادیر ۲/۸۱ و ۲/۶۷) و کمترین میزان از شاهد (به مقدار ۲/۱۳) بدست آمد (جدول ۴-

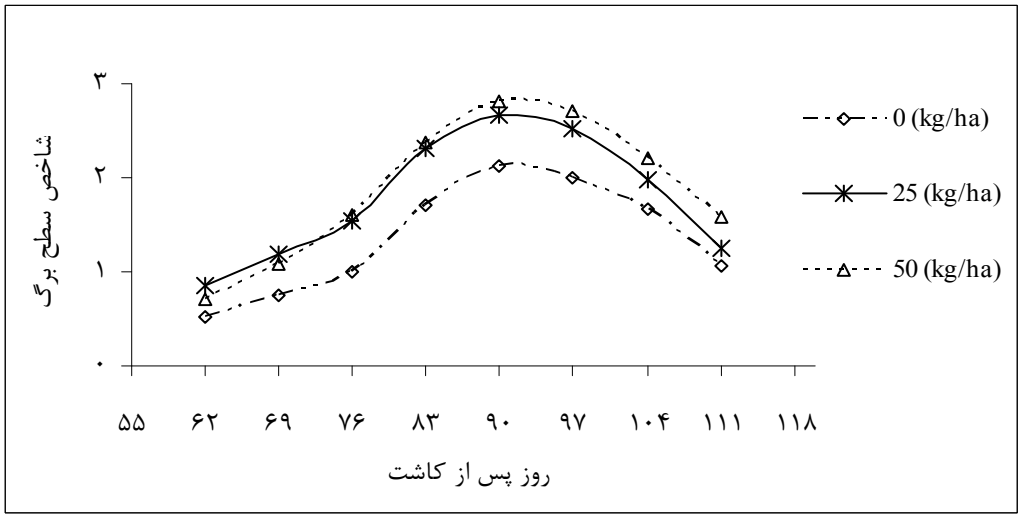
۱ - Leaf Area Index

۸). بررسی یحیها و همکاران (۱۹۹۵) نشان داد که در اثر کاربرد کود فسفر شاخص سطح بـرگ نخـود افزایش یافته است.

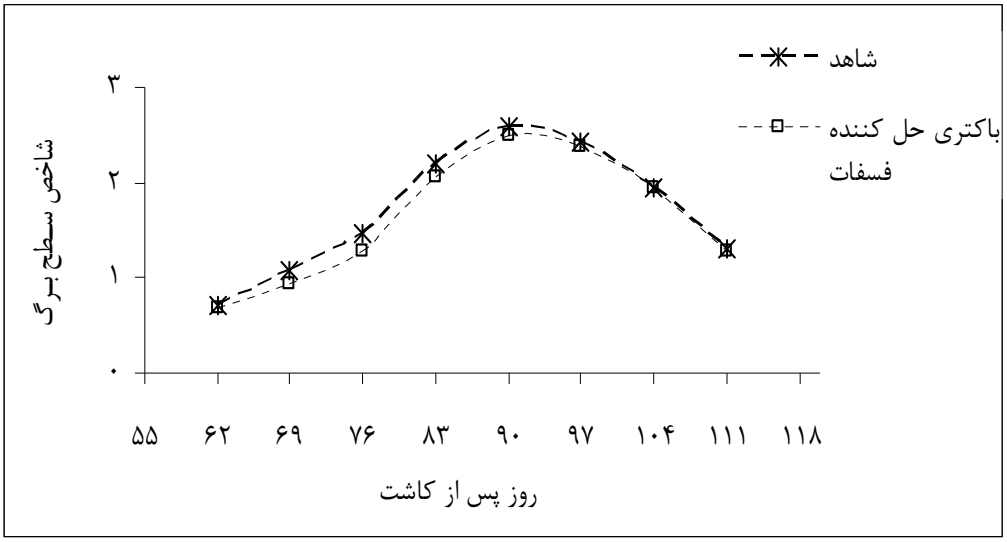
در شکل (۴-۱۶) تأثیر تلقیح باکتری حل کننده فسفات بر تغییرات شاخص سطح برگ در طـول دوره رشد مشخص شده است. بیشترین سطح برگ در تمام دوره رشد گیاه مربوط به عـدم تلقـیح بـاکتری حل کننده فسفات بود که تا حدود ۹۰ روز پس از کاشت حالت افزایشی داشت و سپس روند کاهـشی در پیش گرفت (جدول ۴-۸).




شکل ۴-۱۴- تأثیرسطوح میکوریزا بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد




شکل ۴-۱۵- تأثیر سطوح کود فسفر بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد




شکل ۴-۱۶- تأثیرسطوح باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد

## نتیجه‌گیری کلی

استفاده از کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل و تلقیح میکوریزا توانست بر بسیاری از صفات تأثیر مثبت بگذارد به طوری که تلقیح میکوریزا اثر معنی‌داری بر ارتفاع، عملکرد بیولوژیک، وزن صد دانه، تعداد غلاف، فسفر دانه و کلونیزاسیون ریشه داشت. همچنین مصرف کود سوپرفسفات تریپل باعث افزایش صفاتی مانند عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، فسفر قابل دسترس خاک، فسفر دانه و سطح برگ گیاه شد. اما باکتری حل کننده فسفات اثر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی نداشت. برخی عوامل از قبیل عدم توسعه جمعیت باکتری حل کننده فسفات، ژنتیک گیاه، وضعیت عناصر خاک، کمبود مواد آلی و برخی عوامل زراعی می‌تواند در نتایج بدست آمده دخیل باشد.

بررسی‌های اکولوژیک نشان داده است که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی بالاخص کودهای فسفاته سبب تخریب اکوسیستم‌های زراعی می‌گردد و استفاده از جایگزین‌های مناسب از جمله اهداف کشاورزی اکولوژیک می‌باشد. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از تلقیح میکوریزا به تنهایی می‌تواند در صفاتی مانند عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن صد دانه، شاخص برداشت، تعداد غلاف و ارتفاع گیاه معادل استفاده از ۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل عملکرد داشته باشد. از سویی در بررسی‌های زیادی نشان داده شده است که استفاده از کودهای بیولوژیک از جمله میکوریزا

تأثیر نامناسبی بر بیولوژی و اکولوژی خاک ندارد، اما استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند باعث برهم زدن تعادل اکولوژیکی در خاک گردد (همانگونه که در این پژوهش کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر سبب کاهش میزان کلونیزاسیون ریشه گیاه گردید).

بنابراین با توجه به نتایج می‌توان بیان نمود که تلقیح میکوریزا می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب برای کود شیمیایی فسفاته در زراعت نخود پیشنهاد گردد.

**پیشنهادات**

با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش جهت انجام بهتر و دقیق‌تر این چنین آزمایشاتی پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد.

- آزمایش مذکور حداقل یکسال دیگر تکرار شود.
- باکتری حل کننده فسفات با مقادیر مختلف کود فسفر مورد بررسی قرار گیرد.
- اثر باکتری حل کننده فسفات و سطوح فسفر و میکوریزا بر روی سایر حبوبات نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- تحقیقات دیگر در رابطه با کاربرد سایر باکتری‌های حل کننده فسفات در مورد نخود انجام گیرد تا مناسب‌ترین باکتری حل کننده فسفات با کارایی بالاتر انتخاب گردد.
- بهتر است در مورد تعیین وضعیت بقاء باکتری حل کننده فسفات استفاده شده بعد از برداشت محصول نیز تحقیقاتی صورت گیرد.

جدول ۴-۱- جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ارتفاع | عملکرد بیولوژیک | عملکرد دانه | وزن صد دانه | شاخص برداشت |
| تکرار (R) | ۲ | ۶۱/۹۶۵ ns | ۱۱۵۹۵۵۴/۱۱۹ ns | ۳۶۲۰۰۶/۳۹۵ ns | ۰/۸۴۶ ns | ۱/۸۵۴ ns |
| کود فسفر (P) | ۲ | ۱۸۶/۴۹۱ ns | ۲۴۴۰۱۰۱۷/۸۰۲ * | ۵۹۳۶۷۵۶/۴۸۷ * | ۴/۱۷۷ ns | ۹/۰۲۵ ns |
| اشتباه اصلی ($E_a$) | ۴ | ۴۹/۷۴۱ | ۲۶۲۸۷۲۷/۷۵۳ | ۷۱۳۹۲۷/۰۸۰ | ۴/۰۸۸ | ۲/۱۰۹ |
| میکوریزا (M) | ۱ | ۷۶/۵۶۳ * | ۷۹۶۲۷۴۱/۹۸۳ * | ۱۴۸۴۳۶۰/۸۹۸ ns | ۱۳/۳۹۶ ** | ۱۰/۱۷۶ ns |
| P×M | ۲ | ۱۵/۸۸۰ ns | ۴۶۸۹۲۱۷/۹۰۸ ns | ۱۱۷۰۴۳۱/۶۸۵ ns | ۲/۳۰۶ ns | ۶/۹۲۱ ns |
| باکتری حل کننده فسفات (B) | ۱ | ۱۹/۵۰۷ ns | ۲۲۴۸۱۱۰/۰۱۶ ns | ۵۴۸۶۱۱/۵۸۳ ns | ۳/۶۴۸ ns | ۰/۰۰۱ ns |
| P×B | ۲ | ۶/۳۷۷ ns | ۳۱۸۰۵۷/۹۹۳ ns | ۱۸۳۶۶/۴۹۸ ns | ۳/۰۲۴ ns | ۳/۶۲۲ ns |
| M×B | ۱ | ۱۲/۲۵۰ ns | ۶۵۲۲۳۳/۵۶۰ ns | ۱۹۳۸۰۲/۳۶۴ ns | ۰/۰۰۰ ns | ۰/۲۷۴ ns |
| P×M×B | ۲ | ۱۲/۲۲۴ ns | ۳۴۸۱۵۳۷/۲۲۶ ns | ۱۲۵۵۵۶۶/۸۶۲ ns | ۰/۹۵۴ ns | ۱۰/۹۸۰ ns |
| اشتباه فرعی ($E_b$) | ۱۸ | ۱۷/۲۸۸ | ۱۶۰۶۷۹۴/۷۱۱ | ۵۲۹۰۷۷/۸۵۳ | ۱/۳۶۴ | ۸/۰۳۶ |
| C.V ٪ | | ۹/۶۶ | ۱۶/۵ | ۱۸/۷۷ | ۴/۵۱ | ۵/۶۳ |

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱- ادامه جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | تعداد غلاف در بوته | تعداد دانه در غلاف | کلونیزاسیون ریشه | فسفر قابل دسترس خاک | فسفر دانه | سطح برگ تک بوته |
| تکرار (R) | ۲ | ۱۱۱/۶۰۳ ns | ۰/۰۰۱ ns | ۱۸۲/۸۶۹ ns | ۴۲/۴۰۷ ns | ۰/۰۰۱ ns | ۵۰۳۸۷/۸۱۶ ns |
| کود فسفر (P) | ۲ | ۵۲۹/۵۶۳ ns | ۰/۰۲۳ ns | ۳۵۶۶/۱۹۳** | ۱۸۴/۷۲۲* | ۰/۰۶۲** | ۳۲۷۳۸۵/۰۷۹** |
| اشتباه اصلی ($E_a$) | ۴ | ۲۰۹/۶۸۷ | ۰/۰۰۵ | ۶۱/۹۰۹ | ۱۳/۹۴۵ | ۰/۰۰۰ | ۱۴۷۷۷/۱۹۷ |
| میکوریزا (M) | ۱ | ۲۳۴۹/۴۷۱** | ۰/۰۰۷ ns | ۷۶۵۳/۳۳۴** | ۰/۰۰۳ ns | ۰/۰۳۰** | ۱۹۰/۸۰۸ ns |
| P×M | ۲ | ۱۲۸۲/۳۴۱** | ۰/۰۰۸* | ۹۵/۶۴۸ ns | ۸/۲۸۴ ns | ۰/۰۰۲ ns | ۴۳۲۲۷/۰۴۱ ns |
| باکتری حل کننده فسفات (B) | ۱ | ۵۳/۷۷۸ ns | ۰/۰۰۰ ns | ۴۸۷/۹۶۸* | ۰/۱۸۲ ns | ۰/۰۰۰ ns | ۲۰۷۶/۳۲۰ ns |
| P×B | ۲ | ۴۱۰/۳۸۱ ns | ۰/۰۰۱ ns | ۱۶۵/۲۵۶ ns | ۱۵/۶۸۱ ns | ۰/۰۰۶* | ۲۴۹۶/۷۶۹ ns |
| M×B | ۱ | ۶۲/۹۳۸ ns | ۰/۰۰۳ ns | ۰/۳۰۶ ns | ۳/۱۲۱ ns | ۰/۰۰۰ ns | ۷۱۳۰/۶۷۶ ns |
| P×M×B | ۲ | ۸۱۱/۷۶۸* | ۰/۰۰۲ ns | ۱۲۰/۸۲۵ ns | ۷/۰۷۰ ns | ۰/۰۰۱ ns | ۴۶۹۷/۴۰۴ ns |
| اشتباه فرعی ($E_b$) | ۱۸ | ۱۹۹/۸۴۹ | ۰/۰۰۲ | ۸۴/۱۱۶ | ۱۹/۵۷۱ | ۰/۰۰۱ | ۱۲۲۹۸/۲۸۴ |
| C.V ٪ | | ۱۹/۰۸ | ۴ | ۲۰/۱۴ | ۲۴/۶۸ | ۱۲/۱۴ | ۲۴/۰۱ |

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم، وجود اختلاف غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی نخود در سطوح مختلف کود فسفر، تلقیح میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات

| تیمار | ارتفاع (cm) | عملکرد بیولوژیک (kg/ha) | عملکرد دانه (kg/ha) | وزن صد دانه (g) | شاخص برداشت (٪) |
|---|---|---|---|---|---|
| **کود فسفر** | | | | | |
| ۰ کیلوگرم در هکتار | ۳۸/۹۷ | ۶۳۶۱/۴۸۵b | ۳۱۷۷/۳۵۴b | ۲۵/۲۲ | ۴۹/۸۷ |
| ۲۵ کیلوگرم در هکتار | ۴۳/۲۵ | ۷۴۹۵/۵۲۴ab | ۳۸۶۴/۵۵۳ab | ۲۶/۳۶ | ۵۱/۳۸ |
| ۵۰ کیلوگرم در هکتار | ۴۶/۸۵ | ۹۱۹۴/۷۱۷a | ۴۵۸۳/۹۷۲a | ۲۶/۰۶ | ۴۹/۸۸ |
| **میکوریزا** | | | | | |
| عدم تلقیح | ۴۱/۵۶b | ۷۲۱۳/۶۰۳b | ۳۶۷۲/۲۳۶ | ۲۵/۲۷b | ۵۰/۹۱ |
| تلقیح | ۴۴/۴۸a | ۸۱۵۴/۲۱۴a | ۴۰۷۸/۳۵۰ | ۲۶/۴۹a | ۴۹/۸۵ |
| **باکتری حل کننده فسفات** | | | | | |
| عدم تلقیح | ۴۳/۷۶ | ۷۹۳۳/۸۰۴ | ۳۹۹۸/۷۴۰ | ۲۶/۲۰ | ۵۰/۳۷ |
| تلقیح | ۴۲/۲۹ | ۷۴۳۴/۰۱۴ | ۳۷۵۱/۸۴۶ | ۲۶/۵۶ | ۵۰/۳۸ |

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی نخود در سطوح مختلف کود فسفر، تلقیح میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات

| تیمار | تعداد غلاف در بوته | تعداد دانه در غلاف | درصد کلونیزاسیون ریشه (٪) | فسفر قابل دسترس خاک (mg/kg) | فسفر دانه(٪) | سطح برگ تک بوته ($cm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **کود فسفر** | | | | | | |
| ۰ کیلوگرم در هکتار | ۶۷/۸۸۳ | ۱/۰۸۴ | ۵۹/۴۱a | ۱۳/۵۹b | ۰/۲۱۸c | ۳۳۵/۷۷۴b |
| ۲۵ کیلوگرم در هکتار | ۷۳/۳۱۷ | ۱/۱۵۲ | ۵۱a | ۱۸/۹۴a | ۰/۳۱۸b | ۴۰۰/۹۸۱b |
| ۵۰ کیلوگرم در هکتار | ۸۱/۱۰۰ | ۱/۱۶۷ | ۲۶/۲۴b | ۲۱/۲۴a | ۰/۳۵۶a | ۶۴۸/۸۳۷a |
| **میکوریزا** | | | | | | |
| عدم تلقیح | ۶۵/۹۴۴b | ۱/۱۴۸ | ۳۰/۹۷b | ۱۷/۹۲ | ۰/۲۶۹b | ۴۵۹/۵۶۲ |
| تلقیح | ۸۲/۲۵۶a | ۱/۱۲۱ | ۶۰/۱۳a | ۱۷/۹۳ | ۰/۳۲۶a | ۴۶۴/۱۶۶ |
| **باکتری حل کننده فسفات** | | | | | | |
| عدم تلقیح | ۷۵/۳۲۲ | ۱/۱۳۸ | ۴۹/۲۳a | ۱۸ | ۰/۳۰۰ | ۴۶۹/۴۵۸ |
| تلقیح | ۷۲/۸۷۸ | ۱/۱۳۱ | ۴۱/۸۶ b | ۱۷/۸۵ | ۰/۲۹۵ | ۴۵۴/۲۶۹ |

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل کود فسفر و تلقیح میکوریزا بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف و نیز اثر متقابل کود فسفر و باکتری حل کننده فسفات بر فسفر دانه

| تیمار | تعداد غلاف | تعداد دانه در غلاف | فسفر دانه (٪) |
|---|---|---|---|
| **تلقیح میکوریزا × کود فسفر** | | | |
| عدم تلقیح × ۰ kg/ha | ۴۹/۰۳۳b | ۱/۰۹۳cd | |
| تلقیح × ۰ kg/ha | ۸۶/۷۳۳a | ۱/۰۷۵d | |
| عدم تلقیح × ۲۵ kg/ha | ۷۵/۱۰۰a | ۱/۱۴۳bc | |
| تلقیح × ۲۵ kg/ha | ۷۱/۵۳۳a | ۱/۱۶۲ab | |
| عدم تلقیح × ۵۰ kg/ha | ۷۳/۷۰۰a | ۱/۲۰۸a | |
| تلقیح × ۵۰ kg/ha | ۸۸/۵۰۰a | ۱/۱۲۵bcd | |
| **تلقیح باکتری حل کننده فسفات × کود فسفر** | | | |
| عدم تلقیح × ۰ kg/ha | | | ۰/۲۱۲c |
| تلقیح × ۰ kg/ha | | | ۰/۲۲۳c |
| عدم تلقیح × ۲۵ kg/ha | | | ۰/۳۰۴b |
| تلقیح × ۲۵ kg/ha | | | ۰/۳۳۲b |
| عدم تلقیح × ۵۰ kg/ha | | | ۰/۳۸۳a |
| تلقیح × ۵۰ kg/ha | | | ۰/۳۲۹b |

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۴- جدول تجزیه واریانس تغییرات تجمع ماده خشک (TDM)

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۶۲ | ۶۹ | ۷۶ | ۸۳ | ۹۰ | ۹۷ | ۱۰۴ | ۱۱۱ | ۱۱۸ |
| تکرار (R) | ۲ | ۰/۰۴۳ ns | ۰/۴۰۶ ns | ۱/۰۸۷ ns | ۱/۹۱۸ ns | ۲۱/۸۱۰ ns | ۰/۵۲۳ ns | ۱۶۱/۱۴۳ ns | ۴۱/۱۲۰ ns | ۳۲/۱۳۵ ns |
| کود فسفر (P) | ۲ | ۰/۲۸۱ ns | ۴/۶۶۴** | ۷/۹۶۶ ns | ۷۲/۶۰۶** | ۶۲/۵۷۰ ns | ۳۷۱/۲۴۳** | ۵۳۱/۴۲۲ ns | ۱۲۰۹/۰۷۳ * | ۶۷۵/۹۸۴* |
| اشتباه اصلی ($E_a$) | ۴ | ۰/۰۵۶ | ۰/۱۹۸ | ۱/۵۲۹ | ۱/۰۱۷ | ۳۳/۷۸۷ | ۱۹/۰۰۰ | ۱۱۹/۷۷۷ | ۷۷/۴۶۴ | ۷۲/۷۸۹ |
| میکوریزا (M) | ۱ | ۰/۰۰۴ ns | ۰/۳۹۵ ns | ۰/۰۰۲ ns | ۱/۱۶۶ ns | ۰/۵۵۸ ns | ۵۸/۱۱۵** | ۶۰/۸۹۲ ns | ۷۰/۸۶۸ ns | ۲۲۰/۴۷۳* |
| P×M | ۲ | ۰/۱۱۶ ns | ۱/۵۲۴* | ۱/۴۲۷ ns | ۶/۱۸۶ ns | ۱۹/۰۲۴ ns | ۳۵/۴۳۲ * | ۱۴/۰۴۲ ns | ۲/۶۹۵ ns | ۱۲۹/۸۶۶ ns |
| باکتری حل کننده فسفات (B) | ۱ | ۰/۰۲۲ ns | ۲/۳۲۶* | ۳/۹۶۰* | ۲۳/۰۴۰* | ۲۴/۱۰۸ ns | ۱۱۸/۴۴۷** | ۱۹۷/۲۱۵ * | ۲۰۵/۶۸۳ ** | ۶۲/۲۲۶ ns |
| P×B | ۲ | ۰/۰۳۴ ns | ۰/۸۳۹ ns | ۱/۳۳۵ ns | ۹/۶۹۴ ns | ۲۴/۵۲۷ ns | ۱۶۱/۸۷۰** | ۵۴/۵۰۹ ns | ۷۱/۴۶۳ ns | ۸/۸۰۳ ns |
| M×B | ۱ | ۰/۰۰۶ ns | ۲/۲۶۵ * | ۲/۳۷۲ ns | ۰/۲۴۳ ns | ۰/۶۵۱ ns | ۴۰/۷۴۷* | ۸۶/۲۴۲ ns | ۷/۷۷۵ ns | ۱۸/۰۷۷ ns |
| P×M×B | ۲ | ۰/۰۲۷ ns | ۰/۵۱۲ ns | ۱/۰۴۳ ns | ۱/۲۷۹ ns | ۷/۱۷۷ ns | ۴۵/۱۵۵** | ۲۶/۸۵۴ ns | ۲۴/۲۳۵ ns | ۹۶/۴۶۴ ns |
| اشتباه فرعی ($E_b$) | ۱۸ | ۰/۰۶۹ | ۰/۳۷۲ | ۰/۸۳۱ | ۴/۲۴۲ | ۸/۷۴۶ | ۶/۹۰۲ | ۳۷/۳۲۸ | ۲۴/۴۵۰ | ۴۴/۱۵۷ |

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم وجود اختلاف غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۵- تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات تجمع ماده خشک (TDM) در طول دوره رشد (گرم در بوته)

| تیمار | روزهای پس از کاشت | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۶۲ | ۶۹ | ۷۶ | ۸۳ | ۹۰ | ۹۷ | ۱۰۴ | ۱۱۱ | ۱۱۸ |
| **کود فسفر** | | | | | | | | | |
| ۰ کیلوگرم در هکتار | ۰/۵۶ | ۱/۵۶b | ۲/۷۴ | ۶/۶۵b | ۱۳/۵۰ | ۱۶/۲۶b | ۲۶/۴۴ | ۲۷/۲۲b | ۳۳/۴۸b |
| ۲۵ کیلوگرم در هکتار | ۰/۷۹ | ۲/۷۶a | ۴/۰۸ | ۱۰/۴۵a | ۱۷/۱۴ | ۲۴/۷۳a | ۳۴/۹۷ | ۳۶/۵۵b | ۳۹/۴۵ab |
| ۵۰ کیلوگرم در هکتار | ۰/۸۵ | ۲/۴۷a | ۴/۲۱ | ۱۱/۲۶a | ۱۷/۷۰ | ۲۶/۷۴a | ۳۹/۵۶ | ۴۷/۲۸a | ۴۸/۳۹a |
| **میکوریزا** | | | | | | | | | |
| عدم تلقیح | ۰/۷۴ | ۲/۱۶ | ۳/۶۸ | ۹/۲۷ | ۱۶/۲۴ | ۲۱/۳۱b | ۳۲/۳۶ | ۳۵/۶۱ | ۳۷/۹۷b |
| تلقیح | ۰/۷۲ | ۲/۳۷ | ۳/۶۷ | ۹/۶۴ | ۱۵/۹۹ | ۲۳/۸۵a | ۳۴/۹۶ | ۳۸/۴۲ | ۴۲/۹۲a |
| **باکتری حل کننده فسفات** | | | | | | | | | |
| عدم تلقیح | ۰/۷۱ | ۲/۵۲a | ۴/۰۱a | ۱۰/۲۵a | ۱۶/۹۳ | ۲۴/۳۹a | ۳۶/۰۰a | ۳۹/۴۱a | ۴۱/۷۶ |
| تلقیح | ۰/۷۶ | ۲/۰۱b | ۳/۳۴b | ۸/۶۶b | ۱۵/۲۹ | ۲۰/۷۶b | ۳۱/۳۲b | ۳۴/۶۳b | ۳۹/۱۳ |

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۶- تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات سرعت رشد محصول (CGR) در طول دوره رشد (گرم برمترمربع در روز)

| | روز پس از کاشت | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تیمار | ۶۲-۶۹ | ۶۹-۷۶ | ۷۶-۸۳ | ۸۳-۹۰ | ۹۰-۹۷ | ۹۷-۱۰۴ | ۱۰۴-۱۱۱ | ۱۱۱-۱۱۸ |
| **کود فسفر** | | | | | | | | |
| ۰ کیلوگرم در هکتار | ۲/۷۲ | ۳/۱۹ | ۱۰/۵۱ | ۱۸/۶۹ | ۷/۵۰ | ۲۷/۶۴ | ۲/۱۱ | ۱۷/۰۰ |
| ۲۵ کیلوگرم در هکتار | ۵/۳۴ | ۳/۵۹ | ۱۶/۸۳ | ۱۸/۶۱ | ۲۰/۶۱ | ۲۷/۸۱ | ۴/۲۸ | ۷/۸۸ |
| ۵۰ کیلوگرم در هکتار | ۴/۳۹ | ۴/۷۲ | ۱۸/۸۷ | ۱۷/۷۶ | ۲۴/۵۳ | ۳۴/۷۸ | ۲۰/۹۶ | ۳/۰۳ |
| **میکوریزا** | | | | | | | | |
| عدم تلقیح | ۳/۸۴ | ۴/۱۴ | ۱۴/۹۴ | ۱۹/۱۳ | ۱۳/۷۶ | ۲۹/۹۹ | ۸/۸۴ | ۶/۳۹ |
| تلقیح | ۴/۴۶ | ۳/۵۳ | ۱۵/۸۶ | ۱۷/۵۷ | ۲۱/۳۳ | ۳۰/۱۶ | ۹/۳۹ | ۱۲/۲۱ |
| **باکتری حل کننده فسفات** | | | | | | | | |
| عدم تلقیح | ۴/۹۱ | ۴/۰۵ | ۱۶/۵۶ | ۱۸/۵۲ | ۲۰/۲۵ | ۳۱/۵۱ | ۹/۲۵ | ۶/۳۸ |
| تلقیح | ۳/۳۹ | ۳/۶۳ | ۱۴/۲۵ | ۱۸/۱۹ | ۱۴/۸۵ | ۲۸/۶۴ | ۸/۹۸ | ۱۲/۲۲ |

جدول ۴-۷- تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات برروند تغییرات سرعت رشد نسبی(RGR) در طول دوره رشد (گرم بر گرم در روز)

| تیمار | روز پس از کاشت | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۶۲-۶۹ | ۶۹-۷۶ | ۷۶-۸۳ | ۸۳-۹۰ | ۹۰-۹۷ | ۹۷-۱۰۴ | ۱۰۴-۱۱۱ | ۱۱۱-۱۱۸ |
| **کود فسفر** | | | | | | | | |
| ۰ کیلوگرم در هکتار | ۰/۱۴۸ | ۰/۰۸۴ | ۰/۱۲۶ | ۰/۱۰۲ | ۰/۰۲۸ | ۰/۰۶۸ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۲۷ |
| ۲۵ کیلوگرم در هکتار | ۰/۱۸۱ | ۰/۰۵۳ | ۰/۱۳۶ | ۰/۰۷۳ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۱۰ |
| ۵۰ کیلوگرم در هکتار | ۰/۱۵۱ | ۰/۰۸۲ | ۰/۱۴۲ | ۰/۰۶۵ | ۰/۰۵۹ | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۲۸ | ۰/۰۰۴ |
| **میکوریزا** | | | | | | | | |
| عدم تلقیح | ۰/۱۶۰ | ۰/۰۷۱ | ۰/۱۳۳ | ۰/۰۸۳ | ۰/۰۴۰ | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۱۰ |
| تلقیح | ۰/۱۵۹ | ۰/۰۷۵ | ۰/۱۳۶ | ۰/۰۷۷ | ۰/۰۵۳ | ۰/۰۵۶ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۱۸ |
| **باکتری حل کننده فسفات** | | | | | | | | |
| عدم تلقیح | ۰/۱۸۰ | ۰/۰۷۱ | ۰/۱۳۲ | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۴۹ | ۰/۰۵۹ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۱۰ |
| تلقیح | ۰/۱۳۹ | ۰/۰۷۵ | ۰/۱۳۷ | ۰/۰۸۴ | ۰/۰۴۳ | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۱۷ |

جدول ۴-۸- تأثیر اثرات اصلی کود فسفر، میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات بر روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) مشاهده شده در طول دوره رشد

| تیمار | روز پس از کاشت | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۶۲-۶۹ | ۶۹-۷۶ | ۷۶-۸۳ | ۸۳-۹۰ | ۹۰-۹۷ | ۹۷-۱۰۴ | ۱۰۴-۱۱۱ | ۱۱۱-۱۱۸ |
| **کود فسفر** | | | | | | | | |
| ۰ کیلوگرم در هکتار | ۰/۵۲ | ۰/۷۵ | ۰/۹۹ | ۱/۷۱ | ۲/۱۳ | ۲/۰۰ | ۱/۶۸ | ۱/۰۶ |
| ۲۵ کیلوگرم در هکتار | ۰/۸۶ | ۱/۱۸ | ۱/۵۴ | ۲/۳۱ | ۲/۶۷ | ۲/۵۱ | ۱/۹۹ | ۱/۲۵ |
| ۵۰ کیلوگرم در هکتار | ۰/۷۱ | ۱/۰۹ | ۱/۶۰ | ۲/۳۸ | ۲/۸۱ | ۲/۷۱ | ۲/۲۰ | ۱/۵۸ |
| **میکوریزا** | | | | | | | | |
| عدم تلقیح | ۰/۶۵ | ۰/۹۶ | ۱/۳۷ | ۲/۱۵ | ۲/۵۳ | ۲/۳۲ | ۱/۸۸ | ۱/۲۷ |
| تلقیح | ۰/۷۵ | ۱/۰۵ | ۱/۳۹ | ۲/۱۲ | ۲/۵۵ | ۲/۴۹ | ۲/۰۳ | ۱/۳۳ |
| **باکتری حل کننده فسفات** | | | | | | | | |
| عدم تلقیح | ۰/۷۱ | ۱/۰۷ | ۱/۴۷ | ۲/۲۱ | ۲/۵۹ | ۲/۴۳ | ۱/۹۶ | ۱/۳۱ |
| تلقیح | ۰/۶۸ | ۰/۹۴ | ۱/۲۹ | ۲/۰۶ | ۲/۴۹ | ۲/۳۸ | ۱/۹۵ | ۱/۲۹ |

جدول ۴-۹- مقایسه میانگین اثر متقابل کود فسفر، تلقیح میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات بر تعداد غلاف

| کود فسفر | میکوریزا | باکتری حل کننده فسفات | |
|---|---|---|---|
| ۰ (kg/ha) | | عدم تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۴۱/۵۳۳d |
| | عدم تلقیح میکوریزا | تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۵۶/۵۳۳cd |
| | | عدم تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۹۲/۶۰۰a |
| | تلقیح میکوریزا | تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۸۰/۸۶۷ab |
| ۲۵ (kg/ha) | | عدم تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۹۲/۶۶۷a |
| | عدم تلقیح میکوریزا | تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۵۷/۵۳۳bcd |
| | | عدم تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۶۹/۶۰۰abc |
| | تلقیح میکوریزا | تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۷۳/۴۶۷abc |
| ۵۰ (kg/ha) | | عدم تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۷۱/۲۶۷abc |
| | عدم تلقیح میکوریزا | تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۷۶/۱۳۳abc |
| | | عدم تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۸۴/۲۶۷a |
| | تلقیح میکوریزا | تلقیح باکتری حل کننده فسفات | ۹۲/۷۳۳a |

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۱۰- نقشه کاشت

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_{25}$<br>$M_0$<br>$B_0$ | $P_{25}$<br>$M_1$<br>$B_0$ | $P_{25}$<br>$M_0$<br>$B_1$ | $P_{25}$<br>$M_1$<br>$B_1$ | $P_0$<br>$M_1$<br>$B_0$ | $P_0$<br>$M_0$<br>$B_1$ | $P_0$<br>$M_1$<br>$B_1$ | $P_0$<br>$M_0$<br>$B_0$ | $P_{50}$<br>$M_0$<br>$B_1$ | $P_{50}$<br>$M_0$<br>$B_0$ | $P_{50}$<br>$M_1$<br>$B_1$ | $P_{50}$<br>$M_1$<br>$B_0$ |
| $P_{50}$<br>$M_1$<br>$B_0$ | $P_{50}$<br>$M_0$<br>$B_0$ | $P_{50}$<br>$M_1$<br>$B_1$ | $P_{50}$<br>$M_0$<br>$B_1$ | $P_{25}$<br>$M_0$<br>$B_0$ | $P_{25}$<br>$M_0$<br>$B_1$ | $P_{25}$<br>$M_1$<br>$B_0$ | $P_{25}$<br>$M_1$<br>$B_1$ | $P_0$<br>$M_1$<br>$B_1$ | $P_0$<br>$M_0$<br>$B_1$ | $P_0$<br>$M_0$<br>$B_0$ | $P_0$<br>$M_1$<br>$B_0$ |
| $P_0$<br>$M_0$<br>$B_0$ | $P_0$<br>$M_1$<br>$B_1$ | $P_0$<br>$M_1$<br>$B_0$ | $P_0$<br>$M_0$<br>$B_1$ | $P_{50}$<br>$M_1$<br>$B_1$ | $P_{50}$<br>$M_0$<br>$B_0$ | $P_{50}$<br>$M_1$<br>$B_0$ | $P_{50}$<br>$M_0$<br>$B_1$ | $P_{25}$<br>$M_1$<br>$B_0$ | $P_{25}$<br>$M_1$<br>$B_1$ | $P_{25}$<br>$M_0$<br>$B_1$ | $P_{25}$<br>$M_0$<br>$B_0$ |

$P_0$، $P_{25}$ و $P_{50}$ به ترتیب ۰، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر، $M_0$ و $M_1$ عدم تلقیح و تلقیح میکوریزا، $B_0$ و $B_1$ عدم تلقیح و تلقیح باکتری حل کننده فسفات.

# پیوست‌ها

**ضمیمه ۱**

**اندازه‌گیری فسفر خاک به روش اولسن**

**۱- مواد شیمیایی مورد نیاز**

۱- محلول عصاره‌گیری بیکربنات سدیم نیم مولار pH = ۸/۵

۴۲ گرم بیکربنات سدیم را در یک لیتر آب مقطر حل و pH آن را با سود یک مولار روی ۸/۵ تنظیم می‌نمائیم. در صورت تجاوز pH از ۸/۵ می‌توان از محلول بیکربنات سدیم نیم مولار برای پایین آوردن آن استفاده نمود.

۲- اسید سولفوریک ۲/۵ مولار– ۱۴۸ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک را به آرامی به آب مقطر در ضمن بهم زدن اضافه کرده، بعد از سرد شدن حجم را به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر می‌رسانیم.

۳- آمونیوم مولیبدات ۲/۵ میلی مولار – ۱۲ گرم آمونیوم مولیبدات در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر

۴- پتاسیم آنتیمونی تارتارات ۰/۰۴۳ میلی مولار – ۰/۲۹۱ گرم پتاسیم آنتیمونی تارتارات را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر

۵- محلول مخلوط (Reagent A)

از مخلوط کردن محلول‌های بالا به میزان نصف آنها بدست می‌آید، سپس با آب مقطر آن را به حجم می‌رسانیم.

۶- اسیدآسکوربیک ۱/۱۸ میلی مولار (Reagent B)- ۱/۰۵۵۶ گرم اسیدآسکوربیک را در ۲۰۰ میلی‌لیتر Reagent A حل می‌نمائیم، این محلول روزانه باید تهیه شود.

۷- محلول استاندارد ppm ۵۰۰ فسفر – مقدار ۱/۰۹۸۴ گرم پتاسیم دی هیدروژن فسفات در پانصد میلی‌لیتر آب مقطر

۸- سری استانداردها – از محلول ppm ۵۰۰ فسفر به ترتیب ۲۰، ۱۰، ۵، ۲، ۱، ۰/۲، ۰/۱۵، ۰/۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ میلی‌لیتر برداشته، با بیکربنات سدیم به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر می‌رسانیم (با توجه به غلظت فسفر در هر منطقه می‌توان غلظت استانداردها را تغییر داد). برای استاندارد صفر از بیکربنات

سدیم استفاده می‌شود. این محلول‌ها دارای ppm ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰، ۵، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۰۵ فسفر می‌باشد.

## ۲- روش کار

یک گرم از نمونه خاک همراه با ۰/۰۲ گرم زغال فعال به لوله ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و سپس ۲۰ میلی‌لیتر از محلول عصاره‌گیری بیکربنات سدیم را به آن اضافه نمودیم، بعد از نیم ساعت شیکر بلافاصله با کاغذ صافی شماره ۴۲ صاف شد. بعد از صاف شدن نمونه‌ها به ترتیب ۲، ۰/۶ و ۰/۶ میلی‌لیتر از آب مقطر و استانداردها و Reagent B را با استفاده از پیپتور به کووت منتقل و بعد از کامل شدن رنگ آبی با دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول موج ۸۸۲ نانومتر قرائت نمودیم.

## منابع


اصلانی ز، حسنی ع، رسولی صدقیانی م. ح، برین م و غیبی س. ع، (۱۳۸۷)، "پاسخهای رشدی گیاه ریحان به همزیستی دو گونه قارچ میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی" سومین همایش یافته‌های پژوهشی کشاورزی و منابع طبیعی (غرب کشور)، دانشگاه کردستان، کردستان.

اصغرزاده ن. ع و صالح راستین ن، (۱۳۸۰) اهمیت قارچ‌های میکوریزا در کشاورزی، ص ۴۳۳-۴۱۱، **"ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات)"** خاوازی ک و ملکوتی م. ج، مرکز نشر آموزش کشاورزی، کرج.

اصغری ح. ر، (۱۳۸۶)، "بررسی اثر همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه شبدر در میزان فسفر قابل دسترس خاک" مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۱۲۲، کرج.

امیرآبادی م، رجالی ف، اردکانی م. ر و برجی م، (۱۳۸۸) "تأثیر کاربرد مایه تلقیح ازتوباکتر و قارچ میکوریزی بر جذب برخی عناصر معدنی توسط ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰۴) در سطوح مختلف فسفر" **مجله پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب)**، شماره ۱، جلد ۲۳، ص ۱۰۷.

باقری ع، نظامی ا، گنجعلی ع و پارسا م، (۱۳۷۶) **"زراعت و اصلاح نخود"** ترجمه، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۴۴ صفحه.

پور ابراهیمی م، زواره م و احتشامی م. ر، (۱۳۸۹)، "بررسی عملکرد دو رقم ذرت علوفه‌ای در پاسخ به تلقیح بذر با قارچ میکوریزا و باکتری سودوموناس" یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص ۳۷۴، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

ثواقبی غ. ر، سادات ع، رجالی ف، فرحبخش م، خاوازی ک و شیرمردی م، (۱۳۸۹) "تأثیر چند نوع قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری محرک رشد گیاه بر شاخص‌های رشد و عملکرد دو رقم گندم در یک خاک شور" **نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)**، شماره ۱، جلد ۲۴، ص ۵۳.

جنوبی پ و دانشیان ج، (۱۳۸۵) "تأثیر کاربرد فسفر بر خصوصیات رویشی و زراعی سویا در شرایط خشکی" **فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان**، شماره ۱، جلد ۱، ص ۵.

جوادی اصفهانی ی، (۱۳۸۶)، پایان‌نامه ارشد:" بررسی اثرات متقابل *Pseudomonas putida* و قارچ *Glomus intraradices* در کلونیزاسیون ریشه گندم"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه الزهر.

حسن زاده ا، مظاهری د، چایی‌چی م. ر و خاوازی ک، (۱۳۸۶) "کارایی مصرف باکتری‌های تسهیل کننده جذب فسفر و کود شیمیایی فسفر بر عملکرد و اجزا عملکرد جو" **مجله پژوهش و سازندگی (زراعت و باغبانی)**، شماره ۷۷، ص ۱۱۱.

حسین زاده ح، (۱۳۸۳) **"گزارش اثر کود زیستی فسفاته بارور-۲ روی عملکرد حبوبات"** انتشارات جهاد دانشگاهی تهران و فناوری سبز، ۲۵ صفحه.

خاوازی ک و ملکوتی م. ج، (۱۳۸۰) **"ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور"** مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ۶۰۴ صفحه.

خاوازی ک، اسدی رحمانی ه و ملکوتی م. ج، (۱۳۸۴) **"ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور"** چاپ دوم، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، ۴۳۹ صفحه.

خودشناس م. ع و دادیور م، (۱۳۸۶)، " مطالعه پاسخ لوبیا به مصرف فسفر در تعدادی از خاک‌های استان مرکزی" مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۵۱۲، کرج.

داشادی م، پزشکپور پ، معزی ع، شاهوردی م و کوشکی م. ح، (۱۳۸۴)، "بررسی اثر سطوح مختلف فسفر و میزان روی بر عملکرد دو رقم نخود دیم (آرمان و ILC482)" اولین همایش ملی حبوبات، ص ۳۶۳، پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد مقدس.

درزی م. ت، قلاوند ا، رجالی ف و سفیدکن ف، (۱۳۸۵) "بررسی کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgar* Mill.)" **فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران**، شماره ۴، جلد ۲۲، ص ۲۷۶.

درزی م. ت، قلاوند ا. و رجالی ف، (۱۳۸۷) "بررسی اثر کاربرد میکوریزا، ورمی‌کمپوست و کود فسفات زیستی بر گلدهی، عملکرد بیولوژیک و همزیستی ریشه در گیاه دارویی رازیانه" **مجله علوم زراعی ایران**، شماره ۱۰، دوره ۱، ص ۸۸.

راثی‌پور ل، (۱۳۸۱)، پایان‌نامه ارشد: "بررسی اثرات متقابل میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات و باکتری بردی ریزوبیوم ژاپونیکوم بر عملکرد و جذب فسفر در سویا"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

رستمی م و عباسدخت ح، (۱۳۸۹)، "مطالعه تأثیر اسموپرایمینگ، هیدروترمال پرایمینگ و سطوح مختلف کود فسفره بر خصوصیات فیزیومرفولوژیک و عملکرد دانه ذرت" یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص ۳۱، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

رضوان بیدختی ش، دشتبان ع، کافی م و سنجانی س، (۱۳۸۸) "ارزیابی اثر کاربرد سویه‌هایی از باکتری سودوموناس بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در سطوح مختلف فسفر" **نشریه بوم‌شناسی کشاورزی**، شماره ۱، جلد ۱، ص ۳۳.

رفیعی م، نادیان ح. ا، نورمحمدی ق و کریمی م، (۱۳۸۳)، "اثرات تنش خشکی و مقادیر روی و فسفر بر غلظت و کل جذب عناصر در ذرت" **مجله علوم کشاورزی ایران**، شماره ۱، جلد ۳۵، ص ۲۳۵.

ساجدی ن. ع و ساجدی ع، (۱۳۸۸) "اثر تنش خشکی، میکوریزا و مقادیر روی بر خصوصیات اگروفیزیولوژیک ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴" **مجله علوم زراعی ایران**، شماره ۳، جلد ۱۱، ص ۲۰۲.

ساغری م، بارانی ح، اصغری ح. ر، مصداقی م و صدوری م، (۱۳۸۸) "تأثیر تلقیح قارچ آرباسکولار میکوریز و کود شیمیایی فسفره بر رشد و تولید دو گونه یونجه یکساله" **مجله علمی پژوهشی مرتع**، شماره ۲، سال ۳، ص۲۹۱.

سلیمی ح، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: "بررسی اثرات پرایمینگ، باکتری ریزوبیوم و کود آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود" دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

شاه حسینی ز، غلامی ا، اصغری ح. ر، قلی پور م و فلاح ع، (۱۳۸۹)، "تأثیر قارچهای میکوریزای آرباسکولار بر روی برخی از شاخص‌های رشد و عملکرد در ذرت تحت شرایط تنش کم آبی" یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص ۳۷۷، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

شیرمردی م، ثواقبی فیروزآبادی غ، خاوازی ک، فرحبخش م، رجالی ف و سادات ع، (۱۳۸۹) "بررسی برهمکنش قارچ میکوریز و باکتری سودوموناس بر پتانسیل آب برگ و عملکرد دو رقم آفتابگردان (*Heliantus annuus* L.) در یک خاک شور" **مجله تحقیقات آب و خاک ایران**، شماره ۴۱، جلد ۲، ص ۲۲۱.

صالح راستین ن، (۱۳۷۷) "کودهای بیولوژیک" **نشریه علمی خاک و آب**، شماره ۳، جلد ۱۲، موسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات کشاورزی، ص ۱.

صالح راستین ن، (۱۳۸۰). کودهای بیولوژیک و نقش آنها در راستای نیل به کشاورزی پایدار، ص ۵۴-۱، **"مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات)"** خاوازی ک و ملکوتی م. ج، مرکز نشر آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، کرج، ایران.

علیزاده اسکوئی پ، (۱۳۸۰)، پایان‌نامه ارشد:" تأثیر قارچ‌های میکوریز VA بر عملکرد، جذب P، Fe، Mn و غلظت ویتامین C میوه گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف فسفر"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

علیمددی ا، جهانسوز م. ر، بشارتی ح و توکل افشاری ر، (۱۳۸۹) "ارزیابی تأثیر ریزجانداران حل کننده فسفات، مایکوریزا و پرایمینگ بذر بر گره زایی در گیاه نخود" **مجله پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب)**، شماره ۱، جلد ۲۴، ص ۴۳.

فلاحی ج، کوچکی ع و رضوانی مقدم پ، (۱۳۸۸) "بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر عملکرد کمی و کیفی گیاه داروی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*)" **مجله پژوهشهای زراعی ایران**، شماره ۱، جلد ۷، ص ۱۲۷.

قول لرعطا م، (۱۳۸۴)، پایان‌نامه ارشد: "اثر تلقیح میکوریزایی بر عملکرد شبدر برسیم و جذب عناصر غذایی در سطوح مختلف شوری و فسفر خاک"، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

قول لرعطا م، رئیسی ف و نادیان ح. ا، (۱۳۸۷) "اثرات متقابل شوری و فسفر بر رشد، عملکرد و جذب عناصر در شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum L.*)" **مجله پژوهشهای زراعی ایران**، شماره ۱، جلد ۶، ص ۱۱۷.

کاظمی پشت‌مساری ح، پیردشتی ه. ا و بهمنیار م. ع، (۱۳۸۶) "مقایسه اثرات کودهای فسفره معدنی و زیستی بر ویژگی‌های زراعی دو رقم باقلا (*Vicia faba* L.)" **مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی**، شماره ۶، جلد ۱۴، ص ۲۱.

کوچکی ع و سرمدنیا غ، (۱۳۷۷) **"فیزیولوژی گیاهان زراعی"** ترجمه، چاپ هفتم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۰۰ صفحه.

کوچکی ع و بنایان اول م (۱۳۸۶) **"زراعت حبوبات"** چاپ هشتم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۳۶ صفحه.

کیانی راد م، (۱۳۷۴)، پایان نامه ارشد:"بررسی میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات و تأثیر آنها در کاهش مصرف کودهای فسفره در کشت سویا" دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج.

گنجعلی ع، ذبیحی ح. ر، ثواقبی غ و خاوازی ک، (۱۳۸۸) "رشد و عملکرد گندم در پاسخ به تلقیح باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه در سطوح مختلف فسفر" **مجله پژوهشهای زراعی ایران**، شماره ۱، جلد ۷، ص ۴۱.

لطف الهی م، ملکوتی م. ج، خاوازی ک و بشارتی ح، (۱۳۸۳)، ارزیابی روشهای مصرف مستقیم خاک فسفات در افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای در کرج. ص ۹۵-۸۹، **"مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی"** ملکوتی م. ج و بلالی م. ر، چاپ اول، نشر آموزش کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

مجنون حسینی ن، (۱۳۸۷) **"زراعت و تولید حبوبات"** چاپ چهارم، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی شعبه واحد تهران، ۲۸۳ صفحه.

مرادی ص، بشارتی ح، فیضی اصل و، نادیان ح. ا، کریمی ا و گلچین ا، (۱۳۸۸) "بررسی اثر سطوح مختلف رطوبت، میکوریز و ریزوبیوم در تاریخ سبز کردن، زمان گلدهی و صفات مورفولوژیک نخود" یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، ص ۲۴۳، گرگان.

مرادی م، مدنی ح و پیله‌وری خمامی ر، (۱۳۸۹)، "کاربرد فسفر بیولوژیک و مقایسه آن با فسفر شیمیایی بر خصوصیات کمی آفتابگردان در منطقه اراک" یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص ۲۸۲، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

ملکوتی م. ج و همایی م، (۱۳۷۳) **"حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک «مشکلات و راه‌حل‌ها»"** چاپ اول، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۴۹۴ صفحه.

ملکوتی م. ج، (۱۳۷۵) **"کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی کود در ایران"** انتشارات مرکز آموزش کشاورزی.

معز اردلان م و ثواقبی فیروزآبادی غ، (۱۳۸۱) **"مدیریت خاصلخیزی خاک برای کشاورزی پایدار"** مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۳۸۷ صفحه.

موسوی جنگلی س، ثانی ا، شریفی م و حسینی نژاد ز، (۱۳۸۳) "بررسی تأثیر باکتری های حل کننده فسفات و میکوریزا بر روی صفات کمی ذرت دانه‌ای (سینگل کراس ۷۰۴)" هشتمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص۱۸۴ ، دانشگاه گیلان.

میرآخوری م، ناظری پ، کاشانی ع، خاوازی ک، اردکانی م. ر و پورسیاه بیدی م. م، (۱۳۸۹) "واکنش لوبیا سفید (*Phaseolus vulgaris* L.) به تلقیح با ریزوبیوم و کاربرد نواری کود زیستی فسفر گرانوله حاوی روی" **نشریه بوم‌شناسی کشاورزی**، شماره ۱، جلد ۲، ص ۱۷۵.

میرزاخانی م، اردکانی م. ر، آینه بند ا، شیرانی راد ا. ح و رجالی ف، (۱۳۸۹)، "پاسخ گلرنگ به حاصلخیز کننده‌های زیستی تحت سطوح مختلف نیتروژن و فسفر" یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص ۳۷، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

نوربخش ف و حاج عباسی م. ا، (۱۳۷۸) **"بیولوژی خاک"** انتشارات غزل، ۱۹۸ صفحه.

یزدی صمدی ب، پیغمبری س. ع و مجنون حسینی ن، (۱۳۸۰) "اثر مقادیر مختلف نیتروژن و فسفر بر صفات مهم زراعی عدس در منطقه کرج" **مجله علوم کشاورزی ایران**، شماره ۲، جلد ۳۲، ص ۴۱۵.

Abbott L. K. and Murphy D. V. (**2007**) "**Soil Biology Fertility: A key to sustainable land use in agriculture**" springer, pp **268**.

Afzal A., Ashraf M., Asad S. A. and Farooq M. (**2005**) "Effect of phosphate solubilizing microorganisms on phosphorus uptake, yield and yield traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Rainfed Area" **Int. J. Agri. Biol.**, **7**, **2**, pp **207**.

Afzal A. and Bano A. (**2008**) "Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.)" **Int. J. Agri. Biol.**, **10**, **1**, pp **85**.

Ahmad F., Gaur P. and Croser J. (2005). Chickpea (*Cicer arietinum* L.), pp 185-214, In: "**Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement - Grain Legumes**", Vol 1, Singh R. and Jauhar P, CRC Press, Boca Raton, Florida.

Ahmed A. and Hasnain S. (**2008**) "Auxin producing *Bacillus sp.*: auxin quantification and effect on the growth of *Solanum tuberosum*"**J. Biotechnol.**, **136**, pp **766**.

Akhtar M. S. and Siddiqui Z. A. (**2008**) "*Glomus intraradices*, *Pseudomonas alcaligenes* and *Bacillus pumilus*: effective agents for the control of root-rot disease complex of chickpea (*Cicer arietinum* L.)" **J. Gen. Plant Pathol.**, **74**, pp **53**.

Akhtar M. S. and Siddiqui Z. A. (**2009**) "Effects of phosphate solubilizing microorganisms and *Rhizobium* sp. on the growth, nodulation, yield and root-rot disease complex of chickpea under field condition" **Afr. J. Biotech.**, **8**, **15**, pp **3489**.

Alam S., Khalil S., Ayub N. and Rashid M. (**2002**) "In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganism (PSM) from maize rhizosphere". **Int. J. Agri. Biol.**, **4**, pp **454**.

Ali H., Khan M. A. and Randhawa S. A. (**2004**) "Interactive effect of seed inoculation and phosphorus application on growth and yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.)" **Int. J. Agri. Biol.**, **6**, **1**, pp **110**.

Aliabadi Farahani H., Lebaschi M. H. and Hamidi A. (**2008**) "Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, phosphorus and water stress on quantity and quality characteristics of Coriander" **Adv. in Nat. Appl. Sci.**, **2**, **2**, pp **55**.

Al-Karaki G. N. and Clark R. B. (**1998**) "Growth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress" **J**. **Plant Nutr.**, **21**, pp **263**.

Al-Karaki G. N. (**2006**) "Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water" **Sci. Hortic.**, **109**, pp **1**.

Alloush G. A., Zeto S. K. and Clark R. B. (**2000**) "Phosphorus source, organic matter, and arbuscular mycorrhizae effects on growth and mineral acquisition of chickpea grown in acidic soil" **J. Plant Nutr.**, **23**, **9**, pp **1351**.

Amanulla H. and Khan M. W. (**2010**) " Interactive effects of potassium and phosphorus on phenology and grain yield of Sunflower in Northwest Pakistan" **Pedosphere**, **20**, **5**, pp **674**.

Amer G. A. and Utkhede R. S. (**2000**) "Development of formulation of biological agents for management of root rot of lettuce and cucumber" **Can. J. Microbiol.**, **46**, pp **809**.

Andrade G., De Leij F. A. A. M and Lynch J. M. (**1998**) "Plant mediated interactions between *Pseudomonas fluorescens*, *Rhizobium leguminosarum* and arbuscular mycorrhiza on pea" **Lett. Appl. Microbiol.**, **26**, pp **311**.

Ashraf M., Museen-Ud-Din M. and Warraich N. H. (**2003**) "Production efficiency of mung bean (*Vigna radiate* L.) as effected by seed inoculation and NPK application" **Int. J. Agri. Biol.**, **5**, **2**, pp **179**.

Avio L., Pellegrino E., Bonari E. and Giovannetti M. (**2006**) "Functional diversity of arbuscular mycorrhizal fungal isolates in relation to extraradical mycelial networks" **New Phytol.**, **172**, pp **347**.

Bagyako M., Georg E., Romheld V. and Buerkert A. (**2000**) "Effects of mycorrhizal fungi and phosphorus on growth and nutrient uptake of millet, cow pea and sorghum in West African" **Soil J. Agri. Sci.**, **135**, pp **399**.

Barazani O. and Friedman J. (**1999**) " Is IAA the major root growth factor secrected from plant growth mediating bacteria**?" J. Chem. Ecol.**, **25**, pp **2397**.

Barea J. M., Andrade G., Bianciotto V., Dowling D., Lohrke S., Bonfante P., OGara F., and Azcon-Aguilar C. (**1998**) "Impact on arbuscular mycorrhiza formation of *Pseudomonas* strains used as inoculants for the biocontrol of soil borne fungal plant pathogens" **Appl. Environ. Microb.**, **64**, pp **2304**.

Barea J. M., Ferrol N., Azcon-Aguilar C. and Azcon R. (2008). Mycorrhizal symbioses, pp 143–163, In: "**The ecophysiology of plant-phosphorus interactions**", White P. J. and Hammond J. P., Springer. Dordrecht.

Benedycka Z., Benedycki S. and Grzegorczyk S. (1992) "Phosphorus utilization in the dependence on nitrogen fertilization by greensward" Fourth International Imphos Conference Phosphorus, Life and Environment, Gand, Belgium.

Berta G., Fusconi A. and Hooker J. E. (2002). Arbuscular mycorrhizal modifications to plant root systems: scale, mechanisms and consequences. pp 71-85 In: "**Mycorrhiza Technology in Agriculture, from Genes to Bioproducts**" Gianinazzi, S., Schuepp H. Barea J. M. and Haselwandter K., Basel, Switzerland, Birkhauser Verlag.

Bianciotto V., Bandi C., Minerdi D., Sironi M., Tichy H. V. and Bonfante P. (**1996**) "An obligately endosymbiotic mycorrhizal funus itself harbors obligately intracellular bacteria" **Appl. Environ. Microb.**, **62**, pp **3005**.

Biswas J. C., Ladha J. K. and Dazzo F. B. (**2000**) "Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of low land rice", **Soil Sci. Soc. Am. J.**, **64**, pp **1644**.

Bolan N. S. (**1991**) "A critical review of the role of mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus by plants" **Plant Soil**, **134**, pp **189**.

Bolland M. D. A., Siddique K. H. M. and Brennen R. F. (**2000**) "Grain yield responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to applications fertilizer phosphorus and zinc" **Aust. J. Exp. Agr.**, **40**, **6**, pp **849**.

Bradley K., Drijber R. A. and Knops J. (**2006**) "Increased N availability in grassland soils modifies their microbial communities and decreases the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi" **Soil Biol. Biochem.**, **38**, pp **1583**.

Buscot F. (**2005**). What are soils?, pp 3–17, In: "**Microorganisms in soils: Roles in genesis and functions**" Buscot F. and Varma A. Vol 3, Soil Biology, Springer-Verlag, Heidelberg.

Bucio J. L., Campos-Cuevas J. C., Hermandez-Calderon E., Valasquez-Bacerra C., Faria-Rodriguez R., Macias-Rodriguez L. I., and Valencia-Cantero E. (**2007**) " *Bacillus megaterium* rhizobacteria promote growth and alter root system architecture through an auxin and ethylene-independent signaling mechanism in *Arabidopsis thaliana*" **J. Mol. Plant Microb. Interactions.**, **20**, pp **207**.

Cabello M., Irrazabal G., Bucsinszky A. M., Saparrat M. and Schalamuck S. (**2005**) "Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus, *G. mosseae* and a rock phosphate solubilizing fungus, *P. thomii* in *Mentha piperita* growth in a soiles medium" **J. Basic. Microb.**, **45**, pp **182**.

Carlier E**.**, Rovera M., Jaume A. R. and Rosas S. B. (**2008**) "Improvement of growth, under field conditions of wheat inoculated with *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *Aurantiaca*" **World. J. Microb. Biot.**, **24**, **11**, **2653**.

Cavagnaro T. R., Smith F. A., Smith S. E. and Jakobsen I. (**2005**) "Functional diversity in arbuscular mycorrhizas: exploitation of soil patches with different phosphate enrichment differs among fungal species" **Plant Cell Environ.**, **28**, pp **642**.

Cavagnaro T. R., Jackson L. E., Six J., Ferris H., Goyal S., Asami D. and Scow K. M. (**2006**) "Arbuscular mycorrhizas, microbial communities, nutrient availability and soil aggregates in organic tomato production" **Plant Soil**., **282**, pp **209**.

Chapman M. M. J. (2001), Benefits of pulses in human diet, pp 109-113, In: "**Proceedings of the 4th European Conference on Grain Legumes**", Carcow, Poland.

Chen Y. P., Rekha P. D., Arunshen A. B., Lai W. A. and Young C. C. ( **2006**) "Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities"**Appl. Soil Ecol.**, **34**, pp **33**.

Clark R. B. and Zeto S. K. (**2000**) "Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants"**J. Plant Nutr.**, **23**, pp **867**.

Colomb B., kinivy R. and Debaeke P. H. (**2000**) "Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field - grown maize" **Agron. J.**, **25**, pp **428**.

Deubel A. and Merbach W (2005) Influence of microorganisms on phosphorus bioavailability in soils, pp 62 In: "**Microorganisms in soils: roles in genesis and functions**" Buscot F. and Varma A. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.

Dey R., Pal K. K., Bhatt D. M. and Chauhan S. M. (**2004**) "Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria" **Microbiol. Res.**, **159**, pp **371**.

Egerton-Warburton L. M. and Allen E. B. (**2000**) "Shifts in arbuscular mycorrhizal communities along an anthropogenic nitrogen deposition gradient" **Ecol. Appl. 10**, pp **484**.

Ekin Z. (**2010**) " Performance of phosphate solubilizing bacteria for improving growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in the presence of phosphorus fertilizer" **Afr. J. Biotechnol.**, **9**, **25**, pp **3794**.

El-Ghandour I. A. and Y. G. Galal (**2002**) "Nitrogen fixation and seed yield of chickpea cultivars as affected by microbial inoculation, crop residue and inorganic N fertilizer" **Egypt. J. Microbiol.**, **37**, pp **233**.

Entry J. A., Rygiewicz P. T., Watrud L. S. and Donnelly P. K. (**2002**) "Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas" **Adv. Environ. Res.**, **7**, pp **123**.

Erkovan H. I., Gullap M. K., Dasci M. and Koc A. (**2010**) "Effects of phosphorus fertilizer and phosphorus solubilizing bacteria application on clover dominant meadow: I: hay yield yield and botanical composition" **Turk. J. Field Crops.**, **15**, **1**, pp **12**.

Ezawa T., Smith S. E. and Smith F. A. (**2002**) "P metabolism and transport in AM fungi", **Plant Soil**., **244**, pp **221**.

Fallah A. (2006) "Abundance and distribution of phosphate solubilizing bacteria and fungi in some soil samples from north of Iran" 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Fankem H., Nwaga D., Deubel A., Dieng L., Merbach W. and Etoa F. X. (**2006**) "Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon" **Afr. J. Biotechnol.**, **5**, pp **2450**.

Farzaneh M., Wichmann S., Vierheilig H and Kaul H. P. (**2009**) "The effects of arbuscular mycorrhiza and nitrogen nutrition on growth of chickpea and barley" **Pflanzenbauwissenschaften**, **13**, **1**, pp **15**.

Feng G., Zhang F. S., Li X. L., Tian C. Y., Tang C. and Rengel Z. (**2002**) "Improved tolerance of maize plants to salt strees by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots" **Mycorrhiza**., **12**, **185**.

Furlan V. and Bernier-Cardou M. (**1989**) "Effects of N, P and K on formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae, growth and mineral content of onion" **Plant Soil.**, **113**, pp **167**.

Galvez L., Douds D. D., Drinkwater L. E. and Wagoner P. (**2001**) "Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas and nutrient uptake of maize" **Plant Soil.**, **228**, pp **299**.

Garg N. and Chandel S. (**2011**) "Effect of mycorrhizal inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient uptake in *Cicer arietinum* (L.) under salt stress" **Turk. J. Agric. For**., **35**, pp **1**.

Gaur A. and Adholeya A. (**2002**) "Arbuscular mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production in marginal soil amended with organic matter"**Biol. Fertil. Soils**., **35**, pp **214**.

Gavito M. E. and Miller M. H. (**1998**) "Changes in mycorrhiza development, dry matter partitioning and yield of maize" **Plant Soil**., **199**, pp **177**.

George E., Haussler K. and Kothari S. K. (**1994**), "Role of arbuscular mycorrhiza fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil" **Crit Rev Biotechnol.**, **15**, pp **257**.

Ghaderi A., Aliasgharzad N., Oustan S. and Olsson P. A. (**2008**) "Efficiency of three *Pseudomonas* isolates in releasing phosphate from an artificial variable charge mineral (iron III hydroxide)" **Soil Environ.**, **27**, pp **71**.

Giovannetti M. and Mosse B. (**1980**) " An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots" **New Phytol**., **84**, pp **489**.

Goenadi D., Siswanto H. and Sugiarto Y. (**2000**) "Bioactivation of poorly soluble phosphate rocks with a phosphorus solubilizing fungus" **Soil Sci. Soc. Am. J. 64**, pp **927**.

Govindarajulu M., Pfeffer P. E., Jin H., Abubaker J., Douds D. D., Allen J. A., Bucking H., Lammers P. J. and Shachar-Hill Y. (**2005**) "Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis" **Nature**, **435**, pp **819**.

Graham J. H., Leonard R. T. and Menge J. A. (**1981**) "Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of vesicular arbuscular mycorrhiza formation"**J. Plant Physiol.**, **68**, pp **548**.

Gryndler M. (2000). Interactions of arbuscular mycorrhizal fungi with other soil organisms, pp 239–262, In: "**Arbuscular mycorrhizas: Physiology and function**". Kapulnik Y. and Douds D. D. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Gyneshwar P., Kumar G. N., Parekh L. J. and Poole P. S. (**2002**) " Role of soil microorganisms in improving P nutritions of plants" **Plant Soil.**, **245**, pp **83**.

Gull M., Hafeez F. Y., Saleem M. and Malik. K. A. (**2004**) "Phosphorus uptake and growth promotion of chickpea by co-inoculation of mineral phosphate solubilizing bacteria and a mixed rhizobial culture" **Aust. J. Exp. Agr. 44**, pp **623**.

Hajiboland R., Aliasgharzad N. and Barzeghar R. (**2009**) "Phosphorus mobilization and uptake in mycorrhizal rice (*Oryza sativa* L.) plants under flooded and non-flooded conditions" **Acta agr. Slovenica**., **93**, pp **153**.

Hao X., Cho C. M., Racz G. J. and Chang C. (**2002**) "Chemical retardation of phosphate diffusion in an acid soil as affected by liming" **Nutr. Cycl. Agroecosys. 64**, pp **213**.

Henri F., Laurette N. N., Annette D., John Q., Wolfgang M., Francois-Xavier E. and Dieudonne N. (**2008**) "Solubilization of inorganic phosphates and plant growth

promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated from acidic soils of Cameroon" **Afr. J. Microbiol. Res.**, **2**, pp **171**.

Ilbas A. I. and Sahin S. (**2005**) "*Glomus fasiculatum* inoculation improves soybean production" **Acta Agr Scand B-S P**., **55**, **4**, **287**.

Islam M., Ali S. and Hayat R. **(2009)** "Effect of integrated application of phosphorus and sulphur on yield and micronutrient uptake by Chickpea (*Cicer arietinum*)" **Int. J. Agri. Biol.**, **11**, **1**, pp **33**.

Jakobsen I. (**1987**) "Effect of VAM mycorrhiza and harvest index on field grown pea" **Plant Soil**., **98**, **407**.

Jakobsen I., Gazey C. and Abbott I. K. (**2001**) "Phosphate transport by communities of arbuscular mycorrhizal fungi in intact soil cores" **New Phytol.**, **149**, pp **95**.

Jakobsen I., Chen B. D., Munkvold L., Lundsgaard T. and Zhu Y. G. (**2005**) "Contrasting phosphate acquisition of mycorrhizal fungi with that of root hairs using the root hairless barley mutant" **Plant Cell Environ.**, **28**, pp **928**.

Jilani G., Akram A., Ali R. M., Hafeez F. Y., Shamsi I. H., Chaudhry A. N. and Chaudhry A. G. (**2007**) "Enhancing crop growth, nutrients availability, economics and beneficial rhizosphere microflora through organic and biofertilizers" **Ann. Microbiol. 57**, pp **177**.

Johansson J. F., Paul L. R. and Finlay R. D. (**2004**) "Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture" **FEMS Microbiol. Ecol.**, **48**, pp **1**.

Joner E. J. and Johansen A. (**2000**) "Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi" **Mycol. Res.**, **104**, pp **81**.

Joner E. J., van Aarle I. M. and Vosatka M. (**2000**) "Phosphatase activity of extra-radical arbuscular mycorrhizal hyphae" **Plant Soil**., **226**, pp **199**.

Kahiluoto H., Ketoja E., Vestberg M. and Saarela I. (**2001**) "Promotion of AM utilization through reduced P fertilization 2. Field studies" **Plant Soil**., **231**, pp **65**.

Kang S. C., Hat C. G., Lee T. G. and Maheshwari D. K. (**2002**) "Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a soil inhabiting fungus Fomitopsis sp. PS 102" **Curr. Sci. 82**, pp **439**.

Kapoor R., Giri B. and Mukerji K. G. (**2004**) "Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgar* Mill. on mycorrhizal inoculation supplement with P fertilizer" **Bioresource Technol.**, **93**, pp **307**.

Kelly, R. M., Edwards D. G., Thompson J. P. and Magarey R. C. (**2005**) "Growth responses of sugarcane to mycorrhizal spore density and phosphorus rate" **Aust. J. Agr. Res.**, **56**, pp **9**.

Khaliq A. and Sanders F. E. (**2000**) "Effects of vesicular arbuscular mycorrhizal inoculation on the yield and phosphorus uptake of field grown barley" **Soil Biol. Biochem.**, **32**, pp **1691**.

Khan M. S., Zaidi A. and Amil M. (**1997**) "Associative effect of *Bradyrhizobium sp.* (vigna) and phosphate solubilizing bacteria on mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]" **Biojournal**., **9**, **101**.

Khan M. S. and Zaidi A. (**2007**) "Synergistic effects of the inoculation with plant growth promoting rhizobacteria and an arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat" **Turk J. Agric. For.**, **31**, pp **355**.

Khan M. S., Zaidi A. and Wani P. A. (**2007a**) "Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture - A review" **Agron. Sustain. Dev.**, **27**, pp **29**.

Khan M. S.,Wani P. A. and Zaidi A. (**2007b**) "Synergistic effects of the inoculation with nitrogen fixing and phosphate solubilizing rhizobacteria on the performance of field grown chickpea" **J. Plant Nutr. Soil Sc.**, **170**, pp **283**.

Khan K. S. and Joergensen R. G. (**2009**) "Changes in microbial biomass and P fractions in biogenic household waste compost amended with inorganic P fertilizers" **Bioresource. Technol.**, **100**, pp **303**.

Khanam D., Mridha A. U. and Solaiman A. R. M. (**2006**) "Effect of fertilizers on the natural occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi chickpea (*Cicer arietinume* L.)" **Bull. Inst. Trop. Agr.**, **29**, pp **87**.

Kim K. Y., Jordan D. and McDonald G. A. (**1998**) "Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity" **Biol. Fertil. Soils.**, **26**, **pp79**.

Kochaki A., Jahan M. and Nassiri Mahallti M. (2008) "Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and free-living nitrogen-fixing bacteria on growth characteristic of corn (*Zea mays* L.) under organic and conventional cropping systems" 2nd conference of the international society of organic agriculture research (ISOFAR). Modona. Italia.

Kohler J., Caravaca F., Carrasco L. and Roldan, A. (**2007**) "Interaction between a plant growth promoting rhizobacterium, an AM fungus and a phosphate solubilising fungus in the rhizosphere of *Lactuca sativa*" **Appl. Soil Ecol.**, **35**, pp **480**.

Koide R. T. and Kabir Z. (**2000**) "Extraradical hyphae of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* can hydrolyse organic phosphate" **New Phytol.**, **148**, pp **511**.

Kothari S. K., Marschner H. and Romheld V. (**1991**) "Effect of a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus and rhizosphere microorganisms on manganese reduction in the rhizosphere and manganese concentrations in maize (*Zea mays* L.)" **New Phytol.**, **117**, pp **649**.

Kumar B., Trivedi P. and Pandey A. (**2007**) "*Pseudomonas corrugata*: a suitable bacterial inoculant for maize grown under rainfed conditions of Himalayan region" **Soil Biol. Biochem.**, **39**, pp **3093**.

Laegreid M., Bockman O. C. and Kaarstad E. O. (**1999**) "**Agriculture, Fertilizer and Environment**" CABI publishing, pp 294.

Laheurte F., Leyval I. and Berthelin J. (**1990**) "Root exudates of maize, pine and beech seedlings influenced by mycorrhizal and bacterial inoculation" **Symbiosis**., **9**, pp **111**.

Lekberg Y. and Koide R. T. (**2005**) "Arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobia, available soil P and nodulation of groundnut (*Arachis hypogaea*) in Zimbabwe" **Agr. Ecosyst. Environ.**, **110**, **143**.

Lerat S., Lapointe L., Gutjahr S., Piche Y. and Vierheilig H. (**2003**) "Carbon partitioning in a split-root system of arbuscular mycorrhizal plants is fungal and plant species dependent" **New Phytol.**, **157**, pp **589**.

Li X. L. and Christie P. (**2001**) "Changes in soil solution Zn and pH and uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal red clover in Zn-contaminated soil" **Chemosphere**., **42**, pp **201**.

Lopez-Bellido F. J., Lopez-Bellido L. and Lopez-Bellido R. J. (**2005**), "Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.)" **Eur. J. Agron.**, **23**, pp **359**.

Malik M. A., Saleem M. F., Sana M. and Rehman A. (**2004**) "Suitable level of N, P and K for harvesting the maximum economic returns of sunflower (*Helianthus annuus* L.)" **Int. J. Ari. Biol.**, **6**, pp **240**.

Mansur C. P., Palled Y. B., Halikatti S. I., Salimath P. M. and Chetti M. B. (**2009**) " Effect of plant densities and phosphorus levels on seed yield and protein content of Kabuli chickpea genotypes" **Karnataka J. Agric. Sci.**, **22**, **2**, pp **267**.

Medina A., Probanza A., Gutierrez Manero F. J. and Azcon (**2003**) "Interactions of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus* strain and their effects on growth microbial rhizosphere acivity (thymidine and leucine incorporation) and fungal biomass (ergosterol and chithin)" **Appl**. **Soil Ecol**., **22**, pp **15**.

Meena K. K., Mesapogu S., Kumar M., Yandigeri M. S., Singh G. and Saxena A. K. (**2010**) "Co-inoculation of the endophytic fungus *Piriformospora indica* with the phosphate-solubilizing bacterium *Pseudomonas striata* affects population dynamics and plant growth in chickpea" **Biol. Fertil Soils**., **46**, pp **169**.

Mehrvarz S., Chaichi M. R. and Alikhani H. A. (**2008**) "Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barely (*Hordeum vulgare* L.)" **Am-Euras. J. Agric. & Environ**. **Sci.**, **3**, **6**, **822**.

Mirik M., Aysan Y. and Cinar O. (**2008**) "Biological control of bacterial spot disease of pepper with *Bacillus* strains" **Turk. J. Agric. For.**, **32**, pp **381**.

Muckle, G. E. (2003), Ph. D. thesis, "The functioning of arbuscular mycorrhizal fungi in land under different agricultural management intensities", Department of Animal and Plant Sciences, Sheffield University.

Muralidharudu Y., Murthy I. Y. L. N., Reddy K. P. C., Reddy B. N. and Chandranath, H. T. (**2003**) "Response of sunflower to phosphorus application in vertisols" **Helia**, **26,** pp **147**.

Nagahashi G., Douds D. D. and Abney G. D. (**1996**) "Phophorus amendment inhibits hyphal branching of the VAM fungus *Gigaspora margarita* directly and indirectly through its effect on root exudation" **Mycorrhiza**., **6**, pp **403**.

Olsen S. R., Cole C. V., Watanabe F. S. and Dean L. A. (1954) "Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate" USDA Circular, U. S. Government Printing Office, Washington D. C. 939.

Ortus I. and Harris P. J. (**1996**) "Enhancement uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen" **Plant Soil**., **184**, pp **225**.

Ortas I. (**2008**) "The effect of mycorrhiza inoculation on forage and non-forage plant growth and nutrient uptake under field conditions" **Options Mediterraneennes**, **Series A**, **79**, **463**.

Perez E., Sulbaran M. Ball M. M. and Yarzabal L. A. (**2007**) "Isolation and characterization of mineral phosphate solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region" **Soil Biol. Biochem.**, **39**, pp **2905**.

Perveen S., Khan M. S. and Zaidi. A. (**2002**) "Effect of rhizospheric microorganisms on growth and yield of greengram (*Phaseolus radiatus*)" **Indian. J. Agr. Sci.**, **72**, pp **421**.

Peterso R. L. and Massicotte H. B. (**2004**) "Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces" **Can. J. Bot.**, **82**, pp **1074**.

Pharudi J. A. (2010), PhD. Thesis, "Effect of mycorhizal inoculation and phosphorus levels on growth and yield of wheat and maize crops grown on a phosphorus deficient sandy soil" Agri. depart. Stellenbosch University.

Phillips J. M. and Hayman D. S. (**1970**) " Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection " **T. Brit. Mycol. Soc.**, **55**, pp **158**.

Ponmurugan P. and Gopi C. (**2006**) "Distribution pattern and screening of phosphate solubilizing bacteria isolated from different food and forage crops" **Agron. J.**, **5**, pp **600**.

Poonguzhali S., Madhaiyan M., Thangaraju M., Ryu J., Chung K. and Sa T. (**2005**) " Effect of co cultures, containing Nfixer and P solubilizer, on the growth and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) and Blackgram (*Vigna mungo* L.)" **J. Microbiol. Biotech.**, **15**, pp **903**.

Pradhan N. and Sukla, L. B. (**2005**) "Solubilization of inorganic phosphate by fungi isolated from agriculture soil" **Afr. J. Biotechnol. 5**, pp **850**.

Probanza A., Mateos J. L., Luca Garcia J. A., Ramos B., de Felipe M. R. and Guiterrez Manero F. J. (**2001**) "Effects of inoculation with PGPR Bacillus and Pisolithus tinctorius on Pinus pinea L. growth, bacterial rhizosphere colonization and mycorrhizal infection" **Microbial. Ecol.**, **41**, pp**140**.

Raiesi F. Ghollarata M. (**2006**) "Interactions between phosphorus availability and an AM fungus (*Glomus intraradices*) and their effects on soil microbial respiration, biomass and enzyme activities in a calcareous soil" **Pedobiologia**., **50**, pp **413**.

Raja A. R., Shah K. H., Aslam M. and Memon M. Y. (**2002**) "Response of phosphobacterial and mycorrhiza inoculation in wheat" **Asian J. Plant Sci.**, **4**, pp **322**.

Rabie G. H. and Almadini A. M. (**2005**) " Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of *Vicia faba* plants under salinity stress" **Afr. J. Biotechnol.**, **4**, **210**.

Ramadan H. M., Koreish E. A., Gaber H. M. and El-Fayoumy M. E. (**2002**) "Assesment and comparison of bio and fertilization on farm profitability in different newly reclaimed soils" **Alexandria J. Agric. Res.**, **47**, **1**, pp **133**.

Rice W. A., Olsen P. E., Baily L. D., Biederleck V. O. and Spimkard A. E. (**1993**) "The use of annual legumes green-manure crops as a substitute for sammer fallow in the Peace River region" **Pan. J. Soil Sci. 73**, pp **243**.

Richardson A. E., George T. S., Jakobsen I. and Simpson R. J. (2007). Plant utilization of inositol phosphates. pp 242–260, In: "**Inositol phosphates: linking agriculture and the environment**", Turner B. L., Richardson A. E. and Mullaney E. J., CABI, Wall-ingford, UK.

Rodriguez H. and Fraga R. (**1999**) "Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion"**Biotechnol. Adv.**, **17**, pp **319**.

Rokhzadi A. and Toashih V. (**2011**) "Nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) inoculated with plant growth promoting rhizobacteria" **Aust. J. Crop Sci.**, **5**, **1**, pp **44**.

Rudresh D. L., Shivaprakash M. K. and Prasad R. D. (**2005**) "Efffect of combined application of *Rhizobium*, phosphate bacterium and *Trichoderma* spp. On growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.)" **Appl. Soil Ecol.**, **28**, pp **139**.

Ryan M. H., and Ash J. E. (**1999**) "Effects of phosphorus and nitrogen on growth of pasture plants and VAM fungi in SE Australian soils with contrasting fertiliser histories (conventional and biodynamic)" **Agr**. **Ecosyst**. **Environ**., **73**, pp **51**.

Ryan M. H. and Angus J. F. (**2003**) "Arbuscular mycorrhizas in wheat and field pea crops on a low P soil: increased Zn uptake but no increase in P uptake or yield" **Plant Soil**., **250**, pp **225**.

Ryan M. H., van Herwaarden A. F., Angus J. F. and Kirkegaard J. A. (**2005**) "Reduced growth of autumn-sown wheat in a low P soil is associated with high colonization by arbuscular mycorrhizal fungi" **Plant Soil**., **270**, pp **275**.

Sabannavar S. J. and Lakshman H. C. (**2009**) "Effect of rock phosphate solubilization using mycorrhizal fungi and phosphobacteria on two high yielding varieties of *Sesamum indicum* L." **World J. Agric. Sci.**, **5**, **4**, pp **470**.

Saleh Al-Garni S. M. (**2006**) "Increased heavy metal tolerance of cowpea plants by dual inoculation of an arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen-fixer *Rhizobium* bacterium" **Afr. J. Biotechnol.**, **5**, pp **132**.

Sannazzaro A. I., Ruiz O. A., Alberto E. O. and Menendez A. B. (**2006**) "Alleviation of salt stress in *Lotus glaber* by *Glomus intradices*" **Plant Soil**., **285**, pp **279**.

Saxena M. C. and Yadav D. S. (1976). Some agronomic considerations of pigeon peas and chickpea, pp 31-62, In: "**Proceedings of the International Workshop on Grain Legumes**", Hyderabad, India.

Schneider A. V. C. (**2002**) "Overview of the market and consummation of pulses in Europe" **Brit. J. Nutr**. **88**, pp **243**.

Schnepf A., Roose T. and Schweiger P. (**2008**) "Impact of growth and uptake patterns of arbuscular mycorrhizal fungi on plant phosphorus uptake a modelling study" **Plant Soil**., **312**, pp **85**.

Sepetoglu H. (**2002**) "**Grain legumes**" Departmant of Field Crops, Faculty of Agriculture, University of Ege Publication 24/4, izmir, Turkey.

Shaharoona B., Arshad M., Zahir Z. A. and Khalid A. (**2006a**) "Performance of Pseudomonas spp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer" **Soil Biol. Biochem.**, **38**, pp **2971**.

Shaharoona B., Arshad M. and Zahir Z. A. (**2006b**) "Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation of mungbean (*Vigna radiata*)" **Lett. Appl. Microbiol.**, **42**, pp **155**.

Shaharoona B., Naveed M., Arshad M. and Zahir Z. A. (**2008**) "Fertilizer dependent efficiency of *Pseudomonads* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.)" **Appl. Microbiol. Biot. 79**, pp **147**.

Shanty M., Raju A. S. and Rao P. C. (**2002**) "Performance and phosphorus utilization by sunflower grown on an alfisol of Hyderabad", **J. Nucl. Agri. Biol.**, **3**, pp **176**.

Sharma A. K. (**2002**), "**Biofertilizers for sustainable agriculture**" Agrobios, India, pp 407.

Sharma A. K. and Johri B. N. (**2002**) "Arbuscular mycorrhizae, interaction in plants, rhizosphere and soils" Science Publisher. INC, ENFILD, NH, USA.

Sharma K., Dak G., Agrawal A., Bhatnagar M. and Sharma R. (**2007**) "Effect of phosphate solubilizing bacteria on the germination of *Cicer arietinum* seeds and seedling growth" **J. Herb. Med. Toxicol.**, **1**, pp **61**.

Shenoy V. V. and Kalagudi G. M. (**2005**) "Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping" **Biotechnol. Adv.**, **23**, pp **501.**

Shockley F. W., McGraw R. L. and Garrett H. E. (**2004**) "Growth and nutrient concentration of two native forage legumes inoculated with rhizobium and mycorrhiza in Missouri USA" **Agroforest. Syst.**, **60**, pp **137**.

Siqueria J. and Saggin-Junior O. (1998) " Arbuscular mycorrhizal dependency of some Brazilian native woody species" ICOM2. Uppsala. Sweden.

Singh V. K. and Dlxite R. S. (**1992**) "Effect of moisture regime and sowing date on chickpea" **Indian J. Agron.**, **37**, pp **739**.

Singh S. and Kapoor K. K. (**1999**) "Inoculation with phosphate solubilizing microorganisms and a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil" **Biol. Fertil. Soils**, **28**, pp **139**.

Smith S. E., Smith F. A. and Jakobsen I. (**2004**) "Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses: the contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake" **New Phytol.**, **162**, pp **511**.

Smith S. E. and Read D. J. (**2008**) "**Mycorrhizal symbiosis**". 3rd Edition. Academic Press, Elsevier, Amsterdam.

Solaiman A. R. M., Rabbani M. G. and Moll M. N. (**2005**) "Effects of inoculation of Rhizobium and arbuscular mycorrhiza, poultry litter, nitrogen and phosphorus on growth and yield in chickpea" **Korean J. Crop Sci.**, **50**, pp **256**.

Son C. L. and Smith S. E. (**1988**) "Mycorrhizal growth responses: interactions between photon irradiance and phosphorus nutrition" **New Phytol.**, **108**, pp **305**.

Subramanian K. S., Santhanakrishnan P. and Balasubramanian P. (**2005**) "Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress" **Sci. Hortic.**, **107**, pp **254**.

Sundara B., Natarajan V. and Hari K. (**2002**) "Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane yields" **Field Crop Res.**, **77**, pp **43**.

Tanawar S. P. S., Sharma G. L. and Chahar M. S. (**2002**) "Effects of phophorus and biofertikizer on growth and productivity black gram" **Ann. Agric. Res.**, **23**, **3**, pp **491**.

Tao G., Tian S., Cai M. and Xie G. (**2008**) "Phosphate solubilizing and mineralizing abilities of bacteria isolated from soils" **Pedosphere**.,**18**, pp **515**.

Tawaraya K., Naito M. and Wagatsuma T. (**2006**) "Solubilization of insoluble inorganic phosphate by hyphal exudates of arbuscular mycorrhizal fungi" **J. Plant Nutr.**, **29**, pp **65**7.

Tibbett M. and Sanders F. E. (**2002**) "Ectomycorrhizal symbiosis can enhance plant nutrition through improved access to discrete organic nutrient patches of high resource quality". **Ann. Bot. (London).**, **89**, pp **783**.

Thakur A. K. and Panwar J. D. S. (**1997**) "Response of Rhizobium-vesicular arbuscular mycorrhizal symbionts on photosynthesis nitrogen metabolism and sucrose in translocation greengram (*Phaseolus radiatus*). **Indian. J. Agr. Sci.**, **67**, **6**, pp **245**.

Togay N., Togay Y., Cimrin K. M. and Turan M. (**2008**) "Effects of *rhizobium* inoculation, sulfur and phosphorus applications on yield, yield components and nutrient uptakes in chickpea (*Cicer arietinum* L.)", **Afr. J. Biotechnol.**, **7**, **6**, pp **776**.

Turk M. A. and Tawaha A. R. M. (**2002**), "Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. minor) in the absence moisture strees" **Biotechnol. Agron. Soc. Environ.**, **6**, **3**, pp **171**.

Turk M. A., Assaf T. A., Hameed K. M. and Tawaha A. M. (**2006**) "Significance of Mycorrhizae" **World J. Agric. Sci.**, **2**, pp **16**.

Vance C. P. Uhde-Stone C. and Allan D. L. (**2003**) "Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource" **New Phytol.**, **157**, pp **423**.

Valentine A. J., Mortimer P. E., Lintnaar A. and Borgo R. (**2006**) "Drought responses of arbuscular mycorrhizal grapevines", **Symbiosis**, **41**, **3**, pp **127**.

Wagar A., Shahroona B., Zahir Z. A. and Arshad M. (**2004**) "Inoculation with Acc deaminas containing rhizobacteria for improvming growth and yield of wheat" **Pak. J. Agri.**, **41**, pp **119**.

Weber E., Saxena M. C., George E. and Marschner H. (**1993**) "Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza on vegetative growth and harvest index of chickpea grown in northern Syria" **Field Crop Res.**, **32**, pp **115**.

Whitelaw M. A. (**2000**) "Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi" **Adv. Agron.**, **69**, pp **99**.

Wright D. P., Scholes J. D. and Read D. J. (**1998**) "Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repens* L." **Plant Cell Environ.**, **21**, pp **209**.

Widada J. Damarjaya D. I. and Kabirun S. (2007) The interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on the growth and nutrients uptake of sorghum in acid soil pp 173–177, "**First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization**" Vela zquez E. and Rodriguez-Barrueco C. Springer.

Wu S. C., Caob Z. H., Lib Z. G., Cheunga K. C., Wonga M. H. (**2005**) "Effects of biofertilizer containing Nfixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial" **Geoderma.**, **125**, pp **155**.

Yahiya M., Samiullah and Fatma A. (**1995**) "Influence of phosphorus on nitrogen fixation in chickpea cultivars" **J. Plant Nutr.**, **18**, **4**, pp **719**.

Yazdani M., Bahmanyar M. A., Pirdashti H. and Esmaili M. A. (**2009**) "Effect of Phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of Corn (*Zea mays* L.)". **Proc. World Acad. Sci. Eng. Technol. 37**, pp **90**.

Zaidi A. (1999) Ph.D. Thesi "Synergistic interactions of nitrogen fixing microorganisms with phosphate mobilizing microorganisms" Aligarh India University.

Zaidi A., Khan M. S. and Amil M. (**2003**) "Interactive effects of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.)" **Eur. J. Agron.**, **19**, **15**.

Zaidi A., Khan M. S. and Aamil M. (**2004**) "Bioassociative effect of rhizospheric microorganisms on growth, yield and nutrient uptake of greengram" **J. Plant Nutr.**, **27**, pp **599**.

Zaidi A. and Khan M. S. (**2005**) "Interactive effect of rhizospheric microorganisms on growth, yield and nutrient uptake of wheat" **J. Plant Nutr.**, **28**, pp **2079**.

Zaidi A. and Khan M. S. (**2006**) "Co inoculation effects of phosphate solubilizing microorganisms and *Glomus fasciculatum* on green gram *Bradyrhizobium* symbiosis" **Turk. J. Agric. For.**, **30**, pp **223**.

Zubillaga M. M., Aristi J. P. and Lavado R. S. (**2002**) "Effect of phosphorus and nitrogen fertilization on sunflower nitrogen uptake and yield" **J. Agron. Crop Sci.**, **188**, pp **267**.

**Abstract**

Mycorrhiza fungi and phosphate solubilizing bacteria are terrestrially useful microorganisms, as biofertilizers, providing nutrient for plants. The present study was implemented in order to investigate the effectiveness of mycorrhiza (*Glomus intraradices*) and phosphate solubilizing bacteria (Phosphate biofertilizer Barvar-2) under different levels of phosphorus on Yield and Yield components of chickpea (Hashem cultivar) was measured in 2009-2010 at Shahrood University of Technology. Experiment was conducted as split plots factorial in a complete randomized block design with three replications. The main plot was phosphorus at three levels (0, 25 and 50 kg/ha) and mycorrhiza and phosphate solubilizing bacteria were the subplot randomized together as factorial experiments. Mycorrhiza in two levels, including inoculation of mycorrhiza and non-inoculation mycorrhiza and phosphate solubilizing bacteria was at two levels, inclusion and exclusion of bacteria. The results showed the effect of mycorrhiza inoculation on plant height, biological yield, seed hundred weight, number of pods per plant, root colonization and seed phosphorous were significant. Phosphate solubilizing bacteria had no significant effect on traits. The increase of phosphorus fertilizer alone increased the biological yield, grain yield, available soil phosphorus, seed phosphorous and leaf area per plant. Root colonization decreased with increasing phosphorus fertilizer. The interaction effect of phosphorus fertilizer and mycorrhiza inoculation on the number of pods per plant was significant. As well as two factor fertilizer phosphorus and phosphate solubilizing bacteria inoculation on seed phosphorous and interaction three factors on the number of pods per plant was significant.

The results showed the effect of mycorrhiza inoculation on yield (under low soil phosphorous level) was equivalent to use of 50 kg/ha of phosphorous chemical fertilizer. The result is very important in organic farming, suggesting replacement of mycorrhizal inoculation with application of phosphorous chemical fertilizer.

**Keywords**: Chickpea, Phosphorus fertilizer, Mycorrhiza and Phosphate solubilizing bacteria

**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Agriculture**

# Evaluation of dual inoculation of arbuscular mycorrhiza fungi, phosphorus fertilizer application phosphate solubilizing bacteria and on yield and yield component of chickpea (*Cicer arietinum L.*)

**Esmat Mohammadi**

**Supervisors:**

**Hamid Reza Asghari**

**Ahmad Gholami**

**January 2012**