



تأثیر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزای بر جذب برخی عناصر معدنی توسط نخود در سطوح مختلف کود سولفات آهن

* محبوبه خسروجردی^۱، شاهین شاهسونی^۲، منوچهر قلی‌پور^۳ و حمیدرضا اصغری^۴
^۱ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه صنعتی شاهرود، ^۲ استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، ^۳ دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، ^۴ استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود
تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۸

چکیده

مطالعه‌ی حاضر به منظور ارزیابی تأثیر کاربرد باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزای و سولفات آهن بر گیاه نخود رقم هاشم انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل باکتری ریزوبیوم (تلقیح شده و عدم تلقیح)، قارچ میکوریزای (گلو موس موسه، گلو موس اینترادیسه و عدم تلقیح) و مقادیر مختلف کود سولفات آهن (صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان سبزوار به اجرا درآمد. اثرات ۳ عامل اصلی و اثرات متقابل آن‌ها بر صفات عملکرد، درصد پروتئین دانه و غلظت‌های آهن، روی، فسفر و گوگرد در گیاه نخود مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از هر یک از کودهای زیستی موجب افزایش عملکرد دانه و غلظت‌های روی و فسفر شد. کاربرد سطوح مختلف سولفات آهن، نیز موجب افزایش عملکرد و غلظت روی و گوگرد شد. مصرف توأم مایکوریزا و ریزوبیوم، مایکوریزا و کود سولفات آهن تمامی غلظت‌های عناصر و عملکرد را نسبت به تلقیح جداگانه هر تیمار افزایش داد و گونه گلو موس موسه نسبت به اینترادیسه موفق‌تر عمل نمود. اثرات متقابل هر سه تیمار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد جز در غلظت گوگرد بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: باکتری مزوریزوبیوم، سولفات آهن، غلظت عناصر، قارچ میکوریزا، نخود.

* مسئول مکاتبه: mkh_as89@yahoo.com

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) بزرگ‌ترین لگوم غذایی در جنوب آسیا و پس از نخودفرنگی و لوبیا، سومین لگوم مهم جهان محسوب می‌گردد (ایکریست، ۲۰۱۰). به‌عنوان یک محصول کم هزینه در سیستم‌های زراعی مناطق گرمسیری نیمه خشک کشت می‌گردد. این گیاه به‌خاطر قابلیت سازگاری با طیف وسیعی از شرایط محیطی و خاک از قبیل اراضی حاشیه‌ای برای کشت دیگر محصولات مثل گندم حائز اهمیت می‌باشد. ۲۰-۳۰ درصد وزن دانه‌های حبوبات را پروتئین تشکیل می‌دهد که این میزان ۲-۳ برابر پروتئین غلات و ۱۰-۲۰ برابر بیشتر از پروتئین گیاهان غده‌ای است (کوچکی و بنایان اول، ۱۹۹۳). نخود منبع خوبی از انرژی، پروتئین، مواد مغذی، ویتامین‌ها و فیبر است و دارای پتانسیل بالقوه‌ای برای تأمین مواد معدنی و ویتامین‌هاست (ویلیمز و سینگ، ۱۹۸۷). در این بین می‌توان به قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (AMF) و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن اشاره کرد. قارچ‌های آربوسکولار در بهبود و توسعه گیاهی، جذب مواد مغذی، پایداری و مقاومت در شرایط محیطی سخت از قبیل فلزات سمی و سنگین، عوامل بیماری‌زا، خشکی، درجه حرارت بالای خاک، خاک‌های شور، خاک‌هایی با pH نامناسب و نشاء کاری‌ها مناسب هستند (پاراسکوپولوپاروسی و همکاران، ۱۹۹۷). اکثر حبوبات دارای محتویات بالایی از نیتروژن هستند و توانایی بالایی برای کسب نیتروژن اتمسفر از طریق یک ارتباط همزیستی با میکروارگاسیم‌های خاک دارند. ریزوبیا نام عمومی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن مولکولی است که قادر به همزیستی خوبی با لگوم‌ها هستند. تلقیح لگوم‌ها با این باکتری منجر به تشکیل گره می‌شود. ریزوبیوم می‌تواند در خاک و در محیط ریشه گیاهان بقولات زندگی کند. از جمله فعالیت‌های مفید این باکتری‌ها می‌توان به تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه به‌ویژه اکسین‌ها و ترکیبات مشابه آن توسط سویه‌های مختلف ریزوبیومی اشاره داشت. تولید سیدرورها توسط ریزوبیوم‌ها در شرایط کمبود آهن قابل جذب، علاوه بر کنترل برخی بیماری‌های ریشه، می‌تواند در رفع کمبود آهن بعضی از گیاهان نیز مؤثر واقع شوند (کالدرون و همکاران، ۲۰۰۴). ریزوبیوم‌ها از طریق آلوده‌سازی تارهای کشنده یا جراحات اپیدرمی، وارد سیستم ریشه‌ای گیاه شده و سلول‌های کورتکس ریشه را تحریک به تقسیم شدن و ایجاد گره می‌نمایند. در گره‌های ریشه‌ای، ریزوبیوم‌ها نیتروژن اتمسفری (N_2) را که برای گیاه قابل استفاده نبوده به فرم قابل استفاده گیاه

(NH⁴⁺) تبدیل می‌نمایند که این فرآیند تثبیت زیستی نیتروژن نام دارد (اسدی رحمانی و همکاران، ۲۰۰۷). ریزوبیوم‌ها قادر به ترشح موادی هستند که می‌تواند ذرات خاک را به یکدیگر بچسباند و از این طریق در افزایش کیفیت ساختمان خاک مؤثر باشند. آنزیم دخیل در فعالیت تثبیت ازت در ریزوبیوم همان آنزیم نیتروژناز است که در ساختمان این آنزیم آهن، مولیبدن و گوگرد شرکت دارند لذا فراهم بودن این عناصر در خاک برای فعالیت این باکتری ضروری می‌باشد (معزاردلان و همکاران، ۲۰۰۲). تلقیح همزمان باکتری برادی ریزوبیوم و قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار باعث جذب عناصر فسفر و پتاسیم در گیاه سویا می‌شود (شیرانی‌راد و همکاران، ۱۹۹۶). در تحقیقی که توسط دانشی و همکاران (۲۰۰۵) بر روی نخود انجام گرفته جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر و پتاسیم در تیمارهای تلقیحی ریزوبیوم بیشتر از سایر تیمارها بوده و اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ در بین تیمارها مشاهده می‌شود.

الکرکی (۲۰۰۶) نیز گزارش کرد که تلقیح بذر در گوجه فرنگی با گلوموس موسه باعث افزایش ماده‌ی خشک ریشه، اندام هوایی و همچنین غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس شد. در گیاه نخود با تلقیح گلوموس موسه جذب فسفر، تعداد گره‌ها، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و فعالیت نیتروژناز افزایش یافت (گارگ و چندل، ۲۰۱۱). ریشه‌ی کلونیزه شده با مایکوریزا، رشد گیاه (الکرکی و الرداد، ۱۹۹۷)، جذب مواد مغذی و حمایت از گره‌ها را در دوران پیری گیاه (رویزلوزانو و همکاران، ۲۰۰۱) در شرایط تنش بر عهده دارد. به‌علاوه مایکوریزا ساختمان خاک را به وسیله‌ی پوشاندن ماده‌ی گلیکوپروتئینی لزجی به نام گلومالین که یک نقش کلیدی در تشکیل خاکدانه‌ها و ایجاد حفرات بزرگ برای رشد بهتر هیف‌ها دارد، بهبود می‌دهد. این حفرات اجازه می‌دهند که نفوذ آب و هوا به راحتی صورت بگیرد و همچنین به جلوگیری از فرسایش خاک کمک می‌کنند (پیوتروسکی و همکاران، ۲۰۰۴). گوگرد به‌دلیل ظرفیت اکسیده شدن و تولید اسید سولفوریک، پتانسیل لازم را برای کاهش pH خاک حداقل در مقیاس کوچک اطراف ذرات خود دارا بوده و بنابراین می‌تواند به‌خصوص در منطقه ریزوسفر در انحلال ترکیبات غذایی نامحلول و آزاد شدن عناصر ضروری مؤثر واقع شود (بشارتی و صالح راستین، ۱۹۹۹). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کمبود گوگرد به‌میزان متوسط عملکرد را از طریق تأثیر بر رشد گیاه در دوره‌ی پر شدن دانه، کاهش می‌دهد (فلاویو و همکاران، ۲۰۰۷). این تأثیر دیر هنگام از کمبود گوگرد می‌تواند نتیجه تحرک زیاد گوگرد در خاک و انتقال مجدد اندک گوگرد در گیاه باشد. لذا فراهمی گوگرد در گیاه می‌تواند بر پر شدن دانه و افزایش عملکرد

اقتصادی آن تأثیرگذار باشد. طی تحقیقاتی در یک آزمایش مزرعه‌ای بر روی نخود با استفاده از منابع مختلف گوگرد نشان دادند که جذب فسفر با افزایش مقدار گوگرد افزایش می‌یابد (کاجهاوا و همکاران، ۱۹۹۷). در نهایت با توجه به اهمیت باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا بر میزان پروتئین، جذب عناصر مختلف و عملکرد دانه نخود، پژوهش حاضر صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۰ در مزرعه‌ای واقع در ۵ کیلومتری شهرتان سبزوار اجرا شد. بر اساس تقسیم‌بندی‌های اقلیمی منطقه سبزوار دارای آب و هوایی گرم و خشک می‌باشد. میانگین بارش سالانه ۱۸۸/۶۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۷/۱۰ درجه سانتی‌گراد است. سردترین دمای سال ۲۰- درجه سانتی‌گراد که در فصل دی و بهمن و گرم‌ترین دمای سال از اواخر خرداد تا اواخر مرداد با ۴۵/۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر.

نیترژن کل (درصد)	۰/۰۷
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳۲/۳۲
پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۴۰
سولفات قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲/۵
آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۷/۵
رس (درصد)	۹/۸
لای (درصد)	۳۱/۴
شن (درصد)	۵۸/۸
هدایت الکتریکی (دهی ریسین بر متر)	۴/۲
استحبابه گل اشباع	۷/۸
ماده‌ی آلی (درصد)	۰/۸۷
آهک (درصد)	۱۶/۲۵

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ میکوریزا در سه سطح شامل (*Glomus mosseae*)، (*Glomus intraradices*) و (عدم تلقیح)، باکتری مزوریزوبیوم سیسری (*Mesorhizobium ciceri*) و (عدم تلقیح) و کود سولفات آهن در سه سطح به ترتیب شامل ۰، ۴۰، ۸۰ کیلوگرم در هکتار بود که به همراه آب آبیاری طبق مقادیر معین برای هر تیمار در

کرت‌های موردنظر هنگامی که ۵۰ درصد مزرعه به گل رفته است. کرت‌ها به ابعاد ۴×۲ متر و دارای ۳ خط کاشت، فاصله‌ی بین خطوط کشت ۶۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی کشت روی خطوط ۲۰ سانتی‌متر، بین هر کرت تا کرت بعدی ۶۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی بین دو تکرار از یکدیگر ۱ متر در نظر گرفته شد. مایه تلقیح باکتری از شرکت فرآوری شیمیایی زنجان به میزان ۱ کیلوگرم باکتری برای ۲۰ کیلو بذر نخود در هکتار به کار رفت. ابتدا بذرها با ماده‌ی تلقیحی مخلوط گردید و بعد از خشک شدن نسبی مواد تلقیحی سطح بذور در سایه، بذرها سریعاً کشت شدند. مایه تلقیح‌های قارچی از شرکت زیست فناوری توران شاهرود تهیه گردید. این مایه تلقیحی شامل خاک، بقایای ریشه‌ای و اندام‌های قارچی بود. استفاده از مایه تلقیح بدین صورت انجام شد که قبل از کاشت در کرت‌های مربوط به تیمار قارچی مقداری مایه تلقیح درون حفره‌هایی که برای کاشت بذر ایجاد شده بودند ریخته شد، سپس روی این مایه تلقیح مقداری خاک اضافه و ۲-۳ بذر روی آن قرار داده شد و در نهایت بذرها با خاک پوشانده شدند. برای مطالعه و بررسی خصوصیات رشدی نخود در طی فصل رشد اقدام به ۲ مرحله نمونه‌برداری شد. در مرحله‌ی گلدهی (۱۳۹۰/۰۳/۱۴) و مرحله‌ی رسیدگی (۱۳۹۰/۰۴/۱۰) به تعداد ۳ بوته با احتساب حاشیه از ابتدا و انتهای کرت، به‌طور تصادفی انتخاب شد. بوته‌ها از سطح خاک و از ناحیه‌ی طوقه قطع و توسط پاکت‌های مخصوص نمونه‌برداری به آزمایشگاه منتقل و در آنجا درون آون با دمای ۷۲ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. شایان ذکر است که برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، از مساحت ۲ مترمربع استفاده شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه میکروشیمی دامغان فرستاده شد و با دستگاه ICP^۱ اندازه‌گیری شد.

غلظت عناصر آهن، گوگرد، پروتئین، روی، فسفر در بذر با دستگاه ICP (مدل GBC Integra XL sequential ساخت کشور استرالیا) تعیین گردید. به منظور عمل هضم، ۰/۵۰ گرم از نمونه خوب پودر شده در کروزه پلاتینی (یا از جنس نیکل) ریخته و در کوره شیب‌دار قرار گرفت. دمای کوره به‌تدریج (۵ درجه در دقیقه) افزایش یافت تا به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید. پس از خارج کردن نمونه به آن ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲۰ درصد اضافه گردید و نمونه درون حمام بخار قرار گرفت تا مایع تبخیر گردد. سپس با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد. در مرحله بعد با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و با دستگاه ICP قرائت گردید. اساس اندازه‌گیری این دستگاه روش نشری است. در این روش جریان‌ی از گاز آرگون توسط یک میدان مغناطیسی با فرکانس رادیویی بالا یونیزه می‌شود و حرارتی نزدیک به ۱۰۰۰۰ درجه کلونین تولید

1- Inductively Coupled Plasma

می‌کند. نمونه توسط یک نبولایزر به داخل پلاسمای آرگون پاشیده می‌شود و در دمای بالا تبدیل به ذرات اتمی (یونی) می‌شود و ایجاد نشر می‌کند. میزان نشر عناصر موردنظر توسط دستگاه آشکارساز اندازه‌گیری شده و در نهایت این عدد بر اساس قانون بیر-لامبرت (رابطه ۱) به غلظت تبدیل می‌شود.

$$A = \text{Log} (I_0 / I) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن I_0 شدت نور اولیه، I شدت نور عبوری و A مقدار جذب ماده است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS، MSTATC انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ و درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر عامل باکتری ریزوبیوم بر عملکرد دانه و غلظت روی و آهن ($P < 0/01$)، گوگرد ($P < 0/05$) معنی‌دار و بر درصد پروتئین و فسفر معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح کاربرد و عدم کاربرد ریزوبیوم نشان داد که کاربرد ریزوبیوم باعث افزایش عملکرد دانه و غلظت روی و کاهش غلظت آهن در دانه شد (جدول ۳). باکتری ریزوبیوم در نقاط مختلف دنیا استفاده شده و تلقیح با آن با افزایش عملکرد همراه بوده است.

کاربرد قارچ میکوریزای بر عملکرد دانه و غلظت آهن، روی و فسفر ($P < 0/01$) تأثیر معنی‌دار داشت ولی بر میزان پروتئین دانه و غلظت گوگرد تأثیری نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد، همزیستی به وجود آمده توسط قارچ میکوریزای گونه گلوموس اینترادیسه با گیاه نخود در شرایط این آزمایش کارایی کمتری برای انتقال عناصر به گیاه داشت و گونه‌ی گلوموس موسه سویه‌ی مناسب‌تر در افزایش عناصر آهن، روی و فسفر دانه به حساب آمد و در بالا بردن عملکرد نقش بسزایی را ایفا کرد (جدول ۳). اسمیت و رید (۲۰۰۸) نشان دادند که در خاک‌های فقیر، قارچ میکوریزا سبب بهبود جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم و روی شده است. ارتاس (۲۰۱۰) نشان داد که میکوریزای تلقیح شده، مقدار روی و فسفر را در گیاهان تلقیحی افزایش می‌دهد. نتایج محققین بر روی گیاه نخود نشان داد محتویات فسفر گیاه و دانه در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا بیشتر از گیاهان شاهد (عدم تلقیح) بود (استانچوا و همکاران، ۲۰۰۶؛ ارمن و همکاران، ۲۰۱۱).

در جدول (۲) تاثیر سطوح مختلف کاربرد کود سولفات آهن بر عملکرد، غلظت آهن، روی و پروتئین ($P < 0/01$) و بر میزان گوگرد دانه ($P < 0/05$) نشان داده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان دادند که با افزایش سطوح کودی میزان آهن و پروتئین دانه کاهش داشت. عملکرد و غلظت روی در سطح ۴۰ کیلوگرم در هکتار و گوگرد دانه در سطح ۸۰ کیلوگرم در هکتار حداکثر بود (جدول ۳).

اثر متقابل کاربرد ریزوبیوم و قارچ میکوریزای بر همگی صفات ($P < 0/05$) معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۴) نشان دادند که کاربرد توام قارچ میکوریزای و ریزوبیوم سبب افزایش عملکرد دانه و غلظت روی شد و در میزان پروتئین و گوگرد دانه، عدم تلقیح با قارچ میکوریزی و کاربرد ریزوبیوم افزایش چشمگیری نسبت به سایر سطوح داشت، ولی در مورد غلظت‌های آهن و فسفر کاربرد میکوریز و عدم تلقیح با ریزوبیوم تاثیر معنی داری را نشان داد. آرمن و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که تلقیح میکوریز آربوسکولار همراه با ریزوبیوم یا به تنهایی منجر به افزایش عملکرد دانه، گسترش ریشه و مقدار فسفر دانه و ساقه شد. همچنین نتایج بسیاری از تحقیقات بر افزایش جذب فسفر و پتاسیم و روی به وسیله تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریزا تاکید دارند (دیوپه و همکاران، ۲۰۰۳؛ اسمیت و رید، ۲۰۰۸).

تجزیه واریانس ریزوبیوم و کود سولفات آهن بر عملکرد دانه، غلظت آهن، روی و درصد پروتئین دانه ($P < 0/01$) معنی دار شد ولی در میزان فسفر و گوگرد اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان داد که عملکرد دانه و غلظت روی دانه در شرایط تلقیح با ریزوبیوم و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آهن بیشترین مقدار را داشتند. در گیاهان تلقیح شده با ریزوبیوم و استفاده از ۸۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آهن درصد پروتئین دانه حداکثر بود، کمترین مقدار آهن با مصرف ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات آهن ($13/43$ و $13/85$ میلی‌گرم در کیلوگرم) همراه با کاربرد و عدم کاربرد ریزوبیوم مشاهده شد.

نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد ششم (۳)، ۱۳۹۲

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر قارچ میکوریز، باکتری مزوریزوبیوم و کود سولفات آهن بر صفات مورد مطالعه

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	آهن	روی	فسفر	گوگرد	پروتئین
بلوک	۲	۰/۰۰۵۵	۰/۴۲۴	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۶۱۰
باکتری مزوریزوبیوم (b)	۱	۳۶/۹۳۰**	۸۱۵/۱۸۰**	۰/۰۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۶۰*	۰/۱۷۷۹ ^{ns}
مایکوریزا (m)	۲	۱۰۵/۴۵۰**	۳۳۴/۸۲۰**	۰/۰۰۰۷**	۰/۰۰۰۰۹ ^{ns}	۰/۹۸۸۰ ^{ns}
کود سولفات آهن (k)	۲	۹۱/۵۸۰**	۲۹/۳۸۰**	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۵۳*	۴/۶۹۰۰**
b*m	۲	۴/۸۸۰**	۴۶/۶۲۰**	۰/۰۰۱۳۰**	۰/۰۰۰۰۶*	۱۸/۵۶۰۰**
b*k	۲	۲۳/۴۲۰**	۴۲/۴۱۰**	۰/۰۰۲۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۳ ^{ns}	۲۱/۸۵۰۰**
m*k	۴	۲۱۴/۷۰۰**	۱۴۵/۵۲۰**	۰/۰۰۲۵۰**	۰/۰۰۰۵۳*	۷/۷۴۰۰**
b*m*k	۴	۳۹/۷۴۰**	۱۴۰/۶۶۰**	۰/۰۰۱۶۸**	۰/۰۰۰۳۲ ^{ns}	۱/۷۷۰۰*
خطای آزمایشی	۳۴	۰/۵۶۵۰	۰/۶۲۵	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۴	۰/۶۴۰۰

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار بودن را در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد نشان می دهند.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات اصلی قارچ میکوریز، باکتری مزوریزوبیوم و سولفات آهن بر صفات مورد مطالعه

سطوح	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	فسفر (درصد)	گوگرد (درصد)	پروتئین (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
عدم کاربرد ریزوبیوم	۱۶/۳ ^a	۵۰/۳۱ ^a	۰/۵۵ ^a	۰/۲۳۷ ^b	۲۴/۷۸ ^a	۲۱۴۰/۵۳ ^b
کاربرد ریزوبیوم	۱۴/۶۵ ^b	۴۲/۵۴ ^b	۰/۵۴ ^a	۰/۲۳۸ ^a	۲۵/۰۰ ^a	۲۷۹۵/۰۳ ^a
عدم کاربرد مایکوریزا	۱۳/۹۹ ^b	۴۱/۴۹ ^c	۰/۵۳ ^b	۰/۲۳۳ ^a	۲۵/۰۵ ^{ab}	۱۹۰۸/۲۸ ^c
گلو موس	۱۸/۲۷ ^a	۴۹/۴۷ ^a	۰/۵۶ ^a	۰/۲۳۷ ^a	۲۵/۱۳ ^a	۲۹۱۴/۸۱ ^a
گلو موس اینترادیس	۱۴/۱۶ ^b	۴۸/۳۱ ^b	۰/۵۶ ^a	۰/۲۳۵ ^a	۲۴/۵۰ ^b	۲۵۸۰/۲۵ ^b
عدم کاربرد کود	۱۸ ^a	۴۵/۲۰ ^c	۰/۵۵ ^a	۰/۲۳۲ ^b	۲۵/۳۲ ^a	۱۸۶۳/۴۲ ^c
۴۰ کیلوگرم در هکتار	۱۳/۶۴ ^c	۴۷/۷۵ ^a	۰/۵۵ ^a	۰/۲۳۱ ^b	۲۴/۴۰ ^b	۳۰۰۴/۰۰ ^a
۸۰ کیلوگرم در هکتار	۱۴/۷۸ ^b	۴۶/۳۱ ^b	۰/۵۵ ^a	۰/۲۴۱ ^a	۲۴/۹۶ ^{ab}	۲۵۳۵/۹۴ ^b

حروف مشابه در مقابل میانگین ها در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد بین آنهاست.

محبوبه خسروجردی و همکاران

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم سیسری بر صفات مورد مطالعه

سطوح قارچ	باکتری مزوریزوبیوم	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی گرم برکیلوگرم)	فسفر (درصد)	گوگرد (درصد)	پروتئین (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
عدم استفاده		۱۴/۶۰ ^c	۳۸/۷۶ ^f	۰/۵۰۴ ^c	۰/۲۲۳ ^b	۲۳/۹۴ ^c	۱۲۹۴/۷۷ ^f
گلوبوس اینترادیسه	بدون باکتری	۱۴/۶۹ ^c	۴۲/۵۹ ^e	۰/۵۸۳ ^a	۰/۲۳۲ ^{ab}	۲۵/۶۱ ^{ab}	۲۴۴۵/۱۱ ^e
گلوبوس موسه		۱۹/۹۶ ^a	۴۶/۲۶ ^c	۰/۵۸۱ ^a	۰/۲۴۰ ^a	۲۴/۸۹ ^b	۲۶۸۱/۷۲ ^c
عدم استفاده		۱۳/۳۹ ^d	۴۴/۲۱ ^d	۰/۵۶۶ ^{ab}	۰/۲۴۳ ^a	۲۵/۹۹ ^a	۲۵۲۱/۷۷ ^d
گلوبوس اینترادیسه	با باکتری	۱۳/۷۱ ^d	۵۴/۰۳ ^a	۰/۵۴۸ ^b	۰/۲۳۷ ^a	۲۳/۶۰ ^c	۲۷۱۵/۴۴ ^b
گلوبوس موسه		۱۶/۸۵ ^b	۵۲/۶۸ ^b	۰/۵۴۲ ^b	۰/۲۳۵ ^a	۲۵/۲۰ ^b	۳۱۴۷/۸۸ ^a

حروف مشابه در مقابل میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد بین آن‌هاست.

جدول ۵. مقایسه میانگین باکتری مزوریزوبیوم سیسری و کود سولفات آهن بر صفات مورد مطالعه

سطوح کودی	آهن (میلی گرم برکیلوگرم)	روی (میلی گرم برکیلوگرم)	فسفر (درصد)	گوگرد (درصد)	پروتئین (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
عدم کاربرد کود	۲۰/۰۵ ^a	۴۳/۰۸ ^d	۰/۵۵۸ ^a	۰/۲۲۷ ^{bc}	۴/۲۲ ^a	۱۷۳۱/۷۲ ^f
۴۰ کیلوگرم در هکتار	۱۳/۴۳ ^c	۴۲/۸۳ ^d	۰/۵۴۴ ^a	۰/۲۲۵ ^c	۳/۹۴ ^b	۲۴۰۳/۳۳ ^c
۸۰ کیلوگرم در هکتار	۱۵/۴۳ ^b	۴۱/۷ ^e	۰/۵۷۳ ^a	۰/۲۴۲ ^a	۳/۸۱ ^c	۲۲۸۶/۵۵ ^d
عدم کاربرد کود	۱۵/۹۵ ^b	۴۷/۳۲ ^c	۰/۵۴۷ ^a	۰/۲۳۷ ^{ab}	۳/۸۹ ^{bc}	۱۹۹۵/۱۱ ^e
۴۰ کیلوگرم در هکتار	۱۳/۸۵ ^c	۵۲/۶۷ ^a	۰/۵۵۷ ^a	۰/۲۳۸ ^{ab}	۳/۸۸ ^{bc}	۳۶۰۴/۶۶ ^a
۸۰ کیلوگرم در هکتار	۱۴/۱۴ ^c	۵۰/۹۳ ^b	۰/۵۴۲ ^a	۰/۲۴۱ ^a	۴/۱۸ ^a	۲۷۸۵/۳۳ ^b

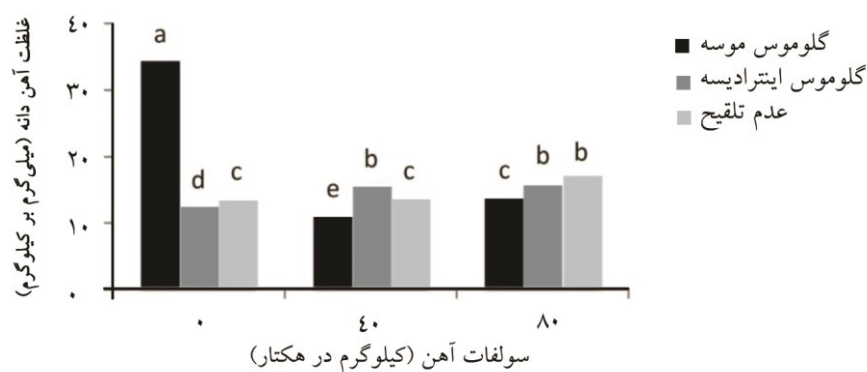
حروف مشابه در مقابل میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد بین آن‌هاست.

اثر متقابل قارچ میکوریزا و سولفات آهن بر عملکرد و غلظت‌های آهن، روی، فسفر و درصد پروتئین ($P < 0/01$) و گوگرد دانه ($P < 0/05$) معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین تیمارها نشان داد که تنها گلوبوس موسه و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آهن در اغلب صفات بیشترین تأثیر را داشته و پس از آن عدم کاربرد قارچ و کود در رتبه بعدس قرار داشت. میکوریزا با جذب مواد مغذی از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه و کاوش خاک به وسیله هیف‌های خارجی در ریشه‌های مویین و کاهش فسفر آن ناحیه به جذب آن کمک می‌کند. فسفر جذب شده به گرانول‌های پلی فسفات در هیف‌های خارجی تبدیل شده و توسط آربوسکولار آماده برای انتقال به گیاه میزبان می‌شود (آزکون، ۱۹۹۷). مشابه این مکانیسم برای عناصر روی، آهن، مس، منیزیم، کلسیم و پتاسیم نیز به کار رفته است. مصرف عناصر ریز مغذی علاوه بر افزایش عملکرد دانه، میزان پروتئین آن را نیز بهبود

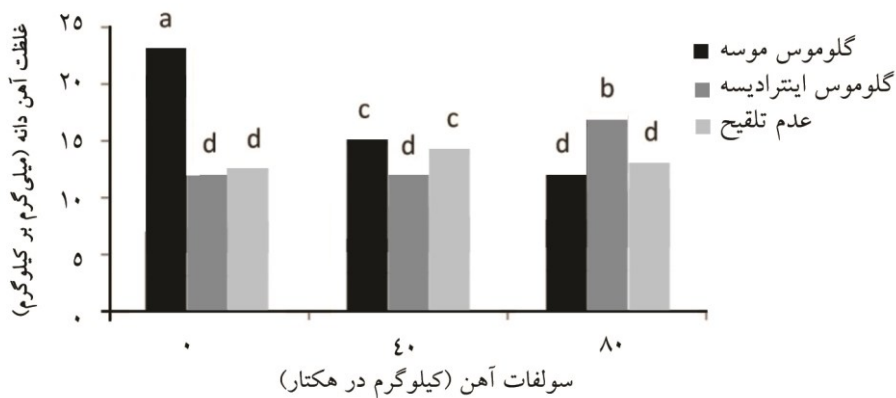
می‌بخشد. مطالعات بین فعل و انفعالات گوگرد و نیتروژن در گندم در سطح عملکرد نشان داد که گوگرد یک ترکیب ضروری برای آنزیم‌های درگیر در متابولیسم نیتروژن، یون نترات ردوکتاز و نیتريت ردوکتاز است و کمبود آن منجر به کاهش جذب نیتروژن و تجمع نترات در گیاهان می‌شود (کمپل، ۱۹۹۹؛ مندل، ۱۹۹۷؛ سوامی و همکاران، ۲۰۰۵).

اثر متقابل سه گانه نیز بر روی عملکرد دانه و غلظت‌های آهن، روی، فسفر ($P < 0.01$) و درصد پروتئین دانه ($P < 0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۲). در مقایسات میانگین تیمارها در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با ریزوبیوم بیشترین غلظت آهن در تلقیح با گلوموس موسه و عدم کاربرد کود سولفات آهن مشاهده شد (شکل ۱ و ۲). در لگوم‌ها، اسیدی شدن محیط ریزوسفر به وسیله آزادسازی پروتون H^+ توسط پمپ‌های پروتون و تراوش کربوکسیلیک اسید در این منطقه (مخصوصاً سیتریک اسید و مالیک اسید) توجیه اشکال را در افزایش آهن در تیمار عدم مصرف کود سولفات آهن می‌رساند (رومرا و همکاران، ۱۹۹۲). رضوانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز در بررسی کارایی سوبیه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزا در جذب آهن و روی در گیاه جو به این نتیجه دست یافتند که سوبیه‌های ترکیبی و پس از آن سوبیه گلوموس موسه بیشترین غلظت آهن را داشتند. مورگان و ماسگاکنی (۱۹۹۱) خاطر نشان کردند که رسوب ترکیبات به‌خصوصی از عنصر روی با افزایش pH، می‌تواند دلیلی برای کاهش قابلیت استفاده این عنصر در مقادیر بالای pH باشد. بنابراین گمان می‌رود افزایش جذب روی در اثر متقابل سه گانه (شکل ۳) دلیل اسیدی شدن خاک باشد. در واقع شرایط اسیدی که در نتیجه اکسیداسیون گوگرد به‌وجود می‌آید قابلیت جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش می‌دهد (اسلام و همکاران، ۲۰۰۹). قارچ میکوریزا جذب عناصر دیگری مانند گوگرد، بور، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، روی، منگنز، آهن، آلومنیوم و سیلسیم را افزایش می‌دهد (کلارک و زتو، ۲۰۰۰). به نظر می‌رسد نقش مفید میکوریزاها به ویژه در مورد جذب فسفر و عناصر ریزومغذی، مربوط به ناحیه‌ی تخلیه عناصر در اطراف ریشه می‌باشد و وسعت این ناحیه بستگی به حلالیت و قابل حرکت بودن عناصر در خاک دارد که در مورد نیتروژن زیاد و در مورد فسفر کم است و قارچ‌های میکوریزا با گسترش شبکه ریشه‌ای خود این محیط را افزایش می‌دهند (احمدی و همکاران، ۲۰۰۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد گونه گلوموس موسه در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح با مزوریزوبیوم و عدم مصرف کود سولفات آهن، درصد فسفر بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشت و تیمار شاهد کمترین مقدار فسفر دانه را به خود اختصاص داد (شکل ۴ و ۵). ترکیب تیماری ریزوبیوم و گلوموس موسه و سطح کودی ۸۰ کیلوگرم در هکتار با ۴۱۱۱/۶۶ کیلوگرم بیشترین میزان عملکرد دانه (شکل ۶) و تیمار شاهد با مقدار

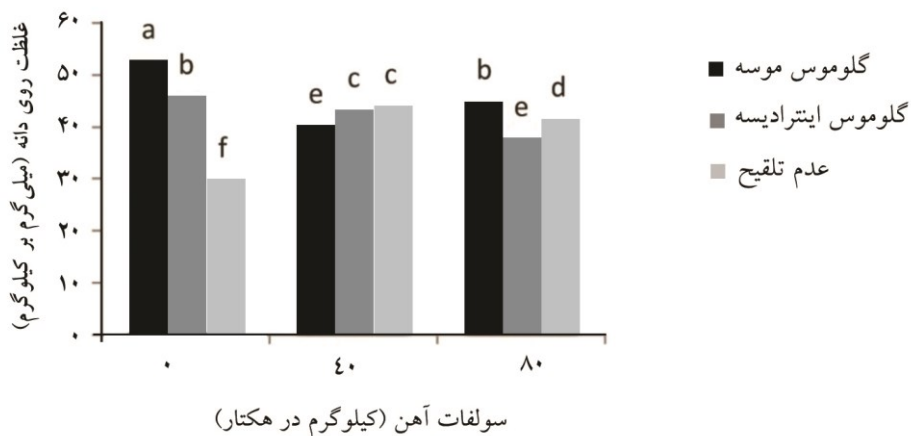
۱۱۱۵/۳۳ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. همچنین در شرایط عدم تلقیح با ریزوبیوم، گونه گلوموس موسه و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آهن بیشترین عملکرد دانه را نشان داد (شکل ۷).



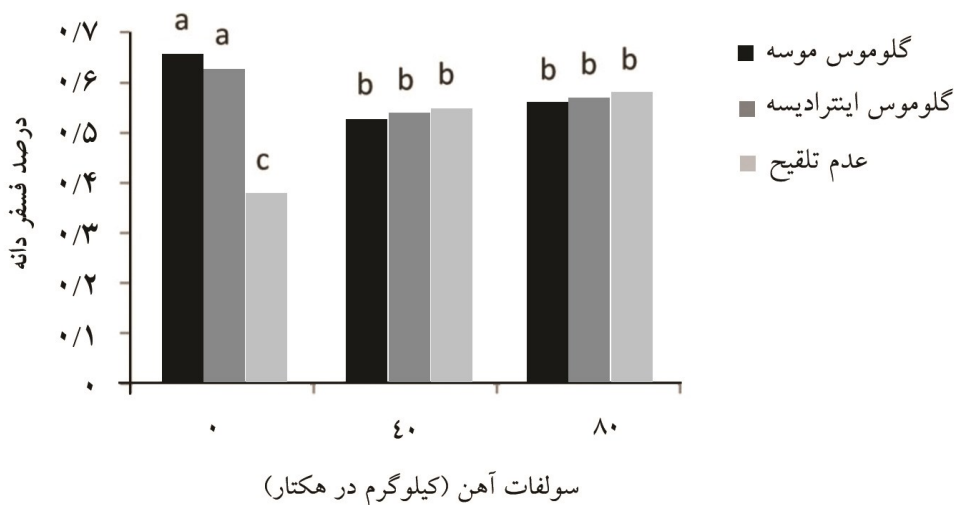
شکل ۱. اثر متقابل میکوریز و سولفات آهن در شرایط عدم تلقیح با ریزوبیوم بر غلظت آهن دانه.



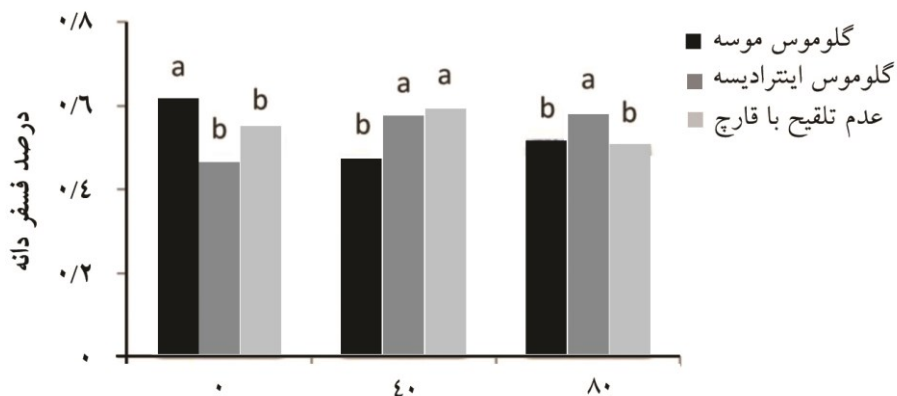
شکل ۲. اثر متقابل میکوریز و سولفات آهن در شرایط تلقیح با ریزوبیوم بر غلظت آهن دانه.



شکل ۳. اثر متقابل میکوریز و سولفات آهن در شرایط تلقیح با ریزوبیوم روی دانه

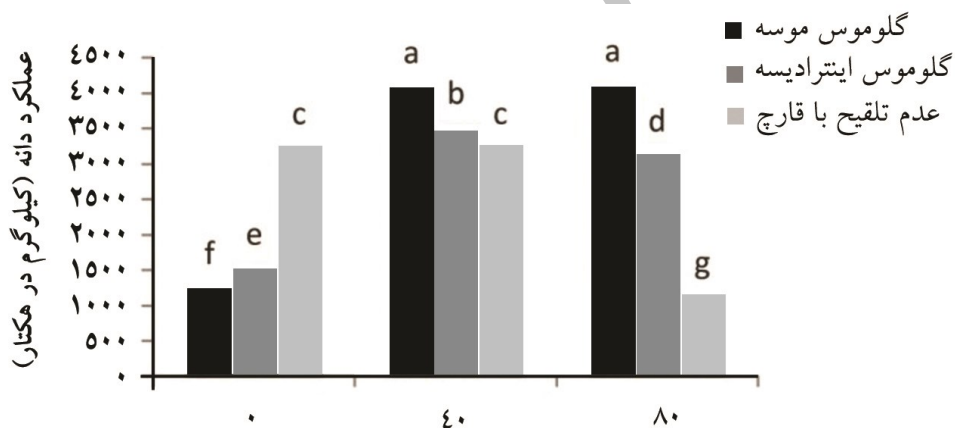


شکل ۴. اثر متقابل میکوریز و سولفات آهن در شرایط عدم تلقیح با مزوریزوبیوم بر درصد فسفر دانه



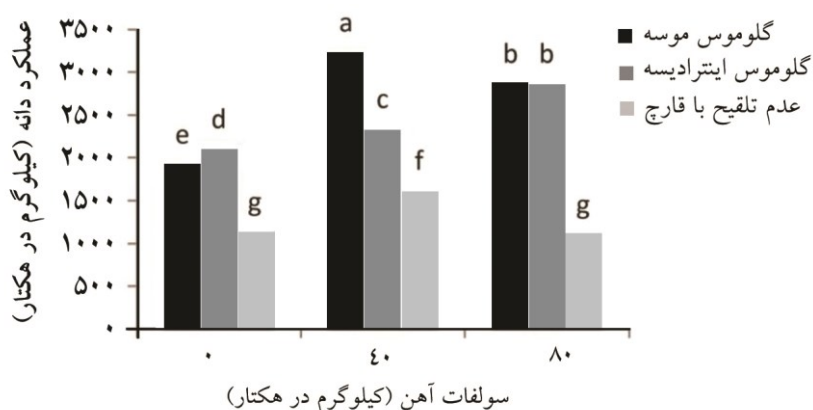
سولفات آهن (کیلوگرم در هکتار)

شکل ۵. اثر متقابل میکوریز و سولفات آهن در شرایط تلقیح با ریزوبیوم بر درصد فسفر دانه



سولفات آهن (کیلوگرم در هکتار)

شکل ۶. اثر متقابل میکوریز و سولفات آهن در شرایط تلقیح با ریزوبیوم بر عملکرد دانه



شکل ۷. اثر متقابل میکوریز و سولفات آهن در شرایط عدم تلقیح با ریزوبیوم بر عملکرد دانه

منابع

- Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P. and Jabbari, F. 2004. An Introduction to Plant Physiology (translated). The first volume. Tehran University Press.
- Al-Karaki, G.N. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. Sci. Hortic., 109p.
- Al-Karaki, G.N., and Al-Raddad, A. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. J. Mycorrhiza. 7: 83-88.
- Asadi Rahmani, H., Asgharzadieh, A., Khavazy, K., Rajali, F. and Savabeghi, Gh. P. 2007. Biological Soil Fertility, the Key to Sustainable Land use in Agriculture (translation). Publication of Jahad Tehran. 328p.
- Azcón, R., and El-Atrash, F., 1997. Influence of arbuscular mycorrhizae and phosphorus fertilization on growth, nodulation and N₂ fixation (¹⁵N) in *Medicago sativa* at four salinity levels. J. Biol. Fertil of Soils. 24: 81-86.
- Besharati, H., Saleh Rastin, N. 1999. Effect of *Thiobacillus* inoculant bacteria with sulfur sorption capacity increases. J. Soil Water Sci. 13: 23-39.
- Bharathi, C., and Poongothai, S. 2008. Direct and residual effect of sulphur on growth, nutrient uptake, yield and its use efficiency in maize and subsequent green gram. J. Agri. Biol. Sci. 4: 368-372.
- Calderón, F.J., McCarty, G.W., Van Kessel, J.A.S., and Reeves, J.B. 2004. Carbon and Nitrogen Dynamics During Incubation of Manured Soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1592-1599.

9. Daneshi, N., Asgharzadih, A. and Afshari, M. 2005. Effect of Rhizobium inoculants to increase the absorption of micronutrients in pea crops. Proceedings of the Ninth Congress of Soil Science, Iran. Vol. 2: 64-67.
10. Campbell, W.H. 1999. Nitrate reeducates structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bio. 50: 277-303.
11. Clark, R.B., and Zeto, S.K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. J. Plant Nut. 23: 867-902.
12. Diop, T.A., Krasova-wade, T., Diallo, A., Diouf, M., and Gueye, M. 2003. Solanum cultivar responses to arbuscular mycorrhizal fungi: growth and mineral status. Africal, J. Biotechno. 11: 429-433.
13. Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tüfenkçi, S., Oğuz, F., and Akköprü, A. 2011 . "Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1-Yield, yield components, nodulation and AMF colonization". Earth Sci. 122: 14-24.
14. Flavio, H., Gutierrez, B., Prystupa, P., and Gustavo, F. 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. J. Plant Nut. 30: 93-104.
15. 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. 4: 1-35.
16. ICRISAT (International Crop Research Institute or the Semi-Arid Tropics). 2010. Chickpea Seed Production Manual.
17. Islam, M. Safdar, A., and Hayat, A. 2009. Effect of integrated application of phosphorus and sulphur on yield and micronutrient uptake by chickpea (*Cicer arietinum*). International J. Agri. Biol. 11:33-38.
18. Kachhavae, K.G., Gawand, S.D. and Kohire, O.D. 1997. Up take of nutrients by chickpea. J. Indian Soc. Soil Sci. 45: 590-591.
19. Khaliel, A.S., and Sohaibani, S.A. 1993. Mycorrhizal Corn Growth in response to different iron levels. J. King Saudi Univ. 6: 5-11.
20. Kochaki, A., and Banayan-Aval, M. 1993. Beans. Mashhad University Jahad Press. 263p.
21. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic press. London. 448p.
22. Mendel, R. 1997. Molybdenum cofactor of higher plants. Biosynthesis and molecular biology. Planta. 203: 399-405.
23. Moraghan, J.T. and Mascagni, H.J. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities micronutrients in agriculture. Soil Sci. Sd. adison. Wis. USA. 371-425 In: S.H. Mickelso.
24. Moez Ardalan, M., Savaghebi and Firoozabadi, Gh. 2002. Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. Tehran University Press.

25. Ortas, I., 2010. Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. *Spanish J. Agri. Res.* 8: 116–122.
26. Paraskevopoulou-Paroussi, G., Karagiannidis, N., Paroussi, E., and Spanomitsios, G., 1997. The effect of mycorrhiza on nutrient uptake and plant development of three strawberry cultivars. In: van Scheer, H.A.T., Lieten, F., Dijkstra, J. (eds.). *Proc. Third Int. Strawberry Symp. Acta Hort.* 439 Vol. 2 ISHS .
27. Piotrowski, J.S., Denich, T., Klironomos, J.N., Graham, J.M., and Rillig, M.C., 2004. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. *New Phytologist.* 164: 365-373.
28. Rezvani, M., Zfryan, F., Ardekani, M.H., Fani Yazdi, A., Rajali, F. and Nour Mohamadi, Gh. 2011. The efficiency of different strains of mycorrhizal fungi in the uptake of iron and zinc in barley *Proceedings of the Soil Science Congress of Iran, Tabriz.*
29. Romera, F.J., Alcantara, E., and De La Guardia, M.D. 1992. Effect of bicarbonate, phosphate and high pH on the reducing capacity of the Fe-deficient sunflower and cucumber plants. *J. Plant Nutr.* 15:1519–30.
30. Ruiz-Lozano, J.M., Collados, C., Barea, J.M., and Azcón, R., 2001. Arbuscular mycorrhizal symbiosis can alleviate drought-induced nodule senescence in soybean plants. *New Phytol.* 151: 493-502.
31. Shirani Rad, A., Alizadeh, A., Hashemi Dezful A. 1996. Effects of mycorrhizal fungi Vesicular- Arbuscular bacterium *Bradyrhizobium japonicum* and P uptake efficiency of nutrients in soybeans. *Seed and Plant J.* 16:172-191.
32. Smith, S.E., and Read, D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis.* Academic Press, London, U.K.
33. Stancheva, I., Geneva, M., Zehirov, G., Tsvetkova, G., Hristozkova, M., and Georgiev, G. 2006. Effects of combined inoculation of pea plants with arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium on nodule formation and nitrogen fixing activity. *Gen. Appl. Plant Physiol.* 4: 61-66.
34. Swamy, U., Wang, M., Tripathy, J.N., Kim, S.K., Hirasawa, M., Knaff, D.B., and Allen, J.P. 2005. Structure of spinach nitrite reductase: implications for multi-electron reactions by the iron–sulfur: siroheme cofactor. *Biochem.* 44: 16054–16063.
35. Williams, P.C., and Singh, U. 1987. Nutritional quality and the evaluation of quality in breeding programmes. In: Saxena, M.C., Singh, K.B. (eds.). *The Chickpea.* CAB International, UK. 329-356.



Effect of rhizobium and mycorrhizal fungi inoculation on some nutrient uptake by chickpea at different levels of iron sulfate fertilizer

*M. Khosrojerdi¹, Sh. Shahsavani², M. Gholipor³ and H.R. Asghari²

¹MSc Student of Soil Science, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran,

²Assistant Prof., Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood,

Iran, ³Associate Prof., Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 12/16/2012 ; Accepted: 09/30/2013

Abstract

The study was designed to evaluate the impact of rhizobium bacteria, mycorrhizal fungi and iron sulfate on chickpea plants (Hashem cultivar). Treatments contain rhizobium bacteria (Inoculated and non-inoculated), mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* and non-inoculated) and various amounts of iron sulfate fertilizer (0, 40 and 80 kg per hectare) were evaluated in a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications in Sabzevar. The effects of three main factors and their interactions on yield, seed protein concentration in iron, zinc, phosphorus and sulfur in pea plants were evaluated. Biofertilizer application increased seed yield, zinc and phosphorus concentration. Application of iron sulfate increased seed yield, zinc and sulfate concentration. Combined incubation of mycorrhizal and rhizobium, mycorrhiza and iron sulfate increased concentrations of all elements and performance more than individual inoculation treatments and the species *Glomus Mosse* was more successful than *Glomus intraradices*. The interaction effect of treatments on all traits was significant at 5 and 1% probability level; except for the sulfur concentration.

Keywords: Chickpea, Iron sulfate, Rhizobium bacteria, Mineral concentration, Mycorrhizal fungi.

*Corresponding author; mkh_as89@yahoo.com