

تأثیر تنش خشکی و تیمارهای قارچ- ریشه آربوسکولار و ریزوبیوم بر غلظت عناصر غذایی ریشه، اندام هوایی و خاک در کشت نخود

صلاح الدین مرادی^{۱*}، حسین بشارتی^۲، ولی فیضی اصل^۳ و جمال شیخی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۲۰)

DOI: 10.18869/acadpub.ejgkst.8.2.13

چکیده

نخود جزو گیاهان خانواده لگومینوز می باشد که توانایی برقراری رابطه همزیستی با باکتری مزوریزوبیوم سیسری و قارچ های میکوریز آربوسکولار را دارد. به منظور بررسی اثر قارچ میکوریز آربوسکولار (گلوبوس موسه‌ی و گلوبوس اینترادیسز) و باکتری مزوریزوبیوم سیسری در سه سطح رطوبتی (۲۸٪ (رطوبت ظرفیت مزرعه)، ۱۵٪ (مکش ۵ بار) و ۹٪ (مکش ۱۰ بار)) بر غلظت عناصر غذایی ریشه و اندام هوایی نخود و خاک پس از برداشت گیاه، آزمایشی گلخانه‌ای در خاک استریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی، به صورت فاکتوریل اجرا شد. نتایج نشان داد که میزان رطوبت تأثیر معنی داری بر پتاسیم ریشه، اندام هوایی و خاک پس از برداشت گیاه داشت؛ بیشترین اثر مثبت مربوط به تیمار رطوبت ظرفیت مزرعه بود. باکتری ریزوبیوم اثر معنی داری بر غلظت پتاسیم و نیتروژن ریشه، فسفر اندام های هوایی و آهن خاک داشت. قارچ میکوریز اثر معنی داری بر میزان فسفر ریشه داشت و بیشترین اثر مربوط به تیمار گلوبوس موسه‌ی بود. اثر متقابل رطوبت و قارچ میکوریز بر فسفر ریشه و منگنز اندام های هوایی معنی دار شد و بیشترین اثر مربوط به تیمار گلوبوس موسه‌ی در رطوبت ظرفیت مزرعه بود. اثر متقابل رطوبت و ریزوبیوم بر نیتروژن و فسفر ریشه، منگنز و آهن اندام های هوایی معنی دار شد و بیشترین اثر مربوط به تیمار حاوی ریزوبیوم در رطوبت ظرفیت مزرعه بود. اثر متقابل باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریز بر فسفر ریشه معنی دار شد و بیشترین اثر مربوط به تیمار حاوی ریزوبیوم و گلوبوس موسه‌ی بود. بیشترین غلظت نیتروژن ریشه مربوط به تیمار تلفیق دو گونه قارچ میکوریز و مایه زنی شده با باکتری ریزوبیوم در سطح رطوبت ظرفیت مزرعه بود.

کلمات کلیدی: قارچ میکوریز، باکتری ریزوبیوم، خشکی، عناصر غذایی

مقدمه

نیاز برای فرایندهای بیولوژیک است و نقشی حیاتی در کشاورزی ایفا می کند. کافی نبودن منابع آب به عنوان مهم ترین عامل محدود کننده رشد گیاهان و تولید محصول در

تنش های خشکی، به همراه تنش گرما، سبب کاهش ۳/۳ میلیون تن از تولید جهانی نخود شده است (۲۰). آب اولین و مهم ترین

۱. گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران

۲. مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور

۳. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، مراغه

۴. گروه علوم خاک دانشگاه تهران

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: 6441ms@pnu.ac.ir

وسیع‌تری از شرایط محیطی و خاکی برای کشت در اراضی حاشیه‌ای مناطق خشک مناسب شناخته شده است (۲۲). تلقیح نخود با گونه‌های مؤثر ریزوبیوم، میزان تثبیت نیتروژن را ۵۲-۷۲ درصد افزایش داده است (۳۱).

در مناطق خشک و نیمه خشک جهان که قسمت عمده‌ای از اقلیم کشورمان را نیز در برمی‌گیرد، کافی نبودن منابع آب به عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان و تولید محصول شناسایی شده است. حدود ۹۰٪ تولید جهانی نخود مربوط به نواحی است که تولید در آن‌ها به بارندگی وابسته است و تنش خشکی در اواخر فصل عمده‌ترین عامل محدودکننده رشد می‌باشد (۱۲). نخود یکی از مهمترین حبوباتی است که در ایران سطح زیر کشت زیاد و تولید کمی دارد. تولید کم نخود در اراضی کشور دلایل متعددی می‌تواند داشته باشد که یکی از مهم‌ترین آنها تنش‌های خشکی است. ایران در سال ۲۰۰۴، ۴٪ از کل تولید جهانی نخود را به خود اختصاص داده بود. میزان صادرات نخود ایران در سال ۲۰۰۶، ۱۷۴۰۱۷ تن بوده است که ۱۴/۰۴ درصد از کل صادرات این محصول در دنیا را به خود اختصاص داده و ایران از این لحاظ پس از کشورهای ترکیه، استرالیا و مکزیک، در رده چهارم صادرات این محصول قرار دارد (۳۱).

میکوریز از اواخر سال ۱۸۰۰ میلادی مورد توجه دانشمندان قرار داشته است. در ابتدا بیشترین توجه و تحقیقات علمی در ارتباط با نقش میکوریز در جنگل‌ها بوده است. در حال حاضر، اطلاعات مربوط به قارچ‌های موجود در ریزوسفر گیاهان زراعی در حال افزایش است (۷). تمدن به ثبات کشاورزی بستگی دارد و این ارگانسیم‌های کوچک، که در مجاورت ریشه گیاهان زندگی می‌کنند، نقش قابل ملاحظه‌ای در ثبات تولید ایفا می‌کنند. این قارچ‌ها به عنوان عامل جذب و انتقال برخی عناصر غذایی از خاک به گیاه عمل می‌کنند و در تغذیه گیاه از اهمیت زیادی برخوردار هستند (۷). با مشاهده تأثیر مثبت این قارچ‌ها در افزایش جذب عناصر غذایی از خاک، بهبود بخشیدن به روابط آبی گیاه، افزایش راندمان مصرف آب

مناطق خشک شناسایی شده است (۳ و ۱۹). عمده‌ترین گیاهانی که نیتروژن تثبیت می‌کنند، لگوم‌ها هستند که با باکتری‌های جنس ریزوبیوم، همزیستی دارند. این نوع همزیستی، توانایی تأمین مقادیر زیادی نیتروژن را برای اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی دارد. همچنین، اثر مثبت این همزیستی در افزایش حاصل‌خیزی خاک از زمان‌های قدیم به اثبات رسیده است. به عنوان مثال، در زمین‌های کشاورزی، لگوم‌ها می‌توانند بیش از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال به خاک اضافه کنند (۶). بقولات در بین گیاهان زراعی از نظر توانایی تثبیت نیتروژن در اکوسیستم‌های زراعی، منحصر به فرد می‌باشند (۷).

نیتروژن از جمله عناصر پرمصرف و یکی از عناصر اصلی در تغذیه گیاه است. از نظر تاریخی، تا قبل از ظهور کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار، این نوع عملیات مدیریتی، روش اصلی تأمین نیتروژن در سیستم‌های زراعی بوده است. در کشاورزی پایدار، کمتر فرایندی را می‌توان یافت که اهمیت آن به تثبیت بیولوژیک نیتروژن برسد. نخود برای غلاتی که پس از آن کشت می‌شوند، سودمند گزارش شده است. حسین و همکاران (۱۰) و دلال و همکاران (۸) گزارش دادند که جذب نیتروژن، غلظت پروتئین و عملکرد اندام هوایی در کشت گندم پس از برداشت نخود، در مقایسه با کشت گندم پس از برداشت گندم، افزایش یافت. کشت جو پس از نخود سبب افزایش ۴۰٪ عملکرد نسبت به حالتی شد که جو پس از جو یا گندم کشت شده بود (۳۱). حیوانات از مهم‌ترین محصولات زراعی هستند که پروتئین بیشتری را در مقایسه با سایر محصولات زراعی دارند (۲۰). قرار دادن حیوانات در تناوب با غلات می‌تواند کمک شایان توجهی به وضعیت تغذیه‌ای و عملکرد غلات داشته باشد. نخود و سایر بقولات، به دلیل داشتن توانایی تثبیت نیتروژن، نقش مهمی در افزایش نیتروژن خاک و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی دارند. این گیاه به عنوان یک محصول کم هزینه در سیستم زراعی مناطق خشک و نیمه خشک، در تناوب با غلات، کشت می‌شود. نخود به دلیل سازگاری با طیف

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

مقدار	ویژگی	مقدار	ویژگی
۰/۱۴	نیتروژن کل (%)	۶۰	شن (%)
۶/۴	فسفر قابل دسترس (mg/kg)	۲۰	سیلت (%)
۵	آهن (mg/kg)	۲۰	رس (%)
۰/۱۷	روی (mg/kg)	۷/۹	پ-هاش
۳/۲	منگنز (mg/kg)	۰/۳۵	قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)
۱/۶	مس (mg/kg)	۰/۵	کربن آلی (%)
۱۲/۸	مواد خنثی شونده (%)	۱۵۵	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)

مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش، نمونه‌های مرکب خاک به مقدار کافی از افق سطحی (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) مزارع اطراف ایستگاه تحقیقات دیم شهرستان مراغه تهیه شد. پس از هواخشک کردن خاک و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مثل بافت خاک به روش هیدرومتری، پ-هاش در خمیر اشباع با استفاده از دستگاه پ-هاش‌متر، و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره خمیر اشباع با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی مشخص گردیدند. پتاسیم فراهم به روش فلیم فتومتری به کمک استات آمونیوم نرمال با پ-هاش برابر ۷، فسفر فراهم با بهره‌گیری از دستگاه اسپکتروفتومتری و به روش اولسن و واتنا به عصاره‌گیر آمونیوم مولبیدات و مقادیر آهن، مس، منگنز و روی قابل جذب گیاه از طریق عصاره‌گیری با DTPA و اندازه‌گیری با دستگاه طیف سنج جذب اتمی و نیتروژن کل با بهره‌گیری از دستگاه کج‌لدال تعیین شدند (۳). کربن آلی با روش والکی-بلاک اندازه‌گیری گردید. بافت خاک مورد استفاده سبک و محتوای عناصر غذایی آن کم بود (جدول ۱).

آزمایش در شرایط گلخانه‌ای، با سه تکرار، در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت کرت‌های خرد شده با سه فاکتور انجام شد. فاکتورها شامل باکتری مزوریزوبیوم سیسری سویه

در گیاه و در نهایت افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های خشکی از یک طرف و از طرف دیگر وجود بحران آب در کشورهای مختلف، محققین را بر آن داشته تا این جنبه از رابطه همزیستی به وجود آمده بین گیاه میزبان و قارچ میکوریز را بیش از پیش مورد بررسی قرار دهند (۲). همچنین، نتایج تحقیقات صورت گرفته مؤید نقش کلیدی قارچ‌های میکوریز در استقرار گیاهان اولیه روی خشکی‌ها می‌باشد (۲۴). استفاده توأم میکوریز و ریزوبیوم علاوه بر بهبود وضعیت تغذیه ای گیاه میزبان، سبب افزایش طول ریشه‌ها شده و جذب آب نیز به میزان بیشتری صورت می‌پذیرد، و این امر افزایش فتوسنتز، زیست‌توده گیاهی و تولید دانه بیشتر را به همراه دارد. گیاه نخود با این قارچ‌ها و باکتری‌های ریزوبیوم رابطه همزیستی برقرار می‌کند. از طرفی، این میکروارگانیسم‌ها در درازمدت می‌توانند جایگزینی برای کودهای شیمیایی باشند تا از این طریق نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی و مضرات ناشی از آنها را کاهش دهند (۱۷). با توجه به اینکه حدود ۹۵٪ سطح زیرکشت نخود در ایران به صورت دیم کشت می‌شود و تنش رطوبتی مهمترین عامل محدود کننده رشد آن در این محیط به‌شمار می‌آید، لذا استفاده از روش‌های بهبود وضعیت رطوبتی و به دنبال آن شرایط تغذیه‌ای گیاه می‌تواند در تولید آن در شرایط دیم مؤثر واقع شود. برای دستیابی به این هدف، آزمایش حاضر به اجرا درآمد.

آسیب نبینند و گیاه به صورت کامل برداشت شد، خاک شسته شده جمع‌آوری و جهت انجام آزمایش‌های بعدی به آزمایشگاه منتقل شد. سپس، نمونه‌های ریشه و اندام‌های هوایی در داخل پاکت‌های مخصوص گذاشته شد و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسوس در آون خشک و جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی، مس، منگنز و آهن نمونه‌های ریشه و اندام‌های هوایی با استفاده از آسیاب برقی پودر شدند. غلظت نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجلدال، پتاسیم با استفاده از روش فلیم فتومتر، فسفر قابل جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری و مقادیر آهن، مس، منگنز و روی با دستگاه جذب اتمی تعیین گردید (۱). در خاک، پس از برداشت گیاه، نیتروژن با استفاده از دستگاه کجلدال، پتاسیم قابل جذب گیاه با استفاده از روش فلیم فتومتر، فسفر قابل جذب به روش اولسن و واتانابه و مقادیر آهن، مس، منگنز و روی قابل جذب گیاه از طریق عصاره‌گیری با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (۳). اطلاعات به‌دست آمده از این پژوهش، مطابق قالب آماری طرح، به کمک نرم‌افزارهای SAS و MSTATC تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت عناصر غذایی ریشه و اندام‌های هوایی

اثر رطوبت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف رطوبتی بر میزان پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی در سطح ۵٪ معنی‌دار و بر غلظت سایر عناصر معنی‌دار نبود. با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، بیشترین میزان پتاسیم اندام هوایی و ریشه مربوط به تیمار رطوبتی ظرفیت مزرعه بود؛ هر چند که اختلاف معنی‌داری با سطح رطوبت منفی ۵ بار نداشت. کمترین میزان پتاسیم به تیمار تنش شدید رطوبتی (رطوبت ۹٪) اختصاص داشت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که در

IC59 در دو سطح (مایه‌زنی با باکتری و بدون مایه‌زنی)، قارچ میکوریز آربسکولار در چهار سطح (گلو موس موسه‌ی، گلو موس اینترادیسز، تلفیق گلو موس موسه‌ی و گلو موس اینترادیسز، و بدون قارچ میکوریز) و تنش رطوبتی در سه سطح (رطوبت ظرفیت مزرعه، تنش ملایم رطوبتی (منفی ۵ بار) و تنش شدید رطوبتی (منفی ۱۰ بار)) بود. در خاک مورد نظر، رطوبت ظرفیت مزرعه (گنجایش زراعی) برابر ۲۸٪ وزنی، مکش ۵ بار برابر ۱۵٪ وزنی و مکش ۱۰ بار برابر ۹٪ وزنی برآورد گردید. در آزمایش حاضر، کرت‌های اصلی شامل سه سطح رطوبتی خاک (۹، ۱۵ و ۲۸٪ وزنی) و کرت‌های فرعی به صورت فاکتوریل دارای چهار سطح قارچ میکوریز آربسکولار و دو سطح باکتری ریزوبیوم بود.

خاک مذکور در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۲۵ دقیقه استریل شده و به گلدان‌های ۱۵ کیلوگرمی انتقال یافت. گیاه مورد آزمایش نخود (*Cicer arietinum* L.) رقم ILC ۴۸۲ بود. پیش از کاشت، به گلدان‌های دارای تیمار میکوریز به اندازه ۱۰۰ گرم مایه زیستی قارچ‌های یادشده افزوده شد. این کار با پخش کردن مایه تلقیح در چند سانتی‌متری محل قرارگیری بذر صورت گرفت. مایه تلقیح قارچ‌های میکوریز از دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین اهواز تهیه گردید و فراوانی اسپور قارچ در همه تیمارهای دارای میکوریز یکسان بود. به تیمار شاهد هیچ میکوریزی اضافه نشد. همچنین، بذرهای نخود تیمار مایه‌زنی با ریزوبیوم با مزوریزوبیوم سیسری مایه‌زنی شدند. سپس، در هر گلدان ۵ بذر نخود کشت شد که پس از دو هفته تعداد بوته‌ها به ۳ عدد در هر گلدان تقلیل یافت. گلدان‌ها در گلخانه با نور طبیعی و دمای ۱۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس و طول روز ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت خاموشی قرار داده شدند. اعمال تیمارهای تنش رطوبتی از طریق توزین گلدان‌ها با ترازوی دیجیتال صورت گرفت. گلدان‌ها در گلخانه تا مرحله تولید غلاف و تولید دانه به مدت ۹۵ روز نگه‌داری شدند. با پایان یافتن دوره رشد گیاه نخود، خاک‌های موجود در گلدان‌ها شسته شدند به طوری که ریشه‌ها

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر رطوبت بر غلظت پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی نخود

رطوبت	پتاسیم اندام هوایی (%)	پتاسیم ریشه (%)
ظرفیت مزرعه (۲۸٪)	۳/۶۳ a	۳/۰۶۴ a
منفی ۵ بار (۱۵٪)	۳/۵۴ a	۲/۹۹۴ a
منفی ۱۰ بار (۹٪)	۲/۵۵ b	۲/۴۶۶ b
LSD 5%	۰/۸۹	۱/۲۵۷۲

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریز بر غلظت نیتروژن و فسفر ریشه نخود

قارچ میکوریز	نیتروژن ریشه (%)	فسفر ریشه (%)
بدون قارچ	۰/۹۷b	۰/۳۴۷ b
گلو موس موسه‌ی (Gm)	۱/۱۳۶b	۰/۵۱۲ a
گلو موس اینترادیسز (Gi)	۱/۰۹۴b	۰/۴۲۷ ab
Gi و Gm	۱/۴۰۸a	۰/۳۵۳ b
LSD 5%	۰/۲۵۶	۰/۱

را بر غلظت نیتروژن نشان می‌دهد. هرچند این اثر معنی‌دار نبوده است. این موضوع نمی‌تواند دلیلی بر اثرهای مثبت تلفیقی باشد، بلکه نشان‌دهنده اثر تجمعی مثبت هر دو قارچ بر نیتروژن می‌باشد (قارچ‌ها اثر مثبت یکدیگر را تشدید نکرده‌اند. بلکه زمانی که با هم تلقیح شده‌اند اثر مجموع دوگانه آنها به صورت برابری معنی‌دار شده است). مایه‌زنی نخود با قارچ گلو موس موسه‌ی، غلظت فسفر ریشه را ۴۷٪ در مقایسه با سطح شاهد افزایش داد، در حالی که اثر قارچ گلو موس اینترادیسز به تنهایی و تلقیح دو قارچ روی غلظت فسفر ریشه معنی‌دار نبود. این نتایج با نتایج اوجها و همکاران (۱۵) که بیان نمودند قارچ میکوریز آربسکولار سبب افزایش میزان فسفر ریشه و اندام‌های هوایی شد، مشابه بود. اوکیف و سیلویا (۱۶) گزارش نمودند که در همزیستی میکوریزی، مقدار بیشتری فسفر جذب می‌گردد. همچنین، قارچ‌های میکوریز به دلیل داشتن آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی (۲۸) و فسفاتاز قلیایی (۱۱) سبب افزایش جذب فسفر آلی می‌شوند. قارچ‌های میکوریز با ترشح اسیدهای آلی، مثل اگزالات‌ها، که میل ترکیبی آنها با آهن، کلسیم و آلومینیوم بیشتر از میل ترکیبی با فسفر است، باعث آزاد شدن فسفر ترکیب شده

رطوبت‌های کم، غلظت پتاسیم در ریشه و اندام‌های هوایی می‌تواند محدود کننده رشد گیاه نخود باشد که با افزایش تنش خشکی اثر منفی کمبود پتاسیم نیز بیشتر می‌شود. ال-کراکی و همکاران (۵) گزارش کردند که تنش خشکی از عوامل بسیار مهم محدودکننده در جذب عناصر غذایی توسط گیاه است که از این طریق باعث کاهش شدید عملکرد می‌شود. هیس و رز (۹) گزارش دادند که افزایش رطوبت خاک با افزایش جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم همراه است.

اثر قارچ میکوریز آربسکولار

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر قارچ میکوریز بر فسفر (در سطح احتمال ۱٪) و نیتروژن (در سطح احتمال ۵٪) ریشه معنی‌دار ولی بر سایر عناصر معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که مایه‌زنی نخود با قارچ‌های گلو موس موسه‌ی و گلو موس اینترادیسز به تنهایی اثر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن ریشه نداشت. ولی مایه‌زنی با تلفیق دو قارچ میکوریز، غلظت نیتروژن ریشه را در مقایسه با سطح بدون قارچ به میزان ۴۴٪ افزایش داد. البته، نتایج اثر مثبت تک‌تک قارچ‌ها

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر باکتری ریزوبیوم بر غلظت نیتروژن و پتاسیم ریشه و فسفر و پتاسیم اندام‌های هوایی نخود

ریزوبیوم	نیتروژن ریشه (%)	پتاسیم ریشه (%)	فسفر اندام هوایی (%)	پتاسیم اندام هوایی (%)
شاهد	۱/۰۳۸b	۲/۲۱ b	۰/۴۸۴ b	۲/۹۷ b
ریزوبیوم	۱/۲۶۷a	۲/۸۰۶ a	۰/۵۵ a	۳/۵ a
LSD 5%	۰/۱۸۱۲	۰/۴	۰/۰۶	۰/۵

میانگین‌ها (جدول ۵) کاربرد قارچ میکوریز در سطوح رطوبتی ظرفیت مزرعه و مکش منفی ۵ بار اثر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن ریشه نداشت. ولی در مکش ۱۰ بار، تلفیق دو قارچ با هم در مقایسه با سطح شاهد و هر یک از دو قارچ به تنهایی، غلظت نیتروژن ریشه را به طور معنی‌داری افزایش داد. زمانی که گیاه تحت تنش ملایم رطوبتی (۱۵٪) یا شرایط رطوبت مزرعه قرار گرفت، اثر تیمارهای دارای قارچ میکوریز بر غلظت فسفر ریشه بیشتر از اثر تیمار فاقد قارچ میکوریز بود. ولی زمانی که گیاه در شرایط تنش رطوبتی شدید (رطوبت ۹٪) قرار گرفت، غلظت فسفر ریشه در تیمار بدون میکوریز اختلاف معنی‌داری با تیمارهای دارای میکوریز نداشت. اثر گلوبوس اینترادیسز بر غلظت فسفر ریشه در شرایط تنش ملایم و شدید رطوبتی بهتر از اثر سایر تیمارهای میکوریزی بود. به عبارتی، غلظت فسفر ریشه در تیمار دارای مکش ۵ بار همراه با گلوبوس اینترادیسز، نه تنها بیشتر از میزان آن در سایر تیمارهای میکوریزی این تنش بود، بلکه از میزان فسفر ریشه در تیمارهای میکوریزی قرار گرفته در شرایط ظرفیت مزرعه (به استثنای گلوبوس موسه‌ی به تنهایی) نیز بیشتر بود. در مکش‌های ۵ بار و ۱۰ بار، اثر گلوبوس اینترادیسز بهتر از سایر تیمارهای میکوریزی می‌باشد که این موضوع نشان‌دهنده اثر مثبت گلوبوس اینترادیسز می‌باشد. به عبارتی، می‌توان گفت که در آزمایش حاضر، در شرایط تنش خشکی، اثر قارچ گلوبوس اینترادیسز بر غلظت عنصر غذایی فسفر در ریشه مؤثرتر از گلوبوس موسه‌ی بود. همچنین، کاربرد جداگانه گلوبوس اینترادیسز بهتر از کاربرد توأم آن با

با این عناصر می‌گردند. اگرالوات در نهایت توسط اکتینومیسست‌ها تجزیه شده و دی‌اکسیدکربن حاصل می‌گردد که این امر سبب کاهش پ-هاش خاک و افزایش انحلال ترکیبات فسفر می‌گردد (۱۸ و ۱۹).

اثر باکتری ریزوبیوم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ریزوبیوم بر پتاسیم (در سطح احتمال ۱٪) و نیتروژن (در سطح احتمال ۵٪) ریشه، و فسفر و پتاسیم (در سطح احتمال ۵٪) اندام‌های هوایی معنی‌دار بود. نتایج (جدول ۴) نشان داد که باکتری ریزوبیوم (مزریزوبیوم سیسری) بر غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم اثر مثبت دارد و این امر می‌تواند سبب افزایش عملکرد نخود شود.

توگای و همکاران (۲۹) نیز نتایج مشابهی را در مورد اثر ریزوبیوم در نخود ارائه کردند. این محققین گزارش نمودند که مایه‌زنی بذرهاي نخود با ریزوبیوم سبب افزایش میزان نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، منگنز و روی در ساقه و ریشه نخود گردید. این نتایج همچنین نشان داد که میزان آهن و مس اندام‌های هوایی در تیمارهای فاقد ریزوبیوم بیشتر از تیمارهای مایه‌زنی شده بود.

اثر متقابل رطوبت و قارچ میکوریز آربسکولار

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل رطوبت و میکوریز بر منگنز اندام‌های هوایی (در سطح احتمال ۵٪) و نیتروژن و فسفر ریشه (در سطح احتمال ۱٪) معنی‌دار بود. با توجه به مقایسه

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت و قارچ میکوریز بر غلظت نیتروژن و فسفر ریشه و منگنز اندام‌های هوایی نخود

رطوبت	قارچ میکوریز	نیتروژن ریشه (%)	فسفر ریشه (%)	منگنز اندام‌های هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم)
ظرفیت مزرعه (۰/۲۸)	شاهد	۱/۱۳ b	۰/۳۶۴ b	۳۶/۲ b
	موسه‌ی	۱/۴۴۵ b	۰/۷۰۳ a	۴۹/۶ a
	اینتراادیسز	۰/۷۴۳ b	۰/۳۶۶ b	۲۹/۹ b
	موسه‌ی و اینتراادیسز	۰/۸۶۸ b	۰/۳۶ b	۳۱/۵ b
منفی ۵ بار (۰/۱۵)	شاهد	۱/۰۷ b	۰/۲۸۶ b	۲۵ b
	موسه‌ی	۱/۱۶ b	۰/۴۹۷ ab	۲۸/۸ b
	اینتراادیسز	۱/۰۶۸ b	۰/۵۱۱ ab	۳۶/۷ b
	موسه‌ی و اینتراادیسز	۰/۹۱۳ b	۰/۲۹ b	۳۷/۵ b
منفی ۱۰ بار (۰/۹)	شاهد	۱/۰۸۳ b	۰/۴۰۸ b	۳۸/۵ ab
	موسه‌ی	۱/۱۲۷ b	۰/۳۳۶ b	۳۶/۳ b
	اینتراادیسز	۱/۱ b	۰/۴۰۵ b	۳۵/۳ b
	موسه‌ی و اینتراادیسز	۲/۴۴۵ a	۰/۳۹ b	۳۴/۸ b
	LSD 5%	۰/۶۸۶۷	۰/۲	۱۶

در حد مناسبی نباشد (مکش ۵ بار) کاربرد توأم گلوموس موسه‌ی با گلوموس اینتراادیسز بیشترین اثر را در عنصر یاد شده داشت. با توجه به این موضوع می‌توان گفت که کاربرد توأم گلوموس موسه‌ی با گلوموس اینتراادیسز در شرایط تنش ملایم رطوبتی نه تنها اثر منفی ناشی از کاهش رطوبت در جذب این عنصر را تعدیل می‌کند، بلکه عملکرد بهتری را نیز نسبت به دیگر تیمارهای میکوریزی عاید می‌سازد. اما زمانی که تنش شدید رطوبتی اعمال گردید، تلفیق دو نوع میکوریز نه تنها اثر بیشتری نداشت، بلکه اثر آن کمتر از اثر سه تیمار دیگر میکوریزی بود. اوجها و همکاران (۱۵) بیان نمودند که قارچ‌های میکوریز آربوسکولار سبب افزایش میزان فسفر ریشه و اندام‌های هوایی می‌شوند. نوگویرا و همکاران (۱۴) اثر سه نوع قارچ میکوریز را در عملکرد و میزان جذب عناصر غذایی سویا در دو خاک با محتوای متفاوت منگنز ارزیابی کردند. آنها نتیجه گرفتند که میکوریز در هر دو خاک، جذب عناصر غذایی را بهبود بخشیده و زیست‌توده گیاهی را افزایش داد. میزان منگنز ریشه و اندام‌های هوایی در تیمار دارای میکوریز بیشتر از

گلوموس موسه‌ی بود. کاربرد توأم گلوموس موسه‌ی با گلوموس اینتراادیسز در شرایط تنش شدید رطوبتی (مکش ۱۰ بار) مؤثرتر و کارتر از کاربرد گلوموس موسه‌ی به تنهایی بود. اما در شرایط رطوبتی ظرفیت مزرعه و تنش ملایم رطوبتی (مکش ۵ بار) عکس این حالت حاکم بود. کاربرد گلوموس موسه‌ی در شرایطی که رطوبت خاک بهینه بود (رطوبت ظرفیت مزرعه)، بیشترین اثر را بر غلظت فسفر ریشه داشت. اما زمانی که رطوبت خاک در شرایط تنش (مکش ۵ و ۱۰ بار) بود کاربرد گلوموس اینتراادیسز بیشترین اثر را بر فسفر ریشه داشت و این اثر مثبت حتی از شرایط مناسب رطوبتی نیز بیشتر بود. پس کاربرد گلوموس اینتراادیسز در شرایط تنش ملایم و شدید رطوبتی نه تنها اثر منفی ناشی از کاهش رطوبت را تعدیل می‌کند، بلکه عملکرد بهتری را نیز نسبت به شرایط ایده‌آل رطوبتی عاید می‌سازد.

نتایج میزان منگنز در اندام‌های هوایی نشان داد که کاربرد گلوموس موسه‌ی در شرایطی که رطوبت خاک بهینه (ظرفیت مزرعه) باشد، بیشترین اثر را دارد. اما زمانی که رطوبت خاک

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت و باکتری ریزوبیوم بر غلظت نیتروژن و فسفر ریشه و آهن و منگنز اندام‌های هوایی نخود

رطوبت	باکتری ریزوبیوم	نیتروژن ریشه (%)	فسفر ریشه (%)	آهن اندام هوایی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	منگنز اندام هوایی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
ظرفیت مزرعه (۰/۲۸)	شاهد	۰/۹۵۳ b	۰/۳۵۱ b	۱۶/۹ b	۳۰/۵ b
	ریزوبیوم	۰/۹۷۸ b	۰/۵۴۶ a	۲۹/۵ a	۴۳/۱ a
مکش ۵ بار (۰/۱۵)	شاهد	۱/۰۸۹ b	۰/۳۸۵ b	۲۰ ab	۳۶/۳ ab
	ریزوبیوم	۱/۰۱۶ b	۰/۴۰۷ b	۱۶/۹ b	۳۲/۶ ab
مکش ۱۰ بار (۰/۹)	شاهد	۱/۰۷۱ b	۰/۴۰۸ b	۲۵/۱ ab	۳۸/۷ ab
	ریزوبیوم	۱/۸۰۶ a	۰/۳۶۲ b	۲۰/۴ ab	۳۳/۸ ab
	LSD 1%	۰/۶۸۰۸	۰/۱۶	۱۰/۹	۱۴

با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶) مایه‌زنی نخود با باکتری ریزوبیوم در سطوح رطوبتی ظرفیت مزرعه و مکش ۵ بار اثر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن ریشه نداشت. ولی در مکش ۱۰ بار، کاربرد ریزوبیوم در مقایسه با سطح شاهد، غلظت نیتروژن ریشه را به طور معنی‌داری افزایش داد. مایه‌زنی نخود با باکتری ریزوبیوم در طوبت ظرفیت مزرعه، غلظت فسفر ریشه را در مقایسه با سطح شاهد ۵۶٪ افزایش داد. ولی کاربرد ریزوبیوم در تنش رطوبتی ملایم و شدید اثر معنی‌داری بر فسفر ریشه نداشت. در مورد غلظت آهن و منگنز، اثر تیمار دارای ریزوبیوم در مکش‌های ۵ و ۱۰ بار کمتر از تیمار فاقد ریزوبیوم بود. هر چند اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود. ولی در رطوبت ظرفیت مزرعه، کاربرد ریزوبیوم در مقایسه با سطح شاهد، غلظت آهن و منگنز اندام هوایی را به طور معنی‌داری افزایش داد. سینگلتون و تاوارس (۲۳) بیان نمودند که گونه‌های مختلف ریزوبیوم در تعداد و زیست‌توده گره‌های ریشه لگوم‌ها اثر مثبت داشتند. اما در میزان نیتروژن اندام‌های هوایی اثر معنی‌داری نداشتند.

تیمارهای فاقد میکوریز بود. گزارش شده که همزیستی بین ذرت و قارچ گلوموس اینترادیسز در شرایط تنش رطوبتی، میزان جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و منگنز را در دانه‌های ذرت افزایش داده است (۲۷). ال-کراکی و کلارک (۴)، افزایش کارایی مصرف آب و جذب عناصر غذایی در دو واریته گندم مقاوم و حساس به خشکی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که قسمت عمده کاهش وزن ایجاد شده ناشی از تنش رطوبتی از طریق برقراری همزیستی میکوریزی قابل جبران می‌باشد. جذب عناصر معدنی در تیمارهای مایه‌زنی شده بیشتر از تیمارهای مایه‌زنی نشده بوده و این تفاوت مقدار جذب، در تیمارهای تحت تنش خشکی افزایش یافته است. همچنین، کارایی مصرف آب در گیاهان مایه‌زنی شده بیشتر از گیاهان مایه‌زنی نشده بوده و این تفاوت نیز در تیمارهای تحت تنش خشکی افزایش یافته است. لی و همکاران (۱۳) نیز نتایج مشابهی را در مورد غلظت عناصر غذایی در نخود گزارش کردند.

اثر متقابل رطوبت و باکتری ریزوبیوم

اثر متقابل قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم تنها بر غلظت فسفر ریشه در سطح احتمال ۱٪

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رطوبت و ریزوبیوم بر نیتروژن ریشه و آهن و منگنز اندام‌های هوایی (در سطح احتمال ۱٪) و فسفر ریشه (در سطح احتمال ۵٪) معنی‌دار بود.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم بر غلظت فسفر ریشه نخود

فسفر ریشه (%)	باکتری ریزوبیوم	قارچ میکوریز
۰/۳۸۶ b	شاهد	شاهد
۰/۳۱۹ b	ریزوبیوم	
۰/۳۵۵ b	شاهد	موسه‌ی
۰/۶۶۹ a	ریزوبیوم	
۰/۴۲۳ b	شاهد	ایترارادیسز
۰/۴۳۱ b	ریزوبیوم	
۰/۳۶۱ b	شاهد	موسه‌ی و ایترارادیسز
۰/۳۳۳ b	ریزوبیوم	
۰/۱۴	LSD 1%	

شده و بدین گونه هدایت هیدرولیکی ریشه افزایش می‌یابد که این به افزایش فتوسنتز در گیاه می‌انجامد و مایه افزایش رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود. کاربرد ریزوبیوم در تیمار فاقد میکوریز و تلفیق دو میکوریز سبب کاهش غلظت فسفر ریشه نخود گردید. اما زمانی که با موسه‌ی و ایترارادیسز همراه بود، سبب افزایش غلظت فسفر ریشه شد؛ هر چند از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. این نتایج نشان می‌دهد که اثر ریزوبیوم همراه با میکوریز در غلظت فسفر ریشه نخود اثری مثبت و معنی‌دار دارد. اوچها و همکاران (۱۵) بیان نمودند که اثر مثبت قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم در رشد گیاه و بهبود صفات مورفولوژیک مرتبط با رشد ممکن است به دلیل اثر این میکروارگانیسم‌ها در بهبود جذب عناصر غذایی ضروری باشد. این محققین همچنین اظهار داشتند که کاربرد قارچ میکوریز آربوسکولار سبب افزایش میزان فسفر ریشه و اندام‌های هوایی شد. گزارش شده که مایه‌زنی سویا با قارچ‌های میکوریز (گلوبوس موسه‌ی و گلوبوس فاسیکولاتوم) و باکتری برادی ریزوبیوم جاپونیکوم سبب افزایش غلظت نیتروژن و فسفر، سطح برگ، میزان فتوسنتز و رشد کلی گیاه در تیمارهای مایه‌زنی شده نسبت به تیمار شاهد می‌گردد (۲۱ و ۲۵).

معنی‌دار بود. مقایسه میانگین (جدول ۷) اثر متقابل قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم نشان داد که بیشترین غلظت فسفر ریشه در کاربرد توأم قارچ گلوبوس موسه‌ی و باکتری ریزوبیوم به‌دست آمد. در تیمارهای دارای ریزوبیوم، ترتیب مؤثر بودن تیمارهای میکوریزی به این شکل بود که گلوبوس موسه‌ی از بقیه مؤثرتر بود و تیمارهای گلوبوس ایترارادیسز، تلفیق دو نوع میکوریز و فاقد میکوریز (شاهد) در رده‌های بعدی بودند؛ هر چند از لحاظ آماری معنی‌دار نبودند. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد میکوریز سبب بهبود غلظت فسفر در ریشه گیاه نخود گردید. همچنین، در حالتی که ریزوبیوم وجود دارد، گلوبوس موسه‌ی فسفر بیشتری را در ریشه نخود ایجاد می‌کند. اما در خاک استریل و فاقد ریزوبیوم، میکوریز گلوبوس ایترارادیسز مؤثرتر از سایر تیمارهای میکوریزی است. اثر تیمار گلوبوس ایترارادیسز بدون ریزوبیوم در غلظت فسفر بیشتر از اثر سایر تیمارها (به استثنای گلوبوس موسه‌ی، ریزوبیوم) است. این امر نشان می‌دهد که ایترارادیسز می‌تواند اثر عدم حضور ریزوبیوم را جبران کند. این موضوع نشان دهنده این است که اثر ایترارادیسز در افزایش غلظت فسفر ریشه نخود بیشتر از اثر ریزوبیوم است. در گیاهان میکوریزی، با گسترش شبکه هیف قارچ در خاک پیرامون ریشه، رویه جذب کننده آب بیشتر

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح رطوبتی، قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم بر غلظت نیتروژن ریشه نخود

قارچ	باکتری	ظرفیت مزرعه	منفی ۵ بار	منفی ۱۰ بار
میکوریز	ریزوبیوم	(٪۲۸)	(٪۱۵)	(٪۹)
شاهد	شاهد	۰/۹۹bcd	۰/۹۲bcd	۰/۵۹d
موسه‌ی	شاهد	۱/۰۱bcd	۱/۲۲bc	۱/۱۱۵bcd
	شاهد	۱/۲۷b	۱/۰۵۵bcd	۱/۰۵bcd
ایترارادیسز	ریزوبیوم	۱/۲۳bc	۱/۲۶۵bc	۱/۲۰۵bc
	شاهد	۰/۶۶۵bcd	۱/۲۱۵bc	۱/۲۴۵bcd
	ریزوبیوم	۰/۸۲bcd	۰/۹۲bcd	۱/۰۵۵bcd
موسه‌ی و ایترارادیسز	شاهد	۱/۰۵bcd	۱/۱۶۵bcd	۱/۰۴bcd
	ریزوبیوم	۳/۸۵a	۰/۶۶cd	۱/۱۴۵bcd
	LSD 1%	۰/۷۸۰۷		

اثر متقابل سطوح رطوبتی، قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل رطوبت، قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم تنها بر غلظت نیتروژن ریشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین غلظت نیتروژن ریشه مربوط به تیمار دارای تلفیق دو گونه قارچ میکوریز و مایه‌زنی شده با باکتری ریزوبیوم، در سطح رطوبت ظرفیت مزرعه، بود. همچنین، کمترین غلظت نیتروژن ریشه مربوط به تیمار مکش ۱۰ بار، بدون میکوریز و بدون ریزوبیوم، بود (جدول ۸).

برخی تحقیقات نشان داده است که بین قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری ریزوبیوم در برخی گیاهان زراعی مثل شبدر، بادام زمینی، سویا، عدس و نخود، اثر متقابل مثبت وجود دارد (۲۶). مایه‌زنی گیاه سویا با قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری برادی ریزوبیوم در سطوح مختلف فسفر سبب افزایش غلظت نیتروژن و فسفر دانه در تیمارهای مایه‌زنی شده نسبت به شاهد (بدون مایه‌زنی با میکوریز) شده است (۲۹).

غلظت عناصر غذایی خاک پس از برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف رطوبتی

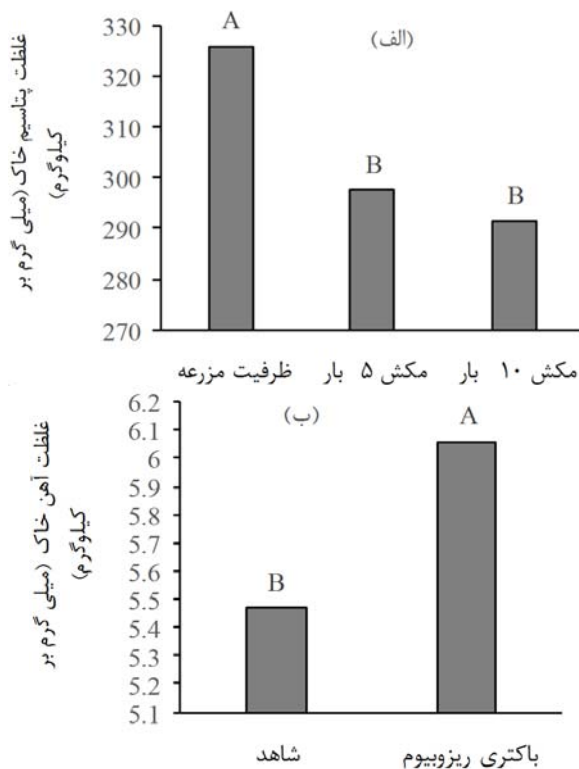
تنها بر غلظت پتاسیم در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. قارچ میکوریز بر غلظت هیچکدام از عناصر غذایی اندازه‌گیری شده اثر معنی‌دار نداشت. باکتری ریزوبیوم تنها بر غلظت آهن خاک در سطح احتمال ۵٪ اثر معنی‌داری داشت. همچنین، نتایج نشان داد که اثر متقابل فاکتورها بر غلظت عناصر غذایی خاک پس از برداشت معنی‌دار نبود.

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱- الف) نشان داد که با افزایش میزان رطوبت تا ظرفیت مزرعه در خاک پس از برداشت، غلظت پتاسیم نیز افزایش یافت. این افزایش بین دو سطح منفی ۵ بار و ظرفیت مزرعه بیشتر از سطوح ۵ و ۱۰ بار بود. بیشترین غلظت پتاسیم به میزان ۳۲۶/۱ به تیمار ظرفیت مزرعه و کمترین آن به میزان ۲۹۱/۵ درصد به تیمار رطوبتی منفی ۱۰ بار اختصاص داشت؛ هر چند که اختلاف معنی‌داری بین سطوح مکش منفی ۵ و ۱۰ بار وجود نداشت. بنا بر نتایج یاد شده در رطوبت‌های کم، غلظت پتاسیم در خاک می‌تواند محدود کننده رشد گیاه نخود باشد که با افزایش تنش خشکی، آثار منفی پتاسیم نیز بیشتر می‌شود. ال-کراکی و همکاران (۵) نیز گزارش کردند که تنش خشکی از عوامل بسیار مهم محدود کننده در جذب عناصر غذایی توسط گیاه بوده که

می دهد که غلظت آهن تیمار دارای ریزوبیوم به میزان ۹/۷٪ مؤثرتر از تیمار فاقد مایه تلقیح ریزوبیوم بود. وگا (۳۰) بیان نمود که باکتری های خاک، به ویژه باکتری های ریزوبیوم، سبب افزایش میزان آهن و فسفر در دسترس می شوند و این افزایش غلظت در خاک ریزوسفری بیشتر از خاک غیر ریزوسفری است.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مایه زنی نخود با باکتری ریزوبیوم و قارچ های میکوریز سبب بهبود جذب برخی عناصر غذایی گیاه در سطوح مختلف رطوبتی می گردد. با توجه به نتایج سودمند مایه زنی قارچ های میکوریز و باکتری ریزوبیوم در افزایش غلظت عناصر در ریشه و اندام هوایی گیاه در شرایط تنش خشکی، انجام آزمایش های تکمیلی دیگر و آزمایش های مزرعه ای با دیگر گونه های این قارچ ها و باکتری ها پیشنهاد می گردد. پیشنهاد می شود که اثر گونه های دیگر قارچ میکوریز بر عملکرد نخود در شرایط مزرعه ای و مقاومت این گیاه به تنش های زنده و غیر زنده، به ویژه خشکی، مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱. الف) اثر سطوح مختلف رطوبتی بر میانگین غلظت پتاسیم خاک پس از برداشت و ب) اثر باکتری ریزوبیوم بر میانگین غلظت آهن خاک پس از برداشت گیاه

از این طریق باعث کاهش شدید عملکرد می شود. مقایسه میانگین ها برای تیمارهای ریزوبیومی (شکل ۱- ب) نشان

منابع مورد استفاده

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش های تجزیه گیاه. جلد اول، نشریه شماره ۹۸۲، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
۲. رجالی، ف. ع. علیزاده، ن. صالح راستین و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۰. تأثیر رابطه همزیستی میکوریزی بر اصلاح روابط آبی گیاه میزبان و افزایش تحمل آن به تنش خشکی. صفحات: ۴۳۵-۴۵۷. در: ک. خاوازی و م. ج. ملکوتی (گردآورندگان). ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور. انتشارات نشر آموزش کشاورزی.
۳. علی احیایی، م. و ع. بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روش های تجزیه شیمیایی خاک. جلد اول، نشریه شماره ۸۹۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
4. Al-Karaki, G.N. and R.B. Clark. 1999. Mycorrhizal influence on protein and lipid of durum wheat grown at different soil phosphorus level. Mycorrhiza 9: 97-101.
5. Al-Karaki, G.N., A. Al-Radad and R.B. Clark. 1998. Water stress and mycorrhizal isolates effects on growth and

- nutrient acquisition of wheat. *J. Plant Nutr.* 21: 891-902.
6. Bardgett, R.D. 2005. *The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach*. Oxford University Press, pp. 69-70.
 7. Bethlenfalvai, G.J. and R.G. Linderman. 1992. *Mycorrhiza in Sustainable Agriculture*. American Society of Agronomy, Inc.
 8. Dalal, R.C., W.M. Strong, E.J. Weston, J. E. Cooper, G.B. Wildermuth, K.J. Lehane, A.J. King and C.J. Holmes. 1998. Sustaining productivity of a Vertisol at Warra, Queensland, with fertilizer, no-tillage, or legumes: 5. Wheat yields, nitrogen benefits and water-use efficiency of chickpea-wheat rotation. *Aust. J. Exp. Agric.* 38: 489-501.
 9. Hasse, D.L. and R. Rose. 1994. Effects of soil water content and initial root volume on the nutrient status of 2+0 Douglas-fir seedlings. *New Forests* 8(3): 265-277.
 10. Hossain, S.A., W.M. Strong, S.A. Waring, R.C. Dalal and E.J. Weston. 1996. Comparison of legume-based cropping systems at Warra, Queensland. II. Mineral nitrogen accumulation and availability to the subsequent wheat crop. *Aust. J. Agric. Res.* 37(3): 245-261.
 11. Kojima, T., M. Hayatsu and M. Saito. 1998. Intraradical hyphae phosphatase of the arbuscular mycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita*. *Biol. Fertil. Soils* 26: 331-335.
 12. Kumar, J. and S. Abbo. 2001. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. *Adv. Agron.* 72: 107-138.
 13. Li, L., C. Tang, Z. Rengel and F.S. Zhang. 2004. Calcium, magnesium and microelement uptake as affected by phosphorus sources and interspecific root interactions between wheat and chickpea. *Plant and Soil* 261: 29-37.
 14. Nogueira, M.A., E. Jurandy and B.N. Cardoso. 2003. Mycorrhizal effectiveness and manganese toxicity in soybean as affected by soil type and endophyte. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 60(2): 329-335.
 15. Ojha, S., M.R. Chakraborty, S. Dutta and N.C. Chatterjee. 2008. Influence of VAM on nutrient uptake and growth of Custard-apple. *Asian J. Exp. Sci.* 22(3): 221-224.
 16. O-Keefe, D. and M. Sylvia. 1991. Mechanisms of the vesicular-arbuscular mycorrhiza plant growth response. PP. 35-57. *In: Arora, D.K., B. Rai, K.G. Mukerji and G.R. Knudsen (Eds.), Handbook of Mycology*, Marcel Dekker Publisher, New York.
 17. Peterso, R.L. and H.B. Massicotte. 2004. Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces. *Can. J. Bot.* 82(8): 1074-1088.
 18. Raman, N. and A. Mahadevan. 1996. Mycorrhizal research- a priority in agriculture. *In: Mukerji, K.G. (Ed.), Concepts in Mycorrhizal Research*, Kluwer Academic Publisher, 347 p.
 19. Ryan, J., M. Pala, S. Masri, M. Singh and H. Harris. 2008. Rainfed wheat-based rotations under Mediterranean conditions: Crop sequences, nitrogen fertilization, and stubble grazing in relation to grain and straw quality. *Eur. J. Agron.* 28: 112-118.
 20. Ryan, J.G. 1997. A global perspective on pigeonpea and chickpea sustainable production systems: Present status and future potential. PP. 1-31. *In: Asthana, A.N. and M. Ali (Eds.), Recent Advances in Pulses Research*, Indian Institute of Pulses Research, Kanpur, India.
 21. Schabayev, V.P., V.Y. Smolin and V.A. Mudrik. 2006. Nitrogen fixation and CO₂ exchange in soybeans (*Glycine max* L.) inoculated with mixed cultures of different microorganisms. *Biol. Fertil. Soils* 23: 425-430.
 22. Singh, K.B. and M.C. Saxena. 1999. *Chickpea*. Macmillan Education Publishing, pp. 142-159.
 23. Singleton, P.W. and J.W. Tavares. 1986. Inoculation response of legumes in relation to the number and effectiveness of indigenous rhizobium populations. *Appl. Environ. Microbiol.* 51(5): 1013-1018.
 24. Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press 587 p.
 25. Sreenivasa, M.N., G.T. Basavaraja and J.H. Kulkarni. 1995. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza assist in nodulation and N₂ fixation in soybean. *J. Maharashtra Agric. Univ.* 20: 292-293.
 26. Subba Rao, N.S. 1988. *Biofertilizers in Agriculture. Mycorrhizal Fungi (Chapter 9)*. Oxford and IBH Publishing, pp. 142-159.
 27. Subramanian, K.S. and C. Charest 1997. Nutritional, growth, and reproductive response of maize (*Zea mays* L.) to arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasselling. *Mycorrhiza* 7: 25-32.
 28. Tarafdar, J.C. 1995. Visual demonstration of in vitro acid phosphatase activity of VA mycorrhizal fungi. *Curr. Sci.* 69(6): 451-453.
 29. Togay, N., Y. Togay, K.M. Cimrin and M. Turan. 2008. Effect of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptakes in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Afr. J. Biotech.* 7(6): 776-782.
 30. Vega, N.W.O. 2007. A review on beneficial effects of rhizosphere bacteria on soil nutrient availability and plant nutrient uptake. *Rev. Fac. Nal. Agric. Medellin* 60(1): 3621-3643.
 31. Yadav, S.S., R. Redden, W. Chen and B. Sharma. 2007. *Chickpea Breeding and Management*. Cabi Publishing, pp. 142-159.