دگرگونی ویژگی‌های ریخت‌شناسی ریشه و اندام هوایی نخود در تنش خشکی و تیمارهای قارچ- ریشه آربسکولار و ریزوبیوم

صلاح الدین مرادی[۱*]، حسین بشارتی[۲]، ولی فیضی اصل[۳]، جمال شیخی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۱۴)

چکیده

برای بررسی پیامد کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار (گلوموس موسه و گلوموس اینترارادیسز) و باکتری مزوریزوبیوم سیسری در سه سطح رطوبتی [۲۸٪ (ظرفیت زراعی)، ۱۵٪ (مکش ۵- بار) و ۹٪ (مکش ۱۰- بار)] بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی ریشه و اندام هوایی نخود، یک آزمایش فاکتوریل در شرایط گلخانه‌ای در خاک سترون در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد که خشکی خاک بر شمار غلاف، شمار دانه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، بلندی بوته، درازی و حجم ریشه پیامد چشمگیر داشت. کاربرد مزوریزوبیوم بر شمار گره‌ها، شمار غلاف، شمار دانه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، بلندی بوته، درازی و حجم ریشه و کاربرد میکوریز گلوموس موسه نیز بر بلندی بوته پیامد چشمگیر داشت. برهمکنش رطوبت و میکوریز و همچنین میکوریز و ریزوبیوم بر وزن تر و خشک اندام هوایی معنی‌دار شد. پیامد برهمکنش رطوبت و باکتری ریزوبیوم تنها بر شمار گره‌ها معنی‌دار شد. نظر کلی، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی (به ترتیب ۴۴/۶ و ۱۰/۵۳ گرم) در تیمار مایه‌زنی نخود با گلوموس موسه و ریزوبیوم در رطوبت ظرفیت زراعی به‌دست آمد و همچنین گلوموس موسه هم در تنش خشکی و هم در نبود تنش، نسبت به گلوموس اینترارادیسز، کاراتر بود.

واژه‌های کلیدی: تنش زنده، تنش غیر زنده، همزیستی، تثبیت بیولوژیک

مقدمه

تنش‌های زنده مایه کاهش ۶/۴ میلیون تن و تنش‌های غیر زنده مایه کاهش ۴/۸ میلیون تن از فرآورده جهانی نخود گشته است (۲۲). مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده در نخود به ترتیب اهمیت شامل خشکی، گرما و سرما می‌باشد (۱۱ و ۲۵). تنش‌های خشکی، به همراه تنش گرما، مایه کاهش ۳/۳ میلیون تن از فراوری جهانی نخود شده است (۲۲). شناخته شده‌ترین گیاهانی که نیتروژن تثبیت می‌کنند، لگوم ها هستند که با باکتری های جنس ریزوبیوم، همزیستی دارند. این نوع همزیستی توانایی برآوردن اندازه فراوانی نیتروژن را برای اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی دارد. از دیدگاه تاریخی، تا پیش از شناخت و ساخت کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار، این روش تثبیت زیستی تنها روش برآوردن نیاز نیتروژن در سیستم‌های کشاورزی بوده است. در کشاورزی پایدار، کمتر فرایندی را می‌توان یافت که اهمیت آن به تثبیت بیولوژیک نیتروژن برسد. نخود گیاهی است که در دامنه گسترده ای از شرایط محیطی و سیستم‌های گوناگون

۱. گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران
۲. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج
۳. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، مراغه
۴. گروه علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیک: 6341ms@pnu.ac.ir

کشت می‌شود و درازی دوره رشد آن بسته به ویژگی‌های آب و هوایی و رقم گیاهی ۱۸۰- ۹۰ روز است. در صورت رخداد تنش خشکی در گام‌های پایانی رشد و پُر شدن دانه‌ها، درازی این دوره در اغلب مناطق کاهش می‌یابد و به ۱۲۰-۸۰ روز می‌رسد (۳۱). نخود، همانند یک گیاه کم‌هزینه، در سیستم کشاورزی سرزمین‌های خشک و نیمه خشک در تناوب با غلات کشت می‌شود. نخود با داشتن سازگاری با دامنه گسترده ای از شرایط محیطی و خاکی برای کشت در زمین‌های کناره سرزمین‌های خشک شایسته شناخته شده است. تثبیت نیتروژن مولکولی که یک واکنش زیستی برای دگرگونی نیتروژن اتمسفری به ریخت‌فراهم گیاهی است، می تواند جایگزینی شایسته برای کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار در نظر گرفته شود (۳). اندازه محصول نخود و صفات ریخت‌شناسی آن که در محصول‌دهی کارایی دارند را می‌توان با بهره‌گیری از مایه زیستی کارا و مؤثر ریزوبیوم بهبود بخشید (۱۰). گونه‌های کارای ریزوبیوم بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک لگوم‌ها پیامدهای بسیاری دارند (۱۸). اندازه محصول نخود و صفات ریخت‌شناسی آن که در محصول‌دهی مؤثرند را می توان با مایه‌زنی ریزوبیوم بهبود بخشید. گزارش شده است که وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی، شمار و وزن خشک گره‌های ریشه و اندازه محصول نخود، که با گونه‌های مختلف ریزوبیوم مایه‌زنی شده بود، نسبت به شاهد، افزایش یافت (۸). احمد و همکاران (۶) پیامد کاربرد ریزوبیوم بر درازی ریشه، بلندی بوته و فراوانی گره‌ها در ریشه ماش را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهای ریزوبیوم پیامد چشمگیری بر درازی ریشه، بلندی بوته و فراوانی گره دارند. فاطمه و همکاران (۱۴) بیان نمودند که گونه‌های کارای ریزوبیوم در گیاه سویا مایه افزایش وزن‌تر و خشک ریشه و ساقه و افزایش نسبت وزن تر ریشه به ساقه و همچنین افزایش نسبت وزن خشک ریشه به ساقه می‌شوند.

قارچ های میکوریز از ریزجانداران مهم به‌شمار می آیند که با ریشه بیش از ۹۷٪ از گیاهان همزیستی دارند. بیشتر گیاهانی که در سرزمین‌های خشک و نیمه خشک می رویند، دارای همزیستی میکوریزی هستند. در این گیاهان، دو روش برای افزایش کارکرد گیاه پیشنهاد شده است. یکی بهره گیری هرچه بیشتر از کودهای شیمیایی و دیگری بهره گیری از همزیستی که به گونه طبیعی میان گیاه و ریزجانداران سودمند پدید می‌آید. با توجه به مسائل اقتصادی و آلودگی‌های زیست‌محیطی پدید آمده از به‌کارگیری کودهای شیمیایی، بهتر است که بهره گیری از جانداران همزیست و ریزجانداران سودمند در اولویت قرار گیرد که خود این امر نیز نیازمند پژوهش و بررسی بیشتر است. اهمیت قارچ های میکوریز در کشاورزی پایدار وابسته به کارایی ویژه آنها به عنوان یک حلقه ارتباطی بین خاک و گیاه است (۱۱). در گیاهان دارای همزیستی میکوریزی، عضو اصلی در جذب عناصر معدنی از خاک، قارچ میکوریزی است. همچنین، نتایج برخی پژوهش‌ها نشان از نقش کلیدی قارچ های میکوریز در پاگیری گیاهان نخستین روی خشکی ها دارند (۲۵). یکی از راه‌کارهای گیاه برای روبرو شدن با شرایط تنش، پیدایش همزیستی میکوریزی برای افزایش توانایی خود در جذب آب و املاح می‌باشد. لگوم‌ها برای رشد، گره‌زایی و تثبیت نیتروژن به اندازه فراوانی فسفر نیاز دارند، زیرا لگوم‌ها به اندازه دیگر گیاهان سیستم ریشه‌ای گسترش یافته ندارند. در این شرایط، قارچ های میکوریز کارکرد ویژه‌ای در جذب فسفر از خاک در گیاهانی که به روش دیم کشت می‌شوند، دارند. پیامدهای گوناگون و سودمند همزیستی میکوریزی بر زنده‌مانی و افزایش رشد گیاه میزبان در مناطق خشک و نیمه خشک جهان که بخش عمده‌ای از اقلیم کشورمان را نیز در برمی‌گیرد از آغاز دهه ۱۹۷۰ میلادی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این مناطق، کمبود آب که به عنوان مهم‌ترین عامل کاهش دهنده رشد گیاهان و تولید محصول شناسایی شده، باعث گردیده تا سطح گسترده ای از زمین‌های زیر کشت گیاهان زراعی به دیم‌زار تبدیل شود. در این زمین‌ها، گیاه برای برآوردن آب مورد نیاز، وابسته به ریزش‌های جوی بوده و از این رو در فصل رشد ممکن است با کمبود آب و تنش رطوبتی روبرو شود. در این

زمین‌ها، کمبود رطوبت و در پی آن ناکارایی گیاه در جذب عناصر غذایی از خاک، به‌ویژه عناصر غذایی کم‌جنبش، مانند فسفر، روی، آهن، منگنز و مس، رشد گیاه را کاهش داده و مایه افت کارکرد گیاه می‌شود (۵). اثر سودمند قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های ریزوبیوم در رشد گیاه و بهبود صفات ریخت‌شناسی وابسته به رشد، ممکن است به دلیل اثر این ریزجانداران در بهبود جذب عناصر غذایی ضروری باشد. اوجها و همکاران (۲۰) بیان نمودند که قارچ‌های میکوریز آربسکولار سبب افزایش وزن‌تر و خشک ریشه و ساقه، بیومس کل، درازی ریشه، بلندی گیاه و اندازه فسفر ریشه و اندام‌های هوایی می‌شوند. در چند دهه گذشته، بهره‌گیری از واریته‌های پر بار گیاهان مایه افزایش کارکرد گیاهان کشاورزی شده است و همسو با آن کاربرد کودهای شیمیایی افزون بر دشواری‌های اقتصادی آن، مایه افزایش خطر آلودگی خاک و آب شده است. به‌هم خوردن تعادل بیولوژیک در محیط خاک از دیگر پیامدهای زیانبار کودهای شیمیایی است که آسیب فراوان به اکوسیستم خاک وارد می سازد. یکی از راه‌کارهای روبرو شدن با این دشواری‌ها، بهره‌گیری هرچه بیشتر از نهاده‌های درون زراعی، مانند بهره‌گیری از پدیده های سودمند بیولوژیک، به‌ویژه همزیستی گیاهان با ریزجانداران است (۱۱). بهره‌گیری از ریزجانداران همزیست گیاه افزون بر افزایش کارکرد گیاه، تعادل بیولوژیک خاک را نیز حفظ کرده و بهره‌گیری از کودها و سموم شیمیایی را نیز کمتر می‌کند. نخود دیم ILC1399 از ژنوتیپ‌های موفق در آزمایش‌های مقایسه عملکرد در مناطق سرد و نیمه سرد کشور بوده و بنابراین بررسی تغذیه این ژنوتیپ گیاهی در تنش‌های گوناگون رطوبتی و درج نتایج آن در شناسنامه این رقم برای افزایش عملکرد آن بسیار سودمند خواهد بود. تا کنون پژوهشی در کشور در باره بهره‌گیری از قارچ‌های میکوریز در بهبود شرایط رشدی نخود، با وجود تنش خشکی، انجام نشده است. بنابراین، پیش‌بینی می‌شود که مایه‌زنی همزمان باکتری‌های ریزوبیوم و قارچ‌های میکوریز با افزایش جذب عناصر غذایی در نخود دیم بتواند به افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی بیانجامد. در این پژوهش، پیامد قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری ریزوبیوم بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی ریشه و اندام‌های هوایی نخود در تنش خشکی بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، نمونه‌های مرکب خاک به اندازه بسنده‌ای از لایه رویین (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) کشتزارهای پیرامون ایستگاه تحقیقات دیم شهرستان مراغه آماده شد. پس از هواخشک کردن خاک و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن مانند بافت خاک به روش هیدرومتری، پ–هاش در خمیر اشباع با بهره‌گیری از دستگاه پ–هاش‌متر و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره خمیر اشباع با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری گردیدند. پتاسیم فراهم به روش فلیم‌فتومتری به کمک استات آمونیوم نرمال با پ– هاش برابر ۷، فسفر فراهم با بهره‌گیری از دستگاه اسپکتروفتومتری به روش اولسن و واتناب با عصاره‌گیر آمونیوم مولیبدات و مقادیر آهن، مس، منگنز و روی قابل جذب گیاه از راه عصاره‌گیری با دی. تی. پی. ا. و اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی و نیتروژن کل با بهره‌گیری از دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شدند (۱). کربن آلی نیز با روش والکی–بلک اندازه‌گیری گردید (جدول ۱).

آزمایش در شرایط گلخانه‌ای با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی و به روش کرت‌های خرد شده با سه فاکتور انجام شد. فاکتورها شامل باکتری مزوریزوبیوم سیسری سویه IC59 در دو سطح (مایه‌زنی با باکتری و بدون مایه‌زنی با باکتری)، قارچ میکوریز آربسکولار در چهار سطح (گلوموس موسه، گلوموس اینترارادیسز، آمیخته گلوموس موسه و گلوموس اینترارادیسز، و بدون قارچ میکوریز) و تنش رطوبتی در سه سطح (رطوبت ظرفیت زراعی، تنش ملایم رطوبتی (منفی ۵ بار) و تنش شدید رطوبتی (منفی ۱۰ بار)) بود. در خاک آزمایش شده، رطوبت ظرفیت زراعی (FC) برابر ۲۸٪

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌کار رفته در آزمایش

ویژگی	مقدار	ویژگی	مقدار
شن (٪)	۶۰	نیتروژن کل (٪)	۰/۰۱۴
سیلت (٪)	۲۰	فسفر فراهم (mg/kg)	۶/۴
رس (٪)	۲۰	آهن (mg/kg)	۵
پ–هاش	۷/۹	روی (mg/kg)	۰/۱۷
قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	۰/۳۵	منگنز (mg/kg)	۳/۲
کربن آلی (٪)	۰/۵	مس (mg/kg)	۱/۶
پتاسیم فراهم (mg/kg)	۱۵۵	مواد خنثی شونده (٪)	۱۲/۸

وزنی، رطوبت مکش منفی ۵ بار برابر ۱۵٪ وزنی و رطوبت مکش منفی ۱۰ بار برابر ۹٪ وزنی در دستگاه صفحات فشاری برآورد گردید. در این آزمایش، کرت‌های اصلی شامل سه سطح رطوبتی خاک (۹، ۱۵ و ۲۸ درصد وزنی) و کرت‌های فرعی به روش فاکتوریل دارای چهار سطح قارچ میکوریز آربسکولار و دو سطح باکتری ریزوبیوم، در سه تکرار، بود.

خاک یاد شده، در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس برای ۲۵ دقیقه سترون شده و در گلدان‌های ۱۵ کیلوگرمی ریخته شد. گیاه آزمایش شده نخود (*Cicer arientinum* L.) رقم ILC ۴۸۲ بود. پیش از کاشت، به گلدان‌های دارای تیمار میکوریز به اندازه ۱۰۰ گرم مایه زیستی قارچ‌های یاد شده افزوده گردید. مایه تلقیح قارچ‌های میکوریز از دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین اهواز تهیه گردید و فراوانی اسپور قارچ در همه تیمارها یکسان بود. همچنین، بذرهای نخود تیمار مایه‌زنی با ریزوبیوم با *مزوریزوبیوم سیسری* مایه‌زنی شدند. برای انجام این کار، دانه‌های نخود در محلول ساکارز ۵٪ قرار گرفته و سپس به آن ۱۰۰ گرم مایه تلقیح باکتری‌ها افزوده شد تا به دانه‌ها بچسبند. تعداد ۵ بذر، همراه با مایه تلقیح چسبیده به آن، کشت گردید. پس از دو هفته، شمار بوته‌ها به ۳ عدد در هر گلدان کاهش یافت. گلدان‌ها در گلخانه با نور طبیعی و دمای ۱۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس و درازی روز ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت خاموشی قرار داده شدند. کاربرد تیمارهای تنش رطوبتی از راه توزین گلدان‌ها با ترازوی دیجیتالی انجام شد. گلدان‌ها در گلخانه تا گام ساخت غلاف و ساخت دانه برای ۹۵ روز نگه‌داری شدند. با پایان یافتن دوره رشد نخود، بلندی اندام هوایی اندازه‌گیری و گیاه به گونه کامل برداشت شد. سپس، پارامترهای وزن تر ریشه و اندام‌های هوایی، درازی ریشه، حجم ریشه (با برآورد تغییر حجم ایجاد شده در اثر گذاشتن ریشه در استوانه مدرجی که حاوی حجم مشخصی از آب مقطر است)، شمار غلاف، شمار دانه و فراوانی گره ها، اندازه‌گیری شد. نمونه‌های ریشه و اندام‌های هوایی در درون پاکت‌های ویژه گذاشته شد و تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون خشک و پس از آن نمونه‌ها از آون بیرون آورده شده و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد (۲). داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش، مطابق قالب آماری طرح، به کمک نرم‌افزارهای MSTATC و SAS تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن و در سطح ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

پیامد خشکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح گوناگون رطوبتی بر وزن تر و خشک ریشه، درازی و حجم ریشه، شمار غلاف، شمار دانه و میانگین بلندی بوته در سطح احتمال ۱٪ و بر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، در همه موارد، بهترین

جدول ۲. مقایسه میانگین پیامد خشکی بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده اندام هوایی و ریشه نخود (وزن: گرم در بوته، بلندی و طول: سانتی‌متر، حجم: سانتی‌متر مکعب در بوته)

رطوبت	اندام هوایی					ریشه			
(٪)	غلاف در بوته	دانه در بوته	وزن تر	وزن خشک	بلندی	وزن تر	وزن خشک	طول	حجم
۲۸	۲/۳a	۱/۵۲a	۲۰/۸a	۴/۵۴a	۵۶/۸a	۳۸/۲a	۷/۸۵a	۵۲/۶۴a	۳۷/۶a
۱۵	۰/۸۴b	۰/۶۱b	۱۵/۳a	۳/۲۴ab	۴۷/۹۴a	۲۵/۳ab	۳/۸۴ab	۴۷/۶a	۲۴/۷ab
۹	۰/۲۹b	۰/۲b	۳/۲b	۱/۰۹b	۲۹/۶۵b	۳/۷b	۱/۰۹b	۳۳/۱۵b	۳/۲b
LSD (۵%)	۰/۹۰۹	۰/۴۳۹	۱۰/۲۶	۲/۰۱۸	۶/۶۰۱	۱۷/۴۹	۳/۴۶۴	۵/۳۰۷	۱۶/۳۲

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.

عملکرد مربوط به تیمار رطوبت ظرفیت زراعی (۲۸٪) و کمترین اندازه آن مربوط به تیمار رطوبت ۹٪ بود. کاهش شمار غلاف‌ها در اثر کاهش رطوبت خاک می تواند یکی از دلایل کاهش عملکرد نخود در شرایط تنش خشکی باشد. با مقایسه اختلاف بین تیمارها، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش رطوبت از ۹ تا ۱۵ درصد، افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی بیش از ۹۸٪ و با رساندن رطوبت خاک از ۱۵ به ۲۸ درصد، وزن خشک اندام‌های هوایی نزدیک به ۲۰٪ بیشتر شد. نتایج نشان می‌دهد که وزن تر ریشه یکی از شناسه‌هایی است که دگرگونی آن بستگی به دگرگونی رطوبت خاک دارد. یاداو و همکاران (۳۱) گزارش دادند که ریخت‌پذیری فنولوژیک، مکانیسمی است که در دوره جوانه‌زنی تا رسیدن محصول با دگرگونی خود مایه افزایش پایداری نخود در برابر تنش خشکی می‌گردد. گل‌ها و غلاف‌ها به علت قرار گرفتن در بخش‌های بالایی کانوپی، بیشتر تحت تأثیر تنش های رطوبتی هستند. نتایج نشان داد که اندازه دانه یا بذر گیاه نخود بسیار وابسته به رطوبت خاک بوده و با افزایش رطوبت، اندازه دانه نیز زیاد می‌شود. بررسی‌هایی که در مرکز ایکرست روی ریشه نخود انجام شد نشان داد که وابستگی تنگاتنگی میان اندازه زیست‌توده ریشه و عملکرد نخود در شرایط تنش رطوبتی وجود دارد (۱۷).

تعداد دانه و شمار غلاف، دو صفت بسیار مهم در گیاه نخود بوده و از اجزای اصلی عملکرد این گیاه می‌باشند که به‌شدت تابع رطوبت خاک بوده و با آن رابطه مستقیم دارند. لذا می‌توان با بهبود شرایط رطوبتی خاک، این ویژگی‌ها را بهبود بخشید و اندازه عملکرد نخود را افزایش داد. به گزارش صدیق و همکاران (۲۵)، تنش خشکی در نخود، شاخص‌های محصول، زیست‌توده کل، شمار غلاف‌ها، وزن و کیفیت دانه و همچنین شمار دانه در غلاف را کاهش می‌دهد. همچنین، بیشترین اندازه جوانه‌زنی و سبز شدن در نخود در رطوبت ظرفیت زراعی بروز می‌کند و با افزایش خشکیف به فرم خطی کاهش می‌یابد.

تنش خشکی از راه کاهش فاصله زمانی بین جوانه‌زنی با گل‌دهی، پر شدن غلاف‌ها با بلوغ و رسیدگی گیاه، فنولوژی نخود را تسریع می‌بخشد و همچنین پتانسیل آب برگ، فتوسنتز، شمار غلاف و اندازه محصول را کاهش می‌دهد (۱۲ و ۱۸). کوچک بودن برگچه‌ها و کم بودن سطح آنها مایه افزایش مقاومت گیاه به تنش های خشکی آخر فصل می‌گردد (۲۴). این امر می تواند دلیلی برای کاهش وزن اندام‌های هوایی نخود در تیمارهای ۵- و ۱۰- بار نسبت به تیمار رطوبتی FC باشد. ژو و همکاران (۳۳) اظهار داشتند که درازی ریشه پارامتری است که وابسته به ویژگی‌های گوناگون می‌باشد. این ویژگی‌ها می‌تواند ناشی از میزان آب خاک، عناصر غذایی و دیگر ویژگی‌های خاک، ویژگی‌های گیاه، فصل رشد و شرایط آب و هوایی باشد. پائولا و همکاران (۲۱) گزارش کردند که افزایش رطوبت خاک مایه افزایش میانگین بلندی بوته در نخود و لوبیا می‌گردد.

جدول ۳. مقایسه میانگین پیامد قارچ میکوریز بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در اندام‌های هوایی نخود

میکوریز	بلندی بوته (سانتی‌متر)	شمار غلاف در بوته	شمار دانه در بوته	وزن تر (گرم در بوته)	وزن خشک (گرم در بوته)
شاهد	۴۱/۷۸ b	۰/۹۴a	۰/۶۴a	۱۲/۳a	۲/۵۴a
موسه	۴۶/۶۸ a	۱/۵۷a	۱/۲۱a	۱۴/۸a	۳/۴۶a
اینترارادیسز	۴۵/۷۳ a	۰/۹۶a	۰/۷۸a	۱۰/۷a	۲/۴۸a
موسه و اینترارادیسز	۴۵ ab	۱/۱۲a	۰/۴۸a	۱۴/۷a	۳/۳۴a
LSD (5%)	۳/۵	۱/۴۳	۰/۷۸۴	۵/۷۷	۱/۲۳۸

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.

جدول ۴. مقایسه میانگین پیامد مایه‌زنی باکتری ریزوبیوم بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده اندام هوایی و ریشه نخود (وزن: گرم در بوته، بلندی و درازی: سانتی‌متر، حجم: سانتی‌متر مکعب در بوته)

	اندام هوایی					ریشه			
باکتری	غلاف در بوته	دانه در بوته	وزن تر	وزن خشک	بلندی بوته	گره در گلدان	وزن تر	وزن خشک	درازی	حجم
شاهد	۰/۴۷b	۰/۴۸b	۸/۶b	۱/۹۹b	۴۳/۱۱b	۰ b	۱۸/۳b	۳/۱۶b	۴۲/۵۷b	۷/۱۷b
ریزوبیوم	۱/۸۲a	۱/۰۸a	۱۷/۶a	۳/۹۲a	۴۶/۴۸a	۳۰/۹a	۲۶/۵a	۵/۳۶a	۴۶/۳۶a	۲۶a
LSD (5%)	۱/۰۱۱	۰/۵۵۴	۴/۰۸	۰/۸۷۵	۲/۵	۷/۵۵	۵/۶۸	۱/۴۰۳	۳/۴	۶/۲۲

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.

پیامد قارچ میکوریز آربوسکولار

پیامد قارچ میکوریز تنها بر بلندی بوته نخود در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (تجزیه واریانس). بیشترین بلندی بوته نخود وابسته به تیمار میکوریز گلوموس موسه بود و کمترین بلندی بوته در تیمار بدون قارچ میکوریز (شاهد) دیده شد (جدول ۳). این یافته با گزارش اوجها و همکاران (۲۰) که در آن قارچ‌های میکوریز آربسکولار مایه افزایش بلندی گیاه شد، همخوانی دارد. مصباح‌الزمان و نیوتن (۱۹) گزارش کردند که پیامد میکوریز آربسکولار و اکتومیکوریز بر صفات مورفولوژیک ریشه اُکالیپتوس چشمگیر نبوده است. پیامدهای ساده قارچ میکوریز بر اغلب پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد و این امر با یافته‌های بعضی محققین (۷، ۱۰ و ۱۹) همخوانی ندارد. به نظر می‌آید که ناهمانندی یافته‌ها نه تنها وابسته به ناهمانندی ژنوتیپ‌های گیاهی باشد، بلکه شرایط آزمایش نیز می‌تواند بر اندازه آلودگی و در پی آن بر رشد گیاه پیامد ویژه داشته باشد (۳۲).

پیامد باکتری ریزوبیوم

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر باکتری ریزوبیوم بر تعداد گره، وزن تر و خشک ریشه، حجم ریشه، تعداد غلاف، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و متوسط ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱٪ و بر درازی ریشه و تعداد دانه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که مایه‌زنی نخود با باکتری ریزوبیوم نسبت به تیمار بدون ریزوبیوم، شاخص‌های اندازه‌گیری شده در اندام هوایی و ریشه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

ریزوبیوم ها در جوانه‌زنی و سبز کردن، وزن تر و خشک ریشه و ساقه، بلندی بوته، درازی ریشه، شمار غلاف‌ها، شمار

و وزن دانه‌ها و شمار و وزن تر گره‌ها اثر سودمند معنی‌دار دارند. همچنین، ریزوبیوم ها در کاهش پوسیدگی ریشه و کاهش پژمردگی فوزاریومی ریشه تأثیر سودمند دارند (۱۸). توگای و همکاران (۲۸) گزارش دادند که مایه‌زنی دانه‌های نخود با زادمایه مناسب ریزوبیوم سبب افزایش شمار و طول غلاف‌ها و شمار دانه نسبت به تیمار بدون زادمایه شد. اثر مایه‌زنی دانه‌های با زادمایه مناسب ریزوبیوم سبب افزایش میانگین بلندی گیاه شد (۱۵). همچنین خالق‌الزمان و حسین (۱۸) گزارش کردند که ریزوبیوم‌ها در وزن تر و خشک ریشه، درازی ریشه و شمار و وزن گره‌ها اثر سودمند معنی‌دار دارند. احمد و همکاران (۶) پیامدهای مایه‌زنی ریزوبیوم بر درازی ریشه، بلندی بوته و شمار گره‌ها در ریشه ماش را بررسی کرده و نشان دادند که تیمارهای ریزوبیوم پیامد چشمگیری بر درازی ریشه، بلندی بوته و اندازه گره دارند. اندازه محصول نخود و صفات مورفولوژیک آن که در محصول‌دهی مؤثرند را می‌توان با کاربرد زادمایه کارا و مؤثر ریزوبیوم، بهبود بخشید. در آزمایشی، وزن‌تر وخشک ریشه و اندام‌های هوایی، شمار و وزن خشک گره‌های ریشه و اندازه محصول نخود، که با گونه‌های مختلف ریزوبیوم مایه‌زنی شده بود، نسبت به حالت عدم تلقیح، افزایش یافت (۱۰). فاطمه و همکاران (۱۴) گزارش کردند که گونه‌های مؤثر ریزوبیوم در گیاه سویا سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه می‌شوند.

برهمکنش رطوبت و قارچ میکوریز

برهمکنش رطوبت و قارچ میکوریز بر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و وزن تر ریشه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین برهمکنش رطوبت و میکوریز نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی نخود مربوط به گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ *گلوموس موسه* در شرایط رطوبت ظرفیت زراعی بود و کمترین آنها نیز مربوط به گیاهان مایه‌زنی نشده با قارچ میکوریز در رطوبت ۹٪ بود. هر چند که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای دارای هر دو نوع میکوریز در این سطح رطوبتی نداشت. زمانی که گیاه در شرایط تنش رطوبتی قرار نداشت (ظرفیت زراعی)، وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمارهای مایه‌زنی با قارچ میکوریزی تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. اما زمانی که گیاه تحت تنش شدید رطوبتی قرار گرفت (رطوبت ۹٪) اثر تیمارهای میکوریزی، نسبت به تیمار بدون میکوریز (شاهد) معنی‌دار بود. این امر می تواند نشان دهنده این موضوع باشد که قارچ‌های میکوریز اغلب در شرایطی به رشد گیاه و افزایش عملکرد کمک می‌کنند. گزارش شده که قارچ‌های میکوریز بیشترین پیامد را به هنگام روبرو شدن گیاه میزبان با تنش‌های محیطی دارند (۲۶). همچنین، بیان شده که در شرایط تنش خشکی وابستگی گیاه به همزیستی میکوریزی بیشتر است (۷).

نتایج همچنین نشان می‌دهد که در شرایط تنش ملایم رطوبتی (۱۵٪) اثر تیمار تلفیق دو نوع قارچ میکوریز در وزن تر ریشه بیشتر از اثر دیگر تیمارهای میکوریزی است. به عبارتی، وزن تر ریشه در تیمار ۱۵٪ رطوبت و تلفیق دو نوع قارچ میکوریز نه تنها بیشتر از وزن تر ریشه در دیگر تیمارهای میکوریزی این تنش بود، بلکه از وزن تر ریشه در تیمارهای میکوریزی قرار گرفته در شرایط رطوبت زراعی (به استثنای تیمار گلوموس موسه و اینترارادیسز) نیز بیشتر است.

با توجه به جدول ۵، در رابطه با اثر تیمارهای میکوریزی، در اغلب موارد، پیامد قارچ میکوریزی *گلوموس موسه* بهتر از دیگر تیمارهای میکوریزی می‌باشد. می توان گفت که پیامد سودمندی قارچ میکوریزی *گلوموس موسه* نسبت به *گلوموس اینترارادیسز* بر اندام هوایی گیاه، در شرایط تنش خشکی و همچنین نبود تنش بیشتر بوده است. همچنین، کاربرد جداگانه گلوموس موسه بهتر از کاربرد همزمان آن با گلوموس اینترارادیسز می‌باشد. کاربرد آمیخته گلوموس موسه با گلوموس اینترارادیسز در نبود تنش و تنش ملایم (۱۵٪) کاراتر از کاربرد گلوموس اینترارادیسز به تنهایی بوده است. اما تنش شدید رطوبتی (۹٪) وارونه آن رخ داده است.

در باره پیامدهای میکوریزی شدن گیاه، گزارش شده که

جدول ۵. مقایسه میانگین برهمکنش رطوبت و قارچ میکوریز بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده اندام هوایی و ریشه نخود (وزن: گرم در بوته)

رطوبت	قارچ میکوریز	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه
ظرفیت زراعی (۲۸٪)	شاهد	۲۳/۳ abc	۴/۳۷ abc	۲۹/۳ bcd
	موسه	۲۸/۲ a	۶/۵۲ a	۴۸/۷ a
	اینترارادیسز	۱۵/۸ bcd	۳/۵۲ bcd	۴۲/۸ ab
	موسه و اینترارادیسز	۱۶ bcd	۳/۷۴ bc	۳۱/۸ bcd
منفی ۵ بار (۱۵٪)	شاهد	۱۱/۲ de	۲/۳ cde	۲۰/۸ d
	موسه	۱۱/۸ de	۲/۶ cde	۱۹/۲ de
	اینترارادیسز	۱۳/۳ cde	۲/۷۲ cde	۲۴/۹ cd
	موسه و اینترارادیسز	۲۴/۸ ab	۵/۳۳ ab	۳۶/۳ abc
منفی ۱۰ بار (۹٪)	شاهد	۲/۴ e	۰/۹۴ e	۳ f
	موسه	۴/۵ e	۱/۲۶ de	۵/۶ ef
	اینترارادیسز	۲/۸ e	۱/۲ de	۳/۳ f
	موسه و اینترارادیسز	۳/۱ e	۰/۹۶ e	۲/۹ f
LSD (5%)		۱۲/۴۵	۲/۵۴۶	۱۹/۷۲

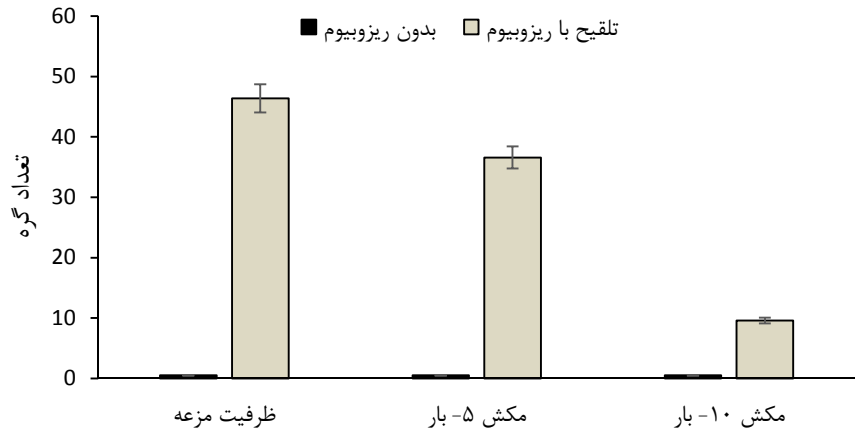
پیامد گونه‌های قارچ میکوریز و حتی نژادهای یک گونه، بر گیاهان، بسیار ناهمانند است (۱۱). مصباح‌الزمان و نیوتن (۱۹) گزارش کردند که پیامد کاربرد دو نوع میکوریز آربسکولار و اکتومیکوریز بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی بیشتر از کاربرد جداگانه میکوریز آربسکولار بود. در گیاهان مایه‌زنی شده معمولاً وزن خشک ریشه بیشتر می‌باشد که این خود در اندازه آب جذب شده در گیاه، بهبود روابط آبی و افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه مؤثر است (۷). همچنین، در گیاهان میکوریزی، با گسترش شبکه هیف قارچ در خاک پیرامون ریشه، رویه جذب کننده آب بیشتر شده و بدین گونه هدایت هیدرولیکی ریشه افزایش می‌یابد که این به افزایش فتوسنتز در گیاه می‌انجامد که مایه افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۱۲). با نگاه به یافته‌های این پژوهش، همزیستی میکوریزی در ریشه می‌تواند در شرایط تنش رطوبتی پیامد زیانبار کمبود آب را بر وزن تر و خشک ریشه کاهش داده و بدین روش مایه افزایش عملکرد نخود گردد. ال- کراکی و کلارک (۸) با بررسی پیامد میکوریزی شدن گندم گزارش کردند که بخش بزرگی از کاهش وزن وابسته به تنش رطوبتی از راه پیدایش همزیستی میکوریزی قابل جبران می‌باشد.

برهمکنش رطوبت و باکتری ریزوبیوم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش رطوبت و باکتری ریزوبیوم از همه ویژگی‌های بررسی شده (وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی، درازی و حجم ریشه، شمار غلاف، شمار دانه و میانگین بلندی بوته) تنها بر شمار گره در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین شمار گره وابسته به تیمار رطوبت ظرفیت زراعی در مایه‌زنی نخود با باکتری مزوریزوبیوم سیسری بود و با افزایش تنش رطوبتی از شمار گره به تدریج کاسته شد (شکل ۱). در باره پیامد سودمند ریزوبیوم، اسلام و همکاران (۱۰)، فاطمه و همکاران (۱۴) و همچنین هوانگ و اریکسون (۱۶) یافته‌های مشابهی را در کشت نخود، نخود فرنگی و عدس گزارش کردند.

برهمکنش قارچ میکوریز و ریزوبیوم

برهمکنش قارچ میکوریز و ریزوبیوم بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪ و بر وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال



شکل ۱. مقایسه میانگین برهمکنش رطوبت و باکتری ریزوبیوم بر شمار گره ریشه نخود

جدول ۶. مقایسه میانگین برهمکنش قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در اندام‌های هوایی نخود

میکوریز	ریزوبیوم	وزن تر (گرم در بوته)	وزن خشک (گرم در بوته)
شاهد	شاهد	۲۶/۶ c	۲/۶۵ bc
	ریزوبیوم	۳۸/۲ a	۲/۴۳ c
موسه	شاهد	۲۸/۷ bc	۱/۶۸ c
	ریزوبیوم	۳۸/۳ ab	۵/۲۴ a
اینترارادیسز	شاهد	۲۱/۸ c	۱/۹۷ c
	ریزوبیوم	۲۸/۷ bc	۲/۹۹ abc
موسه و اینترارادیسز	شاهد	۲۴/۴ c	۱/۶۶ c
	ریزوبیوم	۳۶/۳ a	۵/۰۳ ab
LSD (5٪)		۸/۱۷	۱/۷۵۱

۵٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین برهمکنش قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم (جدول ۶) نشان داد که بیشترین وزن تر وابسته به تیمار آمیخته دو گونه قارچ میکوریز با ریزوبیوم و کمترین اندازه در تیمار گلوموس اینترارادیسز بدون ریزوبیوم دیده شد. بیشترین وزن خشک وابسته به تیمار گلوموس موسه با ریزوبیوم و کمترین اندازه به تیمار آمیخته دو گونه قارچ میکوریز بدون ریزوبیوم اختصاص داشت. اوجها و همکاران (۲۰) گزارش کردند که اثر سودمند قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های ریزوبیوم در رشد گیاه و بهبود صفات مورفولوژیک مرتبط با رشد، ممکن است به دلیل اثر این ریزجانداران در بهبود جذب عناصر غذایی ضروری باشد. این پژوهشگران همچنین گزارش کردند که قارچ‌های میکوریز آربسکولار سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی، زیست‌توده کل، درازی ریشه و بلندی گیاه می‌شوند. برخی پژوهش‌ها نشان داده است که میان قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری ریزوبیوم در برخی گیاهان کشاورزی مانند شبدر، بادام‌زمینی، سویا، عدس و نخود، برهمکنش سودمند است (۲۷). گزارش شده که همزیستی سویا با قارچ میکوریز گلوموس کلاروئیدئوم و باکتری برادی ریزوبیوم جاپونیکوم سبب افزایش فعالیت نیتروژناز در گره‌ها، افزایش بیومس، غلظت فسفر، روی، مس،

جدول ۸. مقایسه میانگین برهمکنش رطوبت، قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم بر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی نخود

رطوبت	میکوریز	ریزوبیوم	وزن تر (گرم در بوته)	وزن خشک (گرم در بوته)
ظرفیت زراعی (۲۸٪)	شاهد	شاهد	۲۴/۱ b	۴/۹۱ bc
		ریزوبیوم	۲۲/۵ bc	۳/۸۴ c
	موسه	شاهد	۱۱/۹ bcde	۲/۵۱ c
		ریزوبیوم	۴۴/۶ a	۱۰/۵۳ a
	اینترارادیسز	شاهد	۱۶/۷ bcde	۳/۶۵ c
		ریزوبیوم	۱۴/۹ bcde	۳/۳۹ c
	موسه و اینترارادیسز	شاهد	۶/۹ cde	۲/۶۵ c
		ریزوبیوم	۲۵/۱ b	۴/۸۳ bc
منفی ۵ بار (۱۵٪)	شاهد	شاهد	۱۰/۶ bcde	۲/۱۹ c
		ریزوبیوم	۱۱/۸ bcde	۲/۴۱ c
	موسه	شاهد	۹/۱ bcde	۱/۸۵ c
		ریزوبیوم	۱۴/۴ bcde	۳/۳۴ c
	اینترارادیسز	شاهد	۶/۸ cde	۱/۳۶ c
		ریزوبیوم	۱۹/۹ bcd	۴/۰۹ c
	موسه و اینترارادیسز	شاهد	۹/۴ bcde	۱/۷۵ c
		ریزوبیوم	۴۰/۲ a	۸/۹۲ ab
منفی ۱۰ بار (۹٪)	شاهد	شاهد	۲/۱ e	۰/۸۵ c
		ریزوبیوم	۲/۷ e	۱/۰۳ c
	موسه	شاهد	۱/۹ e	۰/۶۷ c
		ریزوبیوم	۷ cde	۱/۸۶ c
	اینترارادیسز	شاهد	۲/۵ e	۰/۹ c
		ریزوبیوم	۳/۲ de	۱/۵ c
	موسه و اینترارادیسز	شاهد	۱/۶ e	۰/۵۶ c
		ریزوبیوم	۴/۶ de	۱/۳۵ c
LSD (5%)			۱۵/۷۵	۳/۲۹

پتاسیم و نیتروژن، تشکیل دانه و شمار گره‌ها شده است (۳۰).

بررسی‌ها نشان داده که گره‌بندی باکتری‌های تثبیت کنندهٔ نیتروژن و برقراری همزیستی میکوریزی حالت سینرژیستی دارد و باکتری‌های تثبیت کنندهٔ نیتروژن افزون بر برآوردن نیاز نیتروژن گیاه، در رساندن نیتروژن به قارچ نیز کارایی دارند (۹ و ۲۳). از دیگر دلایل برهمکنش سینرژیستی، می‌تواند برآوردن نیاز فسفات باکتری‌های تثبیت کنندهٔ نیتروژن در گره با قارچ باشد. از سوی دیگر، اندازه گره‌بندی با ظرفیت فتوسنتزی گیاه و ساخت کربن آلی متناسب است. زیرا تثبیت نیتروژن فرایندی است که نیاز به اندازه فراوانی از کربن آلی و انرژی‌زا دارد (۲۹). بنابراین، گیاه نخود میکوریزی با برخورداری از شرایط بهتر رشدی در برابر گیاهان نامیکوریزی، اندازه گره‌بندی

بیشتری در سیستم ریشه‌ای داشته و شاخص‌های رشدی آن بهبود یافته است.

برهمکنش رطوبت، قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم

برهمکنش رطوبت، قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪ و وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار مایه‌زنی نخود با قارچ گلوموس موسه و باکتری ریزوبیوم در رطوبت ظرفیت زراعی به دست آمد و کمترین وزن تر اندام هوایی وابسته به تیمار تلفیق دو قارچ میکوریز (بدون مایه‌زنی ریزوبیوم) در رطوبت ۹٪ بود. برخی تحقیقات نشان داده که میان قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری ریزوبیوم در برخی گیاهان زراعی مثل شبدر، بادام‌زمینی، سویا، عدس و نخود، برهمکنش سودمند وجود دارد (۲۷).

انواع مختلف قارچ‌های میکوریز، ریشه گیاهان را در درجات متفاوت کلونیزه می‌کنند. این کلونیزاسیون می‌تواند بر رشد گیاه میزبان تأثیر داشته یا نداشته باشد و تحت کنترل ژنتیک گیاه میزبان، گونه قارچ و یا یک برهمکنش پیچیده میان دو طرف همزیست باشد (۱۳). پیمانه و زارعی (۴) اظهار داشتند که در شرایط تنش خشکی، اندازه کلونیزاسیون گلوموس موسه بیشتر از دیگر گونه‌های گلوموس است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مایه‌زنی نخود با باکتری ریزوبیوم و قارچ‌های میکوریز، سبب بهبود صفات رشدی گیاه در سطوح مختلف رطوبتی می‌گردد. با توجه به نتایج سودمند مایه‌زنی قارچ‌های میکوریز و باکتری ریزوبیوم در افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی، انجام آزمایش‌های تکمیلی دیگر و آزمایش‌های زراعی با دیگر گونه‌های این قارچ‌ها و باکتری‌ها پیشنهاد می‌گردد. پیشنهاد می‌شود که اثر گونه‌های دیگر قارچ میکوریز بر عملکرد نخود در شرایط زراعی و مقاومت این گیاه به تنش های زنده و غیر زنده، به‌ویژه خشکی، مورد بررسی قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. احیایی، م. و ع. بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. جلد اول، نشریه شماره ۸۹۳، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

۲. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول، نشریه شماره ۹۸۲، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

۳. اصغرزاده، ا.، ن. صالح راستین و م. محمدی. ۱۳۸۰. بررسی پتانسیل تثبیت نیتروژن در همزیستی سویه‌های بومی مزوریزوبیوم سیسری (*Mesorhizobium* Ciceri) با دو رقم نخود (*Cicer arietinum* L.) مورد کشت در ایران. ص ۵۵-۷۰. در: خاوازی، ک. و م. ج. ملکوتی (گردآورندگان). ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور، انتشارات نشر آموزش کشاورزی.

۴. پیمانه، ز. و م. زارعی. ۱۳۹۳. اثر تنش خشکی و قارچ‌های میکوریز آربسکولار گلوموس موسه‌ای و گلوموس ورسیفرم بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک پایه نارنج. سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران.

۵. 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. ص ۴۳۵-۴۵۷. در: خاوازی، ک. و م. ج. ملکوتی (گردآورندگان). ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور، انتشارات نشر آموزش کشاورزی.

6. Ahmed, Z.I., M.S. Anjum and C.H. Abdul Rauf. 2006. Effect of rhizobium inoculation on growth and nodule formation of green gram. Int. J. Agric. Biol. 8: 235-237.

7. 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.

8. Al-Karaki, G. N., and Clark, R. B. 1999. Mycorrhizal influence on protein and lipid of durum wheat grown at different soil phosphorus level. Mycorrhiza. 9: 97-101.
9. Andrade, S.A.L., C.A. Abreu, M.F. Abreu and A.P.D. Silveria. 2004. Influence of lead addition on arbuscular mycorrhiza and rhizobium symbiosis under soybean plants. Appl. Soil Ecol. 26: 123-131.
10. Aslam, M., I.A. Mahmood, T. Soltan, S. Ahmad and M.A. Zahid. 2000. Growth and yield response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to various *rhizobium* strains fertilized with different phosphorus levels. Int. J. Agric. Biol. 2: 89-91.
11. Bethlenfalvay, G.J. and R.G. Linderman. 1992. Mycorrhiza in Sustainable Agriculture. American Society of Agronomy, Inc.
12. Bethlenfalvay, G.J., R.L. Franson, M.S. Brown and K.L. Mihara. 1989. The *Glycine-Glomus-Bradyrhizobium* symbiosis, IX: Nutritional, morphological and physiological responses of nodulated soybean to geographic isolates of the mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*. Phys. Plant. 76: 226-232.
13. Entry, J.A., P.T. Rygiewicz, L.S. Watrud and P.K. Donnelly. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of *Arbuscular mycorrhizas*. Adv. Environ. Res. 7: 123-138.
14. Fatima, Z., M. Zia and M.F. Chaudhary. 2006. Effect of rhizobium strains and phosphorus on growth of soybean (*Glycine max*) and survival of rhizobium and P solubilizing bacteria. Pak. J. Bot. 38(2): 459-464.
15. Hoque, M.M. and M.F. Haq. 1994. Rhizobial inoculation and fertilization of lentil in Bangladesh. Lens Newsl. 21(2): 29-30.
16. Huang, H.C. and R.S. Erickson. 2007. Effect of seed treatment with rhizobium leguminosarum on pythium damping-off, seedling height, root nodulation, root biomass, shoot biomass, and seed yield of pea and lentil. J. Phytopathol. 155(1): 31-37.
17. Kashiwagi, J., L. Krishnamurthy, J.H. Crouch and R. Serraj. 2006. Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. Field Crops Res. 95: 171-181.
18. Khalequzaman, K.M. and I. Hossain. 2007. Effect of seed treatment with rhizobium strains and biofertilizers on foot/root rot and yield of bushbean in *Fusarium solani* infested soil. J. Agric. Res. 45(2): 151-160.
19. Misbahuzzaman, K. and A. Newton. 2006. Effect of dual arbuscular-ectomycorrhizal inoculation on mycorrhiza formation and growth in E. Camaldulensis Dehnh. seedlings under different nutrient regimes. Int. J. Agric. Biol. 8(6): 848-854.
20. 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.
21. Paula Junior, T.J., C. Rotter and B. Hau. 2007. Effects of soil moisture and sowing depth on the development of bean plants grown in sterile soil infested by *Rhizoctonia solani* and *Trichoderma harzianum*. Eur. J. Plant Pathol. 119(2): 193-202.
22. 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.
23. Saleh, M. and Al-Garni Saleh. 2006. Increased heavy metal tolerance of cowpea plants by dual inoculation of an arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen-fixer Rhizobium bacteria. Afr. J. Biotechnol. 5(2): 132-144.
24. Saxena, N.P. 2003. Management of drought in chickpea: A holistic approach. PP. 1030122. *In:* Saxena, N.P. (ed.), Management of Agricultural Drought: Agronomic and Genetic Options, Oxford and IBH Publishing, New Delhi.
25. Siddique, K.H.M., S.P. Loss, K.L. Regan and R.L. Jettner. 1999. Adaptation and seed yield of cool season grain legumes in Mediterranean environments of southwestern Australia. Aust. J. Agric. Res. 50: 375-387.
26. Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, 587 p.
27. Stahl, P.D. and M. Christensen. 1991. Population variation in the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*: Breadth of environmental tolerance. Mycol. Res. 95: 300-307.
28. 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. Biotechnol. 7(6): 776-782.
29. Vance, C.P. and J.S. Gantt. 1992. Control of nitrogen and carbon metabolism in root nodules. Physiol. Plant. 85: 266-274.
30. Vejsadova, H., D. Siblikova, H. Hraselova and V. Vancura. 1992. Effect of the VAM fungus *Glomus sp*. on the growth and yield of soybean inoculated with *Bradyrhizobium japonicum*. Plant Soil 140: 121-125.
31. Yadav, S.S., R. Redden, W. Chen and B. Sharma. 2007. Chickpea Breeding and Management. Cabi Publishing, pp. 142-159.
32. Zhu, Y.G., and S.E. Smith. 2001. Seed phosphorus (P) content affects growth, and P uptake of wheat plants and their association with arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. Plant Soil 231: 105-112.

33. Zhu, Y.G., A.S. Laidlaw, P. Christie and M.E.R. Hammond. 2000. The specificity of arbuscular mycorrhizal fungi in perennial ryegrass-white clover pasture. Agric. Ecosys. Environ. 77: 211-218.