اثر دو نوع قارچ میکوریز آربوسکولار بر برخی خصوصیات هیدرولیکی و جذب عناصر در یک خاک قلیایی زیر کشت جو بهاره در شرایط گلخانه‌ای

فریبا سمائی[1*]، شکراله اصغری[1]، ناصر علی‌اصغرزاده[2] و محمدرضا ساریخانی[2]

(تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۰)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر همزیستی میکوریزی بر برخی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و جذب عناصر توسط گیاه جو بهاره، آزمایشی گلخانه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و با استفاده از دو گونه قارچ میکوریزی شامل *گلوموس اینترارادیسز* (GI) و *گلوموس اتونیکاتوم* (GE) و شاهد (بدون قارچ) در یک خاک قلیایی درشت بافت انجام گرفت. نتایج نشان داد که قارچ‌های GE و GI به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار (P< ۰/۰۱) رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) به میزان ۲۴/۷ و ۱۲/۶ درصد، رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) به میزان ۲۰/۱ و ۱۱/۱ درصد، آب قابل استفاده (AWC) به میزان ۲۷/۱ و ۱۳/۳ درصد، منافذ میکرو به میزان ۱۴/۱ و ۵ درصد و منافذ مزو به‌میزان ۲۷/۸ و ۲۰/۸ درصد و کاهش منافذ ماکرو به میزان ۱۷/۳ و ۹/۵ درصد و هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان ۸۸/۲ و ۶۸/۸ درصد نسبت به شاهد گردیدند. همچنین، قارچ‌های GE و GI به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار (P< ۰/۰۱) مقدار جذب فسفر در دانه جو به میزان ۴۴/۱ و ۲۰/۳ درصد و در ساقه به میزان ۱۸۱ و ۵۰/۶ درصد و مقدار جذب پتاسیم در دانه ۲۹۰/۸ و ۱۶۷/۹ درصد نسبت به شاهد گردیدند. از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که همزیستی میکوریزی به‌عنوان یک روش بیولوژیک و پایدار باعث ارتقای کیفیت هیدرولیکی و شیمیایی در خاک قلیایی درشت بافت گردید.

واژه‌های کلیدی: همزیستی‌میکوریزی، هدایت‌هیدرولیکی، توزیع اندازه منافذ، جذب فسفر و پتاسیم، خاک قلیایی درشت بافت

مقدمه

خاک‌های لوم شنی در گروه خاک‌های درشت بافت قرار دارند که اغلب دارای ساختمان ضعیف هستند (۲ و ۱۵). کم بودن ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی در خاک‌های لوم شنی به علت فراوانی منافذ درشت در آنها می‌باشد (۱۰ و ۲۷). محققین روش‌های مختلفی را برای اصلاح و یا تقویت ساختمان خاک‌های درشت بافت پیشنهاد کرده‌اند که از جمله آنها استفاده از روش‌های بیولوژیک همچون قارچ‌های همزیست با ریشه (قارچ‌های میکوریز آربوسکولار) می‌باشد. همزیستی میکوریزی از طریق ایجاد شبکه گسترده‌ای از هیف‌ها و تولید ماده گلیکوپروتئینی به‌نام گلومالین، خصوصیات هیدرولیکی، فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک را تحت تأثیر قرار داده و باعث اصلاح ساختمان خاک می‌شود (۲۲ و ۲۶).

اهمیت قارچ‌های میکوریز در کشاورزی پایدار، اساساً به‌نقش این قارچ‌ها به‌عنوان پل ارتباطی بین گیاه و خاک مربوط می‌شود. این قارچ‌ها، انتقال مواد غذایی از خاک به گیاه را تسهیل نموده (۷) و عناصری از قبیل فسفر، روی و پتاسیم را جذب گیاه می‌کنند (۳، ۱۶ و ۲۳). در خاک‌هایی که مدت زمان بیشتری تحت کشت گیاهان میکوریزی بوده‌اند تشکیل و پایداری خاک‌دانه‌ها و نیز ظرفیت نگهداری آب در خاک

۱. گروه علوم خاک، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: samaeifariba@yahoo.com

افزایش یافته و در نتیجه محیط مناسب‌تری برای رشد و گسترش ریشه‌ها به‌وجود آمده است (۱۴، ۲۳ و ۲۶). نتیجه تحقیق مارشنر و دل (۲۲) در مورد جذب عناصر غذایی در همزیستی میکوریزی نشان داد که همزیستی میکوریزی از طریق ایجاد شبکه گسترده‌ای از هیف‌ها و نیز تولید گلومالین می‌تواند موجب به‌هم پیوستن ذرات خاک در خاک‌های متراکم با ساختمان ضعیف گردد و در نتیجه از اثرهای سوء تنش تراکم خاک بر رشد گیاه بکاهد. میسیلیوم قارچ‌های میکوریزی از طریق ارتباط ریشه گیاه با محیط اطراف (فراتر از منطقه نفوذ سیستم ریشه) سبب افزایش حجمی از خاک می‌شود که در اختیار ریشه گیاه قرار می‌گیرد. این مسئله امکان بقای گیاه را در محیط‌هایی که با کمبود آب و عناصر غذایی مواجه می‌باشند افزایش می‌دهد. میلر و جاسترو (۲۳) طی تحقیقی، اثر قارچ‌های میکوریز را روی ساختمان خاک بررسی کرده و نتیجه گرفتند که این قارچ‌ها بیشترین اثر را روی پایداری خاک‌دانه‌های درشت (بزرگتر از ۲۵۰ میکرومتر) دارند. میرانصاری و همکاران (۸) طی تحقیقی، تأثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (گلوموس موسه و گلوموس اتونیکاتوم) را بر عملکرد ذرت در شرایط تنش تراکم خاک بررسی نموده و نتیجه گرفتند که بیشترین افزایش محصول در سطوح مختلف تراکم در اثر همزیستی میکوریزا در مقایسه با شاهد ۲۷ و ۳۵ درصد بود و قارچ گلوموس اتونیکاتوم از کارآیی بهتری برخوردار بود. استفاده از کودهای شیمیایی فسفاته در خاک‌های قلیایی ایران، به‌علت بالا بودن pH، از راندمان کمی برخوردار بوده و علاوه بر آن انتقال فسفر از این خاک‌ها باعث آلودگی آب‌های سطحی و در نتیجه وقوع پدیده اوتریفیکاسیون (غنی شدن) در آب دریاچه‌ها و خسارت به محیط‌زیست خواهد شد (۳ و ۵). همزیستی میکوریزی، جذب عناصر غذایی کم‌تحرک در خاک، مانند فسفر و روی، را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (۱۷ و ۱۹). مکانیسم‌های گوناگونی می‌توانند موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاهان میکوریزی گردند که از بین آنها می‌توان دسترسی به حجم بیشتری از خاک، بالا بودن سرعت جذب فسفر توسط هیف قارچ‌های میکوریزی و افزایش فراهمی فسفر خاک اشاره کرد (۱۱، ۱۹ و ۲۰). کوتاری و همکاران (۱۹) گزارش نمودند که حضور قارچ‌های میکوریزی در گیاه ذرت موجب افزایش ۱۱۵ درصدی در جذب فسفر گردید.

بر اساس اطلاعات موجود، در مورد تأثیر همزیستی میکوریزی بر خصوصیات هیدرولیکی خاک‌های درشت بافت پژوهش چندانی صورت نگرفته است. لذا، هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر همزیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر توزیع اندازه منافذ، آب قابل استفاده، هدایت هیدرولیکی و جذب عناصر فسفر و پتاسیم در یک خاک لوم شنی قلیایی، زیر کشت گیاه جو بهاره، در شرایط گلخانه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این پژوهش، دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار شامل گلوموس اینترارادیسز (GI) و گلوموس اتونیکاتوم (GE) انتخاب شدند. مایه تلقیح قارچ (تهیه شده از آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز) در شرایط بستر کشت استریل حاوی مخلوط خاک و ماسه به نسبت ۱ به ۵ و در حضور گیاه ذرت در شرایط گلخانه به مدت چهار ماه تکثیر شد. طی این مدت، آب و محلول غذایی برای گیاهان تأمین گردید. پس از چهار ماه، قسمت هوایی گیاه ذرت از سطح خاک قطع شد و مخلوط داخل گلدان شامل هیف‌ها، اسپورها و ریشه‌های میکوریزی همراه خاک به‌عنوان مایه تلقیح قارچی مورد استفاده قرار گرفت. درصد کلونیزاسیون قارچی ریشه‌ها و تعداد اسپور در مایه‌های تلقیح تعیین شد (۲۴). نمونه‌های خاک از یک مزرعه بایر (Loamy, mixed, mesic, and typic calcixerept) در ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشگاه تبریز از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر تهیه گردید. سپس، در گلخانه هواخشک گردیده و به منظور ایجاد یکنواختی از الک ۴/۷۵ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی خصوصیات خاک (جدول ۱) طبق روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین شدند (۱۸ و ۲۵). خاک گذرانده شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متری در کیسه‌های کنفی

جدول ۱. برخی از خصوصیات خاک مورد مطالعه

پارامترهای اندازه‌گیری شده	واحد	مقدار
جرم مخصوص ظاهری	(g/cm^3)	۱/۲۸
رس	٪	۱۵
سیلت	٪	۱۳
شن	٪	۷۲
کلاس بافت	–	لوم شنی
رطوبت ظرفیت مزرعه (FC)	درصد وزنی	۱۳/۶
رطوبت نقطه‌پژمردگی‌دائم (PWP)	درصد وزنی	۴/۷
آب قابل استفاده (AWC)	درصد وزنی	۸/۹
کربن آلی	٪	۰/۴۲
پتاسیم قابل جذب	(mg/kg)	۲۵۰
فسفر قابل جذب	(mg/kg)	۵/۴
هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع	(dS/m)	۰/۶۸
pH گل اشباع	–	۷/۸۱

(۱۲ کیلویی) به‌مدت ۲ ساعت در اتوکلاو (فشار ۱ اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس) استریل گردیده و سپس در گلدان‌های پلاستیکی استریل با قطر ۱۹/۸ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، بر اساس جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه (۱/۲۸ g/cm^3)، پر گردیدند. به هر گلدان (به استثنای تیمار شاهد) ۱۰۰ گرم مایه تلقیح قارچی اضافه گردید. تعداد اسپور قارچ‌های گلوموس اتونیکاتوم و گلوموس اینترارادیسز به ترتیب ۳۲۵ و ۲۴۰ عدد در ده گرم از مایه تلقیح به‌دست آمد. ولی با توجه به تفاوت درصد کلونیزاسیون ریشه در مایه تلقیح‌های تولید شده، پتانسیل نهایی مایه تلقیح به‌کار رفته برای هر دو تیمار قارچی یکسان بود.

بذرهای جو بهاره پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد در خاک لوم شنی گلدان‌ها کشت گردید. رطوبت خاک گلدان‌ها در محدوده ۰/۶ تا ۰/۸ رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) به روش وزنی در طول آزمایش نگهداری شد. مدت زمان روشنایی با نور تکمیلی (لامپ‌های جیوه‌ای و سدیمی) به مدت ۱۱ ساعت بود. دمای روز و شب به ترتیب ۲±۲۷ و ۴±۱۸ درجه سلسیوس بود. نیتروژن بر مبنای کربن آلی، و پتاسیم طبق جداول کودی استاندارد توصیه شده برای گیاه (۳) به‌طور یکنواخت به همه گلدان‌ها اضافه گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار قارچ میکوریز (شاهد (بدون قارچ)، قارچ GI و قارچ GE) در چهار تکرار اجرا گردید. پس از برداشت محصول، نمونه‌های دست‌نخورده خاک با استوانه‌های فولادی به قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر و نیز نمونه‌های دست‌خورده (با احتیاط کامل و حداقل دست‌خوردگی) از عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک داخل گلدان‌ها (دارای شرایط مطلوب رطوبتی و حرارتی) برداشته شد.

از خصوصیات هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع (روش بار ثابت)، رطوبت‌های وزنی FC در مکش معادل ۱۰ کیلوپاسکال و PWP در مکش معادل ۱۵۰۰ کیلوپاسکال (هر دو به روش صفحه فشاری)، آب قابل‌استفاده (AWC = FC - PWP) و توزیع اندازه منافذ خاک بر مبنای طبقه‌بندی انجمن علوم خاک آمریکا (۲۸) شامل منافذ ماکرو (بزرگتر از ۷۵ میکرومتر)، مزو (۳۰ تا ۷۵ میکرومتر) و میکرو (کوچکتر از ۳۰ میکرومتر) با استفاده از داده‌های منحنی رطوبتی در مکش‌های صفر، ۴۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر (روش ستون آب آویزان) از طریق به‌کارگیری رابطه کاپیلاری اندازه‌گیری و محاسبه شدند (۱۸).

از خصوصیات بیولوژیک تیمارها، درصد کلونیزاسیون

ریشه گیاه جو بهاره به روش نوریس و همکاران (۲۴) از طریق رنگ‌آمیزی با تریپان‌بلو و مقادیر فسفر و پتاسیم اندام‌های هوایی (ساقه و دانه) و ریشه گیاه با روش هضم به روش سوزاندن خشک (۹) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فسفر به روش رنگ زرد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و اندازه‌گیری پتاسیم به روش فلیم فتومتری صورت گرفت (۹). تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار MSTATC، مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن و رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

طبق جدول ۱، خاک مورد آزمایش دارای کلاس بافت لوم شنی بوده و یک خاک درشت بافت محسوب می‌شود (۲ و ۱۵). این خاک به‌علت داشتن ۷۲٪ شن دارای منافذ درشت فراوان بوده که باعث گردیده ظرفیت نگهداری رطوبت آن در نقطه FC کم باشد (۱۳/۶ درصد وزنی). بنابراین، انتظار می‌رود بخش اعظم آب آبیاری در این خاک در اثر نیروی ثقل خارج گردیده و باعث اتلاف آب و عناصر غذایی و نیز آلودگی آب‌های زیرزمینی به عناصر غذایی محلول مثل نیترات و سایر آلاینده‌ها گردد (۳ و ۳۰). همچنین، ملاحظه می‌گردد که در خاک مورد آزمایش (جدول ۱) به‌علت کم بودن میزان رس (۱۵٪)، مقدار رطوبت پژمردگی‌دائم (PWP) به‌دلیل کوچک بودن سطح ویژه ذرات خاک، کاهش یافته است. در نتیجه، عوامل ذکر شده و درصد کم کربن آلی باعث کاهش میزان آب قابل استفاده (۸/۹ درصد وزنی) در این خاک شدند. همچنین، این خاک دارای pH قلیایی بوده و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب آن اندک می‌باشد. بنابراین، انتظار بر آن است که قابلیت جذب کودهای فسفاته و عناصر کم‌مصرف در این خاک به علت بالا بودن pH، کم باشد (۵).

میزان کلونیزاسیون ریشه در قارچ GE برابر ۶۸/۶ درصد و در قارچ GI برابر ۵۴/۲ درصد بود. میزان کلونیزاسیون ریشه در قارچ GE، ۲۶/۶ درصد بیشتر از GI می‌باشد که می‌تواند بیانگر کارآیی بیشتر قارچ GE در برقراری روابط همزیستی با ریشه باشد. درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های میکوریز بستگی به گیاه میزبان و گونه قارچی دارد و حتی جدایه‌های یک گونه که از مناطق مختلف جمع‌آوری شده باشند از نظر درصد کلونیزاسیون اختلاف دارند. هر چند این جدایه‌ها از نظر مورفولوژی مشابه هستند، ولی از نظر فیزیولوژی ممکن است متفاوت باشند (۷ و ۲۳). علیزاده اسکوئی و همکاران (۶) طی تحقیقی، تأثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (گلوموس موسه و گلوموس اینترارادیسز) را بر عملکرد گوجه‌فرنگی بررسی نموده و نتیجه گرفتند که گیاهان تلقیح شده با قارچ گلوموس موسه درصد کلونیزاسیون بیشتری (۶٪) نسبت به گلوموس اینترارادیسز داشتند.

تجزیه واریانس خصوصیات هیدرولیکی و بیولوژیک اندازه‌گیری شده در آزمایش در جدول ۲ ارائه گردیده است. با توجه به این جدول، مشاهده می‌شود که اثر بلوک بر همه خصوصیات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد. تیمار قارچ میکوریزی باعث ایجاد تغییر معنی‌دار ($P< ۰/۰۱$) در تمامی خصوصیات هیدرولیکی و بیولوژیک خاک لوم شنی مورد آزمایش گردید.

تأثیر همزیستی میکوریزی بر خصوصیات هیدرولیکی خاک

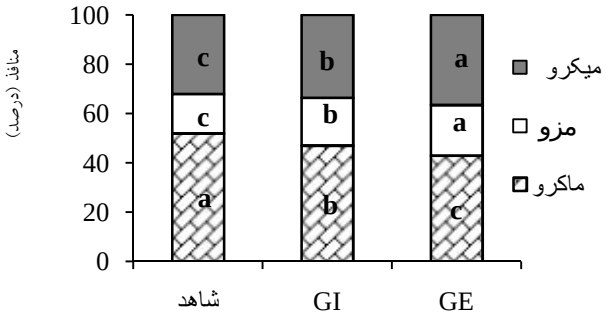
توزیع اندازه منافذ

مقایسه میانگین‌ها در شکل ۱ نشان می‌دهد که در اثر همزیستی قارچ‌های گلوموس اینترارادیسز (GI) و گلوموس اتونیکاتوم (GE) به‌ترتیب نسبت به شاهد، منافذ ماکرو ۹/۵ و ۱۷/۳ درصد کاهش و منافذ مزو ۲۰/۸ و ۲۷/۸ درصد و منافذ میکرو ۵ و ۱۴/۱ درصد افزایش نشان دادند. همچنین، مشاهده گردید که قارچ GE در مقایسه با GI به‌طور معنی‌داری منافذ میکرو و مزو را به ترتیب ۸/۶ و ۵/۸ درصد افزایش و منافذ ماکرو را ۸/۶ درصد کاهش داد. تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک از طریق افزایش منافذ مزو و میکرو و کاهش منافذ ماکرو در خاک درشت‌بافت مورد آزمایش می‌تواند ناشی از تشکیل شبکه

جدول ۲. تجزیه واریانس (مقادیر F) اثر میکوریزا بر برخی پارامترهای هیدرولیکی و بیولوژیک خاک زیر کشت گیاه جو بهاره

منابع تغییر	درجه آزادی	کلونیزاسیون	FC	PWP	AWC	K_S	منافذ		
							ماکرو	مزو	میکرو
تکرار	۳	۳/۱۲^{ns}	۱/۹۸^{ns}	۰/۷۰^{ns}	۱/۶۰^{ns}	۰/۲۳^{ns}	۲/۲۹^{ns}	۱/۴۸^{ns}	۳/۴۹^{ns}
تیمار قارچ	۲	۱۵۰۵/۹۶**	۶۲۳/۴۰**	۷۵/۲۹**	۱۴۲/۱۹**	۱۶۶/۲۹**	۱۸۹۲/۷۵**	۴۱۶/۱۰**	۴۷۵/۶۸**
خطا	۶	–	–	–	–	–	–	–	–
منابع تغییرات (٪)	–	۴/۵۵	۰/۸۸	۲/۱	۲	۱۵/۰۹	۰/۴۴	۱/۲۲	۰/۶۲

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار؛ FC : رطوبت ظرفیت مزرعه، PWP : رطوبت نقطه پژمردگی دائم، AWC : رطوبت قابل استفاده، K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع

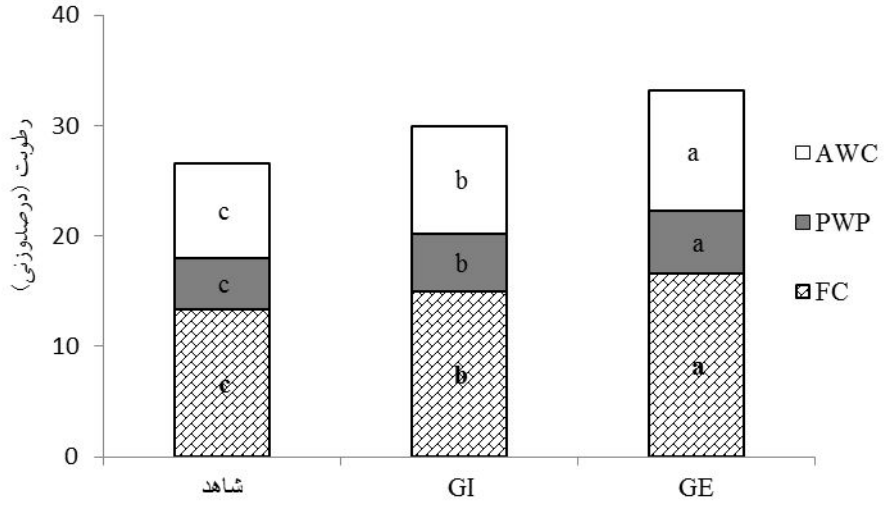


شکل ۱. تأثیر قارچ‌های گلوموس اتونیکاتوم (GE) و گلوموس اینترارادیسز (GI) بر توزیع اندازه منافذ در خاک زیر کشت جو بهاره. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشند (آزمون دانکن).

گسترده‌ای از هیف‌ها و نیز تولید گلومالین (۲۲) باشد که موجب به‌هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاک‌دانه‌های درشت و پایدار در آب (نتایج در این مقاله آورده نشده است) و در نتیجه افزایش منافذ درون خاک‌دانه‌ای (منافذ مزو و میکرو) در مقایسه با منافذ بین خاک‌دانه‌ای (ماکرو) گردید (۱۵). چلیک و همکاران (۱۳) طی تحقیقی، اثر کمپوست، قارچ‌های میکوریز، کودهای دامی و کودهای شیمیایی را روی برخی خواص فیزیکی یک خاک لوم رسی بررسی نموده و نتیجه گرفتند که در تیمارهای تلقیح با قارچ و کمپوست، منافذ ماکرو و میکرو در عمق ۰- ۱۵ سانتی‌متر به‌ترتیب ۳۰/۸ و ۹/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. علت افزایش بیشتر منافذ ماکرو نسبت به میکرو در تیمار میکوریزی در تحقیق چلیک و همکاران (۱۳) را می‌توان به ریزبافت بودن خاک در مقایسه با خاک تحقیق حاضر نسبت داد. بنابراین، به نظر می‌رسد تأثیر همزیستی میکوریزی بر خصوصیات هیدرولیکی در خاک‌های با بافت مختلف، یکسان نخواهد بود.

رطوبت‌های FC، PWP و AWC

مقایسه میانگین‌ها در شکل ۲ نشان می‌دهد که هر دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار باعث افزایش معنی‌دار رطوبت‌های FC، PWP و AWC نسبت به خاک شاهد (بدون قارچ میکوریز) گردیدند. رطوبت FC به ترتیب ۲۴/۷ و ۱۲/۶ درصد، رطوبت PWP به ترتیب ۲۰/۱ و ۱۱/۱ درصد، رطوبت AWC به‌ترتیب ۲۷/۱ و ۱۳/۳ درصد در اثر همزیستی با قارچ GE و قارچ GI نسبت به شاهد افزایش یافت. افزایش معنی‌دار رطوبت FC می‌تواند ناشی از افزایش معنی‌دار منافذ مزو و میکرو و نیز کاهش معنی‌دار منافذ ماکرو (شکل ۱) در اثر همزیستی قارچ GE و قارچ GI نسبت به شاهد باشد. خاک مورد آزمایش به

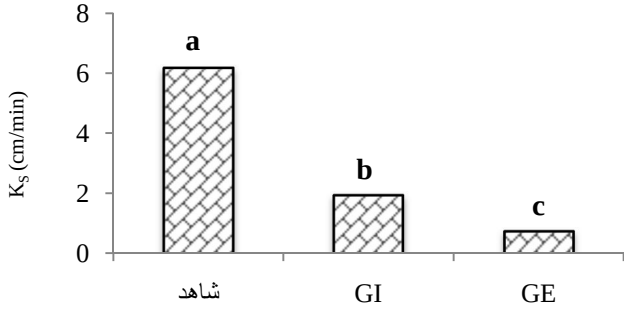


شکل ۲. تأثیر قارچ‌های گلوموس اتونیکاتوم (GE) و گلوموس اینترارادیسز (GI) بر رطوبت‌های ظرفیت مزرعه (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) و قابل استفاده گیاه (AWC) در خاک زیر کشت جو بهاره. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشند (آزمون دانکن).

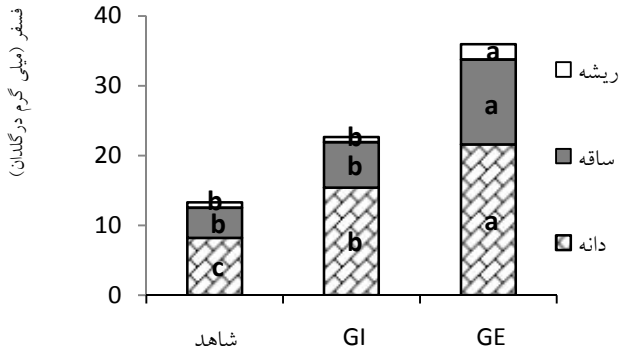
علت داشتن ۷۲٪ شن (جدول ۱) یک خاک درشت بافت محسوب می‌شود (۲) که ذاتاً دارای منافذ درشت فراوانی است. بنابراین، همزیستی میکوریزی از طریق ایجاد خاک‌دانه‌های درشت و پایدار باعث کاهش اندازه منافذ ماکرو و تبدیل آنها به منافذ مزو و میکرو منجر به کاهش آب ثقلی و نهایتاً افزایش FC گردید (۱۵). افزایش رطوبت PWP در تیمارهای قارچی می‌تواند به‌دلیل افزایش سطح ویژه کل ذرات خاک در اثر ترشحات گلومالین قارچی باشد که این ماده موجب به هم پیوستن ذرات خاک (۲۲) و افزایش رطوبت در مکش معادل ۱۵ بار یا همان آب جذب سطحی شده گردید. افزایش رطوبت قابل استفاده در تیمارهای قارچی ناشی از افزایش بیشتر رطوبت FC نسبت به PWP (شکل ۲) می‌باشد که باعث افزایش معنی‌دار اختلاف این رطوبت‌ها و در نتیجه افزایش AWC گردیده است. همچنین، قارچ GE نسبت به قارچ GI به ترتیب باعث افزایش ۱۰/۸، ۸/۱ و ۱۲/۲ درصد در رطوبت‌های FC ، PWP و AWC گردید. علت تأثیر بیشتر و معنی‌دار تیمار قارچ میکوریزی GE نسبت به GI بر رطوبت‌های نام برده را می‌توان به افزایش ۲۶/۶ درصدی کلونیزاسیون ریشه در قارچ GE نسبت به GI نسبت داد. آقابابائی و رئیسی (۱) طی تحقیقی، اثر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (گلوموس اینترارادیسز و گلوموس موسه) را بر راندمان مصرف آب در بادام بررسی نموده و نتیجه گرفتند که گلوموس اینترارادیسز و گلوموس موسه به ترتیب ۸ و ۱۰ درصد میزان تعرق از سطح برگ را کاهش داده و استفاده از این دو قارچ بازده آب مصرفی را حدود ۳ برابر افزایش داد. چلیک و همکاران (۱۳) طی تحقیق مزرعه‌ای (۵ ساله) اثر کمپوست، قارچ‌های میکوریز، کودهای دامی و کودهای شیمیایی را روی برخی خواص هیدرولیکی یک خاک لوم رسی در مزارع گندم، ذرت و فلفل مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که مقدار آب قابل استفاده (AWC) در تیمارهای میکوریز و کمپوست به صورت معنی‌دار در سطح ۵٪ نسبت به شاهد، به علت تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک در اثر مواد آلی افزوده شده به خاک، افزایش یافت.

هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم شنی مورد آزمایش (تیمار شاهد) حدود ۶/۲ سانتی‌متر بر دقیقه بود (شکل ۳) که بیانگر زیاد بودن هدایت هیدرولیکی در این خاک درشت بافت می‌باشد (۱۵). لذا انتظار می‌رود شستشوی عناصر غذایی و آلاینده‌ها از

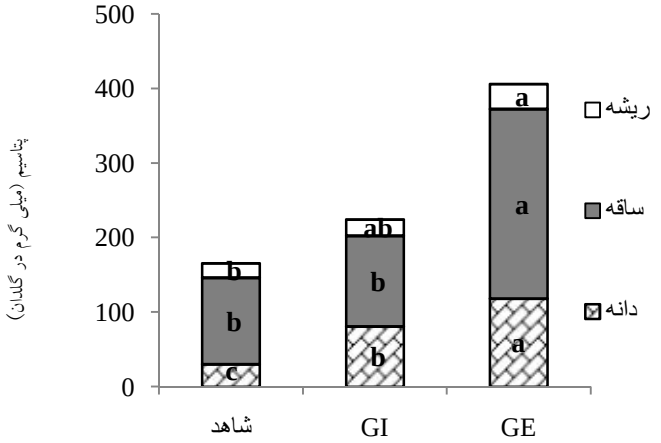


شکل ۳. تأثیر قارچ‌های گلوموس اتونیکاتوم (GE) و گلوموس اینترارادیسز (GI) بر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) در خاک زیر کشت جو بهاره. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشند (آزمون دانکن).



شکل ۴. تأثیر قارچ‌های گلوموس اتونیکاتوم (GE) و گلوموس اینترارادیسز (GI) بر جذب فسفر در دانه، ساقه و ریشه گیاه جو بهاره. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشند (آزمون دانکن).

آن به مقادیر فراوان صورت گیرد. مقایسه میانگین‌ها در شکل ۳ نشان می‌دهد که هدایت هیدرولیکی اشباع خاک درشت بافت در اثر همزیستی میکوریزی در تیمارهای GE و GI نسبت به شاهد به ترتیب ۸۸/۲ و ۶۸/۸ درصد کاهش یافت. این یافته از نظر تأثیر همزیستی میکوریزی بر کنترل تلفات کودهای نیتروژنه از ناحیه ریشه در اثر نفوذ عمقی در حین آبیاری و نیز ممانعت از آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات در اراضی زراعی با خاک شنی بسیار اهمیت دارد (۵، ۱۵، ۲۹). کاهش K_s در تیمارهای قارچی می‌تواند در اثر ترشحات گلومالین باشد که این ماده از طریق به‌هم پیوستن ذرات خاک و خاک‌دانه‌سازی باعث کاهش شدید K_s در خاک درشت بافت مورد آزمایش گردید. همچنین، کاهش سهم منافذ ماکرو و افزایش سهم منافذ میکرو در تیمارهای قارچی نسبت به شاهد (شکل ۱) نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل کاهش K_s باشد. هدایت هیدرولیکی اشباع در تیمارهای تلقیح شده با قارچ GE نسبت به GI، ۶۲/۳ درصد بیشتر کاهش یافت (شکل ۳). علت تأثیر بیشتر و معنی‌دار قارچ GE نسبت به GI بر K_s را می‌توان به افزایش درصد کلونیزاسیون و نیز تعداد اسپورهای قارچی بیشتر در زادمایه قارچ GE در مقایسه با قارچ GI نسبت داد. چلیک و همکاران (۱۲) طی تحقیق خود نتیجه گرفتند که هدایت هیدرولیکی در عمق ۰- ۱۵ سانتی‌متر در اثر حضور قارچ‌های میکوریز و کمپوست از ۰/۸ سانتی‌متر بر ساعت در خاک شاهد به ۲/۶۲ سانتی‌متر در ساعت افزایش یافت. این در حالی است که در تحقیق حاضر، خاک دارای بافت لوم شنی بود و همزیستی میکوریزی باعث کاهش K_s گردید. بنابراین، افزایش یا کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع در اثر همزیستی میکوریزی بستگی به کلاس بافت خاک دارد.



شکل ۵. تأثیر قارچ‌های گلوموس اتونیکاتوم (GE) و گلوموس اینترارادیسز (GI) بر جذب پتاسیم در دانه، ساقه و ریشه گیاه جو بهاره. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشند (آزمون دانکن).

تأثیر همزیستی میکوریزی بر جذب عناصرغذایی در گیاه

فسفر

مقایسه میانگین‌ها در شکل ۴ نشان می‌دهد که مقدار جذب فسفر در دانه، ۲۰/۳ و ۴۴/۱ درصد و در ساقه ۵۰/۶ و ۱۸۱ درصد به‌ترتیب در تیمارهای قارچ میکوریز گلوموس اینترارادیسز (GI) و گلوموس اتونیکاتوم (GE) به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت. تحقیقات نشان داده‌اند که هیف‌های خارجی قارچ‌ها قادر به تحویل بیش از ۸۰٪ از فسفر مورد نیاز گیاه هستند (۲۱). تورک و همکاران (۲۹) اظهار نمودند که نقش اصلی قارچ‌های میکوریزی تأمین فسفر برای ریشه گیاه است. زیرا فسفر در خاک عنصری فوق‌العاده کم تحرک است. حتی در صورتی که فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود به‌سرعت به شکل فسفات کلسیم یا دیگر شکل‌های تثبیت شده در خاک‌های قلیایی (مثل خاک استفاده شده در تحقیق حاضر) و آهکی در می‌آید. لذا، قارچ‌های میکوریزی در افزایش جذب مواد معدنی، به ویژه فسفر، و تجمع زیست‌توده بسیاری از محصولات در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند. همچنین، فسفر دانه ۱۹/۸ درصد و ساقه ۵۱ درصد در گیاهان تلقیح شده با قارچ GE نسبت به قارچ GI افزایش داشت (شکل ۴). این افزایش می‌تواند به‌دلیل بیشتر بودن ۲۶/۶ درصدی کلونیزاسیون ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ GE نسبت به گیاهان تلقیح شده با قارچ GI باشد. آقابابائی و رئیسی (۱) تأثیر همزیستی میکوریزی (گلوموس موسه و گلوموس اینترارادیسز) بر میزان فتوسنتز و راندمان مصرف آب را بررسی نموده و نتیجه گرفتند قارچ‌های میکوریزی باعث افزایش غلظت فسفر در گیاه به میزان ۴۰٪ گردید. لی و همکاران (۲۰) بیان کردند که تلقیح میکوریزی گیاه ذرت نشان داد که غلظت فسفر در اندام هوایی و زیرزمینی حدود دو برابر گردید و در سطوح کم فسفر ۷۶٪ و در سطوح زیاد فسفر ۷۹، افزایش نشان داد.

پتاسیم

مقایسه میانگین‌ها در شکل ۵ نشان می‌دهد که پتاسیم جذب شده در دانه ۱۶۷/۹ و ۲۹۰/۸ درصد و ریشه ۱۱/۴ و ۶۸/۶ درصد به‌ترتیب در گیاهان تلقیح شده با قارچ گلوموس اینترارادیسز (GI) و گلوموس اتونیکاتوم (GE) نسبت به شاهد افزایش یافت. مطالعات قبلی نشان داده که هیف‌های خارجی قارچ‌های میکوریز قادر به تأمین ۱۰٪ از نیاز گیاه همزیست خود به پتاسیم هستند (۱۹ و ۲۱). همچنین، با توجه به شکل ۵، پتاسیم جذب شده در ساقه گیاهان تلقیح شده با قارچ GE، ۱۲۰٪ نسبت به شاهد و ۱۰۹/۳ درصد نسبت به گیاهان تلقیح شده با قارچ GI افزایش داشت. دلیل این افزایش می‌تواند

بیشتر بودن ۲۶/۶ درصدی کلونیزاسیون ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ GE نسبت به GI باشد که باعث کارآیی بهتر قارچ GE در جذب پتاسیم و انتقال به اندام هوایی گردید. رجالی و همکاران (۴) اثر قارچ‌های میکوریزی GI، GE و گلوموس موسه را بر جذب عناصر غذایی در گندم بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در اندام هوایی گیاهان همزیست با قارچ GE، جذب پتاسیم به ترتیب ۱۴ و ۹ درصد بیشتر نسبت به گیاهان همزیست با GI و گلوموس موسه انجام گرفت.

نتیجه‌گیری

همزیستی قارچ‌های میکوریز گلوموس اینترارادیسز و گلوموس اتونیکاتوم با ریشه گیاه جو بهاره از طریق کاهش معنی‌دار منافذ ماکرو و افزایش معنی‌دار منافذ میکرو و مزو باعث افزایش معنی‌دار آب قابل استفاده و کاهش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک درشت بافت مورد آزمایش گردید. همچنین، هر دو قارچ میکوریزی، جذب فسفر و پتاسیم توسط گیاه را در خاک قلیایی به‌کار رفته در تحقیق به طور معنی‌داری افزایش دادند.

منابع مورد استفاده

۱. آقابابائی، ف. و ف. رئیسی. ۱۳۹۰. اثر همزیستی میکوریزایی بر میزان کلروفیل، فتوسنتز و راندمان مصرف آب در چهار ژنوتیپ بادام در استان چهارمحال و بختیاری. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) ۱۵ (۵۶): ۹۱-۱۰۱.

۲. برزگر، ع. ۱۳۸۰. مبانی فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳. خاوازی، ک. و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۰. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک. مجموعه مقالات، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، نشر آموزش، کرج.

۴. رجالی، ف.، ب. مردوخی و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۹. تأثیر همزیستی میکوریزی بر کارآیی مصرف آب، تجمع پرولین و جذب عناصر غذایی گندم در شرایط شور. پژوهش‌های آب در کشاورزی ۲(۲۰): ۱۱۱-۱۲۲.

۵. سالاردینی، ع. ۱۳۸۲. حاصلخیزی خاک. چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.

۶. علیزاده اسکوئی، پ.، ن. علی‌اصغرزاد و ش. باغبان سیروس. ۱۳۸۴. تأثیر قارچ‌های میکوریز VA بر عملکرد و غلظت ویتامین ث میوه گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف فسفر. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲(۶): ۶۰-۷۰.

۷. غلامی، ا. و ع. کوچکی. ۱۳۸۰. میکوریزا در کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات دانشگاه شاهرود.

۸. میرانصاری مهابادی، م.، ح. بهرامی، ف. رجالی و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در تنش تراکم خاک. علوم خاک و آب ۲۰(۱): ۱۰۶-۱۲۱.

9. Anonymous. 1980. Soil and Plant Testing as a Basis of Fertilizer Recommendations. FAO, Rome, Italy.
10. Asghari, S.H., F. Abbasi and M.R. Neyshabouri. 2011. Effects of soil conditioners on physical quality and bromide transport properties in a sandy loam soil. Biosys. Eng. 109: 90-97.
11. Byrnes, B.H. 1990. Environmental effects of N fertilizer use- An overview. Fertil. Res. 26: 209-215.
12. Celik, I., H. Gunal, M. Budak and C. Akpinar. 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. Geoderma 160: 236-243.
13. Celik, I., I. Ortas and S. Kilic. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil Till. Res. 78: 59-67.
14. Hamblin, A.P. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. Adv. Agron. 38: 95-158.
15. Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press, USA.
16. Jarstfer, A.G., P.F. Koppenol and D.M. Sylvia. 1998. Tissue magnesium and calcium affect arbuscular mycorrhiza development and fungal reproduction. Mycorrhiza 7: 237-242.
17. Jeffries, P., S. Gianinazzi, S. Perotto., K. Turnau and J.M. Barea. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Biol. Fertil. Soils 37: 1-16.

18. Klute, A. (Ed.).1986. Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods, 2nd Edition, American Society of Agronomy, Madison, WI.
19. Kothari, S.K., H. Marschner and V. Romheld. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. Plant Soil 131: 177-185.
20. Liu, A., C. Hamel, R.I. Hamilton, B.L. Ma and D.L. Smith. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. Mycorrhiza 9: 331-336.
21. Manjunath, A. and M. Habte. 1988. Development of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and the uptake of immobile nutrients in *Leucaena leucocephala*. Plant Soil 106: 97-103.
22. Marschner, H. and B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant Soil 159: 89-102.
23. Miller, R.M. and J.D. Jastrow. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. PP. 3-18. *In:* Kapulnik, Y. and D.D. Douds, Jr. (Eds.), Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
24. Norris, J.R., D.J. Read and A.K. Varma. 1992. Methods in Microbiology. Vol. 24, Techniques for the Study of Mycorrhiza, Academic Press, London.
25. Page, A.L. (Ed.). 1985. Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Methods, ASA, Madison, WI.
26. Roldan, A., L. Carrasco and F. Caravaca. 2006. Stability of desiccated rhizosphere soil aggregates of mycorrhizal juniperus oxycedrus grown in a desertified soil amended with a composted organic residue. Soil Biol. Biochem. 38: 2722-2730.
27. Sen, K.K. and P.B. Bhadoria. 1987. The effect of soil conditioners on water movement through lateritic sandy loam soil. J. Agron. Crop Sci. 159: 241-244.
28. Soil Science Society of America. 1997. Glossary of Soil Science Terms. SSSA, Madison, WI.
29. Turk, M.A., T.A. Assaf, K.M. Hameed and A.L. Tawaha. 2006. Significance of Mycorrhizae. World J. Agric. Sci. 2: 16-20.
30. Vogeler, I., S.R. Green, T. Mills and B.E. Clothier. 2006. Modelling nitrate and bromide leaching from sewage sludge. Soil Till. Res. 89: 177-184.