جذب پتاسیم و منیزیم در گیاه ذرت میکوریزایی تحت مقادیر مختلف پتاسیم و منیزیم

نرگس خانپور اردستانی[1]، دکتر حسن زارع مایوان[2]، فائزه قناتی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زیست شناسی علوم گیاهی، دانشگاه تربیت مدرس

۲ - دانشیار گروه علوم گیاهی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار گروه علوم گیاهی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

هم‌زیستی میکوریزایی سبب بهبود و افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود. در این تحقیق تأثیرقارچ‌های میکوریزای وزیکولار- آرباسکولار در جذب دو عنصر پتاسیم و منیزیم مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش با استفاده از خاک طبیعی حاوی اسپور *Glomus spp.* در ۴ تکرار با غلظت‌های پتاسیم ۲۴۰ mg/L (پتاسیم موجود در خاک)، ۳۶۰ mg/L، ۴۸۰ mg/L و سه تیمار منیزیم با غلظت‌های ۴/۸ meq/L (غلظت منیزیم در خاک)، ۷/۲ meq/L و ۹/۶ meq/L انجام گرفت. آبیاری هر چهار روز یک بار و به میزان ۵۰ میلی لیتر در هر بار، طی ۱۶ روز انجام شد. شاهد (خاک طبیعی) و خاک استریل (فاقد اسپور قارچ) با آب مقطر آبیاری شدند. برای بررسی هم زیستی میکوریزایی، از ریشه‌های گیاهان برش های طولی تهیه گردید و توسط لاکتوفنل کاتن بلو رنگ آمیزی شدند. جهت تعیین درصد آلودگی اندومیکوریزایی ریشه‌ها از روش grid-line intersect استفاده شد و برای اندازه گیری پتاسیم و منیزیم محتوی بافت از روش جذب اتمی استفاده گردید. آلودگی میکوریزایی درصد جذب عنصر منیزیم را در گیاه افزایش و جذب پتاسیم را کاهش داد. در تیمار ۷/۲ meq/L منیزیم توأم با ۳۶۰mg/L پتاسیم، بیشترین میزان منیزیم و کمترین میزان پتاسیم در ریشه و اندام هوایی مشاهده گردید. با توجه به تأثیر متقابل میکوریزا و عناصر بر یک دیگر، با تنظیم پتاسیم و منیزیم محیط اطراف ریشه، می‌توان میزان میکوریزایی گیاهان را افزایش داد و از این طریق حالات تغذیه‌ای گیاهان را جهت مقاومت در محیط های تنش دار تغییر داد.

کلمات کلیدی: جذب پتاسیم و منیزیم، ذرت، میکوریزای وزیکولار- آرباسکولار.

مقدمه

قارچ‌های میکوریزی اثر کیفی مثبت در رشد و تغذیه‌ی گیاه میزبان دارند (غلامی، ۱۳۷۹). میکوریزا ارتباط هم‌زیستی بین ریشه گیاه و قارچ است که هر دو در این رابطه سود می‌برند (Sharif، 1987). اکثر گیاهان زراعی با قارچ‌های میکوریزی هم‌زیستی دارند (Subba Rao, 1998 - Sharif ، 1987 -Ortas, 1996) این قارچ‌ها با ایجاد ارتباط هم‌زیستی با گیاهان، مزایای زیادی را برای میزبان خود فراهم می کنند. افزایش در جذب آب و عناصر غذایی گیاه میزبان و در نتیجه افزایش رشد و مقاومت به تنش خشکی، افزایش مقاومت به عوامل بیماری زا، تولید هورمون های گیاهی و بهبود ساختمان خاک از طریق تسهیل در ایجاد خاکدانه از جمله مزایایی است که گیاه میزبان در این هم‌زیستی از آن بهره مند می‌شود؛ و در مقابل گیاه میزبان مواد غذایی برای قارچ فراهم می کند (Allen , 1992،). در حال حاضر تحقیقات بسیاری در زمینه‌ی به کارگیری این موجودات هم‌زیست در نظام‌های کشاورزی در سطح دنیا در حال انجام است. در ایران نیز در این زمینه تحقیقاتی توسط (اسماعیل زاده، ۱۳۸۴- سلیمانی، ۱۳۸۴ - غلامی، ۱۳۷۹) صورت گرفته است. پتاسیم و منیزیم از جمله ماکرو المان‌های گیاهی می‌باشند؛ هر دو این عناصر در متابولیسم گیاه دخیل هستند، به علاوه منیزیم در گیاه کارکرد ساختاری نیز دارد (ابراهیم زاده، ۱۳۸۰). با توجه به نقش این عناصر در گیاهان در این مطالعه اثر غلظت‌های مختلف این دو عنصر بر محتوای پتاسیم و منیزیم ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت میکوریزایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

کشت گلدان‌ها: برای این منظور بذر ذرت رقم (*Zea maize Cv. SC700*) با ۸۶٪ جوانه‌زنی مورد استفاده قرار گرفت. بذرها ابتدا با مایع پاک کننده شسته شده و با آب مقطر سه بار آبکشی گردیدند، سپس به مدت ۵ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۵٪ گذاشته شده و با آب مقطر آبکشی گردیدند. بذرهای ذرت جهت جوانه‌زنی به ظروف ضدعفونی شده با الکل ۷۰٪ منتقل شده، هر روز با آب مقطر مرطوب شدند. پس از ۷ روز گیاهچه‌های سالم و به نسبت مشابه به گلدان‌ها منتقل شدند. کشت در گلدان‌های پلاستیکی و در تاریخ ۸۳/۷/۲۲

انجام گردید. خاک سیلتی- لومی که از منطقه‌ی حفاظت شده موته (استان اصفهان) جمع آوری شده بود، برای کشت مورد استفاده قرار گرفت. این خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت شد و مورد آنالیز فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت (جدول۱)، هم‌چنین اسپور قارچ‌های میکوریزایی با روش الک مرطوب و سانتریفوژ در شیب ساکارزی ۵۰٪ از این نمونه خاک جداسازی شدند (Gerdemann, 1963). ابتدا گلدان‌ها با الکل ۷۰٪ استریل شدند، سپس خاک حاوی اسپور قارچ داخل گلدان‌ها منتقل گردید. قبل از ریختن خاک به ته گلدان‌ها، از شن درشت جهت بهبود زهکشی خاک استفاده شد. این آزمایش با سه تیمار پتاسیم ۲۴۰ mg/L (پتاسیم موجود در خاک: غلظت کنترل)، K_1: ۳۶۰ mg/L ، K_2: ۴۸۰ mg/L و سه تیمار منیزیم با غلظت‌های ۴/۸ meq/L (غلظت منیزیم در خاک: غلظت کنترل)، Mg_1: ۷/۲ meq/L و Mg_2: ۹/۶ meq/L انجام شد، هم‌چنین ۳۶۰mg/L پتاسیم توأم با ۷/۲ meq/L منیزیم K_1Mg_1: ، ۳۶۰g/L پتاسیم توأم با ۹/۶ meq/L منیزیم K_1Mg_2: ، ۴۸۰mg/L پتاسیم توأم با ۷/۲ meq/L منیزیم K_2Mg_1: و۴۸۰mg/L پتاسیم توأم با ۹/۶ meq/L منیزیم K_2Mg_2: در تیمارها به کار برده شد. برای تیمار پتاسیم از نمک نیترات پتاسیم (KNO_3) و برای تیمار منیزیم از نمک $MgSO_4.7H_2O$ استفاده گردید. در طول دوره‌ی رشد گیاه و قبل از اعمال تیمارها، آبیاری با آب مقطر به میزان مورد نیاز انجام شد. پس از سه هفته از کاشت گیاهچه‌ها، جهت اطمینان از برقراری رابطه‌ی میکوریزی چند نمونه از آن‌ها برداشت شد و از ریشه ها برش های طولی تهیه گردید سپس توسط لاکتوفنل کاتن بلو رنگ آمیزی شدند (Raju ,1990). پس از ۳۵ روز گیاهچه‌ها به مدت ۱۶ روز تحت تیمار قرار گرفتند. هر دو هفته یک بار از محلول غذایی هوگلند۱/۲ غلظت فسفر(اسماعیل زاده، ۱۳۸۴) به میزان ۵۰ میلی لیتر در هر گلدان‌ها برای تغذیه گیاهان استفاده شد. هر تیمار در ۴ گلدان‌ها تکرار شد و هر گلدان‌ها حاوی ۳ گیاهچه بود و به همراه خاک طبیعی (کنترل) یک حالت شامل خاک اتوکلاو شده (فاقد اسپور قارچ) نیز اضافه گردید که با آب مقطر آبیاری شدند.

تعیین درصد آلودگی اندومیکوریزایی ریشه‌ها: برای تعیین درصد آلودگی ریشه‌ها از روش grid-lineintersect استفاده گردید (Giovannetti , 1998،).

اندازه‌گیری پتاسیم و منیزیم: برای اندازه گیری پتاسیم و منیـزیم محتـوی بافـت از روش جـذب اتمـی و از دستگاه Shimadzu مدل AA- 670 ساخت ژاپن استفاده گردید.

روش‌های آماری: نتایج توسط نرم افزار Excel 2002 تحلیل شد و معنی‌دار بودن یافته‌های حاصل با استفاده از آزمون آماری t.test در سطح $p \leq ۰/۰۵$ مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج

نتایج خاک شناسی: نمونه‌ی خاک جهت کـشت گلـدان‌هـا در آزمایـشگاه خـاک شناسـی تحـت دو سـری آزمایش تجزیه‌ی شیمیایی و تجزیه‌ی مکانیکی خاک قرار گرفت. در تجزیه‌ی شیمیایی میزان عناصـر K، P، Na ، Cl، Ca،Mg و نیز pH و شوری خاک تعیین گردید (جدول ۱)؛ و در تجزیه‌ی مکانیکی میزان رس (۱۲ درصد)، شن (۷۴ درصد)، ماسه (۱۴درصد) و نوع بافت خاک سیلتی- لومی تشخیص داده شد.

تأثیر غلظت‌های مختلف پتاسیم و منیزیم بر میکوریزایی گیاه ذرت: بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲، با اعمال تیمارها درصد آلودگی میکوریزایی نسبت به نمونه خاک استریل در $p \leq ۰/۰۵$ به طور معنی‌داری افزایش یافت. هم‌چنین با تأثیر تیمارهای مختلف پتاسیم و منیزیم بر گلدان‌ها، آلودگی میکوریزایی در مقایسه با نمونه‌ی شاهد، جز درتیمارهای K_1Mg_1 و Mg_1، در بقیه‌ی تیمارها کاهش معنی‌داری نشان داد. بیشترین آلودگی میکوریزایی در تیمار K_1Mg_1 با ۵۶ درصد دیده شد که در مقایسه با تمامی تیمارها در $p \leq ۰/۰۵$ اختلاف معنی‌داری داشت.

تأثیر غلظت‌های مختلف پتاسیم و منیزیم بر محتوای پتاسیم و منیزیم ریشه و اندام هوایی: بر اساس نتایج مندرج در نمودار ۲ و ۳، با اعمال تیمارها محتوی پتاسیم ریشه و اندام هوایی نسبت به نمونه خاک استریل به طور معنی‌داری کاهش یافت. هم‌چنین با تأثیر تیمارهای مختلف پتاسیم و منیزیم بر گلدان‌ها، در مقایسه با نمونه‌ی شاهد، جز درتیمارهای Mg_1،K_1Mg_1، در بقیه‌ی تیمارها افزایش میزان پتاسیم در ریشه و اندام هوایی مشاهده گردید که این افزایش در تیمار Mg_2 معنی‌دار نبود.

با اعمال تیمارها، محتوی منیزیم ریشه نسبت به نمونه‌ی خاک استریل جز در تیمار K_2Mg_2 به طور معنی‌داری افزایش یافت. هم‌چنین با تأثیر تیمارهای مختلف پتاسیم و منیزیم بر گلدان‌ها، در مقایسه با نمونه‌ی شاهد، جز در تیمارهای $Mg_1K_1Mg_1$، در بقیه‌ی تیمارها کاهش میزان منیزیم در ریشه مشاهده گردید که این کاهش در تیمار Mg_2 معنی‌دار نبود (نمودارهای ۱ و ۴).

در کلیه‌ی تیمارها، منیزیم محتوی اندام هوایی نسبت به نمونه‌ی خاک استریل به طور معنی‌داری افزایش یافت. هم‌چنین با تأثیر تیمارهای مختلف پتاسیم و منیزیم برگلدان‌ها، جز درتیمارهای $Mg_1K_1Mg_1$، در مقایسه با نمونه‌ی شاهد، در بقیه‌ی تیمارها میزان منیزیم در اندام هوایی به طور معنی‌داری کاهش یافت (نمودار ۴). با توجه به موارد فوق، بیشترین میزان پتاسیم در ریشه و اندام هوایی در تیمار K_2Mg_2 و کمترین آن در تیمار K_1Mg_1 دیده شد و بیشترین میزان منیزیم در ریشه و اندام هوایی در تیمار K_1Mg_1 و کمترین آن در تیمار K_2Mg_2 مشاهده گردید. شکل ۱ کشت گلدان‌ها گیاه ذرت در خاک حاوی اسپور *Glomus spp.* و شکل‌های ۲و۳ تشکیل وزیکول و آرباسکول در برش طولی ریشه‌ی گیاه ذرت در کشت گلدان‌ها را نشان می‌دهند.

بحث

هم‌زیستی میکوریزایی سبب بهبود و افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود. در این تحقیق تأثیر میکوریزا در جذب دو عنصر پتاسیم و منیزیم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد با اعمال تیمارها محتوای پتاسیم ریشه و اندام هوایی نسبت به نمونه‌ی خاک استریل کاهش می‌یابد. با افزایش درصد میکوریزایی، محتوای این کاتیون در ریشه و اندام هوایی کاهش یافت و بنابراین مشاهده می‌شود که در تیمار K_1Mg_1 با بالاترین درصد میکوریزایی، کمترین محتوای پتاسیم وجود دارد. محققین مختلف نسبت به جذب پتاسیم نظرات متفاوتی دارند. (مستأجران و ضوئی، ۱۳۷۸)، کاهش جذب این عنصر را هنگام میکوریزایی، به علت داشتن بار مثبت و جایگزین شدن بر روی رس و هوموس و کمی تحرک بیان کرده اند (۷). هم‌چنین کاهش میزان پتاسیم ممکن است مربوط به اثر رقابتی یون کلسیم بر جذب یون پتاسیم باشد و یا این که به حامل‌های انتقال دهنده‌ی این دو یون مربوط می‌باشد. بر اساس فرضیه‌ی دو حاملی برای جذب کاتیون، حامل I در غلظت‌های خارجی کم کاتیون‌ها غالبیت داشته و برای جذب پتاسیم اختصاصی است. در حالی که حامل Π در سطح‌های بالای کاتیون خارجی عمل نموده

و نسبت به حامل I برای جذب پتاسیم تبعیض کمتری قایل می‌شود. حامل Π حداکثر سرعت (V_{max}) بیشتری از حامل I داشته و در شرایط بالا بودن غلظت نمک خارجی، در جذب کاتیون‌ها غالبیت دارد. در غلظت‌های بالای کاتیون در محیط ریشه، حامل Π به کار می افتد و در چنین شرایطی، غشاء سلول برای کلسیم نفوذپذیر شده، از جذب پتاسیم جلوگیری می کند (ابراهیم زاده، ۱۳۸۰ و کمال نژاد، ۱۳۸۳). به علت بالا بودن یون کلسیم در خاک منطقه این مکانیسم به احتمال یکی از راه‌های کاهش پتاسیم در گیاه است. با توجه به این که دو عنصر پتاسیم و کلسیم با یک دیگر ناسازگارند، بنابراین با بالا بودن غلظت این عنصر در خاک، غلظت پتاسیم در گیاه کاهش می یابد. هم‌چنین کاهش غلظت پتاسیم ممکن است به دلیل مکانیسم تحمل القاء شده به وسیله‌ی VAM باشد (Strandberg & Johansson, 1999).

(Liu & all , 2002) بیان کردند که ممانعت فسفر بالا بر روی فعالیت میکوریزایی دلیل اصلی کاهش جذب عناصر دیگر است. مشخص شده است که پلی فسفات‌ها در هیف‌های قارچی می توانند فلزات را ساکن کنند و ترابری آن‌ها را در ریشه‌ی گیاهان میکوریزی کم کنند. بنابراین ممکن است کاهش غلظت پتاسیم در بافت گیاه میزبان پس از افزودن تیمارها، به علت نگهداری آن در(Vesicular- Arbuscular Mycorrhiza) VAM باشد. پتاسیم بالا در هیف‌های درون سلولی و آرباسکول‌ها باعث افزایش فشار تورگر می‌شود. افزایش فشار تورگر برای فشار به دیواره‌ی سلولی و فرورفتگی در غشاء پلاسمایی سلول میزبان به هیف کمک می کند و این فشار، هیف بین سلولی را قادر می سازد که فضای بین سلولی را وسیع کند (Ryan & all , 2003). اسیدیته خاک نیز انتقال پتاسیم را تقویت می کند. با توجه به این که خاک مورد بررسی به نسبت قلیایی است، این امر در کاهش غلظت پتاسیم نقش دارد. Kothari و همکارانش (۱۹۹۰) با بررسی اثر میکوریزا بر جذب عناصر غذایی در ذرت اظهار داشتند که در بوته‌های میکوریزی غلظت پتاسیم نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی کمتر است.

(Kothari & all, 1990). غلامی نیز اعلام کرد که غلظت پتاسیم به طور معنی‌داری در بوته های آلوده در مقایسه با بوته های کنترل کمتر است (غلامی، ۱۳۷۹).نتایج به دست آمده با نتایج سایر محققین نیز که در این زمینه کار کرده اند مطابقت دارد (Kothari & all, 1990 - Khalil & all, 1994). محاسبات ضریب رگرسیونی هم‌بستگی منفی (۹۶ $\leq R^2$) بین درصد آلودگی میکوریزایی با محتوای پتاسیم ریشه و اندام هوایی را نشان داد (شکل 4a، 4b). هم‌چنین با اعمال تیمارها، محتوای منیزیم ریشه نسبت به نمونه‌ی خاک استریل جز در

تیمار K_2Mg_2 به طور معنی‌داری افزایش یافت. این فاکتور در اندام هوایی گیاه ذرت نیز نسبت به نمونه خاک استریل، به طور معنی‌داری افزایش نشان داد. مشارکت میکوریزا با ذرت در جذب منیزیم معنی‌دار است (Liu & all , 2002). بنابراین به نظر می رسد کاهش منیزیم در تیمار K_2Mg_2 به دلیل کاهش درصد میکوریزایی و افزایش منیزیم ممکن است به دلیل ناسازگاری پتاسیم و منیزیم باشد. (Bednarz & all, 1998) اعلام داشتند که استفاده از پتاسیم، مقدار منیزیم گیاه را کاهش می‌دهد. تحقیقات نشان می‌دهد که افزایش پتاسیم باعث کاهش میزان منیزیم می‌شود (ابراهیم زاده، ۱۳۸۰) و پتاسیم یک اثر آنتاگونیسمی روی جذب منیزیم دارد (Ryan & all , 2003). بنابراین با افزایش میکوریزایی و کاهش غلظت پتاسیم در گیاه میزبان، منیزیم افزایش می یابد. شاید این انتقال از طریق (غیرانتخابی) مکانیسم Π است یا آنکه پدیده مذکور بعلت رقابت آن‌ها به هنگام انتقال دوردست باشد (اپستین، ۱۳۶۸). به علاوه با اعمال تیمارها، در مقایسه با نمونه‌ی شاهد، جز در تیمارهای K_1Mg_1 Mg_1، در بقیه‌ی تیمارها کاهش میزان منیزیم در ریشه و اندام هوایی مشاهده گردید؛ که این امر به طور مستقیم به میزان آلودگی گیاه میزبان ارتباط دارد. با افزایش میزان میکوریزایی، درصد جذب منیزیم نیز در گیاه افزایش می یابد به طوری که در تیمار K_1Mg_1 به بیشترین حد خود می‌رسد، در حالی که در سایر تیمارها این میزان کاهش یافته است. هم‌چنین با توجه به این که تأثیر مفید میکوریزا روی تغذیه گیاه تنها تحت شرایط تغذیه ای پایین اتفاق می افتد، با افزایش میزان منیزیم در خاک، میزان جذب آن توسط میکوریز محدود شده و مقدار آن در گیاه کاهش می یابد (ابراهیم زاده، ۱۳۸۰ – غلامی، ۱۳۷۹ – مستاجران، ۱۳۷۸). هم‌چنین کاهش در غلظت این عنصر می‌تواند بر اثر رقت ناشی از رشد گیاه در حضور میکوریز باشد. بیشترین میزان جذب منیزیم در تیمار K_1Mg_1 دیده شد که بیشترین میکوریزایی و کمترین میزان جذب پتاسیم را داشت، بنابراین اثر آنتاگونیسمی پتاسیم بر جذب منیزیم به طور کامل آشکار است. محاسبات ضریب رگرسیونی هم‌بستگی مثبت ($R^2 \geq$ ۹۱) بین درصد آلودگی میکوریزایی با محتوای منیزیم ریشه و اندام هوایی را نشان داد (شکل ۴c، d). قارچ‌های میکوریزی اثر کیفی مثبت در رشد و تغذیه گیاه میزبان دارند (غلامی، ۱۳۷۹). مطالعاتی که در سال‌های اخیر انجام شده نشان می دهند که قارچ‌های میکوریزا به منابع غذایی دسترسی دارند، پیش از این تصور بر این بود که گیاهان نمی توانند به آن‌ها دسترسی داشته باشند. میکوریزا می‌تواند مواد غذایی به ویژه کربن و فسفر را توسط پل‌های هیف میکوریزی از ریشه یک گیاه به گیاه دیگر منتقل کند (Jackson & all, 1984)، از سوی

دیگر منیزیم در جذب یون‌های فسفر دخالت دارد (یون‌های فسفر می توانند تا حدودی به وسیله‌ی عمل فسفریلاسیون در سلول‌ها نفوذ کنند) به همین جهت جذب فسفر از محلول‌های غذایی به نسبت مناسبی از این عنصر و منیزیم بستگی دارد (ابراهیم زاده، ۱۳۸۰). با توجه به تأثیر متقابل میکوریزا و عناصر بر یکدیگر و با تنظیم پتاسیم و منیزیم محیط اطراف ریشه می‌توان میزان میکوریزایی گیاهان را افزایش داد، و از این طریق حالات تغذیه‌ای گیاهان را جهت مقاومت در محیط‌های دارای تنش تغییر داد.

سپاس گزاری

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس جهت تأمین اعتبار پژوهشی این طرح اعلام می‌دارند.

جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ی خاک منطقه جهت کشت گلدان‌ها

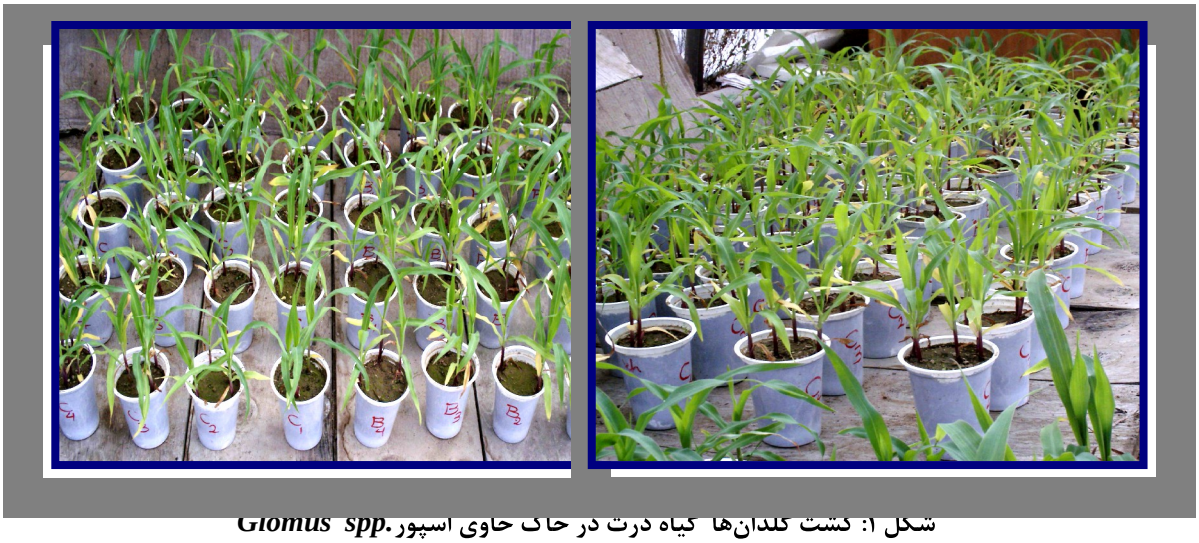
Mg درعصاره	Ca+ Mg	Kدرعصاره	Clدرعصاره	Naدرعصاره	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	شوری	اسیدیته کل
۴/۸	۱۰/۸	۰/۶۹	۷	۴/۹	۶/۶	۲۴۰	۱/۴۳	۷/۷

$K_{1:\ 360\ mg/L}$; $K_{2:\ 480\ mg/L}$; $Mg_{1:\ 7/2\ meq/L}$; $Mg_{2:\ 9/6\ meq/L}$

جدول ۲: تأثیر تیمارهای مختلف پتاسیم و منیزیم بر میکوریزایی گیاه ذرت*

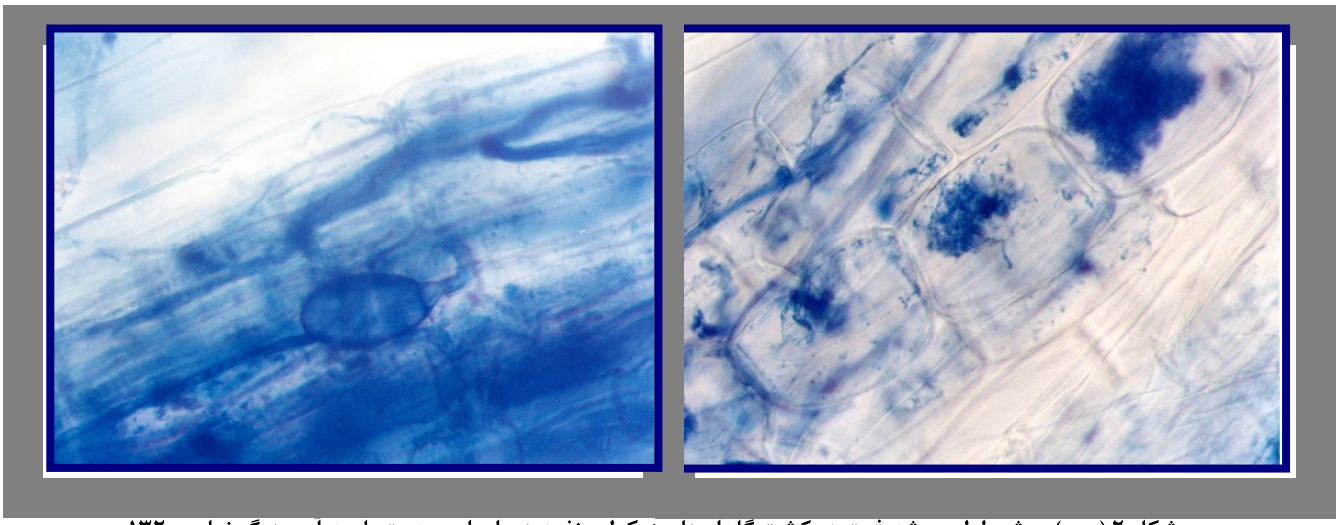
تیمار	بدون میکوریز	شاهد	Mg_1	Mg_2	K_1	K_1Mg_1	K_1Mg_2	K_2	K_2Mg_1	K_2Mg_2
درصد	^{h}۰	۳۴^{a}	۴۱^{b}	۳۰^{c}	۲۵^{d}	۵۶^{e}	۲۱^{f}	۱۹^{f}	۱۳^{g}	۹^{g}

$K_{1:\ 360\ mg/L}$; $K_{2:\ 480\ mg/L}$; $Mg_{1:\ 7/2\ meq/L}$; $Mg_{2:\ 9/6\ meq/L}$



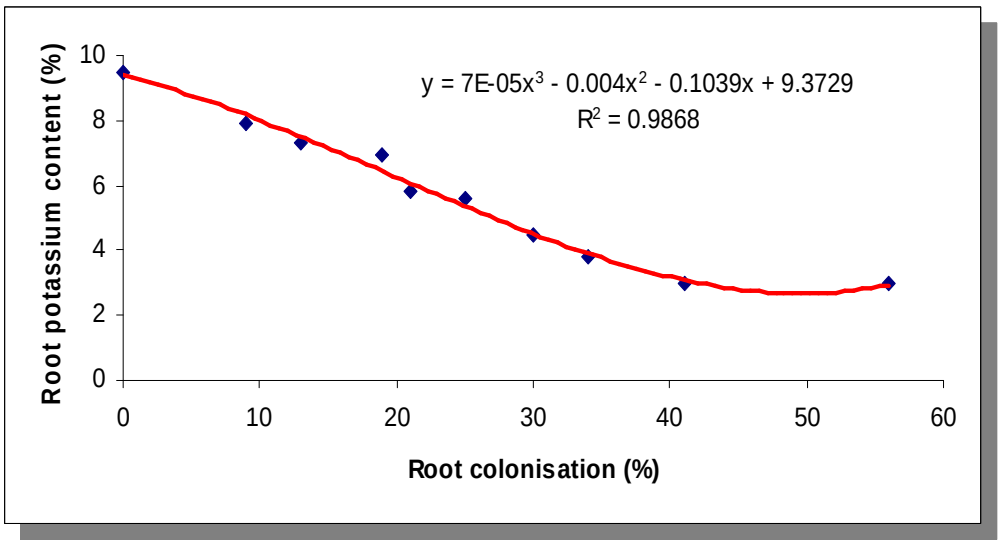
شکل ۱: کشت گلدان‌ها "گیاه ذرت در خاک حاوی اسپور *Glomus spp.*

K_{1}: 360 mg/L ; K_{2}: 480 mg/L ; Mg_{1}: 7/2 meq/L ; Mg_{2}: 9/6 meq/L

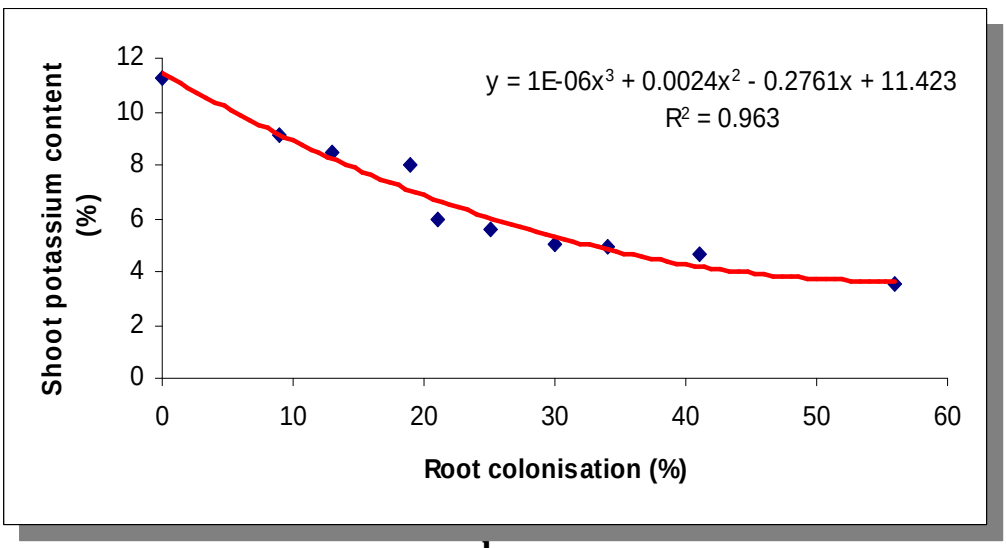


شکل ۲ (چپ): برش طولی ریشه ذرت در کشت گلدان‌ها، وزیکول منفرد همراه با ریسه متصل به آن، بزرگ نمایی ۱۳۲۰

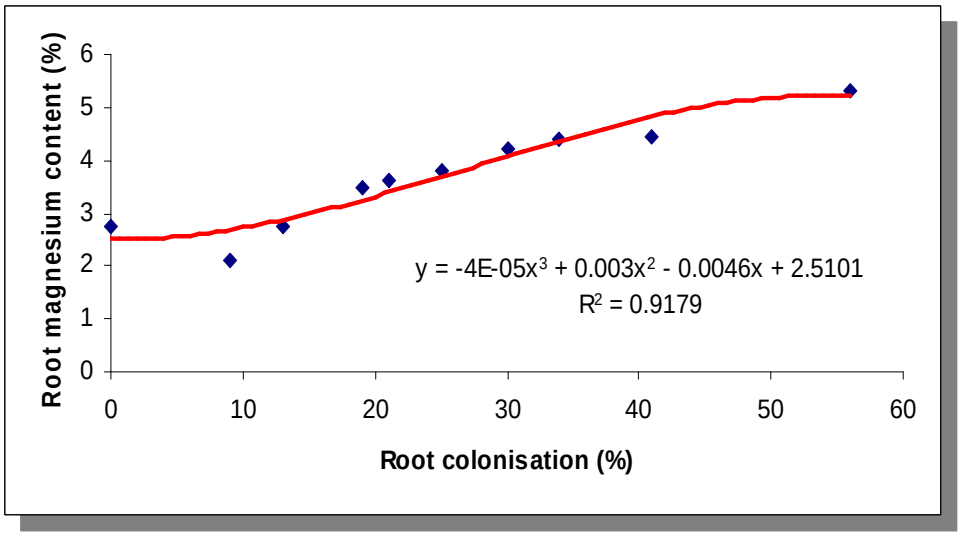
شکل ۳ (راست): برش طولی ریشه ذرت در کشت گلدان‌ها، مشاهده آرباسکولهای متراکم دو شاخه‌ای درون سلول‌ها، بزرگ نمایی ۱۳۲۰


Root potassium content (%)
y = 7E-05x3 - 0.004x2 - 0.1039x + 9.3729
R2 = 0.9868
Root colonisation (%)

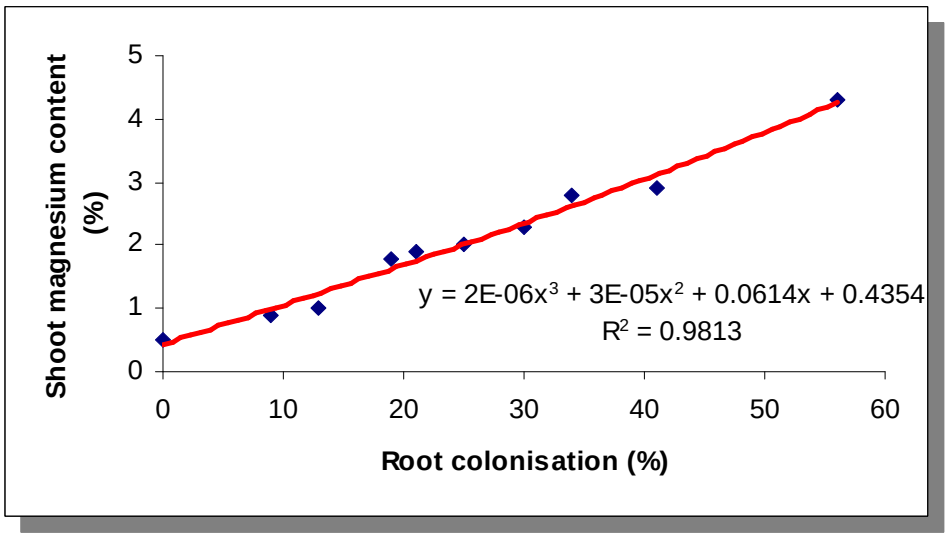
a


Shoot potassium content (%)
y = 1E-06x3 + 0.0024x2 - 0.2761x + 11.423
R2 = 0.963
Root colonisation (%)

b



c



d

شکل ۴: نمودار خط رگرسیون بین آلودگی میکوریزایی و محتوای a: پتاسیم ریشه b: پتاسیم اندام هوایی c: منیزیم ریشه d: منیزیم اندام هوایی

منابع

۱- ابراهیم زاده، حسن. ۱۳۸۰. فیزیولوژی گیاهی، مبحث تغذیه و جذب، جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران.

۲- اسماعیل‌زاده بهابادی، صدیقه. ۱۳۸۴. بررسی و پراکنش جمعیت‌های میکوریزایی پارک ملی تندوره (خراسان) و تاثیر عناصر کلسیم و پتاسیم بر مایکوریزایی شدن در شرایط آزمایشگاهی. پایان نامه کارشناسی ارشد علوم گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.تهران.

۳- اپستین، امانوئل. ۱۳۶۸. اصول و دیدگاه‌های تغذیه معدنی گیاهان. ترجمه‌ی غلامحسین حق نیا و سید عبدالحسین ریاضی همدانی. مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

۴ - سلیمانی، مهدی. ۱۳۸۴. بررسی پراکنش جمعیت‌های میکوریزا در منطقه‌ی حفاظت شده ساریگل (خراسان) و تاثیر شوری و فسفر (P) و پتاسیم (K) بر میکوریزایی شدن گیاه ذرت. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد علوم گیاهی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.تهران

۵- غلامی، احمد .۱۳۷۹. نقش قارچ های میکوریز وزیکولار-آرباسکولار در تامین پایدار عناصر غذایی در ذرت. پایان نامه‌ی دکتری، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۶- کمال نژاد، جمال الدین. ۱۳۸۳.بررسی اثرات شوری و پتاسیم بر میزان رشد و جذب یون در برخی از ارقام جو. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد علوم گیاهی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس. تهران.

۷- مستأجران، اکبر و فرزانه ضوئی. ۱۳۷۸. هم‌زیستی ، جلد اول: میکوریزا. انتشارات دانشگاه اصفهان، اصفهان.

8- Allen، M. J.1992، Mycorrhizal function، Chapman & Hall

9- Bednarz، C.W.، Oosterhuis، D.M. and Erans، R.D. 1998. Leaf photosynthesis and carbon isotope discrimination of cotton in response to potassium deficiency. *Environ. Exp. Bot.*، 39: 131- 139.

10- Gerdemann، J.W.، Nicolson، T.H.، 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Brit. *Mycol. Soc.*، 46: 235-244

11- Giovannetti، M. and Mosse، B. 1998. An evaluation of techniques for measuring vesicular- arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*.، 84: 489-500.

12- Jackson، R. M. and Philip، A. Mason. 1984. Studies in biology 159. Mycorrhiza، Edward Arnold.

13- Khalil، S.، Loynachan، T.E. and Tabatabai، M.A. 1994. Mycorrhizal dependency

and nutrient uptake by improved corn and soybean cultivars. *Agron. J*.، 86: 949- 958.

14- Kothari، S.K.، Marschner، H. and Romheld، V. 1990. Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on acquisition of mineral nutrients by maize (Zea mayz L.) in a calcareous soil. *New Phytol*.، 116: 637- 645.

15- Liu، A.، Hamel، C.، Hamilton، RI. Ma، BL.، Smith، DL. 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(6):331-336.

16- Liu، A.، Hamel، C.، Elmi، A.، Costa، C.، Ma، B.، Smith، DL. 2002. Concentrations of K، Ca and Mg in maize colonized by arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. *Canadian Journal of Soil Sciences*.، 82(3):271-278.

17- Ortas، I. 1996. The influence of use of different rates of mycorrhizal inoculum on root infection، plant growth and phosphorus uptake. Cummun. Soil. *Sci. Plant*. Anal. 27 (18-20): 1935- 2946.

18- Raju، P.S.، Clarck، R.B.، Ellis، J.R. and Maranville، J.W. 1990. Effects of species of VA- mycorrhizal fungi on growth and mineral uptake of sorghum at different temperatures. *Plant and Soil*.، 121: 165- 170.

19- Ryan، M.H.، McCully، M.E. and Huang، C.x. 2003. Location and quantification of phosphorus and other elements in fully hydrated، soil- grown arbuscular mycorrhizas: a cryo- analytical scanning electron microscopy study. *New phytologist*.، 160: 429- 441.

20- Safir، G.R. (editor). 1987. Ecophysiology of VA. Mycorrhizal plants. Chapter 9: 172-192.

21- Strandberg، Morten.، Johansson، M. 1999. Uptake of nutrients in Calluna vulgaris seed plants grown with and without mycorrhiza. *Forest Ecology and Management*.، 114: 129- 135.

22- Subba Rao، N.S. 1998. Biofertilizer in agriculture. Mycorrhizal fungi (chapter 9). Oxford & ibh.