

## اثر قارچ میکوریز توأم با برخی میکروارگانیسم‌ها و ترکیبات شیمیایی بر عملکرد شاخص‌های رشدی و فتوسنتزی ذرت

معصومه احمد زاده، ابراهیم صداقتی<sup>1</sup>، روح الله صابری ریسه، اصغر رحیمی،

علی اکبر محمدی میریک و نرگس حاتمی

کارشناسی ارشد آسیب شناسی گیاهی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، ایران؛ Ahmadzadehmasomeh@gmail.com

استادیار بیماری شناسی گیاهی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، ایران؛ sedaghati@vru.ac.ir

استادیار بیماری شناسی گیاهی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، ایران؛ r.saberi@vru.ac.ir

دانشیار زراعت، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، ایران؛ rahimia@vru.ac.ir

دانشیار زراعت، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، ایران؛ a.mohammadi@vru.ac.ir

عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور، دانشکده کشاورزی؛ narges.hatamy123@gmail.com

دریافت: 99/12/6 و 1400/10/29

### چکیده

با توجه به اهمیت برخی محصولات کشاورزی، مانند ذرت و قابلیت بالای آن‌ها در میزبانی قارچ‌های میکوریزا، استفاده از برخی ریزجانداران و ترکیبات شیمیایی در راستای بهبود فعالیت میکوریزایی حائز اهمیت است. به این منظور، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر<sup>(عج)</sup> رفسنجان به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این بررسی، قارچ‌های *Rhizophagus (RI) Funneliformis mosseae (FM)*، *Rhizophagus irregularis (RIr) intraradices* به‌عنوان زادمایه میکوریزایی استفاده گردید و تأثیر برخی ریزجانداران شامل، مخمر *(Issatchenkia orientalis)* و باکتری *(Pseudomonas fluorescens VUPf5)* و همچنین ترکیبات شیمیایی از جمله، چای کمپوست، عصاره آژولا، سیدروفور باکتریایی، اسید هیومیک، کمپلکس آمینو اسید، بر فعالیت قارچی و پارامترهای رویشی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت رقم SC750 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تمامی گونه‌های قارچ میکوریز توأم با تیمار باکتریایی و ترکیبات شیمیایی تأثیر معنی‌داری بر قطر و رشد طولی ساقه، افزایش سطح برگ، وزن تر و خشک‌ریشه و وزن تر خشک شاخساره داشتند. نتایج تجزیه واریانس بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی نشان داد تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر شاخص کلروفیل در یک سطح بوده و طبق مقایسه میانگین بین تیمارهای توأم با قارچ میکوریز و عدم وجود قارچ میکوریز اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. با اینحال، کاربرد گونه‌های مختلف قارچ میکوریز تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان محتوای کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید گیاه ذرت در مقایسه با شاهد (بدون قارچ میکوریز) داشتند. کاربرد اسید هیومیک و چای کمپوست باعث القای بیشترین افزایش رشد شدند. تیمار کمپلکس آمینو اسید توأم با *RI* بیشترین تأثیر را بر افزایش کلروفیل *a* کلروفیل *b* و کلروفیل کل داشت. تیمار مخمر و کمپلکس آمینو اسید به ترتیب بیشترین تأثیر را بر افزایش کارتنوئیدها داشتند.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای رویشی، ترکیبات شیمیایی، ذرت، قارچ میکوریز آربوسکولار

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: رفسنجان، دانشگاه ولیعصر - دانشکده کشاورزی، گره گیاهپزشکی

اکولوژیکی و اقتصادی فراوانی می‌باشند و به‌عنوان یک کود بیولوژیک مهم در سیستم خاک-گیاه محسوب می‌شوند.

چای کمپوست از قرار دادن ورمی کمپوست در آب و هوادهی آن حاصل می‌شود (سکورل و ماهاف، 2004). هوادهی چای کمپوست و افزودن مواد اصلاحی منجر به افزایش رشد ریزجانداران مفید آن می‌گردد. بنابراین، توانایی بالقوه چای کمپوست در افزایش رشد گیاه ممکن است مربوط به توانایی ریزجانداران در افزایش خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک باشد که این جمعیت میکروبی فعال باعث بهبود باروری خاک و در نتیجه بهبود رشد گیاه می‌شود (نولاند و وپ، 2003).

باکتری‌ها فراوان‌ترین ریزجانداران در ناحیه ریزوسفر خاک هستند و با توجه به قدرت رقابت بالای آن‌ها در کلنیزاسیون ریشه، فیزیولوژی گیاه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (*Plant growth promoting rhizobacteria*) می‌توانند با دو روش مستقیم و غیرمستقیم بر رشد و نمو گیاه اثر مفید داشته باشند. در حالت غیرمستقیم، کاهش یا ممانعت از اثرات مضر بیمارگرهای گیاهی معمولاً از طریق رقابت برای کلنیزاسیون و اشغال فضاهای مناسب روی سیستم ریشه، تولید و ترشح برخی متابولیت‌های میکروبی مثل آنتی‌بیوتیک‌ها، سیانید هیدروژن، آنزیم‌های لیتیک و افزایش مقاومت سیستمیک گیاه صورت می‌گیرد (زهیر و همکاران، 2004). در حالت مستقیم، باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق تثبیت نیتروژن، حل کردن فسفات‌های نامحلول، تأمین آهن از طریق تولید سیدروفورها، تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین و کاهش اتیلن باعث بهبود و افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (کلوپر و همکاران، 1989).

پیش‌تر مشخص شده است که، استفاده از عصاره جلبک دریایی و سرخس آزولا موجب بهبود مقاومت گیاه

مواد آلی عامل اصلی حاصلخیزی و باروری خاک هستند و برای حفظ سطح حاصلخیزی و قابلیت تولید خاک، میزان این مواد باید در سطح مناسبی حفظ شود (پدرا و همکاران، 2007). این در حالی است که، امروزه کودهای شیمیایی به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گیاهان زراعی مطرح می‌باشند و استفاده زیاد از آن‌ها به‌ویژه هنگامی که با اقدامات مدیریتی نامناسب مثل سوزاندن بقایای گیاهی همراه باشد، مواد آلی خاک را به‌شدت کاهش می‌دهد (پیرسته انوشه و همکاران، 1389). همچنین، کاربرد زیاد کودهای شیمیایی در درازمدت باعث تخریب خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، کاهش نفوذپذیری، افزایش وزن مخصوص ظاهری و در نهایت باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (متقیان و همکاران، 1386).

در حال حاضر، استفاده از ریزجانداران مفید به‌عنوان نهاده‌های کشاورزی مؤثر در افزایش تولید به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی در راستای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است (صالح راستین، 2001). یکی از راه‌های دستیابی به کشاورزی پایدار استفاده از ریزموجوداتی است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی گیاهان دارند (قربانپور و همکاران، 2016). همچنین، افزایش ماده آلی خاک با استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست، ورمی‌کمپوست، اسید هیومیک و استفاده از ریزجانداران مفید، از قبیل باکتری‌ها و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، در این رابطه بسیار مؤثر است. همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار منجر به بهبود شرایط تغذیه‌ای و استقرار بهتر گیاه، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده (بیماری‌ها و آفات) و غیرزنده (شوری، خشکی و عناصر سنگین)، کاهش سرعت تبخیر و تعرق، افزایش بازده مصرف آب، افزایش عملکرد و افزایش سرعت فتوسنتز در گیاه می‌گردد (کالوت و همکاران، 2004؛ فیدلیباس و همکاران، 2000). از این‌رو، قارچ‌های میکوریز دارای اهمیت

گیاهان زراعی می‌باشد، این پژوهش باهدف بررسی تأثیر کاربرد توأم قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با برخی تیمارهای میکروبی و ترکیبات شیمیایی بر فاکتورهای رشدی و فتوسنتزی گیاه ذرت انجام گردید.

### مواد و روش‌ها

تیمارهای آزمایشی شامل سه گونه قارچ میکوریز آربوسکولار *R. F. mosseae (FM)*، *R. irregularis (RIr)*، *intraradices (RI)* و شاهد بدون قارچ بودند. گونه‌های قارچی از کلکسیون قارچ‌های میکوریز دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان تهیه‌شده و جهت اطمینان از نوع گونه، شناسایی مورفولوژیکی (رنگ اسپور، شکل، تزئینات سطح، اندازه و ساختار دیواره) و شناسایی مولکولی (تعیین توالی از ناحیه *S r DNA18*) انجام گرفت و نتایج شناسایی مولکولی در سایت NCBI<sup>1</sup> ثبت گردید. تیمار میکروبی شامل: باکتری *Pseudomonas fluorescens VUPF5* مخمر *Jssatchenkia orientalis* چای کمپوست (حاوی 250 گرم چای کمپوست، 50 سی‌سی ملاس چغندر قند و 50 سی‌سی جلبک دریایی)، آزولا (C/N 10) و ترکیبات غیرزنده، شامل کمپلکس اسیدهای آمینه (آمینو اسید پودری 50٪، آمینواسپارک)، اسید هیومیک (Humax 95Wsj, HJ Biotech Inc) و سیدروفور باکتریایی (پرشین بنیان آریا) نیز تهیه گردید.

بذرهای ذرت رقم SC750 در محلول نیم درصد هیپوکلریت سدیم غوطه‌ور شده و پس از 20 ثانیه، چند مرتبه با آب مقطر شسته شدند و 60 دقیقه در دمای 121 درجه سلسیوس اتوکلاو شد و پس از جوانه زنی بذور 200 گرم از اینوکولوم قارچ میکوریز به هر گلدان اضافه شد و گلدان‌ها در گلخانه با دمای 27-25 درجه سلسیوس قرار در گلدان پلاستیکی 4 کیلویی با قطر دهانه 7- سانتی 20 سانتی متر و ارتفاع 20 سانتی متر که قبل از پر شدن با خاک، با هیپوکلریت سدیم نیم درصد شسته و با الکل 70 درصد ضدعفونی شدند و حاوی خاک به نسبت 2:1

به سرما، خشکی، آفات و بیماری‌ها، افزایش عملکرد محصولات و مصرف کارآمدتر مواد مغذی داخل خاک می‌گردد (ماتیسیاک و همکاران، 2010). تأثیر عصاره جلبک بر کشت گیاهان به نوع محصول، غلظت عصاره و شرایط محیطی بستگی دارد (کراجی، 2010). همچنین مشخص شده است این جلبک‌ها حاوی مواد محرک رشد و توسعه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در گیاهان هستند (کوادا و همکاران، 2006).

هیومیک‌ها از لحاظ تغذیه منبعی از نیتروژن، فسفر و گوگرد برای گیاهان و ریزجانداران می‌باشند. مهم‌ترین تأثیرات قابل‌مشاهده مصرف مواد هیومیکی، بهبود ساختار خاک، کمک به ریشه‌زایی و توسعه ریشه، ایجاد تعادل بین دو بخش رویشی و زایشی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول از لحاظ مقدار پروتئین می‌باشد (دهانپال و سکار، 2013).

آمینواسیدها از اجزای بنیادی در مراحل آغازین سنتز پروتئین‌ها به شمار می‌روند و اثبات شده است که آنها می‌توانند به‌طور مستقیم تأثیر مهمی در فعالیت‌های حیاتی و ساختارهای گیاهی داشته باشد. آمینو اسیدهایی که به صورت کود در اختیار گیاه قرار می‌گیرند در خاک استقرار می‌یابند و به بهبود ساختار خاک و به‌طور کلی فلور گیاهی خاک کمک می‌کنند و بدینوسیله جذب مواد غذایی خاک را توسط ریشه گیاهان آسان می‌کنند. همچنین باعث می‌شوند که مواد غذایی به‌طور یکسان از طریق خاک جذب گیاه شود. همچنین، حضور قارچ‌های میکوریز همزیست با ریشه گیاه باعث جذب سریعتر آمینواسیدها و در نتیجه اثربخشی بیشتر آنها می‌شود (تالبوت و تراستر، 2010).

از بین گیاهان زراعی، ذرت از اهمیت زیادی در ایران و جهان برخوردار بوده و عمدتاً به‌منظور تولید دانه کشت می‌شود. از آنجاکه رویکرد جهانی در تولید گیاهان زراعی مهم مانند ذرت با استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و به‌کارگیری روش‌های مدیریتی آنها نظیر کاربرد کودهای زیستی به‌منظور ارتقاء عملکرد کیفی و کمی

<sup>1</sup> AY6358331-*F.mosseae*; HF968841-1-*R.irregularis*; EU232660-1-*R.intraradices*

### وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه

برای اندازه‌گیری وزن تر ابتدا گیاه از ناحیه طوقه جدا و به دو قسمت شاخساره و ریشه تقسیم شد و پس از شستشو و خشک‌کردن به‌طور جداگانه وزن شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت 48 ساعت در آن با دمای 72 درجه سلسیوس قرار گرفته و سپس وزن شدند.

### سطح برگ

جهت تعیین سطح برگ، برگ‌ها از بوته جدا شده و با دستگاه سنجش سطح برگ ( Leaf area Measurement System Delta T, WD<sub>3</sub>, UK) اندازه‌گیری صورت گرفت.

### اندازه‌گیری شاخص کلروفیل

برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502) استفاده شد. بدین منظور از هر تیمار، پنج برگ انتخاب شده و میانگین پنج برگ به‌عنوان عدد SPAD یادداشت گردید.

### پارامترهای فیزیولوژیکی

سنجش کلروفیل a، b، مجموع کلروفیل و

### کاروتنوئید

برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b، کلروفیل کل و مجموع کاروتنوئید، ابتدا 0/25 گرم برگ تازه گیاه ذرت در یک هاون چینی حاوی 10 میلی‌لیتر استون 80 درصد ساییده شد تا به‌صورت یکنواخت درآید. سپس مخلوط حاصل به مدت 10 دقیقه با سرعت 3500 دور در دقیقه سانتریفوژ شد. میزان جذب نور محلول حاصل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Spectrometer PGT80UV/VIS) در طول‌موج‌های 480، 652، 663، 480، 510 و 645 نانومتر خوانده شد و درنهایت غلظت کلروفیل و کاروتنوئید با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (آرنون، 1994).

$$a \text{ کلروفیل (mg.g}^{-1}\text{fw)} = [(12.7 \times \text{OD } 663) - (2.69 \times \text{OD } 645)] \times V \div [1000 \times V]$$

$$b \text{ کلروفیل (mg.g}^{-1}\text{fw)} = [(22.9 \times \text{OD } 645) - (4.68 \times \text{OD } 663)] \times V \div [1000 \times V]$$

از خاک و ماسه بادی شسته شده که به منظور سترون کردن و حذف میکروارگانیسم‌ها، اتوکلاو خاک در دو روز متوالی به مدت داده شدند. بعد از گذشت سه هفته از رشد گیاه، تیمارهای میکروبی و ترکیبات شیمیایی در دو نوبت به فاصله دو هفته ضمن آبیاری به گلدان افزوده شدند. میزان 20 میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری *P. fluorescens* VUPf5 با غلظت  $4 \times 10^{11}$  CFU/ml و سوسپانسیون مخمر با میزان جمعیت  $4 \times 10^{11}$  CFU/ml طول (موج 540 نانومتر) تهیه و برای تلقیح به هرگلدان اضافه شد (فراکچیا و همکاران، 2001). 40 میلی‌لیتر عصاره چای کمپوست (حاوی 250 گرم چای کمپوست، 50 سی‌سی ملاس چغندر قند و 50 سی‌سی جلبک دریایی) (سکورل و ماهاف، 2004)، 12 میلی‌لیتر عصاره آزولا (آزولا تهیه شده از تالاب انزلی) (C/N 10) (کراجی، 2010) و یک گرم از کمپلکس آمینواسید (آمینواسید پودری 50%، آمینواسپارک) (تالپوت و ترسدر، 2010)، اسید هیومیک (Humax 95Wsj, HJ Biotech Inc.) و 20 سی‌سی بیولوگ سیدروفور باکتریایی (ویواز و همکاران، 2003) به هر گلدان افزوده شد. آزمایش در شرایط گلخانه به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت 3 ماه انجام شد در این آزمایش، تمام محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. رسم نمودارها و جداول نیز توسط نرم‌افزارهای Excel و Word صورت گرفت. در مرحله نخست تجزیه واریانس جهت صفات اندازه‌گیری شده انجام و پس‌از آن مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد. (بس، 2000).

### اندازه‌گیری شاخص‌های رویشی

#### ارتفاع و قطر ساقه

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته‌ها با استفاده از خط‌کش مدرج با دقت یک‌دهم متر و قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت یک‌صدم متر اندازه‌گیری شدند.

آمینو اسید و  $Rlr$  به ترتیب بیشترین و کمترین میزان افزایش ارتفاع ساقه در مقایسه با شاهد را سبب شدند. در تیمارهای فاقد قارچ میکوریز، تیمار باکتری با اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد بیشترین تاثیر را نشان داد.

#### شاخص سطح برگ (LAI)

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول 1)، گونه‌های قارچ میکوریز از لحاظ آماری تاثیر معنی‌داری بر افزایش سطح برگ نشان دادند. در بین گونه‌های مورد بررسی،  $Rlr$  و  $RI$  نسبت به شاهد، بیشترین تاثیر را بر این شاخص داشتند. همچنین نتایج نشان داد اثرات متقابل قارچ میکوریز و تیمار از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تیمار سیدروفور توأم با  $Rlr$  و تیمار جلبک توأم با  $FM$  در مقایسه با شاهد به ترتیب بیشترین و کمترین تاثیر بر افزایش سطح برگ را سبب شدند. در شرایط عدم حضور قارچ میکوریز، تیمار باکتری در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها، بیشترین تاثیر را بر افزایش سطح برگ داشت. در افزایش سطح برگ سیدروفور، اسید هیومیک، چای کمپوست و باکتری اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد با همدیگر نداشته ولی با شاهد اختلافشان معنی‌دار بود..

#### وزن تر و خشک‌ریشه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول 1)، گونه‌های مختلف قارچی تاثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک‌ریشه داشتند. در ارتباط با وزن تر ریشه، تعامل هر سه گونه قارچ میکوریز آربوسکولار با چای کمپوست نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد با شاهد داشتند و بیشترین درصد از بین هر سه گونه قارچی مربوط به  $RI$  بود این در حالی است که نتایج در مورد وزن خشک ریشه متفاوت بود و تیمار سوبه باکتریایی در ترکیب با  $FM$  و همچنین چای کمپوست توأم با گونه قارچی  $Rlr$  باعث افزایش وزن خشک ریشه نسبت به سطح شاهد شد. از نظر آماری این دو تیمار نسبت به هم در یک سطح قرار گرفتند.

$OD$ ، میزان جذب  
 $W$ ، وزن تر نمونه؛  $V$ ، حجم نهایی عصاره (10 میلی‌لیتر)؛  
 $mg.g^{-1}fw = [(8.02 \times OD - 663) + (20.2 \times OD - 646)] \times V \div [1000 \times V]$   
کل کلروفیل  
 $mg.g^{-1}fw = [(7.6 \times OD - 480 - 1.49 \times OD - 510) \times V] \div [1000 \times V]$   
کارتونئید

این پژوهش به شکل آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تجزیه واریانس تمامی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار  $SAS$  صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد انجام شد.

#### نتایج و بحث

##### شاخص‌های رویشی

##### قطر ساقه

طبق نتایج ثبت‌شده در جدول‌های 1 و 3، تمامی گونه‌های قارچ میکوریز توأم با تیمار میکروبی و ترکیبات شیمیایی تاثیر معنی‌داری بر قطر گیاه داشتند اما اختلاف اثر در بین گونه‌های قارچی معنی‌دار نبود. در این بین، تیمار اسید هیومیک توأم با  $RI$ ، بیشترین و تیمار آزولا توأم با  $RI$  کمترین تاثیر را نسبت به سایر تیمارها با اختلاف معنی‌داری بر قطر ساقه در مقایسه با شاهد نشان دادند. از بین گونه‌های قارچی،  $RI$  و از بین تمامی تیمارها، باکتری با اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد بیشترین تاثیر را بر قطر ساقه داشتند.

##### ارتفاع ساقه

بر اساس نتایج حاصل، گونه‌های مختلف قارچ میکوریزی به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش رشد طولی ساقه ذرت شدند و در بین آن‌ها،  $RI$  با اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد بیشترین تاثیر را نشان داد و  $FM$  و  $Rlr$  به ترتیب در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول 1). نتایج حاصل از مقایسه رشد ارتفاع ساقه نیز نشان داد اثر متقابل قارچ میکوریز و سایر تیمارها به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش طول ساقه در سطح احتمال یک درصد گردید. کاربرد توأم اسید هیومیک با  $RI$  و کمپلکس

### وزن تر و وزن خشک شاخساره

وزن تر شاخساره در مایه‌زنی ترکیبات چای کمپوست با گونه‌های *Rir* و *FM* مشاهده گردید. از طرف دیگر، تیمارهای جلبک، اسید هیومیک و باکتری به‌تنهایی در مقایسه با شاهد به ترتیب وزن تر شاخساره را افزایش دادند. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در گونه *FM* همراه با تیمار باکتری و بعداز آن در گونه *RI* توأم با تیمار اسید هیومیک و سیدروفور نسبت به شاهد مشاهده شد. کمترین مقدار وزن خشک شاخساره مربوط به تیمار اسید هیومیک توأم با گونه *Rir* بود.

نتایج تجزیه واریانس مقایسه وزن تر و خشک شاخساره (جدول 1) نشان داد، به استثنا گونه *Rir* که تیمار باکتری و کمپلکس آمینو اسید با شاهد باکتری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان ندادند، اثرات متقابل قارچ میکوریز و سایر تیمارها از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. همچنین، تلفیق گونه‌های قارچ میکوریز با چای کمپوست و اسید هیومیک بیشترین تأثیر را نسبت به بقیه تیمارها بر وزن تر اندام هوایی نشان دادند. بدین صورت که بیشترین افزایش در

جدول 1- نتایج تجزیه واریانس مربوط به پارامترهای رویشی گیاه ذرت تحت تأثیر تیمارهای مختلف

میانگین مربعات							
منابع تغییرات	درجه آزادی	قطر ساقه	ارتفاع	سطح برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر ساقه
قارچ میکوریز	3	62/60**	1095**	1126/92**	36/34**	3/13**	623/91**
سایر تیمارها	7	3/98**	123/18**	213**	46/2**	0/28**	32/91**
قارچ میکوریز × سایر تیمارها	21	3/32**	38/82**	170/38**	29/78**	0/37**	36/49**
خطا		0/7	11/23	4/54	0/64	0/008	1/07
ضریب تغییرات		13/35	14/05	12/47	14/1	12/04	10/73

\*\* تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد ( $p \geq 0/01$ )

به هم چسبانده و ضمن ایجاد گرانول‌های درشت‌تر، فضای مناسب برای فعالیت موجودات میکروسکوپی و مایکروسکوپی، نفوذ بیشتر هوا، آب و ریشه فراهم می‌کنند (ماکوایاک و همکاران، 2001). در نتیجه، اسید هیومیک با افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نظیر اکسین، ژیلرین و سیتوکینین و افزایش فعالیت ریزجانداران منجر به افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه می‌شود و با افزایش جذب نیتروژن، رشد و ارتفاع و به تبع آن عملکرد گیاه افزایش می‌یابد (آرانکون و همکاران، 2005). از طرفی افزایش سیتوکینین باعث افزایش سطح تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها و نهایتاً باعث افزایش قطر ساقه گیاه می‌گردد (دسانفیلیپو و همکاران، 1990). همچنین با افزایش متابولیسم درون سلول‌ها، مقدار کلروفیل در

مواد آلی خاک منبع چند عنصر ضروری به‌ویژه نیتروژن می‌باشند، بنابراین با افزایش ماده آلی خاک، نیتروژن بیشتری در دسترس گیاه قرار می‌گیرد که باعث افزایش رشد رویشی و ارتفاع گیاه می‌شود. قارچ‌های میکوریز با افزایش جذب عناصر غذایی موردنیاز گیاه باعث افزایش مواد کربنی و فسفوری شده و در نتیجه موجب افزایش تقسیم سلولی، افزایش فتوسنتز و افزایش تولید ماده خشک می‌شود و در نهایت سطح برگ و حجم ریشه گیاه را افزایش می‌دهد (دیمر، 2004). یکی از ترکیباتی که در اصلاح ساختار خاک نقش مهمی دارد، اسید هیومیک بوده که از تجزیه مواد آلی در خاک حاصل می‌شود. به‌طور کلی هیومیک‌ها پیش از آن‌که کود باشند، اصلاح‌کننده‌های خاک هستند. پلیمرهای اسید هیومیک شبیه یک چسب آلی عمل می‌کنند و ذرات معدنی خاک را

ژبرلین‌ها سبب افزایش رشد طولی سلول‌ها و تقسیمات سلولی شده و بدین ترتیب افزایش شاخص سطح برگ و بهبود رشد گیاه را موجب می‌شوند (گونادی و همکاران، 2000). در حقیقت اکسین باکتریایی با تحریک ریشه‌زایی موجب افزایش وزن خشک ریشه می‌شود (ساسی و سنذر، 1997). در یک بررسی که اخیراً انجام شده است استفاده از باکتری محرک رشد از جنس *آزوسپیریلیوم* موجب افزایش وزن خشک ریشه گندم شده است (دوبلار و همکاران، 2003). همچنین، مایه‌زنی پنج سویه *سودوموناس فلورسنس* به فلفل سیاه که توانایی تولید هورمون‌های محرک رشد از قبیل IAA (Indole-3- Acetic Acid) و GA (Gibberellic Acid) دارند، به‌طور معنی‌داری رشد ریشه را افزایش داده است (پاول و ساراما، 2006). وزن خشک ریشه و اندام هوایی در پژوهش حاضر با حضور باکتری افزایش یافت که با بررسی‌های ذکر شده مطابقت دارد. اسپرنت و اسپرنت (1990) گزارش کردند که باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن شامل *آزوسپیریلیوم* و ازتوباکتر از طریق همبازی با ریشه گیاهان، موجب افزایش سطح جذب شده و این شبکه ریشه‌ای از طریق جذب آب و املاح و انتقال آن‌ها به گیاهان میزبان، موجب افزایش سطح برگ شدند. افزایش جذب یون‌ها در اثر مایه‌زنی گیاه با باکتری‌های PGPR می‌تواند نقش مهمی در افزایش رشد برگ‌ها داشته باشد.

برگ‌ها افزایش یافته و سبب ماندگاری بیشتر برگ‌ها و در نتیجه افزایش نسبت سطح برگ می‌شود. در پژوهش حاضر، اسید هیومیک با افزایش حجم و تعداد انشعابات فرعی در سیستم ریشه‌ای، به‌صورت مستقیم شرایط را برای برقراری همزیستی میکوریزایی فراهم نموده و باعث افزایش قطر ساقه در مقایسه با شاهد گردید. در بررسی‌های انجام شده روی گیاه گوجه‌فرنگی (ترکمن و همکاران، 2004) و منداب (آلبیراک و کاماس، 2005) نیز کاربرد اسید هیومیک منجر به افزایش قطر ساقه گردیده که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

چای کمپوست به دلیل داشتن عواملی نظیر ریزجانداران، به‌طور مستقیم با تولید سورفاکتانت، افزایش نفوذپذیری کوتیکول، تولید و رهاسازی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی باعث افزایش رشد گیاه شده و به‌طور غیرمستقیم با پاتوژن‌ها از لحاظ مصرف عناصر غذایی و اشغال فضا رقابت می‌کند و در نهایت باعث بهبود رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (فریتز و همکاران، 2012). از آنجاکه تریپتوفان موجود در کمپلکس آمینو اسید پیش ماده سنتز اکسین است و وجود عنصر روی در ساختمان این آمینو اسید ضروری است و با توجه به این‌که چای کمپوست غنی از عناصر میکرو از جمله روی می‌باشد، این ترکیب با تأثیر بر سنتز هورمون‌ها به‌ویژه اکسین، باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (بیک خورمیزی و همکاران، 1390). در این پژوهش، کاربرد چای کمپوست باعث افزایش حجم ریشه و در نتیجه افزایش ارتباط ریشه گیاه با قارچ‌های میکوریز شد که با تأثیر روی کلنیزاسیون ریشه باعث جذب بیشتر مواد مغذی توسط گیاه گردید.

افزایش ماده خشک پس از مایه‌زنی گیاهان با باکتری‌های PGPR<sup>1</sup>، به جذب عناصر ضروری نظیر نیتروژن و فسفر مرتبط است که منجر به افزایش توسعه ریشه و در نتیجه رشد بهتر گیاه می‌شود. از طرف دیگر، این باکتری‌ها با تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و

<sup>1</sup> Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)



جدول 2- تأثیر متقابل تیمارهای مختلف و گونه‌های قارچ بر شاخص‌های رشدی گیاه ذرت

	تیمارها گونه‌های قارچ	ارتفاع اندام هوایی (cm)	قطرساقه (mm)	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)
<i>R.intraradices</i>	آزولا	33.66	5.9	11.87	1.64	5.46	0.8
	باکتری	32.91	6.61	12.48	1.41	6.47	0.95
	کمپلکس اسید آمینه	29	7.40	11.69	2.08	6.66	0.8
	هیومیک اسید	38	8.89	17.74	2.54	8.88	1.48
	مخمر	31.42	6.46	11.98	1.54	6.07	0.99
	سیدروفور	29.11	8.30	13.56	2.45	9.88	1.40
	چای کمپوست	27.14	6.43	16	1.96	18.3	0.95
	عدم تیمار	24.33	5.82	7.79	0.8	5.3	0.57
	آزولا	26.66	7.40	15.5	1.86	6.45	0.95
	باکتری	28.83	5.42	16.06	2.68	8.56	1.8
<i>F.mossae</i>	کمپلکس اسید آمینه	30.5	7.3	16.78	2.00	6.53	0.58
	هیومیک اسید	29.67	7.59	16.86	1.85	8.4	1.22
	مخمر	26.44	6.3	9.61	1.03	4.21	0.84
	سیدروفور	20.83	6.5	9.14	0.97	5.3	0.60
	چای کمپوست	31.94	7.6	17.82	2.15	8.5	1.35
	عدم تیمار	17	5.42	7.31	0.76	3.9	0.53
	آزولا	24.41	8.69	10.44	1.17	7.17	1.11
	باکتری	25.38	7.14	6.4	0.84	5.18	0.59
	کمپلکس اسید آمینه	19.16	7.29	6.31	0.81	4.53	0.52
	هیومیک اسید	24.11	6.33	8.13	0.7	3.72	0.7
<i>R. irregalaris</i>	مخمر	25.05	6.59	8.24	0.98	4.79	0.60
	سیدروفور	24.22	8.2	13.55	1.65	6.29	0.82
	چای کمپوست	28.97	8.1	18.58	2.32	10.09	1.74
	عدم تیمار	16.66	4.6	6.23	0.58	3.42	0.45
	آزولا	17.66	4.19	3.43	0.39	2.38	0.27
	باکتری	23.88	4.29	4.69	0.51	2.49	0.29
	کمپلکس اسید آمینه	13.61	3.38	1.63	0.27	1.87	0.2
	هیومیک اسید	17.08	4.6	3.69	0.4	1.7	0.19
	مخمر	11	3.5	1.47	0.18	1.86	0.19
	سیدروفور	13	3.9	2.29	0.45	2.38	0.33
Control	کمپلکس اسید آمینه	13.61	3.38	1.63	0.27	1.87	0.2
	هیومیک اسید	17.08	4.6	3.69	0.4	1.7	0.19



چای کمپوست	11.27 (klm)	3.8 (jkl)	1.62 (mn)	0.24 (mn)	4.09 (ijk)	0.18 (m)
عدم تیمار	10.44 (m)	2.4 (l)	0.89 (n)	0.16 (n)	0.75 (n)	0.17 (m)

اعداد جدول میانگین سه تکرار هستند.

تیمارهایی که دارای حروف مشترک می‌باشند، در سطح یک درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

#### شاخص های فیزیولوژیکی

#### عدد اسپد (شاخص فلورسانس کلروفیل)

تأثیر را داشت. از بین تیمارهای به‌کاربرده شده، بهترین نتیجه مربوط به تیمار کمپلکس آمینو اسید و *RI* بود که در مقایسه با شاهد به میزان 14/72 برابر محتوای کلروفیل *b* را افزایش داد. کاربرد همه تیمارها بدون قارچ میکوریز به‌جز تیمار باکتری، به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش محتوای کلروفیل *b* شدند و در بین آن‌ها، تیمار جلبک با 3/54 برابر افزایش در مقایسه با شاهد، بیشترین تأثیر را داشت.

#### محتوای کلروفیل کل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مربوط به محتوای کلروفیل کل نشان داد کاربرد گونه‌های مختلف قارچ میکوریز تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان این شاخص در مقایسه با شاهد دارند و در بین گونه‌های مورد استفاده، گونه *FM* با 4/16 برابر افزایش بیشترین تأثیر را داشت (جدول 3). از بین تیمارهای توأم با گونه‌های قارچی، بیشترین محتوای کلروفیل کل در نتیجه کاربرد کمپلکس آمینو اسید و *RI* با 14/26 و تیمار مخمر با *FM* با 14/16 برابر افزایش در مقایسه با شاهد به‌دست آمد. تیمار سیدروفور با *FM* و تیمار کمپلکس آمینو اسید و *RI* با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند اما در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری این شاخص را افزایش دادند.

#### کارتنوئید

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشخص شد گونه‌های قارچ میکوریز مورد استفاده به‌تنهایی و توأم با تیمارهای دیگر تأثیر معنی‌داری بر کارتنوئید داشتند (جدول 3). در ارتباط با تیمار باکتری نتایج متفاوت بود و در همه موارد اثر معنی‌داری بر افزایش میزان کارتنوئید گیاه ذرت داشت. بیشترین میزان

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر تیمارهای موردبررسی بر عدد اسپد در یک سطح بوده و طبق مقایسه میانگین بین تیمارهای توأم با قارچ میکوریز و عدم وجود قارچ میکوریز اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. با این حال، اسید هیومیک در مقایسه با تیمارهای دیگر، عدد اسپد را با اختلاف اندکی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرارداد (جدول 2). از نظر آماری، بیشترین میزان عدد اسپد مربوط به کمپلکس *FM* و اسید هیومیک با 0/97 برابر افزایش و کمترین میزان آن در تیمار چای کمپوست معادل با 0/11 تعیین گردید.

#### محتوای کلروفیل a

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول 3) مشخص شد که کاربرد گونه‌های مختلف قارچ میکوریز تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان محتوای کلروفیل *a* گیاه ذرت در مقایسه با شاهد دارد. در بین گونه‌های مورد استفاده، *FM* با 3/89 برابر افزایش بیشترین تأثیر را داشت. مقایسه میانگین محتوای کلروفیل *a* در تیمارهای مختلف نشان داد که در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریز، تیمارهای سیدروفور با 5/39، چای کمپوست با 4/83 و جلبک با 4/85 برابر افزایش اختلاف معنی‌داری با شاهد و سایر تیمارها داشتند و منجر به افزایش محتوای کلروفیل *a* در گیاه ذرت شدند.

#### محتوای کلروفیل b

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد کاربرد گونه‌های مختلف قارچ میکوریز تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان کلروفیل *b* گیاهان ذرت همزیست با قارچ میکوریز در مقایسه با شاهد (بدون قارچ میکوریز) دارد و گونه *RI* با 1/93 برابر افزایش بیشترین

تیمارهای مختلف نشان داد که در شرایط عدم حضور قارچ میکوریز، تیمار جلبک و سپس سیدروفور با اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد و سایر تیمارها باعث افزایش کارتنوئید گیاه ذرت شدند.

افزایش در این شاخص با کاربرد مخمر همراه با گونه قارچ *FM* حاصل شد (24/93 برابر افزایش در مقایسه با شاهد) و تلفیق *FM* با سیدروفور و *Rlr* با آمینو اسیدها در جایگاه‌های بعدی قرار داشتند. میانگین کارتنوئید ذرت در

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس مربوط به پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه ذرت تحت تأثیر تیمارهای مختلف

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
کارتنوئید mg/kg	کلروفیل کل mg/kg	کلروفیل b mg/kg	کلروفیل a mg/kg	عدد اسپد		
0/164**	119/36**	0/81**	0/17**	192/01**	3	قارچ میکوریز
0/291**	182/53**	1/036**	0/35**	4/39 <sup>ns</sup>	7	سایر تیمارها
0/352**	147/5**	0/88**	0/31**	17/53**	21	قارچ میکوریز × سایر تیمارها
0/003	1/22	0/007	0/001	6/4		خطا
8/8	8/66	8/85	6/73	10/96		ضریب تغییرات

\*\* تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns تفاوت غیر معنی‌دار

توسط ایچ (2001) و رویز - لوزانو (2003) نیز گزارش شده است.

در ارتباط با فلورسانس کلروفیل بررسی‌ها نشان می‌دهد که اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل، یک پارامتر قوی در فرآیند فتوسنتزی است. اسید هیومیک با قرار دادن آب و مواد غذایی بیشتر و مناسب‌تر در اختیار گیاه، میزان ساخت رنگیزه‌ها را افزایش داده و انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه راحت‌تر می‌نماید (رهی و همکاران، 1391). پیش‌تر، افزایش مقدار کلروفیل در برگ‌های لویا تیمار شده با اسید هیومیک گزارش شده است (آستارایی و لوانی، 2008). کاروتنوئیدها باعث حفاظت از کلروفیل در برابر اکسیداسیون نوری و جذب و انتقال انرژی فوتون‌هایی با طول‌موج کوتاه به کلروفیل a می‌شوند. مکانیسم حفاظت نوری می‌تواند به‌عنوان یک سوپاپ اطمینان در نظر گرفته شود که قبل از بروز خسارت ناشی از جذب زیاد انرژی انرژی اضافه را خارج می‌کند (تایزو زیگر، 2002). نقش کلروفیل‌ها در واقع جذب و برقراری تعادل انرژی و همچنین جذب مولکولی در گیاه است. ال-گلیسین و ال-گلوتامیک اسید، دو عامل مهم در شکل‌گیری پروسه متابولیسم بنیادی گیاهان و بافت گیاهی بوده و به‌طور مستقیم بر سنتز کلروفیل‌ها نقش دارند. این

گیاهان همزیست با قارچ میکوریز در اغلب موارد نسبت به گیاهانی که میزبان قارچ میکوریز نیستند میزان فتوسنتز بالاتری دارند. قارچ‌های میکوریز با روش‌های مختلفی از جمله بهبود روابط آبی، افزایش هدایت روزنه‌ای گیاه میزبان (ایچ، 2001) و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه میزبان به‌واسطه افزایش جذب عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی، منگنز، پتاسیم و فسفر فتوسنتز گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌طور مثال، عنصر آهن در سنتز پروتئین‌های کلروفیل، منگنز در پایداری کلروپلاست در برابر رادیکال‌های آزاد و عناصر مس و روی در ساختن کلروپلاست از طریق سنتز پروتئین می‌تواند تأثیرگذار باشند (سابرامانیا، 1999). مکانیسم دیگری که میزان فتوسنتز در گیاهان همزیست قارچ میکوریز را تحریک می‌کند، نقش قارچ میکوریز به‌عنوان یک مصرف‌کننده مواد فتوسنتزی است. در نتیجه استفاده از کربن آلی توسط قارچ، افزایش حرکت کربن آلی از برگ به ریشه و کاهش میزان کربن در مزوفیل برگ منجر به تحریک فتوسنتز می‌گردد. نتایج به‌دست‌آمده در آزمایش حاضر نشان داد میزان کلروفیل و به‌طور کلی میزان فتوسنتز ذرت مایه‌زنی شده با قارچ میکوریز نسبت به ذرت فاقد قارچ میکوریز بیشتر است. در همین راستا نتایج مشابهی

گیاه است. از سوی دیگر بسته بودن روزنه‌ها افزایش تنفس در گیاه و تخریب و مصرف غیرعادی کربوهیدرات‌ها را به دنبال دارد؛ در چنین شرایطی گلوتامیک اسید با اثر بر روی سلول‌های نگهبان روزنه به باز نگه‌داشتن روزنه‌ها کمک می‌کند. مخمرها به دلیل دارا بودن قندها، آمینو اسیدها و اسیدهای نوکلئیک، ویتامین‌ها، مواد معدنی، ترکیبات مولد تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اکسین، ژبرلین و سیتوکنین، نقش تغذیه‌ای و حفاظتی مفیدی دارند و به‌عنوان محرک رشد برای گیاهان تلقی می‌شوند. علاوه بر این مخمر با انتشار گاز CO<sub>2</sub> به بهبود چرخه‌ی فتوسنتز کمک می‌کنند (فاووزی همکاران، 2012).

آمینواسیدها به توسعه سیستم کلروفیلی کمک شایانی می‌کنند و از تجمع کلروفیل‌ها در یک قسمت جلوگیری کرده و کلروفیل‌ها را به‌طور منظم و سازمان‌یافته هدایت می‌کنند. از سوی دیگر، آمینو اسیدها از عوامل مهم در سنتز کلروفیل به‌عنوان مولکول اصلی جاذب نور در گیاهان می‌باشند. گلیسین و گلوتامیک دو آمینو اسیدها بنیادی در فرآیند تشکیل کلروفیل و افزایش مقدار بافت سبز در گیاهان هستند. این اسیدآمینوها باعث افزایش سنتز کلروفیل و بالا رفتن غلظت آن در گیاه شده که افزایش جذب نور و به دنبال آن افزایش فتوسنتز را در پی دارد. در شرایط پایین بودن نور و رطوبت محیط و افزایش غلظت نمک‌ها و دما روزنه‌های گیاه به‌صورت خودکار بسته می‌شوند که پیامد آن کاهش شدید فتوسنتز و تعرق

جدول 4- تأثیر تیمارهای مختلف بر شاخص‌های فتوسنتزی گیاه ذرت

	کارتنوئید (mg/g)	کلروفیل a+b (mg/g)	کلروفیل b (mg/g)	کلروفیل a (mg/g)	عدد اسپد 0	سطح برگ (cm <sup>2</sup> )	
R. intradices	آزولا	0.68 (jk)	11.93 (fg)	0.88 (hi)	0.51 (hij)	21.86 (ch)	15.8 (klm)
	باکتری	0.69 (jk)	8.59 (jm)	0.83 (hk)	0.58 (gh)	22.73 (bh)	21.41 (ei)
	کمپلکس اسید آمینه	0.98 (de)	28.39 (a)	2.41 (a)	1.27 (a)	25.5 (af)	21.6 (bcd)
	هیومیک اسید	0.79 (hi)	10.65 (ghi)	0.72 (jl)	0.51 (hi)	23.33 (bg)	25.89 (eh)
	مخمر	0.29 (qrs)	9.15 (im)	0.72 (il)	0.41 (klm)	23.2 (bg)	18.69 (jk)
	سیدروفور	0.54 (mn)	11.41 (gh)	0.87 (hi)	1.19 (b)	24.6 (af)	26.59 (bc)
	چای کمپوست	0.91 (dfg)	14.22 (e)	1.16 (ef)	0.64 (fg)	22.86 (bh)	27.2 (bc)
	عدم تیمار	0.20 (s)	5.96 (no)	0.44 (op)s	0.27 (op)	20.4 (bh)	14.24 (lmn)
	آزولا	1.04 (cd)	20.63 (c)	1.64 (c)	0.94 (d)	24.53 (af)	9.09 (op)
	باکتری	0.48 (no)	9.74 (hi)	0.72 (il)	0.48 (ijk)	23.26 (bg)	17.53 (hl)
F. mossae	کمپلکس اسید آمینه	0.80 (hi)	19.56 (cd)	1.28 (de)	0.93 (d)	25.16 (af)	22.4 (dg)
	هیومیک اسید	0.57 (lmn)	14.98 (e)	1.27 (de)	0.88 (d)	29.36 (a)	28.53 (b)
	مخمر	1.32 (a)	28.21 (a)	2.25 (b)	1.25 (ab)	27.56 (ab)	20.2 (fj)
	سیدروفور	1.16 (b)	25.51 (b)	1.73 (c)	0.43 (kl)	26.23 (ad)	27.44 (bc)
	چای کمپوست	0.95 (def)	13.63 (ef)	0.87 (hij)	0.66 (f)	24.83 (af)	17.84 (hl)
	عدم تیمار	0.39 (opq)	9.60 (hm)	0.55 (mno)	0.40 (lmn)	22.36 (bh)	7.19 (p)
	آزولا	0.59 (klm)	14.38 (e)	1.20 (ef)	0.63 (gh)	23.23 (bg)	25.11 (cf)
	galanis						

	0.30	9.75	0.74	0.44	25.7	27.75
باکتری	(qrs)	(hi)	(il)	(jkl)	(ae)	(bc)
کمپلکس اسید آمینه	1.20	24.18	1.79	1.10	26.33	16.57
	(bc)	(b)	(c)		(abc)	(jm)
هیومیک اسید	0.65	14.98	1.27	0.67	26.96	23.89
	(jkl)	(e)	(de)	(c)	(abc)	(il)
مخمر	0.82	17.80	1.38	0.80	23.93	25.11
	(ghi)	(d)	(d)	(fe)	(ae)	(be)
سیدروفور	0.87	19.88	1.26	0.94	25.7	33.6
	(fgh)	(c)	(de)	(d)	(ae)	(a)
چای کمپوست	0.43	10.97	0.92	0.34	24.93	27.78
	(op)	(ghi)	(gh)	(mno)	(af)	(bc)
عدم تیمار	0.31	7.46	0.55	0.34	22.73	12.8
	(qr)	(mn)	(mo)	(no)	(bh)	(mno)
آزولا	0.74	1.86	0.69	0.48	20.93	1.74
	(ij)	(p)	(km)	(ijk)	(ei)	(q)
باکتری	0.08	2.67	0.21	0.11	22.66	16.6
	(t)	(p)	(qr)	(q)	(fi)	(jm)
کمپلکس اسید آمینه	0.25	5.42	0.42	0.25	18.56	2.47
	(s)	(o)	(op)	(p)	(gi)	(q)
هیومیک اسید	0.35	7.55	0.52	0.35	20.96	6.21
	(pqr)	(mn)	(mno)	(mno)	(di)	(p)
مخمر	0.25	2.65	0.35	0.21	18	0.27
	(rs)	(p)	(pq)	(ab)	(hj)	(q)
سیدروفور	0.67	8.25	0.51	0.52	18.26	11.82
	(jk)	(km)	(no)	(b)	(gj)	(no)
چای کمپوست	0.42	10.29	0.63	0.48	16	0.97
	(op)	(ln)	(lmn)	(ijk)	(ij)	(q)
عدم تیمار	0.05	1.86	0.15	0.08	14.86	0.09
	(t)	(p)	(r)	(a)	(j)	(q)

اعداد جدول میانگین سه تکرار هستند.

تیمارهایی که دارای حروف مشترک می‌باشند، در سطح یک درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

## نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج به دست آمده قارچ‌های میکوریز آربوسکولار تحت تأثیر تیمار میکروبی و ترکیبات شیمیایی کلنیزاسیون بالایی در ریشه ذرت نشان دادند و اختلاف معنی‌داری بین گونه‌های قارچی از لحاظ درصد کلونیزاسیون ریشه مشاهده نشد و این قارچ‌ها با کلونیزاسیون بالای ریشه‌ها توانسته از طریق افزایش انشعابات مسلیومی خود سبب توسعه ریشه گیاه شود و از این طریق امکان استفاده ریشه گیاه از ریزوسفر را گسترده تر کند و در نتیجه رشد گیاه بهتر شود.

بررسی‌های پارامترهای رشدی نشان داد که تمامی گونه‌های قارچ میکوریز توأم با تیمار میکروبی و ترکیبات شیمیایی بر قطر، رشد طولی ساقه، افزایش سطح برگ، وزن‌تر و خشک‌ریشه و وزن‌تر و خشک شاخساره تأثیر معنی‌داری داشتند و از بین تیمارها کاربرد اسید

هیومیک و چای کمپوست باعث القای بیشترین افزایش رشد شدند و در بررسی‌های پارامترهای فیزیولوژیکی نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر تیمارهای موردبررسی بر عدد اسپد (شاخص فلورسانس کلروفیل) در یک سطح بوده و طبق مقایسه میانگین بین تیمارهای توأم با قارچ میکوریز و عدم وجود قارچ میکوریز اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ولی کاربرد گونه‌های مختلف قارچ میکوریز تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، محتوای کلروفیل کل و کارتنوئید گیاه ذرت در مقایسه با شاهد (بدون قارچ میکوریز) داشتند.

تیمار کمپلکس آمینو اسید توأم با RI بیشترین تأثیر را برافزایش کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل داشت. تیمار مخمر و کمپلکس آمینو اسید به ترتیب بیشترین تأثیر را برافزایش کاروتنوئیدها داشتند

## فهرست منابع:

1. بیک خورمیزی، ع.، ابریشم‌چی، پ.، گنجعلی، ع. و پارسا، م. 1390. تأثیر عصاره ورمی‌کمپوست بر رشد اولیه نشا لوبیا قرمز در شرایط تنش شوری. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، جلد 2 (شماره 2): 121-132.
2. پیرسته انوشه، ه.، امام، ی. و جمالی رامین، ف. 1389. مقایسه اثر کودهای زیستی با کودهای شیمیایی بر رشد، عملکرد و درصد روغن آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) در سطوح مختلف تنش خشکی. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، جلد 2 (شماره 3): 492-501.
3. رهی، ع.، داوودی فرد، م.، عزیزی، ف. و حبیبی، د. 1391. بررسی تأثیرات مقادیر مختلف هیومیک اسید و مطالعه روند منحنی‌های پاسخ در گونه *Dactylis glomerata*. نشریه زراعت و اصلاح نباتات ایران. دوره 8 (شماره 3): 15 تا 28
4. متقیان، ا.، پردشتی، ه. ا.، بهمنیار، م. ع. و عباسیان، ا. 1386. مطالعه تأثیر کمپوست، ورمی کمپوست، لجن فاضلاب و کود شیمیایی بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد پروتئین و دانه ارقام مختلف سویا. مجموعه مقالات دومین همایش ملی کشاورزی بوم‌شناختی ایران، 25 تا 26 مهرماه، دانشگاه گرگان، 174-191.
5. Albayrak, S. and Camas, N. 2005. Effect of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield component of forage turnip (*Brassica rapa L.*). *Journal of Agronomy* 42: 130-133.
6. Arancon, N. Q., Clive, A.E., Bierman, P., Metzger, J. D. and Lucht, CH. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia* 49(4):297-306.
7. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase *Beta vulgaris*. *Journal of Plant Physiology* 24: 1-15.
8. Astaraei, A. R. and Ivani, R. 2008. Effect of organic sources as foliar spray and root media on nutrition of cowpea plant. *American-Eurasian. Journal of Agricultural and Environmental Science* 3: 352-356.
9. Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11:3-42.
10. Bess, V.H. 2000. Understanding compost tea. *Biocycle* 41(10): 71-72.
11. Calvet, C., Estaún, V., Camprubí, A., Hernández-Dorrego, A., Pinochet, J. and Moreno, M. A. 2004. Aptitude for mycorrhizal root colonization in *Prunus* rootstocks. *Scientia Horticulturae* 100:39-49.
12. Craigie, J. 2010. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology* 23: 371-393.
13. De Sanfilippo, E. C., Argüello, J., Abdala, G., and Orioli, G. 1990. Content of auxin-inhibitor-and gibberellin-like substances in humic acids. *Biologia Plantarum*. 32: 346-351.
14. Dhanapal, S. and Sekar, D. S. 2013. Humic acids and its role in plant tissue culture at low nutrient level. *Journal of Academia and Industrial Research*. 2 (6):338-340.
15. Dimer, S. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameter of pepper. Department of Plant Protection, Van-Turkey.
16. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., and Okon, Y. 2003 Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews Plant Science* 22: 107-149
17. Fawzy, Z. Li, Y., Ouyang, Z. and Hoda, A. 2012. Influence of Foliar Application by EM effective microorganisms amino acids and Yeast on Growth, Yield and quality of two cultivars of onion Plants under newly reclaimed soil. *Journal of Agricultural Science* 4:P26.
18. Fidelibus, M., Martin, C., Wright, G. and Stutz, J. 2000. Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungal communities on growth of 'Volkamer'lemon in continually moist or periodically dry soil. *Scientia Horticulturae* 84: 127-140.

19. Fracchia, S., Menende, A., Godenas, A. and Ocampo, J. A. 2001. A method to obtain monosporic cultures of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(9): 1283-1285.
20. Fritz, J. I., Franke-Whittle, I. H., Haindl, S., Insam, H. and Braun, R. 2012. Microbiological community analysis of vermicompost tea and its influence on the growth of vegetables and cereals. *Canadian Journal of Microbiology*. 58: 836-847 .
21. Ghorbanpour M, Hatami M, Kariman K and Abbaszadeh Dahaji P. 2016. Phytochemical Variations and Enhanced Efficiency of Antioxidant and Antimicrobial Ingredients in *Salvia officinalis* as Inoculated with Different Rhizobacteria. *Chem. Biodiversity* 13: 319 –30.
22. Goonadi, D. H., Slswanto, Y. and Sugiarto, Y. 2000. Growth promotion of plant by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. *Soil Science Society of America Journal* 64:927-932.
23. Kloepper, J. W., Lifshitz, R. and Zablotowicz, R. M. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology* 7:39-43.
24. Kuwada, K., Wamocho, L. S., Utamura, M., Matsushita, I. and Ishii, T. 2006. Effect of red and green alga extracts on hyphal growth of papaya and passionfruit. *Agronomy Journal* 98:1340-1344.
25. Loveland, P. and Webb, J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research* 70: 1-18.
26. Matysiak, k., Dubas, M., Kierzek, R. and Kaczmarek, S. 2010. Influence of seaweed extract application with tebuconaz on two cultivars of winter rape. *Institute of Plant Protection – National Research Institute* 20: 60-310.
27. Mackowiak, C. L., Grossl, P. R. and Bugbee, B. G. 2001. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. *Soil Science Society of America Journal* 65:1744–1750.
28. Paul, D. & Sarma, Y. R. 2006. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)-mediated root proliferation in black pepper (*Piper nigrum* L) as evidenced through GS Root Software. *Archives of phytopathology and plant Protection* 39:1-4.
29. Pedra, F., Polo, A., Ribeiro, A. and Domingues, H. 2007. Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 1375-1382.
30. Ruiz-Lozano, J. M. and Azcon, R. 1995. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plant as affected by the fungi species and water status. *Plant Physiology*: 95:427-478.
31. Saleh Rastin N. 2001. Biological fertilizers and its roll in pursuit of sustainable agriculture. *Proceeding of the necessity of industrial production of biofertilizers in the country. Agricultural research, education and promotion publication*. 1: 54.
32. Sasse, Jo and Sands, R. 1997. Configuration and development of root systems of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus*. *New Forests* 14:85-105.
33. Scheuerell, S. J. and Mahaffee, W. F. 2004. Compost tea as a container medium drench for suppressing seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology* 94: 1156-1163.
34. Subramanian, K.S. and Charest, C. 1999. Acquisition of external hypha of an arbuscular mycorrhizal fungi and its impact on physiological responses in maize under drought-stress and well-watered conditions, *Mycorrhiza* 9:69-75.
35. Sprent, J. and Sprent, P. 1990. *Nitrogen Fixation Organisms*. Chapman and Hall, New York 323P.
36. Talbot JM, Treseder KK (2010) Controls over mycorrhizal uptake of organic nitrogen. *Pedobiologia* 53: 169–179.

37. Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. Plant physiology. sinauer associates, Inc. 690p.
38. Turkmen, O., Dursun, A. Turan, M. and Erdinc, C. 2004. Calcium and humic acid affect seed germination growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedling under saline soil conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil and Plant Science* 54 (3): 168- 174.
39. Vivas, A., Marulanda, A., Manuel Ruiz-Lozano, J., Miguel Barea, J. and Azcón, R. 2003. Influence of a *Bacillus* sp. on physiological activities of two arbuscular mycorrhizal fungi and on plant responses to PEG-induced drought stress, *Mycorrhiza* 13:249–256.
- 40 Zahir, Z. A., Arshad, M. and Frankenberger. W. T. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Application and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy* 81:97-



## Effect of mycorrhizal fungi accompanied by some microorganisms and chemical compounds on growth and photosynthesis indices of corn

**M. Ahmadzadeh<sup>1</sup>, E. Sedaghati, R. Sabri-Riseh, A. Rahimi, A. A. MohammadiMirik, and N. Hatami**

M.Sc. of Plant Pathology, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran;

E-mail: Ahmadzadehmasomeh@gmail.com

Assistant professor of the Plant Pathology Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran;

E-mail: sedaghati@vru.ac.ir

Assistant professor of the Plant Pathology Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran;

E-mail: r.saberi@vru.ac.ir

Associate Professor of Agronomy, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran; E-mail: rahimia@vru.ac.ir

Associate Professor of Agronomy, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran;

E-mail: a.mohammadi@vru.ac.ir

Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran;

E-mail: narges.hatamy123@gmail.com

Received: February, 2022 & Accepted: January, 2022

### Abstract

Due to the importance of mycorrhizal fungi and their ability in colonization of plants, the use of some microorganisms and chemical compounds to improve mycorrhizal activity is an important issue. In this study, an experiment was conducted as a completely randomized factorial design with three replications at Valiasr University of Rafsanjan. Three fungal species, *Funneliformis mosseae* (FM), *Rhizophagus intraradices* (RI) and *Rhizophagus irregularis* (RIr) were applied as mycorrhizal inoculant and the effect of some microorganisms including yeast (*Issatchenkia orientalis*) and bacteria (*Pseudomonas fluorescens* VUPf5) as well as chemical compounds such as compost tea, azolla extract, bacterial siderophore, humic acid and amino acid complex on fungal activity and physiological parameters of corn plant (SC750 cultivar) was examined. The results showed that all species of mycorrhizal fungi combined with bacterial treatment and chemical compounds had a significant effect on stem diameter and longitudinal growth, leaf area increase, root weight and dry weight and shoot dry weight. Variance analysis of SPAD showed that there was not significant difference between mycorrhizal and non-mycorrhizal treatments. However, the application of different species of mycorrhizal fungi had a significant effect on the content of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids in compared to the control (without mycorrhizal fungus) treatment. The use of humic acid and compost had the extreme effect on plant growth. Amino acid complex treatment with *Rhizophagus intraradices* had the greatest effect on chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll content. The treatments of yeast and amino acid complex had the greatest effect on carotenoids, respectively.

**Keywords:** Arbuscular mycorrhizal, Corn, growth indexes, Chemical compounds

<sup>1</sup> Corresponding author: Faculty of agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Kerman, Iran.