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

معصومه احمد زاده، ابراهیم صداقتی[1]، 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 قارچ های 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(عج) رفسنجان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این بررسی، قارچ‌های *Funneliformis mosseae (FM)*، *Rhizophagus (RI) intraradices*، *Rhizophagus irregalaris (RIr)* 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 آزولا، سیدروفور باکتریایی، اسید هیومیک، کمپلکس آمینو اسید، بر فعالیت قارچی و پارامترهای رویشی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت رقم *SC750* موردبررسی 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، وزن‌تر و خشک‌ریشه و وزن‌تر خشک شاخساره داشتند. نتایج تجزیه واریانس بررسی شاخص های فیزیولوژیکی نشان داد تأثیر تیمارهای موردبررسی 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 برافزایش کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل داشت. تیمار مخمر و کمپلکس آمینو اسید به ترتیب بیشترین تأثیر را برافزایش کاروتنوئیدها داشتند.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای رویشی، ترکیبات شیمیایی، ذرت، قارچ میکریزآربوسکولار

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: رفسنجان، دانشگاه ولیعصر- دانشکده کشاورزی، گره گیاهپزشکی

مقدمه

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 هنگامی‌که 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 درنهایت 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 موردتوجه قرارگرفته 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 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 درنتیجه بهبود رشد گیاه می‌شود (لولاند 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 مشخص‌شده است که، استفاده از عصاره جلبک دریایی و سرخس آزولا موجب بهبود مقاومت گیاه

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 مشخص‌شده است این جلبک‌ها حاوی مواد محرک رشد و توسعه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در گیاهان هستند (کوادا و همکاران، 2006).

هیومیک‌ها ازلحاظ 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 می روند واثبات شده است که آنها می‌توانند به‌طور مستقیم تأثیر مهمی در فعالیت های 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 به طور 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 قارچ های 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. ازآنجاکه 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 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 *F. mosseae (FM)*، *R. intraradices (RI)*، *R. irregularis (RIr)* 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[1] ثبت گردید. تیمار میکروبی شامل: باکتری *Pseudomonas flurescens* VUPF5، مخمر *Issatchenkia orientalis*، چای کمپوست (حاوی 250 گرم چای کمپوست، 50 سی‌سی ملاس چغندرقند و 50 سی‌سی جلبک دریایی)، آزولا (C/N 10) و ترکیبات غیرزنده،شامل کمپلکس اسیدهای آمینه (آمینواسید 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 از20 ثانیه، چند مرتبه با آب مقطر شسته شدندو 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 4کیلویی با قطر دهانه¬ی 20سانتی¬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

[1] AY6358331-*F.mosseae*; HF968841-1-*R.irregularis*; EU232660-1-*R.intraradices*

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 4×10^{11} CFU/ml و سوسپانسیون مخمر با میزان جمعیت 4×10^{11} *CFU/ml* طول (موج540 نانومتر) تهیه وبرای تلقیح به هرگلدان اضافه شد (فراکچیا و همکاران،2001).40 میلی‌لیتر عصاره چای کمپوست (حاوی 250 گرم چای کمپوست، 50 سی‌سی ملاس چغندرقند 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) (تالبوت و ترسدر،2010)، اسید هیومیک (*Humax 95Wsj, HJ Biotech Inc.*) و 20 سی سی 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 3ماه 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 پس‌ازآن مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد. (بس، 2000).

اندازه‌گیری شاخص های 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.

وزن‌تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه

برای اندازه‌گیری وزن‌تر 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 آون با دمای 72 درجه سلسیوس قرارگرفته و سپس وزن شدند.

سطح برگ

جهت تعیین سطح برگ، برگ‌ها از بوته جداشده و با دستگاه سنجش سطح برگ (Leaf area Measurement System Delta T, WD_3, UK) اندازه‌گیری صورت گرفت.

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل

برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از دستگاه کلروفیل‌متر (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 کارتنوئید، ابتدا 0/25 گرم برگ تازه گیاه ذرت در یک هاون چینی حاوی 10 میلی‌لیتر استون80 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 663، 652، 480، 510 و 645 نانومتر خوانده شد و درنهایت غلظت کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (آرنون،1994).

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

کلروفیل b ($mg.g^{-1}fw$)= [[(22.9× OD 645)-(4.68×OD663)×V]÷[1000×V]

کلروفیل کل ($mg.g^{-1}fw$)= [[(8.02× OD 663)+(20.2×OD 646)]×V]÷[1000×V]

کارتنوئید ($mg.g^{-1}fw$)= [[(7.6× OD 480-1.49× OD 510]×V]÷[1000×V]

W، وزن‌تر نمونه؛ V، حجم نهایی عصاره (10 میلی‌لیتر)؛ OD، میزان جذب

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

شاخص های رویشی

قطر ساقه

طبق نتایج ثبت‌شده در جدول‌های 1 و 3، تمامی گونه‌های قارچ میکوریز توأم با تیمار میکروبی و ترکیبات شیمیایی تأثیر معنی‌داری بر قطر گیاه داشتند اما اختلاف اثر در بین گونه‌های قارچی معنی‌دار نبود. دراین‌بین، تیمار اسید هیومیک توأم با *RI* ، بیشترین و تیمار آزولا توأم با *RI* کمترین تأثیر 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 تأثیر 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 معنی-داری نسبت به شاهد بیشترین تأثیر را نشان داد و *FM* و *RIr* به ترتیب در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول 1). نتایج حاصل از مقایسه رشد ارتفاع ساقه نیز نشان داد اثر متقابل قارچ میکوریز و سایرتیمارها به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش طول ساقه در سطح احتمال یک درصد گردید. کاربرد توأم اسید هیومیک با *RI* و کمپلکس آمینو اسید و *RIr* 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 ازلحاظ آماری تأثیر معنی‌داری بر افزایش سطح برگ نشان دادند. در بین گونه‌های مورد بررسی، *RIr* و *RI* نسبت به شاهد، بیشترین تأثیر 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 *RIr* و تیمار جلبک توأم با *FM* در مقایسه با شاهد به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر بر افزایش سطح برگ را سبب شدند. در شرایط عدم حضور قارچ میکوریز، تیمار باکتری در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها، بیشترین تأثیر را برافزایش سطح برگ داشت. در افزایش سطح برگ سیدروفور، اسید هیومیک، چای کمپوست و باکتری اختلاف معنی‌داری درسطح یک درصد با همدیگر نداشته ولی با شاهد اختلافشان معنی‌دار بود..

وزن‌تر و خشک‌ریشه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول 1)، گونه‌های مختلف قارچی تأثیر معنی‌داری بر وزن‌تر و خشک‌ریشه داشتند. در ارتباط با وزن‌تر 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 هرسه گونه قارچی مربوط به *RI* بود این در حالی است که نتایج در مورد وزن خشک ریشه متفاوت بود و تیمار سویه باکتریایی در ترکیب با *FM* و همچنین چای کمپوست توأم با گونه قارچی *RIr* باعث افزایش وزن خشک ریشه نسبت به سطح شاهد شد. ازنظر آماری این دو تیمار نسبت به هم در یک سطح قرار گرفتند.

وزن‌تر و وزن خشک شاخساره

نتایج تجزیه واریانس مقایسه وزن‌تر 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 ازلحاظ 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 وزن‌تر اندام هوایی نشان دادند. بدین‌صورت که بیشترین افزایش در وزن‌تر 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 وزن‌تر شاخساره را افزایش دادند. بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در گونه *FM* همراه با تیمار باکتری و بعدازآن 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.

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		قطر ساقه	ارتفاع	سطح برگ	وزن‌تر ریشه	وزن خشک‌ریشه	وزن‌تر ساقه	وزن خشک ساقه
قارچ میکوریز	3	62/60**	1095**	1126/92**	36/34**	3/13**	623/91**	10/67**
سایرتیمارها	7	3/98**	123/18**	213**	46/2**	0/28**	32/91**	0/57**
قارچ میکوریز×سایر تیمارها	21	3/32**	38/82**	170/38**	29/78**	0/37**	36/49**	0/99**
خطا		0/7	11/23	4/54	0/64	0/008	1/07	0/03
ضریب تغییرات		13/35	14/05	12/47	14/1	12/04	10/73	14/68

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

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 فسفری 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. به‌طورکلی هیومیک‌ها پیش از آن‌که کود باشند، اصلاح‌کننده‌های خاک هستند. پلیمرهای اسید هیومیک شبیه یک چسب آلی عمل می‌کنند و ذرات معدنی خاک را به هم چسبانده و ضمن ایجاد گرانول‌های درشت‌تر، فضای مناسب برای فعالیت موجودات میکروسکوپی و مایکروسکوپی، نفوذ بیشتر هوا، آب و ریشه فراهم می‌کنند (ماکویاک و همکاران، 2001). در نتیجه، اسید هیومیک با افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نظیر اکسین، ژیبرلین و سیتوکینین و افزایش فعالیت ریزجانداران منجر به افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه می‌شود و با افزایش جذب نیتروژن، رشد و ارتفاع و به‌تبع 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

برگ‌ها افزایش‌یافته 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 انجام‌شده روی گیاه گوجه‌فرنگی (ترکمن و همکاران، 2004) و منداب (آلبایراک 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 ازلحاظ مصرف عناصر غذایی و اشغال فضا رقابت می‌کند و درنهایت باعث بهبود رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (فریتز و همکاران، 2012). ازآنجاکه 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 چای‌کمپوست غنی از عناصر میکرو ازجمله 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 درنتیجه 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[1]، به جذب عناصر ضروری نظیر نیتروژن و فسفر مرتبط است که منجر به افزایش توسعه ریشه و درنتیجه رشد بهتر گیاه می‌شود. از طرف دیگر، این باکتری‌ها با تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و ژیبرلین‌ها 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 سندز، 1997). در یک بررسی که اخیراً انجام‌شده 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 ذکرشده مطابقت دارد. اسپرنت و اسپرنت (1990) گزارش کردند که باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن شامل آزوسپریلیوم و ازتوباکتر از طریق همیاری با ریشه گیاهان، موجب افزایش سطح جذب‌شده 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.

[1]. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)

جدول 2- تأثیرمتقابل تیمارهای مختلف و گونه‌های قارچ برشاخص های 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)
R.intraradices	آزولا	33.66 (cg)	5.9 (fi)	11.87 (de)	1.64 (ghi)	5.46 (f-i)	0.8 (gh)
	باکتری	32.91 (bf)	6.61 (c-h)	12.48 (d)	1.41 (i)	6.47 (ef)	0.95 (efg)
	کمپلکس اسید آمینه	29 (bf)	7.40 (a-f)	11.69 (de)	2.08 (de)	6.66 (ef)	0.8 (gh)
	هیومیک اسید	38 (bf)	8.89 (a)	17.74 (ab)	2.54 (ab)	8.88 (bc)	1.48 (b)
	مخمر	31.42 (cg)	6.46 (e-h)	11.98 (de)	1.54 (hi)	6.07 (e-h)	0.99 (ef)
	سیدروفور	29.11 (ghi)	8.30 (abc)	13.56 (d)	2.45 (abc)	9.88 (bc)	1.40 (b)
	چای کمپوست	27.14 (ad)	6.43 (e-h)	16 (bc)	1.96 (efg)	18.3 (a)	0.95 (efg)
	عدم تیمار	24.33 (il)	5.82 (f-i)	7.79 (ghi)	0.8 (jkl)	5.3 (fj)	0.57 (jk)
F.mossae	آزولا	26.66 (ab)	7.40 (a-f)	15.5 (c)	1.86 (c)	6.45 (ef)	0.95 (efg)
	باکتری	28.83 (abc)	5.42 (gh)	16.06 (bc)	2.68 (bc)	8.56 (cd)	1.8 (a)
	کمپلکس اسید آمینه	30.5 (bf)	7.3 (a-f)	16.78 (abc)	2.00 (abc)	6.53 (ef)	0.58 (ijk)
	هیومیک اسید	29.67 (a)	7.59 (a-e)	16.86 (abc)	1.85 (abc)	8.4 (cg)	1.22 (cd)
	مخمر	26.44 (be)	6.3 (e-h)	9.61 (fg)	1.03 (fg)	4.21 (i-k)	0.84 (efg)
	سیدروفور	20.83 (bf)	6.5 (d-h)	9.14 (fg)	0.97 (fg)	5.3 (fg)	0.60 (ijk)
	چای کمپوست	31.94 (bg)	7.6 (a-e)	17.82 (a)	2.15 (a)	8.5 (cd)	1.35 (bc)
	عدم تیمار	17 (fh)	5.42 (gh)	7.31 (hi)	0.76 (Hi)	3.9 (ik)	0.53 (jk)
R. irregularis	آزولا	24.41 (fgh)	8.69 (ab)	10.44 (efg)	1.17 (efg)	7.17 (de)	1.11 (de)
	باکتری	25.38 (dg)	7.14 (b-f)	6.4 (ij)	0.84 (ij)	5.18 (fj)	0.59 (ijk)
	کمپلکس اسید آمینه	19.16 (hj)	7.29 (a-f)	6.31 (ij)	0.81 (ij)	4.53 (hk)	0.52 (k)
	هیومیک اسید	24.11 (fgh)	6.33 (eh)	8.13 (hi)	0.7 (hi)	3.72 (jkl)	0.7 (hij)
	مخمر	25.05 (eh)	6.59 (cg)	8.24 (hi)	0.98 (hi)	4.79 (jk)	0.60 (hi)
	سیدروفور	24.22 (fgh)	8.2 (a-d)	13.55 (d)	1.65 (d)	6.29 (efg)	0.82 (gh)
	چای کمپوست	28.97 (bf)	8.1 (a-d)	18.58 (a)	2.32 (a)	10.09 (b)	1.74 (a)
	عدم تیمار	16.66 (im)	4.6 (jk)	6.23 (ij)	0.58 (ij)	3.42 (kl)	0.45 (ij)
Control	آزولا	17.66 (ijk)	4.19 (jk)	3.43 (km)	0.39 (km)	2.38 (lm)	0.27 (m)
	باکتری	23.88 (fgh)	4.29 (hk)	4.69 (jk)	0.51 (jk)	2.49 (mn)	0.29 (m)
	کمپلکس اسید آمینه	13.61 (jm)	3.38 (kl)	1.63 (mn)	0.27 (mn)	1.87 (mn)	0.2 (m)
	هیومیک اسید	17.08 (il)	4.6 (ik)	3.69 (kl)	0.4 (kl)	1.7 (mn)	0.19 (m)
	مخمر	11 (lm)	3.5 (kl)	1.47 (mn)	0.18 (mn)	1.86 (mnl)	0.19 (m)
	سیدروفور	13 (jm)	3.9 (jkl)	2.29 (lmn)	0.45 (lmn)	2.38	0.33 (lm)

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)

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. بااین‌حال، اسید هیومیک در مقایسه با تیمارهای دیگر، عدد اسپد را با اختلاف اندکی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرارداد (جدول 2). ازنظر 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 مورداستفاده، *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 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 مورداستفاده، گونه *FM* با 4/16 برابر افزایش بیشترین تأثیر را داشت (جدول 3). از بین تیمارهای توأم با گونه‌های قارچی، بیشترین محتوای کلروفیل کل درنتیجه 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 مورداستفاده 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

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 *RIr* با آمینو اسیدها در جایگاه‌های بعدی قرار داشتند. میانگین کارتنوئید ذرت در 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.

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

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

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

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 ازجمله بهبود روابط آبی، افزایش هدایت روزنه‌ای گیاه میزبان (ایج، 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 می‌توانند تأثیرگذار باشند (سابرامانیان، 1999). مکانیسم دیگری که میزان فتوسنتز در گیاهان همزیست قارچ میکوریز را تحریک می‌کند، نقش قارچ میکوریز به‌عنوان یک مصرف‌کننده مواد فتوسنتزی است. درنتیجه 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 به‌طورکلی میزان فتوسنتز ذرت مایه‌زنی شده با قارچ میکوریز نسبت به ذرت فاقد قارچ میکوریز بیشتر است. در همین راستا نتایج مشابهی توسط ایج (2001) و رویز – لوزانو (2003) نیز گزارش‌شده 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 لوبیا تیمار شده با اسید هیومیک گزارش‌شده 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 درواقع 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

آمینواسیدها به توسعه سیستم کلروفیلی کمک شایانی می‌کنند و از تجمع کلروفیل‌ها در یک قسمت جلوگیری کرده وکلروفیل‌ها 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 وگلوتامیک دو آمینو اسیدها بنیادی در فرآیند تشکیل کلروفیل و افزایش مقدار بافت سبز در گیاهان هستند.این اسیدآمینه‌ها 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 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، ژیبرلین و سیتوکنین، نقش تغذیه‌ای و حفاظتی مفیدی دارند و به‌عنوان محرک رشد برای گیاهان تلقی می‌شوند. علاوه بر این مخمر با انتشار گاز CO_2 به بهبود چرخه‌ی فتوسنتز کمک می‌کنند (فاوزی همکاران، 2012).

جدول 4- تأثیر تیمارهای مختلف برشاخص های فتوسنتزی گیاه ذرت

		کارتنوئید (mg/g)	کلروفیل a+b (mg/g)	کلروفیل b (mg/g)	کلروفیل a (mg/g)	عدد اسپد ()	سطح برگ (cm^2)
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)	2589 (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)
F.mossae	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)
	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)
galaris	آزولا	0.59 (klm)	14.38 (e)	1.20 (ef)	0.63 (gh)	23.23 (bg)	25.11 (cf)

CONTROL	باکتری	0.30 (qrs)	9.75 (hi)	0.74 (il)	0.44 (jkl)	25.7 (ae)	27.75 (bc)
	کمپلکس اسید آمینه	1.20 (bc)	24.18 (b)	1.79 (c)	1.10	26.33 (abc)	16.57 (jm)
	هیومیک اسید	0.65 (jkl)	14.98 (e)	1.27 (de)	0.67 (c)	26.96 (abc)	23.89 (il)
	مخمر	0.82 (ghi)	17.80 (d)	1.38 (d)	0.80 (fe)	23.93 (ae)	25.11 (be)
	سیدروفور	0.87 (fgh)	19.88 (c)	1.26 (de)	0.94 (d)	25.7 (ae)	33.6 (a)
	چای کمپوست	0.43 (op)	10.97 (ghi)	0.92 (gh)	0.34 (mno)	24.93 (af)	27.78 (bc)
	عدم تیمار	0.31 (qr)	7.46 (mn)	0.55 (mo)	0.34 (no)	22.73 (bh)	12.8 (mno)
	آزولا	0.74 (ij)	1.86 (p)	0.69 (km)	0.48 (ijk)	20.93 (ei)	1.74 (q)
	باکتری	0.08 (t)	2.67 (p)	0.21 (qr)	0.11 (q)	22.66 (fi)	16.6 (jm)
	کمپلکس اسید آمینه	0.25 (s)	5.42 (o)	0.42 (op)	0.25 (p)	18.56 (gj)	2.47 (q)
	هیومیک اسید	0.35 (pqr)	7.55 (mn)	0.52 (mno)	0.35 (mno)	20.96 (di)	6.21 (p)
	مخمر	0.25 (rs)	2.65 (p)	0.35 (pq)	0.21 (ab)	18 (hj)	0.27 (q)
	سیدروفور	0.67 (jk)	8.25 (km)	0.51 (no)	0.52 (b)	18.26 (gj)	11.82 (no)
	چای کمپوست	0.42 (op)	10.29 (ln)	0.63 (lmn)	0.48 (ijk)	16 (ij)	0.97 (q)
	عدم تیمار	0.05 (t)	1.86 (p)	0.15 (r)	0.08 (a)	14.86 (j)	0.09 (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 قارچ های 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 قارچ ها 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 ترکند 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): 132- 121.
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 annuss L.) در سطوح مختلف تنش خشکی. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، جلد2 (شماره 3) : 501-492.
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.، پیردشتی، ه. ا.، بهمنیار، م. ع. و عباسیان، ا. 1386 .مطالعه تأثیرکمپوست، 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،25تا26 مهرماه، دانشگاه گرگان،191-174.
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., Camprubı, 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. Critcal Reviewes Plant Science 22: 107–149
17. Fawzy, Z. Li, Y., Ouyang, Z. and Hoda, A. 2012. Influnce of Foliar Application by EM effective microorganisms amino acids and Yeast on Growth, Yield and quality of two cultivars of onion Plants under newly reclamed 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 J ournal 64:927-932.
23. Kloepper, J. W., Lifshitz, R. and Zablotowicz, R. M. 1989. Free-living bacterial inocula for enchancing crop productivity. Trends in Biotechnology7:39-43.
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 contributin to water uptake in mycorrhizal plant as affected by the fungi speccies and water ststus. 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.Acqisition 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[1], 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 experminet was conducted as a compeletely randomized factorial desin with three replications at Valiasr University of Rafsanjan.Three fungal species, *Funneliformis mosseae*(FM), *Rhizophagus intraradices*(RI) and *Rhizophagus irregalaris* (RIr) were applied asmycorrhizal 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

[1] Corresponding author: Faculty of agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Kerman, Iran.