مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۱۸ شماره ۳ صفحه‌های ۳۱۵ تا ۳۲۸ (۱۳۹۶)

اثر قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار برتغییرهای فصلی برخی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک پایه‌های رویشی سیب در یک خاک آهکی[1]

Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Seasonal Changes of Some Growth and Physiological Parameters of Apple Clonal Rootstocks in a Calcareous Soil

علی قرقانی*، آرام حسینی و مهدی زارعی[2]

چکیده

آزمایشی برای بررسی اثر همزیستی قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار بر روند رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی چند پایه رویشی سیب در طول فصل رشد در یک خاک آهکی انجام شد. این آزمایش با دو فاکتور پایه در سه سطح (پایه‌های M_9، M_7 و MM_{106}) و قارچ در چهار سطح (*Glomus versiforme*، *Rhizophagus interaradices*، *Claroideoglomus etunicatum* و شاهد) به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح به‌طورکامل تصادفی در شرایط گلخانه انجام شد. شاخص‌های رشدی (ارتفاع و قطر گیاه) و فیزیولوژیک (کلروفیل کل، فتوسنتز و تعرق)و هم‌چنین مقدار کلونیزاسیون ریشه گیاه در سه زمان (هفته‌های ۱۱، ۱۵ و ۱۹ بعد از کاشت) در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد. نتیجه‌ها نشان داد اثر تیمارهای قارچ و نوع پایه‌ها بر تمامی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در هر سه زمان معنی‌دار بود. در بین قارچ‌ها، *G. versiforme* در بیشتر شاخص‌های اندازه‌گیری شده برتر از دو قارچ دیگر بود. در بین پایه‌ها، وزن تر شاخساره و هم‌چنین ارتفاع (در دو اندازه‌گیری اول) در MM_{106} بیشتر بود ولی ارتفاع نهایی M_7 بیشتر از بقیه بود. بیشترین و کمترین قطر نهال به‌ترتیب مربوط به MM_{106} و M_7 بود. بیشترین مقدار کلرفیل، فتوسنتز و تعرق در پایه M_9 مشاهده شد. بیشترین مقدار کلونیزاسیون ریشه در پایه M_7 دیده شد. به‌نظر می‌رسد با انتخاب پایه مناسب و همزیست کردن آن با قارچ‌های مایکوریزا می‌توان دشواری‌ها ناشی از خاک‌های آهکی از جمله کم‌سبزینگی و کاهش رشد گیاه را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: سیب، پایه رویشی، قارچ آربوسکولار مایکوریز، فتوسنتز، رشد.

مقدمه

سیب یکی از مهم‌ترین میوه‌های منطقه‌های معتدل است که در بسیاری از نقاط دنیا از جمله ایران کشت و کار می‌شود. بیشتر باغ‌های سیب کشور از نوع سنتی با تراکم پایین و روی پایه‌های بذری هستند که در مقایسه با باغ‌های کشورهای توسعه یافته از میانگین تولید پایینی برخوردار هستند. آهک بالا و pH بالا از متداول‌ترین دشواری‌های خاک‌ها در باغ‌های سیب کشور هستند که به‌دلیل محدودیت‌هایی که برای جذب برخی از عنصرهای

۱- تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۶ تاریخ پذیرش:۹۶/۱۱/۱۸

۲- به‌ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بخش علوم باغبانی و دانشیار بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: (agharghani@shirazu.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

غذایی ایجاد می‌کنند، دشواری‌های تغذیه‌ای قابل توجهی را در بیشتر باغ‌های سیب کشور سبب شده‌اند که این مسئله یکی دیگر از دلیل‌های عملکرد پایین در باغ‌های سیب کشور است (۲۱).

پایه‌های پاکوتاه کننده به‌طور گسترده‌ای در صنعت تولید میوه به‌عنوان ابزاری برای افزایش سودمندی باغ‌ها مورد قبول واقع شده است (۵). پژوهش‌های زیادی تأثیر پایه‌های سیب را در زود باردهی، رشد و اندازه درخت، کیفیت میوه، مقدار باردهی، جذب عنصرهای غذایی و مقاومت به شرایط نامساعد محیطی نشان داده‌اند (۹، ۱۹، ۲۴، ۲۵). برخی پژوهش‌ها نیز اثر پایه‌های مختلف را روی ویژگی‌های فیزیولوژیک بررسی کرده‌اند. فری و باردن (۱۰) نشان دادند که آهنگ فتوسنتز درختان سیب پیوند شده روی پایه‌های بذری در مقایسه با درختان پیوند شده روی پایه MM_{106} بالاتر بود. هم‌چنین نشان داده شده است که فتوسنتزبرگ‌های درختان سیب رقم گلدن دلیشز پیوند شده روی پایه M_7 و MM_{111} بالاتر از آن‌هایی بود که روی پایه M_9 پیوند شده بودند (۳).در پژوهشی دیگر سیب رقم امپریال دابل رد دلیشز روی پنج پایه M_7، MM_{106}، MM_{104}، MM_{109} و پایه بذری بررسی شد. نتیجه‌ها نشان داد که پایه بذری و MM_{109} آهنگ فتوسنتز بیشتری داشتند، اما بین دیگر پایه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (۳۶). با این حال فری وباردن (۱۰) گزارش کردند که فتوسنتز و تنفس تاریکی درختان سیب رقم دلیشز پیوند شده روی پایه‌های مختلف متأثر از پایه نبود.

قارچ‌های ریشه‌ای آربسکولار (Arbuscular Mycorrhizal Fungi) رایج‌ترین همزیستی بین گیاهان و میکروارگانیسم‌های خاکزی می‌باشد. این قارچ‌ها دارای اثرهای مهمی در رشد و نمو گیاهان و مقاومت آن‌ها در شرایط نامساعد و تنش‌های محیطی هستند (۱۱). در این همزیستی قارچ ماده‌های کربوهیدراتی را ازمیزبان دریافت و درمقابل آب و عنصرهای غذایی، فاکتورهای رشد و غیره دراختیار گیاه قرارمی‌دهد. بیشتر گیاهان قادر به تشکیل همزیستی ریشه‌ای هستند ولی برخی از آن‌هابه آسانی و فراوانی بیشتری این کار را انجام می‌دهند (۳۵).

قارچ‌های ریشه‌ای می‌توانند باعث افزایش رشد، سطح برگ و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه شوند. این افزایش رشد می‌تواند به بهبود جذب آب توسط ریسه‌های قارچ و افزایش جذب فسفر نسبت داده شود (۵). افزایش در سطح برگ و محتوای کلروفیل گیاه را می‌توان به اثر مستقیم افزایش فتوسنتز در اثر افزایش جذب فسفر نسبت داد (۷). شوبرت و لوبراکو (۳۴) پایه‌های سیب MM_{106} را که از ریزافزایی جوانه‌های جانبی به‌دست آمده بودند با قارچ ریشه‌ای مایه‌زنی کردند و تفاوت معنی‌داری را در شاخص‌های رشدی بین گیاهان همزیست شده و شاهد مشاهده کردند. کاربرد قارچ های ریشه‌ای روی پایه سیب M_7 حاصل از ریزافزایی نشان داد که نهال‌هایی که قارچ ریشه‌ای دریافت کرده بودند استقرار و زنده‌مانی وهم‌چنین رشد بیشتری داشتند (۲۹).

از آن‌جا که تحریک رشد به روشنی با قارچ‌های ریشه‌ای در گیاهان همزیست دیده شده است، به نظر می‌رسد به مشابه آن فرآیندهای متابولیکی مهمی مانند فتوسنتز هم می‌تواند با آن تحریک شود (۱). گزارش شده است که همزیستی گیاهان به طور معنی‌داری مقدار کلروفیل را در برگ‌ها افزایش می‌دهد. افزایش سطح کلروفیل می‌تواند واکنشی برای افزایش آهنگ فتوسنتز باشد، به علاوه می‌تواند بر اثر افزایش جذب عنصرهایی مانند منیزیوم موثر باشد که در ساخت این رنگدانه موثر هستند (۱۸).

بهبود آهنگ فتوسنتز در دانهال‌های تلقیح شده با قارچ *Rhizophagus intraradices* در مقایسه با گیاهان غیر تلقیح شده مشاهده شده است (۲۷). افزون بر این، افزایش در سطح سیتوکینین در همزیستی با قارچ ریشه‌ای آربوسکولار مشاهده شده است (۱). افزایش چنین هورمون‌هایی، می‌تواند باعث افزایش آهنگ فتوسنتز با باز گذاشتن روزنه‌ها، اثرگذاری روی انتقال آهن و تنظیم سطح کلروفیل شود (۳۳). در پژوهشی دیگر گزارش شد که دانهال‌های *Citrus tangerine* تلقیح شده با قارچ *Glomus versiforme* آهنگ فتوسنتزی بالاتری را در مقایسه با دانهال‌های شاهد داشتند (۳۸).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

با توجه به آن‌که بیشتر خاک‌های ایران آهکی هستند، درختان میوه در این خاک‌ها دچار کم‌سبزینگی، کاهش رشد و هم‌چنین کاهش کمیت و کیفیت فراورده می‌شوند. بنابراین کاربرد پایه‌های سازگار با این گونه خاک‌ها و یا همزیست کردن قارچ های ریشه‌ای با پایه های تجاری مهم، می‌تواند نقش به سزایی در رفع این دشواری و افزایش کمی و کیفی تولید میوه در کشور به دنبال داشته باشد. هدف از این پژوهش بررسی اثر همزیستی قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار بر روند تغییر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک پایه‌های رویشی سیب در طول یک فصل رشد در یک خاک آهکی بود.

مواد و روش‌ها

خاک آزمایش

خاک مورد استفاده برای کشت نهال‌ها از منطقه کودیان واقع در شهرستان شیراز در استان فارس و از یک باغ تجاری سیب که خاک آهکی داشته و دشواری‌ها ناشی از تثبیت عنصرهای غذایی کم‌مصرف در آن نمایان بود تهیه شد. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ ارائه شده است. از گلدان‌های پلاستیکی شش کیلوگرمی برای کشت نهال‌ها استفاده شد و در هر گلدان پلاستیکی ۶۰۰ گرم سنگریزه برای زهکش وپنج کیلو خاک ریخته شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Some physical and chemical properties of the used soil in this study.

Physical properties ویژگی‌های فیزیکی						Chemical properties ویژگی‌های شیمیایی						
بافت Texture	شن Sand (%)	رس Clay (%)	لای Silt (%)	ماده آلی Organic matter (%)	کربنات کلسیم $CaCO_3$ (%)	واکنش خاک pH	شوری EC (dS m^{-1})	فسفر Olsen-P (mg kg^{-1})	آهن *DTPA-Fe (mg kg^{-1})	مس DTPA-Cu (mg kg^{-1})	روی DTPA-Zn (mg kg^{-1})	منگنز DTPA-Mn (mg kg^{-1})
Sandy clay loam (لوم رسی-شنی)	58.0	30.8	11.2	1. 8	38.7	7.8	0.4	12.8	6.3	8.4	1.8	10.6

*Diethylene Triamine Penta Acetic Acid

تهیه قارچ مایکوریز آربوسکولار

هاگ قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار که شامل سه گونه به نام‌های *Glomus versiforme*، *Rhizophagus intraradices* (Syn. *Glomus intraradices*)، *Claroideoglomus etunicatum* (Syn. *Glomus etunicatum*) بودند، توسط بخش خاک‌شناسی دانشگاه شیراز تهیه و مایه قارچی با استفاده از کشت تله‌ای با گیاه ذرت در محیط کشت ترکیبی از خاک و شن کوارتز با نسبت حجمی یک به چهار تهیه شد. تعداد اسپور در هر گرم مایه ۹ تا ۱۱ عدد و کلنیزاسیون ریشه هم ۷۵ تا ۸۵٪ تخمین زده شد (۳۹).

ماده‌های گیاهی

برای انجام این پژوهش از افکنده‌های یک‌ساله و یکدست سه پایه‌رویشی تجاری سیب یعنی M_9، M_7 و MM_{106} استفاده شد که از یک تولیدکننده نهال معتبر در شهرستان نیریز که نهال‌های شناسه‌دار تولید می‌کند، تهیه شد. آزمایش از اسفند ماه سال ۹۰ تا شهریور ماه ۹۱ در گلخانه بخش باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. هنگام کشت برای تلقیح قارچ ریشه‌ای آربسکولار، مایه قارچی شامل هاگ، ریسه، قطعه‌های ریشه‌ای و آمیخته خاکی با وزن ۵۰ گرم به ازای هر گلدان با خاک اطراف ریشه نهال آمیخته شد (به گلدان‌های شاهد نیز ۵۰ گرم مایه قارچی اتوکلاو شده افزوده شد). نهال‌ها پس از کشت برای یکسان سازی ارتفاع و شروع رشد جدید از ۳

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

سانتی‌متری سطح خاک سربرداری شدند. هیچ‌گونه ماده غذایی تکمیلی به گلدان‌ها افزوده نشد و برای جلوگیری از آبشویی ماده‌های غذایی و آسیب به قارچ‌ها، آبیاری نهال‌ها به مقدار یکسان، یکنواخت و کم و هر سه روز یک‌بار انجام گرفت. دمای گلخانه در طول روز و شب به ترتیب برابر ۲ ± ۲۵ و ۲ ± ۱۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی آن ۵ ± ۷۵ درصد بود.

طرح آماری آزمایش

آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور پایه در سه سطح (M_9، M_7 و MM_{106}) و قارچ در چهار سطح (*Glomus versiforme*، *Rhizophagus intraradices*، *Claroideoglomus etunicatum* و شاهد) در قالب طرح پایه به طورکامل تصادفی با سه تکرار و هر تکرار شامل سه گیاه و در مجموع شامل ۱۰۸= (۳×۳×۳×۴) گلدان بود.

اندازه‌گیری شاخص های رشدی و فیزیولوژیک

اولین اندازه‌گیری طول و قطر ساقه در هفته یازدهم واندازه‌گیری‌های بعدی این دو ویژگی هر چهار هفته یک بار در هفته‌های پانزدهم و نوزدهم تکرار شد. طول ساقه با خط کش و قطر ساقه با دستگاه کولیس دیجیتال ثبت شد. وزن تر اندام‌های گیاه در پایان آزمایش و پس از برداشت گیاهان با ترازوی دیجیتال با دقت یک‌هزارم گرم اندازه‌گیری شد.

مقدار کلرفیل به روش شیمیایی اندازه‌گیری شد (۳۲).

مقدارفتوسنتز خالص و تعرق به وسیله دستگاه فتوسنتزسنج (ADC BioScientific LCA4 Ltd.) ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری روی سه برگ واقع شده در جهت‌های مختلف هر گیاه و در بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ صبح انجام شد. اولین مرحله اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیک نیزدر هفته یازدهم انجام شد و بعد از آن دو بار دیگربا فاصله هر چهار هفته از همدیگر در هفته‌های پانزدهم و نوزدهم تکرار شد.

اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه فقط یک بار و در پایان آزمایش انجام شد. برای این منظور رنگ‌آمیزی ریشه به روش کورمانیک و مک گرو (۱۷) انجام شد و سپس کلونیزاسیون ریشه با اندام‌های قارچی شامل آربوسکول، هیف و وزیکول‌ها به روش تقاطع خطوط مشبک (Grid-line intersect method) در زیر میکروسکوپ نوری بررسی شدند.

واکاوی آماری

واکاوی آماری داده‌ها با نرم‌افزارSAS نسخه ۹ انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج

شاخص‌های رشد

ارتفاع ساقه

قارچ‌های ریشه‌ای باعث افزایش ارتفاع گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد شدند و در بین آن‌ها نیز قارچ *G. versiforme* برتر از دیگر قارچ‌ها بود. در هفته‌های یازدهم و پانزدهم پایه MM_{106} بیشترین ارتفاع ساقه را داشت اما در هفته نوزدهم ارتفاع ساقه پایه M_7 بیشتر از دو پایه دیگر بود. اثرهای برهمکنش قارچ و پایه بر ارتفاع ساقه نشان داد که هفته یازدهم بعد از کشت بیشترین ارتفاع مربوط به پایه MM_{106} تیمار شده با قارچ *C. etunicatum* بود که البته با اثر قارچ *G. versiforme* تفاوت معنی‌داری نداشت، اما در هفته‌های پانزدهم و نوزدهم بیشترین ارتفاع مربوط به پایه M_7 تیمار شده با قارچ *G. versiforme* بود (جدول ۲).

قطر ساقه

قارچ‌های مایکوریز باعث افزایش قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد (بدون قارچ) شدند و در بین آن‌ها نیز قارچ *G. versiforme* برتر از دیگران بود. پایه M_7 در هر سه زمان اندازه‌گیری شده قطر ساقه کمتری از دیگر پایه‌ها

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

داشت. اثرهای برهمکنش قارچ و پایه بر قطر ساقه نشان داد که بیشترین قطر ساقه در هفته یازدهم بعد از کشت مربوط پایه MM_{106} تیمار شده با دو قارچ *G. versiforme* و *C. etunicatum* و کمترین قطر ساقه در این زمان

جدول ۲- اثرگونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریزا بر ارتفاع ساقه (سانتی‌متر) پایه‌های رویشی سیب در سه زمان (T1، T2 و T3، به‌ترتیب ۱۱، ۱۵ و ۱۹ هفته بعد از کاشت نهال‌ها).

Table 2. Effect of arbuscular mycorhizal fungi on shoot height (cm) of clonal apple rootstocks at three times (T1, T2, and T3; 11, 15, and 19 weeks after transplanting, respectively).

زمان Time	پایه ها Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار مایکوریز AMF species				
		G. versiforme	*R. intraradices*	*C. etunicatum*	شاهد Control	میانگین Mean
T1	MM_{106}	40.00^{a}	37.00^{b}	41.00^{a}	34.00^{cd}	38.00^{A}
	M_7	33.00^{d}	29.66^{e}	29.00^{e}	23.33^{f}	28.75^{C}
	M_9	33.66^{bc}	35.30^{bcd}	33.00^{d}	27.66^{e}	33.16^{B}
	میانگین Mean	36.55^{A}	34.00^{B}	34.33^{B}	28.33^{C}	
T2	MM_{106}	49.33^{b}	47.66^{bc}	51.66^{a}	45.66^{cd}	48.58^{A}
	M_7	52.33^{a}	48.33^{b}	45.33^{d}	38.66^{g}	46.16^{B}
	M_9	43.66^{de}	42.00^{ef}	41.00^{f}	36.33^{h}	40.75^{C}
	میانگین Mean	48.44^{A}	46.00^{B}	46.00^{B}	40.22^{C}	
T3	MM_{106}	56.33^{cd}	54.00^{de}	56.00^{cd}	52.33^{ef}	54.66^{B}
	M_7	66.66^{a}	66.00^{b}	58.66^{bc}	49.00^{fg}	59.08^{A}
	M_9	49.66^{fg}	47.66^{g}	43.66^{h}	40.33^{h}	45.33^{C}
	میانگین Mean	57.55^{A}	54.55^{B}	52.77^{B}	47.22^{C}	

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

مربوط به پایه M_7 نبود قارچ ریشه‌ای بود. این روند در هفته‌های پانزدهم و نوزدهم نیز ادامه داشت اما در این دو زمان تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای قارچ ریشه‌ای در پایه MM_{106} مشاهده نشد. به‌طور کلی، در همه پایه‌ها اثر قارچ *G. versiforme* بر قطر شاخساره در مقایسه با گیاهان شاهد معنی‌دار بود ولی اثر دو قارچ دیگر در برخی موارد نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۳).

وزن تر شاخساره

نتیجه‌ها نشان داد که پایه‌های تلقیح شده با قارچ به‌طور معنی‌داری وزن تر شاخساره بیشتری از پایه‌های تلقیح نشده (شاهد) داشتند ولی بین قارچ‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در بین پایه‌ها، پایه MM_{106} بیشترین و پایه M_7 کمترین وزن تر شاخساره را داشت. نتیجه‌های حاصل از برهمکنش گونه قارچ ریشه‌ای با پایه نیز نشان داد که بیشترین وزن تر شاخساره مربوط به پایه MM_{106} در برهمکنش با قارچ *G. versiforme* بود که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با مقداروزن تر شاخساره همین پایه در تیمار با دو قارچ دیگر نداشت و کمترین مقدار مربوط به پایه M_7 بدون تیمار قارچ بود (جدول ۴).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

جدول ۳- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر قطر ساقه (میلی متر) پایه‌های رویشی سیب در سه زمان (T1، T2 و T3، به ترتیب ۱۱، ۱۵ و ۱۹ هفته بعد از کاشت نهال‌ها).

Table 3. Effect of arbuscular mycorhizal fungi on shoot height (cm) of clonal apple rootstocks at three times (T1, T2, and T3; 11, 15, and 19 weeks after transplanting, respectively).

زمان Time	پایه ها Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار مایکوریز AMF species				
		G. versiforme	*R. intraradices*	*C. etunicatum*	شاهد Control	میانگین Mean
T1	MM_{106}	5.23^{a}	4.68^{bc}	5.23^{a}	4.30^{cd}	4.86^{A}
	M_7	4.13^{de}	3.90^{de}	3.73^{e}	3.10^{f}	3.71^{C}
	M_9	4.90^{ab}	4.63^{bc}	4.23^{cd}	4.30^{cd}	4.51^{B}
	میانگین Mean	4.75^{A}	4.40^{B}	4.40^{B}	3.90^{C}	
T2	MM_{106}	6.83^{ab}	6.80^{ab}	6.98^{a}	6.21^{cd}	6.70^{A}
	M_7	5.70^{de}	4.76^{f}	4.73^{f}	3.80^{g}	4.75^{C}
	M_9	6.83^{ab}	5.93^{cde}	6.43^{bc}	5.50^{e}	6.17^{B}
	میانگین Mean	6.45^{A}	5.83^{B}	6.05^{B}	5.17^{C}	
T3	MM_{106}	7.80^{a}	7.60^{a}	7.76^{a}	6.76^{bcd}	7.48^{A}
	M_7	6.56^{cd}	5.66^{e}	5.83^{e}	4.83^{f}	5.72^{C}
	M_9	7.33^{ab}	6.63^{cd}	6.90^{bc}	6.10^{de}	6.74^{B}
	میانگین Mean	7.22^{A}	6.63^{B}	6.83^{B}	5.90^{C}	

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۴- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر مقدار وزن تر شاخساره (گرم) پایه‌های رویشی.

Table 4. Effect of arbuscular mycorhizal fungi on shoot fresh weight (g) of clonal apple rootstocks.

پایه ها Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار مایکوریز AMF species				
	G. versiforme	*R. intraradices*	*C. etunicatum*	شاهد Control	میانگین Mean
MM_{106}	37.01^{a}	35.31^{ab}	36.90^{a}	32.79^{abc}	35.50^{A}
M_7	33.47^{ab}	28.85^{cde}	24.71^{e}	14.70^{f}	25.43^{C}
M_9	31.78^{bcd}	32.66^{abc}	34.36^{ab}	27.56^{de}	31.59^{B}
میانگین Mean	34.09^{A}	32.27^{A}	31.99^{A}	25.02^{B}	

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شاخص های فیزیولوژیک

کلروفیل کل

نتیجه‌ها نشان داد که مقدار کلروفیل کل در طول زمان افزایش پیدا کرد. قارچ‌های ریشه‌ای در هر سه زمان باعث افزایش مقدار کلروفیل کل شدند و در بین آن‌ها قارچ *G. versiforme* برتر از بقیه بود. پایه M_9 در هر سه زمان

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

اندازه‌گیری شده مقدار کلروفیل کل بیشتری نسبت به دیگر پایه‌ها داشت. اثرهای برهمکنش قارچ و پایه بر مقدار کلروفیل کل در نهال‌های سیب در سه مرحله زمانی، نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کل در هر سه مرحله زمانی در پایه M_9 تلقیح شده با قارچ *G. versiforme* مشاهده شد و کمترین آن نیز در تیمار شاهد (بدون قارچ) دو پایه دیگر به ثبت رسید (جدول ۵).

جدول ۵- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر مقدار کلروفیل کل برگ (میلی‌گرم بر گرم) پایه‌های رویشی سیب در سه زمان (T1، T2 و T3؛ به‌ترتیب ۱۱، ۱۵ و ۱۹ هفته بعد از کاشت نهال‌ها).

Table 5. Effect of arbuscular mycorhizal fungi on total chlorophyl content (mg/g) of clonal apple rootstocks at three times (T1, T2, and T3; 11, 15, and 19 weeks after cultivation, respectively).

زمان Time	پایه ها Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار مایکوریز AMF species				
		G. versiforme	*R. intraradices*	*C. etunicatum*	شاهد Control	میانگین Mean
T1	MM_{106}	0.762^{c}	0.729^{c}	0.728^{c}	0.563^{ef}	0.696^{B}
	M_7	0.598^{e}	0.643^{d}	0.596^{e}	0.542^{f}	0.594^{C}
	M_9	0.864^{a}	0.849^{ab}	0.819^{b}	0.743^{c}	0.818^{A}
	میانگین Mean	0.740^{A}	0.740^{A}	0.714^{B}	0.616^{C}	
T2	MM_{106}	0.850^{bc}	0.796^{c}	0.851^{bc}	0.686^{d}	0.796^{B}
	M_7	0.960^{a}	0.877^{b}	0.778^{c}	0.653^{d}	0.817^{B}
	M_9	0.996^{a}	0.973^{a}	0.921^{b}	0.781^{c}	0.918^{A}
	میانگین Mean	0.935^{A}	0.882^{B}	0.850^{B}	0.707^{C}	
T3	MM_{106}	0.893^{b}	0.883^{b}	0.870^{b}	0.650^{d}	0.824^{B}
	M_7	0.834^{bc}	0.836^{bc}	0.709^{d}	0.689^{d}	0.767^{C}
	M_9	1.000^{a}	0.867^{b}	1.010^{a}	0.806^{c}	0.923^{A}
میانگین Mean		0.911^{A}	0.862^{B}	0.864^{B}	0.715^{C}	

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

فتوسنتز

قارچ‌های ریشه‌ای در هر سه زمان باعث افزایش مقدارفتوسنتز نسبت به تیمار شاهد شدند که در زمان اول بین قارچ‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی در دو زمان بعدی قارچ *G. versiforme* برتر از دو قارچ دیگر بود. بیشترین و کمترین مقدارفتوسنتز در هر سه زمان به‌ترتیب در پایه‌های M_9 و M_7 به ثبت رسید. اثرهای برهمکنش قارچ و پایه بر مقدارفتوسنتز در پایه‌های سیب در سه مرحله زمانی پس از کشت، نشان داد که بیشترین آهنگفتوسنتز در هر سه مرحله زمانی در پایه M_9 همزیست شده با قارچ‌های مختلف ثبت شدو هم‌چنین در هر سه مرحله زمانی کمترین آهنگ فتوسنتز در پایه M_7 در نبود قارچ ریشه‌ای مشاهده شد(جدول ۶).

مقدار تعرق

قارچ‌های ریشه‌ای در هر سه زمان باعث افزایش مقدار تعرق نسبت به تیمار شاهد شدند که در زمان‌های اول و دوم بین قارچ‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی در زمان سوم تعرق گیاهان تیمار شده با قارچ *C. etunicatum* به‌طور معنی‌داری کمتر از دو قارچ دیگر بود. بیشترین و کمترین مقدار تعرق در هر سه زمان

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

به‌ترتیب در پایه‌های M_9 و M_7 به ثبت رسید.اثرهای برهمکنش قارچ و پایه بر مقدار تعرق در نهال‌های سیب در سه مرحله زمانی پس از کشت، نشان داد که در زمان‌های اول و دوم بیشترین مقدار تعرق در پایه‌های M_9 و MM_{106} تیمار شده با هر سه قارچ دیده شد و کمترین مقدار تعرق در این دو مرحله زمانی در پایه M_7 در نبودقارچ ریشه‌ای ثبت شد. در زمان سوم بیشترین مقدار تعرق در پایه M_9 تیمار شده با دو قارچ *G. versiforme* و *R. intraradices* و کمترین مقدار نیز در تیمار بدون قارچ پایه های M_7 و MM_{106} مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۶- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر مقدارفتوسنتز (میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه) پایه‌های رویشی سیب در سه زمان (T1، T2 و T3؛ به ترتیب ۱۱، ۱۵ و ۱۹ هفته بعد از کاشت نهال‌ها).

Table 6. Effect of arbuscular mycorhizal fungi on photosynthesis (µmol/ m^2/s) of clonal apple rootstocks at three times (T1, T2, and T3; 11, 15, and 19 weeks after cultivation, respectively).

زمان Time	پایه ها Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار مایکوریز AMF species				
		G. versiforme	*R. intraradices*	*C. etunicatum*	شاهد Control	میانگین Mean
T1	MM_{106}	8.05^{a}	7.51^{ab}	7.63^{ab}	6.50^{cd}	7.42^{A}
	M_7	6.16^{d}	6.36^{d}	6.56^{cd}	6.54^{cd}	6.41^{B}
	M_9	7.66^{ab}	7.74^{ab}	8.16^{a}	7.20^{bc}	7.69^{A}
	میانگین Mean	7.29^{A}	7.20^{A}	7.45^{A}	6.74^{B}	
T2	MM_{106}	8.60^{ab}	7.76^{cde}	7.50^{def}	6.30^{gh}	7.54^{B}
	M_7	7.97^{bcd}	7.23^{ef}	6.96^{fg}	6.06^{h}	7.06^{C}
	M_9	8.43^{abc}	8.33^{bc}	9.06^{a}	7.00^{fg}	8.20^{A}
	میانگین Mean	8.33^{A}	7.77^{B}	7.84^{B}	6.45^{C}	
T3	MM_{106}	14.33^{ab}	12.53^{d}	12.36^{d}	10.01^{e}	12.31^{B}
	M_7	12.26^{d}	12.16^{d}	12.58^{cd}	9.63^{e}	11.66^{C}
	M_9	15.30^{a}	14.32^{ab}	13.68^{bc}	12.17^{d}	13.87^{A}
	میانگین Mean	13.96^{A}	13.00^{B}	12.87^{B}	10.60^{C}	

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

کلونیزاسیون ریشه

نتیجه‌ها نشان داد که پایه‌های تلقیح شده با قارچ به طور معنی‌داری کلونیزاسیون بالاتری از پایه‌های تلقیح نشده (شاهد) داشتند و قارچ *G. versiforme* نسبت به دیگر قارچ‌ها کلونیزاسیون ریشه‌ای بیشتری داشت. در بین پایه‌ها، پایه M_7 بیشترین و پایه M_9 کمترین درصد کلونیزاسیون را داشت. نتیجه‌های حاصل از برهمکنش گونه قارچ ریشه‌ای با پایه نیز نشان داد که بیشترین کلونیزاسیون ریشه‌ای مربوط به پایه M_7 در برهمکنش با قارچ *G. versiforme* بود که از نظر آماری تفاوتی با مقدار کلونیزاسیون همین قارچ روی پایه MM_{106} نداشت و کمترین مقدار مربوط به پایه M_9 بدون تیمار قارچ بود (جدول ۸).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

جدول ۷- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر مقدار تعرق (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) پایه‌های رویشی سیب در سه زمان (T1، T2 و T3؛ به ترتیب ۱۱، ۱۵ و ۱۹ هفته بعد از کاشت نهال‌ها).

Table 7. Effect of arbuscular mycorhizal fungi on transpiration (mmol/ m^2/s) of clonal apple rootstocks at three times (T1, T2 and T3; 11, 15, and 19 weeks after cultivation, respectively).

زمان Time	پایه ها Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار مایکوریز AMF species				
		G. versiforme	*R. intraradices*	*C. etunicatum*	شاهد Control	میانگین Mean
T1	MM_{106}	4.00^{a}	3.94^{a}	4.01^{a}	3.26^{b}	3.80^{B}
	M_7	2.96^{bc}	3.10^{bc}	2.88^{c}	2.48^{d}	2.86^{C}
	M_9	4.12^{a}	4.10^{a}	4.17^{a}	3.99^{a}	4.09^{A}
	میانگین Mean	3.69^{A}	3.71^{A}	3.69^{A}	3.24^{B}	
T1	MM_{106}	4.80^{a}	4.56^{a}	4.65^{a}	3.48^{cd}	4.37^{B}
	M_7	3.87^{bc}	4.01^{b}	3.91^{bc}	3.34^{d}	3.78^{C}
	M_9	4.92^{a}	5.00^{a}	4.78^{a}	4.07^{b}	4.69^{A}
	میانگین Mean	4.53^{A}	4.52^{A}	4.45^{A}	3.63^{B}	
T1	MM_{106}	5.01^{b}	4.77^{bc}	4.77^{bc}	3.46^{f}	4.50^{B}
	M_7	4.35^{de}	4.55^{cde}	4.27^{e}	3.49^{f}	4.17^{C}
	M_9	5.53^{a}	5.60^{a}	5.03^{b}	4.63^{cd}	5.20^{A}
	میانگین Mean	4.96^{A}	4.97^{A}	4.69^{B}	3.86^{C}	

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۸- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر مقدار کلونیزاسیون ریشه (درصد) پایه‌های رویشی.

Table 8. Effect of arbuscular mycorhizal fungi on root clonization (%) of clonal apple rootstocks.

پایه ها Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار مایکوریز AMF species				
	G. versiforme	*R. intraradices*	*C. etunicatum*	شاهد Control	میانگین Mean
MM_{106}	75.33^{a}	67.66^{cd}	66.33^{d}	7.00^{e}	54.08^{B}
M_7	76.00^{a}	69.33^{bc}	70.66^{b}	7.33^{e}	55.83^{A}
M_9	67.00^{cd}	65.66^{d}	65.33^{d}	2.33^{f}	50.08^{C}
میانگین Mean	72.77^{A}	67.55^{B}	67.44^{B}	5.55^{C}	

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

بحث

شاخص های رشد

نتیجه‌ها نشان داد که قارچ‌های مایکوریزی (*G. versiforme*، *R. intraradices* و *C. etunicatum*) توانستند رشد طولی و قطری و هم‌چنین وزن تر شاخساره را در پایه‌های رویشی سیب (MM_{106}، M_7و M_9) همزیست شده نسبت به گیاهان شاهد بهبود ببخشند و هم‌چنین مشخص شد که ممکن است پایه‌های مختلف واکنش متفاوتی به گونه قارچ داشته باشند. گزارش‌های متعددی وجود دارد که این قارچ‌ها می‌توانند با گسترش ریسه‌های خود روی تارهای کشنده سبب بهبود جذب آب و عنصرهای غذایی شوند و به‌طور غیرمستقیم با تحریک ریشه سبب گسترش آن در خاک گردند و در نتیجه سبب دسترسی بیشتر و بهتر ریشه به منابع آبی و غذایی اطراف خود شوند (۲۶). مورین و همکاران (۲۵) پاسخ چند پایه سیب (M_{26}، P_{16}، P_{22} و O_3) را به قارچریشه‌ای آربوسکولار در خاک با فسفر بالا مورد بررسی قراردادند و مشاهده کردند که ارتفاع گیاهان همزیست با قارچ در مقایسه با شاهد بیشتر بود. آن‌ها بهبود رشد پایه‌های سیب تلقیح شده با قارچ‌های مایکوریز را به‌دلیل بهبود جذب عنصرهای غذایی به ویژه فسفر مرتبط دانستند. رزندس و همکاران (۳۱) با بررسی رشد ریشه درختان سیب همزیست شده با قارچ های ریشه‌ای و شاهد بیان کردند که مقدار سرعت رشد ریشه در گیاهان همزیست بالاتر از شاهد بود، آن‌ها هم‌چنین بیان کردند که طول دوره رشد ریشه در گیاهان تیمار شده با قارچ ریشه‌ای بیشتر است. این قارچ‌ها هم‌چنین می‌توانند با بهبود جذب عنصرهای غذایی و بهتر شدن روابط آبی گیاه، آهنگ فتوسنتزی را افزایش داده و آن هم منجر به افزایش کربوهیدرات‌های در دسترس گیاه می‌شود که افزایش رشد گیاه را در پی دارد (۲۸، ۲۹). البته در پژوهش حاضر نیز اندازه‌گیری غلظت عنصرهای غذایی در گیاهان مؤید تاثیر مثبت همزیستی قارچ های ریشه‌ای بر جذب نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن و روی بود (داده ها پیشتر در مقاله دیگری منتشر شده است (۱۵)). در این پژوهش ارتفاع شاخساره در سه مرحله زمانی اندازه‌گیری شد و همان‌طور که نتیجه‌ها نشان داد مقدار تغییر ارتفاع ساقه از زمان ۱۱ هفته به ۱۵ هفته به مراتب بیشتر از تغییر آن از زمان ۱۵ هفته به ۱۹ هفته در همه پایه‌ها به جز پایه M_7 بود (جدول ۲)، علت را این‌گونه می‌توان توجیه کرد که به‌دلیل رشد بیشتر دو پایه MM_{106} و M_9 در مراحل اولیه رشد، مقدارعنصرهای غذایی در دسترس برای ادامه رشد به ویژه عنصر نیتروژن محدودشده که با گذر از زمان ۱۵ به ۱۹ هفته رشد آن‌ها کمتر شده است؛ اما چنین روندی در پایه M_7 دیده نشد چرا که در مراحل اولیه رشد کندتری داشته و عنصرهای غذایی موجود در خاک در مراحل اولیه رشد مصرف نشد. این گفته‌ها با یافته‌هایمورین و همکاران (۲۵) همسویی دارد که بیان کردند به‌احتمال در گیاهان همزیست با مایکوریز به دلیل رشد اولیه بالا، نیتروژن در دسترس آن‌ها در خاک تخلیه شده و این منجر به رشد کند آن‌ها در پایان آزمایش می‌شود. در بین پایه ها برخلاف این‌که ارتفاع پایانی پایه M_7 بیشتر از دو پایه دیگر بود ولی قطر و وزن تر این پایه به مراتب کمتر از دو پایه دیگر بود. این پایه از نظر تقسیم بندی رشدی جزء پایه های نیمه پاکوتاه‌کننده به حساب می آید و از نظر القاء کوتاه کنندگی روی رقم پیوند شده روی آن، قویتر از M_9 و اندکی کوتاه کننده تر از MM_{106} می باشد (۴، ۲۲). در این آزمایش برخلاف این‌که انتظار می رفت از نظر شاخص‌های رشد این پایه حد واسط دو پایه دیگر قرار گیرد، از نظر ارتفاع بالاتر از دو پایه دیگر بود ولی از نظر قطر و وزن تر شاخساره به مراتب کمتر از MM_{106} و حتی کمتر از پایه کوتاه کننده M_9 بود. باید بیان شود که مقدار رشد خود پایه در خزانه به الزام متناسب با درجه انگیزش کوتاه‌کنندگی آن بر رقم پیوند شده روی آن نیست (۴) و با توجه به این‌که در این آزمایش از نهال‌های پیوندی استفاده نشده است، در مورد مقدار کوتاه کنندگی آن‌ها نمی‌توان قضاوت کرد. در ضمن با این‌که این پایه از نظر درصد کلونیزاسیون ریشه، اندکی برتر از دو پایه دیگر بود (البته این شاخص فقط در پایان آزمایش اندازه‌گیری شده است و با توجه به رشد کمتر این پایه در دو مرحله اول اندازه‌گیری شاید همزیست شدن قارچ کندتر صورت گرفته باشد) ولی در سایر شاخص‌های فیزیولوژیک به ویژه مقدار فتوسنتز نیز ضعیف‌تر از دو

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

پایه دیگر بود که خود می‌تواند دلیل دیگری بر رشد کمتر این پایه باشد. به‌نظر می‌رسد این پایه با خاک‌های آهکی سازگاری خوبی ندارد.

شاخص‌های فیزیولوژیک

نتیجه‌ها نشان داد که گیاهان همزیست با قارچ از آهنگ فتوسنتزی بالاتری برخوردارند. حضور قارچ‌های همزیست سبب جذب و نگه‌داری بیشتر آب و بهبود تنظیم‌های روزنه‌ای می‌شود که در نتیجه سبب افزوده شدن بر مقدار فتوسنتز می‌گردد. گزارش‌های زیادی در ارتباط با اثر قارچ های ریشه‌ای آربوسکولار در ارتباط با افزایش مقدار فتوسنتز (۱۶)، افزایش هدایت هیدورلیکی ریشه در جذب آب (۱۲) و در نتیجه افزایش مقدار تعرق (۲۰) وجود دارد. تجمع بالای فسفر در برگ‌های گیاهان همزیست با قارچ ریشه‌ای دلیل اول برای بالا رفتن فتوسنتز عنوان شده است چرا که عنصر فسفر نقش مهمی به‌عنوان ناقل انرژی در این فرآیند دارد (۱۳، ۳۳). هم‌چنین با مصرف ماده‌های کربوهیدراتی حاصل از فتوسنتز توسط قارچ‌های ریشه‌ای همزیست، گیاه میزبان مجبور به جبران از دست‌دهی این ماده‌ها شده و فتوسنتز خود را هم‌چنان بالا نگه می‌دارد به عبارتی دیگر قارچ‌های همزیست به عنوان یک محل مصرف[۱]متابولیکی عمل می‌کنند که منجر به حرکت از بالا به پایین ماده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها می‌شوند (۳۳). هم‌چنین عنوان شده است که با افزایش تلفات تنفسی گیاه همزیست، قارچ ریشه‌ای آربوسکولار ممکن است به عنوان یک مخزن متابولیکی عمل کرده و باعث حرکت از بالا به پایین ماده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها شود، که این فرایند براساس رابطه مبدأ–مخزن می تواند منجر به ارائه محرک‌هایی برای فعالیت فتوسنتزی بیشتر شود (۶). دلیل دیگر برای افزایش فتوسنتز در گیاهان همزیست شده با قارچ ریشه‌ای نسبت به گیاهان شاهد را می‌توان در تفاوت بین مقدار کلروفیل آن‌ها جستجو کرد. در این پژوهش قارچ‌های ریشه‌ای در گیاهان همزیست نسبت به گیاهان شاهد کلروفیل بیشتری تولید کردند که منجر به افزایش آهنگ فتوسنتزی نیز شد که با نتیجه‌های پژوهش نیریپندرا و همکاران (۲۸) در انار همسویی دارد. دلیل دیگر برای اثبات این گفته آهنگ فتوسنتزی پایه M_9 است که در نتیجه‌ها مشخص شد که این پایه نسبت به پایه‌های دیگر آهنگ فتوسنتزی بالاتری دارد که همسو با آن،مقدار کلروفیل بالاتری هم داشت. گزارش شده است که تلقیح گیاه نارنج با قارچ *G. interadices* باعث افزایش تثبیت CO_2 فتوسنتزی شده است که با افزایش کلروفیل و فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز (RuBP Case) همراه بود (۲۷). فلاحی و همکاران (۸) نیز با پیوند رقم فوجیروی پایه‌های M_7، M_9 و M_{26} گزارش کردند که درختان فوجی پیوند شده روی پایه M_9 آهنگ فتوسنتزی بالاتری داشتند، علت را چنین بیان کردند که سایه‌سار کوچکتر این پایه نسبت به پایه‌های دیگر منجر به نفوذ بیشتر نور به داخل آن و در پایان بالا رفتن مقدارفتوسنتز شده است (۸).

نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که گیاهان همزیست با قارچ مقدار تعرق بیشتری نیز داشتند، همان‌طور که بیان شد قارچ‌های ریشه‌ای با بهبود روابط آبی گیاه میزبان در داخل خاک منجر به جذب و نگه‌داری بیشتر آب توسط ریشه‌ها می‌شوند و به دنبال آن آب بیشتری به برگ‌ها انتقال یافته و این باعث خروج بیشتر آب از روزنه‌ها می‌شود. باید توجه داشت که این باز شدن روزنه‌ها به منظور بیشتر از دست دادن آب، سبب می شود که دی اکسید کربن بیشتری وارد برگ شود و در نتیجه مقدار فتوسنتز افزایش یابد (۱۱).

نتیجه‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که رنگدانه فتوسنتزی کلروفیل کل در گیاهان همزیست نسبت به گیاهان غیرهمزیست بالاتر بود. مقدار کلروفیل کل در هر سه مرحله زمانی در گیاهان مایکوریزی نسبت به گیاهان شاهد بالاتر بود. غلظت کلروفیل در گیاه به طور معمول بازتابی از مقدار عنصر آهن در گیاه می‌باشد. در صورتی که مقدار آهن در گیاه به حد کافی نباشد ساخت پیش سازهای آزاد کلروفیل مختل می‌شود (۳۷). گزارش شده است که قارچ‌های ریشه‌ای آربسکولار با بهبود ویژگی‌های رشدی و با افزایش جذب عنصرهایی مانند منیزیم، آهن و

۱- Sink

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

نیتروژن سبب ساخت بیشتر کلروفیل می‌شوند (۱۵، ۳۶، ۳۷) که یافته های پژوهش حاضر با این گزارش‌ها همسویی دارد چون‌که اندازه‌گیری غلظت عنصرهای غذایی در گیاهان آزمایشی نشان داد که گیاهان همزیست شده با قارچ‌های ریشه‌ای مقدار بیشتری از عنصرهای غذایی نیتروژن، آهن و منیزیم را جذب کردند (داده های مربوط به جذب عنصرهای غذایی پیشتر در مقاله دیگری منتشر شده است (۱۵)). اثرهای مثبت قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار و تغذیه تکمیلی با عنصر آهن روی بهبود فتوسنتز گیاه نیز گزارش شده است (۳۷).

نتیجه‌ها نشان داد که پایه M_9 نسبت به دو پایه دیگر مقدار کلروفیل، فتوسنتز و تعرق بالاتری داشت. در پژوهش‌های زیادی، نتیجه‌های متناقضی درباره اثر پایه‌های پررشد و کم رشد (یا پاکوتاه کننده) روی ویژگی‌های فیزیولوژیکی هم‌چون فتوسنتز گزارش شده است. فلاحی و همکاران (۸) گزارش کردند که درختان سیب رقم فوجی پیوند شده روی پایه M_9 آهنگ فتوسنتز بالاتری نسبت به پایه های دیگر داشتند.آن‌ها بیان کردند که سایه‌سار کوچکتر درختان پیوند شده روی این پایه نسبت به پایه‌های دیگر منجر به نفوذ بیشتر نور به داخل سایه‌سار و بالا رفتن مقدار فتوسنتز شده است. سوتیروپلوس (۳۶) گزارش کرد که در بین درختان سیب رقم رد دلیشز پیوند شده روی پایه‌های با درجه‌های رشد متفاوت، آن‌هایی که روی پایه‌های بذری و پر رشد پیوند شده بودند آهنگ فتوسنتزی بالاتری داشتند. اگرچه فری و باردن (۱۰) نیز گزارش کردند که پایه نمی‌تواند بر آهنگ فتوسنتزی پیوندک اثر داشته باشد.

کلونیزاسیون ریشه

نتیجه‌ها نشان داد که کلونیزاسیون قارچ ریشه‌ای در تمام گیاهان تیمار شده با قارچ صورت گرفته است. درصد بالای کلونیزاسیون قارچ ریشه‌ای در گیاهان تیمار شده می‌تواند منجر به جذب بهتر عنصرهای غذایی، افزایش مقدار کلروفیل کل و هم‌چنین افزایش آهنگ فتوسنتز شود (۳۰). در بین قارچ‌های ریشه‌ای بیشترین کلونیزاسیون به قارچ *G. versiforme* اختصاص یافت. مورین و همکاران (۲۵) گزارش کردند که در تلقیح پایه‌های مختلف رویشی سیب، قارچ *G. versiforme* نسبت به گونه‌های دیگر قارچ میسلیوم خارجی بیشتری تولید کرد و بهتر از دو قارچ *R. intraradices* و *G. aggregatum* با پایه‌های سیب همزیست شد. در این آزمایش پایه نیمه پاکوتاه کننده M_7 نسبت به دو پایه دیگر کلنیزاسیون بیشتری با قارچ‌های همزیست نشان داد که دلیل آن را در سیستم ریشه‌ای این پایه می‌توان جستجو کرد. این پایه از نظرریخت‌شناسی، ریشه‌های ظریف و موئینه بیشتری دارد، درحالی‌که پایه M_9 بافت ریشه درشت‌تری دارد که می‌تواند دلیلی بر تفاوت مقدار کلونیزاسیون این دو پایه باشد. در نهال‌های غیر همزیست نیز درصد ناچیزی از همزیستی مشاهده شد که ممکن است به‌دلیل قارچ‌های احتمالی موجود در خاک مورد آزمایش باشد ولی این مقدار خیلی پایین بود که می‌تواند تائیدی بر کم بودن جمعیت طبیعی قارچ‌های ریشه‌ای در خاک مورد آزمایش باشد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتیجه‌ها نشان داد که همزیستی پایه‌های مختلف رویشی سیب با قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار، باعث بهبود ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک در گیاهان همزیست با این قارچ‌ها شد و در بین قارچ‌ها گونه *G. versiforme* نسبت به دو گونه دیگر برتری قابل توجهی داشت. هم‌چنین مشخص شد که واکنش پایه‌ها نسبت به قارچ‌های همزیست در ویژگی های اندازه‌گیریشده متفاوت بودودو پایه MM_{106} و M_9 سازگاری بیشتری با شرایط خاک آهکی استفاده شده در این پژوهش داشتند. بنابراین انتخاب پایه مناسب و همزیست کردن آن با قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار، می‌تواند باعث بهبود رشد و شاخص‌های فیزیولوژیک مهم مثل فتوسنتزاین پایه‌ها در خاک‌های آهکی شود.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

References منابع

1. Allen, M.F., W.K. Smith, T.S. Moore and M. Christensen. 1981. Comperitive water relation and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal *Bouteloua gracilis* (HBK) Lag.ex. Steud. New Phytol. 88:683-693.
2. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.
3. Baugher, T.A., S. Singha, D.W. Leach and S.P. Walter. 1994. Growth, productivity, spur quality, light transmition and net photosynthesiss of ‘Golden Delicious’ apple on four rootstocks in three training systems. Fruit Var. J. 48:251-255.
4. Barritt, B.H., A.S. Konishi and M.A. Dilley. 1995. Intensive orchard management performance of three apple cultivars with 23 dwarfing rootstock during 8seasons in Washington. Fruit Var. J. 49(3):158-170.
5. Bethlenfalvay, G.J., M.S. Brown, R.N. Ames and R.S. Thomas. 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. Physiol. Plant. 72:565–71.
6. Bevege, D.I., G.D. Bowen and M.F. Skinner. 1975. Comparative carbohydrate Physiology of ecto- and endomycorrhizas. In: Sanders, F.F, Mosse, B., Tinker, P.B. (Eds). Endomycorrhizas. Academic Press, New York. pp. 149-175.
7. Dietz, K.J. andC. Foyer. 1986. The relationship between phosphate status and photosynthesis in leaves. Planta, 167(3):376-381.
8. Fallahi, E., W.C. Michael, B. Fallahi andI.J. Chun.2002. The importance of apple rootstocks on tree growth, yield, fruit quality, leaf nutrition and photosynthesis with an emphasis on Fuji. HortTechnology, 12(1):38-44.
9. Fallahi, E., B.R. Simons, J.K. Fellman, M.A. LongstrothandW.M. Colt. 1994. Tree growth and productivity and postharvest fruit quality in various strains of ‘Delicious’ apple. J. Amer. Soc.Hort. Sci. 119:389-395.
10. Ferree, M.E. and J.A. Barden. 1971. The influence of strain and rootstocks on photosynthesis, respiration and morphology of ‘Delicious’ apple tree. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96:453-457.
11. Gosling, P., A. Hodge, G. Goodless and G.D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agr. Ecosys. Environ. 113:17–35.
12. Graham, J.H. 1986. Citrus mycorrhizae: potential benefits and interactions with pathogens. HortScience, 21:1302–1306.
13. Harrison, M.J., G.R. Dewbre, andJ. Liu.2002. A phosphate transporter from Medicago truncatula involved in the acquisition of phosphate released by arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Cell. 14:2413-2429.
14. Hoda, A.K., M.E. Ahmed, M.E.S. Samy and M.A.N. Amal. 2011. Improved growth of salinity- stressed citrus after inoculation with mycorrhizal fungi. Sci. Hort. 130:624-632.
15. Hosseini, A. and A. Ghareghani. 2015. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of apple rootstocks in calcareous soil. Intern.J. Hort. Sci. Technol. 2(2):173-185.
16. Johnson, C.R., J.A. Menge, S. ShcwabandI.P. Ting. 1982. Interaction of photoperiod and vesicular-arbucsular mycorrhizae on growth and metabolism of sweet orange. New Phytol. 90:665-669.
17. Kormanik, P.P. and A.C. McGraw. 1982. Quantification of Vesicular-arbuscular Mycorrhizae in Plant Roots. In Methods and Principles of Mycorrhizal Research. Ed. N.C. Schenck. Amer. Phytopathol. Soc. pp. 37-36.
18. Krishna, K. R., H. M. Suresh, J. Syamsunder and D.J. Bag-yaraj. 1981. Changes in the leaves of Þnger millet due to VA mycorrhizal infection. New Phytol. 87:717-722.
19. Kucukyumuk, Z. and I. Erdal. 2011. Rootstocks and cultivar effect on mineral nutrition, seasonal nutrient variation and correlations among leaf, flower and fruit nutrient concentration in apple trees. Bulg. J. Agr. Sci. 17 (5):633-641.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

20. Levy, Y., J.P. Syvertsen and S. Memec.1983. Effect of drought stress and composition of mycorrhizal and non-mycorrhizal apples. Nature, 179:922-924.
21. Malakouti, M. J. 2006. Nutritional disorders in fruit trees on the calcareous soils of Iran. Proceedings of the 18th World Congress of Soil Science: Frontiers of Soil Science Technology and the Information Age. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
22. Marini, R.P., J.A. Barden, J.A. Cline, R.L. Perry and T. Robinson. 2002. Effect of apple rootstocks on average 'Gala' fruit weight at four locations after adjusting for crop load. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127:749-753.
23. Marks, G.S. and T.T. Kozlowski. 1973. Ectomycorrhizae. Their Ecology and Physiology.Academic Press, New York, 444 p.
24. Mohammad Reza, D., M.J. Shakouri and Z. Hamzehi. 2012. Effects of M_9 and MM_{106} rootstocks on agromorphological characteristics of ‘Golab Kohanz’ and ‘Delbarstival’ cultivares apple in abhar region of Iran. World Appl. Sci. J. 20 (7):1043-1046.
25. Morin, F., J.A. Fortin, C. Hamel and D.L. Smith. 1994. Apple rootstock response to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a high phosphorus soil.J.Amer.Soc.Hort. Sci. 119(3):578-583.
26. Navarro, A., M.J. Sanchez-Blanco, A. Mortec and S. Ban. 2009. The influence of mycorrhizal inoculation and paclobutrazol on water and nutritional status of *Arbutus unedo* L. Environ. Exp. Bot. 66:362-371.
27. Nemec, S. J.C.V. Vu. 1990. Effects of soil phosphorous and *Glomus intraradices* on growth, nonstructural carbohydrates, and photosynthetic activity of *Citrus aurantium*. Plant Soil. 128:257-263.
28. Nripendra, V.S., K.S. Sanjay, K.S. Anad, T.M. Deodas, S.S. Sachin, and C.M. Dweijesh. 2012. Arbuscular myorrhizal fungi (AMF) induced hardening of micropropagated pomegranate (*Punica granatum* L.) plantlets. Sci. Hort. 136:122-137.
29. Pathak, H., V. Dhawan. 2010. Effecy of inorganic fertilizer, myorrhiza and farm yard manure on growth of micropropagated apple rootstock M.7, for the production of graftable plants in one year. Acta Hort. 865:209-215.
30. Rajasekaran, P. and S.M. Nagarajan. 2005. Effect of dual inoculation (AM fungi andRhizobium) on chlorophyll content of *Vigna unguiculata* L. Mycorr. News 17:10–11.
31. Resendes, M.L., D.R. Bryla, D.M. Eissenstat. 2008. Early events in the life of apple roots: variation in root growth rate is linked to mycorrhizal and nonmycorrhizal fungal colonization. Plant Soil.313:175–186.
32. Saini, R.S., K.D. Sharme, O.P. Dhankhar and R.A. Kaushik. 2001. Laboratory manual of analytical thechniques in horticulture. India Agrobios, Pp. 49-50.
33. Sharda, W.K. and B.F. Rodrigues. 2009. Applications of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems: a review. Trop.Subtr. Agroec. 10:337– 354.
34. Schubert, A., andG. Lubraco. 2000. Mycorrhizal inoculation enhances growth and nutrient uptake of micropropagated apple rootstocks during weaning in commercial substrates of high nutrient availability. Appl. Soil Ecol. 15:113–118.
35. Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. Mycorrhizal symbiosis. San Diego: Academic Press, 815 p.
36. Sotiropoulos, T.E. 2008. Performance of the apple (*Malus domestica* Borkh) cultivar imperial double red delicious grafted on five rootstocks. Hort. Sci. (Prague). 35:7-11.
37. Wang, M., P. Christie, Z. Xiao, P. Wang, J. Lio, and R. Xia. 2008. Arbuscular mycorrhizal enhancement of iron concentration by *Poncirus trifoliata* L. Raf and *Citrus reticulata* Blancogrown on sand medium under different pH. Biol. Fertil. Soils. 45:65-72.
38. Wu, Q.S. and R.X. Xia. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. J. Plant Physiol. 163:417-425.
39. Zarei, M., N. Saleh-Rastin, G.H. Salehi Jouzani, G.H. Savaghebi, andF. Buscot. 2008. Arbuscular mycorrhizal abundance in contaminated soils around a zinc and lead deposit. European J. Soil. Biol. 44:381-391.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 18 (3): 315 - 328 (2017)

Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Seasonal Changes of Some Growth and Physiological Parameters of Apple Clonal Rootstocks in a Calcareous Soil

A. Gharaghani*, A. Hosseini and M. Zarei[1]

An experiment carried out to study the effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiological parameters ofthreecommercialapple clonalrootstocks during growing season in greenhouse. This investigation was conducted with two factors, rootstock (M_9, M_7 and, MM_{106}) and species of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus versiforme*, *Rhizophagus intraradices*, *Claroideoglomus etunicatum* and, control) in a completely randomized design. Growth (including plant height and diameter and shoot fresh weight) and physiological (including total chlorophyll, photosynthesis, and transpiration) parameters as well as root colonization were measured in 11, 15 and 19 weeks after transplanting. Results showed that mycorrhizal treatments and rootstoks had significant effects on all measured parameters comparing to the control. It was also shown that the fungus *Glomus versiforme* performed better than other fungi having the highest records for almost all of the measured parameters. Among the rootstocks, MM_{106} performed the highest shoot fresh weight (as well as plant height in the first and second measurements) but the final height of M_7 was more than MM_{106}. The highest and the lowest plant diameter were observed in MM_{106} and M_7, respectively. The highest chlorophyll content, transpiration and photosynthesis rate was measured in M_9 but the highest root colonization was recorded in M_7. It seems that choosing proper rootstocks and treating them with suitable arbuscular mycorhizal fungi could reduce adverse conditions of calcareous soils for apple trees.

Keywords: Arbuscular mycorhizal fungus, Apple, Clonal rootstocks, Growth, Photosynthesis.

1. Assistant Professor, former M.Sc. Student, Department of Horticultural Science and Assosiate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, respectively.
*Corresponding author, Email: (agharghani@shirazu.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-09-01]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.3.7.4]