اثر کاربرد کودهای زیستی، شیمیایی و آلی بر برخی شاخص‌های رشدی ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia vilosa* Roth) در شرایط گلخانه

رضا کمائی[1*]، مهدی پارسا[1] و محسن جهان[1]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۳/۶/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۲۴)
DOI: 10.18869/acadpub.ejgcst.7.4.87

چکیده

به منظور بررسی واکنش برخی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد ماشک گل‌خوشه‌ای به استفاده از کودهای زیستی، شیمیایی و آلی، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه نوع کود بیولوژیک و تلفیق آن‌ها با یکدیگر و ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی به شرح زیر بود: ۱- قارچ میکوریزا آربسکولار گونه *Glomus mosseae* (۳۲۰ گرم در متر مربع) + ورمی‌کمپوست (۴۰۰ گرم در متر مربع)، ۲- قارچ میکوریزا + نیتروکسین (حاوی باکتری‌های *Azospirillum* sp. و *Azotobacter* sp.)، ۳- قارچ میکوریزا + ریزوبیوم (*Rhizobium* sp.)، ۴- قارچ میکوریزا + کود شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، ۵- قارچ میکوریزا *Glomus mosseae* و ۶- شاهد. صفاتی نظیر وزن خشک کل، سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)، شاخص سطح برگ (LAI) و سرعت رشد نسبی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که هر چند تیمارها اثر معنی‌داری بر سرعت رشد نسبی نداشتند، اما بر صفات وزن خشک کل، سرعت رشد گیاه، شاخص سطح برگ و سرعت آسیمیلاسیون خالص دارای اثر معنی‌دار بودند. بیشترین مقدار ماده خشک (۸۳/۳ گرم بر متر مربع)، سرعت رشد گیاه (۱۲/۱۸ گرم بر متر مربع در روز) و شاخص سطح برگ (۳/۲۶) در تیمار استفاده توأم از کود زیستی میکوریزا و ریزوبیوم حاصل شد. با توجه به نتایج آزمایش، بهترین تیمار کودی برای ماشک گل‌خوشه‌ای، مخلوط قارچ میکوریزا و ریزوبیوم پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ. میکوریزا، ریزوبیوم، ورمی‌کمپوست

مقدمه

امروزه، زیان‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده و بدیهی است که باید جایگزین مناسبی برای این نوع کودها در نظر گرفته شود (۱۰ و ۲۷). هدف اصلی کشاورزی پایدار که به‌وجود آمدن آن برای حیات انسانی یک ضرورت است، کاهش نهاده‌های مصرفی، افزایش چرخه داخلی عناصر غذایی خاک از طریق کاهش خاک‌ورزی و استفاده از کودهای زیستی بجای کودهای شیمیایی برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تولید غذای بیشتر است (۱۰ و ۲۴).

منشأ تولید هر یک از انواع کودهای زیستی متفاوت بوده و یکی از معروف‌ترین میکروارگانیسم‌های تولیدکننده این نوع

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Rezakamaei@yahoo.com

کودها، قارچ‌های میکوریزا هستند (۲۷ و ۳۴). کلمه میکوریزا که از دو بخش Myco به معنای قارچ و Rhizae به معنی ریشه تشکیل شده است، به نوعی رابطه همزیستی بین برخی قارچ‌های خاک‌زی با ریشه گیاهان اشاره دارد. قارچ‌های میکوریزا توانایی تشکیل جوامع همزیست با اغلب گونه‌های گیاهی را داشته و به‌عنوان یک نوع کود زیستی، برای افزایش محصولات کشاورزی، دارای اهمیت‌اند (۲۹). در بسیاری از موارد، همزیستی میکوریزی در ریزوسفر، نقش واسطه‌ای را بین ریشهد گیاه و توده خاک عهده‌دار است و به گیاه در جهت جذب آب و عناصر غذایی (به‌ویژه فسفر) از خاک کمک می‌کند (۲۹). علاوه بر اثر این نوع میکروارگانیسم‌ها بر افزایش محصول، همزیستی میکوریزایی نقش مهمی در حفظ تعادل اکولوژیک در خاک ایفا می‌کند (۱۰).

نیتروکسین یکی از کودهای بیولوژیک می‌باشد که حاوی مؤثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن ازتوباکتر (Azotobacter) و آزوسپریلیوم (Azospirillum) است. این باکتری‌ها جزو میکروارگانیسم‌های همیار با ریشه هستند. همیاری (Association) بین باکتری‌ها و گیاهان، به معنی ارتباط متقابل مفید بین آنها، بدون تشکیل اندام همزیستی (Symbiosis) خاص می‌باشد. این باکتری‌ها، نیتروژن موجود در اتمسفر را که به طور مستقیم برای گیاهان قابل استفاده نمی‌باشد احیا کرده و به صورت آمونیم در اختیار گیاه قرار می‌دهند و انرژی مورد نیاز برای این فرایند را از ترشحات ریشه گیاه دریافت می‌کنند. این باکتری‌های همیار، علاوه بر تثبیت نیتروژن، با ترشح مواد محرک رشد، سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند (۳). این گروه از باکتری‌ها، از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، تولید هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد گیاه، افزایش قابلیت جذب فسفر، پتاسیم و عناصر معدنی خاک، مهار اثرهای آنتاگونیستی موجودات مضر خاک‌زی، عملکرد گیاهان زراعی را بهبود می‌بخشند (۱۹، ۳۶ و ۳۸).

ورمی‌کمپوست حاصل یک فرایند نیمه‌هوازی است که طی تجزیه مشترک مواد آلی توسط کرم زباله یا کرم خاکی و میکروارگانیسم‌های خاک‌زی تولید می‌شود (۱). کرم‌های خاکی با تکه تکه کردن مواد زاید، فعالیت میکروبی و تجزیه مواد آلی را افزایش می‌دهند. بنابراین، روی آن قسمت از مواد آلی که اکسایش یافته و تثبیت شده، سبب پدیده هوموسی شدن می‌شوند. در نتیجه این عمل، مواد آلی دفعی از روده کرم، با مواد اولیه خود بسیار متفاوت است (۲۸). گلن و همکاران (۲۰) بیان داشتند که استفاده از ورمی‌کمپوست یک راه جدید و مناسب برای تأمین نیاز غذایی گیاه می‌باشد که علاوه بر آن کیفیت خاک را هم بهبود می‌بخشد. از طرفی، ورمی‌کمپوست باعث بهبود ساختمان فیزیکی خاک و بهبود رشد ریشه گیاه می‌شود (۱۷). در کشاورزی پایدار و زیستی، کودهای آلی، به‌ویژه کمپوست و ورمی‌کمپوست، دارای آثار رضایت‌بخش مثبتی روی تعداد زیادی از محصولات کشاورزی بوده‌اند. با کاربرد این کودها، تولید غذای سالم برای بشر امکان‌پذیر می‌باشد و همچنین کیفیت خاک ارتقا می‌یابد (۹، ۱۳، ۳۰ و ۳۵).

ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth) از جمله گیاهانی است که در مراتع و علفزارها به‌صورت خودرو رشد می‌کند. ماشک‌ها برای حفاظت و اصلاح ساختمان خاک، به‌عنوان کود سبز، علوفه خشک، سیلو و علوفه سبز کشت می‌شوند. علوفه ماشک‌ها برای دام‌ها مناسب بوده و میزان پروتئین آن در زمان مناسب برداشت در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد است (۲۱). ارزش غذایی ماشک با یونجه (*Medicago sativa*) برابر است. ولی امتیاز آن نسبت به یونجه، عدم ایجاد نفخ در دام‌هاست (۲۶). اغلب ماشک‌های گل‌خوشه‌ای گیاهان بوته‌ای هستند که ساقه‌های ضعیف و شاخه‌های برگ‌دار چندجفتی و یا برگ مرکب دارند و رگبرگ‌های مرکب آنها به پیچک‌هایی منتهی می‌شود (۲۱).

امروزه، توجه از روابط متقابل گیاه- میکروب به سمت روابط متقابل گیاه- میکروب- میکروب معطوف شده است (۸). تلاش‌هایی برای تشخیص فعالیت‌های میکروبی در جوامع دو یا سه عضوی از میکروارگانیسم‌ها و همینطور به منظور شناسایی مکانیسم این روابط صورت پذیرفته است. چنین

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	نیتروژن قابل دسترس (٪)	فسفر (٪)	پتاسیم (٪)	pH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	OC (٪)	OM (٪)
لوم شنی	۰/۰۶۵	۰/۰۰۷	۰/۰۳۶	۷/۹۲	۷/۸۶	۱/۳۲	۲/۲۸

روابط تغذیه‌ای دارای اهمیت اکولوژیک‌اند و در کشاورزی نیز کاربردی مهم دارند (۷). لذا، هدف از اجرای این آزمایش، بررسی اثر متقابل بین قارچ میکوریزا و دی‌ازوتروف‌های همزیست و غیرهمزیست و همچنین میزان همزیستی این قارچ، در حضور کودهای شیمیایی و آلی، و تأثیر آن بر گیاه ماشک بود.

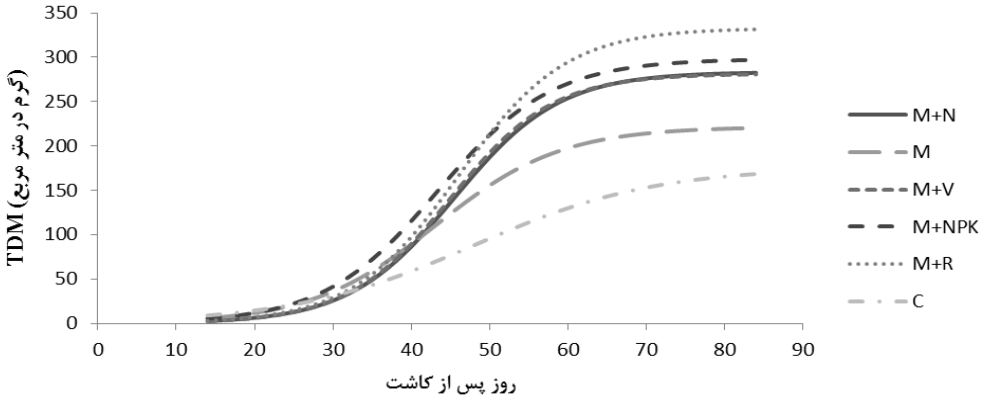
مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان سال ۱۳۹۲ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تیمار در ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، اجرا شد. نتایج حاصل از تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. بذر ماشک گل‌خوشه‌ای، رقم پانونیکا، از مرکز تحقیقات کشاورزی طرق (خراسان رضوی، مشهد) تهیه و استفاده شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۶۰×۱۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کشت به‌صورت ردیفی انجام گردید و بذرها با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر کاشته شدند. کشت مستقیماً در خاک انجام شد و به این منظور یکی از واحدهای گلخانه به‌طور کامل، که فاقد کف بتنی بود، به این آزمایش اختصاص یافت. تیمارهای مورد مطالعه شامل: ۱- قارچ میکوریزا آربسکولار (گونه *Glomus mosseae*) + ورمی‌کمپوست، ۲- قارچ میکوریزا + نیتروکسین (دارای باکتری‌های *Azospirillum sp.* و *Azotobacter sp.*)، ۳- قارچ میکوریزا + ریزوبیوم (*Rhizobium sp.*)، ۴- قارچ میکوریزا + کود شیمیایی NPK (۲۰-۲۰-۲۰)، ۵- قارچ میکوریزا و ۶- شاهد بود. کود میکوریزا به صورت خاک حاوی قارچ‌های از گونه موس‌ها بود که از شرکت تهیه قارچ میکوریزا همدان تهیه گردیده بود. این کود، قبل از کاشت در محل قرار گرفتن بذرها، به مقدار ۳۲۰ گرم برای هر متر مربع خاک گلخانه اضافه شد. کود نیتروکسین نیز از شرکت تجاری فناوری زیستی مهرآسیا تهیه گردید. این کود حاوی مجموعه‌ای از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس آزوسپریلیوم و ازتوباکتر بوده و در هر میلی‌لیتر آن تعداد 10^8 سلول زنده وجود داشت. عملیات مخلوط کردن تیمارهای قارچ میکوریزا، ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی با خاک قبل از کاشت انجام گردید و مواد مذکور به طور کامل تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. تلقیح بذرها با کودهای بیولوژیک مورد استفاده نیز ضمن پرهیز از نور خورشید و سایر نکات لازم در روز کاشت انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام و به منظور بهبود سبز شدن گیاهچه‌ها، آبیاری بعد به فاصله ۴ روز انجام شد و آبیاری‌های بعدی در فواصل منظم ۱۰ روزه اعمال گردید. پس از استقرار گیاه و رسیدن ارتفاع بوته‌ها به ۱۵ سانتی‌متر، گیاهان تنک شدند. عملیات وجین علف‌های هرز ۵ مرتبه و در مواقع نیاز انجام شد. اولین نمونه برداری، ۲۰ روز پس ازکاشت آغاز و نمونه‌برداری‌های بعدی هر یک به فاصله ۱۶ روز صورت گرفت. برای اندازه‌گیری وزن خشک در هر مرحله، بوته‌ها به اجزا تقسیم و در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت درون آون قرار گرفتند. سپس، وزن آنها با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سطح برگ‌ها توسط دستگاه سطح‌سنج برگ تعیین شد. با اندازه‌گیری دو عامل سطح برگ و وزن خشک برگ، مقادیر شاخص‌های رشد شامل سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، شاخص سطح برگ (LAI) و سرعت جذب خالص (NAR) به‌ترتیب با استفاده از معادلات ۱ تا ۴ به‌دست آمد (۵):

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های رشدی گیاه ماشک گل‌خوشه‌ای تحت تأثیر کودهای مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		DM	LAI	CGR	RGR	NAR
بلوک	۲	۵۶/۰۵^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۲۶^{ns}	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۲۰۵^{ns}
تیمار	۵	۳۲۰۸/۶**	۰/۰۸۵**	۱/۴۵**	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۳۲۱**
خطا	۱۰	۱۲۴/۸۶	۰/۰۰۳	۰/۰۷۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۵۲

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار



شکل ۱. روند تغییرات ماده خشک گیاه ماشک گل خوشه‌ای تحت تأثیر کودهای مختلف M+N= میکوریزا+ ورمی‌کمپوست، M= میکوریزا، M+V= میکوریزا+ ورمی‌کمپوست، M+ NPK = میکوریزا+ کود شیمیایی، M+R= میکوریزا+ریزوبیوم و C= شاهد

$$CGR = \frac{W2 - W1}{T2 - T1} \times (\frac{1}{GA}) \quad [۱]$$

$$RGR = (Ln\,W2 - Ln\,W1)/(T2 - T1) \quad [۲]$$

$$LAI = (LA2 + LA1)/2 \times (1/GA) \quad [۳]$$

$$NAR = CGR / LAI \quad [۴]$$

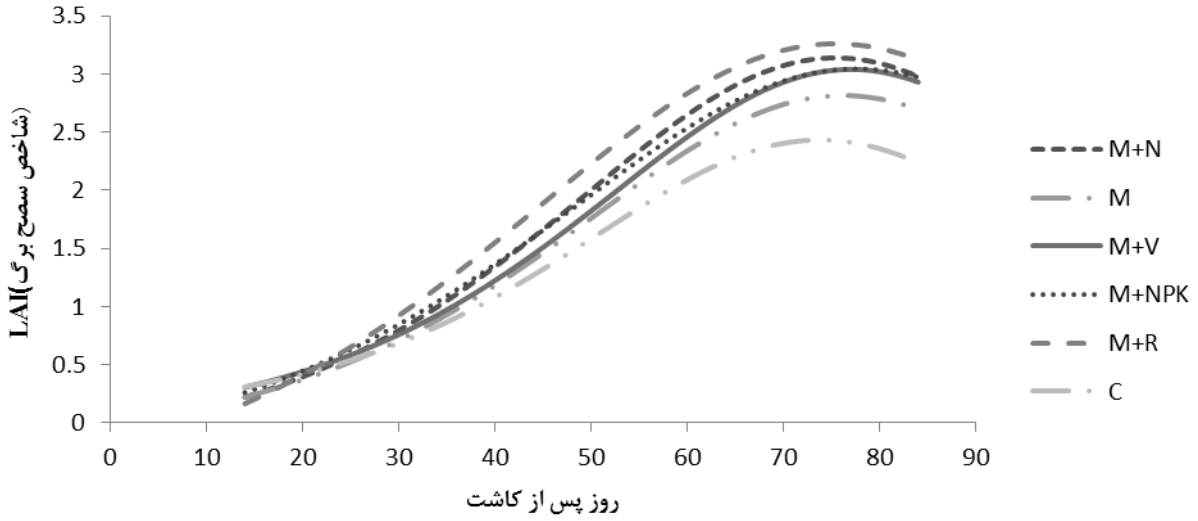
که در این معادلات، W_1 و W_2 به‌ترتیب وزن خشک کل اولیه و ثانویه (گرم بر متر مربع)، T_1 و T_2 زمان نمونه‌برداری اولیه و ثانویه (روز)، LA_1 و LA_2 به‌ترتیب سطح برگ اولیه و ثانویه (سانتی‌متر مربع) و GA سطح زمین (متر مربع) اشغال شده توسط گیاه است. تمام شاخص‌های رشد براساس تاریخ پس از کاشت بیان شده‌اند تجزیه و تحلیل آماری داده های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver. 9.1 انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای MS-EXCEL Ver. 11 و SLIDEWRITE Ver.2.0 استفاده شد. تجزیه واریانس شاخص‌های رشدی به صورت میانگین‌گیری از ۶ دوره نمونه‌برداری صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD و در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

نتایج وبحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تیمارهای آزمایشی بر مقدار ماده خشک (DM)، شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد گیاه (CGR) و سرعت جذب خالص (NAR) است (جدول ۲).

تجمع ماده خشک

تلقیح با میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد و کود آلی باعث افزایش معنی‌دار ($P\leq$ ۰/۰۱) تجمع ماده خشک نسبت به شاهد شد (جدول ۲). در این پژوهش، روند تغییرات وزن خشک (DM) تحت تأثیر کودهای زیستی، آلی و شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌گونه که از شکل ۱ برمی‌آید، تغییرات ماده



شکل ۲. روند تغییرات شاخص سطح برگ گیاه ماشک گل‌خوشه‌ای تحت تأثیر کودهای مختلف M+N= میکوریزا+ ورمی‌کمپوست، M= میکوریزا، M+V= میکوریزا+ ورمی‌کمپوست، NPK +M = میکوریزا+ کود شیمیایی، M+R= میکوریزا+ ریزوبیوم و C= شاهد

خشک در ابتدای رشد روند افزایشی داشت و این روند تا ۷۰ الی ۸۰ روز پس از کاشت ادامه یافت. کاربرد تلفیقی کود بیولوژیک نتایج بهتری را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. بیشترین مقدار ماده خشک (۳۳۱/۳ گرم بر متر مربع) مربوط به تیمار تلفیقی کود زیستی میکوریزا و ریزوبیوم و بیشترین مقدار ماده خشک برای تیمار شاهد (۱۶۷/۷ گرم در متر مربع) در روز ۸۴ اُم پس از کاشت حاصل شد.

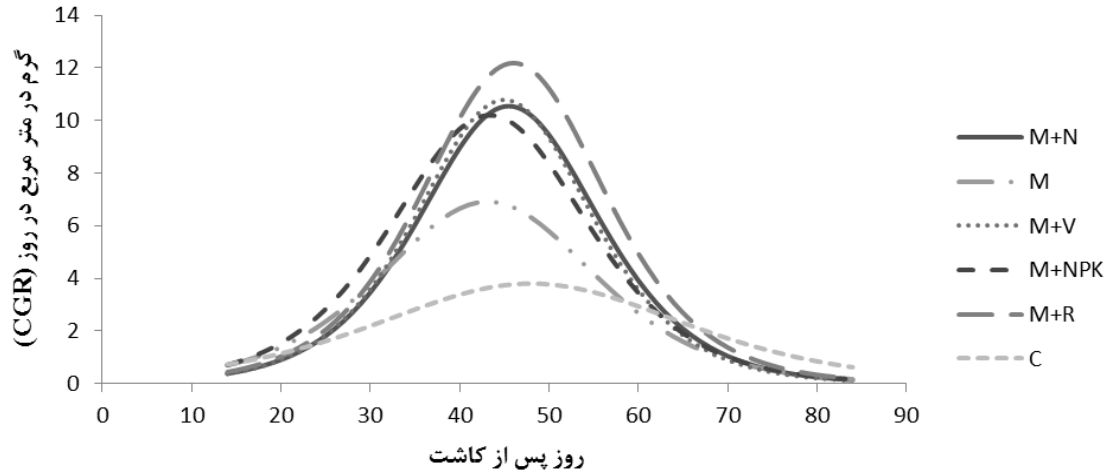
در منابع علمی متعدد (۲، ۴ و ۱۱) یکی از مهم‌ترین آثار کودهای بیولوژیک، افزایش عملکرد گیاهان زراعی، به‌ویژه در خاک‌های با سطح حاصلخیزی پایین ذکر شده است. این افزایش عملکرد ممکن است به دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق دسترسی گیاه زراعی به حجم بیشتری از خاک باشد.

به طور کلی، گیاهان میکوریزایی شده میزان عناصر بیشتری را از خاک جذب می‌کنند که این عناصر متعاقباً نقش مهمی در بهبود فرایند تثبیت نیتروژن دارند (۳۱). اگرچه در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا به طور متوسط ۲۰٪ از کل ماده خشک تولید شده توسط گیاه صرف همزیستی با میکوریزا می‌شود (۱۴)، اما این قارچ با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسیمیلات‌ها باعث تحریک فتوسنتز میزبان و در نتیجه افزایش تجمع ماده خشک می‌شود.

شاخص سطح برگ

شکل ۲ تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) را از ابتدای فصل رشد تا آخرین مرحله نمونه‌برداری، تحت تأثیر کودهای زیستی، آلی و شیمیایی، نشان می‌دهد. شاخص سطح برگ در ابتدای فصل رشد روند افزایشی داشت و تا ۶۰ تا ۷۰ روز پس از کاشت این روند ادامه داشت و پس از انقباض‌پذیری سیر نزولی پیدا کرد که این امر عمدتاً به‌دلیل زرد شدن و ریزش برگ‌ها بود. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، تیمار استفاده از کود تلفیقی بیولوژیک توانست سطح برگ بیشتری را تولید کند، که افزایش در شاخص سطح برگ سبب افزایش در فتوسنتز و در نتیجه عملکرد ماده خشک و دانه بیشتر نیز خواهد شد. همانطور که انتظار می‌رفت، بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۲) در تیمار تلفیقی کود زیستی میکوریزا و ریزوبیوم حاصل شد. تیمار شاهد دارای کمینه شاخص برگی (۲/۴) بود که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تأثیر کودهای بیولوژیک بر افزایش شاخص سطح برگ است.

از آنجا که شاخص سطح برگ بیانگر میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی توسط پوشش گیاهی بوده و سطح زیر منحنی LAI بیانگر دوام و ماندگاری سطح برگ و نهایتاً نشان‌دهنده



شکل ۳. روند تغییرات سرعت رشد گیاه ماشک گل‌خوشه‌ای تحت تأثیر کودهای مختلف M+N= میکوریزا+ ورمی‌کمپوست، M= میکوریزا، M+V= میکوریزا+ ورمی‌کمپوست، M+ NPK = میکوریزا+ کود شیمیایی، M+R= میکوریزا+ ریزوبیوم و C= شاهد

مدت زمان فتوسنتز بیشتر برای گیاه می‌باشد (۵)، بنابراین، چنین برمی‌آید که تلقیح ماشک گل‌خوشه‌ای با کودهای بیولوژیک باعث افزایش شاخص سطح برگ در مقایسه با شاهد شده است. گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر اینکه قارچ‌های همزیست به‌طور مستقیم سطح برگ را افزایش نداده، بلکه بر دوام و وزن مخصوص برگ تأثیر می‌گذارند (۳۷)، با این وجود، افزایش سطح برگ برخی از گیاهان دارویی، از جمله ریحان (*Ocimum basilicum*)، در اثر تلقیح با انواع مختلف کودهای بیولوژیک، توسط شالان (۳۳) و کوپتا و همکاران (۱۶) گزارش شد.

همبستگی مثبتی در حدود ۹۴٪ بین حداکثر شاخص سطح برگ و عملکرد دانه گزارش شده است (۱۵). ناظری و همکاران (۸) بیان داشتند که گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) تلقیح شده با کودهای زیستی، نسبت به شاهد، دارای شاخص سطح برگ بیشتری بود.

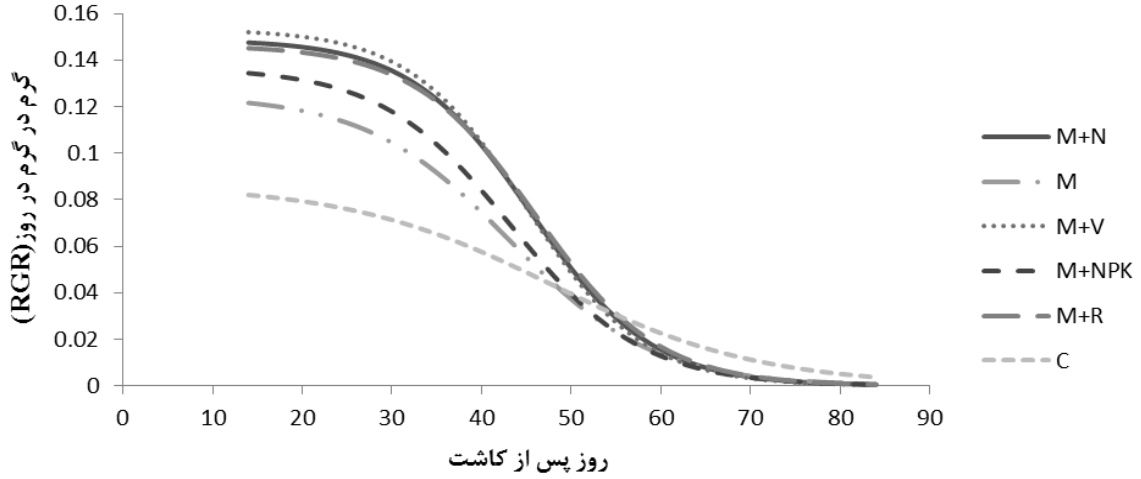
سرعت رشد محصول

با توجه به شکل ۳، مشاهده می‌شود که در اثر تلقیح ماشک با کود بیولوژیک میکوریزا و ریزوبیوم، حداکثر سرعت رشد محصول ۱۲/۱۸ گرم بر متر مربع در روز ۴۵ پس از کاشت به‌دست آمد. همچنین، کمترین میزان سرعت رشد محصول تحت تأثیرتیمار شاهد (۳/۷۳ گرم بر متر مربع) ۴۵ روز پس از کاشت حاصل شد.

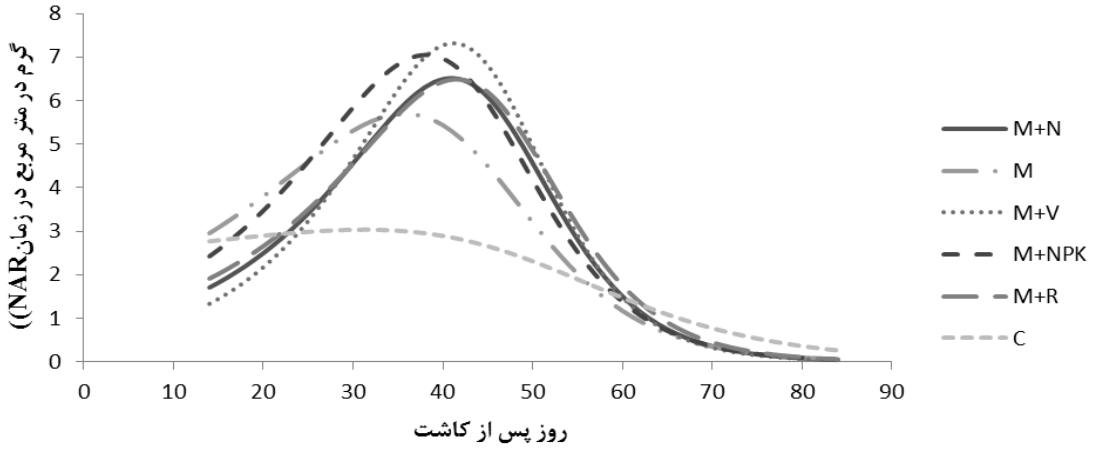
وو و شیا (۳۷) با بررسی اثر تلقیح میکوریزا روی مرکبات گزارش کردند که تلقیح باعث افزایش سرعت فتوسنتز در واحد سطح گیاه میزبان می‌شود و دلیل این امر را افزایش غلظت نیتروژن برگ و به دنبال آن افزایش مقدار کلروفیل سیستم فتوسنتزی و افزایش راندمان مصرف فسفر در گیاه میزبان بیان داشتند. کندی و همکاران (۲۳) و آنتونس و همکاران (۱۲) در تحقیقات خود افزایش سرعت فتوسنتز گیاهان را در اثر تلقیح با باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن مشاهده کردند. دلیل این امر شاید ناشی از تولید هورمون‌های محرک رشد و بهبود قابلیت دسترس عناصر غذایی توسط این میکروارگانیسم‌ها بوده که متعاقباً باعث افزایش سرعت فتوسنتز گیاهان تلقیح شده نسبت به شاهد شد (۲۵ و ۳۲). ناظری و همکاران (۸) گزارش کردند که سرعت رشد محصول گیاه لوبیا تحت تأثیر کودهای زیستی نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود.

سرعت رشد نسبی

روند تغییرات سرعت رشد نسبی ماشک گل خوشه‌ای در پاسخ به کودهای زیستی، آلی و شیمیایی در شکل ۴ نشان داده شده



شکل ۴. روند تغییرات سرعت رشد نسبی گیاه ماشک گل‌خوشه‌ای تحت تأثیر کودهای مختلف M+N= میکوریزا+ ورمی‌کمپوست، M= میکوریزا، M+V= میکوریزا+ ورمی‌کمپوست، M+ NPK = میکوریزا+ کود شیمیایی، M+R= میکوریزا+ ریزوبیوم و C= شاهد



شکل ۵. روند تغییرات سرعت آسیمیلاسیون خالص گیاه ماشک گل‌خوشه‌ای تحت تأثیر کودهای مختلف M+N= میکوریزا+ ورمی‌کمپوست، M= میکوریزا، M+V= میکوریزا+ ورمی‌کمپوست، M+ NPK = میکوریزا+ کود شیمیایی، M+R= میکوریزا+ ریزوبیوم و C= شاهد

است. همانگونه که ملاحظه می‌شود، روند منحنی RGR تا ۴۰ روز پس از سبز شدن افزایشی و سپس کاهشی بود. به‌طور کلی، میزان RGR در ابتدای فصل رشد، به علت نفوذ نور به داخل جامعه گیاهی و سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها روی یکدیگر و در نتیجه تنفس کمتر، بیشتر می‌باشد. سپس، با پیشرفت زمان و توسعه اندام‌های رویشی و افزایش سایه‌اندازی گیاه، مقدار آن کاهش یافته و در آخر فصل رشد مقدار RGR منفی می‌شود (۶). البته شیب منحنی RGR به عوامل محیطی و گیاهی نیز بستگی دارد (۲۲).

اثر تلقیح با انواع میکروارگانیسم بر سرعت رشد نسبی ماشک گل‌خوشه‌ای معنی‌دار نبود. بیشترین میزان سرعت رشد نسبی ماشک گل‌خوشه‌ای طی فصل رشد (۰/۱۵ گرم بر گرم در روز) در تیمار دوگانه میکوریزا و ورمی‌کمپوست به‌دست آمد.

سرعت آسیمیلاسیون خالص

شکل ۵ تغییرات سرعت جذب خالص (NAR) را از ابتدای

فصل رشد تا آخرین مرحله نمونه‌برداری تحت تأثیر کودهای زیستی، آلی و شیمیایی نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین مقدار NAR (۴۰ روز پس از سبز شدن) به ترتیب در تیمار ترکیبی میکوریزا و ورمی‌کمپوست (۷/۲۷ گرم دی‌اکسید کربن بر متر مربع در روز) و تیمار شاهد (۲/۸۹ گرم دی‌اکسید کربن بر متر مربع در روز) به‌دست آمد.

دوسکی و همکاران (۱۸) طی تحقیقات خود روی تلقیح گیاهچه‌های *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) *Franco* با Rhizopogon vinicolor FSL 788-5 به این نتیجه رسیدند که تلقیح با میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار فتوسنتز خالص گیاهچه‌های تلقیح شده در مقایسه با شاهد شد.

نتیجه‌گیری

این تحقیق، تأثیر مثبت استفاده از کودهای زیستی و آلی را روی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه ماشک گل‌خوشه‌ای نشان داد و در این بین استفاده توأم از میکوریزا و ریزوبیوم بیشترین تأثیر را در افزایش ویژگی‌های فوق داشت. بدون تردید، کاربرد کودهای بیولوژیک، به‌خصوص در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی، علاوه بر آثار مثبتی که بر کلیه خصوصیات خاک و حفظ کیفیت و افزایش مواد آلی خاک نسبت به کاربرد کودهای معدنی دارد، از جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نیز مفید بوده و می‌تواند جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی در بلندمدت باشد. از آنجا که عدم مصرف نهاده‌های شیمیایی در تولید گیاهان زراعی، شرط اصلی سالم و طبیعی بودن آنها است، لذا پاسخ مثبت گیاه ماشک گل‌خوشه‌ای نسبت به کودهای بیولوژیک می‌تواند نویدبخش امکان تولید پایدار این گیاه زراعی ارزشمند باشد.

منابع مورد استفاده

۱. حق‌پرست تنها، م. ۱۳۷۲. خاکزیان و خاک‌های زراعی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، ص ۸۳-۹۸.

۲. حمیدی، آ.، ا. قلاوند، م. دهقان شعار، م. ج. ملکوتی، ا. اصغر زاده و ر. چوکان. ۱۳۸۵. اثرات کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر عملکرد ذرت علوفه‌ای. مجله پژوهش و سازندگی ۷۰: ۱۶-۲۲.

۳. عموآقایی، ر. و ا. مستأجران. ۱۳۸۶. همزیستی (سیستم‌های همیاری گیاه و باکتری). انتشارات دانشگاه اصفهان، جلد ۳، ۲۳۷ صفحه.

۴. غلامی، ا. ۱۳۷۹. تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر شاخص‌های رشد و عملکرد ذرت در منطقه شاهرود. رساله دکتری، رشته زراعت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ص ۸۵-۱۷۰.

۵. کوچکی، ع. و غ. ح. سرمدنیا. ۱۳۸۸. فیزیولوژی گیاهان زراعی. (ترجمه)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۰۰ صفحه.

۶. لطیفی، ن.، س. نواب‌پور و ف. اکرم قادری. ۱۳۸۲. ارزیابی شاخص رشد در آفتابگردان، رقم رکورد، تحت شرایط دیم. مجله علوم و صنایع کشاورزی ۱۷(۱): ۶۱-۶۷.

۷. لکزیان، ا. ۱۳۸۹. فعالیت‌های میکروبی در ریزوسفر. (ترجمه)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۸۰ صفحه.

۸. ناظری، پ.، ع. کاشانی، ک. خاوازی، م. ر. اردکانی و م. میرآخوری. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد به کود زیستی میکروبی فسفاته حاوی روی و کود شیمیایی فسفر در لوبیا. مجله زراعت و اصلاح نباتات ۸(۳): ۱۱۱-۱۲۶.

9. Abbasi, P.A., J. Al-Dahmani, F. Sahin, H.A.J. Hoitink and S.A. Miller. 2002. Effect of compost amendments on disease severity and yield of tomato in conventional and organic production systems. Plant Disease 86: 156-161.

10. Abbott, L.K. and D.V. Murphy. 2007. Soil Biological Fertility: A Key to Sustainable Land Use in Agriculture. Springer, The Netherlands, 268 p.

11. Allen, M.F., W.K. Smith, J.R.T.S. Moore and M. Christensen. 1981. Comparative water relations and

photosynthesis of mycorrhizal bouteloua gracilish. H.B.K lag ex steud. New Phytol. 88: 683-693.
12. Antunes, P.M., D. Deaville and M.J. Goss. 2005. Effect of two AMF life strategies on the tripartite symbiosis with *Bradyrhizobium Japonicum* and soybean. Mycorrhiza 16: 167-173.
13. Barker, A.V. and G.M. Bryson. 2006. Comparisons of composts with low or high nutrient status for growth of plants in containers. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 37: 1303-1319.
14. Bhoopander, G., P.H. Giang, R. Kumari, R. Prasad, M. Sachdev, A.P. Grag, R. Oelmuller and A.T. Varma. 2005. Mycorrhizosphere: Startegies and functions. Soil Biology Book Series, Vol. 3, Springer, Berlin.
15. Bovetchko, S.M. and J.P. Tewaris. 1990. Root colonization of different hosts by the vesicular arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus dimorphicum*. Plant Soil 129: 131-136.
16. Copetta, A., G. Lingua and G. Berta. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. Mycorrhiza 16: 485-494.
17. Dash, M.C. and U.C, Petra.1979. Wormcast production and nitrogen contribution to soil by a tropical earthworm population from a grassland site in Orissa India. Rev. Ecol. Biol. Sol. 16: 79-83.
18. Dosskey, M.G., R.G. Linderman and L. Boersme. 1990. Carbon-sink stimulation of photosynthesis in Douglas fir seedlings by some ecomycorrhizas. New Phytol. 115: 269-274.
19. Fatma, A.G., A.M. Lobna and N.M. Osman. 2008. Effect of compost and biofertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. Int. J. Agric. Biol. 10(4): 381-387.
20. Glenn, R.D., B.C. Mallesh, B. Kubra and D.J. Bagyaraj. 1992. Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial populations in a paddy field. Soil Biol. Biochem. 24: 1317-1320.
21. Karimi, H. 2007. Cultivation and Breeding of Forage Crops. Tehran University Publications, 428 p. (In Persian).
22. Karimi, M.M., and K.H.M. Siddique. 2013. Crop growth and relative growth rates of old modern wheat cultivars. Austral. J. Agric. Res. 42: 13-20.
23. Kennedy, I.R., A.T.M. Choudhury and M.L. Keckes. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: Can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biol. Biochem. 36: 1229-1244.
24. Kochaki, A., M. Jahan and M. Nassiri Mahallati. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and free-living nitrogen-fixing bacteria on growth characteristic of corn (*Zea mays* L.) under organic and conventional cropping systems. 2nd Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR), June 18-20, Modena, Italia.
25. Kravchenko, L.V., E.L. Leonova and I.A. Tikhonovich. 1994. Effect of root exudates of non-legume plants on the response of auxin production by associated diazotrophs. Microbial Releases 2: 267-271.
26. Kurdali, F., N.E. Sharabi and A. Arsalan. 2014. Rainfed vetch-barley mixed cropping in the Syrian semi-arid conditions. Plant Soil 183(1): 137-148.
27. Laegreid, M., O.C. Bockman and E.O. Kaarstad. 1999.Agriculture, Fertilizer and Environment. CABI Publishing, 294 p.
28. Martin, J.P., J.H. Black and R.M. Hawthorne. 1997. Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. Bioresour. Technol. 75: 175-180.
29. Mishra, R.R. 2007. Soil Microbiology, Published by CBS Publishers & Distributors Pvt. Ltd, 2000.
30. Montemurro, F., G. Convertini, D. Ferri and M. Maiorana. 2014. MSW compost application on tomato crops in Mediterranean conditions: Effects on agronomic performance and nitrogen utilization. Compost Sci. Util. 13: 234-242.
31. Ohara, G.W., M.J. Dilworth, N. Boonkerd and P. Parkpian. 1988. Iron deficiency specifically limits nodule development in peanut inoculated with *Brady rhizobium sp*. New Phytol. 108: 51-57.
32. Rodriguez-Caceres, E. 1982. Improved medium for isolation of *Azospirillum spp*. Appl. Environ. Microb. 44: 990-991.
33. Shalan, M.N. 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality (*Nigella sativa* L.) plants. Egypt. J. Agric. Res. 83: 811-828.
34. Sharma, A.K. and B.N. Johri. 2002. Arbuscular Mycorrhizae, Interaction in Plants, Rhizosphere and Soils. Sci. Publ., Inc., USA.
35. Sikora, L. and R.A.K. Szmidt. 2013. Nitrogen sources, mineralization rates and plant nutrient benefits from compost. PP. 281-302. *In:* Stoffela, P.J. and B.A. Kahn (Eds.), Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems, CRC Press.
36. Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant Soil 255: 271-586.
37. Wu, Q.S. and R.X. Xia. 2006. Arbuscolar mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. J. Plant Physiol. 163: 417-425.
38. Zahir, A.Z., M. Arshad and W.F. Frankenberger. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Application and perspective. Adv. Agron. 81: 97-168.