نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۶۱۹-۶۰۳

Journal of Agroecology
Vol. 10, No.3, Fall 2018, p. 603-619

ارزیابی نقش مدیریت تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد گیاه دارویی ختمی (*Althea officinalis* L.)

سرور خرم‌دل[1*]، پرویز رضوانی مقدم[2]، هما عزیزی[3]، جواد شباهنگ[4] و محمد سیدی[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۱۴

خرم‌دل، س.، رضوانی مقدم، پ.، عزیزی، ه.، شباهنگ، ج.، و سیدی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی نقش مدیریت تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد گیاه دارویی ختمی (*Althea officinalis* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۶۱۹-۶۰۳.

چکیده

این آزمایش با هدف ارزیابی نقش مدیریت تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر خصوصیات رشد، عملکرد گل و بذر و اجزای عملکرد گیاه دارویی ختمی (*Althea officinalis* L.)، به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور انواع کود و تلقیح با باکتری *تیوباسیلوس* با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به اجرا درآمد. فاکتور کود در چهار سطح شامل کود دامی (۴۰ تن در هکتار)، کمپوست (۴۰ تن در هکتار)، کود شیمیایی متداول NPK (۱۱۴، ۱۸ و ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار) و عدم کاربرد کود (شاهد) و فاکتور تلقیح با باکتری *تیوباسیلوس* همراه با مصرف گوگرد در چهار سطح شامل تلقیح با باکتری *تیوباسیلوس*، ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار+ تلقیح با باکتری *تیوباسیلوس*، ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد و شاهد بودند. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ حداکثر، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک کل، اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول، تعداد دانه و وزن هزار دانه و عملکرد گل، بذر و بیولوژیکی ختمی بودند. نتایج نشان داد که اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ حداکثر، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک کل، اجزای عملکرد و عملکرد گل، بذر و بیولوژیکی ختمی معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. بالاترین شاخص سطح برگ حداکثر در پایان فصل رشد برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و *تیوباسیلوس*+گوگرد با ۱۲/۳ و پایین‌ترین شاخص سطح برگ حداکثر برای شاهد با ۱/۳ به‌دست آمد. بالاترین عملکرد گل و بذر برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و *تیوباسیلوس*+ گوگرد به‌ترتیب برابر با ۱۷۵/۳۳ و ۹۹/۹۱ گرم بر مترمربع و کمترین میزان برای شاهد به‌ترتیب برابر با ۳۲/۳۳ و ۹/۳۱ گرم بر مترمربع به‌دست آمد. در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در سطوح جداگانه *تیوباسیلوس* و گوگرد و عدم کاربرد، عملکرد گل بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد بهبود یافت، در حالی‌که مصرف کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست به همراه کاربرد *تیوباسیلوس*+گوگرد به‌ترتیب توانستند منجر به بهبود ۱۰۶، ۸۹ و ۷۲ درصدی عملکرد گل در مقایسه با شاهد شوند. با توجه به بالا بودن اسیدیته خاک در اکثر خاک‌های زراعی ایران می‌توان مصرف تلفیقی گوگرد همراه با تلقیح با *تیوباسیلوس* را به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود جذب عناصر غذایی خاک مدنظر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: اسیدیته خاک، *تیوباسیلوس*، حاصلخیزی خاک، کشاورزی پایدار

مقدمه

کشور ایران به لحاظ داشتن شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی خاص از شرایط بسیار مطلوبی برای توسعه و کشت گیاهان دارویی در جهان محسوب می‌گردد (Samsam Shariat, 1995). با این‌حال، به عنوان کشوری با سابقه طولانی در تولید و مصرف گیاهان دارویی تنها سهم بسیار کوچکی در بازار تجارت جهانی این گیاهان دارد. ختمی (*Althaea officinalis* L.) یکی از گونه‌های ارزشمند دارویی تیره پنیرک[6] است که به‌دلیل دارا بودن گل‌های زیبا به‌عنوان گونه‌ای

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشیار، استاد، دانشجوی دکتری و دکتری، گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۵- دکتری گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه (دانشجوی سابق دکتری، گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد)
(*- نویسنده مسئول: (Email: khorramdel@um.ac.ir
DOI: 10.22067/jag.v10i3.28104

6- Malvaceae

زینتی نیز کاشته می‌شود. مصرف گل‌های ختمی برای درمان یبوست، بیماری‌های تنفسی، از بین بردن سرفه‌های خشک و رفع گلو درد توسط برخی محققان توصیه شده است. ریشه این گیاه، نرم‌کننده پوست و برطرف‌کننده ناراحتی‌های پوستی بوده و مصرف آن برای کاهش تب، تنظیم قند خون، درمان اسهال و سرفه‌های خشک در طب سنتی مورد تأکید قرار گرفته است. مصرف ضماد برگ ختمی برای رفع دمل، التیام شکستگی، رفع سیاتیک و درمان رعشه نیز مورد توصیه برخی محققین قرار گرفته است (Omid Beigi, 1995; Joy et al., 1998).

در تولید گیاهان دارویی، علاوه بر شرایط آب و هوایی، عوامل خاک و به‌ویژه عناصر غذایی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد، زیرا عناصر غذایی با تأثیر بر رشد رویشی و رشد زایشی، نسبت این اندام‌ها را تغییر داده و از این طریق بر کمیت و کیفیت محصول مؤثر می‌باشند (Azizi, 2000). در کشاورزی رایج به‌منظور افزایش حاصلخیزی خاک، افزایش رشد و عملکرد گیاهان و جبران کمبود عناصر غذایی اغلب از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود. با وجود برخی از مزیت‌های این کودها در بهبود رشد و عملکرد گیاهان، مصرف این کودها می‌تواند از طریق آبشویی و فرسایش موجب افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی گردد (Nassiri Mahallati et al., 2001). بدین ترتیب، تحت چنین شرایطی استفاده از کودهای زیستی و آلی علاوه بر حفظ محیط زیست و تولید محصولات کشاورزی سالم می‌تواند شرایط تغذیه‌ای بهتری را برای گیاه فراهم آورد و تأثیر مطلوبی بر بهبود رشد گیاهان به همراه داشته باشد (Vessey, 2003). ایران‌نژاد و همکاران (Iran Nejad et al., 2006) با بررسی اثر کود نیتروژن روی عملکرد گیاه دارویی ختمی در منطقه کاشان بیان داشتند که کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری رشد و عملکرد گل ختمی را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که بالاترین عملکرد تر (۶۲۴/۳ کیلوگرم در هکتار) و خشک گل (۸۹/۸ کیلوگرم در هکتار) این گیاه از تیمار ۱۰۰ کیلوگرم به‌دست آمد. فسفر پس از نیتروژن، مهمترین عنصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاهان محسوب می‌شود. وانس و همکاران (Vance et al., 2003) بیان داشتند که کمبود فسفر باعث کاهش ۴۰-۳۰ درصدی عملکرد گیاهان گردید. برای جبران کمبود فسفر در خاک‌های قلیایی معمولاً از کودهای شیمیایی استفاده می‌گردد، در حالی‌که این کودها در این شرایط معمولاً به‌دلیل پایین بودن اسیدیته خاک و فراوانی یون کلسیم رانـدمان پـایینی دارنـد (Cheesman et al., 2011). نتایج برخی تحقیقات مؤید این مطلب است که مصرف گوگرد و تولید اسید-سولفوریک در نتیجه اکسایش آن، به‌دلیل کاهش اسیدیته موجب تأمین سولفات مورد نیاز گیاهان و افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف می‌گردد (Dawood et al., 1985).

اگرچه طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها قادر به اکسایش گوگرد در محیط هستند، ولی در این میان تنها باکتری‌های هتروتروف، به ویژه جنس *تیوباسیلوس* نقش مهمی در اکسایش گوگرد در خاک ایفاء می‌نمایند (Tate, 1995). برخی محققین گزارش نموده‌اند که اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک باعث کاهش اسیدیته خاک و افزایش دسترسی به فسفر و عناصر کم مصرف می‌شود، به طوری‌که باکتری *تیوباسیلوس* باعث تسریع این فرآیند می‌گردد (Tisdale et al., 1993; Zapata & Roy, 2004). در بسیاری از نقاط جهان برای افزایش کارایی فسفات، آن را با گوگرد مخلوط و از باکتری‌های *تیوباسیلوس* برای تشدید اکسایش گوگرد استفاده می نمایند (Pathirathna et al., 1989). پاتیراتنا و همکاران (Pathirathna et al., 1989) اظهار نمودند با توجه به‌سرعت کند اکسایش گوگرد، حضور باکتری‌های اکسیدکننده این عنصر در خاک شرط اصلی بهره‌گیری از این توان بالقوه است.

کودهای آلی فرآورده‌های اصیل و بدون خطری هستند که برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار مطرح می‌باشند (Maeder et al., 2002). کاربرد نهاده‌های آلی در خاک‌های کشاورزی، سبب بهبود ساختمان خاک، افزایش ماده آلی و حاصلخیزی خاک می‌شود، البته میزان تأثیر این مواد بر خصوصیات خاک و به‌تبع آن رشد گیاه، بسته به‌میزان مصرف و نوع نهاده متغیر می‌باشد (Patra et al., 2000). میدر و همکاران (Maeder et al., 2002) دریافتند که کودهای آلی به‌دلیل افزایش تخلخل و نفوذپذیری، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک و افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک، تأثیرات مثبتی بر رشد گیاهان دارند. مصرف کود دامی در کشاورزی سنتی جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده و در حال حاضر نیز نقش مهمی را در کشاورزی پایدار ایفاء می‌نماید. برخی بررسی‌ها نیز مؤید این مطلب است که کودهای دامی حاوی عناصر ریزمغذی هستند که می‌تواند باعث بهبود کیفیت و تولید گیاهان دارویی گردد (Maeder et al., 2002). نتایج مطالعه کارلا (Karla, 2003) نشان داد که کاربرد کودهای آلی در نظام ارگانیک در مقایسه با نظام رایج، بهبود ۸۴-۸۰ درصدی عملکرد

گیاهان دارویی را به‌دنبال داشت. یکی دیگر از منابع تغذیه‌ای آلی، کمپوست زباله شهری است که امروزه مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است. مصرف این مواد با بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک موجب تبدیل عناصر غذایی به فرم قابل استفاده گیاه شده و در اصلاح خاک‌های با مواد آلی کم مؤثر است (Mkhabela &Warman, 2005 ;De Araujo ,.2010 et al). پاندی (Pandey, 2005) اظهار نمود که مصرف کمپوست موجب بهبود قابل ملاحظه گلدهی گیاه دارویی درمنه (*Artemisia pallens* L.) در مقایسه با شاهد گردید. سینگ و همکاران (Sing et al., 1998) بیان نمودند که با افزایش میزان کمپوست، روند افزایشی برای عملکرد و اجزای عملکرد برخی گیاهان دارویی از جمله اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.)، بذرالبنج (*Hyoscyamus niger* L.) و سداب (*Ruta graveolens* L.) در هند حاصل شد. کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در ترکیب با کود شیمیایی NPK به‌طور معنی‌داری رشد، عملکرد بیولوژیکی و مقدار اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosemarinus officinalis* L.) را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Singh & Guleria, 2013).

بدین ترتیب، به‌نظر می‌رسد که کاربرد تلفیقی کودهای مختلف بتواند اثرات منفی کودهای شیمیایی بر خصوصیات گیاهان دارویی را کاهش دهد. علاوه بر این، با توجه به بالا بودن اسیدیته خاک و کاهش قابلیت جذب برخی عناصر غذایی، به‌نظر می‌رسد که مصرف گوگرد همراه با *تیوباسیلوس* بتواند نقش به‌سزایی بر فراهمی عناصر غذایی داشته باشد. بنابراین، این آزمایش با هدف ارزیابی کاربرد تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر رشد و عملکرد کمی گیاه دارویی ختمی در شرایط آب و هوایی مشهد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی ´۵۹ °۲۸ شرقی و عرض جغرافیایی ´۳۶ °۱۵ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور انواع حاصلخیزکننده‌های خاک و تلقیح با *تیوباسیلوس* و سه تکرار انجام شد. فاکتور کودهای آلی و شیمیایی در چهار سطح شامل کود دامی، کمپوست، کود شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و شاهد و فاکتور تلقیح با باکتری *تیوباسیلوس* همراه با مصرف گوگرد در چهار سطح شامل تلقیح با باکتری *تیوباسیلوس*، ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار+ تلقیح با باکتری *تیوباسیلوس*، ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد و شاهد بودند. بذر مورد استفاده از باغ گیاهان دارویی مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ جمع‌آوری و تا قبل از شروع آزمایش در انبار خنک نگهداری شد.

قبل از شروع آزمایش، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری تصادفی توسط اوگر از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. در این زمان همچنین، خصوصیات شیمیایی کودهای آلی اندازه‌گیری و تعیین شد. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و خصوصیات کودهای آلی مورد استفاده به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

۲۰ تن کمپوست زباله شهری و ۴۰ تن کود دامی در هکتار از نوع کود گاوی پوسیده قبل از کاشت به خاک اضافه شد. با توجه به آزاد شدن ۵۰ درصد عناصر غذایی کودهای آلی در سال اول (Pimentel, 1993)، میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم خالص بر اساس محتوی عناصر غذایی موجود در این کودها به‌ترتیب برابر با ۱۱۴، ۱۸ و ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار برای تیمار شیمیایی مدنظر قرار گرفت.

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1- Soil physical and chemical criteria

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت Texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	میزان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Content ($mg.kg^{-1}$)		
				نیتروژن کل Total N	فسفر قابل دسترس Available P	پتاسیم قابل دسترس Available K
0-30	سیلت-لوم Silty- loam	1.72	7.33	431	5.43	297.05

جدول ۲- نتایج خصوصیات شیمیایی کودهای آلی

Table 2- Results of chemical characteristics of organic manures

کود آلی Organic manure	هدایت الکتریکی (دسی-زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	میزان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Content ($mg.kg^{-1}$)		نیتروژن کل (٪) Total N (%)
			فسفر قابل دسترس Available P	پتاسیم قابل دسترس Available K	
کود دامی Cow manure	7.70	8.75	106.77	225.67	1.86
کمپوست زباله شهری Compost made from household waste	9.51	7.55	59.34	184.12	1.70

کود فسفر به‌صورت سوپرفسفات تریپل، پتاسیم به‌صورت سولفات پتاسیم و گوگرد (به‌صورت گوگرد آلی بنتونیت‌دار به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت به زمین اضافه و سپس با لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری به‌طور کامل مخلوط شدند. پنج گرم *تیوباسیلوس* (به صورت کود بیوسولفور) همزمان با اولین آبیاری به خاک اضافه و با لایه سطحی خاک مخلوط شد. کود نیتروژن (به‌صورت اوره) در دو مرحله بعد از عملیات تنک و ابتدای مرحله گلدهی همراه با آب آبیاری به خاک افزوده شد.

ابعاد کرت‌های آزمایش ۳×۲/۵ مترمربع در نظر گرفته شد. بین کرت‌ها ۰/۵ متر و بین بلوک‌ها یک متر فاصله به‌عنوان راهرو در نظر گرفته شد. پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین، بذرها روی پنج ردیف سه متر در نیمه اول اردیبهشت ماه به‌صورت دستی کاشته شدند. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک گیاه هر هفت روز یک‌بار به‌صورت نشتی انجام گرفت. بوته‌ها در مرحله ۶-۴ برگی برای رسیدن به تراکم مورد نظر (۱۰ بوته در مترمربع) تنک شدند. به‌منظور جلوگیری از اثرات منفی مواد شیمیایی بر رشد و فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، از هیچ‌گونه علف‌کش و یا آفت‌کش شیمیایی در طول فصل رشد استفاده نشد.

قابل ذکر است نیمی از کرت به اندازه‌گیری‌های تخریبی و نیم دیگر به عملکرد اختصاص داده شد. پس از شروع مرحله گلدهی، گل-ها با حذف اثر حاشیه‌ای از طرفین جمع‌آوری و برداشت شدند. پس از شمارش گل‌ها و خشک شدن آن‌ها در هوای آزاد زیر سایه، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. در نیمه شهریور ماه ارتفاع ساقه اصلی، شاخص سطح برگ حداکثر، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و میزان تجمع ماده خشک از سطح پنج بوته (۰/۵ مترمربع) اندازه‌گیری شد. عملیات برداشت با حذف اثر حاشیه‌ای در زمان زرد شدن برگ‌ها و کپسول‌ها در ۱۵ مهرماه انجام گردید. قبل از برداشت، اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول و وزن ۱۰۰۰ دانه از سطح چهار بوته (۰/۴ متر مربع) اندازه گیری و ثبت شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه Leaf Area Meter استفاده شد و به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون به‌مدت زمان ۷۲ ساعت قرار گرفتند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار Mstat-C انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p\leq$۰/۰۵) مقایسه شدند. جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

الف) اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر خصوصیات رشد

نتایج آنالیز واریانس اثر کاربرد کودهای آلی، شیمیایی و تلقیح با باکتری *تیوباسیلوس* بر خصوصیات رشد گیاه دارویی ختمی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس* بر برخی صفات گیاه ختمی

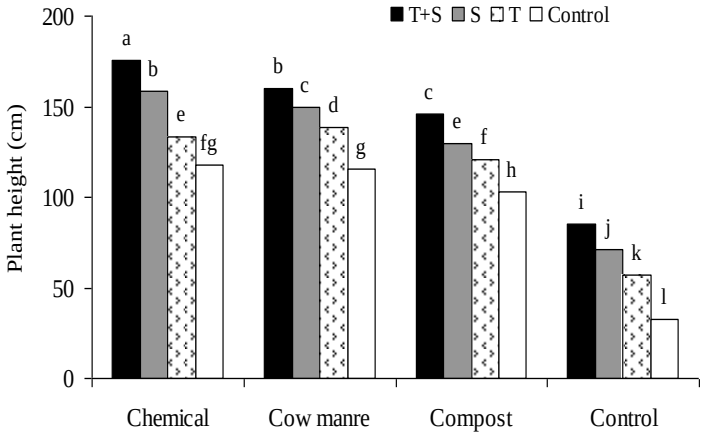
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on some criteria of marshmallow

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ حداکثر Leaf area index$_{max}$	وزن خشک برگ Dry weight of leaf	وزن خشک ساقه Dry weight of stem	وزن خشک کل Total dry weight
تکرار Replication	2	553.94	0.11	210457.26	105154.16	421482.08
کودهای آلی و شیمیایی (A) Organic and chenimal fertilizers (A)	3	18341.81**	117.36**	11801469.52**	4485430.29**	30565334.50**
تلقیح با *تیوباسیلوس* (B) *Thiobacillus* inoculation (B)	3	5371.14**	33.10**	864226.52**	3791673.12**	3791673.12**
A×B	9	60.79**	1.19**	14715.39**	44190..44**	44190.44
خطا Error	30	7.85	0.25	2895.09	5446.58	5446.58
کل Total	47	–	–	–	–	–

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

**: is significant at 1% probability level

اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر ارتفاع بوته ختمی معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته (۱۷۵ سانتی‌متر) از تیمار تلفیقی کود شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس*+ گوگرد و کمترین ارتفاع بوته (۳۲ سانتی‌متر) از شاهد شاهده شد. ارتفاع بوته تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در کلیه سطوح جداگانه و تلفیقی تلقیح با *تیوباسیلوس*، مصرف گوگرد و عدم کاربرد این حاصلخیزکننده‌ها بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد بهبود یافت (شکل ۱).



شکل ۱- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس* برارتفاع بوته ختمی

Fig. 1- Intarction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on plant height of marshmallow

T: *تیوباسیلوس* و S: گوگرد

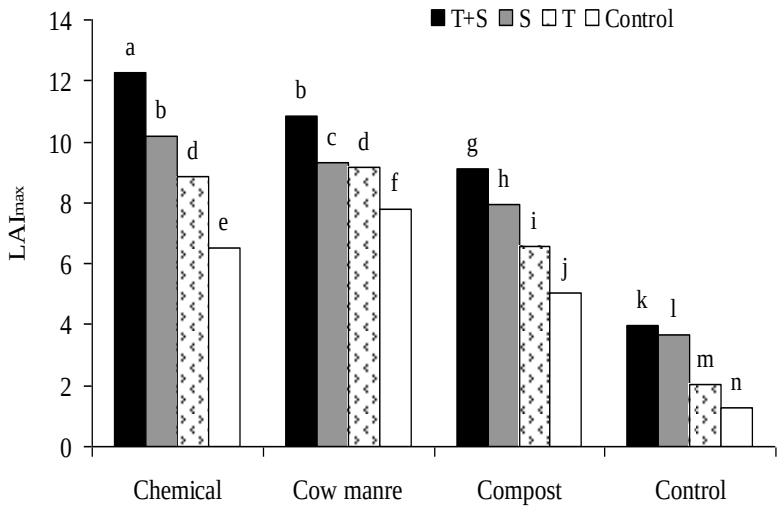
T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p\leq$۰/۰۵).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan ($p\leq0.05$).

به‌نظر می‌رسد که مصرف کودهای شیمیایی با آزادسازی سریع‌تر عناصر غذایی باعث تحریک رشد اندام‌های رویشی شده که این امر موجب افزایش ارتفاع شده است. همچنین با درنظر گرفتن این مطلب که فراهمی رطوبت، افزایش آماس سلولی و تحریک رشد رویشی را به دنبال دارد (Gardner et al., 1985)، به‌نظر می‌رسد که مصرف کودهای آلی با با بهبود قابلیت نگهداری آب و در نتیجه تأثیر بر تقسیم سلول و بزرگ شدن سلول‌ها موجب افزایش طول میانگره‌ها شده که بهبود ارتفاع را به‌دنبال داشته است. همچنین از آن‌جا که باکتری‌های موجود در کود بیولوژیک از طریق ترشح هورمون‌های مختلف گیاهی می‌توانند نفوذپذیری سلول‌های ریشه و مقاومت روزنه‌ای را تحت تأثیر قرار دهند (Scott, 1988)، به نظر می‌رسد که این میکروارگانیسم‌ها روابط آبی و رشد عمومی گیاه را به‌طور مثبتی تحت تأثیر قرار داده‌اند. نتایج مطالعه دو ساله شباهنگ و همکاران (Shabahang et al., 2016) نشان داد که مصرف کود دامی موجب بهبود ارتفاع زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) گردید. علاوه بر این، از آن‌جا که محدودیت سولفور موجب کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش منابع مورد نیاز رشد و تقسیم سلول و افت شدید سرعت تقسیم سلولی (Cao et al., 2001) می‌شود، افزایش مصرف گوگرد به‌ویژه در شرایط تلقیح با *تیوباسیلوس* موجب بهبود ارتفاع ساقه اصلی شده است.

کاربرد کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک به‌طور معنی‌داری شاخص سطح برگ حداکثر ختمی را تحت تأثیر قرار داد ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۳). بالاترین شاخص سطح برگ حداکثر در پایان فصل رشد برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و *تیوباسیلوس*+ گوگرد با ۱۲/۳ و پایین‌ترین شاخص سطح برگ حداکثر برای شاهد با ۱/۳ به‌دست آمد. سطوح کاربرد جداگانه و تلفیقی تلقیح با *تیوباسیلوس*، مصرف گوگرد و عدم کاربرد در شرایط مصرف کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست افزایش بیش از ۱۰۰ درصدی شاخص سطح برگ حداکثر را نسبت به شاهد موجب گردید (شکل ۲).



شکل ۲- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس* بر شاخص سطح برگ گیاه ختمی

Fig. 2- Intarction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on leaf area index$_{max}$ (LAI$_{max}$) of marshmallow

T: *تیوباسیلوس* و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

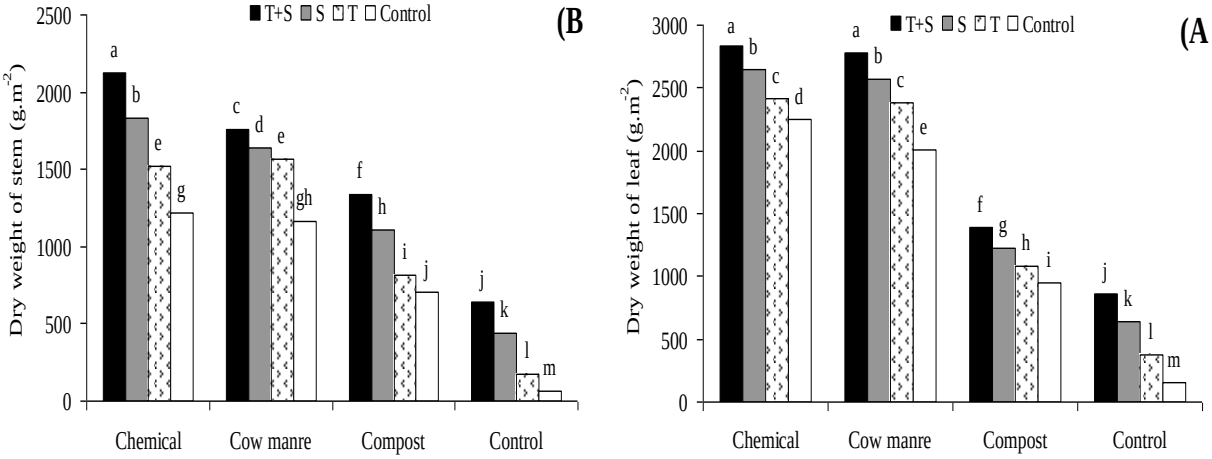
میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p\leq$۰/۰۵).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan ($p\leq0.05$).

چنین به نظرمی‌رسد که مصرف کودهای مختلف با تأثیر مثبت بر خصوصیات خاک، شرایط ریزوسفر را برای رشد بوته‌ها بهبود بخشیده که این امر از طریق افزایش و تحریک رشد گیاه، افزایش سطح برگ را به‌دنبال داشته است. لیتی و همکاران (Leithy et al., 2006) نیز

گزارش نمودند از آن‌جا که ریشه مرکز ثقل گیاه در خاک محسوب می‌شود، بنابراین، تغییر مدیریت حاصلخیزی خاک بر مبنای مصرف نهاده‌های آلی نظیر کود دامی با بهبود خصوصیات خاک، علاوه بر افزایش رشد و عملکرد محصول، پایداری بوم‌نظام را نیز تحت تأثیر قرار داده و آن را در درازمدت تضمین می‌نماید. بدین ترتیب، با توجه به این مطلب که مصرف گوگرد و تولید اسید سولفوریک تحت تأثیر اکسایش این عنصر ضروری کاهش اسیدیته خاک، تأمین سولفات مورد نیاز گیاهان و افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف در خاک می‌شود (Dawood et al., 1985) و از آن‌جا که شرط بهره‌گیری از این پتانسیل به‌دلیل سرعت اکسایش کند گوگرد مستلزم حضور باکتری‌های اکسیدکننده است (Tate, 1995)، به‌نظر می‌رسد که بهبود مصرف گوگرد همراه با تلقیح با *تیوباسیلوس* به‌دلیل تأمین سولفات مورد نیاز و بهبود فراهمی و جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف افزایش شاخص سطح برگ به‌عنوان اندام فتوسنتزکننده را موجب شده است.

وزن خشک برگ و ساقه ختمی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مصرف کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفت (p≤۰/۰۱) (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین وزن خشک برگ و ساقه برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و *تیوباسیلوس*+گوگرد به‌ترتیب برابر با ۲۸۳۱/۶۴ و ۲۱۲۷/۷۸ گرم بر مترمربع و کمترین میزان برای شاهد به‌ترتیب برابر با ۱۴۹/۵۶ و ۶۴/۳۸ گرم بر مترمربع به‌دست آمد. در شرایط مصرف کودهای شیمیایی و دامی در کلیه سطوح کاربرد جداگانه و تلفیقی *تیوباسیلوس* و گوگرد و بدون کاربرد آن‌ها، وزن خشک برگ بیش از ۱۰۰ درصد بهبود یافت، در حالی‌که مصرف کمپوست در شرایط مصرف گوگرد، *تیوباسیلوس* و شاهد افزایش به‌ترتیب ۹۲، ۱۹۲، ۶۱ و ۵۳۶ درصدی این صفت را نسبت به شاهد به‌دنبال داشت. وزن خشک ساقه تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در کلیه سطوح جداگانه و تلفیقی تلقیح با *تیوباسیلوس*، مصرف گوگرد و عدم کاربرد بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد بهبود یافت (شکل ۳- الف و ب).



شکل ۳- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس* بر وزن خشک برگ (الف) و ساقه (ب) گیاه ختمی

Fig. 3- Intarction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on leaf (A) and stem (B) dry weight of marshmallow

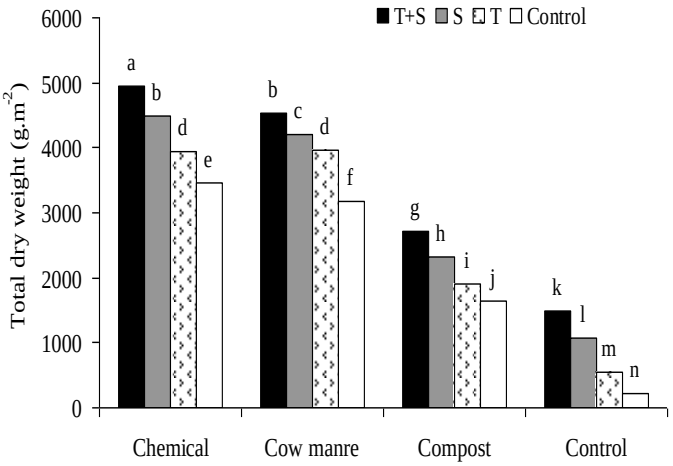
T: *تیوباسیلوس* و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند (p≤۰/۰۵).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan (p≤0.05).

اثر کاربرد کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک بر وزن خشک کل ختمی معنی‌دار (p≤۰/۰۱) بود (جدول ۳). بیشترین و کمترین وزن خشک کل به‌ترتیب برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و *تیوباسیلوس*+گوگرد و شاهد برابر با ۴۹۵۹/۴۳ و ۲۱۳/۹۴ گرم بر متر-مربع حاصل شد. میزان بهبود وزن خشک کل در شرایط مصرف کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست تحت تأثیر کلیه سطوح جداگانه و تلفیقی تلقیح با *تیوباسیلوس* کاربرد گوگرد و عدم مصرف این کودها بیش از ۱۰۰ درصد در مقایسه با شاهد بود (شکل ۴).



شکل ٤- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس* بر وزن خشک کل گیاه ختمی

Fig. 4- Intarction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on total dry weight of marshmallow

T: *تیوباسیلوس* و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند (p≤۰/۰۵).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan (p≤0.05).

از آن‌جا که باکتری‌های *تیوباسیلوس* موجب تحریک تولید اکسین می‌شوند، به‌نظر می‌رسد که افزایش تولید اکسین تحت تأثیر تلقیح با این باکتری‌ها (Doroudian et al., 2010) با افزایش رشد سلولی و تحریک رشد اندام‌های رویشی، سطح اندام‌های فتوسنتزکننده را افزایش داده است. علاوه بر این، با توجه به بالا بودن اسیدیته خاک در بوم‌نظام‌های زراعی کشور و اختلال در جذب عناصر غذایی در این شرایط (Akhavan et al., 2012)، مصرف گوگرد می‌تواند موجب کاهش اسیدیته خاک شود. زاپاتا و رُی (Zapata & Roy, 2004) دریافتند که حضور باکتری‌های *تیوباسیلوس* در مقایسه با عدم تلقیح با این باکتری باعث تسریع این فرآیند شده است. بنابراین، افزایش وزن خشک کل در نتیجه افزایش فسفر قابل دسترس توسط گیاه را می‌توان این‌چنین توجیه نمود که عنصر فسفر با اثرات مثبتی که بر افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای دارد، افزایش فراهمی آن میزان جذب آب و عناصر غذایی ضروری به‌ویژه نیتروژن را افزایش داده است که این امر موجب بهبود وزن خشک کل شده است (Dordas, 2009). بدین ترتیب، با توجه به بالا بودن اسیدیته خاک و غیرقابل جذب شدن برخی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر، می‌توان مصرف گوگرد را همراه با باکتری *تیوباسیلوس* به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود خصوصیات رشد گیاهان دارویی مدنظر قرار داد.

ب) اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر اجزای عملکرد و عملکرد

نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای شیمیایی، آلی و دامی بر اجزای عملکرد و عملکرد گل، بذر و بیولوژیکی گیاه دارویی ختمی در جدول ۴ نشان داده شده است.

اجزای عملکرد ختمی شامل تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول و تعداد دانه در کپسول به جز وزن هزار دانه ختمی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفت (p≤۰/۰۱) (جدول ۵)، به‌طوری‌که بالاترین تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول و تعداد دانه برای تیمار تلفیقی کاربرد کود شیمیایی و *تیوباسیلوس*+ گوگرد به‌ترتیب برابر با ۳۸/۳۳ شاخه جانبی در بوته، ۶۰/۶۷ کپسول در بوته و ۴۲ دانه در کپسول و پایین‌ترین میزان برای شاهد به‌ترتیب برابر دو شاخه جانبی در بوته، ۳/۶۷ کپسول در بوته و ۴/۶۷ دانه در کپسول تیمار مشاهده گردید. مصرف کودهای شیمیایی در شرایط مصرف *تیوباسیلوس*+گوگرد و عدم کاربرد آن‌ها موجب افزایش تعداد شاخه جانبی بیش از ۱۰۰ درصد شد.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس* بر اجزای عملکرد و عملکرد گیاه ختمی

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on yield and yield components of marshmallow

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه جانبی Branch number	تعداد کپسول Capsule number	تعداد دانه در کپسول Seed number per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد گل Flower yield	عملکرد بذر Seed yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield
تکرار Replication	2	64.00	12.33	17.06	0.064	430.27	223.300	100820.00
کودهای آلی و شیمیایی (A) Organic and chenimal fertilizers (A)	3	802.33**	2937.02**	1690.30**	0.065^{ns}	18369.06**	6438.28**	1834675.98**
تلقیح با *تیوباسیلوس* (B) *Thiobacillus* inoculation (B)	3	636.83**	1155.91**	406.19**	0.094^{ns}	7141.96**	3133.04**	653317.96**
A×B	9	39.24**	54.02**	20.61**	0.046^{ns}	181.79**	120.93**	16109.039**
خطا Error	30	1.38	5.51	5.04	0.267	7.30	2.09	4244.306
کل Total	47	–	–	–	–	–	–	–

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

**: is significant at 1% probability level.

میزان بهبود این صفت در شرایط مصرف کود دامی همراه با تلقیح با *تیوباسیلوس*+گوگرد، مصرف گوگرد، تلقیح با *تیوباسیلوس* و شاهد به‌ترتیب برابر با ۱۳۵، ۹۲، ۷۰ و ۲۳۴ درصد در مقایسه با شاهد بود. میزان بهبود این صفات در شرایط افزایش کمپوست به‌ترتیب برابر با ۳۵، ۶۹، ۳۳ و ۱۳۴ درصد در مقایسه با شاهد بود. تعداد کپسول در شرایط کاربرد کود شیمیایی همراه با مصرف تلفیقی و جداگانه تلقیح با *تیوباسیلوس* و گوگرد و عدم کاربرد آن‌ها بیش از ۱۰۰ درصد بهبود یافت. میزان بهبود این صفت در شرایط مصرف کود دامی همراه با مصرف *تیوباسیلوس*+گوگرد، گوگرد، *تیوباسیلوس* و شاهد به‌ترتیب برابر با ۹۷، ۹۸، ۴۳ و ۲۰۰ درصد در مقایسه با شاهد بود. میزان این بهبود در شرایط مصرف کمپوست به‌ترتیب برابر با ۵۲، ۴۸، ۲۹ و ۱۳۶ درصد در مقایسه با شاهد بود. کاربرد کود شیمیایی همراه با تلقیح با *تیوباسیلوس*+گوگرد، گوگرد، *تیوباسیلوس* و شاهد موجب بهبود تعداد دانه به‌ترتیب برابر با ۷۰، ۸۹، ۹۳ و ۱۵۰ درصد در مقایسه با شاهد شد. میزان بهبود این شاخص در شرایط مصرف کود دامی به‌ترتیب برابر با ۵۹، ۶۷، ۴۶ و ۹۳ درصد و در شرایط مصرف کمپوست به‌ترتیب برابر با ۳۱، ۵۲، ۲۷ و ۷۸ درصد در مقایسه با شاهد بود (جدول ۵).

مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره با تحریک رشد رویشی از طریق افزایش سطح اندام‌های فتوسنتزکننده باعث افزایش جذب نور و بهبود فتوسنتز می‌شود (Lambers et al., 2008; Taiz & Zeiger, 2006) که این امر در نهایت می‌تواند اجزای عملکرد را افزایش دهد. کاربرد کود دامی با تأثیر مثبت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شرایط ریزوسفر را برای رشد بوته‌ها بهبود بخشیده است که این امر در نتیجه به‌دلیل افزایش و تحریک رشد باعث بهبود سطح اندام‌های رویشی شده و با افزایش تولید، بهبود اجزای عملکرد را به‌دنبال داشته است. علاوه بر این، از آن‌جا که تأثیر مصرف گوگرد و آزادسازی عناصر غذایی تثبیت شده در خاک منوط به اکسایش این عنصر و تولید اسید سولفوریک می‌باشد، به‌نظر می‌رسد اسید تولید شده در اثر واکنش با عناصر غذایی تثبیت شده باعث افزایش حلالیت آن‌ها و بهبود فراهمی جذب عناصر شده است (Tate, 1995).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس* بر اجزای عملکرد بذر گیاه ختمی

Table 5- Mean comparision for interaction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on yield components of marshmallow

تیمارها Treatments		تعداد شاخه جانبی (تعداد در بوته) Branch number (No. plant^{-1})	تعداد کپسول (تعداد در بوته) Capsule number (No. plant^{-1})	تعداد دانه (تعداد در کپسول) Seed number (No. capsule^{-1})
کود شیمیایی Chemical fertilizer	T+S	38.33^{a*}	60.67^{a}	42.00^{a}
	S	29.00^{b}	50.67^{b}	39.33^{a}
	T	16.67^{e}	39.00^{d}	32.33^{b}
	شاهد Control	12.33^{f}	25.67^{f}	24.67^{c}
کود دامی Organic manure	T+S	30.33^{b}	50.33^{b}	38.33^{a}
	S	25.00^{c}	44.00^{c}	34.00^{b}
	T	22.00^{d}	39.67^{d}	31.00^{b}
	شاهد Control	13.00^{f}	30.67^{e}	20.33^{d}
کمپوست Compost	T+S	24.00^{c}	39.67^{d}	26.33^{c}
	S	15.33^{e}	29.00^{ef}	20.00^{d}
	T	12.00^{f}	21.67^{g}	17.33^{de}
	شاهد Control	9.00^{g}	14.67^{hi}	13.67^{ef}
شاهد Control	T+S	11.67^{f}	16.67^{h}	11.67^{fg}
	S	6.67^{h}	11.00^{ij}	9.00^{g}
	T	4.67^{i}	8.67^{j}	8.33^{gh}
	شاهد Control	2.00^{j}	3.67^{k}	4.67^{h}

T: *تیوباسیلوس* و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند (p≤۰/۰۵).

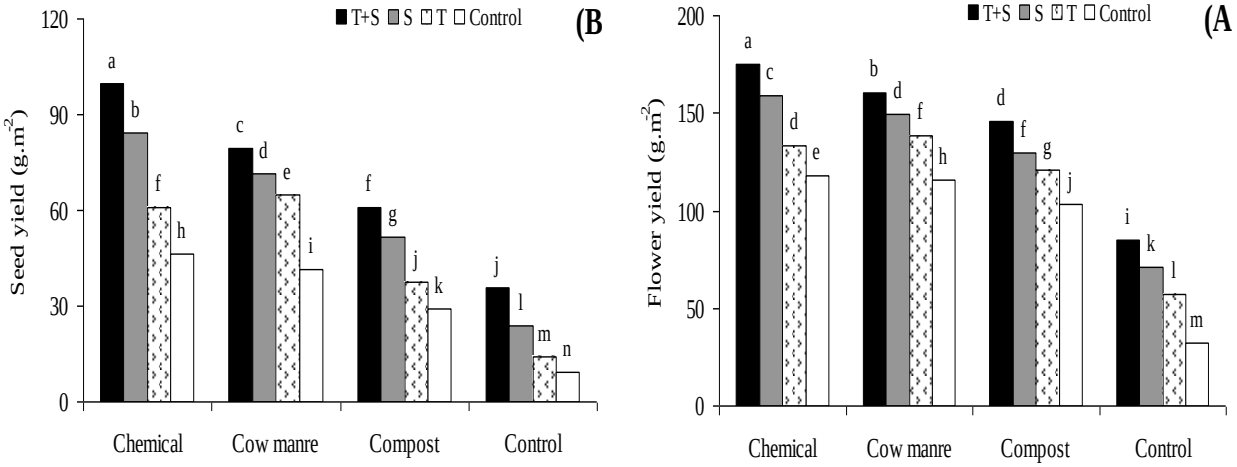
*Means with the same letter(s) in each column have not significant difference according to Duncan (p≤0.05).

بدین ترتیب، اگر چه مصرف کودهای مختلف موجب بهبود خصوصیات رشدی و به‌تبع آن افزایش اجزای عملکرد ختمی شده است، ولی تلقیح با باکتری *تیوباسیلوس* در شرایط مصرف گوگرد احتمالاً با کاهش اسیدیته خاک در محیط ریزوسفر ریشه باعث افزایش میزان فراهمی نیتروژن و جذب فسفر نامحلول موجود در خاک به‌خصوص در مرحله زایشی شده که این امر با بهبود رشد گیاه و اختصاص مواد فتوسنتزی به اجزای زایشی گیاه بهبود اجزای عملکرد را به‌دنبال داشته است.

عملکرد گل و بذر ختمی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک قرار گرفت (p≤۰/۰۱) (جدول ۴). بالاترین عملکرد گل و بذر برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و *تیوباسیلوس*+ گوگرد به‌ترتیب برابر با ۱۷۵/۳۳ و ۹۹/۹۱ گرم بر متر-مربع و پایین‌ترین میزان برای شاهد به‌ترتیب برابر با ۳۲/۳۳ و ۹/۳۱ گرم بر مترمربع به‌دست آمد. در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در سطوح جداگانه *تیوباسیلوس* و گوگرد و عدم کاربرد، عملکرد گل بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد بهبود یافت، در حالی‌که مصرف کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در شرایط کاربرد *تیوباسیلوس*+گوگرد موجب بهبود به‌ترتیب ۱۰۶، ۸۹ و ۷۲ درصدی این صفت در مقایسه با شاهد شد. میزان افزایش عملکرد بذر در شرایط مصرف کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست تحت تأثیر کلیه سطوح جداگانه و تلفیقی تلقیح با *تیوباسیلوس* و کاربرد گوگرد و عدم مصرف این کودها بیش از ۱۰۰ درصد در مقایسه با شاهد بود (شکل ۵- الف و ب).

مصرف کودهای شیمیایی به‌دلیل تأثیر بر تحریک رشد رویشی و به‌ویژه تولید سطح برگ، میزان تولید مواد فتوسنتزی را بهبود داده که در نتیجه افزایش عملکرد این گونه دارویی را به‌دنبال داشته است. برخی تحقیقات نیز بهبود رشد و عملکرد تعدادی از گیاهان دارویی را در پاسخ به مصرف کودهای شیمیایی تأیید کرده است (Abd El-Wahab, 2007; Atanasov et al., 1979; Clark & Menary, 1980). استفاده از کود دامی و کمپوست نیز از طریق بهبود فعالیت-های میکروبی خاک و نیز فراهمی عناصر غذایی (Kartikeyan et al., 2008)، سبب افزایش فتوسنتز و بهبود ماده خشک گیاهی می-

شود که این مسئله در نتیجه می‌تواند منجر به افزایش عملکرد بیولوژیکی و دانه گیاه ختمی شود.



شکل ۵- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس* بر عملکرد گل (الف) و بذر (ب) گیاه ختمی

Fig. 5- Intarction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on flower (A) and seed yield (B) of marshmallow

T: *تیوباسیلوس* و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

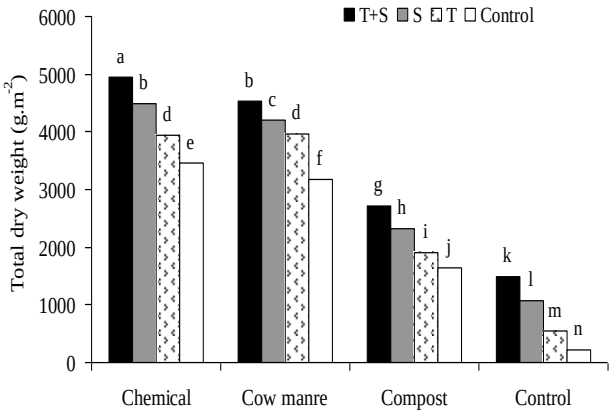
میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند (p≤۰/۰۵).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan (p≤0.05).

بچمن و متزگر (Bachman & Metzger, 2008) بیان کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست و کود دامی از طریق بهبود ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، دارا بودن مواد آلی و تقویت فعالیت-های شبه هورمونی گیاه باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود. نتایج مطالعه روی و سینگ (Roy & Singh, 2006) نشان داد که مصرف کودهای آلی، با افزایش فتوسنتز، بهبود تولید زیست‌توده جو را موجب می‌گردد. نتایج مطالعه پوریوسف و همکاران (Pouryousef et al., 2007) نیز نشان داد که اجزای عملکرد و به‌تبع آن عملکرد بذر اسفرزه در شرایط مصرف کودهای آلی بهبود یافت. این محققان دریافتند که کودهای آلی با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و بهبود خواص فیزیکی خاک باعث افزایش رشد گیاه شد و از این طریق بهبود اجزای عملکرد و عملکرد را موجب می‌گردد. درودیان و همکاران (Doroudian et al., 2010) گزارش کردند که اسید-لاکتیک و پس از آن مالیک، سوکسینیک و استیک مؤثرترین اسیدهای مترشحه از باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌باشند که می-توانند اسیدیته خاک را علی‌رغم خاصیت بافری تغییر دهند. به این ترتیب، به نظر می‌رسد که افزایش مصرف گوگرد همراه با باکتری-های *تیوباسیلوس* با کاهش موضعی اسیدیته ریزوسفر ریشه (Besharati, 2001) موجب بهبود حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک شده که در نتیجه به‌دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، بهبود عملکرد را موجب شده است. همچنین مصرف گوگرد به صورت تلفیقی با باکتری *تیوباسیلوس*، با بهبود جذب فسفر و در نتیجه افزایش ساخت ATP (Doroudian et al., 2010)، موجب افزایش اسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی شده که این امر با افزایش توسعه سطح برگ (شکل ۲) و بهبود ظرفیت فتوسنتزی (جدول ۵)، در نهایت بهبود عملکرد را موجب شده است. بدین ترتیب، اگرچه فراهمی عناصر غذایی موجود در کودهای شیمیایی تأثیر به‌سزایی بر بهبود رشد و نمو گیاهان دارد، اما از آن‌جا که برخی عناصر غذایی مانند فسفر به‌سرعت در خاک تثبیت می‌شوند، به‌نظر می‌رسد که تغذیه تلفیقی مصرف گوگرد و تلقیح با *تیوباسیلوس* با متعادل کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی‌های مورد نیاز بوته‌ها سبب افزایش رشد، تولیدات فتوسنتزی شده که در نهایت افزایش عملکرد را به‌دنبال داشته است. بدین ترتیب، مصرف تلفیقی عناصر غذایی را می‌توان به‌عنوان راهکاری مؤثر برای جبران کمبود عناصر غذایی مدنظر قرار داد که این امر علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، می‌تواند بهبود کارایی

مصرف عناصر غذایی را به‌دنبال داشته باشد.

اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد بیولوژیکی ختمی معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول ۴)، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیکی به‌ترتیب برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و *تیوباسیلوس*+ گوگرد و شاهد برابر با ۱۵۱۳/۲۸ و ۶۹/۶۰ گرم بر مترمربع حاصل گردید. عملکرد بیولوژیکی تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در کلیه سطوح جداگانه و تلفیقی تلقیح با *تیوباسیلوس*، مصرف گوگرد و عدم کاربرد بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد بهبود یافت (شکل ۶).



شکل ٦- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس* بر عملکرد بیولوژیکی گیاه ختمی

Fig. 6- Intarction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on biological yield of marshmallow

T: *تیوباسیلوس* و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p\leq$۰/۰۵).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan ($p\leq0.05$).

افزایش مصرف نهاده‌های مختلف با بهبود خصوصیات خاک و محتوی عناصر غذایی، موجب بهبود عملکرد بیولوژیکی گردید. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که مصرف ۱۵ تن در هکتار کود دامی زیست‌توده علف لیمو (*Cumbopogon citrates* (DC.) Stapf)[1] را ۱۰/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که دلیل این امر به توانایی کود دامی در افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود شرایط تغذیه‌ای خاک نسبت داده شد (Rao, 2001). تاماتی و همکاران (Tomati et al., 1988) افزایش رشد و عملکرد گیاهان در شرایط مصرف کودهای آلی را به بهبود خصوصیات بیولوژیکی تحت تأثیر افزایش فعالیت ریزموجودات خاکزی نسبت دادند. به نظر می‌رسد که مصرف گوگرد در شرایط تلقیح با *تیوباسیلوس* همراه با کاربرد کودهای مختلف با افزایش فراهمی، بهبود قابلیت جذب عناصر غذایی و افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی تحت تأثیر توسعه سطح برگ به عنوان اندام اصلی فتوسنتزکننده و افزایش ظرفیت فتوسنتزی طی مرحله رویشی، توانسته است در مرحله گلدهی و پس از آن با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن بهبود عملکرد بیولوژیکی را به‌دنبال داشته باشد. علاوه بر این، از آن‌جا که افزایش فراهمی فسفر قابل دسترس گیاه در خاک، موجب بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای می‌گردد و همچنین جذب آب و عناصر غذایی ضروری به‌ویژه نیتروژن را افزایش می‌دهد (Dordas, 2009)، مشخص است که تلقیح با *تیوباسیلوس* همراه با مصرف گوگرد با کاهش اسیدیته خاک و افزایش فراهمی فسفر در نتیجه موجب افزایش عملکرد بیولوژیکی شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که مصرف کودهای مختلف آلی و شیمیایی و تلقیح با *تیوباسیلوس* و کاربرد گوگرد به‌طور معنی‌داری خصوصیات رشد، اجزای عملکرد و عملکرد گل، دانه و بیولوژیکی گیاه دارویی ختمی را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که بهترین نتایج برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و فاکتور تلفیقی تلقیح با

1- Palmarosa

تیوباسیلوس+گوگرد حاصل گردید. کودهای آلی با بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، افزایش محتوی رطوبتی و فراهمی عناصر غذایی در خاک، موجب بهبود خصوصیات رویشی شد و در نهایت، افزایش عملکرد را موجب گردید. مصرف کودهای شیمیایی به‌دلیل تأثیر بر تحریک رشد رویشی و به‌ویژه تولید سطح برگ و میزان تجمع ماده خشک، تولید مواد فتوسنتزی را بهبود داده که در نتیجه افزایش عملکرد این گونه دارویی را به دنبال داشته است. همچنین مصرف گوگرد به‌صورت تلفیقی با باکتری *تیوباسیلوس* با کاهش اسیدیته، بهبود جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف و در نتیجه افزایش ساخت ATP، موجب افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی شده که این امر با افزایش توسعه سطح برگ و بهبود ظرفیت فتوسنتزی، در نهایت بهبود عملکرد را موجب گردید. بدین ترتیب، اگرچه فراهمی عناصر غذایی توسط کودهای مختلف آلی و شیمیایی تأثیر به‌سزایی بر بهبود رشد و نمو گیاهان دارد، اما از آن‌جا که برخی عناصر غذایی مانند فسفر به‌سرعت در خاک تثبیت می‌شوند، به‌نظر می‌رسد که تغذیه تلفیقی عناصر غذایی را می‌توان به‌عنوان راهکاری مؤثر برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک مدنظر قرار داد که این امر علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، می‌تواند بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی را به دنبال داشته باشد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۲/۲۶۹۷۲ مصوب ۱۳۹۲/۰۳/۲۲ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Abd El-Wahab, A.M. 2007. Effect of nitrogen and magnesium fertilization on the production of *Trachyspermum ammi* L. (Ajowan) plants under Sinai conditions. Journal of Applied Sciences Research 3(8): 781-786.

Akhavan, Z., Fallah, A.R., and Rezayi Amroabadi, S. 2012. Effect of sulfur and *Thiobacillus* inoculants on iron, zinc, copper and manganese concentration in canola in greenhouse condition. Journal of Agronomy and Plant Breeding 8(3): 191-197. (In Persian with English Summary)

Atanasov, Z., Slavov, S.I., Koseva, D., Decheva, R., and Gargova, N. 1979. Application of single and compound mineral fertilizers to peppermint. Plant Science 1: 61-65.

Azizi, M. 2000. Evaluation the impact of some environmental and physiological factors on growth and yield and essential oil content of hypericum under agronomic and in vitro conditions. PhD Thesis in Horticultural Sciences, College of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)

Bachman, G.R., and Metzger, J.D. 2008. Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. Bioresource Technology 99: 3155-3161.

Besharati, H. 2001. Preparing appropriate medium for *Thiobacillus* and study of it's interaction with VAM and grain yield of wheat. PhD Thesis, Tarbiat Modarres University 212 pp. (In Persian with English Summary)

Cao, H., Zhang, L., and Melis, A. 2001. Bioenergetic and metabolic processes for the survival of sulfur-deprived *Dunaliellasalina* (chlorophyta). Journal of Applied Phycology 13: 25-34.

Cheesman, A.W., Turne, B.L., and Reddy, K.R. 2011. Soil phosphorus forms along a strong nutrient gradient in a tropical Ombrotrophic wetland. Soil Science Society of America Journal 76: 1496-1506.

Clark, R.J., and Menary, R.C. 1980. The effect of irrigation and nitrogen on the yield and composition of peppermint oil (*Mentha piperita* L.**).** Australian Journal of Agricultural Research 31(3): 489–498.

Dawood, F., Al-Omaqri, S.M., and Murtatha, N. 1985. High level of sulfur affecting availability of some micronutrients in calcareous soil. pp. 55-68. In: Proceeding of Secondary Regional Conference on sulfur and its usage in Arab countries. Riyadh, 2-5 March 1985, Saudi Arabia.

De Araujo, A.S.F., de Melo, J., and Singh, R.P. 2010. Municipal solid waste compost amendment in agricultural soil: Change in soil microbial biomass. Reviews in Environmental Science and Biotechnology 9: 41-49.

Dordas, C. 2009. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation: partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relation. European Journal of Agronomy 30: 129-139

Doroudian, H.R., Besharati Kelayeh, H., Fallah Nosrat Abad, A.R., Heidary Sharif Abadi, H., Darvish, F., and Allahverdi, A. 2010. Study of absorbable phosphorus changes in lime soils and its impact on corn yield. Agricultural

Modern Knowledge (Modern Knowledge of Sustainable Agriculture) 6(18): 27-35. (In Persian with English Summary)

Gardner, F.P., Pearce, B., and Mitchell, R. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, Science 327 pp.

Iran Nejad, H., Shahbazian, N., and Piri, P. 2006. Evaluation of distribution and nitrogen fertilizer effect on yield of marshmallow as a medicinal plant under Kashan region. The First Regional Conference of Herbs, Spices and Aromatic Plants. Shahrekord, Iran. p. 4. (In Persian)

Karla, A. 2003. Organic Cultivation of Medicinal and Aromatic Plants. A Hope for Sustainability and Quality Enhancement. Journal of Organic Production of Medicinal, Aromatic and Dye-Yielding Plants (MADPs). FAO.

Kartikeyan, B.C., Abdul Jaleel, G.M., Lakshmanan, A., and Deiveekasundaram, M. 2008. Studies on rhizosphere microbial diversity of some commercially important medicinal plants. Colloids and Surfaces B: Bionterfaces 62: 143-145.

Lambers, H., Chapin, F.S., and Pones, T.L. 2008. Plant Physiological Ecology. 2nd Edition Springer. 604 pp.

Leithy, S., El-Meseiry, T.A., and Abdallah, E.F. 2006. Effect of biofertilizer, cell stabilizer and irrigation regime on rosemary herbage oil quality. Journal of Applied Sciences Research 2: 773-779.

Maeder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., and Niggli, U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science 296(5573): 1694-1697.

Mkhabela, M.S., and Warman, P.R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake bye two vegetable crops grown in a pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystems and Environment 106: 57-67.

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rzvani Moghaddam, P., and Beheshti, A.R. 2001. Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran. (In Persian)

Omid Beigi, R. 1995. Approaches for Production and Processing of Medicinal Plants. Tarrahan-e-Nashr Publication, Iran. (In Persian)

Pandey, R. 2005. Management of *Meloidogyne incognita* in *Artemisia pallens* with bio-organics. Phytoparasitica 33: 304-308.

Pathirathna, L.S.S., Waidyanatha, U.P.De.S., and Peries, O.S. 1989. The effect of apatite and elemental sulfur mixtures on the growth and P content of Centrocema pubescent. Fertilizer Research 21: 37-43.

Patra, D.D., Anwar, M., and Chand, S. 2000. Integrated nutrient management and waste recycling for restoring soil fertility and productivity in Japanese mint and mustard sequence in Uttar Pradesh, India. Agriculture, Ecosystems and Environment 80: 267-275.

Pimentel, D. 1993. Economics and energies of organic and conventional farming. Journal of Agriculture and Environment Ethics 6: 53-60.

Pouryousef, M., Chaichi, M.R., and Mazaheri, D. 2007. Effect of different soil fertilizing systems on seed and mucilage yield and seed P content of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). Plant Sciences 6: 1088-1092.

Rao, B.R.R. 2001. Biomass and essential oil yields of rainfed palmarosa (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats. var. motia Burk.) supplied with different levels of organic manure and fertilizer nitrogen in semi-arid tropical climate. Industrial Crops and Products 14: 171-178.

Roy, D.K., and Singh, B.P. 2006. Effect of level and time of nitrogen application with and without vermicompost on yield, yield attributes and quality of malt barley (*Hordeum vulgare* L.). Indian Journal of Agronomy 51: 40-42.

Samsam Shariat, H. 1995. Production and Reproduction of Medicinal Plants. Mani Publication, Iran. (In Persian)

Scott, M.A. 1988. The use of worm-digested animal wastes as a supplement to peat in leas composts for hardy nursery stocks. p. 221-229. In: Edwards, C.A., and Neuhayser, E. (Eds.) Earthworm in Waste and Environmental Management. SPB Academic Press, Netherlands.

Shabahang, J., Khorramdel, S., Siahmargue, A., and Gheshm, R. 2016. Evaluation of integrated management of organic manure application and mycorrhiza inoculation on growth criteria, qualitative and essential oil yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under Mashhad climatic conditions. Journal of Agroecology 6(2): 353-363. (In Persian with English Summary)

Sing, A.K., Bisen, S.S., Sing, R.B., and Biswas, S.C. 1998. Effectiveness of compost towards increasing productivity of some medicinal plants in skeletal soil. Advances in Forestry Research in India 18: 64-83.

Singh, M., and Guleria, N. 2013. Influence of harvesting stage and inorganic and organic fertilizers on yield and oil

composition of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) in a semi-arid tropical climate. Industrial Crops and Products 42: 37-40.

Taiz, L., and Zeiger, E. 2006. Plant Physiology. The Benjamin Publishing Co. 764 pp.

Tate, R.L. 1995. The Sulfur and Related Biogeochemical Cycle. p. 359-372. In: Soil Microbiology, John Willey and Sons INC, New York.

Tisdale, S.L., Nelson, W.L., J.D., Beaton and Havlin, J.L. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5th ed. McMillan Publishing Co., New York.

Tomati, U., Grappei, A., and Gaili, E. 1988. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. Biology and Fertility of Soils 5: 288-294.

Vance, C.P., Uhde-Stone, C., and Allan, D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing a non- renewable resource. New Physiology 157: 423-447.

Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil 255: 571-586.

Zapata, F., and Roy, R.N. 2004. Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agriculture. A Joint Publication of the FAO Land and Water Development Division and the International Atomic Energy Agency. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2004.

Joy, P.P., Thomas, J., Mathew, S., and Skaria, B.P. 1998. Medicinal plants. Kerala Agricultural University. Aromatic and Medicinal Plants Research Station. Odakkali, Asamannoor P.O., Ernakulam District, Kerala, India 211 pp.

Journal of Agroecology
Vol. 10, No.3, Fall 2018, p. 603-619

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۶۱۹-۶۰۳

Evaluation of the Integrated Effect of Organic, Chemical and Biological Fertilizers on Yield of Marshmallow (*Althea officinalis* L.) as a Medicinal Plant

S. Khorramdel[1*], P. Rezvani Moghaddam[2], H. Azizi[3], J. Shabahang[4] and M. Seyedi[5]

Submitted: 10-05-2013
Accepted: 05-12-2013

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Azizi, H., Shabahang, J., and Seyedi, M. 2018. Evaluation of the integrated effect of organic, chemical and biological fertilizers on yield of marshmallow (*Althea officinalis* L.) as a medicinal plant. Journal of Agroecology. 10(3): 603-619.

Introduction

Medicinal plants have an important role in different industries. So, increasing production of their yields is necessary. Medicinal plants contain phytochemical compounds which have demonstrated bioactive properties. The active principles of the plants are generally secondary metabolites. The use of ecological farming methods, may improve yield and quality. In the last decade, agricultural production, which is mainly based on the use of chemical material, is causing environmental problems. One of the pathways to mitigate this environmental impacts, is to apply the long-term approaches based on the principles of ecological agriculture. Soil microorganisms are the primary metabolites production in the soil can affect the results in the release of phosphorus. Compost can be used as an organic matter in controlling different types of debris and the reduction in fertilizer consumption in agricultural products and mineral absorption elements improve low consumption by plants. Present study aims to investigate the possibility of improving the growth, flower yield, shoot yield, seed yield and yield components of marshmallow as a medicinal plant affected as integrated management of organic, chemical and biological fertilizers.

Materials and Methods

A field experiment was performed as factorial layout based on a randomized complete block design with three replications at Agricultural Research Station, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during growing season of 2012-2013. The experimental treatments were all combination of organic and chemical fertilizers in four levels (cow manure (40 ton.ha^{-1}), urban compost (40 ton.ha^{-1}), NPK as chemical fertilizer (114, 18 and 220, 40 kg.ha^{-1}) and control) and inoculation with *Thiobacillus* and sulphur application in four levels (including inoculation with *Thiobacillus*, 200 kg.ha^{-1} sulphur + inoculation with *Thiobacillus*, 200 kg.ha^{-1} sulphur and control). plant height, leaf areal index$_{max}$ (LAI$_{max}$), leaf dry weight, stem dry weight, total dry weight, flower, seed yield and yield components such as branch number, capsule number, number seed per capsule and 1000-seed weight and flower, seed and biological yield of marshmallow.

To analyze the variance of the experimental data and drawing of diagrams, MSTAT-C 8 and Excel software was used. All the averages were compared according to Duncan's multiple range test ($p\leq0.05$)

Results and Discussion

The results showed that the effect of organic, chemical and biological fertilizers were significant ($p\leq0.01$) on plant height, LAI$_{max}$, leaf dry weight, stem dry weight, total dry weight, flower and seed yield, yield components and biological yield of marshmallow. At the end of the growing season, the highest and the lowest LAI$_{max}$ were observed in chemical fertilizer with *Thiobacillus* +sulphur (12.3) and control (1.3). The maximum flower and seed yields were recorded in chemical fertilizer with *Thiobacillus* +sulphur (175.33 and 99.91 g.m^{-2},

1, 2, 3 and 4- Associate Professor, Professor, Ph.D Student and Ph.D Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferodwsi University of Mashhad, Iran, respectively.
5- Ph.D Department of Plant Production, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh (Former Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferodwsi University of Mashhad), Iran.
(*- Corresponding Author Email: Kkorramdel@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v10i3.28104

respectively) and the minimum were obtained in control treatments (32.33 and 9.31 $g.m^{-2}$, respectively). Flower yield enhanced up to 100% under chemical, cow manure and compost fertilizers without *Thiobacillus* +sulphur, *Thiobacillus*, sulphur compared to control treatment. Flower yield improved up to 106, 89 and 72% for chemical fertilizer, cow manure and compost application with *Thiobacillus* +sulphur, respectively.

Conclusion

According to the results obtained in the present study, organic, chemical and biological fertilizers had significant effects on growth, shoot yield, flower yield, seed yield, biological yield and yield components of marshmallow. Therefore, due to the high pH of soils in agroecosystems, integrated application of sulphur with *Thiobacillus* inoculation could be considered as an effective approach for soil fertility improvement. organic matter increase soil water holding capacity, improving plant hormone-like activity, increase nutrient uptake by plants, and generally improve the growth and yield of medicinal plant.

Acknowledgement

This research was funded by Vice Chancellor for Research of Ferdowsi University of Mashhad, which is