FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume10, Number1, Spring, (2024)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

Investigating the effect of using vermicompost enriched with microorganisms on growth and resistance of tomato against root-knot nematode and Fusarium wilt

Amin Radmard Titkanloo[1]; Abdolhossein Taheri[2*]; Seyed Esmaeil Razavi[2]

1. Ph.D. Student, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[*]2. Associate Professor, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
* Email Address: a.taheri@gau.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2024/08/02
Revised Date:
2024/08/08
Accepted Date:
2024/11/11
Published Date:
2024/12/10

Keywords:
Antagonist bacteria,
Fusarium wilt,
Mycorrhiza,
Root-knot nematode,
Vermicompost

ABSTRACT

Controlling soil-borne diseases is one of the main problems in tomato production. The present study was conducted to investigate the effect of using vermicompost enriched with bacteria and fungi on growth parameters of tomato plants infected with root-knot nematode (Meloidogyne javanica) and Fusarium wilt (Fusarium oxysporum). Vermicompost applications were considered at control, optimum, and excessive levels. Biocontrol agents were mycorrhizal fungi (Glomus mosseae) and two antagonist bacteria (Bacillus subtilis and Pseudomonas putida). These biocontrol agents were used individually, in binary combinations, and also in a ternary combination at different levels of vermicompost application. Growth parameters, including shoot wet and dry weights, root wet and dry weights, and chlorophyll index, were measured at the end of the experiments. The results showed that vermicompost application at both levels, as well as biocontrol agent inoculation in all of the combined treatments, significantly ($P < 0.001$) improved the growth parameters of the plants infected with pathogens. The highest levels of the most investigated parameters were obtained for the combination of all three biocontrol agents at both vermicompost levels and infection with Fusarium fungi, while the lowest scores of growth parameters were obtained at control conditions for vermicompost application and biocontrol agents and infection with both pathogens. Overall, our findings indicated the considerable effects of the combined use of vermicompost and biocontrol agents in improving tomato plants' defense against root-knot nematode and Fusarium fungi and, consequently, higher growth levels of the plants.

Cite this article: Amin Radmard Titkanloo , Abdolhossein Taheri , Seyed Esmaeil Razavi (2024)., Investigating the effect of using vermicompost enriched with microorganisms on growth and resistance of tomato against root-knot nematode and Fusarium wilt , Journal of Environmental Sciences Studies, 10 (1),Pages 9902 – 9916.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Controlling damages caused by pests and pathogens, especially soil-borne diseases related to tomato plants, has a significant role in improving the quantitative and qualitative performance of its production (Chen and Roberts, 2003; FAO, 2020). Fusarium wilt of tomato is known as one of the important diseases of this plant in fields and greenhouse conditions (Abdel-Monaim, 2012; Cha et al., 2019). Also, root-knot nematodes (including species of the genus Meloidogyne) are the most important plant parasitic nematodes from an economic point of view in the world. Biological control is one of the natural methods of controlling plant pathogens and reducing their damage to plants (Migunova and Sasanelli, 2021). Many bacteria and fungi are used to control pathogens in different plant species, which have different antagonistic potential against different pathogens (Siddiqui and Akhtar, 2008; Bai et al., 2018). Some biological products, such as vermicompost, are also used as alternative or complementary methods in the biocontrol of pathogens (Yatoo et al., 2021). these products can significantly reduce the pathogenicity levels of soil pathogens (Basco et al., 2017; Bisen and Singh, 2019). The effect of biocontrol agents and fertilizer products, such as vermicompost, in improving the resistance of tomato plants to soil pathogens has been separately investigated in various studies. However, only some studies have evaluated the effects of the combined use of these agents. The present study was conducted to investigate the effect of the combined use of biological inhibitors and vermicompost on the control of soil pathogens.

Materials and methods

The present study was conducted to investigate the effect of using vermicompost enriched with bacteria and fungi on growth parameters of tomato plants infected with root-knot nematode (Meloidogyne javanica) and Fusarium wilt (Fusarium oxysporum). Vermicompost applications were considered at control, optimum, and excessive levels. Biocontrol agents were mycorrhizal fungi (Glomus mosseae) (G.) and two antagonist bacteria (Bacillus subtilis (B.) and Pseudomonas putida (P.)). These biocontrol agents were used individually (B.; P.; G.), in binary combinations (B. & P.; B. & G.; P. & G.), and also in a ternary combination (B.P.G.) at different levels of vermicompost application. Growth parameters, including shoot wet and dry weights, root wet and dry weights, and chlorophyll index, were measured at the end of the experiments.

Results and discussion

The lowest values of wet and dry weights of aerial parts under the triple effects ($P < 0.001$) of vermicompost level, enrichment treatments, and pathogens belonged to the control condition, and the highest levels of these parameters were obtained with B. & G., and B.P.G treatments under application of vermicompost excessive level and with F. oxysporum. In each enrichment treatment, the values of these parameters were higher in enrichment with G. mosseae than B. subtilis, and P. putidae was at the next level. The optimum and excessive vermicompost treatments showed higher amounts of wet and dry weights of aerial parts compared to the control condition (no use of vermicompost). The results of root wet and dry weight indicated that treatments with no use of vermicompost and without enrichment led to the lowest levels of these parameters for both pathogens. Vermicompost application at optimum and excessive levels resulted in higher wet and dry weights, especially for the treatments with G. mosseae enrichment (including G. mosseae, B. & G., P. & G., and B.P.G). The highest levels of these variables were obtained with the excessive vermicompost level and under the effect of F. oxysporum. The lowest chlorophyll index score was obtained under the effect of both pathogens and its highest levels belonged to the F. oxysporum. Comparing the means for the interaction of vermicompost and enrichment indicated the highest chlorophyll index in B.P.G. enrichment treatment and the lowest index level was measured with the control condition (i.e., no use of vermicompost).

Conclusion

The findings of the present study showed that using biocontrol agents combined with vermicompost application can significantly improve the resistance of tomato plants against soil-borne diseases and lead to higher levels of root and aerial parts growth and better photosynthetic performance. This effect was much higher using the simultaneous application of all biocontrol treatments compared to their separate usage.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۰، شماره ۱
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

بررسی تأثیر استفاده از ورمی کمپوست غنی شده میکروارگانیسم‌ها بر رشد و مقاومت گیاه گوجه‌فرنگی در برابر نماتد ریشه گرهی و بیماری پژمردگی فوزاریومی

امین رادمرد تیتکانلو[۱]، عبدالحسین طاهری[۲*]، سید اسماعیل رضوی[۲]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، دانشکده تولید گیاهی ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
*۲- دانشیار، دانشکده تولید گیاهی ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
*ایمیل نویسنده مسئول: a.taheri@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۵/۱۲
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۵/۱۸
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۸/۲۱
تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۰۹/۲۰

کلید واژه ها:
باکتری‌های آنتاگونیست،
پژومردگی فوزاریومی،
نماتد ریشه گرهی،
میکوریزا،
ورمی کمپوست

چکیده

مهار بیمارگرهای خاک‌زی یکی از مهمترین مسائل مربوط به تولید گوجه‌فرنگی است. در این مطالعه به بررسی تأثیر استفاده از ورمی‌کمپوست غنی‌شده با باکتری و قارچ بر پارامترهای رشد گیاه گوجه‌فرنگی در مواجهه با نماتد ریشه گرهی (Meloidogyne javanica) و بیماری پژمردگی فوزاریومی (Fusarium oxysporum) پرداخته شد. تیمارهای ورمی-کمپوست شامل شاهد، سطح متعادل و سطح بیش‌بود از این فرآورده بود. عوامل مهارگر زیستی نیز عبارت بودند از قارچ میکوریزا (Glomus mosseae) و باکتری‌های آنتاگونیست Bacillus subtilis و Pseudomonas putida. این عوامل مهار زیستی به صورت منفرد، ترکیب‌های دوتایی و همچنین ترکیب سه‌تایی در سطوح مختلف ورمی‌کمپوست مورد استفاده قرار گرفتند. صفات رشدی مورد بررسی عبارت بودند از وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و شاخص کلروفیل. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از ورمی‌کمپوست در هر دو سطح بکارگرفته شده و همچنین عوامل مهار زیستی به شکل معنی‌داری ($P < 0.001$) در تمامی تیمارهای آزمایشی ارتقای ویژگی‌های رشدی گیاهان را در مواجهه با عوامل بیماری‌زا به صورت منفرد و ترکیبی سبب شده است. بیشترین مقادیر پارامترهای رشد مورد بررسی عمدتاً در تیمارهای استفاده از ورمی‌کمپوست و ترکیب هر سه عامل مهارگر در مواجهه با قارچ فوزاریوم به دست آمد. کمترین مقادیر این پارامترها نیز مربوط به شرایط عدم استفاده از ورمی‌کمپوست و عوامل مهارگر در مواجهه با هر دو عامل بیماریزا اندازه‌گیری شد. به طور کلی، یافته‌ها حاکی از تأثیر قابل‌توجه تلفیق ورمی‌کمپوست و عوامل زیستی بر ارتقای سطح مقاومت گیاه گوجه‌فرنگی در برابر نماتد ریشه گرهی و قارچ فوزاریوم و بهبود شاخص‌های رشد در این گیاهان بود.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/jess.2024.471264.2287

۱-مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از مهم‌ترین گیاهان نواحی نیمه خشک و مدیترانه‌ای است که در تمامی نواحی ایران قابل کشت است. ایران یکی از تولیدکنندگان اصلی این محصول در جهان محسوب می‌گردد (FAO, 2020). با توجه به سطح زیر کشت وسیع این محصول در ایران و عدم رعایت مناسب نکات کاشت و داشت این گیاه، کنترل خسارت‌های ناشی از آفات و بیماری‌های مرتبط با آن بخصوص بیماری‌های خاک‌زی نقش قابل توجهی در ارتقای عملکرد کمی و کیفی تولید این محصول خواهد داشت (Chen and Roberts, 2003; FAO, 2020). پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی به عنوان یکی از بیماری‌های مهم این گیاه در سطح مزارع و گلخانه‌ها شناخته شده است (Abdel-Monaim, 2012; Cha et al., 2019). این بیماری عملکرد محصول را در کشورهای مختلف به میزان ۲۰ تا ۶۰ درصد کاهش داده است (Liu et al., 2010). بیماری پژمردگی فوزاریومی به دلیل دارا بودن خصوصیاتی از قبیل برخورداری از انتشار گسترده، ایجاد خسارات قابل توجه، بقای طولانی مدت در خاک، داشتن نژادهای فیزیولوژیک مختلف و مشکل بودن مبارزه شیمیایی با آن، در ردیف مهمترین بیماری‌های گوجه‌فرنگی قرار گرفته است (Jones et al., 1999; Agrius, 2004; Rajik et al., 2012; Juber et al., 2014). از این رو، مهار این بیماری می‌تواند در ارتقای تولید این محصول نقش بسیار مهمی را داشته باشد. نماتدهای ریشه گرهی (شامل گونه‌های جنس Meloidogyne) مهمترین نماتدهای پارازیت گیاهی از نظر اقتصادی در سطح جهان می‌باشند. این نماتدها با توجه به وسعت انتشار بالا، تعداد فراوان گونه، دامنه وسیع میزبانی و برهم‌کنش با دیگر عوامل بیماری‌زای گیاهی، از مهمترین نماتدهای خسارت‌زای کشاورزی در جهان و همچنین یکی از گروه‌های مهم انگل‌های گیاهی به حساب می‌آیند (Oka et al., 2000; Peyvast, 2007; Nasresfahani and Ahmadi, 2010). گونه‌های این جنس پارازیت‌های اجباری و داخلی ساکن هستند که روی تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی به سر می‌برند و دامنه میزبانی آن‌ها بیش از ۳۰۰۰ گونه گیاهی را شامل می‌شود (Devran, 2003; Lamberti, 2004). تولید گال و یا غده توسط گونه‌های مختلف جنس Meloidogyne از علائم شایع این نماتدها می‌باشد و رشد و نمو سلول‌ها به سرعت در پاسخ به تغذیه لاروهای سن دوم شروع می‌شود. این نماتدها همچنین موجب القای تشکیل سلول‌های غول‌آسا (Giant cells) در بافت‌های آوندی می‌شوند (خلیقی و همکاران، ۱۳۸۹). اثرات متقابل این عوامل بیمارگر با سایر عوامل بیماریزا تشدیدشونده بوده به طوری که خسارت وارده به گیاه ناشی از آن‌ها بیشتر از مجموع خساراتی خواهد بود که هر یک از این عوامل بیماری‌زا به صورت جداگانه به گیاه وارد می‌سازند. محتوای بالای مواد غذایی در سلول‌ها یک محیط مناسب برای رشد و تکثیر قارچ‌های عامل پژمردگی مانند فوزاریوم، ورتیسیلیوم و باکتری‌هایی مثل سودوموناس را فراهم می‌کنند که گاهی باعث شکسته‌شدن مقاومت گیاه در برابر حمله بیمارگرهای قارچی یا باکتریایی می‌شوند (Walia et al., 2003). مهار زیستی از جمله روش‌های طبیعی مهار عوامل بیماریزای گیاهی و کاهش خسارات ناشی از آن‌هاست (Migunova and Sasanelli, 2021؛ ملکی زیارتی، ۱۳۸۷). امروزه مهار زیستی عوامل بیماری‌زای گیاهی با رویکرد کاهش اثرات نامطلوب سموم شیمیایی از جمله تهدید سلامت بشر، آلودگی محیط‌زیست، از بین بردن میکروارگانیسم‌های غیرهدف و ظهور مقاومت در بیمارگرها، یکی از اصول مهم در مهار عوامل بیماری‌زای گیاهی محسوب می‌گردد. استفاده از قارچ‌ها و باکتری‌ها در مهار عوامل بیمارگر گیاهی خصوصاً قارچ‌ها و نماتدها در جهان رو به افزایش است. این میکروارگانیسم‌ها به آسانی تولید می‌شوند، سمیت کمی دارند، در مهار زیستی قارچ‌های خاک‌زی، هوازی و نماتدها از اثرگذاری بالایی برخوردار بوده و از نظر اکولوژیکی و بیولوژیکی نیز خصوصیات مفید متعددی دارند (Nimnoi and Ruanpanun, 2020؛ صارمی و زند، ۱۳۸۲). طیف گسترده‌ای از باکتری‌ها و قارچ‌ها برای مهار عوامل بیمارگر در گونه‌های مختلف گیاهی مطرح هستند که از توان آنتاگونیستی متفاوتی نسبت به بیمارگرهای مختلف برخوردار می‌باشند (Siddiqui and Akhtar, 2008; Bai et al., 2018). باکتری‌ها به واسطه داشتن ویژگی‌هایی خاص عوامل مناسبی برای مهار زیستی محسوب می‌شوند از جمله: تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، ترشحات مایع خارج سلولی و ترکیبات فرار، تولید سیدروفور، ایجاد مقاومت سیستمیک القایی و تولید اندوسپورهای مقاوم. قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار نیز تأثیر قابل توجهی بر تعاملات و روابط متقابل گیاه با سایر میکروارگانیسم‌ها دارند (نورالدین و همکاران، ۱۳۹۸). افزایش مقاومت به بیمارگرهای خاک‌زی به طور گسترده در نتیجه استفاده از عوامل مهارکننده زیستی در گیاهان گزارش شده است (Hao et al., 2005). استفاده از عوامل و فرآورده‌هایی همچون ورمی‌کمپوست به عنوان روش‌هایی جایگزین و یا تکمیلی در مهار زیستی بیمارگرها بکار گرفته می‌شود (Yatoo et al., 2021؛ آهومنش، ۱۳۸۵؛ علیخانی، ۱۳۸۵). ورمی‌کمپوست کودی است که از تجزیه میکروبی و ثبات مواد آلی تحت تأثیر عکس‌العمل بین کرم‌های خاکی و میکروارگانیسم‌های مختلف به دست می‌آید. مکانیسم اثر ورمی‌کمپوست در مهار بیمارگرها شامل دو بخش اصلی است: الف) مقاومت سیستمیک گیاهی که ناشی از تغذیه مناسب گیاه در نتیجه مصرف کود و نوع نیتروژن قابل دسترس گیاه است و در مقابل به دلیل وجود عناصر غذایی متعادل و قابل جذب در کود، گیاه از قابلیت تحمل بالاتری نسبت به عوامل خسارت‌زا برخوردار خواهد شد که کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها را به دنبال دارد (Atiyeh et al., 2000)؛ ب) رقابت میکروبی که همان تنوع زیستی میکروارگانیسمی موجود در ورمی کمپوست به ویژه عوامل آنتاگونیست است، موجب رقابت با عوامل خسارت‌زا می‌گردد (Singh et al., 2009; Sinha et al., 2009). در مجموع، بکارگیری این فرآورده‌ها به شکل قابل توجهی می‌تواند کاهش سطوح بیماریزایی عوامل بیمارگر خاک‌زی را به همراه داشته باشد (Basco et al., 2017; Bisen and singh, 2019). تأثیر عوامل مهار زیستی و همچنین فرآورده‌های کودی مانند ورمی‌کمپوست

به صورت مجزا در ارتقای مقاومت گیاه گوجه‌فرنگی نسبت به عوامل بیمارگر خاک‌زی در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، اما مطالعات معدودی به ارزیابی اثرات بکارگیری ترکیبی این عوامل پرداخته‌اند. برای مثال، در مطالعه Sohrabi et al. (2020) تأثیر استفاده همزمان از Glomus mosseae، Bacillus و Trichoderma harzianum بر پارامترهای رشد و کنترل نماتد Meloidogyne javanica مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده ترکیبی از این عوامل منجر به کاهش خسارت ناشی از عامل بیمارگر در مقایسه با استفاده منفرد از آنها شده است. در مطالعه دیگری، فکرت و همکاران (۱۳۹۶)، تأثیر استفاده از ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریز Glomus versiform بر کنترل قارچ Fusarium oxysporum در گیاه گوجه‌فرنگی را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نیز نشان داد استفاده ترکیبی از این عوامل در مقایسه با استفاده مجزا از آنها به شکلی مؤثرتر منجر به کنترل بیماری فوزاریومی گوجه‌فرنگی علاوه بر بهبود رشد و سلامت گیاه شده است. بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست، قارچ مایکوریزا (Glomus mosseae) و باکتری‌های آنتاگونیست Bacillus subtilis و Pseudomonas putida بر ویژگی‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی در حضور عوامل بیمارگر خاک‌زی پژمردگی فوزاریومی (Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici (004)) و نماتد ریشه گرهی (Meloidogyne javanica) در شرایط گلخانه‌ای بود.

۲-روش انجام تحقیق

- **تهیه و تکثیر زادمایه قارچ مایکوریزا**

زادمایه قارچ مایکوریزا (Glomus mosseae) از کلکسیون گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه تبریز تهیه شد و به روش کشت گلدانی تکثیر شد. خاک شنی مورد استفاده با بافت درشت از طریق بخار آب با دمای ۹۰ درجه سلسیوس و به مدت ۱ ساعت و در دو روز متوالی پاستوریزه گردید. مقدار ۱۰۰ گرم مخلوط خاک و ریشه انتخاب و با محیط پایه (مخلوط ۲ به ۱ شن و خاک استریل) مخلوط گردید. این مخلوط‌ها در لیوان‌های پلاستیکی کوچک به عنوان گلدان جای داده شد. گیاه میزبان انتخابی به عنوان گیاه تله در این مطالعه، گیاه شبدر برسیم (Trifolium alexandrinum) بود. بذرهای شبدر ابتدا توسط هیپوکلریت سدیم ۲ درصد و به مدت ۱۰ دقیقه روی شیکر ضدعفونی سطحی شده و سپس چندین بار توسط آب مقطر شستشو داده شدند تا اثرات کلر از بین برود. تعداد ۶ تا ۸ بذر در هر لیوان کشت گردید که پس از جوانه‌زنی و رشد، تنها ۳ تا ۴ عدد گیاهچه حفظ شد. این لیوان‌ها به مدت ۳ هفته در شرایط گلخانه‌ای مطلوب نگه‌داری شدند. پس از این مدت، کل محتویات لیوان‌ها به گلدان‌های بزرگ‌تر (۳ کیلویی) حاوی مخلوط شن و ماسه استریل انتقال یافت و مجدداً در شرایط گلخانه‌ای به مدت ۴ ماه نگه‌داری شدند. در این مدت، از مکمل غذایی لانگ اشتون (جدول ۱) نیز جهت آبیاری گیاهان با فواصل زمانی مشخص (یکبار در هفته) استفاده شد. پس از ۴ ماه آبیاری گلدان‌ها قطع شده و پس از خشک شدن گیاه، بخش هوایی آن‌ها به منظور تحریک قارچ به تولید اسپور بیشتر حذف شده و گلدان‌ها در سایه و به مدت ۲ تا ۳ هفته نگه‌داری شدند (قربانی، ۱۳۹۰).

جدول ۱. نوع و مقدار ترکیبات محلول غذایی لانگ اشتون

ماده	مولاریته (میلی‌مولار)	عنصر	غلظت (گرم در لیتر)
KNO_3	۵	K, N	۰/۵۰۵
$Ca(NO_3)_2$	۴	Ca, N	۰/۶۵۶
$NaH_2PO_4.2H_2O$	۱/۳۳	P, Na	۰/۲۰۸
$MgSO_4.7H_2O$	۳	Mg	۰/۳۶۹
$Fecitrate.5H_2O$	۰/۱	Fe	۰/۰۲۴۵
$MnSO_4$	۰/۰۱	Mn	۰/۰۰۲۲۳
$CuSO_4.5H_2O$	۰/۰۰۱	Cu	۰/۰۰۰۲۴
$ZnSO_4.7H_2O$	۰/۰۰۱	Zn	۰/۰۰۰۲۹۶
NaCl	۰/۱	Cl	۰/۰۰۵۸۵
$(NH_4)_6.Mo_7O_{24}.4H_{26}$	۰/۰۰۰۲	Mo	۰/۰۰۰۰۳۵

- **تهیه و تکثیر باکتری‌های آنتاگونیست Bacillus subtilis و Pseudomonas putida**

جدایه‌های باکتری‌ها از مرکز کلکسیون میکروارگانیسم‌های صنعتی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه و جهت آماده سازی برای مهار زیستی از روش Shanmugam et al., (2011) با اندکی تغییر استفاده شد. ابتدا جدایه‌های باکتری به تشتک‌های پتری حاوی محیط کشت Nutrient Agar (NA) انتقال یافت و پس از ظهور کلنی‌های باکتری، مورد آزمایش قرار گرفت. به منظور تهیه

غلظت منا سب از باکتری‌ها، ابتدا جدایه مذکور در محیط ک شت مایع Nutrient Broth (NB) ک شت داده شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت روی د ستگاه شیکر با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در دمای ۲۵ درجه سل سیوس قرار داده شدند. پس از ریختن محیط ک شت‌های حاوی باکتری‌های آنتاگونیست در لوله‌های فالکون، این لوله‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند و فاز بالایی آن بردا شت شد. سپس با ا ستفاده از د ستگاه ا سپکتروفتومتر در طول موج ۶۰۰ نانومتر از طریق رقیق سازی با آب مقطر ا ستریل جمعیت مناسبی از باکتری (10^8 CFU/ml) تنظیم گردید.

- **تهیه مایه تلقیح نماتد**

به منظور بررسی و تهیه مایه تلقیح نماتد ریشه گرهی، نمونه‌های خاک و ریشه آلوده به نماتد دارای گال و گره از گلخانه‌های استان خرا سان ر ضوی جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای ۴ درجه سل سیوس نگه‌داری شدند. در آزمایشگاه پس از شستشوی ریشه‌ها، در زیر بینوکولر به کمک پنس تک توده تخم‌ها از گال‌های ریشه جدا و جهت تکثیر جمعیت خالص نماتد، هر کدام در نزدیکی نشاهای بیست روزه گوجه‌فرنگی قرار داده شدند و به مدت ۶۰ الی ۷۰ روز در شرایط مساعد گلخانه‌ای نگه‌داری شدند. در ادامه نماتدهای ماده بالغ از گال‌ها خارج و جهت مشاهده شبکه کوتیکولی انتهای بدن از ناحیه مذکور برش تهیه شد. از توده تخم نماتدهای شنا سایی شده جهت تکثیر و ا ستفاده در مراحل بعدی آزمایش ا ستفاده شد. پس از گذ شت زمان لازم و اطمینان از خلوص جمعیت نماتد، تعدادی تخم از ریشه‌ها جدا شد و در مجاورت نشاهای ۲۰ روزه قرار داده شدند. گیاهان برای تکثیر پی‌درپی و تأمین مایع تلقیح موردنیاز، دو ماه در گلخانه با شرایط و دمای ۲۵ تا ۲۸ درجه سلسیوس نگه‌داری شدند (حیدری سورشجانی، ۱۳۹۴). به منظور ا ستخراج مایه تلقیح، پس از بیرون آوردن بوته‌های گیاه از خاک، ریشه‌ها به دقت زیر آب شسته شدند. سپس ریشه‌ها با ا ستفاده از قیچی به قطعات یک تا دو سانتی‌متری خرد شده و به مدت دو دقیقه همراه با محلول هیپوکلرید سدیم ۵ درصد در مخلوط‌کن مخلوط شدند. سپس محتویات به دست آمده به سرعت از الک‌های با مش ۵۰، ۱۸۰ و ۴۰۰ عبور داده شدند و پس از شست‌و شوی ریشه‌های خرد شده با جریان آب، تخم‌ها به آرامی روی الک با مش ۴۰۰ جمع‌آوری گردید. پس از ر ساندن حجم سو سپانسیون به د ست آمده به ۱۰۰ میلی‌لیتر، این محلول به عنوان محلول پایه مورد ا ستفاده قرار گرفت. پس از شمارش، تخم‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۸ درجه سلسیوس نگه‌داری شدند تا جمعیت لارو سن دوم (J2) پس از تفریخ مجدداً شمارش گردد (Perry et al., 2010).

- **تهیه و خالص سازی جدایه قارچی فوزاریوم ((Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici (004)**

جدایه بیمارگر قارچی فوزاریومی از آزمایشگاه گروه گیاه‌پز شکی دانشگاه تبریز تهیه و مورد ا ستفاده قرار گرفت. به منظور خالص سازی، در ابتدا جدایه‌های مورد آزمایش ا ستریل روی محیط ک شت Potato Dextrose Agar (PDA) ک شت شده و پس از قرار گرفتن در اتاقک رشد و رشد پرگنه‌های قارچی، جهت خالص‌سازی به ظروف پتری محتوی آب آگار ۲ درصد انتقال یافتند. ظروف پتری به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در دمای اتاق نگه‌داری و سپس نوک ریسه‌ها همراه با بخشی از محیط کشت آب آگار با کمک سوزن ا ستریل بریده شده و روی محیط کشت PDA منتقل شدند و از این طریق خالص‌سازی نمونه‌ها انجام گرفت (پارسا، ۱۳۹۶). جهت نگه‌داری جدایه قارچی، در شرایط ا ستریل حلقه‌هایی به قطر ۵ میلی‌متر برداشت شده و به میکروتیوب‌های درپوش‌دار حاوی محیط‌کشت Synethic Nutrient-poor Agar (SNA) انتقال داده شدند. این میکروتیوب‌ها به مدت ۳ روز در دمای اتاق نگه‌داری گردید و سپس تا زمان ا ستفاده در دمای ۴ درجه سلسیوس نگه‌داری شدند (پارسا، ۱۳۹۶).

- **تهیه نشای گوجه‌فرنگی**

بذرهای گوجه‌فرنگی رقم موبیل که رقمی حساس به نماتد مولد گره است، ابتدا توسط هیپوکلریت سدیم ۲ درصد به مدت ۱۰ دقیقه روی شیکر ضدعفونی شدند و سپس چند بار با آب مقطر شستشو داده شدند. در ادامه این بذرها در سینی نشا با بستر پیت ماس کشت شده و آبیاری آن‌ها هر دو روز یکبار انجام گرفت. در این مطالعه از نشاهای سه تا چهاربرگی استفاده شد.

- **کشت نشا و غنی‌سازی ورمی‌کمپوست**

نشاهای سه تا چهار برگی گوجه‌فرنگی به گلدان‌های دو کیلویی حاوی خاک ا ستریل منتقل شدند. ورمی‌کمپو ست مورد ا ستفاده در این مطالعه از سایت تولید صدوقی واقع در خراسان تهیه گردید. در تیمارهای دارای ورمی کمپوست (برای میزبان گوجه‌فرنگی)، خاک گلدان‌ها قبل از کاشت برای تیمارهای متعادل ۲۰۰ گرم و برای تیمارهای بیش‌بود از ۴۰۰ گرم ورمی کمپوست استفاده شد (آریا و همکاران، 2015). همچنین در تیمارهای قارچ مایکوریزا قبل از کاشت نشاء گوجه‌فرنگی، به نسبت یک به ده (۲۰ تا ۲۵ اسپور در گرم) از این فرآورده استفاده شد.

- **تلقیح بیمارگر قارچی**

جهت تهیه سوسپانسیون اسپور، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل روی محیط کشت SNA (پس از خارج کردن از یخچال) اضافه شد و میسلیوم‌ها با استفاده از لبه اسکالپل خراش داده شدند تا در آب غوطه‌ور شوند. در سوسپانسیون حاصل جهت جداسازی ریسه‌ها از پشم شیشه استریل استفاده شد و جهت همگنی اسپورها از توییِن ۲۰ استفاده گردید. پس از شمارش تراکم اسپورها با استفاده از لام هماسیتومتر، از غلظت 10^6 در هر میلی‌لیتر برای تلقیح استفاده گردید. پس از کاشت نشاها در گلدان و با رسیدن ارتفاع بوته‌ها به ۱۰ سانتی‌متر، حجم ۵۰ میلی‌لیتر از سوسپانسیون قارچ بیمارگر با ایجاد چهار حفره ۵ سانتی‌متری در قسمت پای طوقه گیاه (در فاصله یک سانتی‌متر از طوقه) در پای ریشه تزریق شد. به دنبال تزریق سوسپانسیون، دهانه حفره‌ها با خاک پر شدند و در تیمارهای شاهد به گلدان‌ها تنها آب مقطر استریل اضافه گردید (پارسا، ۱۳۹۶).

- **تلقیح باکتری‌های آنتاگونیست**

تلقیح باکتری‌های آنتاگونیست مشابه تلقیح بیمارگر قارچی، اما با غلظت 10^8 سلول در هر میلی‌لیتر به پای نشاهای گوجه‌فرنگی انجام گرفت (پارسا، ۱۳۹۶). در تیمارهای شاهد نیز به گلدان‌ها فقط آب مقطر استریل اضافه شد.

- **تلقیح نماتد**

۱۰ روز پس از کشت نشاهای گوجه‌فرنگی در گلدان‌ها، سوسپانسیونی از لارو سن دو و تخم نماتد تهیه و به هر گلدان دو کیلویی تعداد ۵۰۰۰ تخم و لارو سن دوم (در میزان برابر آب) تلقیح شد. عمل تلقیح با روندی مشابه تلقیح قارچ و باکتری در پای طوقه گیاه صورت گرفت. در ادامه گلدان‌ها در داخل گلخانه با شرایط رطوبتی و دمایی مطلوب نگه‌داری و هفته‌ای سه بار آبیاری شدند به طوری که آب دریافتی در تمامی تیمارها یکسان بود (حیدری سورشجانی، ۱۳۹۴).

- **اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی**

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در انتهای دوره آزمایشی اندازه‌گیری گردید (فکرت و همکاران، ۱۳۹۶).

- **اندازه‌گیری مقدار کلروفیل برگ**

مقدار کلروفیل کل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در این روش، پس از رشد کامل برگ‌ها و رسیدن گیاه به مرحله گلدهی میزان کلروفیل موجود در برگ‌ها اندازه‌گیری شد. در هر گیاه ۵ برگ جوان بالغ کاملاً توسعه یافته انتخاب و سپس مقدار کلروفیل از قسمت میانی پهنک برگ اندازه‌گیری شد. میانگین داده‌ها به عنوان داده نهایی توسط دستگاه مذکور اندازه‌گیری شد (فکرت و همکاران، ۱۳۹۶).

- **تجزیه و تحلیل آماری**

مطالعه حاضر به صورت کرت‌های دوبار خرد شده (اسپلیت–اسپلیت–پلات) در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در حداقل سه تکرار انجام گرفت. کرت‌های اصلی دربرگیرنده سطوح ورمی‌کمپوست در سه سطح شاهد (بدون ورمی کمپوست)، بهینه و بیش‌بود در نظر گرفته شد. کرت‌های فرعی شامل تیمارهای غنی‌سازی متشکل از باکتری‌های آنتاگونیست B. subtilis و P.putida به صورت مجزا، قارچ G. mosseae، ترکیب هر دو باکتری (.B&P)، ترکیب‌های باکتری و قارچ (.B&G و .P&G)، ترکیب هر دو باکتری و قارچ (BPG) و تیمار شاهد بودند. کرت‌های فرعی – فرعی نیز دربرگیرنده عوامل بیمارگر، شامل قارچ (F. oxysporum)، نماتد (M. javanica) و ترکیب قارچ و نماتد (.F&M) بودند. نرمال‌بودن و همگنی واریانس‌های داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون‌های شاپیرو–ویلک (Shapiro-Wilk) و بارتلت (Bartlet) مورد بررسی قرار گرفت و در صورت عدم نرمال بودن داده‌ها، از تبدیل داده استفاده گردید. تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس آزمایش کرت‌های دوبار خرد شده با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) استفاده گردید.

۳- نتایج

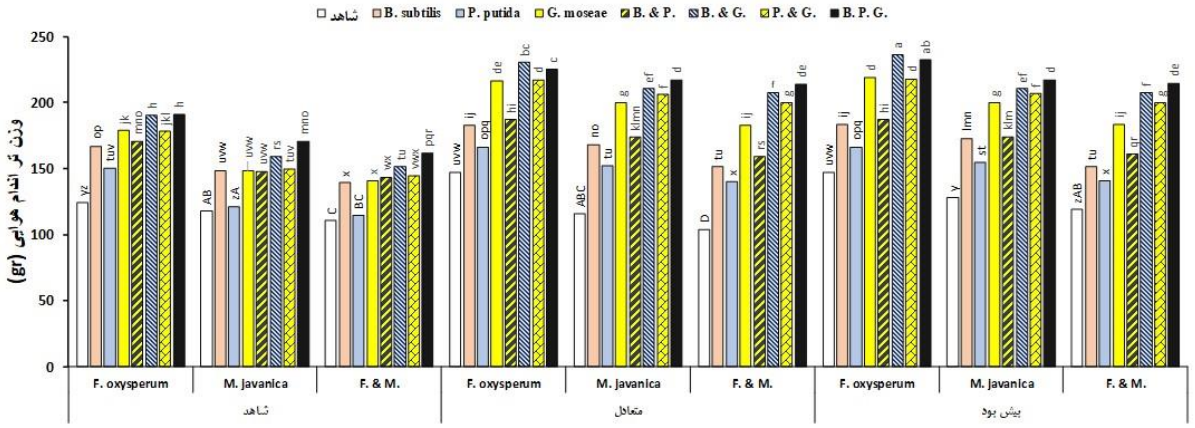
نتایج تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده برای پارامترهای مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. برای صفات وزن تر و وزن خشک اندام هوایی و همچنین وزن تر و خشک ریشه، تمامی اثرات اصلی عامل‌ها، اثرات دوگانه و اثر سه‌گانه معنی‌دار ($P < 0.001$) بودند. برای شاخص کلروفیل، تمامی اثرات اصلی معنی‌دار ($P <0.001$) بودند در حالی که در میان اثرات متقابل، تنها اثر متقابل بین عامل بیمارگر (P) و غنی‌سازی (E) معنی‌دار بود ($P < 0.001$).

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ورمی کمپوست، غنی‌سازی و بیمارگر بر صفات عملکرد رشد (بر اساس داده‌های تبدیل شده)

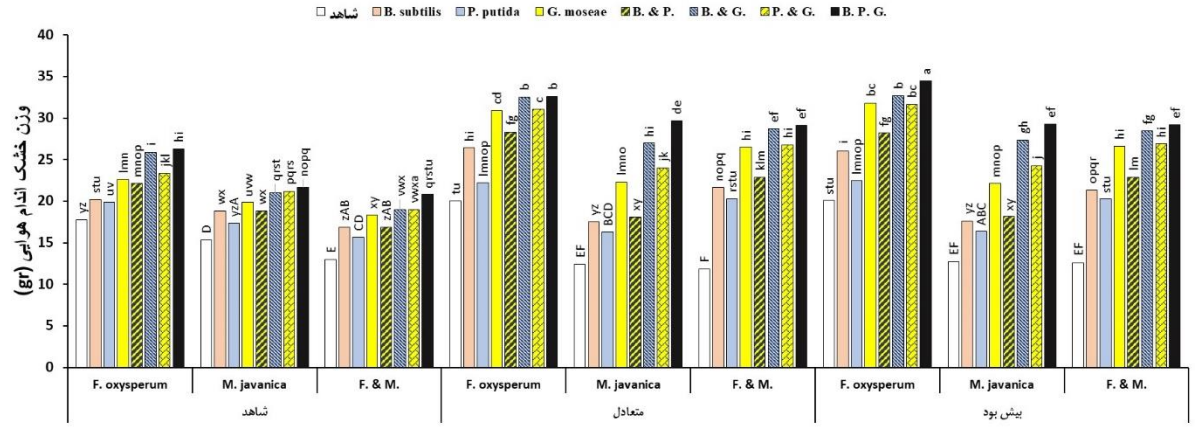
منابع تغییر	درجه آزادی df	MS				
		وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	شاخص کلروفیل
تکرار	۲	۰/۰۶۲	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۸	۵/۸۷
ورمی کمپوست Vermicompost (V)	۲	۷۳/۵۳***	۵۳/۴۲***	۲۰/۴۳***	۵۳۴/۲۸***	۳۸۰/۳۴***
خطای الف(Error a)	۲	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۲۲	۲/۲۱
غنی سازی Enrichment (E)	۷	۸۲/۱۵***	۶۰/۵۱***	۱۴/۸۰***	۳۲۸/۲۷***	۸۵۸/۶۰***
ورمی کمپوست × غنی‌سازی (V×E)	۱۴	۳/۶۷***	۲/۶۶***	۰/۸۸***	۲۰/۵۰***	۱/۶۵ns
خطای ب(Error b)	۴۲	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۶۱	۵/۰۴
بیمارگر Pathogen (P)	۲	۱۰۶/۷۴***	۷۸/۱۵***	۱۰/۵۰***	۸۲/۵۱***	۸۲۴/۵۳***
بیمارگر × ورمی کمپوست (P×V)	۴	۷/۷۷***	۵/۷۱***	۰/۳۰***	۴/۱۷***	۰/۸۶ns
بیمارگر × غنی‌سازی (P×E)	۱۴	۱/۲۲***	۰/۹۳***	۰/۴۳***	۳/۴۷***	۲۸/۱۸***
بیمارگر × ورمی کمپوست × غنی‌سازی (P×V×E)	۲۸	۰/۵۰***	۰/۳۷***	۰/۰۳***	۰/۹۸***	۱/۶۶ns
خطای ج (Error c)	۹۶	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۳۰	۲/۱۰

ns، *، **، * به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱**

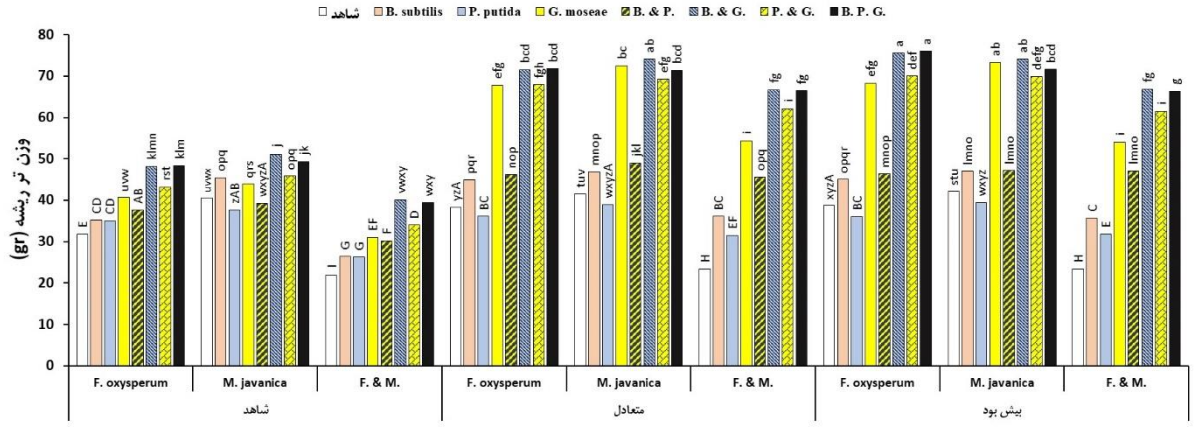
مقایسات میانگین پارامترهای وزن تر و خشک اندام هوایی تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه ورمی‌کمپوست، نوع غنی‌سازی و عامل بیمارگر به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. کمترین مقادیر این پارامترها در میان مجموعه تیمارهای آزمایشی متعلق به وضعیت شاهد بود و بیشترین مقادیر نیز در شرایط استفاده از غنی‌سازی مربوط به تیمارهای .B.&G و .B.P.G در وضعیت بیش‌بود ورمی‌کمپوست و تنها در آلودگی با قارچ F. oxysporum به دست آمد. در سطوح منفرد تیمارهای غنی‌سازی، به طور کلی مقادیر این پارامترها در غنی‌سازی با G. mosseae نسبت به B. subtilis بیشتر بود و P. putida نیز در سطح بعدی قرار داشت. در مجموع، تیمارهای ورمی‌کمپوست متعادل و بیش‌بود در مقایسه با حالت شاهد (عدم استفاده از ورمی‌کمپوست) مقادیر بیشتری از وزن تر و خشک اندام هوایی را به خود اختصاص دادند. از نظر مقایسه مقادیر این پارامترها در ارتباط با عامل بیمارگر ترتیب F.&M. < M. javanica < F. oxysporum برقرار بود. مقایسات میانگین پارامترهای وزن تر و خشک ریشه برای اثر متقابل سه‌گانه عوامل مورد بررسی به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. روندهای مقایسه‌ای تقریباً مشابهی برای این پارامترها به دست آمد. کمترین مقادیر هر دو پارامتر در شرایط عدم استفاده از ورمی‌کمپوست و بدون غنی‌سازی در آلودگی با هر دو عامل بیمارگر اندازه‌گیری شد. اعمال تیمارهای ورمی‌کمپوست در هر دو سطح متعادل و بیش‌بود منجر به مقادیر بیشتری از وزن تر و خشک ریشه گردید. در این دو سطح استفاده از ورمی‌کمپوست، تیمارهای غنی‌سازی مرتبط با G. mosseae (شامل .G. mosseae، .B.&G، .P.&G و .B.P.G) بیشترین مقادیر از این صفات را به خود اختصاص دادند. در مجموع، بالاترین سطح وزن تر و خشک ریشه در آلودگی با F. oxysporum و سطح بیش‌بود استفاده از ورمی‌کمپوست به دست آمد. مقایسه میانگین تأثیر عامل بیمارگر بر شاخص کلروفیل (شکل ۵) نشان داد که کمترین مقدار این شاخص در آلودگی با هر دو عامل بیمارگر به دست آمده و بیشترین میزان نیز تحت تأثیر آلودگی با F. oxysporum رخ داده است. مقایسه میانگین‌های این شاخص برای اثر متقابل دوگانه سطح ورمی‌کمپوست (شاهد، متعادل و بیش‌بود) در حالت‌های غنی‌سازی (شکل ۶)، نشان‌دهنده وجود بیشترین مقادیر شاخص کلروفیل در حالت غنی‌سازی .B.P.G بوده و کمترین مقدار نیز متعلق به حالت شاهد (عدم استفاده از ورمی‌کمپوست) بوده است. به طور کلی، تیمارهای غنی‌سازی منفرد نیز در مقایسه با تیمارهای ترکیبی از مقادیر کمتری برای شاخص کلروفیل برخوردار بودند.



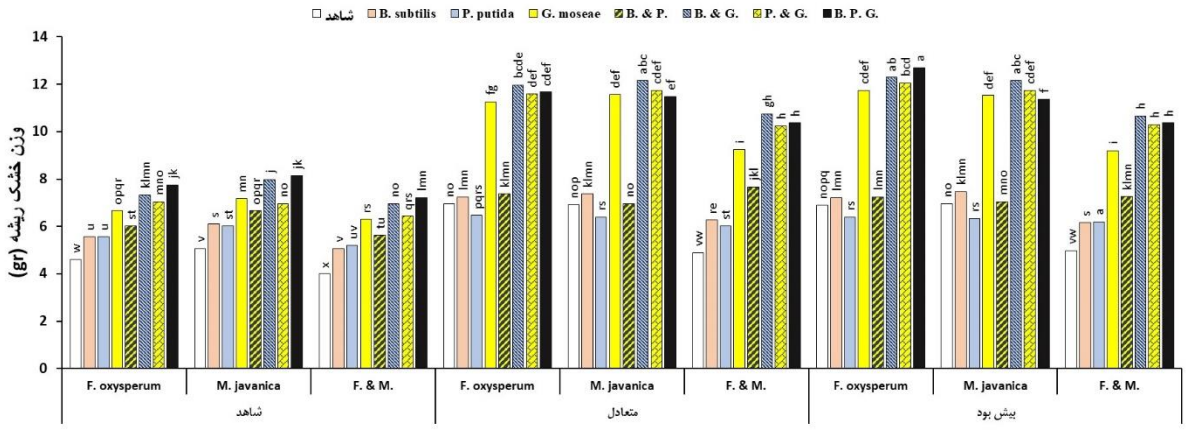
شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین وزن تر اندام هوایی (gr) تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه سطوح ورمی‌کمپوست (شاهد، متعادل و بیش‌بود)، غنی‌سازی با باکتری (B. subtilis و P. putida) و قارچ (G. mosseae) به صورت جداگانه و ترکیبی (B. & P.، B. & G.، P. & G. و B.P.G.) و عامل بیمارگر (F. oxysporum و M. javanica) به صورت جداگانه و ترکیبی (F. & M.). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.



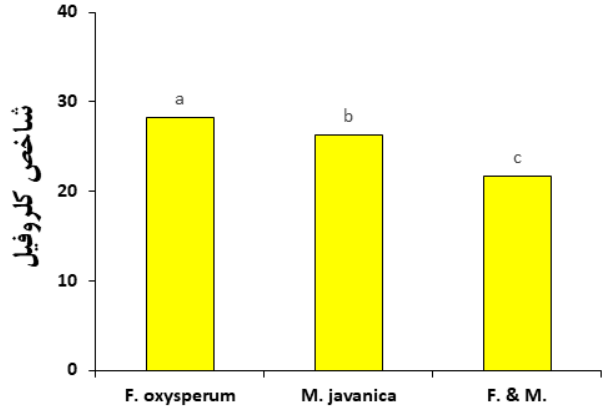
شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی (gr) تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه سطوح ورمی‌کمپوست (شاهد، متعادل و بیش‌بود)، غنی‌سازی با باکتری (B. subtilis و P. putida) و قارچ (G. mosseae) به صورت جداگانه و ترکیبی (B. & P.، B. & G.، P. & G. و B.P.G.) و عامل بیمارگر (F. oxysporum و M. javanica) به صورت جداگانه و ترکیبی (F. & M.). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.



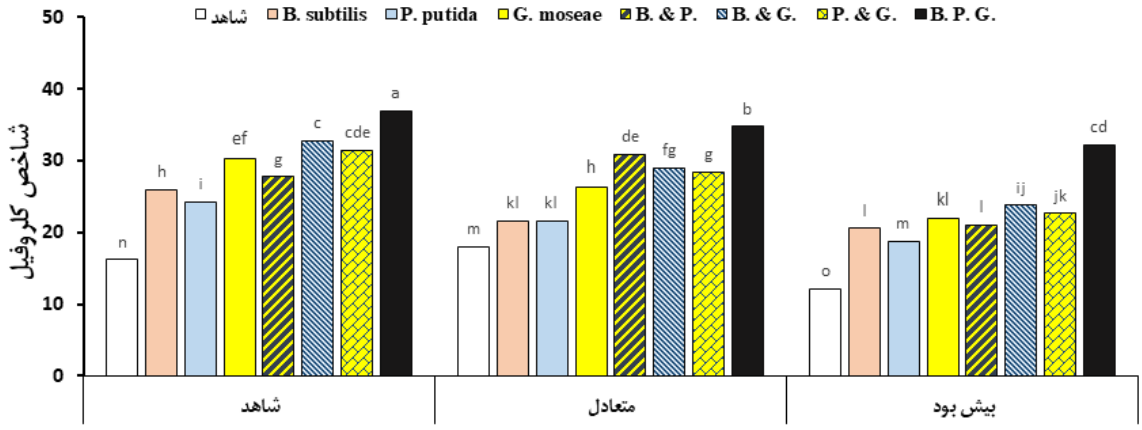
شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین وزن تر ریشه (gr) تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه سطوح ورمی‌کمپوست (شاهد، متعادل و بیش‌بود)، غنی‌سازی با باکتری (B. subtilis و P. putida) و قارچ (G. mosseae) به صورت جداگانه و ترکیبی (B. & P.، B. & G.، P. & G. و B.P.G.) و عامل بیمارگر (F. oxysporum و M. javanica) به صورت جداگانه و ترکیبی (F. & M.). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.



شکل۴- نتایج مقایسه میانگین وزن خشک ریشه (gr) تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه سطوح ورمی‌کمپوست (شاهد، متعادل و بیش‌بود)، غنی‌سازی با باکتری (B. subtilis و P. putida) و قارچ (G. mosseae) به صورت جداگانه و ترکیبی (B. & P.، B. & G.، P. & G. و B.P.G.) و عامل بیمارگر (F. oxysporum و M. javanica) به صورت جداگانه و ترکیبی (F. & M.). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین شاخص کلروفیل تحت تأثیر بیمارگرها (F. oxysporum و M. javanica) به صورت جداگانه و ترکیبی (F. & M.). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.



شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین شاخص کلروفیل تحت تأثیر اثر متقابل سطوح ورمی‌کمپوست (شاهد، متعادل و بیش‌بود) و غنی‌سازی با باکتری (B. subtilis و P. putida) و قارچ (G. mosseae) به صورت جداگانه و ترکیبی (B. & P.، B. & G.، P. & G. و B.P.G.). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد.

۴. بحث

نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از ورمی‌کمپوست در سطوح متعادل و بیش‌بود تا حد زیادی می‌تواند در حضور عوامل بیمارگر به صورت مجزا و ترکیبی، منجر به ارتقای رشد گیاه در بخش ریشه و اندام‌های هوایی و همچنین افزایش سطوح فتوسنتزی در برگ‌ها شود. یافته‌های حاصل به وضوح بیانگر آن است که استفاده از سطوح مختلف ورمی‌کمپوست می‌تواند میزان مقاومت گیاه در برابر عوامل بیمارگر خاک‌زی شامل نماتد ریشه‌گرهی و قارچ عامل پژمردگی فوزاریومی را به همراه داشته باشد. این در حالی است که در حضور ترکیبی هر دو عامل بیمارگر نیز ارتقای قابل توجه صفات رشدی گیاه در مقایسه با وضعیت‌های شاهد بدون استفاده از ورمی‌کمپوست اتفاق افتاده است. ورمی‌کمپوست از جنبه‌های مختلف دارای ویژگی‌های مطلوب در ارتباط با رشد گیاهان است. این مخلوط از سطوح بالای میکروارگانیسم‌های مفید خاک مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها برخوردار بوده (Singh et al., 2009; Sinha et al., 2009; Atiyeh et al., 2002) و غنی از هورمون‌های رشد گیاهی از جمله اکسین، سیتوکینین و جیبرلین، اسیدهای هیومیک و همچنین آنزیم‌هایی نظیر آمیلاز، سلولاز و کیتیناز و عناصر کم‌مصرف مفید همچون کلسیم، منیزیم، روی و منگنز است (Nielson, 1965; Kale and Bano, 1986; Sinha et al., 2009). بر اساس مطالعات صورت گرفته، افزودن کودهای زیستی نظیر ورمی‌کمپوست با داشتن جمعیت‌های بالای میکروبی و غنی بودن از مواد مغذی، افزایش میزان کلنیزه‌شدن قارچ‌های میکوریز در ریشه گیاهان را به دنبال داشته و از این نظر منجر به کارایی بالایی در مهار بیماری‌های خاکزاد خواهد شد (Raaijmakers et al., 1995; Parthasarathi et al., 2008; Yatoo et al., 2024). در برخی از مطالعات صورت گرفته، کاربرد ورمی‌کمپوست با ایجاد مکانیسم‌های القای مقاومت در گیاه در برابر قارچ‌ها و نماتدهای بیمارگر گزارش شده است (Arancon et al., 2002; Vijayabharathi et al., 2015). کارآیی استفاده از ورمی‌کمپوست در کاهش استرس ناشی از عوامل بیمارگر گیاهی در مطالعات متعددی گزارش شده است (Serfoji et al., 2010; Rostami et al., 2014). کاهش تعداد گال و ارتقای اثربخشی مهار نماتد *Meloidogyne* spp. در نتیجه استفاده از ورمی‌کمپوست در مطالعه Liu et al. (2019) گزارش شده است. همچنین تحقیق صورت گرفته توسط Raman-Tikoria et al. (2022) افزایش نرخ مرگ و میر لارو سن دوم، کاهش درصد تفریخ تخم و کاهش تخمریزی نماتد *M. incognita* را به همراه داشته است. تأثیر مثبت استفاده از ورمی‌کمپوست در ارتقای رشد قارچ‌های مفید خاک‌زی و به طور همزمان مهار بیمارگرها به واسطه تأمین منابع غذایی گیاه و محیط مناسب برای رشد قارچ در برخی مطالعات مورد اشاره قرار گرفته است (Karla et al., 2010). بر اساس نتایج به دست آمده، ترکیب سطوح بالاتر ورمی‌کمپوست با عوامل غنی‌سازی شامل قارچ میکوریزا و همچنین باکتری‌های آنتاگونیست، منتج به ارتقای بیشتر سطوح رشد در گوجه‌فرنگی در حضور عوامل بیمارگر شده است. مطالعات صورت گرفته نشان داده است که استفاده از ورمی‌کمپوست به صورت ترکیبی همراه با عوامل مهار زیستی تأثیرگذاری بیشتری نسبت به بکارگیری جداگانه آن‌ها در مهار عوامل بیمارگر گیاهی خاک‌زی داشته است (Pandey et al., 2013; Bhattacharjee et al., 2015). تأثیر کارآمد استفاده ترکیبی از این عوامل در افزایش رشد گیاه و جوانه‌زنی گل‌ها و ارتقای خصوصیات رشدی در مطالعات قبلی گزارش شده است (Pandy et al., 2013). به طور مشخص، در مطالعه Bhattacharjee et al. (2015) کاربرد همزمان ورمی‌کمپوست و قارچ‌های وزیکولار آربوسکولار نه تنها سبب افزایش رشد گیاه گوجه‌فرنگی شده است، بلکه افزایش پارامترهای کیفی را در گیاه سبب شده است. در مطالعه امیرافضلی و همکاران (۱۳۹۶)، توان بالای ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا *G. mosseae* در مهار پژمردگی فوزاریومی گوجه‌فرنگی و نماتد مولد گره ریشه مشاهده شده است. در این مطالعات، القای ترکیبات فنلی و آنزیم‌های دفاعی مانند پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیدازها دلیل کاهش سطوح آلودگی به نماتد در گیاهان مورد بررسی برشمرده شده است. در مطالعات صورت گرفته استفاده از ورمی‌کمپوست به همراه قارچ‌های میکوریز در خاک، از طریق بهبود شرایط خاک و فراهم نمودن عناصر مغذی موردنیاز گیاه، افزایش رشد، پیکره رویشی و تولید زیتوده و افزایش عملکرد کلی محصولات را سبب شده است (Anwar et al., 2005; Singh et al., 2008; Azarmi et al., 2009) که همسو با نتایج مطالعه حاضر است. در برخی از تحقیقات انجام شده توان ورمی‌کمپوست در مهار اثرات منفی پاتوژن‌های خاک‌زی بر وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاهان گزارش شده است (Arancon et al., 2004). وجود هورمون‌های گیاهی سیتوکینین و اکسین در ورمی‌کمپوست افزایش وزن اندام هوایی و ریشه و تولید انبوه آن‌ها را به همراه دارد (Selvaraj, 2011). در مواردی بررسی‌های انجام شده اثرات مثبت ورمی‌کمپوست با تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی خاک و ویژگی‌های میکروبی و زیستی محیط بستر کشت مرتبط دانسته شده است (Micginnis et al., 2003) به طوری که حتی سطوح بسیار اندک تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط دسترسی ارتقا یافته به عناصر غذایی موجود در ورمی‌کمپوست افزایش قابل توجه رشد در گیاه گوجه‌فرنگی را سبب شده است (Atiyeh et al., 2000; Haruna, 2021). استفاده از کودهای زیستی نظیر ورمی‌کمپوست در افزایش تعداد برگ، سطوح فتوسنتز و تولیدات کربوهیدراته در گیاهان مرتبط دانسته شده است. با توجه به غنای این فرآورده از عناصر معدنی و هورمون‌های رشد مانند اکسین، اثرات مثبت بر سیستم فتوسنتزی گیاه گوجه‌فرنگی تشخیص داده شده است (Chanda et al., 2010). افزایش سطح فتوسنتزی برگ‌ها از طریق تأمین مواد مغذی نظیر فسفر خود یکی از عوامل جبرانی در تقابل با آسیب‌های ناشی از عوامل بیمارگر خاک‌زی نظیر نماتدها تلقی می‌شود (Gutierrez-Boem and Thomas, 1998). یافته‌های به دست آمده در مطالعه حاضر در ارتباط با تیمارهای غنی‌سازی با قارچ مایکوریزا و باکتری‌های آنتاگونیست به صورت منفرد و

ترکیبی به وضوح نشان داد که در هر دو سطح استفاده از ورمی‌کمپوست و نیز عدم استفاده از آن و در تمامی وضعیت‌های تلقیح عوامل بیمارگر به صورت منفرد و ترکیبی، سطوح بالاتری از تمامی شاخص‌های مربوط به رشد گوجه‌فرنگی در مقایسه با عدم غنی‌سازی وجود داشته است. بهترین عملکرد رشد بر مبنای بیشتر پارامترهای مورد بررسی در وضعیت استفاده از هر سه عامل قارچ مایکوریزا و باکتری‌های آنتاگونیست به دست آمد که نشان‌دهنده تأثیر تجمعی اثرات کنترل‌کننده این عوامل در مهار قارچ فوزاریوم و نماتد ریشه گرهی بوده است. نکته قابل توجه بر مبنای نتایج حاصل آن است که نقش G. mosseae در مقایسه با باکتری‌های آنتاگونیست در تیمارهای منفرد به شکل قابل توجهی بیشتر بوده است. همچنین تیمارهای ترکیبی عوامل مهارکننده حاوی قارچ مایکوریزا نسبت به تیمار فاقد آن (B.&P.) به مراتب به شکل چشم‌گیرتری موجب ارتقای رشد گیاه در مواجهه با عوامل بیمارگر شده است. در میان قارچ‌های همزیست با ریشه گیاهان، قارچ‌های همزیست میکوریز آربوسکولار با توجه به نقش مؤثر آن‌ها در مهار بیمارگرهای گیاهی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Hao et al., 2005). کمک به گیاهان در افزایش جذب آب و مواد معدنی و دریافت عناصر غیرمتحرک در خاک و به طور ویژه فسفر از عملکردهای قابل توجه این قارچ‌ها در افزایش رشد و وزن گیاه و ارتقای سطح مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها محسوب می‌شود (Garisa-Garido and Ocampo, 2002; Jeffries, 2003; Gaur and Adholeya, 2004). تأثیر استفاده از این قارچ در افزایش وزن اندام‌های هوایی گیاهان در مطالعات مختلف مورد اشاره قرار گرفته است (Karagiannidis et al., 2002; Sohrabi et al., 2015). این قارچ در ترکیب با تیمارهای ورمی‌کمپوست به شکل چشمگیری توانایی مهار نماتد مولد گره ریشه را در گیاه گوجه‌فرنگی نشان داده است (Siddiqui and Akhtar, 2008؛ Serfoji et al., 2010). مقاومت حاصل از قارچ میکوریزا ناشی از القای ضخیم‌شدگی دیواره سلولی ریشه، تجمع فیتوالکسین‌ها، بیان القایی ژن‌های دفاعی گیاه و تحریک آنزیم‌های دفاعی مانند PAL، کیتیناز و 3-1 B گلوکاناز دانسته شده است (Bai et al., 2018). همزیستی میکوریزا با سایر عوامل مهار زیستی نظیر باکتری‌های آنتاگونیست تأثیر معنی‌داری بر افزایش برهم‌کنش با دیگر موجودات زنده خاک داشته و از طریق القای مکانیسم‌های دفاعی به واسطه سیگنال‌دهی مرتبط با سالیسیلیک اسید و ژاسمونیت، افزایش مقاومت گیاه در برابر بیمارگرهای خاک‌زی را به دنبال دارد (Vimal et al., 2012). نقش باکتری‌های آنتاگونیست مورد استفاده در غنی‌سازی خاک جهت مقابله با عوامل بیماری‌زای خاک‌زی در گیاهان در مطالعات متعدد مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیقات صورت گرفته نشان داده شده است که گونه‌های مختلف باکتری‌های جنس‌های Bacillus و Pseudomonas قابلیت بالایی در کاهش جمعیت لاروهای سن دوم نماتد و ممانعت از تفریخ تخم دارند (Jamily et al., 2018; Antil et al., 2022). در مطالعه دشتی‌پور و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر مستقیم استفاده از Bacillus subtilis بر رشد قارچ فوزاریوم در شرایط آزمایشگاهی مهار قابل‌توجه این عامل بیماری‌زا را به دنبال داشته است. در پژوهش‌های صورت گرفته تولید آنزیم‌های کیتیناز و سلولاز و ایندول استیک اسید و همچنین سیدروفور از این باکتری‌ها به عنوان عامل دخیل در مهار بیماری پژمردگی فوزاریومی تشخیص داده شده است که نهایتاً منجر به ارتقای وزن بخش‌های رویشی گیاه شده است (نورالدین و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین بیان گردیده که پروتئیازها و کیتینازهای استخراج شده از کشت گونه‌های باسیلوس عامل مؤثر در هیدرولیز مجموعه کیتین–پروتئین تخم نماتد مولد گره است (Castaneda-Alvarez and Aballay, 2016). همچنین گونه‌های سودوموناس به عنوان عوامل بازدارنده عوامل بیمارگر گیاهی تشخیص داده شده‌اند (Tian and Riggs, 2000). تحریک رشد گیاهان (به واسطه افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی معدنی)، تثبیت نیتروژن، رقابت برای بسترهای غذایی، القای مقاومت به گیاهان، تولید متابولیت‌هایی چون سیدروفور، آنتی‌بیوتیک، سیانید هیدروژن و آنزیم از مکانیسم‌های مختلف کنترل‌کنندگی مربوط به سودوموناس‌ها هستند (Gupta et al., 2001). ترشح متابولیت‌های نظیر فنازین ۱- کربوکسیلیک اسید، ۲و۴-دی استیل فلوروگلوسینول، اوومایسین A، پیولوترین و پیرولنترین توسط سودوموناس‌ها به عنوان عوامل تأثیر گذار بر بازدارندگی ازدیاد و رشد نماتدها گزارش شده‌اند (Notz, 2001).

۵- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، تأثیر استفاده از سه عامل مهار زیستی شامل قارچ میکوریزا (G. mosseae) و باکتری‌های آنتاگونیست B. subtilis و Pseudomonad putida به صورت مجزا و ترکیبی همراه با استفاده از ورمی‌کمپوست در سطوح متعادل و بیش‌بود بر میزان شاخص‌های رشدی در گیاه گوجه‌فرنگی در حضور دو عامل بیمارگر خاک‌زی شامل قارچ فوزاریوم و نماتد ریشه‌گرهی بررسی گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از عوامل مهار زیستی مورد اشاره همراه با فرآورده ورمی‌کمپوست می‌تواند به شکل چشمگیری موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا (به صورت مجزا و همچنین در ترکیب با یکدیگر) شده و افزایش رشد گیاه را بر مبنای وزن ریشه و اندام‌های هوایی و همچنین عملکرد فتوسنتزی گیاه بر مبنای شاخص کلروفیل منتج گردد. بر اساس نتایج، اعمال ترکیبی از هر سه عامل مهار زیستی در مقایسه با استفاده آن‌ها به صورت جداگانه به بهترین عملکردهای رشدی گوجه‌فرنگی در حضور عوامل بیماری‌زا منتج گردید که نشان‌دهنده نقش آنتاگونیستی مجموعه این عوامل به ویژه با استفاده از قارچ میکوریزا بود.

منابع

- Abdel-Monaim, M.F. 2012. Induced systemic resistance in tomato plants against Fusarium wilt disease. International Research Journal of Microbiology, Vol. 3, P. 14-23.
- Agrios, G.N. 2005. Plant pathology. 4th Ed. Acaemic Press. India, 635.
- Antil, S., et al. 2022. Potential of Bacillus altitudinis KMS-6 as a biocontrol agent of Meloidogyne javanica. Journal of Pest Science, P. 1-10.
- Anwar, M., et al. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 36, P. 1737-1746.
- Arancon, N.Q., et al. 2002. Management of plant parasitic nematode populations by use of vermicomposts. In: Proceedings Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases, Brighton, Britain. P. 705-716.
- Arancon, N.Q., et al. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology, Vol. 93, P. 145-153.
- Atiyeh, R.M., et al. 2000. Earthworm-processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigold and vegetable seedlings. Compost Science & Utilization, Vol. 8, P. 215-223.
- Atiyeh, R.M., et al. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. Bioresource Technology, Vol. 84, P. 7-14.
- Azarmi, R., et al. 2009. The effect of sheep-manure vermicompost on quantitative and qualitative properties of cucumber (Cucumis sativus L.) grown in the greenhouse. African Journal of Biotechnology, Vol. 8,
- Bai, Y., et al. 2018. Plant behaviour under combined stress: tomato responses to combined salinity and pathogen stress. The Plant Journal, Vol. 93, P. 781-793.
- Basco, M.J., et al. 2017. Biological management of Fusarium wilt of tomato using biofortified vermicompost. Mycosphere, Vol. 8, P. 467-483.
- Bhattacharjee, P.B., et al., 2015. Field evaluation of vermicompost and selective bioinoculants for the improvement of health status of tomato plants, Journal of Biology and Earth Sciences, Vol. 5, P. 25-33.
- Bisen, K., Singh, H.B., 2019. Enhancement of Antioxidants and Nutritional Quality of Tomato Inoculated with Agriculturally Importance Microorganisms (AIMs) Fortified Vermicompost. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, Vol. 12, P. 17-22.
- Castaneda-Alvarez, C., Aballay, E., 2016. Rhizobacteria with nematicide aptitude: enzymes and compounds associated. World Journal of Microbiology and Biotechnology, Vol. 32, P. 1-7.
- Cha, J.Y., et al. 2016. Microbial and biochemical basis of a Fusarium wilt-suppressive soil. The ISME Journal, Vol. 10, P. 119-129.
- Chanda, G.K., et al. 2011. The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. Journal of Horticulture and Forestry, Vol. 3, P. 42-45.
- Chen, P., Roberts, P., 2003. Virulence in Meloidogyne hapla differentiated by resistance in common bean (Phaseolus vulgaris). Nematology, Vol. 5, P. 39-47.
- Devran, Z., 2003. The screening of F2 plants for root-knot nematode resistance gene Mi by PCR in tomato. Turkish Journal Agricultural, Vol. 28, P. 253-257.
- FAO.2020. http://www.fao.org.
- García-Garrido, J.M., Ocampo, J.A., 2002. Regulation of the plant defence response in arbuscular mycorrhizal symbiosis. Journal of Experimental Botany, Vol. 53, P. 1377-1386.
- Gaur, A., Adholeya, A., 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Current Science, Vol. 86, P. 528-534.
- Gupta, C.P., et al., 2001. Antibiosis-mediated necrotrophic effect of Pseudomonas GRC 2 against two fungal plant pathogens. Current Science, Vol. 81, P. 91-94.
- Gutiérrez-Boem, F.H., Thomas, G.W., 1998. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit. Agronomy Journal, Vol. 90, P. 166-171.
- Gutiérrez-Boem, F.H., Thomas, G.W., 1998. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit. Agronomy Journal, Vol. 90, P. 166-171.
- Hao, Z., et al., 2005. Control of fusarium wilt of cucumber seedlings by inoculation with an arbuscular mycorrhical fungus. Journal of Plant Nutrition, Vol. 28, P. 1961-1974.
- Haruna, S.G., 2021. Effect of vermicomposts on vegetative growth and yield characters of tomato infected with fusarium wilt. ADAN Journal of Agriculture, Vol. 2, P. 90-103.

- Jamily, A.S., et al., 2018. Isolation of local Bacillus spp. from Afghanistan soils and their potential in suppressing the root-knot nematodes on tomato. Soil Microorganisms, Vol. 72, P. 39-49.
- Jeffries, P., et al., 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Biology and Fertility of Soils, Vol. 37, P. 1-16.
- Jones, J.B., et al., 2014. Compendium of tomato diseases and pests. APS press.
- Juber, K.S., et al., 2014. Evaluation of biocontrol agents and chemical inducers for managing vascular wilt of tomato caused by Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici. Evaluation, Vol. 4, P. 335-343.
- Kale, R.D., Bano, K., 1986. Field trials with vermicompost. an organic fertilizer. In Proc. Of National Seminar on 'Organic Waste Utilization by Vermicomposting'; GKVK Agricultural University, Bangalore, India.
- Kalra, A., et al., 2010. Natural compounds enhancing growth and survival of rhizobial inoculants in vermicompost-based formulations. Biology and Fertility of Soils, Vol. 46, P. 521-524.
- Karagiannidis, N., et al., 2002. Effect of Verticillium wilt (Verticillium dahliae Kleb.) and mycorrhiza (Glomus mosseae) on root colonization, growth and nutrient uptake in tomato and eggplant seedlings. Scientia Horticulturae, Vol. 94, P. 145-156.
- Lamberti, F., et al., 2000, September. Relationship between plant parasitic nematodes and Verticillium dahliae in olive. In IV International Symposium on Olive Growing 586, P. 749-752.
- Liu, D., et al., 2019. Evaluation of vermicompost and extracts on tomato root-knot nematode. Bangladesh Journal of Botany, Vol. 48, P. 845-851.
- Liu, J., et al., 2010. Biocontrol of Fusarium crown and root rot of tomato and growth-promoting effect of bacteria isolated from recycled substrates of soilless crops. Phytopathologia Mediterranea, Vol. 49, P. 163-171.
- Micginnis, M., et al., 2003. Organic fertilizer for basil transplant production. Acta Horticulturae, Vol. 491, P. 213-218.
- Nasresfahani, M., Ahmadi, A. 2010. Principles and foundations of plant nematology. Publisher: Agricultural education and promotion, 336p. (in Persian)
- Nielson, R.Á., 1965. Presence of plant growth substances in earthworms demonstrated by paper chromatography and the Went pea test. Nature, Vol. 208, P. 1113-1114.
- Nimnoi, P., Ruanpanun, P., 2020. Suppression of root-knot nematode and plant growth promotion of chili (Capsicum flutescens L.) using co-inoculation of Streptomyces spp. Biological Control, Vol. 145, p.104244.
- Notz, R., et al., 2001. Biotic factors affecting expression of the 2, 4-diacetylphloroglucinol biosynthesis gene phlA in Pseudomonas fluorescens biocontrol strain CHA0 in the rhizosphere. Phytopathology, Vol. 91, P. 873-881.
- Oka, Y., et al., 2000. New strategies for the control of plant-parasitic nematodes. Pest Management Science: formerly Pesticide Science, Vol. 56, P. 983-988.
- Pandey, A., et al., 2013. Effect of vermicompost and bio- control agents on growth and flowering of gladiolus. The Asian Journal of Horticultre, Vol. 8, P. 46-49.
- Parthasarathi, K., et al., 2008. Influence of vermicompost on the physico-chemical and biological properties in different types of soil along with yield and quality of the pulse crop–blackgram. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering, Vol. 5, P. 51-58.
- Perry, R.N., et al., eds., 2009. Root-knot nematodes. CABI.
- Peyvast, G., 2007. Vegetabele Production. 4thed, Daneshpazir Press, Rasht, 362 p. (in Persian)
- Raaijmakers, J.M., et al., 1995. Utilization of heterologous siderophores and rhizosphere competence of fluorescent Pseudomonas spp. Canadian Journal of Microbiology, Vol. 41, P. 126-135.
- Rajik, M., et al., 2012. Biochemical basis of defense response in plant against Fusarium wilt through bio-agents as an inducers. African Journal of Agriculture Research, Vol. 7, P. 5849-5857.
- Rostami, M., et al., 2014. Evaluation of the effects of earthworm Eisenia fetida-based products on the pathogenicity of root-knot nematode (Meloidogyne javanica) infecting cucumber. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, Vol. 3, P. 1-8.
- Selvaraj, A., 2011. Effect of vermicompost tea on the growth and yield of tomato plants and suppression of root knot nematode in the soil. M. Sc. Dissertation, University of California.
- Serfoji, P., et al., 2010. Management of root-knot nematode, Meloidogyne incognita on tomato cv Pusa Ruby. by using vermicompost, AM fungus, Glomus aggregatum and mycorrhiza helper bacterium, Bacillus coagulans. Journal of Agricultural Technology, Vol. 6, P. 37-45.

- Siddiqui, Z.A., Akhtar, M.S., 2008. Effects of organic wastes, Glomus intraradices and Pseudomonas putida on the growth of tomato and on the reproduction of the root-knot nematode Meloidogyne incognita. Phytoparasitica, Vol. 36, P. 460-471.
- Singh, K., 2009. Microbial and nutritional analysis of vermicompost, aerobic and anaerobic compost. Griffith University, Brisbane, Australia.
- Singh, R., et al., 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (Fragaria x ananassa Duch.). Bioresource Technology, Vol. 99, P. 8507-8511.
- Sinha, R.K., et al., 2009. Vermiculture biotechnology: the emerging cost-effective and sustainable technology of the 21st century for multiple uses from waste and land management to safe and sustained food production. Environmental Research Journal, Vol. 3, P. 41-110.
- Sohrabi, F., et al., 2020. Investigating the effect of Glomus mosseae, Bacillus subtilis and Trichoderma harzianum on plant growth and controlling Meloidogyne javanica in tomato. Indian Phytopathology, Vol. 73, P. 293-300.
- Tian, H., Riggs, R.D., 2000. Effects of rhizobacteria on soybean cyst nematode, Heterodera glycines. Journal of Nematology, Vol. 32, p.377.
- Vijayabharathi, R., et al., 2015. Plant Growth-Promoting Microbes from Herbal Vermicompost. In: Egamberdieva, D., Shrivastava, S., Varma, A. (eds) Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants. Soil Biology, vol 42. Springer.
- Walia, R.K., et al., 2003. Textbook on Introductory Plant Namatology. Director, Directorate of Information and Publications of Agriculture.
- Yatoo, A.M., et al., 2021. Sustainable management of diseases and pests in crops by vermicompost and vermicompost tea. A review. Agronomy for Sustainable Development, Vol. 41, p.7.
- Yatoo, A.M., et al., 2024. Effect of macrophyte biomass-based vermicompost and vermicompost tea on plant growth, productivity, and biocontrol of Fusarium wilt disease in tomato. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, p.103320.
- آهومنش، ع.، ۱۳۸۵. اصول مبارزه با بیماری‌های گیاهی (چاپ چهارم)، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.
- پارسا، ن.، ویانی، ع.، ارزنلو، م.، علی اصغرزاده، ن.، ۱۳۹۶. ارزیابی مقاومت ارقام مختلف گوجه‌فرنگی نسبت به بیماری پژمردگی فوزاریومی و مقایسه تاثیر قارچ مایکوریز Glomus versiforme، باکتری آنتاگونیست Bacillus methylotrophicus و قارچ کاربندازیم در کنترل بیماری. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- حیدری سورشجانی، ف.، ۱۳۹۴. بررسی کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و قارچ Trichoderma harzianum در گیاه گوجه‌فرنگی در مهار نماتد ریشه‌گرهی Meloidogyne javanica. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.
- خلیقی، س.، خداکرمیان، غ.، تنها معافی، ز.، ۱۳۸۹. بازدار ندگی سودومو ناس های فلورسنت علیه گالزایی نماتد Meloidogyne javanica روی گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه، آفات و بیماری‌های گیاهی. سال ۷۸، شماره ۲، ص ۱۷۷-۱۹۸.
- دشتی پور، س.، صاحبانی، ن.، امینیان، ح.، ۱۳۹۶. تاثیر کاربرد باکتری آنتاگونیست Bacillus subtilis وسالیسیلیک اسید در گیاه گوجه‌فرنگی در برابر پژمردگی فوزاریومی و Meloidogyne javanica. پژوهش های کاربردی در گیاهپزشکی (دانش کشاورزی)، سال ۶، شماره ۴، ص ۱-۱۰.
- صارمی، ح.، زند، ا.، ۱۳۸۲. قارچها و کنترل بیولوژیک (آفات، بیمارگرها و علف‌های هرز)، انتشارات دانشگاه زنجان.
- علیخانی، ح.ع.، ۱۳۸۵. پرورش کرم‌های مولد ورمی‌کمپوست و کشاورزی پایدار، انتشارات جهاد دانشگاهی.
- فکرت، ف.، اعظمی ساردوئی، ذ.ا.، ملائی مقبلی، ا.، مقبلی هنزایی، ا.، ۱۳۹۶. اثر ورمی‌کمپوست و Glomus versiform بر کنترل قارچ Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici در گیاه گوجه‌فرنگی، کنترل بیولوژیک آفات و بیماری‌های گیاهی، دوره۶، شماره ۲، ص ۱۲۷-۱۳۸.
- قربانی، م.، روحانی، ح.، مهدی خانی، ع.، رضایی دانش، ی.، میرهاشمی، ا.، ۱۳۹۰. شناسایی قارچهای میکوریزا آربوسکولار همراه با گوجه‌فرنگی در استان خراسان رضوی و بررسی تأثیر آنها در القای مقاومت در برابر نماتد گره ریشه (Meloidogyne javanica). پایان نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ملکی زیارتی، ح.، ۱۳۸۷. بررسی اهمیت قارچ Trichoderma harzianum در کنترل بیولوژیک با عوامل بیماری‌زایی گیاهی، مجله گیاهپزشک و غذا، شماره ۲، ص ۲۱-۲۵.