Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)
46(4), Winter, 2024

10.22055/ppr.2024.44898.1710

Examining the response of various ornamental plants to *Meloidogyne javanica* and investigating the synergistic impact of *Neocosmospora solani* on nematode infestation in Ferocactus

A. Maghsoudi[1], M. Davari [2*], Sh. Moslehi [3]

1. M.Sc. student, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (mdavari@uma.ac.ir)
3. Assistant Professor, Department of Plant Protection, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

Received: 9 October 2023 Accepted: 3 April 2024

Abstract

Background and Objectives

Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) are amongst the most important plant-parasitic nematodes. These nematodes, which bind the roots of sensitive plants, are obligate parasites of plants. Numerous pathogens, including nematodes, fungi, bacteria, and viruses, cause damage to ornamental plants. Damage caused by these pathogens includes crown and root rots, cankers, and leaf blotches, among others. Given the importance of ornamental plant production and the detrimental effects inflicted by root-knot nematodes and root rot fungi on these plants, the current investigation aimed to assess the response of nine ornamental plants to the nematode *Meloidogyne javanica*. Additionally, the study sought to determine whether *Neocosmospora solani*, in conjunction with the nematode, could induce a synergistic effect on *Ferocactus*.

Material and Methods

The response of nine ornamental plants to the root-knot nematode was examined in the present study. Upon isolation from the crowns and roots of different cacti varieties grown in greenhouses containing ornamental plants in Ardabil province, the rot fungus was determined to be *Neocosmospora solani*. The *M. javanica* population was cultivated in the Plant Pathology Laboratory of Azarbaijan Shahid Madani University. A suspension of *M. javanica* eggs and larvae was utilized to inoculate ornamental plants with nematodes. To assess the plants' response to the nematode, several plant growth factors and the quantity of knots on the roots were examined. The present study also assessed the synergistic impacts of two nematode and fungal pathogens on specific growth factors of *Ferocactus*. Both simultaneous and non-simultaneous inoculation techniques were utilized.

Results

Among the plants with knots on the roots, except for tiger Aloe, in the rest of the investigated plants, there were significant differences among the treatments. Based on the comparisons between plants inoculated with nematodes, the highest number of knots was observed on the roots of *Begonia* plants and the lowest in *Echeveria*, *Ferocactus* and Tiger aloe. Notably, *Tradescantia spathace* was excluded from the analyses as a result of significant nematode

damage and subsequent plant mortality. Based on the absence of any damage observed on the shoots and roots of the control plants of this species, it can be categorized as one of the *Meloidogyne*-sensitive plants. The growth factors examined in plants were similarly impacted in the majority of the plants that sustained significant damage, with *begonia* plants exhibiting the most pronounced effect. We observed the presence of diminutive, pallid flowers as well as a reduction in the mass of the roots and aerial components in the spotted begonia. Notwithstanding a minor aberration in the morphology of certain roots and aerial organs, no knots of significance were detected in *Myrtillocactus*. There were no discernible differences in plant growth factors between the control and inoculated plants; therefore, this particular plant can be deemed the most resistant to *Meloidogyne* among all the plants that were examined. Given that this plant is frequently utilized as a basal component in grafted cacti, this result may prove to be extremely beneficial. In relation to the synergistic assays conducted on the *Ferocactus* plant, the outcomes of both approaches demonstrated statistically significant differences among the treatments as determined by variance analysis for all the characteristics under investigation, namely shoot length, shoot weight, root length, and root weight. The treatments were inoculated with nematodes, and the control group exhibited the greatest shoot length. These treatments exhibited the shortest shoot lengths when inoculated with nematodes and fungi. The treatments containing nematode and fungus resulted in the shortest root length and weight, while the control plants devoid of nematode and fungus exhibited the greatest root length and weight.

Discussion

Overall, the findings of the current study demonstrated that root-knot nematodes have a significant capacity to inflict damage upon the ornamental plants under investigation. However, it was also confirmed that *M. javanica* and *N. solani* have synergistic effects on *Ferocactus* plant damage. The results validate the importance of promptly detecting and managing these organisms within greenhouse environments where ornamental plants are cultivated. Therefore, before the beginning of the infection and with the early detection of these diseases, it is possible to prevent the spread and damage caused by the root-knot nematode and root rot fungus in ornamental plants by using integrated management.

Keywords: Ferocactus horridus, Ornamental Plants, Root Rot, Root-knot Nematode, Synergism

Associate editor: S. Azimi (Ph.D.)

Citation: Maghsoudi, A., Davari, M. & Moslehi, Sh. (2024). Examining the response of various ornamental plants to *Meloidogyne javanica* and investigating the synergistic impact of *Neocosmospora solani* on nematode infestation in Ferocactus. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 46*(4), 71-89. https://doi.org/10.22055/ppr.2024.44898.1710.

گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ٤٦، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢

10.22055/ppr.2024.44898.1710

بررسی واکنش تعدادی از گیاهان زینتی در برابر نماتد *Meloidogyne javanica* و ارزیابی اثر هم‌افزایی *Neocosmospora solani* با نماتد در گیاه فروکاکتوس

امین مقصودی [۱]، مهدی داوری *[۲] و شلاله مصلحی [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- **نویسنده مسوول**: دانشیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (mdavari@uma.ac.ir)
۳- استادیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۵

چکیده

با توجه به اهمیت تولید گیاهان زینتی و خسارت نماتد مولّد ریشه‌گرهی و قارچ عامل پوسیدگی ریشه در این گیاهان، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی واکنش نه گیاه زینتی به نماتد *Meloidogyne javanica* و اثر هم‌افزایی *Neocosmospora solani* با نماتد بر روی گیاه زینتی فروکاکتوس انجام گرفت. برای این منظور، سوسپانسیون تخم و لارو *M. javanica* به عنوان مایه‌تلقیح نماتد روی گیاهان زینتی مورد استفاده قرار گرفت و برخی فاکتورهای رشدی گیاهان و تعداد گره در ریشه مورد بررسی قرار گرفت. هم‌افزایی دو بیمارگر قارچ و نماتد نیز روی برخی فاکتورهای رشدی فروکاکتوس با دو روش مایه‌زنی همزمان و غیرهمزمان ارزیابی شد. در گیاه میرتلو (پایه آبی)، گره قابل ثبتی وجود نداشت. بر اساس مقایسات انجام یافته بین گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد، بیشترین تعداد گره در ریشه مربوط به بگونیا و کمترین در اشوریا، فروکاکتوس و آلوئه ببری مشاهده شد. فاکتورهای رشدی مورد بررسی و شکل ظاهری نیز در اغلب گیاهان با آلودگی بالا تحت تأثیر قرار گرفته بود که بیشترین تاثیر در بگونیا مشاهده شد. در ارزیابی هم‌افزایی، نتایج هر دو روش نشان داد که تیمار فروکاکتوس شاهد و تیمارِ دارای نماتد، بالاترین طول اندام هوایی را داشتند و کمترین طول اندام هوایی نیز متعلّق به تیمار مایه‌زنی شده با نماتد و قارچ بود. همچنین گیاهان شاهدِ بدون قارچ و نماتد، بالاترین و تیمار مایه‌زنی شده با نماتد و قارچ، کمترین طول و وزن ریشه را داشتند. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش، قابلیت بالای نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی در ایجاد خسارت بر روی گیاهان زینتی را نشان داد. از طرفی، اثرات هم‌افزایی *M. javanica* و *N. solani* در افزایش خسارت روی فروکاکتوس نیز مورد تایید قرار گرفت. نتایج حاصل، ضرورت شناسایی و کنترل این بیمارگرها را در گلخانه‌های تولید گیاهان زینتی مشخص می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: پوسیدگی ریشه، گیاهان زینتی، نماتد مولّد ریشه‌گرهی، هم‌افزایی، Ferocactus horridus

دبیر تخصصی: دکتر صدیقه عظیمی

مقدمه

گیاهان زینتی، گیاهانی هستند که قابلیت رشد در مکان‌های سرپوشیده مانند داخل منازل، ادارات و غیره را دارند و معمولاً برای اهداف تزئینی، اثرات مثبت روانی و یا دلایل بهداشتی از جمله تصفیه هوای داخل ساختمان پرورش داده می‌شوند (Carrillo-Reyes et al., 2009). به دلیل علاقه بالای مردم به گیاهان زینتی، داشتن بازار داخلی و بازار کشورهای همسایه و توانایی رقابت محصولات تولیدی، کشور ایران می‌تواند بخشی از نیازهای ارزی را از این طریق تامین نماید. هم‌چنین گل و گیاه زینتی جزو کشت‌های متراکم محسوب شده و از توانمندی بالایی در بهره‌وری از نهاده‌ها به ویژه آب برخوردار است. ایران به‌دلیل دارا بودن اقلیم های متنوع، نیروی کار ارزان و فراوان، انرژی تابشی فراوان، انرژی فسیلی ارزان، دانش فنی تولید و نزدیکی به بازارهای مصرف، شرایط ایده‌آل را برای توسعه این بخش مهم دارا است. با توجه به اهمیت اقتصادی پرورش گل‌ها و گیاهان زینتی در دنیا، استفاده از فناوری‌ها و روش‌های جدید در اصلاح این گیاهان و نیز شناخت و کنترل عوامل بیماری‌زای آن‌ها و رعایت قرنطینه می‌تواند نقش به‌سزایی در افزایش تجارت آن‌ها در بازارهای بین‌المللی داشته باشد (Shariatzadeh, 2016). گیاهان زینتی نیز مثل سایر گیاهان، مورد تهاجم عوامل بیماری‌زای مختلف مثل قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها، نماتدها و فیتوپلاسماها قرار می‌گیرند. این بیمارگرها می‌توانند باعث ایجاد خسارت با علائم ظاهری مختلف از جمله پوسیدگی ریشه و طوقه، شانکر و لکه‌برگی شوند (Krejzar et al., 2008; Gimenes et al., 2010; Montazeri, 2019).

نماتدهای انگل گیاهی جزو عوامل بیمارگر مهم گیاهان هستند و خسارت قابل توجهی را به گیاهان مختلف وارد می سازند. خسارت اقتصادی سالانه نماتدها به محصولات کشاورزی در جهان حدود ۱۰۰ میلیون دلار برآورد شده است (Perry et al., 2009). نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne* spp.) از مهم‌ترین نماتدهای انگل گیاهی هستند. این نماتدها انگل اجباری گیاهان بوده و در ریشه گیاهان حساس، گره ایجاد می‌کنند. تاکنون بیش از ۱۰۰ گونه از این جنس از سراسر جهان گزارش شده است و در ایران هفت گونه متعلق به این جنس، از میزبان‌های گیاهی مختلف جمع‌آوری، شناسایی و گزارش شده است (Ghaderi & Karssen, 2020).

گونه‌های جنس *Fusarium* از شایع‌ترین قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی می‌باشند که دامنه وسیعی از گیاهان را آلوده می‌کنند و بیماری‌های مهمی مانند پژمردگی، پوسیدگی ریشه و سوختگی سنبله ایجاد می‌کنند (Davari et al., 2013). در حال حاضر، برخی از گونه‌های این جنس در جنس‌های جدید از جمله *Neocosmospora*، *Bisifusarium*، *Albonectria*، *Microcera*، *Rectifusarium* و *Fusicolla* قرار می‌گیرند (Crous et al., 2022). بر این اساس، گونه *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. که گونه‌ای همه‌جازی بوده و عامل پوسیدگی ریشه در بسیاری از گیاهان است، تحت عنوان *Neocosmospora solani* (Mart.) L. Lombard & Crous پذیرفته شده است (Lombard et al., 2015).

اولین بار هم‌افزایی قارچ-نماتد در گیاهان توسط اتکینسون در سال ۱۸۹۲ در مورد پژمرگی فوزاریومی پنبه گزارش شد که در آن، بیماری ناشی از *Fusarium oxysporum* Snyder & H.N. Hansen, f. sp. *vasinfectum* با گونه‌های *Meloidogyne* تشدید می‌شد (Atkinson, 1892). بعد از آن، گزارش‌های دیگری در این خصوص در گیاهان مختلف ثبت شده است (Zhang et al., 2020). گیاهان زینتی، هم به وسیله نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی در گلخانه‌ها آسیب زیادی می‌بینند و هم پوسیدگی‌های قارچی از اصلی‌ترین عوامل بیمارگر این گیاهان هستند. در ایران، مطالعه‌ای در خصوص واکنش گیاهان زینتی در برابر نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی انجام نشده است. مطالعات چندانی در مورد قارچ‌های عامل پوسیدگی و پژمردگی و اثرات هم‌افزایی آن‌ها با نماتدها نیز روی گیاهان زینتی انجام نشده است. بنابراین در بررسی حاضر، واکنش تعدادی از گیاهان زینتی در برابر جمعیت

بومی نماتد گونه *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949 و اثر هم‌افزایی *N. solani* با این نماتد در گیاه منتخب (*Ferocactus horridus*) مورد ارزیابی قرار گرفت. دلیل انتخاب این گیاه برای آزمون هم‌افزایی، جدا سازی قارچ مورد بررسی از برخی گیاهان از جمله فروکاکتوس بود. همچنین این گیاه، نوعی کاکتوس است که علاوه بر کشت در گلدان، در تهیه تراریوم‌ها و دیش‌گاردن‌ها کاربرد دارد و در چنین کشت‌هایی، رطوبت بالا سبب گسترش پوسیدگی‌های قارچی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

گیاهان مورد استفاده در بررسی حاضر شامل گونه‌های اشاره شده در جدول ۱ می‌باشد.

از خاک گلدان مخصوص گیاهان زینتی سترون‌سازی شده به‌عنوان بستر کشت گیاهان جدول فوق اعم از انواع کاکتوس‌های خاردار، ساکولنت‌ها[1] و سایر گیاهان زینتی استفاده گردید. گیاهان زینتی در ۱۰ تکرار در خاک مخصوص کاشته شد و به مدت دو هفته در شرایط طبیعی گلخانه‌ای جهت عادت کردن و رفع تنش ناشی از جابه‌جایی نگهداری شدند.

تکثیر نماتد *Meloidogyne javanica* و تهیه مایه تلقیح

جمعیت خالص *M. javanica* از آزمایشگاه بیماری‌شناسی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان تهیه شد. گوجه‌فرنگی رقم Super strain B حساس به نماتد مولّد ریشه‌گرهی برای تکثیر نماتد استفاده شد (Moslehi, 2015). گیاهان کاشته شده در گلدان‌های حاوی نسبت‌های برابری از ماسه، پرلیت و خاک زراعی سترون با نماتد مایه‌زنی شده و در گلخانه با دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس و نور طبیعی نگهداری شدند. کیسه‌های تخم ایجاد شده بر سطح ریشه‌ها به‌عنوان منابع مایه تلقیح نماتد مورد استفاده قرار گرفت. برای این کار، کیسه‌های تخم از ریشه گیاهان تکثیری جداسازی و در محلول هیپوکلریت سدیم نیم درصد حل شده و در انکوباتور با دمای ۲±۲۷ درجه سلسیوس نگهداری شدند. سوسپانسیون تخم و لارو حاصل به‌عنوان مایه تلقیح استفاده شد (Hussey & Barker, 1973).

بررسی واکنش گیاهان زینتی در برابر نماتد

نظر به این‌که آستانه خسارت اقتصادی گونه‌های رایج نماتد مولّد ریشه‌گرهی ۲ الی ۵ لارو سن دو به ازای هر گرم خاک است (Taylor & Sasser, 1978)، در بررسی حاضر به‌منظور بررسی واکنش گیاهان در برابر این گونه نماتد با توجه به ماهیت آزمایش و گیاهان میزبان، پنج تکرار از هر گیاه با سه تخم و لارو سن دو به ازای هر گرم خاک مایه‌زنی شدند. پنج تکرار از هر گیاه نیز بدون مایه‌زنی با نماتد، نگهداری شده و فقط آبیاری شدند. گیاهان به مدت سه ماه در شرایط گلخانه با دمای ۲۵ تا ۲۸ درجه سلسیوس و نور طبیعی گلخانه نگهداری شدند و با فواصل منظم آبیاری شدند.

علائم ظاهری گیاهان در این مدت به طور مرتب بررسی شد. برای تمامی گیاهان برداشت شده، مؤلفه‌هایی شامل طول اندام هوایی، وزن اندام هوایی، طول ریشه، وزن ریشه، تعداد گره و در صورت تشکیل گره، اندازه گره‌ها، علائم ظاهری اندام هوایی و ریشه ثبت و مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت (Eskandarzadeh, et al., 2021).

تکثیر و تهیه مایه تلقیح *Neocosmospora solani*

قارچ عامل پوسیدگی از ریشه و طوقه چند نوع کاکتوسِ دارای علائم شامل اچینوکاکتوس، فروکاکتوس، ملوکاکتوس و کاکتوس اچینوپسیس با علائم پوسیدگی از گلخانه‌های گیاهان زینتی استان اردبیل جدا سازی شدند. برای مشاهده مشخصات پرگنه از محیط کشت PDA (Potato Dextrose Agar) و به منظور تعیین مشخصات میکرو سکوپی، از محیط کشت SNA (synthetic nutrient poor-agar) استفاده شد (Leslie & Summerell, 2006). تهیه سوسپانسون اسپور و آزمون بیماری‌زایی مطابق روش Banihashemi & Dezeeuw (2010) انجام شد و با استفاده از لام هموسایتومتر، جمعیت اسپور تعیین و سپس روی 10^6 اسپور در میلی لیتر تنظیم گردید.

---

[1] Succulent

جدول ۱- گیاهان مورد مطالعه در این پژوهش

Table 1- Plants studied in this research

Origion	Common name	Scientific name
Azaran Cactus Greenhouse, Tabriz	Tiger Aloe	*Aloe variegata*
Hero Khalkhal Greenhouse	Mexican hens	*Echeveria shaviana*
Arthus Greenhouse, Ardabil	Spotted Begonia	*Begonia cracklin*
Arthus Greenhouse, Ardabil	Beatrice Haddrell	*Begonia beatrice*
Azaran Cactus Greenhouse, Tabriz	Barrel cactus	*Ferocactus horridus*
Azaran Cactus Greenhouse, Tabriz	Haworthia Zebra	*Haworthia fasciata*
Hero Greenhouse, Khalkhal	Blue candle	*Myrtillocactus geometrizans*
Hero Greenhouse, Khalkhal	Madagascar Palm	*Pachypodium lamerei*
Golestan Ali, Ardabil	Moses in the cradle	*Tradescantia spathacea*

بررسی هم‌افزایی قارچ و نماتد

برای بررسی میزان هم‌افزایی نماتدهای مولد ریشه‌گرهی با قارچ عامل پوسیدگی ریشه، دو روش مختلف مایه‌زنی هم‌زمان و غیرهم‌زمان نماتد و قارچ اجرا شد. گیاه مورد بررسی برای هر دو آزمایش، گونه *Ferocactus horridus* Britton & Rose در نظر گرفته شد. در هر دو روش برای هر تیمار، پنج تکرار در نظر گرفته شد. تیمارها شامل گیاهان مایه‌زنی شده فقط با نماتد *M. javanica*، مایه‌زنی شده فقط با قارچ *N. solani*، مایه‌زنی شده با نماتد و قارچ و شاهد بدون بیمارگر بود. تمامی گیاهان در شرایط عادی گلخانه‌ای با رطوبت، دما و نور طبیعی، به‌صورت کاملاً تصادفی چیده شدند. علائم ظاهری گیاهان به‌طور مرتب مورد بررسی قرار گرفت. در مایه‌زنی هم‌زمان، ریشه گیاهان از بستر خارج و در سوسپانسیون قارچ قرار داده شده و سپس در بستر کشت سترون کاشته شده و همان روز با نماتد مایه‌زنی شدند. در روش دوم، ابتدا گیاهان مورد نظر با نماتد مایه‌زنی شدند و ۱۵ روز بعد، مایه تلقیح قارچ به صورت سوسپانسیون به بستر خاک اضافه شد (Mahboubi et al., 2017). پس از گذشت یک ماه، گیاهان برداشت شده و صفات مورد نظر شامل طول و وزن اندام هوایی، طول و وزن ریشه، تشکیل یا عدم تشکیل گره و علائم ظاهری اندام هوایی و ریشه ثبت شدند.

تجزیه و تحلیل آماری نتایج

برای کل داده‌ها تست نرمال بودن با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov انجام شد و در مواردی در صورت نداشتن توزیع نرمال، با تبدیل لگاریتمی نرمال‌سازی شدند. در این مطالعه به منظور مقایسه میانگین فاکتورهای رشدی گیاهان تیمار مایه‌زنی شده با نماتد و شاهد بدون نماتد از آزمون آماری تی مستقل[1] در سطح ۵ درصد استفاده شد. برای مقایسه میانگین تعداد گره در ریشه بین گیاهان مختلف و همچنین مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش هم‌افزایی از آزمون آماری تجزیه واریانس یک طرفه[2] و برای تعیین اختلاف بین گروه‌ها از آزمون دانکن[3] استفاده شد. محاسبات آماری با نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 22 و رسم نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار Microsoft Excel 2016 صورت گرفت.

نتایج

واکنش گیاهان زینتی در برابر نماتد

گیاه *Aloe variegata*

در گیاه آلوئه ببری، مقایسه دوبه‌دوی تیمارها نشان داد که در هیچ کدام از صفات مورد بررسی، به جز وزن ریشه، تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارها وجود ندارد. در مورد وزن ریشه، بین تیمار مایه‌زنی شده با نماتد و شاهد، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج در صد مشاهده شد، به‌طوری‌که تیمارهای شاهد در مقایسه با تیمارهای مایه‌زنی شده، وزن ریشه بیشتری داشتند (شکل‌های ۲ و ۳).

1 Independent-samples T Test
2 One-Way ANOVA
3 Duncan

گیاه *Echeveria shaviana*

در گیاه اِشورِیا مقایسه دوبه‌دوی تیمارها نشان داد که در بین صفات مورد بررسی، در مورد طول ریشه ، بین تیمار مایه‌زنی شده با نماتد و شاهد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد. به‌طوری‌که تیمارهای شاهد در مقایسه با تیمارهای مایه‌زنی شده، طول ریشه بیشتری داشتند (شکل‌های ۲ و ۳).

گیاه *Begonia cracklin*

با مقایسه دوبه‌دوی تیمارها، گیاه بگونیای خالدار در کلیه صفات، تفاوت معنی‌داری را بین تیمار دارای نماتد و شاهد نشان داد. به‌طوری‌که اثر تیمارها در طول اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد و در سایر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و در گیاهان شاهد، مقادیر تمام صفات رویشی بیشتر از تیمارهای دارای نماتد بود (شکل‌های ۲ و ۳).

گیاه *Begonia beatrice*

در گیاه بگونیا ریزوم‌دار، مقایسه دوبه‌دوی تیمارها مشخص کرد که در مورد طول اندام هوایی و طول ریشه، تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارها وجود ندارد. با این حال در مورد وزن اندام هوایی و وزن ریشه بین تیمار مایه‌زنی شده با نماتد و شاهد، اختلاف آماری معنی‌داری به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد مشاهده شد، به‌طوری‌که تیمارهای شاهد در مقایسه با تیمارهای مایه‌زنی شده، دارای وزن بیشتری در اندام هوایی و ریشه بودند (شکل‌های ۲ و ۳).

گیاه *Ferocactus horridus*

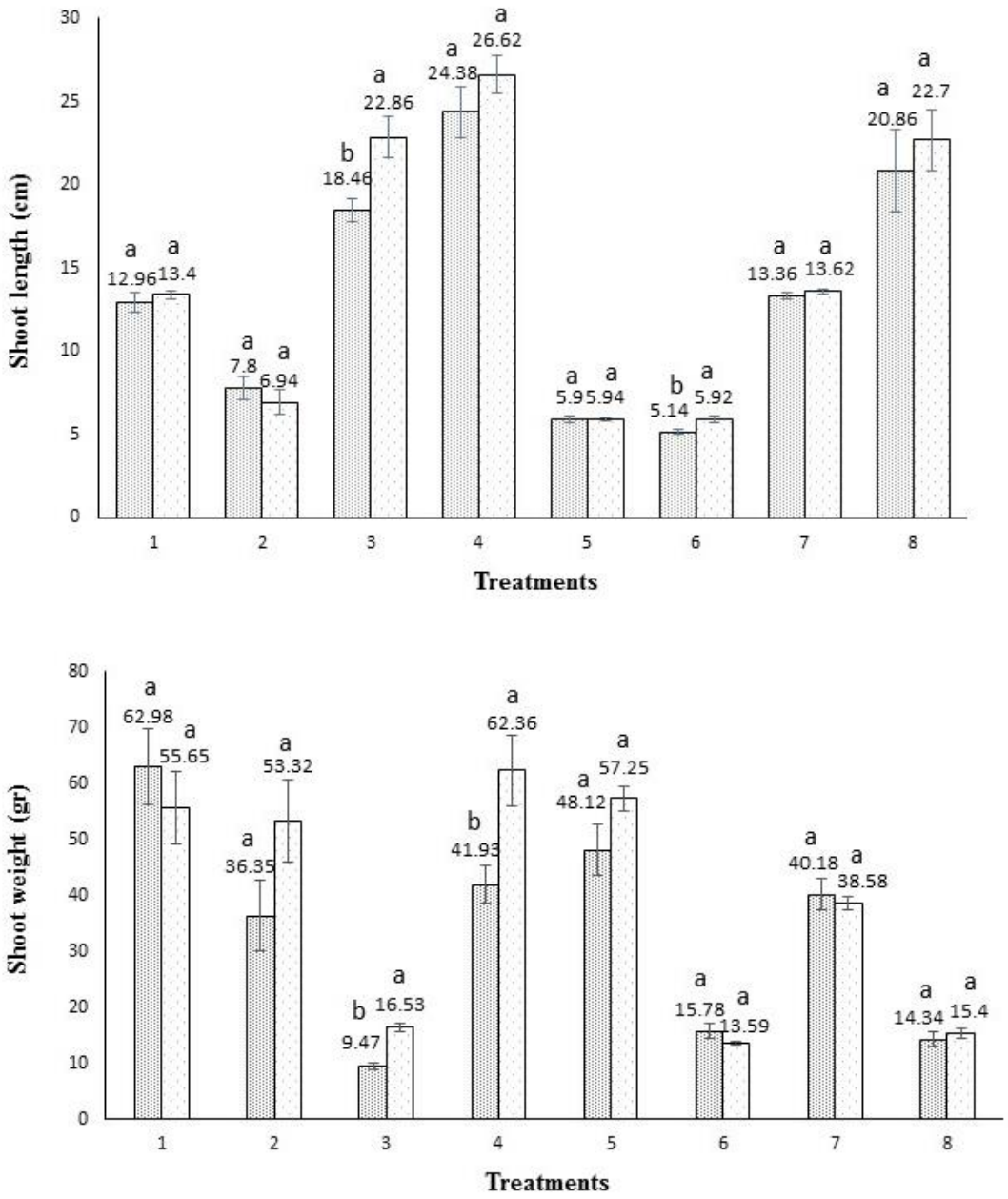
در گیاه فروکاکتوس، مقایسه دوبه‌دو نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارها در صفات طول و وزن ریشه وجود دارد. به طوری که تیمارهای شاهد در مقایسه با تیمارهای مایه‌زنی شده با نماتد، دارای طول و وزن ریشه بیشتری بودند (شکل‌های ۲ و ۳).

گیاه *Haworthia fasciata*

در گیاه هاوریتا گورخری، مقایسه دوبه‌دوی تیمارها نشان داد که در مورد طول اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری که تیمار شاهد در مقایسه با تیمارهای مایه‌زنی شده، دارای طول اندام هوایی بیشتری بود (شکل‌های ۲ و ۳).

شکل ۱- بگونیا ریزوم‌دار: A. گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد *M. javanica*، B. ریشه گیاه مایه‌زنی شده با نماتد *M. javanica*، C. گره‌های ناشی از نماتد *M. javanica* روی ریشه، D. گیاهان شاهد بدون نماتد، E. ریشه گیاه شاهد بدون نماتد.

Figure 1- *Begonia beatrice*: A. Plants inoculated with *M. javanica*, B. The roots inoculated with *M. javanica*, C. The knots induced by *M. javanica*, D. Control plants, E. The control plant roots.



شکل ۲- مقایسه (± خطای معیار) میانگین طول و وزن اندام هوایی گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد (ستون‌های تیره) و گیاهان شاهد (ستون‌های روشن) با استفاده از آزمون T. حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد (مقایسه حروف برای هر گیاه به طور جداگانه در نظر گرفته شده است).

Figure 2. Mean (±SE) comparison of shoot weight and length of inoculated plants with nematode (Dark columns) and control (Light columns) using T-Test. Similar letters mean non-significant at the 5% probability level (Comparisons of letters are considered separately for each plant) 1 to 8 respectively: *Aloe variegata, Echeveria shaviana, Begonia cracklin, Begonia beatrice, Ferocactus horridus, Haworthia fasciata, Myrtillocactus geometrizans* and *Pachypodium lamerei*

گیاه *Myrtillocactus geometrizans*

در گیاه میرتلو مقایسه دو بدوی تیمارها مشخص کرد که در بین هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی، تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارها وجود ندارد (شکل‌های ۲ و ۳).

گیاه *Pachypodium lamerei*

در گیاه نخل ماداگاسکار، مقایسه دو بدوی تیمارها مطابق شکل‌های ۲ و ۳ نشان داد که طول و وزن ریشه در تیمارها به لحاظ آماری دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

بودند، به‌طوری‌که تیمارهای شاهد در مقایسه با تیمارهای مایه‌زنی شده دارای طول و وزن ریشه بیشتری بودند. در این گیاه، کوچک ماندن ریشه کاملاً مشخص بود.

گیاه *Tradescantia spathacea*

در گیاه موسی‌درگهواره، سه تکرار از پنج تکرار مایه‌زنی شده با نماتد به‌طور کامل از بین رفتند. ریشه بقیه گیاهان مایه‌زنی شده، کم حجم و برگ‌های پایینی کاملا خشک شده بودند. گیاهان شاهدی که در طول مدت آزمایش فقط آبیاری شدند، دارای چندین پاجوش، ریشه روشن و سالم بودند. با توجه به اینکه اغلب گیاهان مایه-زنی شده با نماتد در مدت زمان آزمایش از بین رفتند، تجزیه آماری نتایج این گیاه انجام نشد. اما دو گیاه باقی-مانده، تعدادی گره مشخص و اندام‌های هوایی کوتاه‌تر و ضعیف‌تری در مقایسه با گیاه شاهد داشتند. از طرفی، برگ‌های پایینی دچار ریزش شده و یا خشک شدند. ریشه گیاهان باقی‌مانده در مقایسه با گیاهان شاهد، کم رشدی داشته و تراکم ریشه‌های فرعی نیز کم‌تر بود.

چنانچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقایسه گیاهان مختلف از نظر تشکیل گره نشان داد که بین گیاهان مورد بررسی، تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۴) مشخص کرد که از بین گیاهان مورد بررسی، بیشترین گره در دو گونه بگونیا تشکیل شده بود. پس از آن، نخل ماداگاسکار و هاورتیا گورخری (زبرا) در رتبه دوم قرار داشتند. سایر گیاهان نیز بدون تفاوت معنی‌داری از هم، تعداد گره کم‌تری داشتند. لازم به ذکر است که گیاه موسی‌درگهواره به علت آلودگی شدید و حذف گیاهان، در این مقایسه بررسی نشد اما در بین گیاهان حساس به نماتد طبقه‌بندی می‌شود.

شناسایی قارچ عامل پوسیدگی در گیاهان زینتی مورد بررسی

پرگنه در محیط کشت PDA و قرار گرفتن در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و شرایط ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی، میسیلیوم‌های پنبه‌ای به رنگ سفید تا کرم با سطح پشتی کرم مایل به زرد تولید کرد. قطر پرگنه پس از گذشت هفت روز به ۶/۹ سانتی‌متر و پس از گذشت ۱۰ روز به ۹ سانتی‌متر رسید. حاشیه پرگنه به حالت دایره‌ای منظم و به شکل مژه‌دار رشد کرد. ماکروکنیدیوم‌ها در محیط کشت SNA به شکل مستقیم و نسبتا عریض، معمولا دارای ۵ بند عرضی با یاخته انتهایی خمیده و گرد و یاخته پایه پاشنه‌ای ضعیف و یا فرورفته بودند. اندازه ماکروکنیدیوم‌ها ۵-۴ × ۳۸-۱۹ میکرومتر بود (شکل۵). میکروکنیدیوم‌ها به فراوانی به اشکال تخم‌مرغی کشیده، دوکی‌شکل و صفر تا یک دیواره‌ای در قالب سرهای کاذب روی منوفیالیدهای بلند و کشیده تشکیل شدند. کلامیدوسپورها به شکل کروی و به صورت تکی و دوتایی، بین ریسه‌ای یا انتهایی بودند. گونه جدایه‌های به‌دست آمده، *Neocosmospora solani* تشخیص داده شد که با توصیف‌های موجود در منابع معتبر همخوانی داشت (Summerell, 2019). گونه *N. solani* از *F. oxysporum* با داشتن منوفیالیدهای بلندتر تشخیص داده می‌شود. همچنین کنیدیوم‌های *N. solani* کمی عریض‌تر از *F. oxysporum* است (Leslie & Summerell, 2006).

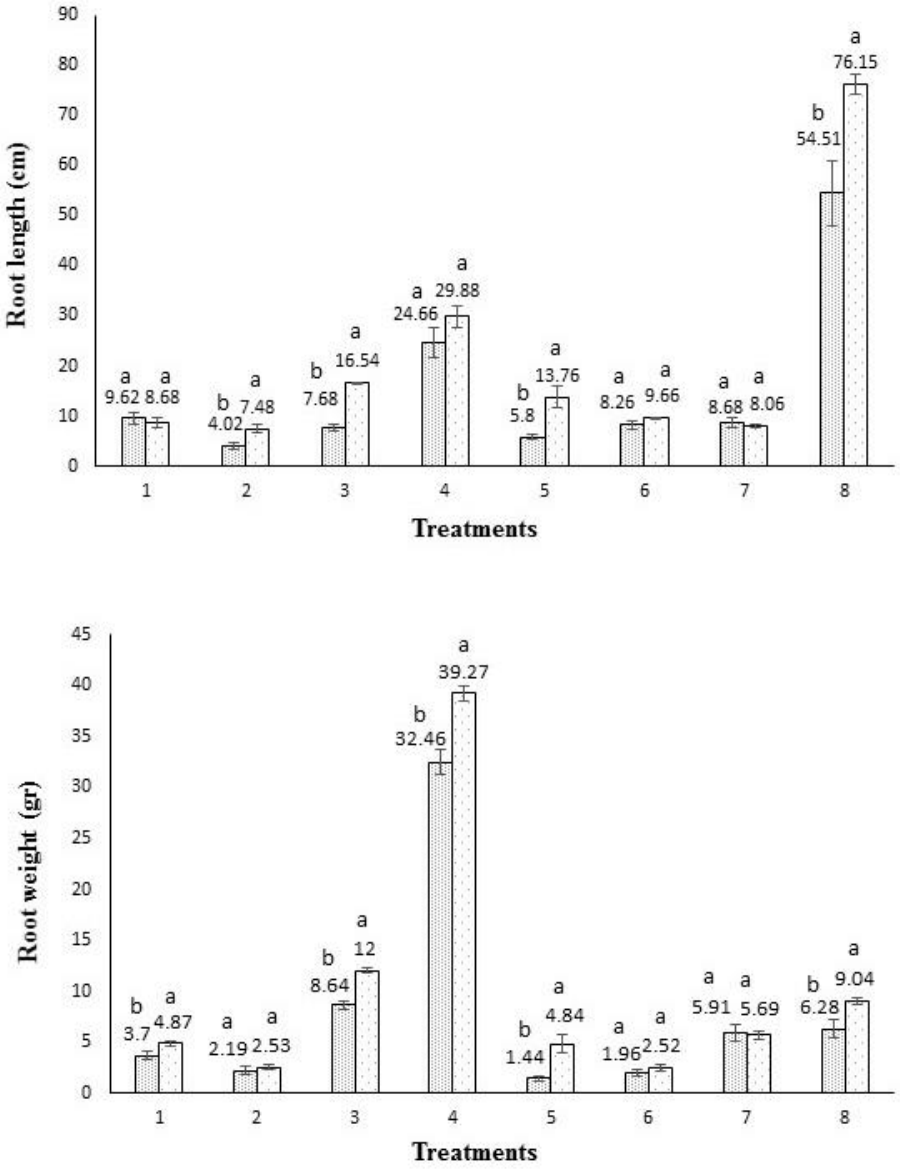
جدول ۲- تجزیه واریانس تعداد گره در گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد

Table 2. Variance analysis of the number of knots in plants inoculated with nematode

Sources of Variance	df	MS
Treatments	7	56.329**
Error	32	2.175
F	-	25.898

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** Significant at 0.01 probability level.



شکل ۳- مقایسه (± خطای معیار) میانگین طول و وزن ریشه گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد (ستون‌های تیره) و گیاهان شاهد (ستون‌های روشن) با استفاده از آزمون T. حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد (مقایسه حروف برای هر گیاه به طور جداگانه در نظر گرفته شده است).

Figure 3. Mean (±SE) comparison of root weight and length of inoculated plants with nematode (Dark columns) and control (Light columns) using T-Test. Similar letters mean non-significanct at the 5% probability level (Comparisons of letters are considered separately for each plant). 1 to 8 respectively: *Aloe variegata, Echeveria shaviana, Begonia cracklin, Begonia beatrice, Ferocactus horridus, Haworthia fasciata, Myrtillocactus geometrizans* and *Pachypodium lamerei.*

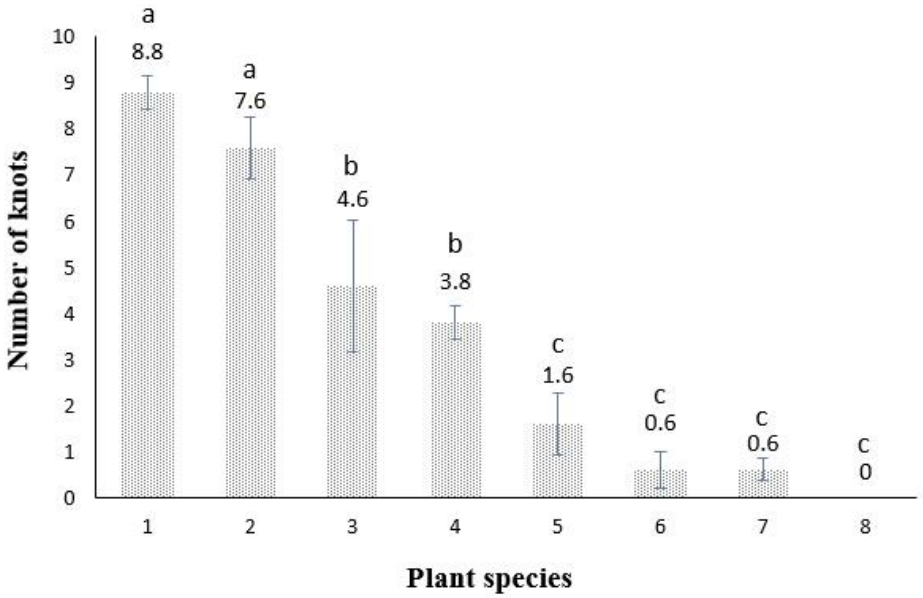
هم‌افزایی قارچ *N. solani* و نماتد *M. javanica*

روش اول: تلقیح هم‌زمان قارچ و نماتد

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در بررسی هم‌افزایی با روش تلقیح هم‌زمان قارچ و نماتد در گیاه فروکاکتوس، تمام صفات مورد بررسی شامل طول اندام هوایی، وزن اندام هوایی، طول ریشه و وزن ریشه بین تیمارها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

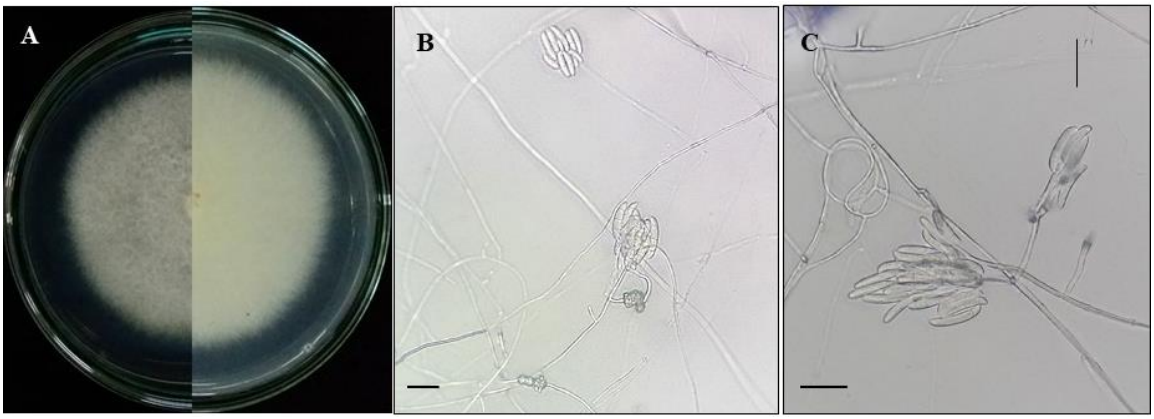
مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که از نظر طول اندام هوایی، تیمارهای شاهد و تیمار مایه‌زنی شده با نماتد، بدون اختلاف آماری معنی‌دار از هم، بیشترین طول اندام هوایی را داشتند.

گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ، حالت بینابینی داشته و در مقایسه با دو گروه قبلی، با اختلاف معنی‌دار طول کمتری داشتند. کمترین طول اندام هوایی نیز متعلّق به گیاهان مایه‌زنی شده توام با نماتد و قارچ بود (جدول ۴ و شکل ۶). در مورد وزن اندام هوایی نیز بیشترین مقدار را گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد و شاهد دارا بودند. پس از آن، با اختلاف معنی‌داری گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ قرار داشته و کمترین وزن اندام هوایی نیز در گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد و قارچ مشاهده شد. در مورد طول ریشه، بیشترین طول ریشه در گیاهان شاهد مشاهده شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت. پس از آن، گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد و مایه‌زنی شده با قارچ به ترتیب در رتبه دوم و سوم بودند و کم‌ترین طول ریشه هم مربوط به تیمار هم‌زمان قارچ و نماتد بود. بیشترین وزن ریشه در گیاهان شاهد مشاهده شد و تیمارهای دریافت‌کننده نماتد و قارچ به تنهایی با اختلاف معنی‌داری از شاهد و بدون اختلاف معنی‌دار از همدیگر، وزن کم‌تری داشتند. کمترین وزن ریشه نیز در تیمار مایه‌زنی شده با قارچ و نماتد باهم مشاهده گردید که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که تقریباً کل ریشه‌ها حالت پوسیده داشتند (جدول ۴).



شکل ٤- مقایسه(± خطای معیار) میانگین تعداد گره در واحد ریشه درگیاهان مایه‌زنی شده با نماتد

Figure 4. Mean (±SE) comparison of knots per root in plants inoculated with nematode. 1 to 8 respectively: *Begonia Beatrice, Begonia cracklin, Pachypodium lamerei, Haworthia fasciata, Echeveria shaviana, Ferocactus horridus, Aloe variegata* and *Myrtillocactus geometrizans*



شکل ٥- *Neocosmospora solani*: A. سطح رویی و پشتی پرگنه روی محیط کشت PDA، B-C: مونوفیالیدهای بلند به همراه سرهای کاذب و ماکروکنیدیوم‌ها، مقیاس: ۲۰ میکرومتر.

Figure 5. *Neocosmospora solani*: A. The surface and reverse of colony on PDA, B-C. Long monophialides, false heads and Macroconidia (Scale bars = 20 µm).

روش دوم: تلقیح قارچ بعد از نماتد

چنانچه نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان می‌دهد، در بین تیمارهای دریافت کننده نماتد و قارچ در روش دوم (تلقیح قارچ بعد از نماتد) مشاهده گردید که در هر چهار صفت مورد بررسی، تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین تیمارها وجود دارد. همان‌طوری‌که در جدول مقایسه میانگین صفات مشاهده می‌شود، گیاهان شاهد و مایه‌زنی شده با نماتد، با تفاوت آماری معنی‌داری از سایر تیمارها، بیشترین طول اندام هوایی را داشتند. پس از آن، گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ، کمترین طول اندام هوایی را نسبت به تیمارهای قبلی داشت و کمترین طول اندام هوایی نیز با تفاوت آماری معنی‌داری از سایر تیمارها، مربوط به تیمار دریافت کننده قارچ و نماتد باهم بود. از نظر وزن اندام هوایی نیز تفاوت بین تیمارها همانند طول اندام هوایی بود. بیشترین طول ریشه در تیمارهای شاهد با تفاوت معنی‌دار آماری از سایر گیاهان مشاهده شد. تیمارهای مایه-زنی شده با نماتد در رتبه دوم قرار داشته و سپس ریشه‌های مایه‌زنی شده با قارچ با اختلاف معنی‌داری از تیمار شاهد و ریشه‌های مایه‌زنی شده با نماتد، طول کمتری داشتند و پس از آن، کمترین میزان مربوط به گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد و قارچ بود. از نظر وزن ریشه نیز گیاهان شاهد بیشترین وزن ریشه را داشته و پس از آن، با تفاوت معنی‌داری از شاهد، دو تیمار دریافت‌کننده نماتد و قارچ به تنهایی بدون تفاوت معنی‌دار از هم قرار گرفته و کمترین وزن ریشه نیز در تیمار نماتد و قارچ باهم مشاهده شد (جدول ۶). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در بررسی هم‌افزایی با روش دوم، اثر تیمار آزمایشی یعنی مایه‌زنی توام دو بیمارگر روی صفات مورد بررسی یعنی طول اندام هوایی، وزن اندام هوایی، طول ریشه و وزن ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶ و شکل ۷).

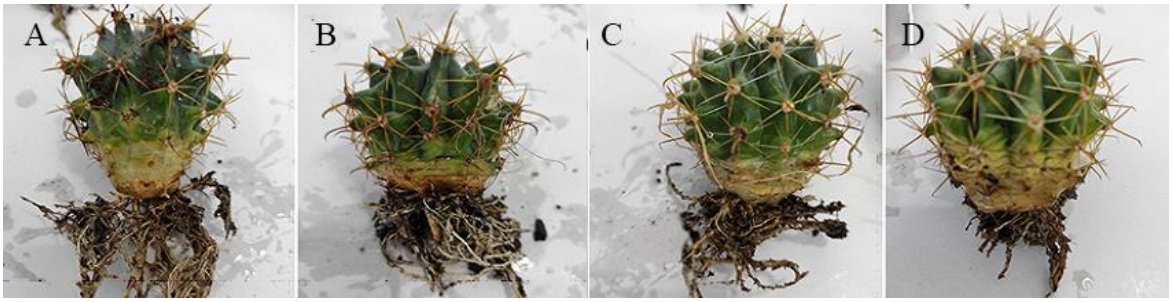
جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاه فروکاکتوس (بررسی هم‌افزایی با روش اول)

Table 3. Analysis of variance for studied traits in *Ferocactus horridus* (Synergistic study with the first method)

Sources of Variance	Df	Average of Squares			
		Shoot length (cm)	Shoot weight (g)	Root length (cm)	Root weight (g)
Treatment	3	1.516**	388.184**	146.949**	22.886**
Error	16	0.027	3.546	1.704	0.545
F	-	56.69	109.56	86.25	41.99

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** Significant at 0.01 probability level.



شکل ٦- تاثیر هم‌افزایی دو بیمارگر بر علائم ظاهری چهار تیمار مختلف گیاه فروکاکتوس با روش اول (تلقیح همزمان قارچ و نماتد): A. گیاه شاهد، B. گیاه مایه‌زنی شده با نماتد به تنهایی، C. گیاه مایه‌زنی شده با قارچ به تنهایی، D.گیاه مایه‌زنی شده با قارچ و نماتد

Figure 6. The Synergistic effect of two pathogens on the symptoms of four different treatments of *Ferocactus horridus* with the first method (simultaneous inoculation of fungus and nematode): A. Control plant, B. Plant inoculated with nematodes, C. Plant inoculated with fungus and D. Plant inoculated with fungus and nematode

بحث و نتیجه‌گیری

همانطورکه در نتایج آزمایش مایه‌زنی نماتد در گیاهان زینتی مشاهده گردید، گیاهان مورد بررسی در برابر آلودگی با نماتد، واکنش‌های متفاوتی داشتند، به‌طوری‌که برخی گیاهان بسیار کم آلوده شدند و علائم کمی نشان دادند. در مقابل، برخی گیاهان دیگر در حدّی آلوده بودند که قبل از اتمام آزمایش از بین رفتند. اگرچه علائم اصلی نماتد گره-ریشه در گیاهان، ایجاد گره‌های کوچک و بزرگ می‌باشد، اما آن‌چه دراین بررسی مشخص گردید، این بود که در مورد گیاهان زینتی به‌ویژه کاکتوس‌ها و ساکولنت‌ها مشابه گیاهانی مثل گوجه‌فرنگی، خیار و فلفل، در برخی موارد گره‌های مشخص در ریشه‌های گیاهان ایجاد نشده بود و یا گره‌ها کوچک و نامشخص بوده و در اغلب موارد علائم به‌صورت بدشکلی ریشه، کلفتی ریشه و از بین رفتن ریشه‌های فرعی مشاهده شد. به‌عنوان مثال در گیاه آلوئه ببری، تعداد گره در ریشه‌ها بسیار کم بوده و با شاهد بدون نماتد نیز تفاوت نداشت. با این حال، وزن ریشه در گیاهان مایه‌زنی شده کم‌تر از گیاهان شاهد بود. این امر می‌تواند به‌علت کاهش رشد ریشه‌های فرعی و از بین رفتن ریشه‌های فرعی در اثر تغذیه نماتدها باشد. با این حال، در طول تحقیق، گیاهان مورد مطالعه از نظر رشدی چندان تحت تاثیر قرار نگرفته بودند. اگرچه در گیاهان مایه‌زنی شده، خشکی برگ‌های پایینی و عدم رشد پاجوش‌ها مشاهده گردید. در مورد اِشوریا، اگرچه تعداد گره‌ها کم بود، اما طول ریشه به‌خاطر بدشکل شدن ریشه و کاهش ریشه‌های فرعی تحت تاثیر قرار گرفته بود. اندام‌های هوایی گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد از نظر شکل ظاهری، گل‌دهی و برخی ویژگی‌های دیگر در مقایسه با شاهد متفاوت بودند.

بگونیا خالدار و بگونیا ریزوم دار، گره‌های بیشتری داشتند. بگونیا خالدارِ مایه‌زنی شده با نماتد در تمام صفات مورد بررسی با شاهد تفاوت نشان داد. در اندام‌های هوایی نیز ضعف گیاه و عدم گلدهی بارز بود. در بگونیای خالدار هم گل‌های کوچک و کم‌رنگ و نیز کاهش وزن ریشه و اندام هوایی مشاهده گردید. در سایر گیاهان نیز همانطوری‌که در نتایج مشاهده شد، علائم در ریشه و اندام هوایی گیاهان متفاوت بود.

طبق نتایج مقایسه گیاهان زینتی مورد آزمایش، از نظر تشکیل گره و تعداد آن در ریشه، بین گیاهان تفاوت معنی‌دار وجود داشت. هر دو گونه زینتی بگونیا بیشتر از ساکولنت‌ها و کاکتوس‌ها تحت تاثیر قرار گرفته بودند و تعداد گره نیز در هر دو گونه بگونیای مورد آزمایش بیشتر بود. ریشه‌دهی بیشتر، دارا بودن ریشه‌های فرعی فراوان و در عین حال نرم‌تر بودن بافت ریشه‌های بگونیا در مقایسه با کاکتوس‌ها و ساکولنت‌ها می‌تواند از دلایل آلودگی بیشتر این گیاهان با نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی باشد. مقصودی و همکاران (۱۹۹۷) برای اولین بار آلودگی گیاهان بگونیا را با گونه *Meloidogyne arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949 در گلخانه‌ای در اردبیل گزارش کردند که می‌تواند مؤید حساسیت این گیاه در برابر گونه‌های مختلفی از نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی باشد.

جدول ٤- مقایسه (± خطای معیار) میانگین صفات مورد بررسی در گیاه فروکاکتوس (آزمایش هم‌افزایی با روش اول)

Table 4. Mean (±SE) comparison for studied traits in *Ferocactus horridus* (Synergistic test with the first method)

Treatments	Average traits			
	Shoot length (cm)	Shoot weight (g)	Root length (cm)	Root weight (g)
Nematode inoculated plants	5.7±0.03 [a]	55.7±0.99 [a]	6.88±0.59[b]	2.54±0.23[b]
Fungus inoculated plants	5.24±0.07 [b]	48.71±0.85[b]	4.78±0.33[c]	2.24±0.15[b]
Nematode + fungus inoculated plants	4.58±0.11[c]	37.68±0.90[c]	0.54±0.54[d]	0.14±0.14[c]
Control	5.78±0.03[a]	56.87±0.07[a]	13.54±0.77[a]	5.35±0.58 [a]

In each column, means with the same letter are not significantly different according to Duncan's test (P> 0.05).

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاه فروکاکتوس (بررسی هم‌افزایی با روش دوم)

Table 5. Analysis of variance of studied traits in *Ferocactus horridus* (Synergistic study with the second method)

Sources of Variance	Df	Average of Squares			
		Shoot length (cm)	Shoot weight (g)	Root length (cm)	Root weight (g)
Treatment	3	0.79**	311.129**	120.683**	13.770**
Error	16	0.026	5.673	2.181	0.417
F	-	27.003	54.84	55.328	33.017

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

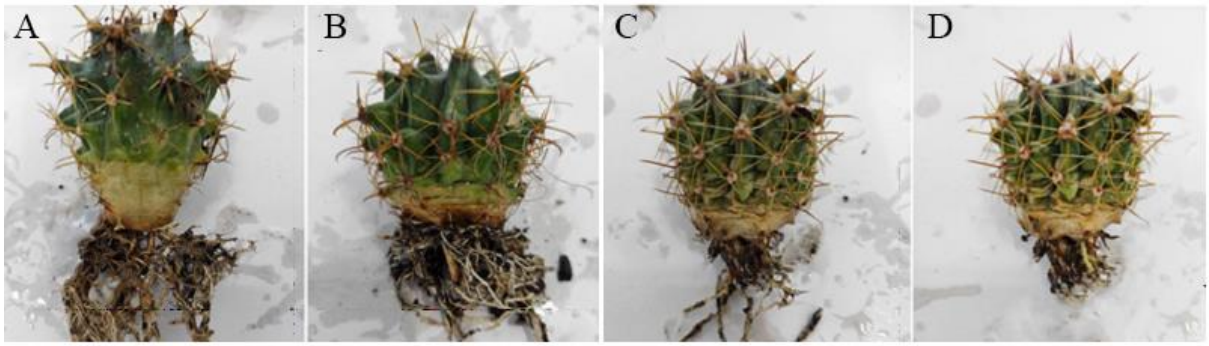
** Significant at 0.01 probability level.

نخل ماداگاسکار نیز جزو گیاهانی بود که تعداد گره بالایی داشت و اندام‌های هوایی هم تحت تاثیر قرار گرفته بود. پس از آن هم هاورتیا گورخری، اِشوریا، آلوئه واریگاتا و در نهایت کاکتوس میرتلو قرار می‌گرفتند که هیچ گرهی تشکیل نشده بود. در گیاه کاکتوس میرتلو برخلاف برخی گیاهان از جمله آلوئه واریگاتا و فروکاکتوس که گره بسیار کمی داشتند و حتی با شاهدِ بدون نماتد تفاوتی نداشتند، با وجود بدشکلی اندک در ظاهر برخی از ریشه‌ها و اندام‌های هوایی، گره قابل ثبتی تشکیل نشده بود و از نظر فاکتورهای رشدی گیاه نیز تفاوتی بین گیاهان شاهد و مایه‌زنی شده وجود نداشت و بنابراین می‌توان گفت این گیاه در میان گیاهان مورد آزمایش، مقاوم‌ترین گیاه در برابر نماتد بود. با توجه به این‌که این گیاه به‌عنوان پایه در بسیاری از کاکتوس‌های پیوندی به‌کار می‌رود، این نتیجه می‌تواند بسیار ارزشمند باشد. گیاه موسی‌درگهواره هم بیش از گیاهان دیگر تحت تاثیر نماتد قرار گرفته بود و سه تکرار از پنج گیاهِ مورد آزمایش از بین رفتند. بنابراین در پرورش و نگهداری این گیاه نیز همانند بگونیا این نکته را باید مدّنظر داشت. در خصوص سایر گیاهانی هم که واکنش متوسطی نسبت به این نماتد داشتند، باید مراقبت و توجه کافی صورت گیرد، چرا که به دلیل محدود بودن مدت زمان آزمایش، گیاهان با آلودگی متوسط هم در صورتی که بیشتر در معرض نماتد قرار می‌گرفتند، شاید علائم شدیدتری نشان می‌دادند. به‌طور کلی در گیاهانی با آلودگی زیاد، بررسی مرتّب نشاءها و گیاهان در گلخانه توصیه می‌شود. اگرچه ریشه برخی گیاهان گره‌های کمی داشتند، اما اندام‌های هوایی آنها تحت تاثیر زیاد قرار گرفته بود و با توجه به این‌که گیاهان زینتی به‌خاطر شکل ظاهری و زیبایی‌شان پرورش یافته و کاربرد دارند، هر عاملی که زیبائی و ظاهر گیاه را تحت تاثیر قرار دهد، بازارپسندی این گیاهان را کاهش خواهد داد. مثلاً در مورد گیاه اِشوریا شاویانا که در میان گونه‌های دیگر این جنس، با داشتن حاشیه چروکیده و چین‌خورده و رنگیِ برگ‌ها قابل شناسایی است، نماتد سبب کاهش چین خوردگی‌های اطراف برگ‌ها، کاهش رنگ حاشیه برگ‌ها و دراز شدن گیاه به‌جای رشد عرضی بیشتر شد. در مورد هاورتیا گورخری که به خاطر طرح‌های سفیدرنگ روی برگ‌ها نامگذاری شده است، در اثر نماتد، طرح‌های روی برگ‌ها کم‌رنگ‌تر شده و نامشخص‌تر شد. در مورد بگونیای خالدار که خال‌دار بودن از ویژگی‌های ظاهری بازر این گونه است، آلودگی با نماتد گره ریشه سبب کاهش خال‌ها و کاهش زیبایی ظاهری گیاه گردید.

با توجه به این‌که بیشتر نماتدها، بیمارگرهای داخل خاک و اندام‌های زیرزمینی هستند، معمولاً در مراحل اولیه قابل تشخیص نیستند و تجربه کافی و بررسی دائمی علائم اندام‌های هوایی و بررسی ریشه‌ها برای تشخیص به‌موقع این بیماری لازم است. در مورد اغلب گیاهان باغی، زراعی و سبزی‌ها علائم اندام‌های هواییِ ناشی از نماتد شامل زردی، پژمردگی و کاهش رشد است که معمولاً پس از پیشرفت بیماری قابل تشخیص‌اند، اما در مورد گیاهان زینتی، بررسی چندانی در مورد واکنش آنها نسبت به نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی انجام نشده است. تحقیق حاضر در وهله اول، به‌منظور بررسی علائم اولیه آلودگی گیاهان با نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی انجام شد تا در وهله اول، میزان آلودگی و واکنش هر کدام به این نماتد مشخص گردد و هم‌چنین علائم اولیه این نماتد روی هر کدام از گیاهان مورد بررسی مشخص و معرفی گردد تا تولیدکنندگان، گلخانه‌داران و خریداران گیاهان زینتی،

آگاهی کافی در این زمینه کسب کرده و بتوانند گیاهان مشکوک به بیماری نماتدی را ردیابی کنند.

از سایر عوامل محدودکننده تولید گیاهان زینتی در خانه‌ها و گلخانه‌ها، پوسیدگی‌های قارچی و باکتریایی است که در انواع ساکولنت‌ها و کاکتوس‌ها سبب پوسیدگی ریشه و از بین رفتن گیاهان می‌شوند (Kamali Sarvestani et al., 2022) انواع گونه‌های قارچی و باکتریایی به‌عنوان عوامل پوسیدگی ریشه گیاهان زینتی گزارش شده‌اند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به قارچ *N. solani* اشاره کرد که در این تحقیق هم از گیاهان زینتی دچار پوسیدگی ریشه جداسازی و شناسایی شد. نماتدها و قارچ‌ها در ترکیب باهم معمولاً خسارت‌های بیشتری به اغلب گیاهان می‌زنند که به اثر هم‌افزایی بیمارگرها معروف است (Saeedizadeh et al., 2006). باکتری‌ها و نماتدها هم تواماً سبب خسارت‌های بیشتر روی گیاهان میزبان می‌شوند (Khan, 1993). دلیل اصلی این امر می‌تواند مربوط به ورود راحت‌تر قارچ‌ها و باکتری‌ها از طریق زخم‌های ایجاد شده توسط نماتدها باشد. بنابراین به‌ویژه زمانی‌که اول نماتدها به گیاهان حمله می‌کنند، زخم‌های حاصل از تغذیه آن‌ها، به‌عنوان محل ورود قارچ‌ها و باکتری‌های عامل پوسیدگی عمل کرده و با ورود این بیمارگرها به گیاه، بیماری ناشی از آن‌ها نیز در گیاهان ظاهر می‌شود. چنین آلودگی هم‌زمانی ممکن است سبب هم‌افزایی گردد و حضور دو بیمارگر در ریشه، علاوه بر علائم تک تک بیمارگرها، شدت بیماری، سرعت شیوع بیماری و خسارت کلی وارده به گیاه را افزایش دهد.



شکل ۷- تاثیر هم‌افزایی بر علائم ظاهری چهار تیمار مختلف گیاه فروکاکتوس با روش دوم (تلقیح غیرهم‌زمان قارچ و نماتد): A. گیاه شاهد، B. گیاه مایه‌زنی شده با نماتد به تنهایی، C. گیاه مایه‌زنی شده با قارچ به تنهایی، D.گیاه مایه‌زنی شده با قارچ و نماتد

Figure 7. The Synergistic effect on the symptoms of four different treatments of *Ferocactus horridus* with the second method (non-simultaneous inoculation of fungus and nematode): A. Control plant, B. Plant inoculated with nematodes, C. Plant inoculated with fungus and D. plant inoculated with fungus and nematode

جدول ٦- مقایسه (± خطای معیار) میانگین صفات مورد بررسی در گیاه فروکاکتوس (آزمایش هم‌افزایی با روش دوم)

Table 6. Mean (±SE) comparison for studied traits in *Ferocactus horridus* (Synergistic test with the first method)

Treatments / traits studied	Average traits			
	Shoot length (cm)	Shoot weight (g)	Root length (cm)	Root weight (g)
Nematode inoculated plant	5.86±0.08 a	58.97±0.55 a	7.38±0.81 b	1.90±0.22 b
Fungus inoculated plant	5.36±0.08 b	49.07±1.02 b	4.56±0.45 c	1.83±0.27 b
Nematode inoculated plant + fungus inoculated	5.04±0.06 c	42.47±1.39 c	1.12±0.69 d	0.34±0.21 c
Control plant	5.84±0.08 a	58.23±1.10 a	12.74±0.63 a	4.35±0.40 a

In each column, means with the same letter are not significantly different according to Duncan's test (P> 0.05).

در یک بررسی که به منظور بررسی برهمکنش بین *Meloidogyne javanica* و *Streptomyces scabies* بر روی سیب‌زمینی انجام شده بود، مشخص شد که شاخص‌های رشدی گیاهان مایه‌زنی شده با باکتری و نماتد نسبت به گیاهان مایه‌زنی شده با باکتریِ تنها و شاهد کاهش نشان دادند. وجود باکتری باعث کاهش جمعیت نماتد شده بود. از طرف دیگر زخم غده ناشی از باکتری عامل جرب در گیاهان مایه‌زنی شده با نماتد ریشه‌گرهی بیش از گیاهان آلوده به باکتریِ تنها بود (Vahedi Hafshejani & Fadaei Tehrani, 2014). آلودگی همزمان گیاه گواوا با *Meloidogyne enterolobii* Yang & Eisenback و *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. و اثرات سینرژیستی این دو عامل بیمارگر، دلیل اصلی زوال چندین ساله این گیاه در برزیل معرفی شده است (Veloso et al., 2021). در بررسی دیگری بیان شد که آلودگی همزمان گوجه‌فرنگی با *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* و نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی در اتیوپی سبب خسارت شدیدی گردید (Kassie, 2019). همانطورکه در بررسی حاضر نیز مشاهده شد، در بررسی مربوط به آلوده‌سازی توام گیاه فروکاکتوس با قارچ و نماتد، علائم آلودگی در تیمارهایی که هم‌زمان با نماتد و قارچ مایه‌زنی شده بودند یا با فاصله زمانی ۱۵روز با این دو بیمارگر مایه‌زنی شده بودند، در مقایسه با گیاهان دریافت کننده قارچ به تنهایی یا نماتد به تنهایی بیشتر بود. قبلاً آزمایشی بر روی گیاهان زینتی برای اندازه‌گیری واکنش آن‌ها به بیمارگرهای فوق انجام نگرفته، اما نتایج به‌دست آمده در مورد اثر هم‌افزایی نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی و قارچ عامل پوسیدگی و پژمردگی فوزاریومی بر فاکتورهای رویشی و تاثیر تلقیح توام آن‌ها با نتایج سایر مطالعات که روی گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی و خیار در ایران (Saeedizadeh et al., 2006; Sahebani et al., 2006; Faraji et al., 2007; Haghighi et al., 2008) و جهان (Schultz & Morehart, 1981; Nordmeyer & Sikora, 1983; Rahman et al., 2000; Ibrahim et al., 2000) انجام شده بود، مطابقت داشت. همچنین اغلب پژوهش‌های انجام شده در خصوص هم‌افزایی جنس قارچی *Fusarium* و نماتد *Meloidogyne*، پیرامون گونه *F. oxysporum* Schlecht. emend. Snyder & Hansen است (Zhang et al., 2020) و در پژوهش حاضر، هم‌افزایی گونه *N. solani* با نماتد مولّد ریشه‌گرهی نیز ثابت شد.

این موضوع در گلخانه‌های تولیدی گیاهان زینتی از جمله کاکتوس‌ها اهمیت زیادی دارد، زیرا یکی از بیماری‌های رایج این گیاهان، پوسیدگی ریشه و از بین رفتن اندام هوایی در اثر آلودگی ریشه است. بنابراین تشخیص زود هنگام آلودگی گیاهان با نماتد می‌تواند علاوه بر کاهش خسارات ناشی از نماتد، مانع از ورود سایر عوامل بیماریزای گیاهی از جمله قارچ فوزاریوم به ریشه گیاهان گردد. به‌طور کلی، نتایج بررسی حاضر علاوه بر مشخص کردن اهمیت نماتدهای مولّد ریشه‌گرهی در بیماری‌زایی روی گیاهان زینتی و افزایش خسارت‌های ناشی از پوسیدگی‌های قارچی، اهمیت کنترل این بیمارگرها را نیز بیش از پیش نمایان می‌سازد. در مورد بیماری‌های نماتدی و قارچی، همانند سایر بیماری‌های گیاهی، پیشگیری مهم‌تر و مؤثرتر از کنترل بیماری بعد از شیوع آن است (Thomas & Rajotte, 2005). بنابراین قبل از شروع آلودگی و با تشخیص زود هنگام این نوع بیماری‌ها، می‌توان با استفاده از مدیریت تلفیقی، از شیوع و خسارت ناشی از نماتد مولّد ریشه‌گرهی و قارچ عامل پوسیدگی ریشه در گیاهان زینتی تا حد زیادی پیشگیری نمود.

سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول ارایه شده به دانشگاه محقق اردبیلی است که بدینوسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بابت تامین هزینه و امکانات لازم قدردانی می‌شود.

REFERENCES

Atkinson, G. F. (1892). Some diseases of cotton. *Alabama Agricultural Experiment Station Bulletin, 41,* 61–65.

Banihashemi, Z., & Dezeeuw, D. J. (2010). Saprophytic activities of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* in soil. *Transactions of the British Mycological Society, 60,* 205–210.

Carrillo-Reyes, P, Sosa, V., & Mort, M. E. 2009. Molecular phylogeny of the Acre clade (Crassulaceae): Dealing with the lack of definitions for Echeveria and Sedum, *Molecular Phylogenetics and Evolution, 53*(1), 267–276.

Crous P. W., Sandoval-Denis, M., Costa, M. M., Groenewald, J. Z., van Iperen, A. L., et al. (2022). *Fusarium* and allied fusarioid taxa (FUSA). 1. *Fungal Systematics and Evolution, 9,* 161–200.

Davari, M., Wei, S. H., Babai-Ahari, A., Arzanlou, M., Waalwijk, C., et al. (2013). Geographic differences in trichothecene chemotypes of *Fusarium graminearum* in the Northwest and North of Iran. *World Mycotoxin Journal, 6*(2), 137–150.

Eskandarzadeh Khiyavi, N., Moslehi, S. & Vaez, N. (2021). Inhibitory effects of aquatic extracts of *Datura stramonium*, *D. metel* and *Hyoscyamus niger* on *Meloidogyne javanica. Plant Pathology Science*, *10*(1), 27–41.

Faraji M., Kheiri A., Okhowat, S. M., & Niknam G. H. (2007). Interaction between artificial inoculation of *Meloidogyne javanica* and *Fusarium oxysporum* on two bean cultivars; under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 38(1), 145–152. (In Farsi with English summary).

Ghaderi R., & Karssen, G. (2020). An updated checklist of *Meloidogyne* Göldi, 1887 species, with a diagnostic compendium for second -stage juveniles and males. *Journal of Crop Protection,* 9(2), 183–193.

Gimenes, R., Batista, G. S., Pivetta, K. F. L., Santos, J. M., Soares, P. L. M., & Martins, T. A. (2010). Occurrence of plant-parasitic nematodes in ornamental and flowering plants at Unesp/Fcav, Campus of Jaboticabal, Sao Paulo State, Brazil. *Acta Horticulture*, *881,* 607–610.

Haghighi, H., Taheri, A., Razavi, A., Tanha Maafi, Z., & M, Mamaghani (2008). Investigation greenhouse of Interaction Race two Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita* and *Verticillum dahliae* agent verticillium wilt Olive (*Olea europaea*) Seedlings in Gorgan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15*(4), 163–178. (In Farsi with English summary).

Hussey, R, S., & Barker, K. R. (1973). A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. *Plant Disease Reporter, 57,* 1025–1028.

Ibrahim, I. K. A., Rezk, M. A., & Khalil, H. A. A. (1982). Effects of *Meloidogyne incognita* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* on plant growth and mineral content of cooton, *Gossypum barbadense*. *Nematologica, 28,* 298–302.

Kamali-Sarvestani, S., Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R., Salmaninezhad, F., & Cacciola, S.O. (2022). *Fusarium* and *Neocosmospora* species associated with rot of *Cactaceae* and other succulent plants. *Journal of Fungi, 8*(4), 364.

Kassie, Y. G. (2019). Status of Root-Knot Nematode (*Meloidogyne* species) and *Fusarium* wilt (*Fusarium oxysporum*) disease complex on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the central rift valley, Ethiopia. *Agricultural Sciences, 10*(8), 1090–1103.

Khan, W. (1993). Nematode Interactions. Chapman & Hall, London. 377 pp.

Krejzar V., Mertelík J., Pánková I., Kloudová K., & Kůdela V. (2008). *Pseudomonas marginalis* associated with soft rot of *Zantedeschia* spp. *Plant Protection Science, 44*, 85–90.

Vahedi Hafshejani M., & Fadaei Tehrani A. A. (2014). Interaction of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) and bacterial agent of common scab (*Streptomyces scabies*) on potato. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 37*(3), 49–59.

Leslie, J. F., & Summerell B. A. (2006). The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell Publishing Asia, USA. 399 pp.

Mahboubi, Z., Olia, M., & Sharifnabi, B. (2017). Investigation on the interaction between *Meloidogyne javanica* and *Verticillium dahliae* on tomato. *Iranian Journal of Plant Pathology, 53*(4), 371–383 (In Farsi with English summary).

Lombard, L., VanderMerwe, N. A., Groenewald, J. Z., & Crous, P. W. (2015). Generic concepts in Nectriaceae. *Studies in Mycology, 80*, 189–245.

Maghsoudi, A., Ghahremani Nejad Myanji, E., & Moslehi, S. (2018). Report of begonia plant as a new host for *Meloidogyne arenaria* from Iran. *23rd Iranian Plant Protection Congress, 27-30 August, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.* 793–794.

Montazeri, P., Alizadeh, A., Shirzad A., & Salimi F. (2019). The first report of anthracnose *Spathiphyllum* caused by *Colletotrichum gloeosporioides* sensu stricto in Iran. *4th Iranian Mycological Congress, 26-28 August, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.* 63.

Moslehi, S. (2015). Molecular and traditional screening of some wild species, landraces and commercial cultivars of tomato against *Meloidogyne javanica* and evaluation of the silencing of nematode *16D10* gene using RNAi technology. Ph.D. thesis, University of Tabriz. 130 pp. (In Farsi with English summary).

Nordmeyer, D., & Sikora R. A. (1983). Studies on the interaction between *Heterodera daverti*, *Fusarium avenaceum* and *F. oxysporum* on *Trifolium subterraneum*. *Revue de Nematologie, 6*, 193–198.

Perry, R., Moens, M., & Starr, J. (2009). Root Knot Nematodes. CAB International. England.

Rahman, M. L., Haware, M. P., Sharma, S. B., & Mian, I. H. (2000). Interaction of *Meloidogyne javanica* and three root infecting fungi on *Cicer arietinum*. *International Journal of Nematology, 2*(10), 229–233.

Saeedizadeh, A., Kheiri, A., Okhowat, S. M., & Hosseini Nejad, S. A. (2006). Study of growth of annual seedlings of yellow olive cultivar in the presence of *Meloidogyne javanica* and

Verticillium dahliae. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 37(5), 793–800. (In Farsi with English summary).

Sahebani, N., Sharifi-Tehrani, A., Kheiri, A., & Mohammadi, M. (2006). Study of the changes in total phenol content in tomato (*Lycopersici esculentum*) roots cv. Roma VF during the interaction between root knot nematode (*Meloidogyne javanica*), and the causal agent of vascular wilt of tomato *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Iranian Journal of Agricultural Sciences, 37*(4), 745–753. (In Farsi with English summary).

Schultz, F. J., & Morehart, A. L. (1981). Studies on the interaction of *Pratylenchus penetrans* and *Verticillium albo-atrum* on yellow poplar roots. *Phytopathology, 71,* 770–775.

Shariatzadeh, M. (2016). *Cultivation of flowers and ornamental plants.* Excellence Publishing, 150 pp. (In Farsi).

Taylor, A. L., & Sasser, J. N. (1978). Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). North Carolina State University Graphics, Raleigh NC, USA. 111 pp.

Thomas, C., & Rajotte, E. G. (2005). *Greenhouse IPM with an Emphasis on Biocontrols.* PennState, Pennsylvania. 109 pp.

Veloso, J. S., Camara M. P. S., & Sauza, R. M. (2021). Guava decline: updating its etiology from '*Fusarium solani*' to *Neocosmospora falciformis*. *European Journal of Plant Pathology, 159,* 455–460.

Zhang Y., Li, S., Li H., Wang, R., Zhang, K. Q., & Xu, J. (2020). Fungi-nematode interactions: diversity, ecology, and biocontrol prospects in agriculture. *Journal of Fungi, 6*(4), 206.

© 2024 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.