

Cumulative effects of aqueous extract of some plants on the reproduction of *Meloidogyne javanica* in three consecutive tomato cropping cycles under greenhouse conditions

1. Fariba Mohammadi Zameleh¹: Department of Plant Protection, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2. Akbar Karegar^{2*}: Professor, Department of Plant Protection, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
3. Mohammad Dadpasand³: Associate Professor, Department of Animal Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
4. Mohammad-Taghi Golmakani⁴: Professor, Department of Food Science and Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

*Corresponding Author's Email Address: karegar@shirazu.ac.ir

Article Type:

Original Research

How to Cite: Mohammadi Zameleh, F., Karegar, A., Dadpasand, M., & Golmakani, M. T. (2025). Cumulative effects of aqueous extract of some plants on the reproduction of *Meloidogyne javanica* in three consecutive tomato cropping cycles under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 61(1-2), 23-48.

DOI: [10.22034/IJPP.2026.2021897.514](https://doi.org/10.22034/IJPP.2026.2021897.514)

Abstract:

Root-knot nematodes are among the most important limiting factors in tomato production worldwide, and their management mainly relies on chemical nematicides. Due to the adverse environmental impacts of these compounds, the use of plant materials has been considered as a safe and complementary method to reduce the consumption of chemical pesticides. This study aimed to determine the most effective application method of the inhibitory plant creeping thistle (*Cirsium arvense*) and to evaluate the effects of aqueous extracts of eight plant species, including licorice (*Glycyrrhiza glabra*), flaxweed (*Descurainia sophia*), creeping thistle, narrow-leaf plantain (*Plantago lanceolata*), milk thistle (*Lactuca serriola*), caper bush (*Capparis spinosa*), chinaberry (*Melia azedarach*) and arugula (*Eruca sativa*), on the reproduction of three consecutive generations of *Meloidogyne javanica* during three successive tomato cropping cycles under greenhouse conditions. The results showed that application of dried plant powders improved growth parameters of nematode-infected tomato plants and significantly reduced the nematode reproduction factor (Rf), with the greatest reduction observed in the 2% dried powder treatment combined with foliar spraying one week after nematode inoculation. In the second experiment, extracts of creeping thistle and chinaberry exhibited the greatest and most consistent reductions in Rf and improvements in plant growth across all three cropping cycles, and their suppressive effects were maintained throughout the experimental period. During the third cropping cycle, the creeping thistle treatment resulted in an 83.0% reduction in Rf and increases of 76.8% and 91.9% in shoot fresh and dry weights, respectively. The chinaberry treatment also led to a 69.9% reduction in Rf and increases of 31.5% and 37.1% in shoot fresh and dry weights. In contrast, extracts such as milk thistle, narrow-leaf plantain, and arugula, which showed limited effects during the first cropping cycle, exhibited substantial reductions in Rf in subsequent cropping cycles, particularly in the third cycle, indicating a cumulative effect resulting from repeated application over successive nematode generations. These results demonstrate that selecting appropriate application methods and repeated use of plant extracts across successive generations can substantially enhance their efficacy in root-knot nematode management.

Keywords: Cumulative effect, Creeping thistle, Nematode-suppressive plants, Root-knot nematode, Successive cropping



© 2025 the authors. Published by Maher Publishing Institute. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) License.

Extended Abstract

Introduction

Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) are among the most destructive plant-parasitic nematodes, causing severe qualitative and quantitative yield losses in agricultural crops. Their short life cycle and high reproductive potential under favorable conditions make their management particularly challenging. Although chemical nematicides have been widely used for nematode control, increasing concerns regarding environmental persistence, toxicity to non-target organisms, and regulatory restrictions have intensified the search for sustainable and environmentally friendly approaches to reduce chemical nematicide application.

Plant-derived compounds, especially those obtained from nematode-suppressive plants, have received considerable attention as promising components of integrated nematode management strategies. However, the efficacy of plant-based products is strongly influenced by application method, dosage, and timing, and information regarding optimal application strategies remains limited. Moreover, single applications of plant extracts often result in only temporary suppression, and effective long-term control is rarely achieved within a single cropping cycle. Most previous studies have focused on short-term effects during one host growth cycle, whereas evidence regarding long-term and transgenerational effects on nematode populations is scarce.

The objectives of this study were: (i) to determine the most effective application method and optimal rate of the nematode-suppressive plant creeping thistle (*Cirsium arvense*) for controlling *Meloidogyne javanica* in tomato, and (ii) to evaluate the cumulative and transgenerational effects of aqueous extracts from eight nematode-suppressive plants on nematode reproduction and plant growth over three consecutive tomato cropping cycles under greenhouse conditions.

Methods and Materials

A pure population of *M. javanica* was maintained on the susceptible tomato cultivar 'Early Urbana' under greenhouse conditions. Eggs were extracted from egg masses using sodium hypochlorite and served as the inoculum source. Eight plant species (licorice, *Glycyrrhiza glabra*; flixweed, *Descurainia sophia*; creeping thistle, *Cirsium arvense*; narrow-leaf plantain, *Plantago lanceolata*; milk thistle, *Lactuca serriola*; caper bush, *Capparis spinosa*; chinaberry, *Melia azedarach*; arugula, *Eruca sativa*) were collected, shade-dried, and ground into fine powders. Aqueous extracts were prepared by mixing dried plant material with distilled water, followed by incubation and filtration.

In the first experiment, different application methods and rates for creeping thistle were evaluated using a completely randomized design with 12 treatments and five replications. Treatments included soil application of dry powder (0.5% and 2% w/w), soil and foliar application of aqueous extracts at different times relative to nematode inoculation, and combinations of powder and extract treatments. Tomato seedlings were inoculated with *M. javanica*, and plant growth parameters and nematode indices were assessed 60 days after inoculation.

In the second experiment, aqueous extracts of the eight plant species were applied at the time of nematode inoculation and evaluated over three consecutive tomato cropping cycles. Nematode inoculum (eggs and second-stage juveniles) for the second and third cycles was derived from each respective treatment of the previous cycle, allowing assessment of cumulative and transgenerational effects. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's test, and principal component analysis (PCA) was employed to examine relationships between plant growth and nematode parameters.

Results and Discussion

In the application-method experiment, most treatments did not significantly affect plant growth compared with the control. However, soil application of creeping thistle dry

powder, particularly at 2% (w/w), either alone or combined with foliar extract application one week after nematode inoculation, significantly enhanced shoot and root growth. The greatest reductions in nematode infection indices were observed in treatments combining 2% dry powder with foliar extract application one week after inoculation, resulting in the lowest final nematode population and reproduction factor (Rf), with a reduction of up to 88.6% compared with the control. Foliar application alone showed limited efficacy, whereas soil application of aqueous extracts at the time of nematode inoculation significantly reduced Rf. PCA indicated that the first two components explained more than 73% of the total variance, clearly separating the most effective treatments from the control.

In the three-cycle experiment, aqueous extracts significantly affected both plant growth and nematode reproduction, with effects varying among plant species and cropping cycles. During the first cropping cycle, creeping thistle extract resulted in the highest plant biomass and the greatest reductions in egg masses and egg numbers, although gall numbers were not significantly reduced in most treatments. In the second cropping cycle, most extracts improved plant growth and significantly reduced nematode reproduction, with caper bush and creeping thistle showing the highest reductions in Rf. In the third cropping cycle, cumulative effects became more pronounced, and all extracts significantly reduced gall numbers, egg masses, and egg numbers. The greatest reductions in final nematode population and Rf were observed in creeping thistle, followed by chinaberry and caper bush; however, phytotoxic symptoms were observed in the caper bush treatment. Extracts that showed limited effects in the first cropping cycle, such as milk thistle, narrow-leaf plantain, and arugula, produced stronger suppression in later cycles, particularly in the third cropping cycle, indicating cumulative effects of repeated applications. PCA consistently separated effective treatments from the control across all cycles.

The results demonstrated that application method and dosage are critical determinants of the efficacy of nematode-suppressive plants. Soil application of creeping thistle dry

powder, particularly at 2% (w/w), provided the most effective and consistent control of *M. javanica*, likely due to sustained release of bioactive compounds in the rhizosphere. Although aqueous extracts were less effective when applied once, their repeated application resulted in significant cumulative and transgenerational suppression of nematode populations.

Among the tested plants, creeping thistle and chinaberry produced the most stable and persistent nematode-suppressive effects, while other extracts showed delayed but meaningful cumulative impacts. Overall, these findings highlight the importance of long-term application strategies and support the integration of suppressive plants, particularly creeping thistle, into sustainable management programs for root-knot nematodes in tomato production systems.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest in conducting the present study.

Ethical Considerations

All ethical principles and standards were fully observed in the conduct of this research.

Acknowledgments

The authors would like to express their sincere gratitude to all those who contributed to the various stages of this study.

اثرات تجمعی عصاره آبی برخی گیاهان بر تولیدمثل *Meloidogyne javanica* در سه کشت متوالی گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای

۱. فریبا محمدی زامله^{ID}: دانشجوی دکتری، بخش گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
 ۲. اکبر کارگر بیده^{ID}: استاد بیماری‌شناسی گیاهی، بخش گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
 ۳. محمد دادپسند^{ID}: دانشیار اصلاح و ژنتیک دام، بخش علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
 ۴. محمدتقی گلمکانی^{ID}: استاد علوم و صنایع غذایی، بخش علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
- *پست الکترونیک نویسنده مسئول: karegar@shirazu.ac.ir

نوع مقاله:

چکیده

پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۱ بهمن ۱۴۰۴

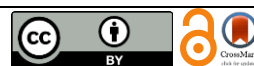
تاریخ بازنگری: ۸ اسفند ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۳ فروردین ۱۴۰۵

نحوه استناددهی: محمدی زامله، فریبا، کارگر بیده، اکبر، دادپسند، محمد، و گلمکانی، محمدتقی. (۱۴۰۴). اثرات تجمعی عصاره آبی برخی گیاهان بر تولیدمثل *Meloidogyne javanica* در سه کشت متوالی گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای. *بیماری‌های گیاهی*، ۶۱(۲-۱)، ۴۸-۲۳.

DOI:

10.22034/IJPP.2026.2021897.514



مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۴ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله توسط انتشارات ماهر به صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY 4.0) صورت گرفته است.

نماتدهای ریشه‌گرهی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گوجه‌فرنگی در جهان هستند که مهار آن‌ها عمدتاً با استفاده از نماتدکش‌های شیمیایی انجام می‌شود. با توجه به پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی این ترکیبات، استفاده از مواد گیاهی به عنوان روشی ایمن و مکمل جهت کاهش مصرف سموم شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش با هدف تعیین مؤثرترین روش کاربرد گیاه بازدارنده خارلته و بررسی اثر عصاره آبی هشت گیاه شامل شیرین‌بیان، خاکشیر طبی، خارلته، کاردی، کاهوک، کبر، زیتون تلخ و منداب بر تولیدمثل سه نسل متوالی *Meloidogyne javanica* طی سه کشت پی‌درپی گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد پودر خشک گیاهان موجب بهبود شاخص‌های رشدی گوجه‌فرنگی آلوده و کاهش فاکتور تولیدمثل (Rf) نماتد گردید، به‌طوری‌که بیش‌ترین کاهش Rf در تیمار پودر خشک ۲ درصد همراه با محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی مشاهده گردید. در آزمایش دوم، عصاره‌های خارلته و زیتون تلخ بیش‌ترین و پایدارترین کاهش Rf و بهبود رشد گیاه را در سه کشت متوالی نشان دادند و اثر بازدارندگی آن‌ها در تمام دوره آزمایش حفظ شد. در نوبت سوم کشت، تیمار خارلته موجب کاهش ۸۳/۰ درصدی Rf و افزایش ۷۶/۸ و ۹۱/۹ درصدی وزن تر و خشک شاخساره شد. تیمار زیتون تلخ نیز کاهش ۶۹/۹ درصدی Rf و افزایش ۳۱/۵ و ۳۷/۱ درصدی وزن تر و خشک شاخساره را به دنبال داشت. در مقابل، برخی عصاره‌ها از جمله کاهوک، کاردی و منداب که در کشت نخست اثر محدودی داشتند، در کشت‌های بعدی، به‌ویژه کشت سوم، کاهش چشمگیری در فاکتور تولیدمثل نشان دادند که بیانگر اثر تجمعی ناشی از تکرار مصرف آن‌ها در نسل‌های متوالی است. این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب روش مناسب کاربرد عصاره‌های گیاهی و تکرار مصرف آن‌ها در نسل‌های متوالی می‌تواند کارایی آن‌ها را در مهار نماتد به طور قابل‌توجهی افزایش دهد.

کلیدواژه‌گان: اثر تجمعی، خارلته، کشت متوالی، گیاهان بازدارنده نماتد، نماتد ریشه‌گرهی

مقدمه

نماتدهای ریشه‌گرهی (*Meloidogyne spp.*)، از مهم‌ترین عوامل کاهش کمی و کیفی محصولات کشاورزی، از جمله گوجه‌فرنگی، محسوب می‌شوند. این گروه انگل‌های اجباری داخلی و ساکن ریشه هستند که توانایی آلودگی بیش از ۳۰۰۰ گونه گیاهی را دارند و در سراسر جهان پراکنش گسترده‌ای نشان می‌دهند (Forghani & Hajihassani, 2020). چهار گونه *M. incognita*، *M. hapla*، *M. javanica* و *M. arenaria* عامل حدود ۹۵ درصد خسارت‌های این گروه هستند (Subedi et al., 2020). در ایران، گونه‌های *M. javanica* و *M. incognita* به‌ترتیب غالب‌ترین گونه‌ها گزارش شده‌اند (Akhiani et al., 1984). چرخه زندگی کوتاه و توانایی تولیدمثل بالا در شرایط مساعد از عواملی هستند که مهار این بیمارگرها را دشوار می‌سازد. در شرایط مناسب، نماتدهای ریشه‌گرهی طی سه تا چهار هفته پس از ورود به ریشه شروع به تخم‌گذاری می‌کنند و هر ماده قادر به تولید حدود ۵۰۰ تخم است. در مناطق نیمه‌گرمسیری قادرند تا ۱۰ نسل در سال ایجاد کنند (Subedi et al., 2020).

جمعیت نماتدهای انگل گیاهی با بهره‌گیری از دشمنان طبیعی، روش‌های زراعی، اصلاح‌کننده‌های آلی خاک، کاشت ارقام مقاوم و نماتدکش‌های شیمیایی قابل کاهش است. با این حال وابستگی بیش از حد به نماتدکش‌ها، موجب بروز نگرانی‌هایی مانند هزینه بالا، آلودگی‌های زیست‌محیطی و ایجاد مقاومت در جمعیت نماتدها شده است (Wiratno et al., 2009; Zaidat et al., 2020). در نتیجه، یافتن راهکارهای جایگزین و کم‌خطر برای مهار نماتدها و کاهش مصرف نماتدکش‌های شیمیایی ضرورت دارد (Collange et al., 2011).

در سال‌های اخیر، استفاده از ترکیبات گیاهی و اصلاح‌کننده‌های آلی خاک به عنوان راهبردی پایدار برای مهار نماتدها مورد توجه قرار گرفته است. اصلاح‌کننده‌هایی مانند کودهای سبز، کودهای دامی و طیور، مواد آلی، عصاره‌های گیاهی، ضایعات کشاورزی، صنعتی و کمپوست، علاوه بر تقویت حاصلخیزی خاک، دارای اثر مهارکنندگی بر نماتدهای انگل گیاهی نیز هستند (Hassan et al., 2010). کارایی این مواد به نوع ترکیبات آزادشده، میزان مصرف، ویژگی‌های خاک و سطح جمعیت نماتد بستگی دارد (Collange et al., 2011). برخی عصاره‌های گیاهی نیز با تأثیر مستقیم بر مراحل مختلف چرخه زندگی نماتد، از جمله تفریخ تخم، مرگ‌ومیر لاروها یا افراد بالغ، و یا به صورت غیرمستقیم با افزایش مقاومت یا تحمل گیاه میزبان، موجب کاهش خسارت نماتد می‌شوند (Chitwood, 2002; Pérez et al., 2003).

پژوهش‌های فراوانی در سراسر جهان اثرات نماتدکشی عصاره‌ها، پودر بخش‌های مختلف گیاهان و اسانس‌های گیاهی را ارزیابی کرده‌اند. نخستین گزارش مستند در این زمینه، کاربرد برگ‌های خردشده آناناس به میزان ۱۵۰ تن در هکتار علیه یکی از گونه‌های نماتد ریشه‌گرهی در کشت لوبیا چشم بلبلی بود (Linford et al., 1938). در پژوهشی، اثر عصاره‌های آبی و متانولی اندام‌های هوایی و ریشه‌ی گونه کاردی^۱ بر نماتد ریشه‌گرهی *M. incognita* نشان داد که این عصاره‌ها قادر به مهار تفریخ تخم و کاهش بقای لاروهای سن دوم نماتد هستند. علاوه بر آن عصاره‌های متانولی اندام‌های مختلف گیاه کبر^۲ اثر مهارکننده‌ای بر لاروهای سن دوم *M. incognita* در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند، به‌طوری‌که عصاره متانولی ساقه‌ها بیش‌ترین فعالیت نماتدکشی را دارا بود. عصاره‌ی آبی میوه زیتون تلخ^۳ نیز موجب کاهش چشمگیر جمعیت *M. incognita* و *M. javanica* در ریشه گوجه‌فرنگی و افزایش فعالیت زیستی خاک در شرایط گلخانه‌ای شد (Ntalli et al., 2011).

³. *Melia azedarach*

¹. *Plantago lanceolata*

². *Capparis spinosa*

فاکتور تولیدمثل با ۷۰/۳ درصد کاهش شد (Zandieh Shirazi & Karegar, 2019).

این مجموعه شواهد، بیانگر ظرفیت بالای گیاهان بومی

در برنامه‌های مدیریت تلفیقی نماتدهای انگل گیاهی در کشور است.

با وجود اثربخشی بسیاری از ترکیبات گیاهی، کارایی آن‌ها در یک نوبت

کاربرد اغلب محدود است و مهار کامل و پایدار نماتد در یک دوره استفاده

حاصل نمی‌شود. اغلب مطالعات تنها به ارزیابی اثر این گیاهان در یک دوره

رشدی گیاه میزبان پرداخته‌اند و اطلاعات اندکی درباره پایداری اثرات آن‌ها

در نسل‌های متوالی نماتد وجود دارد. در یک پژوهش، کشت یک نوبت گیاه

پوششی سودان گراس پیش از کشت گیاه اصلی تأثیری بر مهار *M. hapla*

نداشت؛ اما دو و سه نوبت کشت متوالی آن موجب کاهش قابل توجه جمعیت

نماتد شد (Viaene & Abawi, 1998). به همین ترتیب، یک نوبت مصرف

کمپوست زباله خانگی تأثیری بر کاهش جمعیت نماتد ریشه‌گرهی در ذرت

نداشت، اما مصرف مکرر آن، کاهش قابل توجهی ایجاد کرد (McSorley & Gallaher, 1996).

این یافته‌ها احتمال وجود اثر تجمعی در مهار نماتدهای

ریشه‌گرهی و افزایش کارایی استفاده مکرر گیاهان بازدارنده را تقویت می‌کند.

اطلاعات درباره تأثیر زمان و روش کاربرد گیاهان بازدارنده نیز محدود

است. در یک پژوهش نشان داده شده است که کاربرد عصاره‌های دو گیاه

دارویی *Tabernaemontana elegans* و *Maerua angolensis*، پیش

از مایه‌زنی یا هم‌زمان با مایه‌زنی نماتد موجب کاهش چشمگیر جمعیت *M.*

incognita و بهبود رشد گوجه‌فرنگی شده، اما کاربرد پس از مایه‌زنی تأثیر

کمتری داشته است (Mnyambo et al., 2024). بنابراین تعیین زمان و

روش بهینه مصرف عصاره‌های گیاهی، پیش‌نیاز دستیابی به مهار مؤثر و پایدار

نماتدها است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف ۱- تعیین کارآمدترین

روش کاربرد و میزان مصرف گیاهان بازدارنده، و ۲- بررسی اثر عصاره‌های

آبی هشت گیاه بازدارنده بر تولیدمثل نسل‌های متوالی نماتد ریشه‌گرهی *M.*

(2018). آنالیز ترکیبات شیمیایی عصاره‌های خاکشیر طبی^۱ و کبر حضور

ترکیبات فعال زیستی، به‌ویژه ایزوتیوسیانات‌ها، را نشان داد که نقش مهمی در

بروز اثرات نماتدکشی ایفا می‌کنند (Ntalli et al., 2020).

در مورد برخی گیاهان، مطالعات انجام‌شده بیش‌تر بر شناسایی ترکیبات

زیستی فعال و پتانسیل زیستی آن‌ها متمرکز بوده است. به‌عنوان مثال، گزارش

شده است نانوذرات تولیدشده با عصاره ریشه شیرین بیان اثرات مهارکننده‌ای

بر نماتد ریشه‌گرهی *M. incognita* در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند

(Rani et al., 2022). هم‌چنین در مطالعه‌ای، روغن اسانس کاهوک دارای

فعالیت زیستی قابل توجهی به عنوان یک عامل دارویی ضدباکتری و ضدقارچ

هستند که بیانگر ظرفیت بالقوه این گیاه در کنترل عوامل بیماری‌زا می‌باشد

(Unver & Gurhan, 2024).

در ایران نیز نخستین گزارش کاربرد عصاره گیاهان برای مهار نماتدهای

انگل گیاهی توسط ابیوردی ارائه شد. در این مطالعه، در میان ۶۰ گیاه دارویی

بررسی‌شده، افسنتین و درمنه کوهی دارای خاصیت نماتدکشی بودند و

عصاره شاخساره گیاه افسنتین پس از ۲۴ ساعت موجب مرگ نماتد

Xiphinema index و مهار *M. incognita* شد (Abivardi, 1969). پس

از آن، در پژوهش‌های متعدد اثر پودر خشک، مغز دانه، پودر پوست میوه،

کنجاله و عصاره‌های آبی و الکلی بر مهار *M. javanica* و *M. incognita*

در آزمایشگاه و گلخانه بررسی گردید. به عنوان مثال، عصاره‌های منداب،

فلفل زینتی، ترخون، کنجد، کرچک، کنگر، زیتون تلخ و گوش‌بره در شرایط

آزمایشگاهی موجب مرگ بیش از ۵۰ درصد لاروهای سن دو هر دو گونه

پس از ۴۸ ساعت شدند و عصاره سلوی^۲ موجب کاهش ۷۸/۹ درصد فاکتور

تولیدمثل *M. javanica* و بذر گلرنگ باعث کاهش ۴۶/۹ درصدی فاکتور

تولیدمثل *M. incognita* شدند. هم‌چنین کاربرد پودر خشک گیاهان

بازدارنده نماتد مانند سلوی، خارلته و گلرنگ در خاک سطحی، منجر به کاهش

². *Salvia splendens*

¹. *Descurainia sophia*

و دور از نور خورشید نگهداری شدند. در زمان استفاده، نمونه‌ها به وسیله آسیاب به قطعه‌های حدود یک میلی‌متر ریز شدند.

تهیه عصاره از نمونه‌های گیاهی جهت آزمایشات گلخانه‌ای

به منظور تهیه عصاره آبی، یک گرم از پودر خشک هر گیاه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. سپس مخلوط به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس با استفاده از گرم‌کن برقی مجهز به هم‌زن تکان داده شده تا ترکیبات مؤثر گیاه آزاد گردد. برای حذف بقایای گیاهی، مخلوط حاصل ابتدا از پارچه ململ عبور داده شد و در نهایت محلول با استفاده از قیف بوختر متصل به پمپ خلأ و کاغذ صافی واتمن شماره ۱ تحت فیلتراسیون خلأ صاف گردید (Babaali et al., 2017).

تعیین کارآمدترین روش کاربرد و میزان مصرف گیاهان بازدارنده

این آزمایش با هدف تعیین مؤثرترین روش کاربرد گیاه بازدارنده همراه با حداقل میزان مصرف انجام شد و خارلته، به‌عنوان یکی از مؤثرترین گیاهان گزارش شده در مطالعات پیشین، به‌منظور بهینه‌سازی روش کاربرد انتخاب گردید (Zandieh Shirazi & Karegar, 2019). بدین منظور، روش‌های مختلف استفاده از گیاه خارلته (*Cirsium arvense*) برای مهار نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در گلدان‌های پلاستیکی سه کیلوگرمی حاوی ماسه رودخانه‌ای شسته و پاستوریزه، در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار به شرح زیر و شاهد در پنج تکرار (با نماتد و بدون نماتد) انجام شد:

۱- افزودن عصاره به خاک هم‌زمان با مایه‌زنی نماتد

۲- افزودن عصاره به خاک هم‌زمان با مایه‌زنی نماتد و تکرار کاربرد آن

سه هفته بعد

javanica در سه نوبت کشت پی‌درپی گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای انجام شده است.

مواد و روش‌ها

تهیه جمعیت اولیه نماتد ریشه‌گرهی *Meloidogyne javanica*

برای تهیه جمعیت مورد نیاز، جمعیت خالص نماتد ریشه‌گرهی موجود در گلخانه بخش گیاه‌پزشکی دانشگاه شیراز به روش تک‌گال روی گوجه‌فرنگی رقم حساس ارلی‌اوربانا (*Solanum lycopersicum* cv. Early Urbana) مجدداً خالص‌سازی و تکثیر شد. بدین منظور، پس از خالص‌سازی نماتد چند توده تخم از ریشه‌های آلوده جدا گردید. تخم‌های استخراج شده از هر توده در مجاورت ریشه‌های نشاهای سه تا چهار برگی گوجه‌فرنگی، که درون گلدان‌های سفالی پنج کیلوگرمی حاوی خاک مخلوط (یک قسمت خاک زراعی + دو قسمت ماسه رودخانه‌ای) پاستوریزه کاشته شده بودند، مایه‌زنی گردید. گیاهچه‌های مایه‌زنی شده به مدت ۶۰ تا ۷۵ روز در شرایط گلخانه و در دمای ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. استخراج تخم‌های *M. javanica* از ریشه‌های آلوده با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد (۱۰ درصد فرم تجاری) انجام گرفت (Hussey & Barker, 1973).

جمع‌آوری و آماده‌سازی گیاهان بازدارنده

هشت گونه گیاهی شامل شیرین‌بیان^۱، خاکشیر طی^۲، خارلته^۳، کاردی^۴، کاهوک^۵، کبر^۶، زیتون تلخ^۷ و منداب^۸، که بر اساس مطالعات پیشین پتانسیل بازدارندگی آن‌ها علیه نماتدهای ریشه‌گرهی به اثبات رسیده است، از مناطق مختلف جمع‌آوری شدند. شاخساره این گیاهان پس از خشک کردن در سایه

^۵. milk thistle, *Lactuca serriola*

^۶. caper bush, *Capparis spinosa*

^۷. chinaberry, *Melia azedarach*

^۸. arugula, *Eruca sativa*

^۱. licorice, *Glycyrrhiza glabra*

^۲. flaxweed, *Descurainia sophia*

^۳. creeping thistle, *Cirsium arvense*

^۴. narrow-leaf plantain, *Plantago lanceolata*

۳- افزودن عصاره به خاک هم‌زمان با مایه‌زنی و محلول‌پاشی عصاره یک هفته بعد

۴- محلول‌پاشی عصاره دو روز قبل و دو روز بعد از مایه‌زنی

۵- محلول‌پاشی عصاره در سه نوبت: دو روز قبل، دو روز و یک هفته بعد از مایه‌زنی

۶- محلول‌پاشی عصاره در پنج نوبت: دو روز قبل، دو روز، یک هفته، سه هفته و چهار هفته بعد از مایه‌زنی

۷- افزودن پودر خشک ۰/۵ درصد وزنی (w/w) به خاک به صورت ساندویچی قبل از کشت نشاء

۸- افزودن پودر خشک ۰/۵ درصد وزنی (w/w) + افزودن عصاره به خاک سه هفته بعد از مایه‌زنی

۹- افزودن پودر خشک ۰/۵ درصد وزنی (w/w) + محلول‌پاشی عصاره یک هفته بعد از مایه‌زنی

۱۰- افزودن پودر خشک ۲ درصد وزنی (w/w) به خاک به صورت ساندویچی

۱۱- افزودن پودر خشک ۲ درصد وزنی (w/w) + افزودن عصاره به خاک سه هفته بعد از مایه‌زنی

۱۲- افزودن پودر خشک ۲ درصد وزنی (w/w) به خاک + محلول‌پاشی عصاره یک هفته بعد از مایه‌زنی

در تیمارهای حاوی پودر خشک، پودر خارلته به میزان ۲ و ۰/۵ درصد وزنی (معادل ۶۰ و ۱۵ گرم در هر گلدان سه کیلوگرمی) قبل از کاشت، با خاک قسمت میانی گلدان کاملاً مخلوط شد و سپس یک نشای گوجه‌فرنگی در مرحله چهاربرگی در گلدان کاشته شد. سایر تیمارها شامل کاربرد عصاره گیاهی بودند؛ بدین صورت که در مرحله چهاربرگی، نماتد به همراه عصاره به خاک اضافه و محلول‌پاشی عصاره نیز طبق برنامه زمانی هر تیمار روی اندام‌های هوایی انجام گرفت. در این مرحله، گیاهچه‌ها با ۶۰۰۰ تخم و لارو

سن دو نماتد مایه‌زنی شدند و تمامی کاربردهای عصاره مطابق برنامه زمان‌بندی تعیین‌شده برای هر تیمار اجرا شد. هر چرخه کشت گوجه‌فرنگی تقریباً ۶۰ روز طول کشید، دوره‌ای کافی برای تکمیل حداقل یک نسل غالب *M. javanica* در شرایط گلخانه. بنابراین، هر چرخه کشت به عنوان نماینده یک نسل متوالی نماتد در نظر گرفته شد که امکان ارزیابی اثرات تجمعی تیمارها را در چرخه‌های متوالی فراهم می‌کند.

بررسی اثر عصاره گیاهان بازدارنده بر تولیدمثل *Meloidogyne javanica* در سه کشت متوالی در شرایط گلخانه‌ای

هدف از انجام این آزمایش، بررسی اثر عصاره‌های آبی هشت گیاه بازدارنده شامل منداب، شیرین‌بیان، زیتون تلخ، کبر، خاکشیر طبی، کاهوک، کاردی و خارلته بر کاهش جمعیت و تولیدمثل *M. javanica* و تأثیر آن بر صفات رویشی گوجه‌فرنگی آلوده در شرایط گلخانه بود. نشاهای گوجه‌فرنگی در گلدان‌های سه کیلوگرمی حاوی مخلوط ماسه و خاک به نسبت ۱:۲ کاشته شدند. در مرحله چهاربرگی، شیارهایی دایره‌ای اطراف طوقه گیاه ایجاد شد و ۱۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون حاوی ۶۰۰۰ تخم و یا لارو سن دو نماتد ریشه‌گرهی به خاک هر گلدان اضافه گردید. پس از ۴۸ ساعت، ۱۲۰ میلی‌لیتر عصاره آبی گیاهان بازدارنده به سطح خاک گلدان‌ها افزوده شد. در تیمارهای شاهد بدون نماتد، تنها عصاره گیاه اضافه شد. برای توزیع یکنواخت سوسپانسیون تخم و یا لارو در خاک، مایه‌زنی نماتد با استفاده از پیپت انجام شد. پس از گذشت حدود ۶۰ روز، با استخراج و شمارش لاروهای سن دو درون خاک، هم‌چنین تخم‌ها و لاروهای درون ریشه گیاهان مایه‌زنی‌شده، جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل نماتد تعیین و تعداد گال و کیسه تخم نیز شمارش گردید. علاوه بر آن صفات رشدی گیاه شامل وزن تر ریشه و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی اندازه‌گیری شد.

این آزمایش در سه کشت متوالی اجرا شد. به منظور بررسی احتمال انتقال اثر تیمارها به نسل‌های بعدی و افزایش میزان تأثیرگذاری آن‌ها، مایه‌زنی نماتد در نوبت‌های بعدی کشت، با استفاده از تخم و لارو سن دو استخراج شده از گیاه و خاک تیمار مشابه در کشت قبلی انجام شد.

دمای گلخانه در طول سه دوره کشت گوجه‌فرنگی به صورت روزانه ثبت شد. میانگین دمای بیشینه و کمینه گلخانه در نوبت اول کشت، به ترتیب ۲۶/۲ و ۱۶/۵ درجه، در نوبت دوم کشت ۲۲/۷ و ۱۴/۳ درجه و در نوبت سوم کشت ۲۷/۸ و ۱۸/۵ درجه سلسیوس بود.

الف) شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی

وزن تر شاخساره با قطع اندام‌های هوایی هر گیاه از محل طوقه و توزین آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک شاخساره، ابتدا اندام‌های هوایی به مدت دو روز در هوای آزاد قرار گرفت تا رطوبت آن‌ها کاهش یابد. سپس درون پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به طور کامل خشک و وزن آن‌ها تعیین گردید. سپس ریشه‌ها به آرامی از خاک گلدان خارج و شست‌وشو داده شدند، رطوبت اضافی آن‌ها به وسیله دستمال گرفته شد و وزن آن با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری گردید. وزن خشک ریشه‌های بدون نماتد طبق روش تعیین وزن خشک اندام هوایی انجام شد.

ب) شاخص‌های نماتد ریشه‌گرهی

ریشه‌های تیمارهای دارای نماتد پس از وزن شدن به آزمایشگاه منتقل گردید و با قیچی به قطعات کوچک تقسیم شدند. سپس شاخص‌های نماتد به شرح زیر محاسبه گردید:

تعیین تعداد گال و کیسه‌ی تخم در یک گرم ریشه: به منظور شمارش تعداد گال و کیسه تخم مقداری ریشه مخلوط‌شده با استفاده از محلول رنگ‌آمیزی شامل ۱۹ قسمت از اسید لاکتیک، گلیسرین و آب مقطر به مقدار

مساوی و یک قسمت اسید فوشین ۰/۱ درصد رنگ‌آمیزی گردید (Byrd et al., 1983). بدین منظور یک گرم از ریشه به بشر شیشه‌ای ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل گردید. سپس مقدار کافی محلول رنگ‌آمیزی به آن اضافه گردید تا سطح ریشه‌ها پوشانده شود. بشر حاوی ریشه و محلول رنگ‌آمیزی به مدت سه دقیقه روی گرم‌کن برقی حرارت داده شد. ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده روی الک با آب جاری شست‌وشو داده شدند تا رنگ اضافی حذف گردد. رطوبت اضافی ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده با دستمال کاغذی گرفته و به منظور حذف رنگ از بافت، ریشه‌ها درون بشر حاوی مقدار مساوی آب مقطر با گلیسرین و چند قطره لاکتیک اسید قرار داده شد. بعد از یک شبانه‌روز، تعداد کیسه تخم و گال درون هر گرم ریشه به وسیله استرئومیکروسکوپ شمارش گردید. **تعیین تعداد تخم در یک گرم ریشه:** یک گرم ریشه خرد شده درون دستگاه مخلوط‌کن ریخته و مقدار کافی محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد (۱۰ درصد فرم تجاری) به آن اضافه و به مدت ۴۰ ثانیه مخلوط گردید (Hussey & Barker, 1973). مخلوط حاصل از الک‌های ۲۰، ۱۵۰ و ۵۰۰ مش عبور داده شد و با استفاده از آب‌فشان تخم‌های سطح الک ۵۰۰ مش درون تشتک پتری جمع‌آوری گردید. برای شمارش تخم‌ها سه نمونه یک میلی‌لیتری به‌طور جداگانه برداشته شده و تعداد تخم‌ها در هر نمونه با استفاده از استرئومیکروسکوپ شمارش شد. سپس با در نظر گرفتن حجم سوسپانسیون تخم و میانگین سه بار شمارش، تعداد تخم در گرم ریشه به دست آمد.

تعیین تعداد لارو سن دو نماتد در ۱۰۰ گرم خاک: به منظور انجام این کار بعد از جداسازی ریشه‌ها، خاک گلدان به صورت کامل مخلوط شد و ۱۰۰ گرم از آن به منظور استخراج لارو سن دو به آزمایشگاه منتقل گردید. لاروهای سن دو به روش سینی (Whitehead & Hemming, 1965) و پس از ۴۸ ساعت، استخراج و شمارش با استفاده از استرئومیکروسکوپ و ظرف شمارش صورت گرفت.

محاسبه تعداد گال و کیسه تخم، جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل: اثر عصاره‌های آبی در کشت‌های متوالی با شش تکرار برای هر تیمار انجام گردید. واکاوی داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.4 و Minitab 22.4.0 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح ۱ و ۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت.

تعداد گال، کیسه تخم و تخم در کل ریشه با ضرب میانگین شمارش هر شاخص در وزن کل ریشه محاسبه شد. مجموع تعداد لارو سن دوم در کل خاک گلدان و تعداد تخم در کل ریشه به‌عنوان جمعیت نهایی در گلدان در نظر گرفته شد. فاکتور تولیدمثل نماد از تقسیم جمعیت نهایی بر جمعیت اولیه به دست آمد (Oostenbrink, 1966).

نتایج

۱- مؤثرترین روش کاربرد و میزان مصرف گیاهان بازدارنده

آنالیز آماری نتایج مقایسه میانگین داده‌های شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی در آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. به‌طوری‌که آزمایش تعیین روش کاربرد خارلته با پنج تکرار و آزمایش بررسی جدول ۱ و نتایج مقایسه میانگین داده‌های شاخص‌های نماتد ریشه‌گرهی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. مقایسه میانگین شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی رقم ارلی اوربانا آلوده به *Meloidogyne javanica* در آزمایش تعیین مؤثرترین روش کاربرد و میزان مصرف گیاه بازدارنده خارلته.

Table 1. Mean comparison of growth parameters of the tomato cultivar 'Early Urbana' infected with *Meloidogyne javanica* in the experiment to determine the most effective application method and optimal application rate of the nematode-suppressive plant *Cirsium arvense*.

Treatments	Shoot fresh weight (g)			Shoot dry weight (g)			Root fresh weight (g)	
	Without nematode	With nematode	%*	Without nematode	With nematode	%*	Without nematode	With nematode
Control	56.6 ef	50.6 d-f	0.0	11.3 c	10.6 cd	0.0	39.7 e	32.5 d
Ext-Soil @Inoc	60.6 de	52.5 d-f	3.8	11.8 bc	10.3 cd	-2.8	66.0 a	37.0 cd
Ext-Soil @Inoc + 3WAI	78.0 bc	74.6 bc	47.4	14.8 ab	13.9 ab	31.1	66.9 a	54.2 ab
Ext-soil @Inoc + Foliar 1WAI	62.6 de	52.9 d-f	4.5	12.5 bc	10.9 b-d	2.8	50.9 b-e	33.2 d
Foliar 2DBI + 2DAI	55.0 ef	45.1 f	-10.9	11.3 c	7.8 d	-26.4	43.0 de	28.3 d
Foliar 2DBI + 2DAI + 1WAI	46.2 fg	44.5 f	-12.1	8.2 d	9.3 cd	-12.3	38.7 e	33.3 d
Foliar 2DBI + 2DAI + 1/3/4WAI	61.9 de	48.0 ef	-5.1	12.1 bc	9.7 cd	-8.5	44.8 c-e	30.7 d
Powder 0.5% (sandwich)	74.8 cd	65.1 cd	28.7	13.2 bc	11.8 a-c	11.3	46.3 c-e	38.7 cd
Powder 2% (sandwich)	89.3 ab	99.4 a	96.4	12.8 bc	11.7 a-c	10.4	58.6 a-c	65.7 a
Powder 0.5% + Ext-Soil 3WAI	79.5 bc	64.2 c-e	26.9	12.0 bc	9.8 cd	-7.5	35.7 e	32.6 d
Powder 2% + Ext-Soil 3WAI	102.1 a	88.4 ab	74.7	13.6 bc	11.1 b-d	4.7	57.7 a-d	53.8 ab
Powder 0.5% + Foliar 1WAI	37.7 g	45.6 f	-9.9	6.6 d	9.0 cd	-15.1	16.6 f	34.0 d
Powder 2% + Foliar 1WAI	101.6 a	98.6 a	94.9	17.5 a	14.3 a	34.9	62.0 ab	49.6 bc

@Inoc: در زمان مایه‌زنی نماتد؛ DAI: روزهای بعد از مایه‌زنی؛ DBI: روزهای قبل از مایه‌زنی؛ Powder: کاربرد خاکی پودر خشک قبل از انتقال نشاء؛ Ext-Soil:

کاربرد خاکی عصاره گیاه؛ Foliar: محلول‌پاشی برگ‌گی؛ WAI: هفته بعد از مایه‌زنی. داده‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد. *: درصد تغییرات نسبت به شاهد.

@Inoc = at nematode inoculation; DAI = Days after inoculation; DBI = Days before inoculation; Powder: Soil application of dry powder before seedling transplanting; Ext-Soil = Soil application of plant extract; Foliar: Foliar spray of extract; WAI = Weeks after inoculation. Data sharing the same letters within a column are not significantly different at 5% level. *: Percentage change relative to the control.

جدول ۲. مقایسه میانگین شاخص‌های نماتد *Meloidogyne javanica* در ریشه گیاه گوجه‌فرنگی رقم ارلی‌اوربانا در آزمایش تعیین مؤثرترین روش کاربرد و میزان مصرف گیاه بازدارنده خارلته.

Table 2. Mean comparison of *Meloidogyne javanica* indices in the roots of the tomato cultivar 'Early Urbana' in the experiment to determine the most effective application method and optimal application rate of the nematode-suppressive plant *Cirsium arvense*.

Treatments	Galls/g of root	Galls/root	Egg masses/g of root	Egg masses/root	Egg masses/galls (%)	Eggs/g of root
Control	125.2 a	3953 ab	51.0 ab	1633 ab	35.9 b	12899 a
Ext-Soil @Inoc	95.2 b	3633 a-c	32.4 c-e	1283 a-c	36.2 b	4099 ef
Ext-Soil @Inoc + 3WAI	86.0 bc	4608 a	30.6 c-e	1649 ab	32.2 b	6209 cd
Ext-soil @Inoc + Foliar 1WAI	54.4 de	1921 c	17.6 e	638 c	35.0 b	7374 cb
Foliar 2DBI + 2DAI	97.4 ab	2865 a-c	34.6 cd	1066 a-c	53.4 a	5658 c-e
Foliar 2DBI + 2DAI + 1WAI	97.2 ab	3374 a-c	52.6 a	1834 a	48.3 ab	8329 b
Foliar 2DBI + 2DAI + 1/3/4WAI	76.8 b-d	2472 bc	37.6 bc	1252 a-c	47.8 ab	13104 a
Powder 0.5% (sandwich)	76.8 b-d	3197 a-c	32.6 cd	1252 a-c	39.7 ab	4829 de
Powder 2% (sandwich)	59.8 c-e	3854 a-c	24.0 c-e	1558 ab	40.7 ab	2574 fg
Powder 0.5% + Ext-Soil 3WAI	71.6 b-d	2480 bc	26.8 c-e	884 bc	38.6 ab	1666 g
Powder 2% + Ext-Soil 3WAI	58.6 c-e	3243 a-c	21.8 de	1188 a-c	43.4 ab	2470 fg
Powder 0.5% + Foliar 1WAI	72.4 b-d	2425 bc	31.6 c-e	1060 a-c	53.8 a	1688 g
Powder 2% + Foliar 1WAI	38.0 e	1899 c	20.8 de	1046 a-c	42.3 ab	960 g

Treatments	Eggs/root	Eggs/egg mass	J2s/pot soil	Final population (Pf)	Reproduction factor (Rf)	RF changes (%)*
Control	413179 a	253.4 b	2112 ab	415291 a	69.2 a	-
Ext-Soil @Inoc	153464 de	133.6 cd	1662 ac	155126 de	25.8 de	-62.7
Ext-Soil @Inoc + 3WAI	336259 ab	206.0 bc	1728 ac	337987 ab	56.3 ab	-18.6
Ext-soil @Inoc + Foliar 1WAI	245438 b-d	453.8 a	978 bc	246416 b-d	41.0 b-d	-40.8
Foliar 2DBI + 2DAI	168972 c-e	178.6 bc	1206 bc	170178 c-e	28.3 c-e	-59.1
Foliar 2DBI + 2DAI + 1WAI	283987 bc	167.4 bc	2958 a	286945 bc	47.8 bc	-30.9
Foliar 2DBI + 2DAI + 1/3/4WAI	413273 a	397.4 a	2202 ab	415475 a	69.2 a	0.0
Powder 0.5% (sandwich)	198578 cd	154.0 b-d	852 bc	199430 cd	33.2 cd	-52.0
Powder 2% (sandwich)	169479 c-e	116.0 cd	438 c	169917 c-e	28.3 c-e	-59.1
Powder 0.5% + Ext-Soil 3WAI	60042 e	60.8 d	444 c	60486 e	10.0 e	-85.5
Powder 2% + Ext-Soil 3WAI	129295 de	116.0 cd	1014 bc	130309 de	21.7 de	-68.6
Powder 0.5% + Foliar 1WAI	58876 e	54.0 d	558 c	59434 e	9.9 e	-85.7
Powder 2% + Foliar 1WAI	47166 e	54.2 d	306 c	47424 e	7.9 e	-88.6

@Inoc: در زمان مایه‌زنی نماتد؛ DAI: روزهای بعد از مایه‌زنی؛ DBI: روزهای قبل از مایه‌زنی؛ Powder: کاربرد خاکی پودر خشک قبل از انتقال نشاء؛ Ext-Soil:

کاربرد خاکی عصاره گیاه؛ Foliar: محلول‌پاشی برگ‌گی؛ WAI: هفته بعد از مایه‌زنی. داده‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد. *: درصد تغییرات نسبت به شاهد.

@Inoc = at nematode inoculation; DAI = Days after inoculation; DBI = Days before inoculation; Powder: Soil application of dry powder before seedling transplanting; Ext-Soil = Soil application of plant extract; Foliar: Foliar spray of extract; WAI = Weeks after inoculation. Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$). *: Percentage change relative to the control.

نماتد نداشتند. بیش‌ترین وزن تر شاخساره گیاهان سالم و آلوده در تیمارهای

الف) شاخص‌های رویشی گیاه گوجه‌فرنگی

پودر خشک ۲ درصد به تنهایی، پودر خشک ۲ درصد + افزودن عصاره به

مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ نشان داد که اکثر تیمارها نسبت به شاهد

تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی سالم و یا آلوده به

خاک سه هفته بعد از مایه‌زنی یا محلول‌پاشی عصاره یک هفته بعد از مایه‌زنی نماتد مشاهده شد، که اختلاف معنی‌دار با شاهد را نشان دادند.

بیش‌ترین وزن خشک شاخساره گیاهان مایه‌زنی‌شده با نماتد، به‌ترتیب مربوط به تیمارهای پودر خشک ۲ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی نماتد، عصاره هم‌زمان با مایه‌زنی + عصاره سه هفته بعد از آن، پودر خشک ۰/۵ درصد، و پودر خشک ۲ درصد بود، که اختلاف معنی‌دار با شاهد و سایر تیمارها داشتند.

بیش‌ترین وزن تر ریشه گیاهان مایه‌زنی‌شده، به ترتیب در پودر خشک ۲٪، عصاره هم‌زمان با مایه‌زنی + عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی، پودر خشک ۲٪ + عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی، و پودر خشک ۲٪ + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی نماتد مشاهده گردید، که اختلاف معنی‌دار با شاهد و سایر تیمارها داشتند.

ب) شاخص‌های نماتد ریشه‌گرهی

مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ نشان داد روش کاربرد و میزان مصرف گیاه بازدارنده، تأثیرات متفاوتی بر شاخص‌های نماتد در ریشه گیاه گوجه‌فرنگی داشته است. به استثناء تیمار محلول‌پاشی دو روز قبل و دو روز بعد از مایه‌زنی نماتد، هم‌چنین تیمار محلول‌پاشی دو روز قبل، دو روز و یک هفته بعد از مایه‌زنی نماتد، سایر تیمارها باعث کاهش معنی‌دار تعداد گال در گرم ریشه شدند. بیش‌ترین کاهش تعداد گال در گرم ریشه به ترتیب در تیمارهای پودر خشک ۲ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی، افزودن عصاره به خاک هم‌زمان با مایه‌زنی + محلول‌پاشی یک هفته بعد از آن، پودر خشک ۲ درصد + افزودن عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی، و پودر خشک ۲ درصد مشاهده گردید. تعداد گال در کل ریشه کم‌تر تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت. بیش‌ترین کاهش تعداد گال در کل ریشه در تیمار پودر ۲ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی، و افزودن عصاره در زمان مایه‌زنی و محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی اتفاق افتاد.

کم‌ترین تعداد کیسه تخم در یک گرم ریشه در تیمار عصاره هم‌زمان با مایه‌زنی + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی، مشاهده گردید که به استثناء تیمارهای محلول‌پاشی دو روز قبل + محلول‌پاشی دو روز بعد از مایه‌زنی، محلول‌پاشی دو روز قبل + محلول‌پاشی دو روز و یک هفته بعد از مایه‌زنی، محلول‌پاشی دو روز قبل + محلول‌پاشی دو روز، یک هفته، سه هفته و چهار هفته بعد از مایه‌زنی، هم‌چنین پودر خشک ۰/۵ درصد، با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین تعداد کیسه تخم در کل ریشه نیز مربوط به عصاره هم‌زمان با مایه‌زنی + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی است که با تیمار پودر ۰/۵ درصد + محلول‌پاشی سه هفته بعد از مایه‌زنی اختلاف معنی‌داری نداشت.

کم‌ترین تعداد تخم در گرم ریشه به ترتیب در تیمارهای پودر خشک ۲ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی، پودر خشک ۰/۵ درصد + افزودن عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی و پودر خشک ۰/۵ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی آن اتفاق افتاد که با تیمارهای پودر خشک ۲ درصد و پودر خشک ۲ درصد + افزودن عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی اختلاف معنی‌داری ندارند. کم‌ترین تعداد تخم در کل ریشه نیز در تیمارهای پودر خشک ۲ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی، پودر خشک ۰/۵ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی، پودر خشک ۰/۵ درصد + افزودن عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی مشاهده شد که با تیمارهای افزودن عصاره هم‌زمان با مایه‌زنی نماتد، محلول‌پاشی عصاره دو روز قبل و دو روز بعد از مایه‌زنی و پودر خشک ۲ درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند. کم‌ترین تعداد تخم در هر کیسه تخم نیز در تیمارهای پودر خشک ۰/۵ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی، پودر خشک ۲ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی، پودر خشک ۰/۵ درصد + افزودن عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی، پودر خشک ۰/۵ درصد + افزودن عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی مشاهده شد که با تیمارهای پودر خشک ۲ درصد و پودر خشک ۲ درصد + افزودن عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی اختلاف معنی‌داری نداشتند.

و با شاخص‌های رشدی (وزن تر شاخساره، وزن خشک شاخساره و وزن تر ریشه) همبستگی منفی داشتند.

تیمار پودر خشک ۲ درصد + محلول‌پاشی عصاره یک هفته پس از مایه‌زنی با مقادیر $PC1 = -4.1$ و $PC2 = +0.64$ در بخش منفی محور اول قرار گرفت. همچنین تیمارهای پودر خشک ۲ درصد ($PC1 = -2.1$ ، $PC2 = +2.5$) و پودر خشک ۲ درصد + افزودن عصاره سه هفته پس از مایه‌زنی ($PC1 = -2.1$ ، $PC2 = +0.8$) نیز در ناحیه منفی مؤلفه اول واقع شدند. در مقابل، تیمار شاهد ($PC1 = +4.3$ ، $PC2 = +1.05$) در بخش مثبت محور اول قرار گرفت. تیمارهایی که تنها شامل محلول‌پاشی عصاره در زمان‌های مختلف قبل یا بعد از مایه‌زنی بودند، با مقادیر $PC1$ حدود $+0.6$ تا $+0.3$ ، در بخش مثبت یا نزدیک به صفر محور اول مشاهده شدند. تیمارهای ترکیبی شامل پودر خشک ۰/۵ درصد همراه با کاربرد عصاره، در موقعیت‌های میانی نمودار قرار گرفتند و تفکیک متوسطی نسبت به تیمار شاهد نشان دادند.

اثر عصاره‌های هشت گیاه مختلف بر نماتد *M. javanica* و گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به آن در سه کشت متوالی

نوبت اول کشت

بر اساس نتایج آزمایش مقدماتی تعیین روش کاربرد، که نشان داد کاربرد هم‌زمان عصاره با مایه‌زنی یکی از روش‌های مؤثر در مهار نماتد است. آزمایش دوم با هدف بررسی اثر تجمعی استفاده مکرر عصاره‌های گیاهی در سه کشت متوالی گوجه‌فرنگی انجام شد.

نتایج مقایسه میانگین داده‌های شاخص‌های رشدی گیاه در جدول ۳ و مقایسه میانگین داده‌های شاخص‌های نماتد در جدول ۴ ارائه شده است.

اختلاف معنی‌داری ندارند. بیش‌ترین کاهش تعداد لارو سن دو در خاک گلدان، که نشانه تأخیر در چرخه زندگی نماتد است، در تیمارهای پودر ۲ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی، پودر خشک ۲ درصد، پودر خشک ۰/۵ درصد + افزودن عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی و پودر خشک ۰/۵ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی نماتد مشاهده شد.

کم‌ترین میزان جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل، به عنوان مهم‌ترین شاخص ارزیابی تأثیر تیمارها بر فعالیت نماتد، در تیمارهای پودر خشک ۲ درصد + محلول‌پاشی عصاره یک هفته بعد از مایه‌زنی، پودر خشک ۰/۵ درصد + محلول‌پاشی یک هفته بعد از مایه‌زنی و پودر خشک ۰/۵ درصد + افزودن عصاره به خاک سه هفته بعد از مایه‌زنی مشاهده گردید که با تیمارهای پودر خشک ۲ درصد + افزودن عصاره سه هفته بعد از مایه‌زنی، پودر خشک ۲ درصد، محلول‌پاشی دو روز قبل و دو روز بعد از مایه‌زنی، همچنین افزودن عصاره هم‌زمان با مایه‌زنی نماتد در یک گروه آماری قرار داشتند (شکل ۱).

ج) تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) صفات رشدی و شاخص‌های

آلودگی نماتد

نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis, PCA)

صفات رشدی گیاه و شاخص‌های آلودگی و تولیدمثل نماتد *M. javanica* در آزمایش تعیین مؤثرترین روش کاربرد و میزان مصرف گیاهان بازدارنده نشان داد که مؤلفه اول و دوم ($PC1$ و $PC2$) به ترتیب ۵۷/۴ و ۱۵/۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها را تبیین کرده و در مجموع بیش از ۷۳ درصد از واریانس کل را پوشش دادند. علاوه بر آن تیمارها بر حسب شباهت در ویژگی‌های رشدی گیاه و شدت آلودگی نماتد به طور مشخص از یکدیگر تفکیک شده‌اند. مؤلفه اول عمدتاً با شاخص‌های تعداد گال، تعداد کیسه تخم، تعداد تخم، تعداد لارو مرحله دوم و فاکتور تولیدمثل دارای همبستگی مثبت

جدول ۳. مقایسه میانگین شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی رقم ارلی‌اوربانا آلوده به *Meloidogyne javanica* در آزمایش بررسی اثر عصاره‌های آبی هشت گیاه مختلف (نوبت اول).

Table 3. Mean comparison of growth parameters of the tomato cultivar 'Early Urbana' infected with *Meloidogyne javanica* in the experiment evaluating the effects of aqueous extracts from eight different plants (first cropping cycle).

Treatments	Shoot fresh weight (g)			Shoot dry weight (g)			Root fresh weight (g)	
	Without nematode	With nematode	%*	Without nematode	With nematode	%*	Without nematode	With nematode
Control	45.1 bc	38.2 b	-	9.1 bc	8.4 b	-	25.8 b	32.0 cd
Licorice ¹	46.1 bc	40.0 b	4.7	8.4 bc	8.4 b	0	25.1 b	40.9 a-c
Flixweed ²	42.7 bc	38.2 b	0	9.7 bc	8.3 b	-1.2	24.7 b	42.4 a-c
Milk thistle ³	40.0 c	41.6 b	8.9	8.7 bc	8.4 b	0	24.7 b	45.0 a
Creeping thistle ⁴	50.3 ab	50.8 a	32.9	10.4 ab	11.2 a	33.3	32.0 a	43.9 ab
Narrow-leaf plantain ⁵	42.4 bc	40.2 b	5.2	9.0 bc	8.8 b	4.8	25.3 b	42.5 a-c
Arugula ⁶	38.1 c	43.7 ab	14.4	7.7 c	9.4 ab	11.9	24.2 b	37.5 a-d
Caper bush ⁷	43.1 bc	39.4 b	3.1	9.2 bc	8.3 b	-1.2	24.4 b	29.6 d
Chinaberry ⁸	55.2 a	39.3 b	2.8	12.1 a	8.4 b	0	28.2 ab	32.9 b-d

داده‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد. *: درصد تغییرات نسبت به شاهد. ۱:

شیرین‌بیان؛ ۲: خاکشیر طبی؛ ۳: کاهوک؛ ۴: خارلته؛ ۵: کاردی؛ ۶: منداب؛ ۷: کبر؛ ۸: زیتون تلخ.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$). *: Percentage change relative to the control.

جدول ۴. مقایسه میانگین شاخص‌های نماتد *Meloidogyne javanica* در ریشه گیاه گوجه‌فرنگی رقم ارلی‌اوربانا در آزمایش بررسی اثر عصاره‌های آبی

هشت گیاه مختلف (نوبت اول).

Table 4. Mean comparison of *Meloidogyne javanica* indices in the roots of the tomato cultivar 'Early Urbana' in the experiment evaluating the effects of aqueous extracts from eight different plants (first cropping cycle).

Treatments	Galls/g root	Galls/root	Egg masses/g root	Egg masses/root	Egg masses/galls %	Eggs/g root
Control	134.8 a-d	4322 bc	74.8 a	2403 a	35.2 bc	7226 a
Licorice ¹	166.0 a	6854 ab	55.8 b	2267 ab	36.6 bc	7319 a
Flixweed ²	152.8 ab	6510 ab	55.6 b	2223 ab	20.8 d	3790 cd
Milk thistle ³	170.8 a	7746 a	36.1 cd	1698 b-d	23.4 cd	4157 b-d
Creeping thistle ⁴	110.1 dc	4876 bc	22.3 e	988 e	29.9 b-d	1533 e
Narrow-leaf plantain ⁵	148.8 a-c	6308 ab	44.1 b-d	1858 a-c	25.7 cd	5010 bc
Arugula ⁶	130.8 a-d	4963 bc	31.8 de	1173 de	41.2 b	5644 ab
Caper bush ⁷	115.1 b-d	3491 c	46.8 bc	1343 c-e	34.3 bc	3721 cd
Chinaberry ⁸	102.5 d	3536 c	31.8 de	1031 e	56.8 a	2866 de
Treatments	Eggs/root	Eggs/egg masses	J2s/pot root	Final population (Pf)	Reproduction factor (Rf)	Rf changes %*
Control	229804 ab	96.5 bc	2827 a	232632 ab	93.0 ab	-
Licorice ¹	289837 a	137.1 ab	2773 a	292611 a	117.0 a	25.8
Flixweed ²	151584 dc	71.3 c	1215 c	152799 cd	61.1 cd	-34.3
Milk thistle ³	182597 bc	136.2 ab	2265 ab	184862 bc	73.9 bc	-20.5
Creeping thistle ⁴	67980 e	67.8 c	1077 c	69057 e	27.6 e	-70.3
Narrow-leaf plantain ⁵	210414 bc	113.4 bc	1605 bc	212019 bc	84.8 bc	-8.8
Arugula ⁶	209754 bc	184.1 a	645 c	210399 bc	84.1 bc	-9.6
Caper bush ⁷	102605 de	85.2 bc	1246 c	103851 de	41.5 de	-55.4
Chinaberry ⁸	99661 de	94.1 bc	667 c	100329 de	40.1 de	-56.9

داده‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد. *: درصد تغییرات نسبت به شاهد. ۱:

شیرین‌بیان؛ ۲: خاکشیر طبی؛ ۳: کاهوک؛ ۴: خارلته؛ ۵: کاردی؛ ۶: منداب؛ ۷: کبر؛ ۸: زیتون تلخ.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$). *: Percentage change relative to the control.

کاهش در تعداد کیسه تخم در کل ریشه نیز در تیمار خارلته مشاهده گردید و با تیمارهای زیتون تلخ، منداب، کبر و کاهوک اختلاف معنی داری نداشت.

به استثناء شیرین بیان و منداب، تعداد تخم در گرم ریشه در عصاره های مختلف به طور معنی داری کاهش یافت. کمترین تعداد تخم در گرم ریشه در عصاره خارلته مشاهده گردید که با زیتون تلخ در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین تعداد تخم در کل ریشه نیز در عصاره خارلته مشاهده گردید که با زیتون تلخ و کبر اختلاف معنی داری نداشت. سایر تیمارها با شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند. تیمارها تأثیر معنی داری بر تعداد تخم در کیسه تخم نسبت به شاهد نداشتند و تیمار منداب باعث افزایش آن گردید.

از میان تیمارها، عصاره های منداب، زیتون تلخ، خارلته و خاکشیر طبی باعث بیشترین کاهش در تعداد لارو در کل خاک گلدان شدند و با کاردی در یک گروه آماری قرار گرفتند.

به استثناء شیرین بیان سایر تیمارها باعث کاهش معنی دار جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل نماتد شدند. بیشترین کاهش در عصاره خارلته مشاهده شد که با تیمارهای زیتون تلخ و کبر اختلاف معنی داری نداشت.

نوبت دوم کشت

نتایج مقایسه میانگین داده های شاخص های رشدی گیاه در جدول ۵ و مقایسه میانگین داده های شاخص های نماتد در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۵. مقایسه میانگین شاخص های رشدی گیاه گوجه فرنگی رقم ارلی اوربانا آلوده به *Meloidogyne javanica* در آزمایش بررسی اثر عصاره های آبی هشت گیاه مختلف (نوبت دوم).

Table 5. Mean comparison of growth parameters of the tomato cultivar 'Early Urbana' infected with *Meloidogyne javanica* in the experiment evaluating the effects of aqueous extracts from eight different plants (second cropping cycle).

Treatments	Shoot fresh weight (g)			Shoot dry weight (g)			Root fresh weight (g)	
	Without nematode	With nematode	%*	Without nematode	With nematode	%*	Without nematode	With nematode
Control	99.4 c	90.3 g	—	20.4 d	19.9 f	—	42.3 e	47.7 d
Licorice ¹	124.3 b	106.4 ef	17.8	27.0 c	24.0 de	20.6	63.9 bc	58.5 c
Flixweed ²	140.7 ab	124.8 b-d	38.2	31.3 ab	27.9 bc	40.2	50.8 de	71.9 ab
Milk thistle ³	142.3 ab	110.3 d-f	22.1	32.0 a	25.4 cd	27.6	69.5 b	70.7 ab
Creeping thistle ⁴	150.4 a	152.3 a	68.7	32.1 a	32.7 a	64.3	80.1 a	70.8 ab
Narrow-leaf plantain ⁵	107.7 c	101.1 fg	12.0	23.1 d	22.3 ef	12.1	57.4 cd	65.0 bc
Arugula ⁶	140.5 ab	126.4 bc	40.0	31.4 ab	27.4 bc	37.7	61.7 b-d	75.5 a

الف) شاخص های رویشی گیاه

مقایسه میانگین ها در سطح ۵٪ نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک شاخساره در گیاهان مایه زنی شده با نماتد مربوط به عصاره خارلته است که با منداب در یک گروه آماری قرار گرفته است و اختلاف آن نسبت به سایر عصاره ها و شاهد معنی دار است.

در شرایط بدون نماتد، بیشترین وزن تر و خشک شاخساره مربوط به عصاره زیتون تلخ است که اختلاف معنی داری با تیمار خارلته ندارد. بیشترین وزن تر ریشه در گیاهان آلوده به نماتد به عصاره کاهوک تعلق دارد که به استثناء شاهد، کبر و زیتون تلخ، با سایر تیمارها اختلاف معنی داری ندارد. در گیاهان بدون نماتد، بیشترین وزن ریشه به عصاره خارلته تعلق دارد که با زیتون تلخ اختلاف معنی داری ندارد.

ب) شاخص های نماتد ریشه گری

مقایسه میانگین ها در سطح ۵٪ نشان داد که اثر عصاره های گیاهی بر شاخص های نماتد در ریشه گوجه فرنگی متفاوت بوده است. هرچند تعداد گال در گرم ریشه و کل ریشه در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد تفاوت معنی داری نداشت، اما همه عصاره ها موجب کاهش معنی دار تعداد کیسه تخم در گرم ریشه شدند. بیشترین کاهش مربوط به عصاره خارلته بود که با عصاره های منداب و زیتون تلخ در یک گروه آماری قرار داشتند. بیشترین

Caper bush ⁷	138.5 ab	137.7 b	52.5	28.5 a-c	28.6 b	43.7	61.8 b-d	64.8 bc
Chinaberry ⁸	128.1 b	120.2 c-e	33.1	28.0 bc	26.1 b-d	31.2	58.3 b-d	59.7 c

داده‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد. *: درصد تغییرات نسبت به شاهد. ۱:

شیرین‌بیان؛ ۲: خاکشیر طبی؛ ۳: کاهوک؛ ۴: خارلته؛ ۵: کاردی؛ ۶: منداب؛ ۷: کبر؛ ۸: زیتون تلخ.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$). *: Percentage change relative to the control.

جدول ۶. مقایسه میانگین شاخص‌های نماتد *Meloidogyne javanica* در ریشه گیاه گوجه‌فرنگی رقم ارلی‌اوربانا در آزمایش بررسی اثر عصاره‌های آبی

هشت گیاه مختلف (نوبت دوم).

Table 6. Mean comparison of *Meloidogyne javanica* indices in the roots of the tomato cultivar 'Early Urbana' in the experiment evaluating the effects of aqueous extracts from eight different plants (second cropping cycle).

Treatments	Galls/g root	Galls/root	Egg root masses/g	Egg masses/root	Egg galls %	masses/ Eggs/g root
Control	145.3 a	6960 ab	97.5 a	4769 a	48.4 cd	12583 a
Licorice ¹	105 b	6164 a-c	50.6 b	2999 bc	44.0 d	6838 b
Flixweed ²	99.5 b	7250 a	44.6 bc	3285 b	36.9 d	5646 bc
Milk thistle ³	86.0 bc	6074 a-c	30.3 c	2125 bc	47.4 cd	3039 de
Creeping thistle ⁴	61.6 de	4341 c	27.8 c	1929 c	44.1 d	1905 e
Narrow-leaf plantain ⁵	97.1 b	6286 ab	41.0 bc	2659 bc	54.1 b-d	4032 cd
Arugula ⁶	70.6 cd	5329 bc	36.8 bc	2793 bc	72.6 a	6019 bc
Caper bush ⁷	39.8 e	2552 d	29.3 c	1873 c	63.4 a-c	1607 e
Chinaberry ⁸	73.5 cd	4379 c	45.1 bc	2679 bc	67.1 ab	4032 cd

Treatments	Eggs/root	Eggs/egg masses	J2s/pot root	Final population (Pf)	Reproduction factor (Rf)	Rf changes %*
Control	583470 a	140.9 ab	7745 c	591215 a	98.5 a	-
Licorice ¹	404409 b	138.2 ab	9081 bc	413491 b	68.9 b	30.1
Flixweed ²	403479 b	132.3 ab	12317 a	415797 b	69.3 b	29.6
Milk thistle ³	214281 cd	105.4 bc	5546 d	219827 cd	36.6 cd	62.8
Creeping thistle ⁴	131998 de	71.0 c	3393 e	135391 de	22.5 de	77.2
Narrow-leaf plantain ⁵	265487 c	100.7 bc	10145 b	275632 c	45.9 c	53.4
Arugula ⁶	447569 b	176.3 a	8011 c	455580 b	75.9 b	22.9
Caper bush ⁷	102745 e	55.6 c	2315 e	105060 e	17.5 e	82.2
Chinaberry ⁸	237167 c	95.9 bc	1905 e	239072 c	39.8 c	59.6

داده‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد. *: درصد تغییرات نسبت به شاهد. ۱:

شیرین‌بیان؛ ۲: خاکشیر طبی؛ ۳: کاهوک؛ ۴: خارلته؛ ۵: کاردی؛ ۶: منداب؛ ۷: کبر؛ ۸: زیتون تلخ.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$). *: Percentage change relative to the control.

مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ نشان داد که تعداد گال در ریشه در

الف) شاخص‌های رویشی گیاه

همه تیمارها کم‌تر از شاهد بود. کبر مؤثرترین تیمار بود که با خارلته اختلاف معنی‌داری نداشت. تعداد گال در کل ریشه در تیمارهای خارلته، کبر و زیتون تلخ کم‌تر از شاهد بود و بیش‌ترین کاهش مربوط به عصاره کبر بود که با عصاره خارلته در یک گروه آماری قرار داشت. در این آزمایش تیمار کبر باعث گیاه‌سوزی گیاه گوجه‌فرنگی گردید که می‌تواند تفسیر نتایج این تیمار را تحت تأثیر قرار دهد.

مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ نشان داد که به استثناء کاردی سایر تیمارها نسبت به شاهد موجب افزایش وزن تر و خشک شاخساره گیاهان سالم و گیاهان آلوده به نماتد شدند. بیش‌ترین وزن تر و خشک شاخساره گیاه مایه‌زنی‌شده با نماتد مربوط به تیمار عصاره خارلته بود. در شاخص وزن تر ریشه نیز بیش‌ترین مقدار در تیمار عصاره منداب مشاهده شد که با تیمارهای خاکشیر طبی، خارلته و کاهوک در یک گروه آماری قرار دارند.

همه تیمارها باعث کاهش معنی‌دار تعداد کیسه تخم در گرم و در کل ریشه

ب) شاخص‌های نماتد ریشه‌گرهی

شدند. بیش‌ترین کاهش تعداد کیسه تخم در گرم ریشه مربوط به تیمارهای

کبر، خارلته و کاهوک بود که به استثناء شیرین بیان با سایر تیمارها اختلاف معنی داری نداشتند. بیشترین کاهش در تعداد تخم در کل ریشه در تیمارهای کبر و خارلته اتفاق افتاد که به استثناء خاکشیر طبی با سایر تیمارها اختلاف معنی دارند نداشتند و در یک گروه قرار گرفتند.

به استثناء عصاره های خاکشیر طبی، کاردی، شیرین بیان و منداب، سایر تیمارها باعث کاهش معنی دار تعداد لارو در کل خاک گلدان شدند. بیشترین کاهش در عصاره زیتون تلخ مشاهده شد که با عصاره های کبر و خارلته در یک گروه آماری قرار گرفتند.

همه تیمارها باعث کاهش معنی دار تعداد تخم در گرم و در کل ریشه شدند. بیشترین کاهش تعداد تخم در گرم ریشه در عصاره های خارلته و کبر مشاهده گردید که با عصاره کاهوک در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین

در تمام تیمارها، جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل نسبت به شاهد کاهش معنی دار نشان دادند. عصاره کبر با ۸۲/۲ درصد و عصاره خارلته با ۷۷/۲ درصد کاهش فاکتور تولیدمثل، مؤثرترین تیمارها بودند.

نوبت سوم کشت

تعداد تخم در کل ریشه نیز در عصاره کبر مشاهده گردید که با خارلته اختلاف معنی داری نداشت. کمترین تعداد تخم در هر کیسه تخم نیز در عصاره کبر مشاهده شد و با عصاره خارلته در یک گروه آماری قرار گرفت، اما سایر تیمارها تفاوت معنی داری با شاهد نداشتند.

نتایج مقایسه میانگین داده های شاخص های رشدی گیاه در جدول ۷ و مقایسه میانگین داده های شاخص های نماتد در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۷. مقایسه میانگین شاخص های رشدی گیاه گوجه فرنگی رقم ارلی اوربانا آلوده به *Meloidogyne javanica* در آزمایش بررسی اثر عصاره های آبی

هشت گیاه مختلف (نوبت سوم).

Table 7. Mean comparison of growth parameters of the tomato cultivar 'Early Urbana' infected with *Meloidogyne javanica* in the experiment evaluating the effects of aqueous extracts from eight different plants (third cropping cycle).

Treatments	Shoot fresh weight (g)			Shoot dry weight (g)			Root fresh weight (g)	
	Without nematode	With nematode	%*	Without nematode	With nematode	%*	Without nematode	With nematode
Control	96.5 c	88.3 d	-	19.1 e	18.6 f	-	40.7 d	48.0 d
Licorice ¹	103.6 c	103.3 cd	17.0	25.9 cd	22.8 de	22.6	64.3 ab	53.3 cd
Flixweed ²	133.0 b	118.1 cb	33.7	29.6 b	27.2 bc	46.2	50.6 c	72.4 a
Milk thistle ³	134.3 b	99.8 d	13.0	33.3 a	25.2 cd	35.5	65.9 ab	67.4 ab
Creeping thistle ⁴	154.3 a	156.1 a	76.8	33.4 a	35.7 a	91.9	71.3 a	64.2 ab
Narrow-leaf plantain ⁵	100.3 c	98.8 d	11.9	23.4 d	22.3 e	19.9	58.3 bc	65.3 ab
Arugula ⁶	132.6 b	118.3 cb	34.0	29.9 ab	26.3 bc	41.4	62.1 ab	71.5 a
Caper bush ⁷	134.5 b	133.1 b	50.7	27.1 bc	28.4 b	52.7	62.1 ab	63.9 ab
Chinaberry ⁸	121.6 b	116.1 c	31.5	27.1 bc	25.5 cd	37.1	61.8 ab	59.4 bc

داده های دارای حروف مشابه در هر ستون، نشان دهنده ی عدم وجود تفاوت معنی دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می باشد. *: درصد تغییرات نسبت به شاهد. ۱:

شیرین بیان؛ ۲: خاکشیر طبی؛ ۳: کاهوک؛ ۴: خارلته؛ ۵: کاردی؛ ۶: منداب؛ ۷: کبر؛ ۸: زیتون تلخ.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$). *: Percentage change relative to the control.

جدول ۸. مقایسه میانگین شاخص‌های نماتد *Meloidogyne javanica* در ریشه گیاه گوجه‌فرنگی رقم ارلی‌اوربانا در آزمایش بررسی اثر عصاره‌های آبی هشت گیاه مختلف (نوبت سوم).

Table 8. Mean comparison of *Meloidogyne javanica* indices in the roots of the tomato cultivar 'Early Urbana' in the experiment evaluating the effects of aqueous extracts from eight different plants (third cropping cycle).

Treatments	Galls/ g root	Galls/ root	Egg g root	masses/ Egg root	masses/ Egg galls %	masses/ Eggs/ g root
Control	140.8 a	6780 a	119.5 a	5787 a	64.2 b	13883 a
Licorice ¹	115.8 b	6241 ab	73.0 b	3906 b	63.4 b	6946 b
Flixweed ²	90.8 b-d	6463 ab	58.6 bc	4156 b	59.7 bc	5155 b-d
Milk thistle ³	70.8 c-e	4818 bc	41.8 cd	2853 bc	46.9 c	2740 ef
Creeping thistle ⁴	55.6 e	3611 c	25.6 d	1659 c	63.3 b	1780 f
Narrow-leaf plantain ⁵	96.6 bc	6303 ab	59.6 bc	3893 b	63.9 b	4333 c-e
Arugula ⁶	66.3 de	4729 bc	43.3 cd	3072 bc	65.6 b	5816 bc
Caper bush ⁷	67.3 de	4317 c	44.0 cd	2803 bc	65.3 b	3239 d-f
Chinaberry ⁸	54.0 e	3181 c	36.8 cd	2173 c	83.5 a	3455 d-f
Treatments	Eggs/root	Eggs/egg masses	J2s/pot root	Final population	Reproduction factor (Rf)	Rf changes %*
Control	677213 a	119 b	8670 a	685883 a	114.3 a	-
Licorice ¹	373494 b	98.1 bc	9186 a	382680 b	63.7 b	44.3
Flixweed ²	364114 b	93.5 bc	9825 a	373939 b	62.3 b	45.5
Milk thistle ³	185717 cd	66.6 c	5115 b	190832 cd	31.8 cd	72.2
Creeping thistle ⁴	114684 d	72.8 bc	2170 c	116854 d	19.4 d	83.0
Narrow-leaf plantain ⁵	282814 bc	73.6 bc	7990 a	290804 bc	48.4 bc	57.7
Arugula ⁶	425163 b	162.8 a	8185 a	433348 b	72.2 b	36.8
Caper bush ⁷	205914 cd	75.3 cb	2835 bc	208749 cd	34.8 cd	69.6
Chinaberry ⁸	203710 cd	104 cb	2575 c	206285 cd	34.4 cd	69.9

داده‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده‌ی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد می‌باشد. *: درصد تغییرات نسبت به شاهد. ۱:

شیرین‌بیان؛ ۲: خاکشیر طبی؛ ۳: کاهوک؛ ۴: خارلته؛ ۵: کاردی؛ ۶: منداب؛ ۷: کبر؛ ۸: زیتون تلخ.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$). *: Percentage change relative to the control.

الف) شاخص‌های رویشی گیاه گردید. این تیمارها با کاهوک، خارلته، کاردی و کبر اختلاف معنی‌داری

مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ نشان داد که اکثر تیمارها تأثیر معنی‌داری نداشتند.

ب) شاخص‌های نماتد ریشه‌گرهی بر شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی سالم یا آلوده به نماتد ریشه‌گرهی

داشتند. که بیش‌ترین وزن تر و خشک شاخساره در گیاهان سالم و آلوده به

نماتد در تیمار عصاره خارلته مشاهده شد. همچنین، بیش‌ترین وزن تر ریشه

گیاهان مایه‌زنی‌شده با نماتد در تیمارهای خاکشیر طبی و منداب مشاهده

مختلف بر شاخص‌های نماتد در ریشه گیاه گوجه‌فرنگی متفاوت بوده است.

تمامی تیمارها موجب کاهش معنی‌دار تعداد گال در گرم ریشه نسبت به شاهد

خارلته مشاهده شد، که با عصاره زیتون تلخ و کبر در یک گروه آماری قرار داشت.

همه تیمارها باعث کاهش معنی دار جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل نماتد به میزان $36/8$ تا 83 درصد نسبت به شاهد شدند. عصاره خارلته با 83 درصد کاهش، مؤثرترین تیمار بود که با تیمارهای کاهوک ($72/2$ درصد)، زیتون تلخ ($69/9$ درصد)، و کبر ($69/6$ درصد) اختلاف معنی داری نداشت. تیمارهای شیرین بیان، خاکشیر طبی، کاردی و منداب نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند.

تغییرات شاخص های تولیدمثلی نماتد در سه کشت متوالی

مقایسه میانگین فاکتور تولیدمثل نماتد در سه کشت متوالی اختلاف معنی داری بین تیمارها در سطح 5% نشان داد، به طوری که تیمارهای خارلته، کبر و زیتون تلخ کمترین مقادیر تجمعی Rf (به ترتیب $23/2$ ، $31/2$ و $38/1$) را در مقایسه با شاهد ($101/9$) داشتند. بررسی درصد تغییرات فاکتور تولیدمثل نسبت به شاهد نیز اختلاف عملکرد تیمارها را در کشت های مختلف مشخص کرد (شکل ۲).

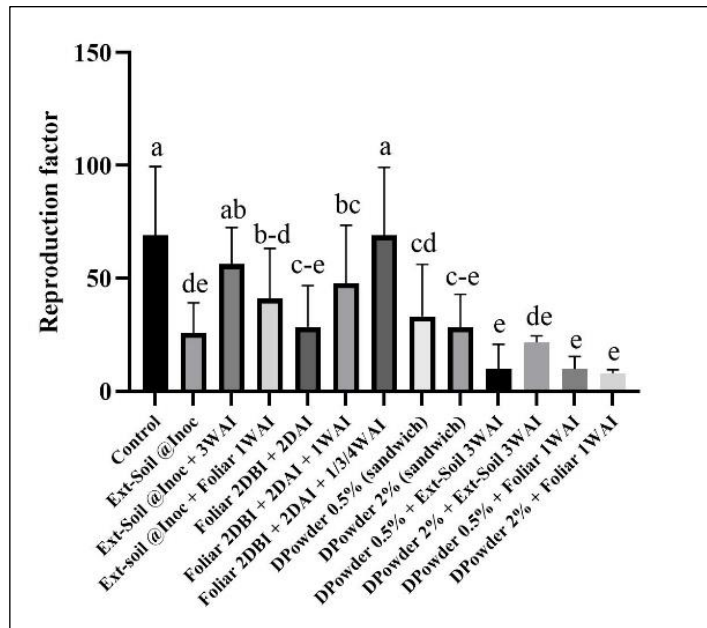
آنالیز آماری شاخص های تولیدمثلی نماتد در سه کشت متوالی نشان داد که اثر تیمارها به نوع شاخص اندازه گیری شده وابسته بوده است. بر اساس نمودار برهم کنش (interaction plot) ارائه شده در شکل ۳، برخی تیمارها مانند شیرین بیان در شاخص های مبتنی بر واحد گرم ریشه از جمله تعداد تخم، گال و کیسه تخم الگوی متفاوتی نسبت به فاکتور تولیدمثل نشان دادند.

شدند. بیشترین کاهش در عصاره های زیتون تلخ و خارلته بود که با عصاره های منداب، کبر و کاهوک در یک گروه آماری قرار داشتند. بیشترین کاهش تعداد گال در کل ریشه نیز در تیمارهای زیتون تلخ، خارلته و کبر مشاهده شد که با منداب و کاهوک در یک گروه آماری قرار گرفتند.

همه تیمارها باعث کاهش معنی دار تعداد کیسه تخم در گرم و در کل ریشه شدند. بیشترین کاهش در تعداد کیسه تخم در گرم ریشه در تیمار خارلته مشاهده شد که با تیمارهای زیتون تلخ، کاهوک، کبر و منداب اختلاف معنی داری نداشت. بیشترین کاهش در تعداد کیسه تخم در کل ریشه در تیمارهای خارلته و زیتون تلخ مشاهده گردید که با تیمارهای کاهوک، کبر و منداب اختلاف معنی داری نداشتند.

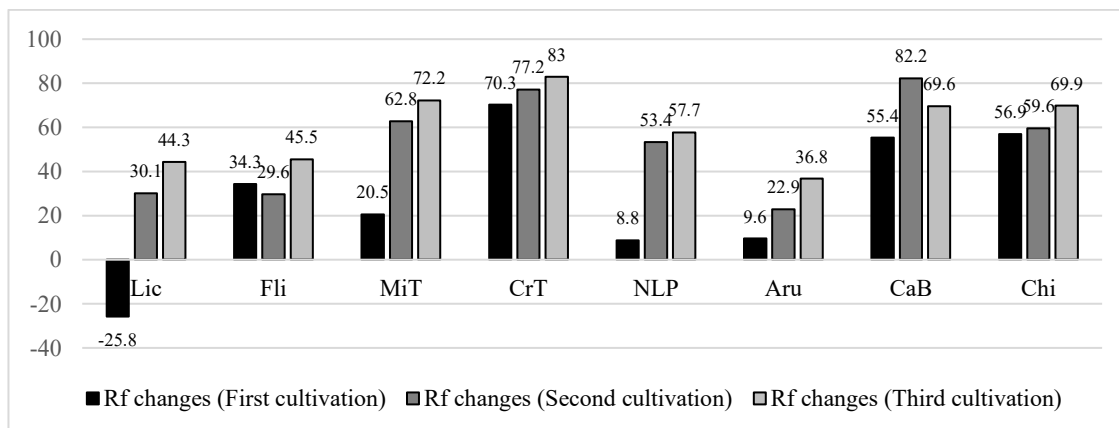
تمامی تیمارها باعث کاهش معنی دار تعداد تخم در گرم و در کل ریشه شدند. کمترین تعداد تخم در گرم ریشه در عصاره خارلته بود که با عصاره کاهوک، کبر، زیتون تلخ و کاردی در یک گروه آماری قرار داشت. کمترین تعداد تخم در کل ریشه نیز در عصاره خارلته مشاهده شد که با تیمارهای کاهوک، کبر و زیتون تلخ اختلاف معنی داری نداشت. کاهش معنی دار تعداد تخم در هر کیسه تخم نیز فقط در تیمار کاهوک مشاهده شد. تیمار منداب باعث افزایش معنی داری تعداد تخم در هر کیسه تخم گردید. سایر تیمارها با شاهد اختلاف معنی داری نداشتند.

به استثناء شیرین بیان، خاکشیر طبی، منداب و کاردی، سایر تیمارها باعث کاهش معنی دار تعداد لارو در کل خاک گلدان شدند. کمترین آن در عصاره



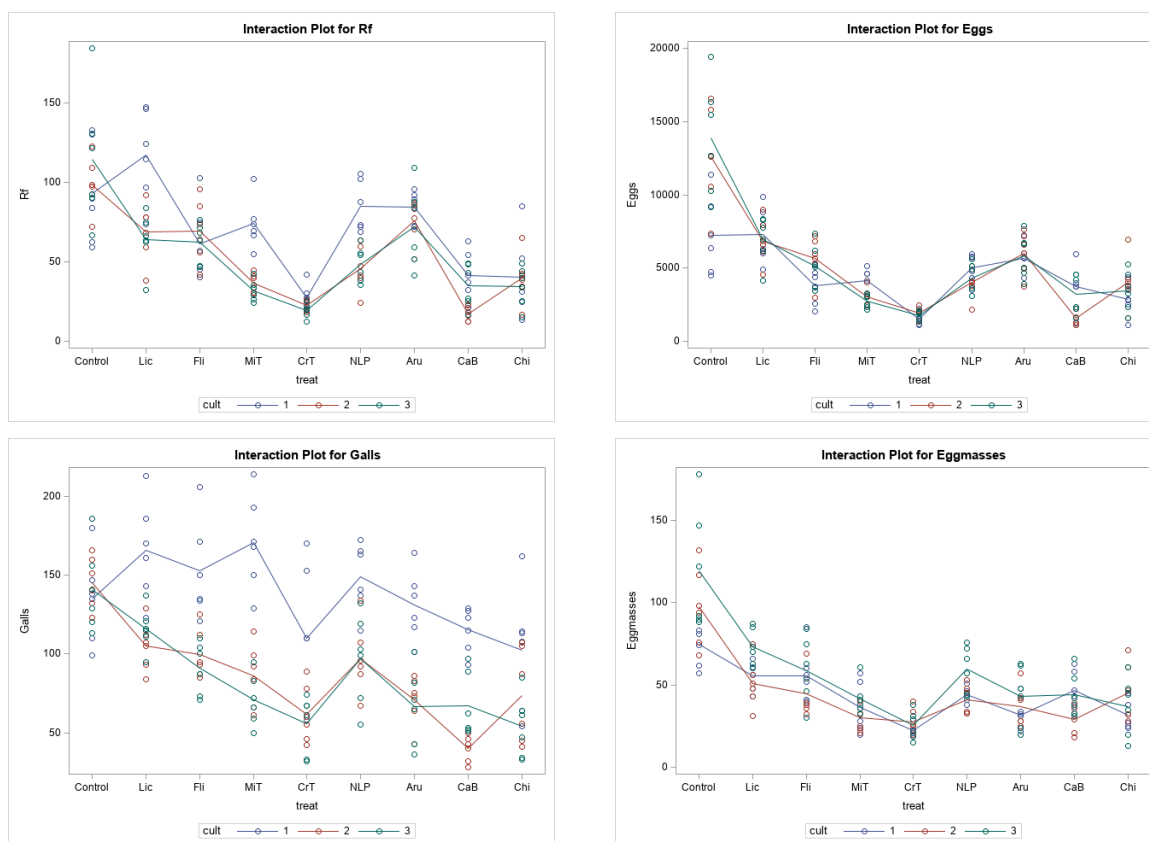
شکل ۱. مقایسه میانگین فاکتور تولیدمثل نماتد *Meloidogyne javanica* در ریشه گیاه گوجه‌فرنگی رقم ارلی‌اوربانا در آزمایش تعیین مؤثرترین روش کاربرد و میزان مصرف گیاه بازدارنده خارلته.

Figure 1. Comparison of the mean reproduction factor of *Meloidogyne javanica* in the roots of the tomato cultivar 'Early Urbana' in the experiment to determine the most effective application method and optimal application rate of the nematode-suppressive plant *Cirsium arvense*. @Inoc = at nematode inoculation; DAI = Days after inoculation; DBI = Days before inoculation; Powder: Soil application of dry powder before seedling transplanting; Ext-Soil = Soil application of plant extract; Foliar: Foliar spray of extract; WAI = Weeks after inoculation.



شکل ۲. مقایسه درصد تغییرات فاکتور تولیدمثل نماتد ریشه‌گرهی *Meloidogyne javanica* در بررسی اثر عصاره‌های هشت گیاه مختلف بر گیاه گوجه‌فرنگی رقم ارلی‌اوربانا آلوده به نماتد در سه کشت متوالی.

Figure 2. Comparison of the percentage changes in the nematode reproduction factor in experiments evaluating the effects of extracts from eight different plants on *Meloidogyne javanica*-infested tomato cultivar 'Early Urbana' across three consecutive cropping cycles. Lic: Licorice, Fli: Flixweed, MiT: Milk thistle, CrT: Creeping thistle, NLP: Narrow-leaf plantain, Aru: Arugula, CaB: Caper bush, Chi: Chinaberry.



شکل ۳. اثر تیمارهای مختلف گیاهان بازدارنده بر شاخص‌های نماتد ریشه‌گرهی *Meloidogyne javanica* شامل فاکتور تولیدمثل (Rf)، تعداد تخم، تعداد

گال و تعداد کیسه‌های تخم به ازای هر گرم ریشه گوجه‌فرنگی در سه کشت متوالی.

Figure 3. Effect of treatments with nematode-suppressive plants on *Meloidogyne javanica* infection indices, including reproduction factor (Rf), number of eggs, number of galls, and number of egg masses per gram of tomato root across three successive greenhouse cropping cycles. Lic: Licorice, Fli: Flixweed, MiT: Milk thistle, CrT: Creeping thistle, NLP: Narrow-leaf plantain, Aru: Arugula, CaB: Caper bush, Chi: Chinaberry.

در هر سه نوبت کشت به‌طور مداوم در ناحیه منفی محور اول قرار گرفته و تیمار شاهد و عصاره‌های شیرین‌بیان، خاکشیر و کاردی در سمت مثبت محور اول قرار گرفتند.

بحث

مؤثرترین روش کاربرد و میزان مصرف گیاهان بازدارنده

نتایج این آزمایش نشان داد که روش کاربرد گیاه بازدارنده نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان مهار نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* و بهبود

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) صفات رشدی و شاخص‌های آلودگی نماتد

تحلیل PCA نشان داد که دو مؤلفه اول در سه نوبت متوالی کشت، به‌ترتیب ۷۸، ۸۱ و ۸۰ درصد از تغییرات کل داده‌ها را تشکیل دادند. در تمامی کشت‌ها، مؤلفه اول (PC1) بیشترین همبستگی مثبت را با شاخص‌های تولیدمثل نماتد داشت و با صفات رشدی شاخساره همبستگی منفی نشان داد. مؤلفه دوم (PC2) در کشت اول و دوم بیش‌تر با صفات وزن تر ریشه و در کشت سوم با وزن تر شاخساره گیاه همبستگی داشت. تیمارهای خارلته، زیتون‌تلخ و کبر

شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به آن را دارد. در میان تیمارهای مختلف، پودر خشک خارلته، به‌ویژه در غلظت ۲ درصد بالاترین اثر مهارکنندگی را بر جمعیت نماتد و بهبود شاخص‌های رشدی گیاه داشت.

در این آزمایش، پودر خشک به صورت ساندویچی در لایه میانی خاک گلدان که محل بیش‌ترین توسعه ریشه و جمعیت نماتد است قرار شد. مایه‌زنی نماتد در این ناحیه، احتمال تماس مستقیم و مداوم میان نماتد و ترکیبات فعال گیاه را افزایش داد. احتمالاً این عمل همراه با آزاد شدن تدریجی مواد مؤثر خارلته از عوامل کلیدی افزایش کارایی تیمارهای پودر خشک است. در مطالعه مشابه، کاربرد پودر خشک خارلته در خاک سطحی، منجر به کاهش ۷۰/۳ درصدی فاکتور تولیدمثل شد (Zandieh Shirazi & Karegar, 2019). اما در این مطالعه این کاهش به ۸۸/۶ درصد رسید. تفاوت در روش کاربرد، کیفیت پودر استفاده شده، توان بیماری‌زایی جمعیت نماتد ریشه‌گرهی، شرایط گلخانه و رقم میزبان ممکن است علت این اختلاف باشد.

در تیمارهای حاوی عصاره نیز این تأثیر مشاهده شد، اما اثر آن نسبت به پودر خشک کم‌تر بود. ناپایداری ترکیبات فعال در خاک و تجزیه سریع آن‌ها توسط ریزموجودات می‌تواند دلیل این کاهش باشد. در پژوهشی استفاده از عصاره‌های گیاهی برگ درختان ^۱Bead-bean و ^۲Toad-tree، پیش از مایه‌زنی نماتد یا هم‌زمان با آن، به طور مؤثری جمعیت نماتدها را کاهش داده و رشد گیاه را بهبود بخشیده است. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که زمان مناسب اعمال تیمار عصاره‌های گیاهی نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش اثربخشی آن‌ها علیه جمعیت نماتدها را دارد (Mnyambo et al., 2024). استفاده از عصاره‌ها در مراحل حساس دوره رشد محصول، به‌ویژه در دوره‌های حساس مانند رشد اولیه گیاه میزبان یا اوج فعالیت نماتد، امکان محافظت مؤثر از ریشه‌ها را فراهم می‌کند (Abd-Elgawad, 2021). شناخت دقیق مراحل زندگی گونه‌های نماتد هدف نیز حیاتی است. به طور مثال، اعمال

عصاره‌ها در زمان خروج تخم یا نفوذ اولیه نماتد می‌تواند توسعه جمعیت نماتد را محدود کرده و آسیب‌های بعدی به محصول را کاهش دهد (Orage, 2023).

تأثیر متفاوت روش کاربرد و میزان مصرف گیاهان بازدارنده در صفات رشدی و شاخص‌های آلودگی نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* با تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نیز تایید شد، به‌طوری که تیمارهای حاوی پودر خشک ۲ درصد خارلته، همبستگی قوی با پارامترهای رشد گیاه و همبستگی ضعیف با شاخص‌های تولیدمثل نماتد داشتند و با فاصله زیادی از تیمار شاهد قرار گرفتند. در مقابل، تیمارهایی که تنها شامل محلول‌پاشی عصاره‌ها دو تا سه نوبت قبل یا بعد از آلودگی بودند، همبستگی ضعیفی با پارامترهای رشدی گیاه و همبستگی قوی با شاخص‌های تولیدمثل نماتد نشان دادند. محلول‌پاشی علاوه بر عدم بهبود رشد گیاه، اثر بازدارندگی ضعیف تا متوسطی نیز بر نماتد ریشه‌گرهی داشتند. این نشان می‌دهد که محلول‌پاشی به‌تنهایی برای مهار مؤثر نماتد کافی نیست.

اثر عصاره‌های آبی گیاهان بازدارنده بر تولیدمثل نماتد در سه کشت

متوالی

در این آزمایش، علی‌رغم تأثیر بیشتر پودر خشک در کاهش جمعیت و خسارت *M. javanica* از عصاره استفاده گردید. علت این امر احتمال تأثیر پودر خشک بر جمعیت میکروبی خاک و اثر آن‌ها بر فعالیت نماتد بوده است. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد عصاره‌های آبی هشت گیاه بازدارنده در سه کشت متوالی گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای، موجب کاهش معنی‌دار شاخص‌های نماتد، به‌ویژه فاکتور تولیدمثل (Rf) نماتد ریشه‌گرهی و بهبود صفات رشدی گیاه میزبان شد. با وجود تفاوت شدت پاسخ در کشت‌های

². *Tabernaemontana elegans*

¹. *Maerua angolensis*

مختلف، الگوی کلی نتایج بیانگر پایداری و در برخی تیمارها تقویت اثر بازدارندگی در طول زمان است.

در میان گیاهان مورد بررسی، عصاره‌های خارلته و زیتون تلخ در سه کشت متوالی، بیشترین اثربخشی را در کاهش تولیدمثل نماتد و بهبود رشد رویشی گیاه گوجه‌فرنگی نشان دادند. عصاره خارلته با افزایش تدریجی درصد کاهش فاکتور تولیدمثل نماتد از ۷۰/۳ درصد در کشت اول به ۸۳/۰ درصد در کشت سوم، به عنوان مؤثرترین تیمار این پژوهش شناخته شد. کاهش معنی‌دار فاکتور تولیدمثل *M. javanica* را در اثر کاربرد یک‌باره عصاره آبی خارلته ۴۴/۶ درصد قبلاً گزارش شده است (Zandieh Shirazi & Karegar, 2019). تفاوت در میزان اثر مشاهده شده در کشت اول، می‌تواند به عوامل متعددی از جمله فصل کاربرد و دمای هوا، روش عصاره‌گیری، مرحله رشد گیاه در هنگام جمع‌آوری و نحوه خشک کردن گیاه مربوط باشد، اما با تکرار استفاده طی سه کشت متوالی اثر تجمعی بعد از کشت سوم حدود ۱۳ درصد افزایش یافته است.

عصاره زیتون تلخ نیز در هر سه کشت متوالی، اثر مهارکنندگی معنی‌داری بر جمعیت نماتد نشان داد که با یافته‌های پیشین مبنی بر وجود ترکیبات نماتدکش قوی در عصاره و پودر بخش‌های مختلف این گیاه، و مرگ‌ومیر بالای لاروهای مرحله دوم نماتدهای ریشه‌گرهی، ناشی از آن‌ها هم‌راستا است. تداوم اثر این عصاره در کشت‌های متوالی نشان می‌دهد که ترکیبات فعال آن نه‌تنها موجب کاهش اولیه جمعیت نماتد می‌شوند، بلکه توان اختلال در مراحل مختلف چرخه زیستی نماتد از تشکیل گال تا تولید تخم را نیز دارند. بر خلاف خارلته و زیتون تلخ، عصاره‌های کاهوک، کاردی و منداب با کاهش ۲۰، ۸/۸ و ۹/۶ درصدی فاکتور تولیدمثل در کشت اول اثر مهارکنندگی ضعیف‌تری نشان دادند ولی در کشت‌های بعدی تأثیر آن‌ها افزایش یافت و در نوبت سوم کشت، فاکتور تولیدمثل نماتد را به ترتیب، ۷۲/۲، ۵۷/۷ و ۳۶/۸ درصد کاهش دادند. این الگو بیانگر اثر تجمعی و تدریجی عصاره‌ها بر

جمعیت نماتد است. پدیده‌ای که پیش‌تر نیز در مطالعات مربوط به روش‌های غیرشیمیایی مهار نماتد گزارش شده است. نتایج یک پژوهش نشان داده است که کاهش عمده در جمعیت برخی گونه‌های نماتد تنها در فصل سوم آشکار شد، که مؤید نیاز به زمان و تکرار برای اثرگذاری کامل روش‌های غیرشیمیایی است (McSorley & Gallaher, 1996). نتایج مشابهی در استفاده از کشت‌های پوششی بازدارنده مانند سودان‌گراس نیز گزارش شده است که بر اهمیت کاربرد پیایه عوامل زیستی در مهار مؤثر نماتدهای ریشه‌گرهی تأکید دارند (Viaeene & Abawi, 1998).

نتایج این پژوهش نشان داد که عصاره‌های گیاهی علاوه بر تأثیر بر نفوذ اولیه نماتد و تشکیل گال، با تأخیر در تشکیل کیسه‌های تخم *M. javanica* باعث طولانی‌تر شدن چرخه زندگی آن شدند. این موضوع به‌ویژه در کشت اول مشهود بود، جایی که علی‌رغم عدم تفاوت معنی‌دار در تعداد گال، کاهش معنی‌دار تعداد توده‌های تخم در اغلب تیمارها مشاهده شد که این نشان‌دهنده طولانی‌تر شدن چرخه زندگی نماتد است.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) در هر سه نوبت کشت، این الگوهای زیستی را به‌خوبی تأیید کرد. در تمامی کشت‌ها، مؤلفه اول با شاخص‌های تولیدمثل و شدت آلودگی نماتد همبستگی مثبت و با صفات رشدی شاخساره همبستگی منفی داشت و به عنوان محور شدت آلودگی نماتد تفسیر شد. قرارگیری پایدار تیمارهای خارلته، زیتون تلخ و کبر در ناحیه منفی این محور طی سه کشت متوالی، بیانگر پایداری اثر بازدارندگی و کاهش مستمر فعالیت نماتد است. در مقابل، تیمار شاهد و عصاره‌هایی با کارایی کمتر (خاکشیر طبی و شیرین‌بیان)، به‌طور مداوم در ناحیه مثبت این محور قرار گرفتند که نشان‌دهنده تداوم آلودگی بالا و رشد ضعیف‌تر گیاه میزبان است.

مشاهده علائم گیاه‌سوزی در تیمار کبر نشان می‌دهد که غلظت یا نوع ترکیبات فعال این عصاره می‌تواند در کنار اثر نماتدکشی، آثار منفی غیرهدفمند بر گیاه داشته باشد. موضوعی که در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است

(Shakeri et al., 2013). این نتایج بیانگر ضرورت توجه به غلظت بهینه عصاره کبر در کاربردهای عملی است.

کاهش محسوس فاکتور تولیدمثل نماتد از کشت اول به دوم و سپس تثبیت نسبی این کاهش در کشت سوم، می‌تواند نشان‌دهنده بروز نوعی سازگاری نسبی جمعیت نماتد در مواجهه مداوم با ترکیبات بازدارنده گیاهی باشد. مطالعات انجام‌شده بر نماتد مدل *Caenorhabditis elegans* نشان داده است که گرسنگی لاروهای نسل اول باعث تغییرات پایدار در چرخه زندگی، باروری و مقاومت نسل‌های F1 و F2 نسبت به تنش شده است (Jobson et al., 2015; Rechavi et al., 2014). سازوکارهای اپی‌ژنتیکی یا تغییرات در بیان ژن‌های مرتبط با بقاء در شرایط تنش، از جمله فرضیات مطرح‌شده برای توجیه این پدیده‌ها هستند (Rechavi et al., 2014). در نتیجه، نتایج حاضر از منظر زیست‌شناسی تکاملی نیز قابل تفسیر است، به‌ویژه از این نظر که تنش شیمیایی ناشی از متابولیت‌های ثانویه گیاهان ممکن است باعث بروز تغییرات فنوتیپی یا حتی اپی‌ژنتیکی در نماتدها شود که منجر به نوعی مقاومت یا تعدیل در پاسخ نسل‌های بعدی گردد. با توجه به شواهد مرتبط با احتمال بروز سازگاری یا مقاومت تدریجی در جمعیت‌های نماتد در برابر ترکیبات گیاهی، ضرورت بهره‌گیری از راهبردهای مدیریتی متنوع از جمله تناوب و ترکیب چندین عامل بازدارنده، به منظور پیشگیری از کاهش اثربخشی در طول زمان، بیش از پیش احساس می‌شود. بر همین اساس، طراحی آزمایش‌های تکمیلی برای بررسی این رویکردها ضروری است.

این پژوهش نشان داد که شاخص فاکتور تولیدمثل (Rf) به‌تنهایی قادر به نمایش کامل وضعیت آلودگی نیست. در برخی تیمارهای کشت اول، علی‌رغم عدم تفاوت معنی‌دار (Rf) با شاهد، کاهش تعداد نماتد در گرم ریشه و بهبود وزن ریشه مشاهده شد که نشان‌دهنده سلامت بیشتر سیستم ریشه است. بنابراین در تفسیر نتایج تیمارها در مهار نماتد باید شاخص‌های وزن ریشه و تراکم نماتد در گرم ریشه نیز لحاظ شود.

تفاوت میانگین دمای محیط در طول سه کشت پی‌درپی می‌تواند بروز اختلاف در میزان تولیدمثل *M. javanica* مؤثر باشد. در نوبت اول کشت، دماهای بالاتر روزانه (میانگین ۲۶/۲ درجه سلسیوس) تقریباً در محدوده بهینه رشد و تکثیر نماتد قرار داشت و جمعیت نماتد در شاهد و تیمارهای عصاره گیاهی بالا بود. در نوبت دوم کشت، کاهش دما (میانگین ۲۲/۷ درجه سلسیوس) موجب کند شدن چرخه زندگی نماتد و کاهش توان تولیدمثلی شد، بنابراین اثر بازدارندگی عصاره‌ها آشکارتر شد. در نوبت سوم کشت، افزایش دمای روزانه و شبانه (میانگین ۲۷/۸ و ۱۸/۵) شرایط مساعد برای فعالیت نماتد را فراهم کرد، ولی به دلیل اثر تجمعی عصاره‌های گیاهی در دو کشت قبلی، سطح آلودگی در تیمارها کمتر از کشت اول و دوم باقی ماند. نتایج نشان می‌دهد که اثر گیاهان بازدارنده در کاهش جمعیت نماتد، تحت تأثیر تغییرات دمای محیط و تجمع اثرات دوره‌های قبلی کشت است.

نتیجه‌گیری

روش کاربرد و میزان مصرف گیاهان بازدارنده نقش مهمی در مهار *Meloidogyne javanica* دارند. نتایج نشان داد که پودر خشک خارلته در غلظت ۲ درصد بیشترین اثر بازدارندگی را داشت و برخی عصاره‌های آبی، به‌ویژه خارلته، زیتون تلخ، کاهوک و کاردی در سه نوبت کشت متوالی اثر تجمعی قابل توجهی در کاهش فاکتور تولیدمثل و بهبود رشد گیاه نشان دادند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که کاربرد عصاره‌های گیاهی در چندین نوبت متوالی، همراه با انتخاب روش مناسب کاربرد، راهبرد مؤثری برای مدیریت پایدار نماتد در شرایط گلخانه‌ای است و می‌تواند به کاهش اثرات مخرب نماتدها بر گیاهان کمک کند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

References

- Abd-Elgawad, M. M. (2021). Optimizing safe approaches to manage plant-parasitic nematodes. *Plants*, 10(9), 1911. [Link]
- Abivardi, F. (1969). Iranian anthelmintic plants and their active integrates, as a possible source for control of plant parasitic nematodes. Proceedings of the Second Plant Medicine Congress of Iran, Tehran, Iran.
- Akhiani, A., Mojtahedi, H., & Naderi, A. (1984). Species and physiological races of root-knot nematodes in Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 20, 57-71.
- Babaali, D., Roeb, J., Hammache, M., & Hallmann, J. (2017). Nematicidal potential of aqueous and ethanol extracts gained from *Datura stramonium*, *D. innoxia* and *D. tatula* on *Meloidogyne incognita*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 124, 339-348. [Link]
- Byrd, J. D. W., Kirkpatrick, T., & Barker, K. (1983). An improved technique for clearing and staining plant tissues for detection of nematodes. *Journal of Nematology*, 15, 142-143. [Link]
- Chitwood, D. J. (2002). Phytochemical based strategies for nematode control. *Annual Review of Phytopathology*, 40, 221-249. [Link]
- Collange, B., Navarrete, M., Peyre, G., Mateille, T., & Tchamitchian, M. (2011). Root-knot nematode (*Meloidogyne*) management in vegetable crop production: The challenge of an agronomic system analysis. *Crop Protection*, 30, 1251-1262. [Link]
- Forghani, F., & Hajihassani, A. (2020). Recent advances in the development of environmentally benign treatments to control root-knot nematodes. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1125. [Link]
- Hassan, M. A., Chindo, P. S., Marley, P. S., & Alegbejom, M. D. (2010). Management of root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on tomato (*Lycopersicon lycopersicum*) using organic wastes in Zaria, Nigeria. *Plant Protection Science*, 46(1), 34-38. [Link]
- Hussey, R. S., & Barker, K. R. (1973). Comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter*, 57, 1025-1028. [Link]
- Jobson, M. A., Jordan, J. M., Sandrof, M. A., Hibshman, J. D., Lennox, A. L., & Baugh, L. R. (2015). Transgenerational effects of early life starvation on growth, reproduction and stress resistance in *C. elegans*. *Genetics*, 201(1), 201-212. [Link]
- Linford, M. B., Yap, F., & Oliveira, J. M. (1938). Reduction of soil population of root-knot nematode during decomposition of organic matter. *Soil Science*, 45, 127-141. [Link]
- McSorley, R., & Gallaher, R. N. (1996). Effect of yard waste compost on nematode densities and maize yield. *Journal of Nematology*, 28(4S), 655-660. [Link]
- Mnyambo, N. M., Rantho, L. P., Dube, Z. P., & Timana, M. (2024). Timing of Plant Extracts Application in the Management of *Meloidogyne incognita* on Tomato Plants. *International Journal of Plant Biology*, 15(4), 1108-1117. [Link]
- Ntalli, N., Adamski, Z., Doula, M., & Monokrousos, N. (2020). Nematicidal amendments and soil remediation. *Plants*, 9(4), 429. [Link]
- Ntalli, N., Monokrousos, N., Rumbos, C., Kontea, D., Zioga, D., Argyropoulou, M. D., Menkissoglu-Spiroudi, U., & Tsiropoulos, N. G. (2018). Greenhouse biofumigation with *Melia azedarach* controls *Meloidogyne* spp. And enhances soil biological activity. *Journal of Pest Science*, 91, 29-40. [Link]
- Oostenbrink, M. (1966). Major characteristics of the relation between nematodes and plants. In *Helminthological Abstracts, Series B, Plant Nematology* (Vol. 35, pp. 1-46). Commonwealth Agricultural Bureaux. [Link]
- Orage, C. (2023). Effects of Climatic Variability on Nematode Diversity Richness, Distribution, and Use of Resistant Potato Varieties for Management of Potato Cyst Nematode (*Globodera Rostochiensis*) in Nyandarua, in Kenya University of Nairobi. [Link]
- Pérez, M. P., Navas-Cortés, J. A., Pascual-Villalobos, M. J., & Castillo, P. (2003). Nematicidal activity of essential oils and organic amendments from Asteraceae against root-knot nematodes. *Plant Pathology*, 52, 395-401. [Link]
- Rani, K., Devi, N., Banakar, P., Kharb, P., & Kaushik, P. (2022). Nematicidal potential of green silver nanoparticles synthesized using aqueous root extract of *Glycyrrhiza glabra*. *Nanomaterials*, 12 (17), 2966. [Link]
- Rechavi, O., Hour-Ze'evi, L., Anava, S., Goh, W. S., Kerk, S. Y., Hannon, G. J., & Hobert, O. (2014). Starvation-induced transgenerational inheritance of small RNAs in *C. elegans*. *Cell*, 158(2), 277-287. [Link]
- Shakeri, M., Sodaizadeh, H., & Hakimi, M. H. (2013). Allelopathic and nematocidal effects of *Capparis spinosa* aqueous extract on growth parameters of cucumber and tomato. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(2), 97-111. [Link]
- Subedi, S., Thapa, B., & Shrestha, J. (2020). Root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) and its management: a review. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 3(2), 21-31. [Link]
- Unver, T., & Gurhan, I. (2024). Chemical composition and antimicrobial activity of an apolar extract from *Lactuca serriola* L. leaves. *Biochemical Systematics and Ecology*, 114, 104832. [Link]
- Viaene, N. M., & Abawi, G. S. (1998). Management of *Meloidogyne hapla* on lettuce in organic soil with sudangrass as a cover crop. *Plant Disease*, 82, 945-952. [Link]
- Whitehead, A. G., & Hemming, J. R. (1965). A comparison of some quantitative methods of extracting small vermiform nematodes from soil. *Annals of Applied Biology*, 55(1), 25-38. [Link]
- Wiratno, Taniwiryono, D., Van den Berg, H., Riksen, J. A. G., Rietjens, I. M. C. M., Djiwanti, S. R., Kammenga, J. E., & Murk, A. J. (2009). Nematicidal activity of plant extracts against the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *The Open Natural Products Journal*, 2, 77-85. [Link]

- Zaidat, S. A. E., Mouhouche, F., Babaali, D., Abdessemed, N., De Cara, M., & Hammache, M. (2020). Nematicidal activity of aqueous and organic extracts of local plants against *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood in Algeria under laboratory and greenhouse conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(46), 1-8. [[Link](#)]
- Zandieh Shirazi, L., & Karegar, A. (2019). Effect of aqueous extracts and dry powder of some plants on the root knot nematodes *Meloidogyne incognita* and *M. javanica* under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 55(2), 129-148. [[Link](#)]