Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)

47(2), Summer, 2024

10.22055/ppr.2024.46812.1742

Effect of different sulfur concentrations and its application method in the control of root-knot nematode in four pistachio cultivars

H. Farzipour [1], A. Zeynadini Riseh [2*], S.R. Sahhafi [3], H. R. Karimi [4]

1. M.Sc. of Plant Pathology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
2. ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran (zeynadini@vru.ac.ir)
3. Associate Professor, Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
4. Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

Received: 4 May 2024 Revised: 10 July 2024 Accepted: 14 July 2024

Abstract

Background and Objective

Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) are serious pathogens in pistachio orchards and nurseries. Unfortunately, in most orchards, regular monitoring and correct use of integrated nematode management methods are not done. Nematode damage, along with the salinity and alkalinity of the soil in most pistachio orchards and unprincipled fertilization, has caused a significant decrease in pistachio production per hectare. Chemical nematicides for control lead to environmental pollution and seriously threaten human health. Therefore, finding low-risk methods to manage root-knot nematodes is a priority. Soil and bio solarization, soil amendments using organic fertilizers such as cow, poultry manure, and agricultural fermentation waste have shown convincing results. Following the observation of different levels of nematode control using mineral and chemical fertilizers, the present study was designed. So, the effect of different sulfur concentrations and application time on the control of root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, and its effect on growth factors of pistachio plants were surveyed.

Materials and Methods

The experimental treatments were different sulfur concentrations (zero, 50, 100, and 150 mg/kg of soil) and two application methods of sulfur (first time, simultaneous planting of pistachio seedlings with sulfur and nematode treatments and second time, planting of pistachio seedlings after 45 days of sulfur application and nematode inoculation) in four pistachio cultivars (Akbari, Qazvini, Badami Reez Zarand and Sefid Pistachio Nogh). The pure population of root-knot nematode was propagated on *Solanum lycopersicum* L. cv. Mobil. The number of two second-stage juveniles was considered for inoculating each gram of soil. The pathogenicity indexes of nematode, including the number of second-stage juveniles per 300 grams of soil, the number of galls, and egg masses per gram of root, were calculated after two months of planting. Growth factors, including green leaf weight, fresh and dry weight of root and stem, root volume, stem and root length, stem diameter, and SPAD index, were also measured in all experimental treatments. The experiment was carried out in a factorial, completely randomized design with 12 replicates. SAS software version 9 was used for data analysis. Means were compared using Duncan's test.

Results
A low population of second-stage juveniles was observed in all cultivars at 50 mg/kg sulfur concentration. A significant decrease in gall and egg mass indexes was observed at the second time compared to the first sulfur application. Except for the Akbari cultivar, the nematode reproduction factor showed a significant reduction at 50 mg/kg. In the absence of nematodes in the Akbari cultivar, the concentration of 150 mg/kg of sulfur increased the stem fresh weight by 40% compared to the control. Regardless of the concentration, the first time showed better results on the SPAD in three Akbari, Qazvini, and Badami cultivars. In the presence of nematode and the second time, the concentration of 50 mg/kg of sulfur for the Qazvini cultivar caused a 68% increase in the stem fresh weight, 32% in the stem length, and 22% in the stem diameter and the same conditions, for Qazvini and Sefid Pistachio Nogh, had the greatest effect on the leaf weight. The concentration of 50 mg/kg of sulfur and the second time for Qazvini and Sefid pistachio Nogh cultivars had the highest effect on the green leaf weight compared to the control in the presence of nematodes.
Discussion
In this research, apart from the Akbari cultivar, the largest decrease was observed in the soil covered with plastic in three other cultivars. According to the results of this research, using a concentration of 50 mg/kg of sulfur, covering the soil surface, and planting pistachio seeds after 45 days can significantly reduce the root-knot nematode population. This finding can be used in pistachio nurseries. For further studies, it is suggested to use sulfur fertilizers and their mixture with biological agents compatible with salty and alkaline soils of pistachio planting areas to reduce the population of root-knot nematodes.

Keywords: Nutrition management, Seedling, Elements, Pathogenicity

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

Citation: Farzipour, H., Zeynadini Riseh, A., Sahhafi, S. R. & Karimi, H. R. (2024). Effect of Different Sulfur Concentrations and its Application Method in the Control of Root-knot Nematode in Four Pistachio Cultivars. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *47*(2), 1-19. https://doi.org/ 10.22055/ppr.2024.46812.1742.

گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ٤٧، شماره ٢، تابستان ١٤٠٣

10.22055/ppr.2024.46812.1742

تاثیر غلظت‌های مختلف گوگرد و روش کاربرد آن در کنترل نماتد ریشه گرهی در چهار رقم پسته

حسین فرضی‌پور [۱]، اعظم زین الدینی ریسه [۲*]، سید رسول صحافی [۳]، حمیدرضا کریمی [۴]

۱- کارشناسی ارشد بیماری‌شناسی گیاهی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصرعج رفسنجان، رفسنجان، ایران
۲- *نویسنده مسوول: استادیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصرعج رفسنجان، رفسنجان، ایران (zeynadini@vru.ac.ir)
۳-دانشیار، گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصرعج رفسنجان، رفسنجان، ایران
۴-استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصرعج رفسنجان، رفسنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

چکیده

پژوهش حاضر جهت بررسی اثر گوگرد بر نماتد ریشه‌گرهی در نهالستان‌های پسته به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش، غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم گوگرد بر کیلوگرم خاک و دو روش مصرف گوگرد (به ترتیب کاشت هم‌زمان نهال پسته با اعمال تیمارهای گوگرد و نماتد، کاشت نهال پسته ٤٥ روز پس از مصرف گوگرد و مایه‌زنی نماتد) در چهار رقم پسته (اکبری، قزوینی، بادامی ریز زرند و سفید پسته نوق) بودند. بعد از گذشت دو ماه از کاشت گیاهان فاکتورهای بیماریزایی و رویشی اندازه‌گیری شدند. در همه ارقام، غلظت ۵۰ میلی‌گرم گوگرد جمعیت لاروی کمی نشان داد. در روش دوم، کاهش قابل توجهی در شاخص‌های گال و کیسه تخم نماتد در مقایسه با روش اول مشاهده شد. فاکتور تولیدمثلی نماتد در همه ارقام به جز رقم اکبری، در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در مقایسه با شاهد، به میزان قابل توجهی کاهش یافت. صرف‌نظر از غلظت در سه رقم اکبری، قزوینی و بادامی، روش اول نتایج بهتری را بر مقدار سبزینگی نشان داد. روش دوم مصرف گوگرد و غلظت ۵۰ میلی‌گرم گوگرد برای رقم قزوینی، سبب افزایش ٦٨ درصدی وزن تر ساقه،۳۲ درصدی طول ساقه و ۲۲ درصدی قطر ساقه گردید و همین شرایط برای ارقام قزوینی و سفید پسته نوق بیشترین تأثیر را بر صفت وزن تر برگ داشت. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، استفاده از گوگرد با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و کاشت نهال پسته ٤٥ روز پس از مصرف گوگرد، جهت کاهش خسارت نماتدهای ریشه‌گرهی پیشنهاد می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت تغذیه، نهال، عناصر، بیماریزایی

دبیر تخصصی: دکتر صدیقه عظیمی

مقدمه

یکی از جنس‌های مهم خانواده‌ی Anacardiaceae جنس *pistacia* می‌باشد و *P. vera* تنها گونه‌ای است که به صورت تجاری کشت می‌شود (Hormaza et al., 1994). با ارزش‌ترین کیفیت و بیشترین تنوع ژنتیکی پسته در جهان از ایران نشات می‌گیرد (Harandi & Ghaffari, 2001). پسته ایران با میزان تولید ۲۴۱ هزار تن و رتبه دوم در دنیا، ارزش بالایی داشته و بیش از ۶۰ درصد از درآمدهای غیرنفتی کشور را به خود اختصاص داده است (Akhavan & Goncalves, 2021; FAO, 2022). نماتدهای انگل گیاهی به دلیل تاثیر گسترده بر رشد سامانه ریشه، توقف رشد گیاه به دلیل کاهش جذب مواد مغذی از خاک و مستعد شدن ریشه‌ها به تهاجم بیمارگرهای ثانویه سبب خسارت قابل توجهی می‌گردند (Dutta et al., 2019). گونه های نماتد ریشه‌گرهی متعلق به جنس *Meloidogyne* ، از جمله بیمارگرهای جدی این گیاه در باغ‌ها و نهالستان‌ها هستند (Fatemy, 2009). کنترل نماتدهای ریشه‌گرهی به دلیل توانایی تولیدمثل بالا، دامنه میزبانی وسیع و پراکندگی جغرافیایی گسترده آنها و از طرف دیگر عدم شناخت و آگاهی باغداران از اهمیت آنها بسیار سخت می‌باشد. روش‌های مدیریتی مختلفی از جمله، تناوب زراعی، کود سبز، کشت مخلوط، کشت ارقام مقاوم و متحمل، عوامل کنترل زیستی، کاربرد عصارهای گیاهی مانند اکالیپتوس، چریش و گل جعفری و نماتدکش‌های شیمیایی، برای نماتد ریشه‌گرهی استفاده می‌شوند (Subedi et al., 2020). نبود نظارت مستمر و شناسایی مناطق آلوده به نماتد و ضعف استفاده از روش های مدیریت تلفیقی آفات و بیماری، در کنار کمیت و کیفیت پایین آب آبیاری، شوری و قلیایی بودن خاک در اکثر باغ‌های پسته و تغذیه و کوددهی غیر اصولی اثرات قابل توجهی بر تولید این محصول در واحد سطح داشته است (Hosseinifard & Mirzaei Aminiyan, 2015). یکی از جنبه‌های مهم مدیریتی در مناطق پسته‌کاری کشور مدیریت تغذیه و کوددهی باغ‌ها می‌باشد که متاسفانه شاهد مدیریت ضعیف خاک و تغذیه گیاه، در کنار استفاده غیراصولی از سموم شیمیایی جهت کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی هستیم. نتایج مطالعات قبلی هم نشان‌دهنده این مطلب است که یکی از راهبردهای مدیریتی نماتد ریشه‌گرهی می‌تواند استفاده متوازن از عناصر غذایی باشد، به طوریکه استفاده غیراصولی از کودها می‌تواند با تحریک رشد ریشه منجر به افزایش جمعیت نماتد نشود لذا هنگام ارائه توصیه‌های کودی برای باغ‌های آلوده به نماتد، مدیریت باید ابتدا بر کاهش تراکم جمعیت نماتدها تمرکز یابد (Hauser, 2000; Hurchanik et al., 2004; Silva et al., 2020). اصلاح خاک با ترکیبات آلی و معدنی به عنوان بخشی از فرایند مدیریت تلفیقی این دسته از عوامل خسارتزای گیاهی گزارش شده است (Etim et al., 2023). تغییر مقادیر نسبی عناصر معدنی، با تأثیر مستقیم بر فیزیولوژی نماتد یا غیر مستقیم بر روی گیاهان میزبان، به دلیل آزادسازی یا سنتز متابولیت‌های دفاعی، بر نماتد اثر بازدارندگی داشته و یکی از جنبه‌های حاصلخیزی و کیفیت خاک است که دلیل خوبی برای ارتباط بین تحمل یا مقاومت گیاه میزبان به نماتد با تغذیه گیاه را نشان می‌دهد (Potter & McKeown, 2003). گوگرد یکی از عناصر غذایی مهم خاک است و نقش مهمی در چرخه غذایی زیست‌بوم‌هایی مانند مراتع ایفا می‌کند. مطالعات قبلی نشان داده است که افزودن گوگرد تأثیر معنی‌داری بر غنی‌سازی عناصر غذایی خاک ندارد، اما به‌طور معنی‌داری تغییرات در ساختار شبکه غذایی خاک را افزایش می‌دهد (Wei et al., 2017). در پژوهشی که در یکی از مراتع ناحیه شمالی چین انجام شد اثر معنی‌داری از اضافه شدن گوگرد بر تنوع زیستی و غنای نماتدهای خاکزی مشاهده گردید به طوری که جمعیت شکارگرهای همه چیز خوار بیشتر از سایر گروه‌های نماتدی تحت تأثیر قرار گرفتند (Zhang et al., 2021). نقش گوگرد علاوه بر جمعیتهای زیستی خاک که در بالا اشاره شد در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اهمیت دارد به طوری که در اکثر خاکهای قلیایی باغات با کاهش اسیدیته ناحیه ریشه که منعکس‌کننده آزادسازی برخی عناصر ماکرو و میکرو در منطقه ریشه است، سبب افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک و بالا رفتن فعالیت جذب و توسعه‌ی ریشه سالم می‌شود. همچنین درنتیجه کوددهی با این عنصر کاهش ظهور

و شدت بیماریهای قارچی در گیاهان مختلف دیده شده است که این موضوع به دلیل افزایش مقاومت میزبان به دنبال افزایش تولید برخی متابولیت‌های گیاهی از جمله سیستئین، گلوتاتیون و گلوکوزینولات‌ها اتفاق افتاده است (Salac et al., 2005). گیاهان گوگرد را به صورت سولفات (SO_4^{2-}) از خاک جذب می‌کنند که در نهایت به سیستئین، سنتز می‌گردد. یکی از مهم‌ترین پپتیدهای حاوی سیستئین، گلوتاتیون است که نقش کلیدی در دفاع از گیاهان دارد (Zechmann et al., 2008). کاربرد ۲۵ میلی‌گرم سولفات کلسیم و گل گوگرد بر کیلوگرم خاک توانست سبب کاهش قابل توجه (بالای ۵۰ درصد) تعداد تخم در گرم ریشه و فاکتور تولید مثل نماتد ریشه‌گرهی در گیاه خیار شود (Rumiani et al., 2019). امروزه استفاده از نانوذرات گوگرد به دلیل غیر سمی بودن و فراوانی آن (محصول جانبی صنعت نفت)، در کنترل بیماری‌های گیاهی افزایش یافته است به طوریکه در پژوهشی مجموعه‌ای از نانوذرات گوگرد و مس به همراه کیتوزان توانستند در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اثر بازدارندگی ۱۰۰ درصد بر نماتد ریشه گرهی *M. incognita* در گیاه قهوه نشان دهند (Nguyen et al., 2024).

با توجه به مشاهده سطوح مختلف کنترل نماتد به دنبال مصرف کودهای آلی و معدنی و همچنین قلیایی بودن اکثر خاک‌های مناطق پسته‌کاری مطالعه حاضر جهت بررسی عکس‌العمل چهار رقم مرسوم پسته شامل اکبری، قزوینی، بادامی ریز زرند و سفید پسته نوق به کاربرد غلظت‌های مختلف گوگرد (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) جهت کنترل نماتد ریشه‌گرهی، *M. javanica* اجرا گردید. نتایج حاصل می‌تواند جهت تأثیرگذاری غلظت بهینه گوگرد و روش مصرف آن برای مدیریت نماتد ریشه‌گرهی و از طرف دیگر شناسایی پایه یا پایه‌های متحمل‌تر پسته در برابر خسارت نماتد ریشه‌گرهی استفاده گردد.

مواد و روش‌ها

تهیه زادمایه نماتد و تعیین تراکم

زادمایه نماتد از گوجه‌فرنگی‌های رقم موبیل که ۴۵ روز قبل به وسیله تک کیسه تخم نماتد *M. javanica* آلوده شده بودند، تهیه گردید به این منظور ریشه‌ها به قطعات دو تا سه سانتی‌متری تقسیم و در یک خردکن ریخته شدند و مقدار ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول هیپوکلریت سدیم نیم درصد به آن‌ها اضافه گردید و به مدت ۴۰ ثانیه خرد شدند تا تخم‌ها از ماده ژلاتینی رها شوند. جهت جداسازی تخم‌ها، سوسپانسیون حاصل به سرعت روی الک ۳۰۰ مش که بر روی الک ۵۰۰ مش قرار داشت ریخته و با آب شستشو داده شدند تا محلول هیپوکلریت سدیم به طور کامل از بین برود (Hussey & Barker, 1973). برای تهیه جمعیت لاروی مورد نیاز برای یک هفته هر ۲۴ ساعت یک بار، لاروهای تفریخ شده جمع‌آوری شدند. جهت تعیین تراکم جمعیت لارو سن دوم، یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون حاصل درون یک ظرف پتری مدرج با استفاده از بینوکولار بررسی گردید. شمارش سه مرتبه تکرار و بر اساس میانگین حاصل، تعداد لارو در کل سوسپانسیون محاسبه شد.

آماده‌سازی دانهال‌های چهار رقم پسته

این مرحله از پژوهش در بهمن ماه با تهیه بذرهای پسته ارقام اکبری، قزوینی، بادامی ریز زرند و سفید پسته نوق از پژوهشکده پسته در شهرستان رفسنجان انجام شد. بذرهای پسته پس از جداسازی پوسته سخت رویی به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند و طی این مدت هر دو ساعت یک‌بار آب آن‌ها عوض شد. سپس، بذرها به ظروف استریل حاوی مخلوط مساوی از کوکوپیت، پرلایت و ماسه منتقل، و برای جوانه‌زنی در شرایط تاریک و دمای ۲۸ درجه سلسیوس به مدت یک هفته نگهداری شدند

اعمال غلظت‌های مختلف گوگرد و دو روش کاربرد آن

گوگرد میکرونیزه با خلوص ۹۹ درصد در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم خاک برای هر گلدان سه کیلوگرمی آماده‌سازی و پس از مخلوط شدن با خاک به گلدان اضافه گردید (Rumiani et al., 2016). سپس خاک هر گلدان با دو عدد لارو سن دوم نماتد به ازای هر گرم خاک به سه حفره که در اطراف دانهال‌ها ایجاد شده بود وارد و سپس با خاک این سوراخ‌ها پوشانده شدند. برای بررسی تأثیر بخارهای حاصل از گوگرد در کنترل نماتد ریشه‌گرهی، آزمایش‌ها با دو روش انجام شدند. در روش اول (زمان مصرف یک)، ابتدا گوگرد(صفر، ۵۰، ۱۰۰

و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و نماتد (دو عدد لارو سن دوم نماتد به ازای هر گرم خاک) با خاک گلدان مخلوط شدند و سپس در همان روز بذرهای جوانه‌زده پسته در گلدان‌ها کشت شدند. در روش دوم (زمان مصرف دو)، ابتدا گوگرد و نماتد به میزان اشاره شده در بالا با خاک گلدان‌ها مخلوط شدند و پس از ۴۵ روز، دانهال‌های پسته در این گلدان‌ها کشت شدند. طی فاصله زمانی ۴۵ روز تا کاشت دانهال‌ها، خاک گلدان‌ها مرطوب شده و روی آن‌ها با پلاستیک (برای جلوگیری از خروج مواد حاصل از تدخین گوگرد) پوشانده شد و این گلدان‌ها در شرایط گلخانه و دمای بین ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند (Dodd & Doley, 1998; Rumiani et al., 2016).

بررسی و ارزیابی شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد ریشه‌گرهی

پس از گذشت ۶۰ روز از زمان مایه‌زنی نماتد به خاک، دانهال‌های پسته از گلدان بیرون آورده شدند. شاخص‌های آلودگی نماتد شامل تعداد گال، تعداد کیسه تخم، تعداد تخم در هر کیسه، شاخص تولیدمثل (تقسیم جمعیت نهایی بر جمعیت اولیه مایه‌زنی شده برای هر گلدان) و تعداد لارو سن دوم محاسبه گردیدند (Whitehead & Hemming, 1965; Taylor & Sasser, 1978).

بررسی شاخص‌های رویشی دانهال‌های پسته

شاخص‌های رویشی شامل وزن تر و خشک ساقه، وزن برگ سبز، وزن تر و خشک ریشه، حجم و طول ریشه، قطر ساقه، طول ساقه و شاخص سبزینگی برگ (با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی مدل Minolta SPAD-502، ساخت کشور ژاپن با تعداد سه برگ (سه قرائت) از برگ‌های هر یک از گیاهان و گرفتن میانگین آن‌ها) بعد از گذشت دو ماه از کاشت گیاهان در چهار رقم پسته مورد بررسی قرار گرفتند.

تجزیه وتحلیل آماری

در پژوهش حاضر، ابتدا به‌منظور ارزیابی تأثیر گوگرد و زمان مصرف آن در ارقام مختلف پسته بر شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد ریشه گرهی، تجزیه داده‌ها به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با تعداد ۱۲ تکرار انجام شد که فاکتورهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف گوگرد (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم خاک)، روش‌های مصرف گوگرد (کاشت هم‌زمان دانهال‌های پسته با اعمال تیمار گوگرد و نماتد و کاشت دانهال‌های پسته بعد از ۴۵ روز از اعمال تیمارها) و ارقام مختلف پسته (اکبری، قزوینی، بادامی ریز زرند و سفید پسته نوق) بودند. سپس با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل غلظت‌های مختلف گوگرد، روش‌های مصرف آن و ارقام مختلف پسته، به‌منظور ارزیابی تأثیر گوگرد و زمان مصرف آن در کنترل نماتد ریشه گرهی بر صفات رویش دانهال‌های هر رقم پسته، تجزیه داده‌ها به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با تعداد ۱۰ تکرار به‌طور جداگانه برای هر رقم انجام گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف گوگرد (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم خاک)، روش‌های مصرف گوگرد (کاشت هم‌زمان دانهال‌های پسته با اعمال تیمار گوگرد و نماتد و کاشت دانهال‌های پسته بعد از ۴۵ روز از اعمال تیمارها) و شرایط حضور نماتد (حضور و عدم حضور نماتد) بودند. مقایسات میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد به‌وسیله نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام شد.

نتایج

گونه نماتد ریشه‌گرهی

در بررسی لام تهیه شده از برش انتهای بدن نماتدهای ماده در زیر میکروسکوپ و بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی و ریخت‌سنجی لارو سن دوم، گونه نماتد به صورت *M. javanica* شناسایی گردید (شکل ۱).

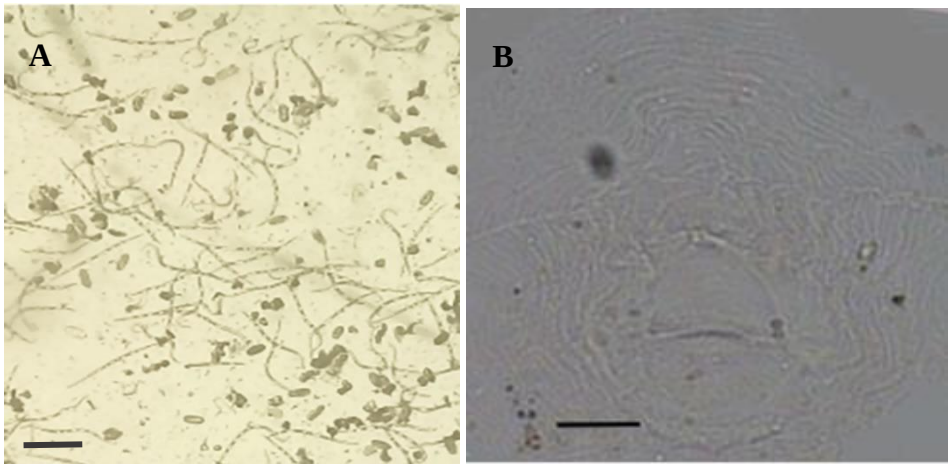
ارزیابی غلظت‌های مختلف گوگرد و زمان مصرف آن بر شاخص‌های بیماریزایی نماتد و شاخص‌های رویشی دانهال‌های پسته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی در ارزیابی تأثیر گوگرد و زمان مصرف آن در ارقام مختلف بر شاخص‌های بیماریزایی نماتد تفاوت آماری معنی‌دار وجود دارد. اثرات متقابل سه فاکتور غلظت گوگرد، زمان کاربرد آن و رقم در سطح احتمال یک

درصد معنی‌دار شدند(جدول ۱). همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر نماتد، گوگرد و زمان مصرف گوگرد بر صفات رویشی نیز برای هر رقم بررسی و برای صفات رویشی که اثرات معنی‌داری داشتند نتایج مقایسه میانگین‌ها بررسی شد (جدول‌های ۲ تا ۵).

شاخص تعداد لارو

نتایج مربوط به تأثیر مایه‌زنی دانهال‌های پسته بر تعداد لارو سن دوم نشان داد که در رقم اکبری در هر دو زمان مصرف، غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم گوگرد بر کاهش جمعیت لارو سن دوم نماتد ریشه‌گرهی اثر معنی‌داری داشتند اگر چه بین این دو غلظت از نظر آماری تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود. در رقم بادامی ریز زرند در زمان اول (کاشت بذر هم‌زمان با مصرف گوگرد) در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم جمعیت لاروی کمتری بعد از دو ماه در خاک گلدان‌ها مشاهده شد (بین این دو غلظت تفاوت معنی‌داری وجود ندارد). نتایج مربوط به رقم سفید پسته نوق مشابه رقم بادامی ریز زرند بود. در مورد رقم قزوینی اگر چه در زمان دوم و غلظت ۵۰ میلی‌گرم کمترین جمعیت لاروی مشاهده شد اما از نظر آماری با زمان اول، غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گوگرد تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل۲).



شکل ۱- A: سوسپانسیون تخم و لارو نماتد، B: برش شبکه کوتیکولی انتهای بدن نماتد ماده (مقیاس برابر با ۲۵ میکرومتر)

Figure 1. A: The suspension of nematode eggs and second stage juveniles, B: The perineal pattern of the female nematode (Scales = 25 µm).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت‌های مختلف گوگرد و زمان مصرف آن بر شاخص‌های بیماریزایی نماتد

Table 1. The results of analysis of variance on the effect of different sulfur concentrations and application time on nematode pathogenicity indexes in four pistachio cultivars.

Source of Variation	Df	J2/300g soil	df	Gall/g of root	df	Egg mass/g of root	df	Egg/ g of root	df	Final population	df	Reproduction factor
Cultivar (C)	3	0.981**	3	2.546**	3	2.986**	3	1.706**	3	6.640**	3	0.259**
Sulfur (S)	3	4.637**	3	6.111**	3	8.200**	3	7.206**	3	22.923**	3	4.075**
Time (T)	1	2.332**	1	39.169**	1	90.471**	1	36.839**	1	150.826**	1	37.820**
C × S	9	0.182	9	0.733**	9	1.451**	9	3.291**	9	5.855	9	1.443**
C × T	3	0.488*	3	0.278	3	0.414	3	1.583**	3	0.999	3	0.202*
S × T	3	0.028	3	0.360	3	1.382*	3	1.045*	3	5.074**	3	0.969**
C × S × T	9	0.472**	9	1.168**	9	1.521**	9	1.504**	9	5.547**	9	1.257**
Error	351	0.145	351	0.267	351	0.420	64	0.321	351	1.129	322	0.057
CV (%)		33.63		16.02		23.39		6.79		12.75		35.17

* and ** are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

شاخص گال نماتدی

در همه ارقام پسته مورد بررسی، کاهش قابل توجه شاخص گال در زمان دوم در مقایسه با زمان اول مصرف گوگرد، مشاهده شد. اگرچه، در ارقام قزوینی و سفید پسته نوق در غلظت ۵۰ میلی‌گرم و زمان دوم کاهش قابل ملاحظه شاخص گال وجود داشت اما بین غلظت‌های مورد استفاده گوگرد و کاهش شاخص گال در کلیه ارقام تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود در ارقام اکبری و سفید پسته نوق در زمان اول و غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم نتایج کاهش شاخص گال با زمان دوم از نظر آماری یکسان می‌باشند (شکل۳).

شاخص کیسه تخم نماتد

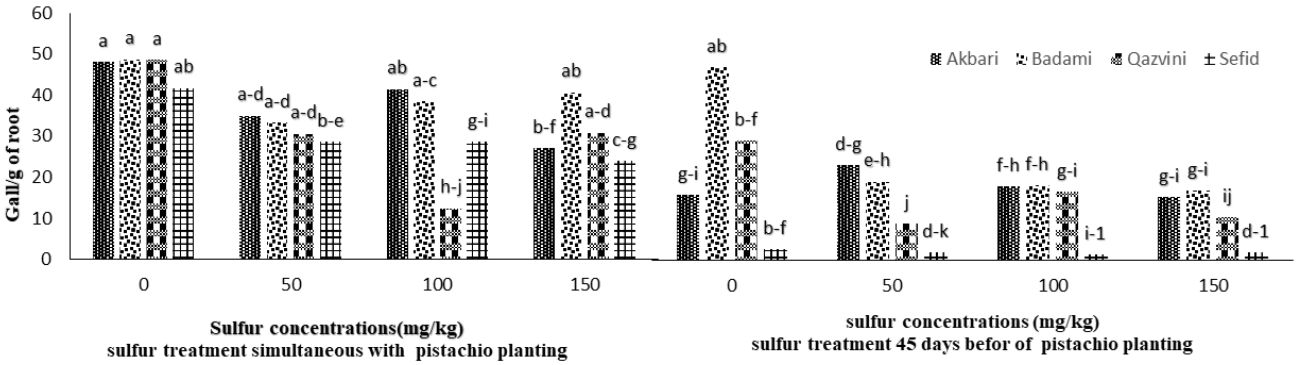
به طور کلی کم‌ترین تعداد کیسه تخم نماتد در گرم ریشه مربوط به تیمارهای موجود در خاک پوشیده با پلاستیک یعنی زمان دوم هستند که این تیمارها به غیر از رقم اکبری در سایر ارقام در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم با شاهد اختلاف معنی‌دار نشان دادند (البته بین این غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت). در زمان اول رقم قزوینی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم و رقم سفید پسته نوق در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم کاهش معنی‌داری از تعداد کیسه تخم در گرم ریشه در مقایسه با شاهد و دیگر تیمارها نشان دادند (شکل ۴).

تعداد تخم نماتد در هر کیسه تخم

در رقم اکبری در هر دو زمان اول و دوم در تیمار شاهد کم بودن تعداد تخم در داخل کیسه‌های تخم مشاهده گردید به طوریکه در زمان دوم این تعداد از تمامی ارقام کمتر بود. به همین دلیل مصرف غلظت‌های مختلف گوگرد تاثیر معنی‌داری بر این شاخص نشان نداد. در مورد ارقام بادامی و قزوینی مصرف غلظت ۵۰ میلی‌گرم سبب کاهش معنی‌داری در مقایسه با شاهد در زمان اول و دوم (برای رقم قزوینی در زمان دوم با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم) گردید. در مورد رقم سفید پسته نوق در زمان اول هیچ تفاوت معنی‌داری بین غلظتهای کاربردی با شاهد (بدون مصرف گوگرد) وجود نداشت البته در کشت همزمان دانهالهای پسته با مایه‌زنی نماتد در تیمار شاهد این رقم، کمترین تعداد تخم در داخل کیسه را داشت و برای زمان دوم مصرف با غلظت ۵۰ میلی‌گرم، کاهش قابل توجهی را نشان داد (شکل ۶).

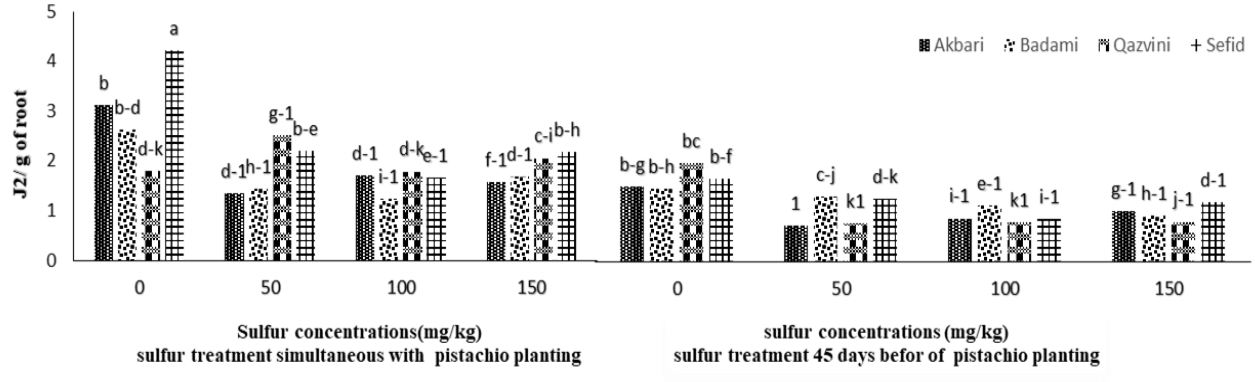
فاکتور تولیدمثل نماتد

در رقم اکبری هیچ‌کدام از غلظت‌های گوگرد در دو زمان مصرف اول و دوم، تأثیر معنی‌داری بر روی فاکتور تولیدمثل نماتد نداشتند. در دیگر ارقام پسته (بادامی ریز زرند، قزوینی و سفید پسته نوق) کاربرد گوگرد به‌ویژه در زمان دوم که گلدان‌ها به مدت ۴۵ روز با پلاستیک پوشانده شده بودند کاهش قابل توجه فاکتور تولیدمثل نماتد در مقایسه با شاهد دیده شد. بین غلظت‌های گوگرد کاربردی در زمان دوم برای این ارقام تفاوت معنی داری مشاهده نگردید (شکل ۶).



شکل ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف گوگرد و زمان کاربرد آن بر میانگین تعداد لارو سن دوم نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne javanica*) در چهار رقم پسته. ستون دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند

Figure 2. Effect of different sulfur concentrations and application time on mean number of second stage juveniles (J2) of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) in four pistachio cultivars. Means by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$).



شکل ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف گوگرد و زمان کاربرد آن بر میانگین تعداد گال نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne javanica*) در چهار رقم پسته. ستون دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند

Figure 3. Effect of different sulfur concentrations and application time on mean gall number of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) in four pistachio cultivars. Means by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$).

وزن تر ساقه

اثرات دو طرفه نماتد و سطوح مصرفی گوگرد در دانهال‌های پسته رقم اکبری معنی‌دار گردیدند به طوری که در شرایط عدم حضور نماتد با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، با افزایش ۴۰ درصدی وزن تر ساقه بهترین نتیجه را نشان داد. در مورد رقم قزوینی در شرایط عدم حضور نماتد و زمان اول مصرف گوگرد با غلظت ۵۰ میلی‌گرم، افزایش ۳۳ درصد وزن تر ساقه را نشان داد که با غلظت‌های بالاتر گوگرد تفاوت معنی‌دار نداشت. اثرات سه‌گانه نماتد، گوگرد و زمان مصرف گوگرد در رقم بادامی ریز زرند معنی‌دار گردید (جدول ۴). شرایط عدم حضور نماتد، زمان اول مصرف گوگرد و غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گوگرد بیشترین تأثیر را بر این صفت در رقم بادامی ریز زرند نشان داد. در رقم سفید پسته نوق زمان اول مصرف گوگرد مانند رقم بادامی ریز زرند نتیجه بهتری بر وزن تر ساقه نشان داد. غلظت‌های گوگردی بکار رفته در زمان اول و دوم مصرف گوگرد در مقایسه با شاهد تأثیری بر این صفت نشان ندادند.

وزن خشک ساقه

در رقم اکبری، نتایج وزن خشک با وزن تر ساقه هماهنگ بود و شرایط عدم حضور نماتد در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم سبب افزایش قابل توجهی بر وزن خشک ساقه در مقایسه با دیگر تیمارها شد. در ارقام قزوینی و بادامی ریز زرند نیز هماهنگ با وزن تر در زمان اول با غلظت ۵۰ میلی‌گرم و عدم حضور نماتد بهترین تأثیر را بر وزن خشک ساقه نشان دادند. در رقم سفید پسته نوق، زمان یک کاربرد گوگرد، تأثیر بهتری بر وزن خشک ساقه نشان داد هر چند که بین غلظت‌های گوگرد و شاهد تفاوت معنی‌داری دیده نشد.

وزن تر ریشه

در رقم اکبری، وزن تر ریشه در زمان اول مصرف گوگرد و حضور نماتد مقدار بیشتری را نشان داد. این شاخص در ارقام قزوینی و سفید پسته نوق در شرایط حضور نماتد نیز افزایش بیشتری داشت. در رقم بادامی ریز زرند اثرات سه فاکتور نماتد، گوگرد و زمان کاربرد گوگرد معنی‌دار گردید (جدول ۴). زمان اول در مقایسه با زمان دوم مصرف گوگرد اثر بهتری بر صفت مورد بررسی نشان داد.

وزن خشک ریشه

در رقم اکبری در شرایط حضور نماتد و زمان اول کاربرد گوگرد در مقایسه با همین شرایط و عدم حضور نماتد افزایش ۳۰ درصدی وزن خشک ریشه را داشتیم که با نتایج وزن تر ریشه هماهنگ است البته بین تیمارهای گوگردی و شاهد تفاوت معنی‌داری دیده نشد. در ارقام قزوینی و بادامی ریز زرند شرایط زمانی یک مصرف گوگرد، اثر قابل توجهی در مقایسه با زمان دوم بر وزن خشک ریشه داشتند. در رقم سفید پسته نوق، اثر دو طرفه سطوح گوگرد و زمان کاربرد آن بر این صفت معنی‌دار گردید و در زمان اول، مصرف غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم گوگرد در مقایسه با دیگر تیمارها بیشترین تأثیر را داشتند (جدول ۵).

طول ساقه

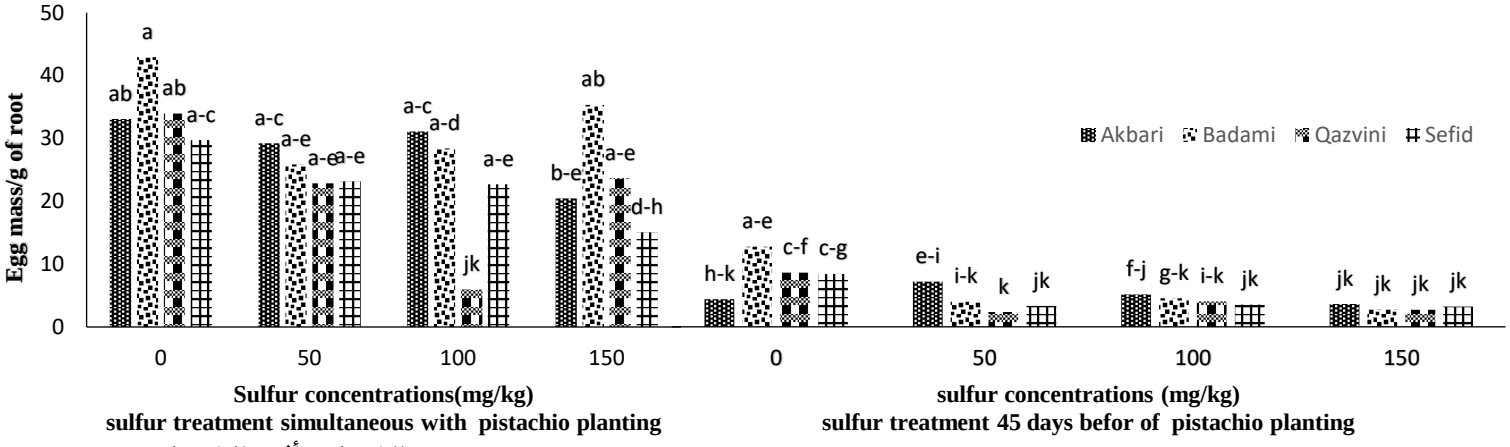
در رقم اکبری غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گوگرد افزایش معنی‌داری بر شاخص طول ساقه در مقایسه با دیگر غلظت‌ها نشان داد و سبب افزایش ۲۵ درصدی این شاخص گردید. در حضور نماتد، طول ساقه رقم اکبری به میزان نه درصد در مقایسه با شرایط عدم حضور نماتد کاهش نشان داد. در رقم قزوینی، شرایط عدم حضور نماتد، غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و زمان اول مصرف گوگرد سبب افزایش ۲۰ درصدی طول ساقه در مقایسه با شاهد گردید که البته با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گوگرد، تفاوت معنی‌داری نداشت. کاربرد گوگرد در رقم بادامی ریز زرند بر این صفت اثر معنی‌داری در مقایسه با شاهد نداشت و در مورد رقم سفید پسته نوق هم، زمان اول نتیجه بهتری را در مقایسه با زمان دوم مصرف گوگرد مانند دیگر ارقام نشان داد. درمجموع فاکتورهای نماتد و غلظت گوگرد بر صفت طول ساقه در رقم سفید پسته نوق مؤثر نبودند.

طول ریشه

برای رقم اکبری غلظت‌های متفاوت گوگرد بر شاخص طول ریشه اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). در این رقم اثر دو طرفه نماتد و زمان مصرف گو گرد معنی‌دار گردید به طوری که در زمان اول و شرایط عدم حضور نماتد، طول ریشه افزایش بیشتری نشان داد. برای رقم قزوینی زمان اول اثر قابل توجهی بر طول ریشه این رقم در مقایسه با زمان دوم نشان داد اما بین غلظت‌های کاربردی با شاهد تفاوت آماری دیده نشد. در شرایط عدم حضور نماتد، این صفت توسعه بیشتری در رقم بادامی ریز زرند داشته است و غلظت‌های مختلف گوگرد در مقایسه با شاهد تفاوتی نداشتند و رقم سفید پسته نوق، هیچ یک از فاکتورهای مورد بررسی بر صفت طول ریشه اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۵).

حجم ریشه

در رقم قزوینی اثرات دو طرفه فاکتورهای سطوح گوگردی و حضور و عدم حضور نماتد معنی‌دار شد (جدول۳). غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گوگرد در شرایط حضور نماتد سبب افزایش ۲۴ درصدی حجم ریشه رقم قزوینی گردید و دیگر تیمارها در مقایسه با شاهد تفاوتی نشان ندادند. این افزایش با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گوگرد در شرایط عدم حضور نماتد یکسان می‌باشد. برای رقم اکبری در حضور نماتد افزایش ۱۴ درصدی، صفت حجم ریشه در مقایسه با شرایط عدم حضور نماتد ملاحظه گردید و در زمان اول، افزایش ۲۸ درصدی حجم ریشه در مقایسه با زمان دوم مشاهده گردید. رقم بادامی ریز زرند در شرایط حضور نماتد و زمان اول، این شاخص افزایش بیشتری نشان داد و در مورد رقم سفید پسته نوق هم در زمان اول، حجم ریشه افزایش بیشتری را مانند دیگر ارقام مورد مطالعه نشان داد.

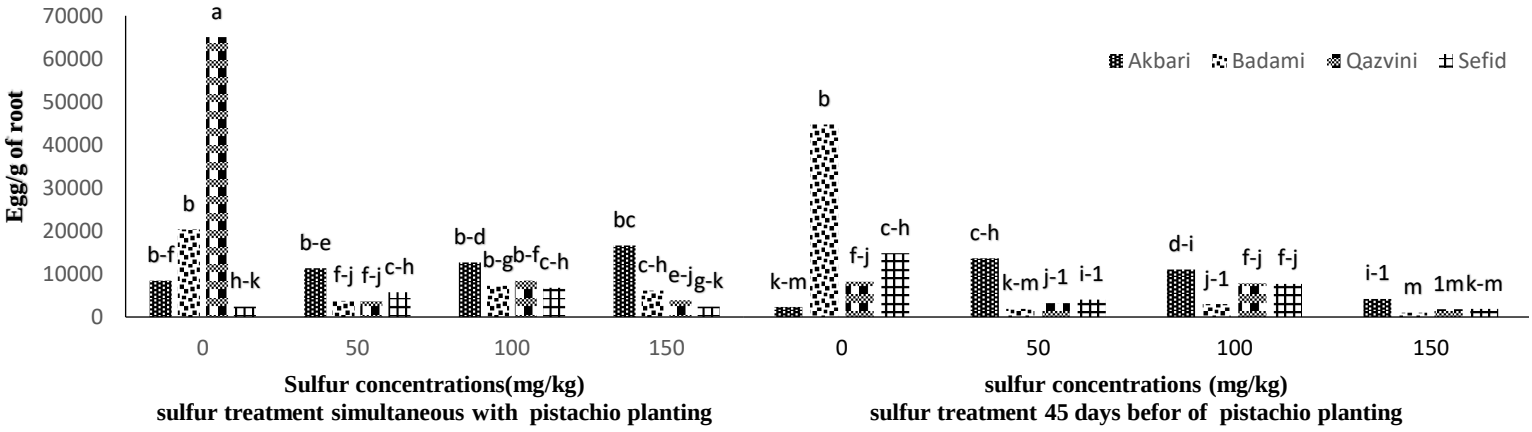


شکل ٤- تأثیر غلظت‌های مختلف گوگرد و زمان کاربرد آن بر میانگین تعداد کیسه تخم نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne javanica*) در چهار رقم پسته. ستون دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند

Figure 4. Effect of different sulfur concentrations and application time on mean egg mass number of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) in four pistachio cultivars. Means by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$).

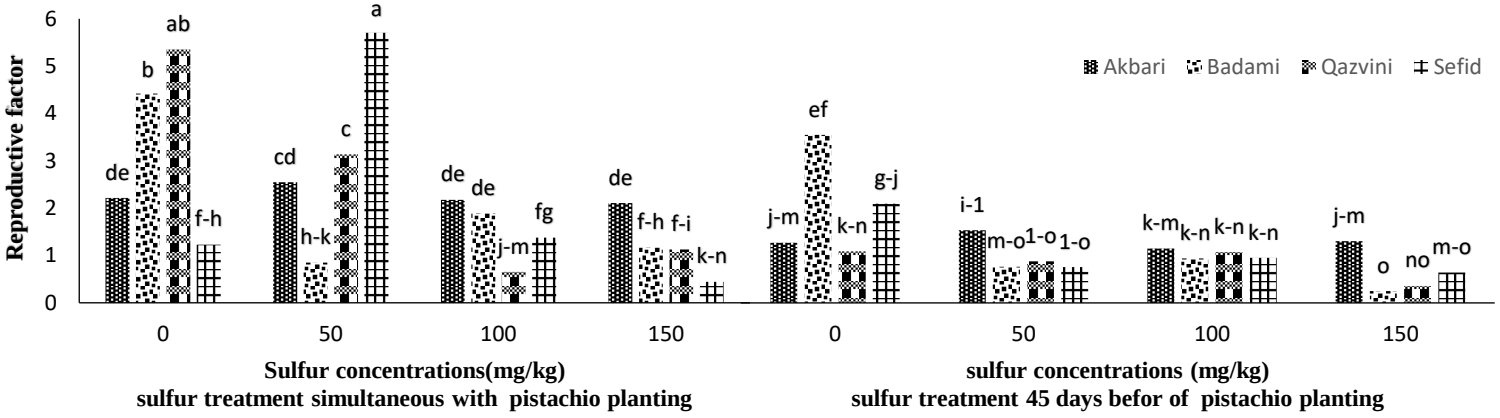
قطر ساقه

تیمارهای مورد بررسی بر صفت قطر ساقه در ارقام اکبری و بادامی ریز زرند تأثیری نداشتند (جدولهای ۲ و ۴). در رقم قزوینی اثرات سه‌گانه سه فاکتور مورد بررسی بر قطر ساقه معنی‌دار شدند. در شرایط حضور نماتد و زمان دوم مصرف گوگرد، با غلظت ۵۰ میلی‌گرم افزایش ۲۲ درصدی قطر ساقه دانهال‌های پسته رقم قزوینی در مقایسه با شاهد مشاهده شد. برای ارقام قزوینی و سفید پسته نوق در زمان اول، غلظت‌های گوگرد هیچ کدام بر قطر ساقه تأثیر معنی‌داری در مقایسه با شاهد نداشتند. در زمان دوم مصرف گوگرد و شرایط عدم حضور نماتد، بالاترین تأثیر را غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم داشت که سبب افزایش ده درصدی قطر ساقه رقم سفید پسته نوق در مقایسه با شاهد شد.



شکل ۵- تأثیر غلظت‌های مختلف گوگرد و زمان کاربرد آن بر میانگین تعداد تخم داخل هر کیسه تخم نماتد (*Meloidogyne javanica*) در چهار رقم پسته. ستون دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند

Figure 5. Effect of different sulfur concentrations and application time on mean number of eggs inside each nematode egg mass of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) in pistachio seedlings in four pistachio cultivars. Means by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$).



شکل ٦- تأثیر غلظت‌های مختلف گوگرد و زمان کاربرد آن بر فاکتور تولیدمثل نماتد (*Meloidogyne javanica*) در چهار رقم پسته. ستون دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری باهم ندارند

Figure 6. Effect of different sulfur concentrations and application time on reproductive factor of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) in pistachio seedlings in four pistachio cultivars. Means by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$).

مقدار سبزینگی

برای ارقام اکبری، قزوینی و بادامی ریز زرند در زمان اول نتایج بهتری در مقایسه با زمان دوم داشت و غلظت‌های گوگرد بر این صفت در مقایسه با شاهد اثر معنی‌داری نداشتند. البته رقم بادامی ریز زرند در شرایط حضور نماتد و همین زمان، در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم گوگرد بهترین تأثیر را در مقایسه با شاهد نشان داد (بین این دو غلظت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت). در رقم سفید پسته نوق غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم گوگرد در شرایط حضور نماتد، اثر معنی‌داری بر این صفت نشان داد و سبب افزایش هشت درصدی این شاخص در مقایسه با شاهد گردید.

وزن برگ سبز

در بین غلظت‌های مورد استفاده، زمان مصرف و نماتد، غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم گوگرد در زمان اول و شرایط عدم حضور نماتد به ترتیب تأثیر بهتری بر وزن برگ سبز ارقام اکبری، سفید پسته نوق و قزوینی نشان دادند. برای رقم بادامی ریز زرند، زمان اول و شرایط عدم حضور نماتد اثر بهتری را بر این صفت نشان داد و غلظت‌های گوگرد کاربردی بر این صفت اثری نداشتند.

گوگرد و ترکیبات گوگردی به طور مستقیم به‌عنوان زنده‌کش عمل می‌کنند و از گذشته گوگرد رایج‌ترین آفت‌کش مورد استفاده در سراسر جهان برای مبارزه با انواع آفات و بیماری‌ها و حشرات بوده و جزئی از حشره‌کش‌ها و برخی از فرمولاسیون‌های دیگر آفت‌کش‌ها است (Thomas et al., 1993). چهارمین ماده مغذی اصلی گیاهان گوگرد می‌باشد که گیاهان آن را به مقدار قابل مقایسه با فسفر جذب می‌کنند. علاوه بر این، متابولیسم گوگرد دارای چندین مکانیسم کارآمد است که به وسیله آن گیاهان قادر به مقابله با تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شوند (Salac et al., 2005; Haneklaus et al., 2007).

در این پژوهش به غیر از رقم اکبری در سه رقم دیگر با وجود اینکه سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم گوگرد در خاک بدون پلاستیک نیز باعث کاهش اکثر شاخص‌های نماتد نسبت به شاهد شدند ولی بیشترین کاهش در خاک پوشیده شده با پلاستیک مشاهده گردید. این نتایج نشان‌دهنده این است که علاوه بر تأثیر متفاوت غلظت‌های مختلف گوگرد در کنترل نماتد، پوشاندن خاک با پلاستیک نیز در کاهش جمعیت نهایی نماتد بسیار مؤثر است. پوشش پلاستیکی بر روی سطح گلدان از یک طرف باعث به دام افتادن ترکیبات فرار و بخارهای متصاعده شده می‌گردد، و از طرف دیگر در بالا بردن دمای خاک اهمیت دارد به طوریکه در زمان دوم مصرف گوگرد کمترین تعداد کیسه تخم در تیمارهای مورد بررسی بدست آمد. این نتیجه با گزارش‌های قبلی که استفاده از کود سبز و ترکیبات آلی به همراه پوشش پلاستیکی می‌تواند سبب کاهش چشمگیر نماتدهای انگل گیاهی و افزایش محصول شود مطابقت دارد (Gong et al., 2013).

بحث

در مورد برخی ارقام مانند بادامی ریز زرند علیرغم پایین بودن شاخص تعداد لارو در زمان اول مصرف با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم گوگرد، شاهد بالا بودن معنی‌دار شاخص‌های گال و کیسه تخم در همان تیمار بودیم این نتیجه می‌تواند به دلیل نفوذ بیشتر لاروهای سن دوم در بافت ریشه گیاه میزبان و عدم حضور آنها در خاک مورد ارزیابی گلدان‌ها باشد. نکته جالب توجه در مورد دو رقم اکبری و سفید پسته نوق در مقایسه با دیگر ارقام در زمان اول مصرف گوگرد، بالا بودن تعداد لارو در خاک گلدان‌ها در تیمار شاهد می‌باشد که احتمالا به دلیل نفوذ کمتر لاروهای سن دوم به داخل ریشه گیاه در این دو رقم است و به همین ترتیب تعداد گال کمتری در این دو رقم دیده شد هر چند اعداد تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند اما در مجموع نماتد نرخ تکثیری کمتری را در این دو رقم نشان داد. البته در رقم اکبری عدم تأثیر غلظت‌های گوگرد مصرفی بر روی تعداد کیسه تخم در گرم ریشه و پایین بودن شاخص‌های نماتدی مورد بررسی در تیمار شاهد برای این رقم و همچنین عدم تأثیر غلظت‌های گوگرد کاربردی در دو زمان مصرف بر روی فاکتور تولیدمثل نماتد احتمالا به دلیل مقاومت ذاتی این رقم در مقایسه با دیگر ارقام به آلودگی نماتد ریشه گرهی *M. javanica* می‌باشد. در مطالعات قبلی شاخص‌های گال، کیسه تخم و فاکتور تولید مثل به عنوان شاخص‌های قابل استنادی جهت ارزیابی مقاومت پایه‌های مورد مطالعه علیه آلودگی نماتد در نظر گرفته شدند (Gomes et al., 2015; Soares et al. 2018).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر نماتد، غلظت‌های مختلف و زمان مصرف گوگرد بر صفات رشدی رقم اکبری

Table 2. The results of analysis of variance on the effect of nematodes, different sulfur concentrations and application time on the growth parameters of Akbari cultivar

Source of Variation	df	SPAD	Shoot length	Stem diameter	Root length	Stem fresh weight	Stem dry Weight	Fresh leaf weight	Root fresh weight	Root dry weight	Root volume
Application time (T)	1	4177.23**	35.08	0.065	298.62	0.171*	0.064**	0.504*	2.814**	1.218**	0.437**
Sulphur (S)	3	693.98**	80.84**	0.234	268.68	0.127**	0.033**	0.771**	0.040	0.016	0.001
Nematode (N)	1	14.64	43.62*	0.026	979.55**	0.053	0.016	0.520*	1.011**	0.081**	0.127*
T × S	3	628.58**	25.19	0.047	102.77	0.027	0.010	0.146	0.156	0.035**	0.011
T × N	1	2.29	25.65	0.079	485.32*	0.150	0.000	0.009	1.130**	0.121**	0.043
N × S	3	59.05	21.37	0.190	287.02	0.100*	0.053**	0.029	0.063	0.002	0.025
T × N × S	3	69.89	16.80	0.162	41.19	0.051	0.010	0.191	0.079	0.021	0.064
Error	146	44.53	10.61	0.111	123.70	0.030	0.004	0.108	0.104	0.008	0.028
CV (%)	-	11.85	25.45	15.22	20.59	34.04	35.35	31.53	33.60	32.98	14.01

* and ** are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر نماتد، غلظت‌های مختلف و زمان مصرف گوگرد بر صفات رشدی رقم قزوینی

Table 3. The results of analysis of variance on the effect of nematodes, different sulfur concentrations and application time on the growth parameters of Qazvini cultivar

Source of Variation	df	SPAD	Shoot length	Stem diameter	Root length	Stem fresh weight	Stem dry Weight	Fresh leaf weight	Root fresh weight	Root dry weight	Root volume
Nematode (N)	1	84.03	90.60**	1.182**	2077.84**	0.27	0.12**	0.16	0.98**	0.00	0.06
Sulphur (S)	3	34.08	4.91	0.215*	132.82	0.02	0.01	0.27*	0.13	0.02	0.04
Application time (T)	1	4.31**	43.95**	0.514**	162.84	0.26**	0.17**	0.14	6.73**	2.22**	0.32**
N × S	3	73.3*	26.25**	0.133	182.12	0.01	0.01	0.10	0.09	0.04**	0.12**
T × N	1	9.78	22.17*	0.000	119.04	0.07*	0.02*	0.03	0.03	0.02	0.00
T × S	3	9.28**	14.48*	0.384**	425.39**	0.03	0.00	0.11	0.11	0.00	0.00
T × N × S	3	48.25	29.65**	0.248**	143.17	0.16**	0.03**	0.39**	0.06	0.06**	0.03
Error	152	22.93	5.23	0.055	130.21	0.02	0.00	0.07	0.07	0.00	0.02
CV (%)	-	8.55	17.86	11.04	20.98	24.79	31.01	26.86	23.8	26.18	12.55

* and ** are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس تأثیر نماتد، غلظت‌های مختلف و زمان مصرف گوگرد بر صفات رشدی رقم بادامی ریز زرند

Table 4. The results of analysis of variance on the effect of nematodes, different sulfur concentrations and application time on the growth parameters of Badami Reez Zarand cultivar

Source of Variation	df	SPAD	Shoot length	Stem diameter	Root length	Stem fresh weight	Stem dry weight	Fresh leaf weight	Root fresh weight	Root dry weight	Root volume
Nematode (N)	1	132.30*	91.00**	0.086	1792.06**	0.131*	0.071**	0.228	2.151**	0.029	0.475**
Sulphur (S)	3	69.36	87.46**	0.070	652.05*	0.058	0.014*	0.565**	1.089**	0.159**	0.077
Application time (T)	1	6.44	112.27**	0.498	566.12	0.491**	0.086**	2.497**	6.345**	0.587**	0.469**
N × S	3	8.88	12.39	0.260	175.92	0.115**	0.037**	0.787**	0.917**	0.202**	0.007
T × N	1	1.31	8.48	0.056	78.03	0.406**	0.078**	0.695*	0.070	0.044	0.079
T × S	3	49.93	56.60**	0.210	370.72	0.146**	0.042**	0.372*	0.908**	0.181**	0.031
T × N × S	3	112.94*	7.19	0.045	321.57	0.075*	0.015*	0.233	0.550**	0.138**	0.025
Error	148	33.13	11.58	0.137	230.79	0.023	0.004	0.120	0.106	0.011	0.031
CV (%)	-	11.15	24.63	18.16	29.59	33.65	32.94	33.23	33.53	32.10	14.13

* and ** are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ٥- نتایج تجزیه واریانس تأثیر نماتد، غلظت‌های مختلف و زمان مصرف گوگرد بر صفات رشدی رقم سفید پسته نوق

Table 5. The results of analysis of variance on the effect of nematodes, different sulfur concentrations and application time on the growth parameters of Sefid Pistachio Nogh cultivar

Source of Variation	df	SPAD	Shoot length	Stem diameter	Root length	Stem fresh weight	Stem dry weight	Fresh leaf weight	Root fresh weight	Root dry weight	Root volume
Nematode (N)	1	0.44	30.95	0.31	91.31	0.67**	0.11**	0.01	1.01**	0.02	0.04
Sulphur (S)	3	22.75	13.89	0.15	325.97	0.18**	0.02	0.03	0.29	0.03	0.06
Application time (T)	1	1358.81**	83.34**	2.11**	153.32	1.15**	0.40**	0.01	16.64**	3.46**	2.29**
N × S	3	86.56**	9.39	0.26*	398.45	0.06	0.01	0.16	0.36	0.01	0.03
T × N	1	77.50	4.27	0.12	12.86	0.00	0.00	0.26	0.11	0.03	0.00
T × S	3	24.03	0.54	0.12	243.42	0.06	0.02	0.28*	0.24	0.05*	0.01
T × N × S	3	46.36	22.90	0.37**	126.58	0.11*	0.03**	0.41**	0.24	0.30	0.01
Error	168	23.21	11.55	0.09	162.63	0.03	0.01	0.10	0.14	0.01	0.02
CV (%)	-	8.75	24.44	13.39	24.83	29.68	32.84	76.28	28.73	28.25	11.88

* and ** are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

در بررسی که بر روی چهار پایه پسته انجام گردید، رقم بادامی که بالاترین شاخص کیسه تخم و فاکتور تولید مثلی را در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی داشت به عنوان پایه حساس معرفی و پایه های قزوینی و سرخس به عنوان نسبتا مقاوم گزارش شدند (Mahoonaki et al., 2022). شاخص حجم ریشه و بالا بودن آن در زمان اول مصرف گوگرد در ارقام مورد مطالعه می‌تواند به دلیل بالا بودن میزان آلودگی نماتدی در این زمان در مقایسه با زمان دوم باشد. در بررسی که بر تأثیر تراکم جمعیت لارو سن دوم در گیاه بامیه انجام شد، به دنبال افزایش جمعیت لارو، کاهش ارتفاع و وزن بخش هوایی و افزایش وزن تر ریشه گیاهان گزارش گردید (Mukhtar et al., 2013).

با توجه به معنی‌دار نبودن تفاوت غلظت‌های گوگرد کاربردی در زمان دوم بر فاکتور تولید مثل نماتد غلظت ۵۰ میلی‌گرم گوگرد برای کاهش این فاکتور توصیه می‌گردد البته این نتیجه در زمان دوم مصرف گوگرد می‌تواند به دلیل کاهش توان بیماریزایی لاروهای سن دوم نماتد در غیاب میزبان برای مدت چندین هفته در کلیه تیمارها و همچنین تیمار شاهد بدون گوگرد باشد. نتیجه حاصل با نتایج پژوهش قبلی در گیاه خیار مطابقت دارد به طوری که وجود نماتد در غیاب میزبان به مدت ۴۵ روز در خاک، باعث کاهش طبیعی قسمتی از جمعیت اولیه و در نهایت جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل شده است (Rumiani et al., 2016). در مجموع زمان اول مصرف گوگرد بر شاخص‌های رشدی وزن تر و خشک ساقه و ریشه، طول ساقه و مقدار سبزینگی در ارقام مورد مطالعه نتایج بهتری نشان داد که پایین بودن نتایج در زمان دوم احتمالا به دلیل رشد ضعیف‌تر گیاهان در اثر ترکیبات فرار تولیدی بعد از گذشت ۴۵ روز از مصرف گوگرد در گلدان‌ها باشد. هیدرولیز گلوکوزینولات‌ها (ترکیبات آلی حاوی گوگرد) تحت‌تاثیر آنزیم میروزیناز (myrosinase) مجموعه‌ای از فراورده‌هایی را تولید می‌کنند که ایزوتیوسیانات‌ها جزء اصلی آنها هستند، این ترکیبات و سایر فراورده‌های حاصل برای بسیاری از گونه‌های قارچ و باکتری سمی یا مهارکننده هستند (Doughty et al., 1991).

عنصر گوگرد توسط گیاهان جهت تولید ترکیبات فیتوالکسینی و مقاومت در برابر بیماریهای گیاهی ازجمله نماتد ریشه‌گرهی استفاده می‌شود (Nguyen et al., 2024). در مطالعات قبلی نیز بر اهمیت تغذیه‌ای این عنصر در کنار بحث کاهش جمعیت نماتدهای انگل گیاهی همانند عناصر دیگری مانند سیلیکون و پتاسیم اشاره شده است (Bicalho et al., 2020). در مجموع بر اساس نتایج این پژوهش مصرف ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گوگرد، پوشاندن سطح خاک و کاشت بذرهای پسته بعد از ۴۵ روز می‌تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش جمعیت نماتد ریشه‌گرهی داشته باشد که این یافته می‌تواند در خزانه‌کاری‌ها و نهالستان‌های پسته مورد استفاده قرار گیرد. برای مطالعات بعدی، بررسی اثر استفاده از کودهای گوگردی و مخلوط آن با عوامل زیستی سازگار با خاک‌های شور و قلیایی مناطق کاشت پسته در کاهش جمعیت نماتدهای ریشه‌گرهی پیشنهاد می‌گردد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان برای تامین مالی بخشی از هزینه‌های اجرای این پژوهش از محل پژوهانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

Akhavan, A., & Gonçalves, P. (2021). Managing the trade-off between groundwater resources and large-scale agriculture: the case of pistachio production in Iran. *System dynamics review*, *37*(2-3), 155-196. https://doi.org/10.1002/sdr.1689

Bicalho, A. C. G., Silva, S. A. D., & Machado, A. C. Z. (2020). Control of *Meloidogyne paranaensis* mediated by silicon. *Scientia Agricola*, *78* (3), p.e20190039. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0039

Dodd, I. C., & Doley, D. (1998). Growth responses of cucumber seedlings to sulfur dioxide fumigation in a tropical environment. *Environmental and experimental botany*, *39*(1), 41-47.

Dutta, T. K., Khan, M. R., & Phani, V. (2019). Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plants: current status and future prospects. *Current plant biology*, *17*(1), 17-32. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.02.001.

Doughty, K. J., Porter, A. J. R., Morton, A. M., Kiddle, G., Bock, C. H., & Wallsgrove, R. (1991) Variation in the glucosinolate content of oilseed rape (*Brassica napus*) leaves. II. Response to infection by *Alternaria brassicae* (Berk.) Sacc. *Annals of Applied Biology*, *118*(2), 469-477.

Etim, D. O., Aniete, B. R., Eleng, I. E., Ini-Ibehe, N. E., & Obot, B. E. (2023). Effect of soil amendments on the growth parameters of okra infested with root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *International Journal of Pathogen Research*, *12*(6), 153-165. https://doi.org/10.9734/ijpr/2023/v12i6264.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). The State of Food Security and Nutrition in the World 2022: Countries by commodity. Retrieved from https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity

Fatemy, S. (2009). Integrated management of pistachio nematodes. In A. Ciancio, K. G. Mukerji (Eds.), *Integrated management of fruit crops and forest nematodes* (pp. 243-252). Springer, Netherlands.

Gomes, J. A. A., Andrade Júnior, V. C., Oliveira, C. M. D., Azevedo, A. M., Maluf, W. R., & Gomes, L. A. A. (2015). Resistance of sweet potato clones to *Meloidogyne incognita* races 1 and 3. *Bragantia*, *28*(74), 291-297. https://doi.org/10.1590/1678-4499.0454.

Gong, B., Bloszies, S., Li, X., Wei, M., Yang, F., Shi, Q., & Wang, X. (2013). Efficacy of garlic straw application against root-knot nematodes on tomato. *Scientia Horticulturae*, *24*(161), 49-57. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.027.

Haneklaus S, Bloem E., & Schnug, E. (2007). Sulfur and plant disease. In L. Datnoff, W. Elmer, & D. Huber (Eds.), *Mineral nutrition and plant diseases* (pp. 101-118). American Phytopathology Society Press. USA.

Harandi, O. F., & Ghaffari, M. (2001). Chromosome studies on pistachio (*Pistacia vera* L.) from Iran. *Cahiers Options Méditerranéennes*, *56*(1), 35-40.

Hauser, S. (2000). Effects of fertilizer and hot-water treatment upon establishment, survival and yield of plantain (*Musa* spp., AAB, French). *Field Crops Research*, *66*(3), 213-223. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00071-X.

Hormaza, J. I., Dollo, L., & Polito, V. S. (1994). Determination of relatedness & geographical movements of *Pistacia vera* (Pistachio; Anacardiaceae) germplasm by RAPD analysis. *Economic Botany*, *48*(4), 349-358.

Hosseinifard, S. J., & Mirzaei Aminiyan, M. (2015). Hydrochemical haracterization of groundwater quality for drinking and agricultural purposes: a case study in Rafsanjan plain, Iran. *Water Quality, Exposure & Health, 7*, 531-544. https://doi.org/10.1007/s12403-015-0169-3.

Hurchanik, D., Schmitt, D. P., Hue, N. V., & Sipes, B. S. (2004). Plant nutrient partitioning in coffee infected with *Meloidogyne konaensis*. *Journal of nematology*, *36*(1), 76.

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*(12), 1025-1028.

Mahoonaki, F. S., Moghadam, E. M., Zakiaghl, M., & Pedram, M. (2022). Penetration and development of *Meloidogyne javanica* on four pistachio rootstocks and their defense responses. *Journal of Nematology*, *54*(1), 1-12. https://doi.org/10.2478/jofnem-2022-0056

Mukhtar, T. A. R. I. Q., Arshad, I., Kayani, M. Z., Hussain, M. A., Kayani, S. B., Rahoo, A. M., & Ashfaq, M. (2013). Estimation of damage to okra (*Abelmoschus esculentus*) by root-knot disease incited by *Meloidogyne incognita*. *Pakistan. Journal of Botany*, *45*(3), 1023-1027.

Nguyen, H. N., Tran, P. T., Le, N. A. T., Nguyen, Q. H., & Du Bui, D. (2024). Synthesis of nano sulfur/chitosan-copper complex and its nematicidal effect against *Meloidogyne incognita* in vitro and on coffee pots. *The Plant Pathology Journal*, *40*(3), 261-271. https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.10.2023.0145

Potter, J. W., & McKeown, A. W. (2003). Nematode biodiversity in Canadian agricultural soils. *Canadian Journal of soil science*, *83*(1), 289-302. https://doi.org/10.4141/S01-064.

Rumiani, M., Karegar, A., Hamzehzarghani, H., & Banihashemi, Z. (2016). Effect of elemental sulfur on the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, activities in cucumber plants. *Iranian Journal of Plant Pathology*, *52*(1), 85-98. (In Farsi with English summary).

Rumiani, M., Karegar, A., Hamzehzarghani, H., & Banihashemi, Z. (2019). Effect of sulfur fertilizers on activity of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*, in cucumber plants under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Plant Pathology*, *2*(55), 149-160. https://doi.org/10.22034/ijpp.2019.37322. (In Farsi with English summary).

Salac, I., Haneklaus, S. H., Bloem, E., Booth, E. J., Sutherland, K. G., Walker, K. C., & Schnug, E. (2005). Sulfur nutrition and its significance for crop resistance–a case study from Scotland. *Landbauforschung Völkenrode*, *283*, 111-119.

Silva, E. M. T., Conduta, N. S., Pontalti, P., Comar, C. G., Nolla, A., & Dias-Arieira, C. R. (2020). Combined use of a resistance inducer (Agro-Mos) & micronutrients for the control of' *Meloidogyne javanica*' in soybean. *Australian Journal of Crop Science*, *14*(9), 1415-1419. https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.09.p2414.

Soares, R. S., Silva, E. H. C., Candido, W. D. S., Diniz, G. M. M., Reifschneider, F. J. B., Soares, P. L. M., & Braz, L. T. (2018). Identifying resistance to root-knot nematodes in *Capsicum* genotypes. *Bioscience Journal*, *34*(2), 912-925. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20183172670

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. https://doi.org/10.3126/janr.v3i2.32298

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

Thomas, C. S., Gubler, W. D., Silacci, M. W., & Miller, R. (1993). Changes in elemental sulfur residues on Pinot noir and Cabernet Sauvignon grape berries during the growing season. *American Journal of enology and viticulture*, *44*(2), 205-210. http://dx.doi.org/10.5344/ajev.1993.44.2.205.

Wei, H., Liu, W., Zhang, J., & Qin, Z. (2017). Effects of simulated acid rain on soil fauna community and their ecological niches. *Environmental pollution*, *220*(part A), 460–468. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.088.

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. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1965.tb07864.x.

Zechmann, B., Müller, M., & Zellnig, G. (2008). Modified levels of cysteine affect glutathione metabolism in plant cells. In N. A. Khan, S. Umar, & S. Singh (Eds.), *Sulfur assimilation and abiotic stress in plants* (pp.193-206). Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.

Zhang, A., Olatunji, O. A., Tariq, A., Li, T., Wang, R., & Jiang, Y. (2021). Sulfur deposition changed the community structure of soil nematodes by affecting omnivores-predators. *Science of The Total Environment*, *771*(1), 144912. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144912.

© 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/).