



گیاه پزشکی (مجله علمی کشاورزی)

جلد ۴۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱

doi 10.22055/ppr.2022.17475

واکنش ارقام مختلف انار (*Punica granatum*) نسبت به نماتد ریشه‌گرهی *Meloidogyne incognita* race 2

محمد محمودی سرابی^{۱*} و مجید اولیا^۲

۱- *نویسنده مسوول: دانش آموخته کارشناسی ارشد بیماری‌شناسی گیاهی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد،

ایران (m31.mahmoudi@gmail.com)

۲- دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۹

چکیده

نماتدهای ریشه‌گرهی (*Meloidogyne spp.*) از جمله عوامل بیماری‌زای بسیار مهمی هستند که خسارت زیادی به محصولات کشاورزی وارد می‌سازند. روش‌های متعددی مانند تناوب زراعی، ارقام مقاوم و ترکیبات شیمیایی برای کنترل آن‌ها به کار گرفته می‌شود. استفاده از ارقام مقاوم یکی از مهم‌ترین رویکردها در مدیریت نماتدهای انگل گیاهی محسوب می‌گردد. در این تحقیق واکنش ۱۵ رقم مختلف انار نسبت به نژاد دوم نماتد مولد ریشه‌گرهی، (*Meloidogyne incognita*) مورد بررسی قرار گرفت. پس از انجام نمونه‌برداری، خصوصیات ریخت‌شناسی نماتدهای جداسازی شده بررسی و تعیین گونه صورت گرفت. قلمه‌های انار ریشه‌دار شده، به ازای هر کیلوگرم خاک با ۲۰۰۰ تخم و لارو سن دوم نماتد مایه‌زنی شدند. ۹۰ روز پس از مایه‌زنی، صفات رشدی میزبان (طول، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه) و صفات تولیدمثلی نماتد (تعداد گال، توده تخم و فاکتور تولید مثل) مورد ارزیابی قرار گرفت. درجه‌بندی نهایی بر اساس روش درجه بندی کانتوساز انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 24 و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون Duncan و T-test انجام گرفت. نتایج نشان داد رقم ملس ترش با شاخص گال ۲ و فاکتور تولیدمثل کمتر از ۱ به‌عنوان رقم متحمل، ارقام ملس شیرین و تابستانی با فاکتور گال ۳ و فاکتور تولیدمثل کمتر از ۱ به‌عنوان رقم فوق حساس و ارقام آقا محمد علی، آلك ترش، بهابادی، بریت پوست قرمز، گلنار، نادری، بی‌هسته راور، پوست سفید شیرین، بی‌هسته شمال، پوست سیاه و سوسکی تفت با شاخص گال ۳ و ۴ و فاکتور تولیدمثل بیشتر از ۱ به‌عنوان رقم حساس تلقی می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: درختان میوه، صفات رشدی، غربالگری، فاکتور تولیدمثل، مقاومت

دبیر تخصصی: دکتر محمد رضا عتیقی

Citation: Mahmoudisarabi, M. & Olia, M. (2022). Reaction of different pomegranate (*Punica granatum*) cultivars to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* race 2). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 45(3), 117-134. <https://doi.org/10.22055/ppr.2022.17475>.

مقدمه

انار یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران محسوب می‌شود و از نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. انار با حدود ۹۱۷ هزار تن و تخصیص ۴/۵ درصد تولید کل محصولات باغی، رتبه ششم تولید را در کشور دارد. استان‌های فارس، مرکزی، خراسان رضوی و اصفهان در رتبه‌های اول تا چهارم تولیدکنندگان انار در کشور قرار دارند (Anonymous, 2020).

انار یکی از گیاهان حساس نسبت به گونه‌های مختلف نماتد مولد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne spp.*) است. این گروه از نماتدها از نظر اقتصادی، از مهم‌ترین نماتدهای انگل گیاهی در سطح جهان می‌باشند که به اغلب محصولات کشاورزی حمله می‌کنند. پراکندگی جهانی، دامنه‌ی میزبانی وسیع و تعامل با سایر عوامل بیماری‌زا، آن‌ها را در رده مهم‌ترین بیمارگرهای گیاهی قرار داده است (Hussey & Janssen, 2002). با توجه به گسترش نماتدهای ریشه‌گرهی و دامنه وسیع میزبانی، مبارزه با آن‌ها بسیار ضروری است. با در نظر گرفتن مضرات مبارزه شیمیایی، استفاده از ارقام مقاوم به عنوان رویکردی مناسب برای مبارزه با این عوامل بیمارگر مطرح است. استفاده از ارقام مقاوم به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء مدیریت تلفیقی نماتدها و یک روش ایمن قلمداد شده است (Starr et al., 2002).

روش‌های مختلفی برای درجه‌بندی شدت آلودگی در گیاهان و ارزیابی مقاومت آنان نسبت به نماتدهای ریشه‌گرهی در نظر گرفته شده است که می‌تواند بر پایه درجه تشکیل گال نماتد روی ریشه، تعداد کیسه‌های تخم یا جمع کل تخم‌های جمع‌آوری شده از ریشه ارزیابی شود. در مورد برخی از محصولات، تشکیل گال ریشه نمی‌تواند یک شاخص رضایت‌بخش برای ارزیابی مقاومت یا حساسیت

گیاه نسبت به نماتد ریشه‌گرهی باشد. در این موارد ویژگی تشکیل گال و تولیدمثل نماتد به صورت توأم برای ارزیابی گیاهان استفاده می‌شود (Fassuliotis, 1985). بر اساس نظر Netscher and Mauboussin (1973) کاربرد ارقام مقاوم به تنهایی یا به صورت تلفیقی با سایر روش‌های مدیریتی، در وضعیت بوم‌شناختی و شرایط محیطی مناسب اثر مثبتی بر کنترل نماتد ریشه‌گرهی دارد. پایه‌های رویشی هیبرید هلو و بادام (*Garnem, Felinem* و *Monegro*) مقاوم به نماتدهای ریشه‌گرهی، سازگار با خاک‌های آهکی و دارای سازگاری پیوند با طیف وسیعی از ارقام هلو و بادام توصیف شده است (Felip, 2009).

گونه‌های نماتد *M. javanica* و *M. incognita* از روی ریشه درختان هلو، بادام، زردآلو، مو، انار، انجیر، پسته، توت، سنجد، گردو، آلبالو و آلو در ایران جداسازی و شناسایی گردیده است (Akhiani et al., 1984). همچنین در تحقیق دیگری دو رقم آلبالو، دو رقم زردآلو، یک رقم بادام و یک رقم آلوچه مقاوم به نماتد ریشه‌گرهی معرفی گردیده است (Akhiani, 1984). Akhiani and Behdad (1986) با بررسی مقاومت پایه‌های درختان میوه هسته‌دار در برابر نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* اولین کار اصولی را در زمینه مقاومت به انجام رسانیدند. در بررسی عکس‌العمل ارقام اهلی و وحشی پسته نسبت به گونه‌های *M. incognita* یک توده وحشی از استرالیا دارای مقاومت در حد بالا^۱ (VR) و توده‌های وحشی *Pistacia mutica* جمع‌آوری شده از استان‌های اصفهان و کرمان با درجه مقاومت (R) و توده‌های وحشی *Pistacia khinjuk* جمع‌آوری شده از استان‌های اصفهان و کرمان با درجه تحمل (T) تشخیص داده شد. همچنین در تعدادی از ارقام اهلی واکنش‌های کمتر مقاوم^۲ (SR) و فوق حساسیت^۳ (HS) مشخص گردید (Madani et al., 1995).

3- Highly Susceptible

1- Very Resistance
2- Susceptible Resistant

فراهم گردید. برای شناسایی گونه نماتد، از نماتدهایی که به روش تک کیسه تخم تکثیر شده بودند استفاده گردید و شناسایی بر اساس بررسی شبکه کوتیکولی انتهای بدن نماتدهای ماده بالغ و خصوصیات ریخت‌شناختی نماتد ماده بالغ و لارو مرحله دوم (J_2) صورت گرفت (Hartman & Sasser, 1985). ریشه گیاهی که با استفاده از تک کیسه تخم آلوده شده، از خاک خارج و بعد از تکه تکه شدن با خاک سترون مخلوط گردید. سپس بذره‌های گوجه‌فرنگی رقم فلات در آن‌ها کاشته شد و در نهایت بعد از چهار ماه جمعیت زیادی از نماتد ریشه‌گرهی خالص‌سازی شده به دست آمد.

برای تعیین نژاد نماتد، از آزمون میزبان‌های افتراقی استفاده گردید (Hartman & Sasser, 1985). قطعات ریشه آلوده به نماتد *M. incognita* در داخل شیشه‌های درب‌دار محتوی هیپوکلریت سدیم تجاری ۰/۶ درصد غوطه‌ور و به شدت تکان داده شد تا ماده ژلاتینی اطراف تخم‌ها آزاد شود. بدین ترتیب تخم‌های نماتد از ریشه جدا و روی الک ۴۰۰ مش جمع‌آوری شده و پس از شمارش ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ تخم از جمعیت خالص و تکثیر شد. در پای ریشه چهار تکرار از هر کدام از میزبان‌های افتراقی استاندارد (بادام زمینی رقم Florunner، توتون رقم NC95، فلفل رقم Early California Wonder، پنبه رقم Delta pine 61، هندوانه رقم Charleston grey و گوجه‌فرنگی رقم Rutgers) که قبلاً به مدت یک ماه در گلدان‌های حاوی خاک سترون، در شرایط مساعد گلخانه (دمای ۲۵-۲۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۴ ساعت روشنایی) با آبیاری مناسب پرورش یافته بودند، اضافه گردید. این آزمایش دو بار تکرار شد و در هر مرتبه پس از یک ماه که از آلوده کردن گیاهان گذشته بود با توجه به عکس‌العمل میزبان‌های افتراقی در مقابل نماتد، نژاد فیزیولوژیک گونه نماتد ریشه‌گرهی مشخص گردید (شکل ۱).

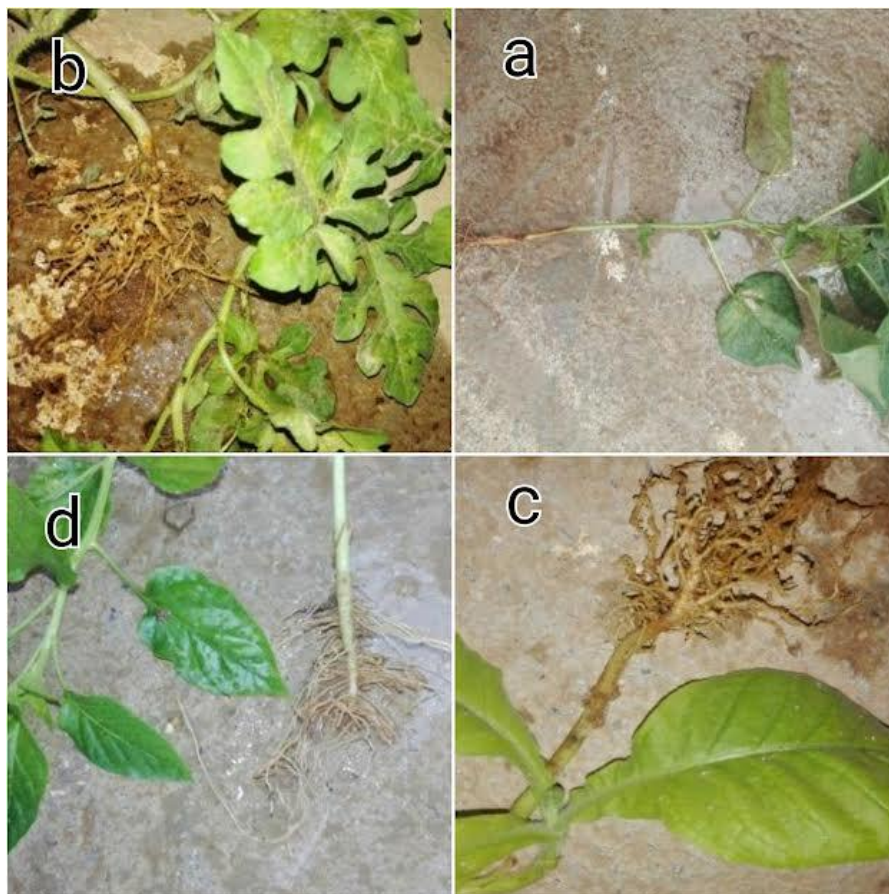
نتایج حاصل از عکس‌العمل تعدادی از پایه‌ها و ارقام بادام نسبت به نماتد *M. javanica* نشان داد که شاخص‌های رشدی گیاهان پیوندی در ترکیب‌های مختلف پایه و پیوندک موید این است که در بین پایه‌های حساس به حمله نماتد (GF677)، هیبرید محلی هلو و بادام شورابی ۱ و ۲، رشد پیوندک روی پایه هیبرید محلی هلو و بادام شورابی ۲ نسبت به دو پایه دیگر بیش‌تر بوده به‌نحوی که بعضی از شاخص‌های رشدی مشابه پایه غیرحساس GN15 است. اثر متقابل بین پیوندک پر رشد رقم مامایی و پایه‌های هیبرید محلی هلو و بادام شورابی ۱ و ۲ باعث تحمل خسارت ناشی از حمله نماتد شد (-Sahraneshin Samani & Fadaee-Tehrani, 2015).

برخلاف بسیاری از گیاهان که ارقام مقاوم نسبت به نماتدهای ریشه‌گرهی در آن‌ها شناسایی شده، در مورد انار، هنوز تحقیقی در خصوص شناسایی ارقام مقاوم به این نماتد صورت نگرفته است. هدف از این پژوهش، بررسی عکس‌العمل ۱۵ رقم انار مورد کشت در ایران نسبت به نژاد دوم *M. incognita* و شناسایی و معرفی ارقام احتمالاً مقاوم و یا متحمل نسبت به این نماتد است.

مواد و روش‌ها

تهیه جمعیت خالص نماتد

برای تهیه جمعیت اولیه از گونه و نژاد نماتد مورد نظر، ابتدا از باغ‌های آلوده شهرستان ساوه در استان مرکزی تعدادی نمونه‌ی ریشه آلوده انار رقم ملس ترش همراه با خاک اطراف آن‌ها جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. به‌منظور تهیه جمعیت خالص نماتد، یک توده تخم در نزدیکی ریشه‌ی نشاء گوجه‌فرنگی رقم حساس فلات در مرحله ۲ تا ۴ قرار داده شد. نشاء‌های مایه‌زنی شده به مدت ۶۰ روز در شرایط مساعد گلخانه (دمای ۲۵-۲۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۴ ساعت روشنایی) با آبیاری مناسب نگهداری شدند و جمعیت خالص مورد نیاز



شکل ۱- عکس العمل میزبان های افتراقی: پنبه رقم Delta pine 61 (a)، هندوانه رقم Charleston grey (b)، توتون رقم NC95 (c) و فلفل رقم Early California Wonder (d)

Figure 1. Differential host response: Delta pine 61 Cotton variety (a), Charleston grey Watermelon variety (b), NC95 Tobacco variety (c), Early California Wonder Pepper variety (d)

تهیه قلمه‌ها و مایه‌زنی آن‌ها

به منظور بررسی عکس العمل ارقام انار نسبت به نماتد ریشه گرهی، ارقام آقا محمدعلی، ملس شیرین، پوست سیاه، گلنار، بهابادی، ملس ترش، بریت پوست قرمز، آلك ترش، شهسوار یزدی، پوست سفید شیرین، بی‌هسته شمال، بی‌هسته راور، سوسکی تفت، نادری و تابستانی از کلکسیون ملی انار ساوه تهیه گردید. قلمه‌های خشبی با طول حدود ۲۰ سانتی‌متر تهیه و در کیسه‌های نشتی در بستر ماسه سترون به وزن حدود چهار کیلوگرم، کشت شدند. عملیات داشت شامل آبیاری منظم و

سم‌پاشی علیه آفات و بیماری‌ها در طی مراحل رشد انجام گردید.

پس از گذشت سه ماه و اطمینان از رشد کافی شاخساره و ریشه‌زایی قلمه‌ها، آزمایشی با مایه‌زنی تیمارهای دریافت‌کننده نماتد به تعداد ۲۰۰۰ تخم و لارو نماتد به ازای هر کیلوگرم خاک انجام شد (Hosseininejad & Vajedkhan, 2000). مایه‌زنی با ایجاد سه حفره به عمق ۵ سانتی‌متر در پای طوقه‌ی گیاه و تزریق سوسپانسیون نماتد انجام شد. در تیمارهای شاهد، به گلدان‌ها فقط آب مقطر سترون اضافه گردید. گلدان‌ها در داخل گلخانه با شرایط

برای شمارش لارو مرحله دوم، محتویات تشتک‌های پتری در یک بشر ریخته شده و حجم سوسپانسیون یادداشت گردید. سپس در سه نوبت بعد از بهم زدن محتویات بشر، جهت یکنواخت شدن سوسپانسیون یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون برداشته شده و در یک ظرف شمارش ریخته شد و در زیر استرنئومیکروسکوپ، تعداد لارو مرحله دوم شمارش گردید (Hussey & Janssen, 2002). سپس تعداد کل جوان مرحله دوم از معادله زیر به دست آمد:

تعداد کل جوان لارو دوم = میانگین لارو مرحله دوم در یک میلی‌لیتر \times حجم کل سوسپانسیون
در نهایت حجم سوسپانسیون لازم برای ارزیابی ارقام مشخص گردید.

فاکتور تولیدمثل (Rf) از طریق فرمول $Rf = Pf/Pi$ که در آن Pf برابر جمعیت نهایی (تعداد کل لاروها در خاک و تعداد کل تخم‌ها روی ریشه تر) و Pi جمعیت اولیه است (۸۰۰۰ عدد به ازای ۴ کیلوگرم خاک)، محاسبه گردید (Walter et al., 1999). عکس‌العمل میزان با توجه به میزان گال ایجاد شده و تولیدمثل نماتد براساس روش کانتوسنز (Canto-Saenz, 1983) مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱).

نتایج و بحث

شناسایی گونه و نژاد فیزیولوژیک

الگوی انتهای بدن نماتد ماده بالغ از شکاف فرج، مخرج، انتهای دم و شیارهای کوتیکولی انتهای بدن که به صورت ساده و مضرس (دنداندار)، ناحیه تناسلی را در بر می‌گیرد تشکیل شده است (شکل ۲). ناحیه تناسلی در این جنس، صاف و تخت است و همچنین کمان پشتی شبکه کوتیکولی انتهای بدن، چهار گوش و بلند و طول استایلت ماده ($16/5 \pm 1$ میکرومتر) که با شرح اصلی گونه *M. incognita* تطابق نشان داد.

رطوبتی و دمایی مطلوب نگهداری و آبیاری به صورت سه روز درمیان صورت گرفت. گیاهان به مدت سه ماه بعد از مایه‌زنی با نماتد در شرایط گلخانه (دمای ۲۲-۲۶ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شب) نگهداری شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به مرحله‌ی اجرا درآمد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون Duncan (برای صفات رشدی نماتد) و T-Test (برای صفات رشدی گیاه میزبان) مورد مقایسه قرار گرفتند و داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS 24 تجزیه و تحلیل شدند.

ارزیابی شاخص‌های رشدی گیاه

یک روز قبل از ارزیابی، آبیاری متوقف شده و پس از خارج ساختن آرام بوته‌ها و شستن ریشه و خشک کردن آن با کمک حوله‌ی کاغذی، شاخص‌های رشدی گیاه (طول، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه) اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری وزن تر، نمونه‌ها در آون و درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت تقریبی ۴۸ ساعت خشک شدند، سپس وزن شدند و وزن خشک به دست آمد.

ارزیابی شاخص‌های تولیدمثلی نماتد

تعداد گال‌ها و توده‌های تخم در یک گرم ریشه شمارش و داده‌های به دست آمده ثبت شد. شاخص گال به روش تایلور و ساسر و بر اساس سیستم درجه‌بندی صفر تا پنج محاسبه گردید. در این درجه‌بندی شاخص صفر برای حالتی که تعداد گال یا توده تخم صفر است و شاخص‌های یک تا پنج به ترتیب برای تعداد گال یا توده تخم ۱ تا ۲، ۳ تا ۱۰، ۱۱ تا ۳۰، ۳۱ تا ۱۰۰، و بیشتر از ۱۰۰ در نظر گرفته شد (Taylor & Sasser, 1978).

استخراج لارو مرحله دوم نماتد از خاک

برای جداسازی و تخمین تعداد لارو مرحله دوم در خاک هر گلدان، مقدار ۱۰۰ گرم خاک پس از شستشو، با روش الک سانتریفیوژ شد (Caveness & Jepsen, 1955).

جدول ۱- درجه بندی واکنش میزبان نسبت به نماتد با توجه به شاخص گال و تولیدمثل نماتد (Canto-Saenz 1983)

Table 1. Host response according to gall index and reproductive nematode (Canto-Saenz 1983).

Gall index	Nematode Reproduction factor	Reaction
GI>2	RF>1	Susceptible
GI>2	RF≤1	Hypersusceptible
GI≤2	RF>1	Tolerant
GI≤2	RF≤1	Resistant



شکل ۲- شبکه کوتیکولی انتهای بدن نژاد ۲ نماتد ریشه گرهی *Meloidogyne incognita* race 2
Figure 2. Perineal patterns of *Meloidogyne incognita* race 2

گونه *M. incognita* توانست روی گیاهان توتون، گوجه فرنگی، فلفل و هندوانه به خوبی تکثیر یافته و غده ایجاد نماید، در حالی که پاسخ گیاهان پنبه و بادام زمینی به این گونه منفی بود. بنابراین جمعیت مورد استفاده، نژاد دوم گونه *M. incognita* تشخیص داده شد.

صفات رشدی گیاه (شاخساره و ریشه):

در تیمارهای مایه زنی شده با نماتد، بیشترین طول شاخساره به ترتیب در ارقام آلكك ترش، پوست سفید شیرین

گره‌های مشخص استایلت، میانگین طول بدن (۴۰۲/۷±۲۵ میکرومتر)، طول استایلت (۱۱/۸±۰۹ میکرومتر)، طول دم (۵۲/۱±۵۵ میکرومتر) و طول بخش روشن دم^۱ (۱۲/۹±۸ میکرومتر) از جمله خصوصیات ریخت سنجی و ریخت شناسی لارو مرحله دوم جمعیت مورد بررسی بودند که با خصوصیات مورد اشاره در کلید شناسایی Subbotin et al. (2021) برای گونه *M. incognita* مطابقت نشان دادند.

در ارقام نادری، تابستانی و پوست سفید شیرین مشاهده شد که تفاوت معنی داری با بقیه ارقام داشتند ($P \leq 0.01$) و ($P \leq 0.05$). در این خصوص، کمترین وزن تر ریشه مربوط به ارقام پوست سیاه، بی هسته شمال و بی هسته راور بود. بیشترین کاهش وزن تر ریشه به واسطه مایه زنی نماتد، به ترتیب در ارقام تابستانی، گلنار و بی هسته شمال و کمترین کاهش در ارقام پوست سفید شیرین، شهسوار یزدی و سوسکی تفت و بیشترین وزن خشک ریشه در تیمارهای مایه زنی شده، به ترتیب در ارقام نادری، شهسوار یزدی و تابستانی بود که با بقیه ارقام تفاوت معنی داری داشتند. در این مورد، کمترین وزن خشک ریشه مربوط به ارقام آقا محمدعلی، سوسکی تفت و ملس شیرین بود. بیشترین افزایش وزن خشک ریشه به واسطه مایه زنی نماتد، به ترتیب در ارقام نادری و شهسوار یزدی و سوسکی تفت و کمترین اختلاف در ارقام آقا محمدعلی و پوست سفید شیرین اتفاق افتاد. با در نظر گرفتن اثر مایه زنی بر صفت های رویشی مرتبط با شاخساره، ارقام آلک ترش، پوست سفید شیرین، شهسوار یزدی، تابستانی و نادری کمترین آسیب ها را از نماتد دیدند. در مورد صفت های رویشی مرتبط به ریشه، ارقام پوست سفید شیرین، شهسوار یزدی و سوسکی تفت کمترین آسیب ها را از نماتدها دیدند.

با توجه به این که صفات رویشی ارقام با یکدیگر متفاوت هستند، ارقام تلقیح شده با شاهد همان رقم مقایسه و مقایسه ارقام توسط درصد تغییرات شاخص های اندازه گیری شده (رشد رویشی شاخساره و ریشه) نسبت به یکدیگر به صورت درصد تغییرات در جدول ها به صورت ستونی قرار گرفت (جدول های ۲ و ۳).

درصد تغییرات شاخص های رشدی از معادله زیر به دست آمد:

و شهسوار یزدی مشاهده شد که تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۱٪ با بقیه ارقام داشتند. (جدول ۲). بیشترین کاهش طول شاخساره تیمار مایه زنی شده با نماتد، نسبت به شاهد (بدون نماتد) به ترتیب در ارقام بی هسته شمال و بی هسته راور و کمترین کاهش در ارقام ملس ترش و شهسوار یزدی مشاهده شد. بیشترین وزن تر شاخساره در تیمارهای مایه زنی شده با نماتد به ترتیب در ارقام تابستانی، نادری و پوست سفید شیرین مشاهده شد که تفاوت معنی داری با بقیه ارقام داشتند ($P \leq 0.01$) و کمترین وزن تر شاخساره مربوط به رقم آقا محمدعلی بود. بیشترین کاهش وزن تر شاخساره به واسطه مایه زنی نماتد، به ترتیب در ارقام شهسوار یزدی و بی هسته راور و کمترین کاهش در ارقام ملس شیرین و آلک ترش بود. بیشترین وزن خشک شاخساره در تیمارهای مایه زنی شده به ترتیب در ارقام تابستانی و نادری مشاهده شد و کمترین وزن خشک شاخساره مربوط به ارقام آقا محمدعلی، بی هسته شمال و ملس شیرین بود. بیشترین کاهش وزن خشک شاخساره ناشی از نماتد، به ترتیب در ارقام پوست سفید شیرین و گلنار و کمترین اختلاف در ارقام آلک ترش و ملس شیرین اتفاق افتاد.

در تیمارهای آلوده به نماتد بیشترین طول ریشه به ترتیب در ارقام بهابادی، گلنار و بی هسته شمال مشاهده شد که تفاوت معنی داری در سطح ۱٪ با بقیه ارقام داشتند (جدول ۳). در تیمارهای بدون نماتد، بیشترین طول ریشه به ترتیب مربوط به ارقام گلنار، بهابادی و پوست سیاه بود. همان طور که در جدول ۳ مشخص شده، بیشترین کاهش طول ریشه به واسطه مایه زنی نماتد، به ترتیب در ارقام گلنار و پوست سیاه اتفاق افتاد و کمترین کاهش در ارقام بی هسته راور، تابستانی و پوست سفید شیرین وجود داشت. بیشترین وزن تر ریشه در تیمارهای مایه زنی شده به ترتیب

$$\text{درصد تغییر ناشی از اعمال نماتد} = (\text{عدد بدون نماتد} - \text{عدد با نماتد}) / \text{عدد بدون نماتد} \times 100$$

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات شاخساره در ۱۵ رقم انار مایه‌زنی شده و نشده با نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne incognita*).
Table 2. Mean comparison of stem-related parameters of 15 pomegranate cultivars inoculated by race 2 of *Meloidogyne incognita*.

Cultivars	Inoculation	Stem length (cm)	Change (%)	Fresh weight of stem (g)	Change (%)	Dry weight of stem (g)	Change (%)
Agha Mohammad Ali	Inoculated	43±1.41**	41.89	5.90±0.86*	20.05	3.34± 0.43*	22.50
	Control	74±0.81		7.38±0.17		4.31± 0.23	
Alak-e Torsh	Inoculated	110±6.81**	15.59	8.34±0.18ns	11.83	4.6±0.33ns	3.36
	Control	130.33±9.9		9.46±0.43		4.76± 0.13	
Bahabadi	Inoculated	87±1.82**	14.42	8.74±0.37**	24.32	5.49±0.34*	16.69
	Control	101.66±1.24		11.55±0.28		6.59±0.37	
Berit-e Poust Ghermez	Inoculated	79.25±7.95**	15.98	7.84±0.26**	25.33	4.43±0.27*	32.15
	Control	94.33±0.47		10.5±0.38		6.53±0.28	
Golnar	Inoculated	73±1.63**	29.35	8.27±0.25**	30.09	4.67±0.37**	29.34
	Control	103.33±1.24		11.83±2.082		6.61±0.17	
Malas-e Shirin	Inoculated	62.5±1.29*	13.98	8.04±0.61*	14.19	4.21±0.23ns	4.5
	Control	72.66±1.24		9.37±0.31		4.41±0.17	
Malas-e Tortsh	Inoculated	90.75±1.70*	4.47	9.25±0.40**	18.21	5.26±0.28*	19.32
	Control	95±6.81		11.31±0.13		6.52±0.29	
Naderi	Inoculated	88.75±2.75**	29	12.31±1.21**	20.37	6.29±0.2*	13.48
	Control	125±4.81		15.46±3.03		7.27±0.1	
Bihasteh-e Ravar	Inoculated	78±1.82**	40.45	8.69±0.19**	31.46	4.61±0.26*	27.28
	Control	131±7.81		12.68±1.13		6.34±0.12	
Poust Sefid-e Shirin	Inoculated	101±2.16**	25.54	9.80±1.23**	19.54	5.52±0.25**	26.98
	Control	135.66±1.24		12.18±2.17		7.56±0.18	
Bihasteh-e Shomal	Inoculated	38.25± 0.5**	54.46	6.66±0.36**	17.87	3.54±0.21ns	6.34
	Control	84±3.62		8.11±0.16		3.78±0.03	
Poust Siah	Inoculated	44±4.24**	38.02	8.61±0.39**	16.24	4.52±0.44*	13.57
	Control	71±6.81		10.28 0.14		5.23±0.17	
Tabestani	Inoculated	80.25±2.62**	12.77	14.03±4.18**	14.76	7.38±0.3*	13.78
	Control	92±8.81		16.46±.28		8.56±0.31	
Souski-e Taft	Inoculated	92±2.44**	32.51	7.9±0.51**	30.76	4.36±0.37**	32.19
	Control	136.33±9.47		11.41±.32		6.43±0.19	
Shahsavari-e Yazdi	Inoculated	92.5±3c**	8.71	9.04±0.45**	28.65	5.16±0.2*	21.1
	Control	101.33± 7.47		12.67±0.43		6.54±0.12	

ns, ** and * : Non-significant and significant at the probability level of 1 and 5%, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات ریشه در ۱۵ رقم انار مایه زنی شده و نشده (شاهد) به نماتد ریشه گرهی *Meloidogyne incognita*

Table 3. Mean comparison of root-related parameters of 15 pomegranate cultivars inoculated with root-knot nematode *Meloidogyne incognita*.

Cultivars	Inoculation	Root length (cm)	Change (%)	Fresh weight of root (g)	Change (%)	Dry weight of root (g)	Change (%)
Agha Mohammad Ali	Inoculated	30.25±2.22**	24.99	14.82±2.8**	-21.07	3.4±0.24**	-24.08
	Control	40.33±0.47		12.24±1.51		2.74±0.03	
Alak-e Torsh	Inoculated	28.25±0.96**	15.24	18.18±1.6**	-28.57	4.41±0.26**	-23.52
	Control	33.33±0.47		14.14±2.36		3.57±0.17	
Bahabadi	Inoculated	36±1.15 **	22.64	16.81±2.38**	-23.87	4.55±0.28**	-31.88
	Control	46.67±0.47		13.57±3.13		3.45±0.06	
Berit-e Poust Ghermez	Inoculated	23.5±1.29**	30.88	15.21±2.15	-16.19	3.45±0.19ns	0
	Control	34±0.82		13.09±1.62**		3.45±0.18	
Golnar	Inoculated	31.75±2.22**	36.91	23.16±2.11	-39.18	5.34±0.06	-16.84
	Control	50.33±0.47		16.64±3.68**		4.57±0.04*	
Malas-e Shirin	Inoculated	24.25±0.96**	231.77	16.88±1.33**	-36.45	3.72±0.41*	-43.07
	Control	31±0.82		12.37±2.27		2.6±0.17	
Malas-e Tortsh	Inoculated	20.5±1.29**	30.10	18.66±4.43**	-14.69	4.66±0.23**	-40.36
	Control	29.33±0.47		16.18±2.09		3.32±0.06	
Naderi	Inoculated	25.25±0.5**	21.09	28.26±3.52	-15.58	7.36±0.14**	-104
	Control	32±0.82		24.45±3.53**		3.6±0.23	
Bihasteh-e Ravar	Inoculated	24.5±0.58*	11.45	16.92±1.44**	-46.11	5.36±0.1**	-61.44
	Control	27.67±0.47		11.58±2.12		3.32±0.02	
Poust Sefid-e Shirin	Inoculated	32±1.15*	12.73	20.61±2.21*	-31	4.93±0.1**	-18.37
	Control	36.67±0.47		20.3±1.24		4.19±0.24	
Bihasteh-e Shomal	Inoculated	30.75±0.96**	23.75	14.44±2.24**	-62.42	4.23±0.19**	-29.35
	Control	40.33±1.25		8.89±1.42		3.27±0.19	
Poust Siah	Inoculated	29.5±2.08**	34.92	11.08±2.57**	-43.52	3.48±0.21**	-128.94
	Control	45.33±0.47		7.72±2.45		1.52±0.25	
Tabestani	Inoculated	31±1.15*	12.92	22.34±1.48**	-76.6	5.55±0.2**	-78.45
	Control	35.6±7 0.47		12.65±3.14		3.11±0.08	
Souski-e Taft	Inoculated	29±1.83**	30.28	17.28±1.12	-13.16	6.51±0.11	-90.35
	Control	41.6± 1.25		15.27±2.74**		3.42±0.15**	
Shahsavari-e Yazdi	Inoculated	28.25±1.5**	24.32	15.16±1.45	-6.46	5.79±0.86	-132
	Control	37.33±1.47		14.24±2.5**		2.49±1.66**	

ns, ** and * : Non-significant and significant at the probability level of 1 and 5%, respectively

می‌گردد (Walia & Bajaj, 2003). همچنین افزایش ریشه‌های فرعی توسط نماتد ریشه‌گرهی (واکنش میزبان نسبت به حضور نماتد)، عامل افزایش وزن در ریشه‌های تیمار است (Perry et al., 2009).

هورمون اکسین باعث القای ریشه‌زایی می‌شود و پس از ریشه‌زایی در صورت باقی ماندن در ریشه، مانع از رشد ریشه می‌شود. نماتد ریشه‌گرهی دائماً باعث تحریک تولید اکسین می‌شود، در نتیجه همیشه در ریشه اکسین وجود دارد. بنابراین طول ریشه‌های آلوده به نماتد نسبت به ریشه‌های سالم کوتاه‌تر است. همچنین کاهش رشد ریشه را می‌توان به اختلالات ایجاد شده در نوک ریشه نسبت داد. به این ترتیب که نماتد ریشه‌گرهی با حمله به نوک ریشه باعث توقف رشد طولی در قسمت‌های مورد حمله گردیده و گیاه را به تولید ریشه‌های فرعی تحریک می‌کند (Perry et al., 2009). با تشکیل ریشه‌های فرعی، نماتد به نوک آن‌ها نیز حمله می‌کند و از رشد آن‌ها ممانعت می‌کند و به این ترتیب باعث کوتاهی ریشه‌ها در ارقام آلوده می‌گردد (جدول ۳). در اثر کاهش طول ریشه، جذب مواد غذایی نیز کمتر می‌شود. از طرف دیگر بخشی از مواد غذایی که توسط ریشه جذب شده، توسط نماتدها و قسمتی هم توسط سلول‌های غول‌آسا مصرف می‌شود.

در بررسی که توسط Abdoullahi (2016) روی واکنش مقاومت ده رقم خیار گلخانه‌ای نسبت به نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* صورت گرفت مشخص شد که همه ارقام حساس بوده و طول ریشه در این ارقام به واسطه مایه‌زنی نماتد کاهش یافته است. همچنین در تحقیقات Sahraneshin-Samani and Fadaee-Tehrani (2015) که روی بیماری‌زایی و خسارت نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* روی چند نوع ترکیب پایه و پیوندک بادام صورت گرفت، نشان داده شد که طول ریشه در تیمارهای دارای نماتد کاهش یافته است. اما در بررسی که توسط Moslehi et al. (2010) روی واکنش مقاومت شش رقم

وزن تر، خشک و طول شاخساره به دلیل کاهش جذب مواد غذایی و کاهش میان‌گره‌ها در تیمارهای آلوده کاهش یافت (جدول ۲). در پی افزایش غلظت اکسین در ریشه که ناشی از فعالیت نماتد بوده و سبب کاهش طول ریشه و کاهش جذب مواد غذایی می‌شود، طول شاخساره و به دنبال آن وزن شاخساره به دلیل کاهش مواد غذایی، در تیمارهای آلوده کاهش می‌یابد. مقدار کمی از مواد غذایی جذب شده به وسیله ریشه توسط نماتدها و بخشی هم در سلول‌های غول‌آسا مصرف می‌شود (Berg & Tylor, 2008). در بررسی که روی عکس‌العمل تعدادی از پایه‌ها و ارقام بادام به نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* صورت گرفت مشخص شد طول پیوندک بیش از سایر شاخص‌های رشدی تحت تاثیر نماتد قرار دارد (Sahraneshin-Samani & Fadaee-Tehrani, 2015). در بررسی که مقاومت ارقام و لاین‌های مختلف لوبیا را نسبت به نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* در شرایط گلخانه ارزیابی کردند، نشان داده شد که در تمام نمونه‌ها طول ساقه در تیمار آلوده نسبت به شاهد کاهش داشته است (Rahimi, 2016). در بررسی با افزایش جمعیت نماتد *M. javanica* در خاک، وزن تر و خشک برگ در ارقام تجاری توتون در شرایط گلخانه‌ای کاهش پیدا کرد که ناشی از کاهش مواد غذایی و کاهش طول میان‌گره‌ها، در تیمارهای آلوده است (Sajjadi et al., 2012).

تحلیل داده‌ها نشان‌دهنده افزایش وزن تر و خشک ریشه‌های آلوده نسبت به ریشه‌های سالم بود (جدول ۳). لاور مرحله دوم نماتد ریشه‌گرهی پس از ورود، پروتئاز ترشح می‌کند که باعث شکستن پروتئین‌های گیاه میزبان می‌شود. تجمع اسیدهای آمینه به خصوص تریپتوفان که پیش نیاز تولید ایندول استیک است موجب افزایش اکسین و عدم تعادل هورمونی در محل تغذیه‌ای نماتد و ایجاد گال یا غده در محل ورود لاور مرحله دوم (J_2)

صفات تولیدمثلی نماتد

بیشترین تولید گال به ترتیب در ارقام ملس ترش، بریت پوست قرمز و بی هسته شمال و کمترین تولید گال در ارقام ملس شیرین، تابستانی و آقا محمدعلی مشاهده شد (جدول ۴). همچنین بیشترین تعداد توده تخم به ترتیب در ارقام بی هسته شمال و نادری و کمترین تعداد در ارقام ملس شیرین و آقا محمدعلی بود ($p \leq 0.01$). (جدول ۴). بیشترین تعداد تخم در هر توده تخم به ترتیب در ارقام پوست سفید شیرین و آقا محمدعلی و کمترین تعداد تخم در ارقام سوسکی تفت و تابستانی دیده شد (جدول ۴). بیشترین تعداد لارو مرحله دوم در ۱۰۰ گرم خاک به ترتیب در ارقام بی هسته راور و آقا محمدعلی و کمترین تعداد لارو در ارقام نادری و تابستانی مشاهده شد (جدول ۵). جمعیت کل نماتد در خاک به ترتیب در ارقام پوست سفید شیرین و بی هسته شمال، بیشترین و در ارقام تابستانی و ملس شیرین، کمترین بود (جدول ۵) بیشترین فاکتور تولیدمثل به ترتیب در ارقام پوست سفید شیرین و بی هسته شمال و کمترین فاکتور تولیدمثل در ارقام تابستانی و ملس شیرین بود.

گوجه‌فرنگی نسبت به نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* که در شرایط گلخانه صورت گرفت مشخص شد که همه ارقام مزرعه‌ای حساس ولی ارقام گلخانه‌ای متحمل و مقاوم بودند. همچنین وزن تر ریشه در این ارقام به واسطه‌ی مایه‌زنی نماتد افزایش یافته است.

هر چند در این نوع بررسی‌ها اطلاعات مفیدی به دست می‌آید، اما با توجه به شرایط مساعد طبیعی مثل دما، نور و رطوبت و عدم رقابت با سایر عوامل، ممکن است صفات رشدی نوسان‌های زیادی را نشان دهد. بنابراین در انتخاب رقم مناسب، بهتر است از صفات مرتبط با نماتد و به عبارتی ویژگی‌های تکثیری نماتد در میزبان بیش‌تر استفاده شود و صفات تولیدمثلی نماتد که در اغلب پژوهش‌ها به عنوان صفتی مهم در ارزیابی ارقام مورد بررسی قرار می‌گیرد، به عنوان شاخص اصلی مقاومت یا حساسیت رقم در نظر گرفته می‌شود. برای این منظور، برخی ویژگی‌ها از جمله میزان نفوذ لارو مرحله دوم به درون ریشه، تعداد گال روی ریشه، تعداد توده تخم روی سیستم ریشه و میزان افزایش جمعیت نماتد مورد توجه قرار می‌گیرند (Ghaedi & Abd-olahi., 2014).

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های نماتد (تعداد گال، توده تخم و تخم) در ریشه ۱۵ رقم انار مایه‌زنی شده با نژاد دوم

Meloidogyne incognita

Table 4. Mean comparison of nematode indices (Number of galls, egg masses and eggs) in roots of 15 pomegranate cultivars inoculated with *Meloidogyne incognita*-R2

Cultivars	Gall/root	Egg mass/ root	Eggs/Egg mass
Agha Mohammad Ali	11.25±0.34h	1.5±0.58g	181±9.08b
Alak-e Torsh	12.91±1.07g	10±0.0e	103.25±7.31g
Bahabadi	19.16±0.49e	5.5±0.58f	180.5±9.65b
Berit-e Poust Ghermez	34.79±1.96b	14±0.82c	113.2±5.03e
Golnar	16.20±2.43f	10.5±0.58de	145.25± 3.03c
Malas-e Shirin	8.83±1.38i	1±0.0g	108.75± 1.70f
Malas-e Tortsh	66.67±1.36a	10.75±0.96de	107.75± 6.03f
Naderi	24.58±3.07d	21.25±1.26b	98.25±5.07h
Bihasteh-e Ravar	16.16±0.56f	14±0.82c	118±10.81d
Poust Sefid-e Shirin	26.04±2.41d	14.25±0.96c	202.25 ± 14.43a
Bihasteh-e Shomal	30.20±1.42c	24.5±1.0a	149±11.2c
Poust Siah	24.95±3.74d	11.75±1.26d	146.5±2.02c
Tabestani	11.04±3.41h	2±0.0g	81.5± 10.5i
Souski-e Taft	12.95±1.43g	10.75±0.50de	68.5±13.95j
Shahsavari-e Yazdi	13.62±1.39g	11.5±1.29de	82.25±10.43i

Numbers with the same letters are not significantly different at 1% probability level.

مطالعه‌ای در رابطه با واکنش‌های مختلفی از گوجه‌فرنگی، فلفل، بادنجان و بامیه با سطح زادمایه ۱۰۰۰ لارو نماتد *M. incognita* انجام شده است (Anwar & Khan, 1992). در این آزمایش، به علت بالا بودن شاخص گره و توده تخم، هیچ یک از ارقام، مقاوم و ایمن نبودند و رقم MoneyMaker گوجه‌فرنگی دارای حساسیت بالایی بود. نتایج مطالعات گلخانه‌ای نشان داده است که از بین ارقام گوجه‌فرنگی که حساسیت و مقاومت آن‌ها مشخص شده، در ارقام حساسی که فاقد ژن Mi هستند، به طور معنی‌داری تعداد بیش‌تری توده تخم در ریشه وجود داشته، اما در فاکتور تولیدمثل آن‌ها در مقایسه با ارقام مقاوم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است (Ornat et al., 2001). نتایج Singh and Khurma (2007) نیز نشان داد که با افزایش جمعیت اولیه، میانگین تعداد توده تخم در ریشه گیاهان آلوده، به جز در یک رقم، به طور منظمی افزایش یافت.

در تعدادی از گیاهان زراعی، باغی، سبزی و صیفی و گونه‌های وحشی، میزبانان مقاوم به نماتد ریشه گرهی شناسایی شده است. در سراسر جهان، تاکنون آزمایش‌های سنتی و مولوکولی بسیاری به منظور کشف ژن‌های مقاوم و همچنین ارزیابی مقاومت و معرفی ارقام مقاومی که دارای این ژن‌ها باشند، انجام شده است (Yadav & Verma, 1981; Yaghoobi et al., 1995; Ornat et al., 2001). نتایج عکس‌العمل هفت رقم بومی و توده‌های وحشی پسته نسبت به نماتد ریشه گرهی *M. incognita* نشان داد که پایین‌ترین میزان تولیدمثل نماتد و بیشترین مقادیر صفات رویشی گیاه در هیبرید UCB-1 حاصل گردید و ارقام اوحدی و بادامی ریز زرنند بالاترین میزان تولیدمثل و در اغلب موارد کمترین مقادیر صفات رویشی را دارا بودند. خنجوک و بنه کمترین میزان تکثیر نماتد را در مقایسه با سایر ارقام داشتند، اما صفات رویشی تحت تاثیر نماتد قرار گرفته بود (Kharazmi, 2015).

جدول ۵. مقایسه میانگین تعداد لارو مرحله دوم، جمعیت کل و فاکتور تولیدمثل نماتد در ۱۵ رقم انار مایه‌زنی شده با نژاد دوم

Meloidogyne incognita

Table 5. Mean comparison of J_{2s} , final population and reproduction factor of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* in 15 pomegranate cultivars.

Cultivar	$J_{2s}/100g$ soil	Total population	Reproduction factor
Agha Mohammad Ali	85±2.88b	8073.93±74.04i	1.01±0.09i
Alak-e Torsh	72±8.82c	22589.38± 93.22f	2.82±0.11f
Bahabadi	48.75± 1.60d	18617.52±79.98g	2.32± 0.08g
Berit-e Poust Ghermez	50.5± 2.78d	22799.38±97.36f	2.84± 0.12f
Golnar	38±2.19e	26863.57± 61.20e	3.35± 0.08ei
Malas-e Shirin	75±2.81c	5270.28± 32.10i	0.65± 0.04i
Malas-e Tortsh	68.75±3.71c	44442.86± 88.48d	5.55±0.10d
Naderi	17.25±2.77f	50556.94± 22.62c	6.31± 0.30c
Bihasteh-e Ravar	94±2.12a	46129.72±32.35d	5.76± 0.29d
Poust Sefid-e Shirin	76.25± 4.43bc	62443.32±19.29a	7.80±0.23a
Bihasteh-e Shomal	71.25±2.13c	55559.65± 93.66b	6.94±0.12b
Poust Siah	25±2.86f	19706.25±131.61fg	2.46±0.17fg
Tabestani	23.75±0.75f	5030.705± 46.53i	0.62± 0.05i
Souski-e Taft	52.25±8.43d	13614.39±61.88h	1.70±0.08h
Shahsavari-e Yazdi	25.5±2.5f	14480.69± 82.81h	1.81± 0.10h

Numbers with the same letters are not significantly different at 1% probability level.

بر اساس جدول (۵)، رقم ملس ترش با شاخص گال ۲ و فاکتور تولیدمثل کمتر از ۱ به عنوان رقم متحمل، ارقام ملس شیرین و تابستانی با فاکتور گال ۳ و فاکتور تولیدمثل کمتر از ۱ به عنوان رقم فوق حساس و ارقام آقا محمد علی، آلک ترش، بهابادی، بریت پست قرمز، گلنار، نادری، بی هسته راور، پست سفید شیرین، بی هسته شمال، پست سیاه و سوسکی تفت به عنوان رقم حساس تلقی می شوند. در این زمینه، بین شاخص گال و فاکتور تولیدمثل در ارقام مقاوم، متحمل، حساس و فوق حساس تناسب وجود دارد.

در ارقام حساس که شاخص گال در آن‌ها ۴ است، فاکتور تولیدمثل نیز از یک بیش تر است؛ ولی در ارقامی که شاخص گال ۲ دارند، فاکتور تولیدمثل الزاماً از یک کمتر نیست و همین مرز، باعث تفکیک ارقام متحمل از مقاوم شده است (Canto-Saenz, 1983).

در بررسی مقاومت نخود به نماتد ریشه گرهی، Siddiqui and Mahmood (1992) مشاهده کردند که در ریشه گیاهان نخود مایه زنی شده با غلظت‌های مختلف نژاد سه گونه *M. incognita*، با افزایش غلظت مایه تلقیح، تعداد گره افزایش می‌یابد، اما فاکتور تولید تولیدمثل، با افزایش غلظت مایه تلقیح کاهش یافته و بیشترین فاکتور تولیدمثل نماتد در پایینترین و کمترین آن در بالاترین سطح مایه زنی مشاهده شده است.

مقاومت به توانایی یک گیاه در توقف توسعه‌ی نماتد یا تولیدمثل آن گفته می‌شود. در این تحقیق درجه بندی نهایی مقاومت بر اساس سیستم ارائه شده توسط Canto-Saenz (1983)، که در آن شاخص گال و شاخص تولیدمثل به صورت توأم در نظر گرفته شده است، انجام پذیرفت (جدول ۶).

جدول ۶- ارزیابی ۱۵ رقم انار مایه زنی شده با نژاد دوم *Meloidogyne incognita* بر اساس سیستم (Canto-Saenz 1983) (جمعیت اولیه نماتد/جمعیت نهایی نماتد=فاکتور تولیدمثل)

Table 6. Evaluation of 15 pomegranate cultivars inoculated with the race 2 of *Meloidogyne incognita* based on the Canto-Saenz system (1983) (Reproductive Factor= The final population of nematode/ Primary population of nematode)

Cultivars	Reproductive factor (RF = Pf/Pi)*	Gall index (GI)**	Reaction
Agha Mohammad Ali	1.01± 0.09i	3	Susceptible
Alak-e Torsh	2.82±0.11f	3	Susceptible
Bahabadi	2.32± 0.08g	3	Susceptible
Berit-e Poust Ghermez	2.84± 0.12f	3	Susceptible
Golnar	3.35± 0.08ei	4	Susceptible
Malas-e Shirin	0.65± 0.04i	3	Hypersusceptible
Malas-e Tortsh	5.55±0.10d	2	Tolerant
Naderi	6.31± 0.30c	4	Susceptible
Bihasteh-e Ravar	5.76± 0.29d	3	Susceptible
Poust Sefid-e Shirin	7.80±0.23a	3	Susceptible
Bihasteh-e Shomal	6.94±0.12b	3	Susceptible
Poust Siah	2.46±0.17fg	4	Susceptible
Tabestani	0.62± 0.05i	3	Hypersusceptible
Souski-e Taft	1.70±0.08h	3	Susceptible
Shahsavari-e Yazdi	1.81± 0.10h	3	Susceptible

Pi= Primary population of nematode,*: Pf= The final population of nematode

** : The gall index is adapted from the Taylor & Sasser (1987) scale of 5-0.

شاخص گال ۲ و فاکتور تولیدمثل کمتر از یک به عنوان رقم‌های نیمه مقاوم، رقم‌های مانیشا و جی‌اچ ۱ به لحاظ شاخص گال ۲ و فاکتور تولیدمثل بیش‌تر از یک به عنوان رقم‌های متحمل و رقم‌های کلستر ۵، تولستوی، کارینا و رقم بومی به لحاظ شاخص گال ۴ و فاکتور تولیدمثل بیش‌تر از یک، به عنوان رقم‌های حساس مشخص گردیدند (Mireki et al., 2013). با ارزیابی ارقام لوییا نسبت به نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica*، ارقام ناز، صیاد و درسا با شاخص گال ۲ و شاخص تولیدمثلی بیش‌تر از ۱ را حساس و رقم الماس با شاخص گال ۱/۷۵ و شاخص تولیدمثلی بیش‌تر از ۱ را نیز متحمل معرفی کرد (Rahimi, 2016).

در کالیفرنیا ۸۵٪ از باغ‌های هلو، بادام، آلو و شلیل روی پایه‌ی Nemaguard کاشته می‌شوند. چون نسبت به تمام نژادهای نماتد ریشه‌گرهی مقاوم است (Mckenry, 1987). پایه‌های هیبریدی هلو و بادام که شامل Nemared, Okinawa, Flordaguard, Nemaguard, Cadaman و Guardian می‌باشند، نسبت به پایه‌های دیگر در مقابل نماتدهای ریشه‌گرهی *M. incognita* و *M. javanica* مقاوم هستند (Marull et al., 1994). در تحقیقی با مقایسه پنج پایه مختلف درختان هسته‌دار نسبت به دو گونه نماتد ریشه‌گرهی *M. incognita* و *M. javanica* نشان دادند که پایه‌های Okinawa، R-15-2 و Aldrighi به عنوان مقاوم و پایه‌های Capdeboscq و GF 667 به عنوان حساس در نظر گرفته شده‌اند (Rodrigues & Strelow, 2000).

در یک مطالعه ۱۵ ساله روی ۲۰۰ ساقه زیرزمینی انگور که حاصل تلاقی بین ساقه‌های زیرزمینی انگور تجاری و گونه‌های وحشی آن بودند، نشان داده شد که ۱۳ مورد از آن‌ها به نژاد سوم گونه *M. incognita* *M. arenaria* و *Xiphinema index* که از نماتدهای مهم انگور هستند، مقاومت کامل دارند (Ferris et al., 2012).

مکانیزم‌های مقاومت بسیار پیچیده بوده و در بسیاری از موارد هنوز کاملاً شناخته نشده است. واکنش فوق حساسیت از طریق مرگ سریع سلول‌های گیاهی آلوده شده در پاسخ به حمله پاتوژن ایجاد می‌شود و در نتیجه مرگ سلول‌ها، پاتوژن‌های مهاجم متمرکز شده و از توسعه بیماری جلوگیری می‌شود (Hung, 1985).

در تحقیقی نشان داده شد که بین رقم‌های گوجه‌فرنگی تحت بررسی که حساس و مقاوم بودن آن‌ها قبلاً مشخص شده بود و رقم‌های مقاوم دارای ژن *Mi* بودند. در مجموع رقم‌های حساس به طور معناداری، تعداد بیش‌تری کیسه‌ی تخم در ریشه خود داشتند. ولی فاکتور تولیدمثل در بین رقم‌های مقاوم و حساس تفاوت معناداری نداشت (Ornat, 2001). با ارزیابی واکنش رقم‌های گوجه‌فرنگی به نژاد ۱ نماتد *M. incognita* اعلام شد که رقم‌های با شاخص گال بین ۱ و ۱/۱۶ دارای مقاومت متوسط و رقم‌های با شاخص گال ۲/۵ حساس‌اند (Sharma et al., 2004). در یک تحقیق ژرم‌پلاسم‌های با شاخص گال ۲ را مقاوم، ژرم‌پلاسم‌های با شاخص گال ۳ را با مقاومت متوسط و ژرم‌پلاسم‌های با شاخص ۴-۵ را حساس تا خیلی حساس گزارش کردند (Kamalwanshi et al., 2004).

در بررسی مقاومت برخی رقم‌های گوجه‌فرنگی به نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* با استفاده از نشانگر ریزوماهواره (SSR)، رقم‌های جی‌اچ ۱۲ و آجیت با فاکتور تولیدمثل کمتر از یک و شاخص گال ۲، رقم‌های نیمه مقاوم؛ رقم‌های جی‌اچ ۱ و مانیشا با فاکتور تولیدمثل بیش‌تر از ۱ و شاخص گال ۲، رقم‌های متحمل و سایر رقم‌های مورد بررسی با فاکتور تولیدمثل بیش‌تر از یک و شاخص گال ۴ حساس ارزیابی شدند (Mireki et al., 2014).

در بررسی واکنش هشت رقم گوجه‌فرنگی نسبت به نماتد مولد گره ریشه *M. javanica* در شرایط گلخانه از لحاظ صفات تکثیری نماتد، رقم‌های سی‌اچ ۱۲ و آجیت با

و متحمل بودن تنها یک رقم و حساس و فوق حساس بودن بقیه ارقام در برابر نماتد ریشه‌گرهی، این امر بایستی توسط کارشناسان و کشاورزان مورد توجه قرار گیرد تا در صورت بروز بیماری، احتمال خسارت وارده کاهش یابد. بدیهی است برای توصیه هر یک از این رقم‌ها برای شرایط باغ در کاشت تجاری، به آزمایش‌های تکمیلی دیگری نیاز خواهد بود.

سپاس‌گزاری

از دانشگاه شهرکرد به علت تأمین بودجه لازمه برای انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.

با ممنوع شدن استفاده از سموم تدخینی نماتدکش، مدیریت مبارزه با نماتدهای انگل گیاهی با رویکردهای دیگری وارد مدیریت تلفیقی شد (Starr et al., 2002). کشت ارقام مقاوم سبب کاهش جمعیت نماتد در خاک مزرعه می‌شود. اهمیت این موضوع از آنجاست که میزان جمعیت اولیه‌ی نماتد در مزرعه در میزان خسارت نقش تعیین‌کننده‌ای دارد (Heydari et al., 2009). مقایسه نتایج این آزمایش با نتایج تحقیقات انجام شده به دلیل نبودن ارقام مورد بررسی اندکی مشکل است. با توجه به داده‌های حاصل

Reference

- Abdollahi, M. (2016). Response of ten cultivars of greenhouse cucumber root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *Journal of Seed and Plant Seedlings*, 31, 55-75 (in Farsi with English Summary).
- Anonymous. (2020). Ministry of Agriculture. Planning and Economy. Center for Information and Communication Technology.
- 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 (In Farsi with English Summary).
- Akhiani, A., & Behdad, E. (1986). The reaction of stone fruit root-knot to *Meloidogyne javanica*. Proceedings of the 8th Iranian Plant Protection Congress, Isfahan, Iran. p. 131. (In Farsi with English Summary).
- Anwar, S. A., & Khan, M. S. A. (1992). Evaluation of four vegetables against *Meloidogyne incognita*. *Journal of Agricultural Research*, 30, 415-421.
- Berg, R. H., & Tylor, C. G. (2008). Cell Biology of Plant Nematode Parasitism. Heidelberg. Germany. 272p.
- Canto-Saenz, M. (1985). The nature of resistance to *M. incognita* In: J.N. Sasser and C.C. Carter (Eds.). An advanced treaties on *Meloidogyne*. Vol. I. North Carolina State University graphics. Raleigh. USA. pp. 225-231.
- Canto-Saenz, M. (1983). The nature of resistance to *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White 1919) Chitwood 1949, pp. 160-165. In: C. Carter (Ed.). Proceedings of the Third Research & Planning Conference on root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., March 22-26, 1982, International *Meloidogyne* Project, Lima, Peru, 233 pp.

Caveness, F. E., & Jepsen, H. J. (1955). Modification of the Centrifugal flotation technique for the isolation and concentration of nematodes and their eggs from soil and plant tissue. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington*, 22, 87-89.

Fassuliotis, G. (1985). The role of the Nematologist in the Development of Resistant Cultivar. Pp: 233-240. In: J. N. Sasser and C. C. Carter (Eds.), *An Advanced Treatise on Meloidogyne*, Vol. 1, Biology and Control. North Carolina state university Graphics. Raleigh.

Felip, A. J. (2009). Felinem, Garnem, and Monegro Almond ×peach hybrid root-knot. *Hortscience*, 44, 196-197.

Ferris, H., Zheng, L. & Walker, M. A. (2012). Resistance of grape rootstocks to plant-parasitic nematodes. *Journal of Nematology*, 44, 377-386.

Ghaedi, S., & Abd-olahi, M. (2014). Evaluation of resistance to root knot nematode (*Meloidogyne javanica*) eight bean cultivars. *Seed and Plant Improvement Journal*, 1, 1-30.

Hung J. S. (1985). Mechanisms of resistance to root-knot nematodes: *Meloidogyne* species. In: Starr J. L. et al. (eds.) *Plant Resistance to Parasitic Nematodes*. C.A.B. International. pp: 69-77.

Hartman, K. M., & Sasser, J. N. (1985). Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perennial pattern morphology. pp. 9-78. In: Barker, K. R., Carter, C. C., & Sasser, J. N., (eds.). *An Advanced Treatise on Meloidogyne* Vol. 2. Methology. North Carolina State University Graphics, Releigh, NC, USA.

Heydari, R., Pourjam, A., Tanha Moafi, Z., & Safai, N. (2009). Evaluation of some soybean cultivars to the dominant type of soybean cyst nematode *Heterodera glycines* HG Type. *Journal of Plant Pathology*, 44, 319-329.

Hosseinejad, E., & Vajedkhan, M. (2000). Interaction of Root-Knot nematode *Meloidogyne Javanica* (Race 1) and wilt fungus, *Fusarium oxysporium* f.sp. *ciceri* on pea varieties. *Plant Pests and Diseases*, 68, 1-12.

Hussey, R. S., & Janssen, G. J. W. (2002). Root-knot nematodes: *Meloidogyne* species. pp: 43-70. In: J. L. Starr, R. Cook and J. Bridge (eds.), *Plant Resistance to Parasitic Nematodes*. CAB Intl., USA.

Kamalwanshi, R. S., Khan, A., & Srivastava, A. S. (2004). Reaction of tomato germplasm against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Indian Journal of Nematology*, 34(1), 94-95.

Kharazmi, F. (2015). Reaction of some wild species and native pistachio cultivars to nodular root nematode (*Meloidogyne incognita*) and the effect of drought stress on it in greenhouse conditions. MSc. thesis of plant pathology. College of Agriculture. Shiraz University, Iran.

Madani, M., Kheyri, A., & Akhiani, A. (1995). Investigation of reaction of domesticated and wild populations of pistachios against root-knot nematode in greenhouse. Synopsis of the

Twelfth Iranian Plant Protection Congress. Agricultural College of Karaj from 11 to 16 September.

Marull, J., Pinochet, J., Felipe, A., & Cenis J. L. (1994). Resistance verification in *Prunus* selections to a mixture of thirteen *Meloidogyne* isolates and resistance mechanisms of a peach-almond hybrid to *M. javanica*. *Fundamental and Applied Nematology*, 17, 85-92.

Mireki, K., Abdoullahi, M., & Dehdari, M. (2013). The reaction of eight tomato cultivars to the root-knot nematode of *Meloidogyne javanica* in greenhouse conditions. *Iranian Herbal Medicine*, 44(2), 291-298. (in Farsi with English Summary).

Mireki, K., Abdoullahi, M., & Dehdari, M. (2014). Resistance of some tomato varieties (*Lycopersicon esculentum*) to root-knot nematodes (*Meloidogyne javanica*) using microsatellite marker (SSR). *Journal of Seed and Plant Seedlings*, 30(2), 267-382 (in Farsi with English Summary).

Moslehi, S. H., Niknam, GH., & Aharizad, S. (2010). Investigation of the reaction of six tomato cultivars to root-knot nematode of *Meloidogyne javanica* in greenhouse conditions. *Journal of Iranian Plant Protection Sciences*, 41(1), 19-27 (in Farsi with English Summary).

Netscher, C., & Mauboussin, J. C. (1973). Resultats d'un essai concernat l'efficacite comparee d'une variete resistance et de certain nematocides contre *Meloidogyne javanica*, Cahiers O.R.S.T.O.M. *Serie Biologie*, 21, 97-102.

Ornat, C., Verdejo-Lucas, S., & Sorribas, F. J. (2001). A population of *Meloidogyne javanica* in Spain virulent to the *Mi* resistance gene in tomato. *Plant Disease* 85(3), 271-276.

Perry, R. N., Mones, M., & Starr, J. L. (2009). Root-knot nematodes. CABI, North American office.

Rahimi, M. (2016). Evaluation of reaction of a number of bean cultivars and lines, *Phaseolus vulgaris* to root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* and control of this nematode by vermicompost. MSc. thesis of plant pathology. College of Agriculture. Shahrekord University, Iran.

Rodrigues, A. C. & Strelow, E. Z. (2000). Resistance of rootstock for tree and plum to Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). *Ciencia Rural Santa Matia*, 30, 69-72.

Sahraneshin-Samani, M., & Fadaee-Tehrani, A. A. (2015). Investigation of pathogenicity and damage of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) on several types of base and almond shoots. *Plant Protection (Scientific Journal of Agricultural)*, 38(1), 25-36 (in Farsi with English Summary).

Sajjadi, S. A., Hosseininejad, S. A., & Asemi, H. (2012). Determination of the damages of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in some tobacco cultivars in potted condition. *Plant Pests and Diseases*, 80(1), 13-22 (in Farsi with English Summary).

Sharma, H. K., Siyanand, P., Pachauri, D. C., & Singh, G. (2004). Reaction of tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties/lines to *Meloidogyne incognita* race-1. *Indian Journal of Nematology*, 34, 93.

Siddiqui, Z. A., & Mahmood, I. (1992). Effect of different inoculum levels of *Meloidogyne incognita* race 3 on the growth of chickpea. *Nematologia Mediterranea*, 20, 189-191.

Singh, S. K., & Khurma, U. R. (2007). Susceptibility of six tomato cultivars to root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *South Pacific Journal of Natural Sciences*, 25, 73-77.

Starr, J. L., Bridge, J., & Cook, R. (2002). Resistance to plant-parasitic nematodes: History, current use and future potential, pp. 1-22. In: J. L. Starr, R. Cook & J. Bridge (Eds.) Plant to parasitic nematodes. CABI Publishing. Wallingford. UK.

Subbotin, S. A., Rius, J. E. P., & Castillo, P. (2021). Systematics of root-knot nematodes (Nematoda: *Meloidogynidae*). Brill.

Taylor, A. L., & Sasser, J. N. (1978). Biology Identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). A Cooperative Publication of the Department of Plant Pathology, North Carolina State University and The United States Agency for International Development. North Carolina State Graphics, Raleigh, N.C. 111 p.

Walia, R. K., & Bajaj, H. K. (2003). Textbook on introductory plant nematology. Directorate of information and publications of agriculture Indian council of agricultural research. 227 pp

Walter, S. A., Wehner, T. C., & Barker, K. R. (1999). Greenhouse and field resistance in cucumber to root-knot nematodes. *Nematology*, 1, 279-284.

Yadav, B. D., & Verma, A. C. (1981). Effect of various inoculum levels of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on brinjal, *Solanum melongena*. *Indian Journal of Nematology*, 11, 97.

Yaghoobi, J., Kaloshian, I., Wen, Y., & Williamson, V. M. (1995). Mapping a new nematode resistance locus in *Lycopersicon peruvianum*. *Theoretical and Applied Genetics*, 91, 457-464.



© 2022 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/>)



Reaction of different pomegranate (*Punica granatum*) cultivars to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* race 2)

M. Mahmoudisarabi^{1*}, M. Olia²

1. ***Corresponding Author:** M.Sc. Graduate of Plant Pathology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran (m31.mahmoudi@gmail.com)
2. Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received: 10 November 2021

Accepted: 9 April 2022

Abstract

Background and objectives

Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) are considered among the most important pathogens leading to great damage to agricultural products. So far, different practices such as crop rotation, resistant cultivars, and chemical compounds have been used for controlling these nematodes. High cost of chemical compounds and their environmental problems has attracted the researchers' attention for using non-chemical methods for nematode management. The exploitation of resistant varieties is one of the most important approaches to managing plant-parasitic nematodes. The present study aims to evaluate the reaction of 15 different varieties of pomegranate to RKN, *M. incognita* race 2.

Materials and methods

The morphological characters of isolated nematodes were evaluated after sampling, along with identifying the nematode species. The experiment was conducted in greenhouse conditions with a temperature ranging from 22-26°C based on the completely randomized design with factorial arrangement. First, pomegranate cuttings were rooted and inoculated with 2000 eggs and second-stage juveniles of the nematode per kg of soil. Then, host plant growth traits such as length, fresh and dry weight of stems, and roots, as well as developmental stages of the nematodes including the number of galls, egg mass, and reproduction factor were evaluated in different cultivars of pomegranate 90 days after inoculation. The final rating was conducted based on the Canto-Saenz system (1985). Finally, the data were analyzed by using SPSS 24 software, and Duncan test and t-test were used for comparing the means.

Results

Based on the results, Malas-e Torsh cultivar was tolerant ($GI \leq 2$, $RF > 1$), Malas-e Shirin and Tabestani were hypersusceptible ($GI > 2$, $RF \leq 1$), and Agha Mohammad Ali, Alak-e Torsh, Bahabadi, Berit-e Poust Ghermez, Golnar, Naderi, Bihasteh-e Ravar, Pous Sefeed-e Shirin, Bihasteh-e Shomal, Poust siah, Souski-e Taft and Shahsavavar-e Yazdi were evaluated as susceptible ($GI > 2$, $RF > 1$).

Conclusion

Based on the results, tolerance of only one cultivar against root-knot nematodes should be considered by experts and farmers.

Keywords: *Fruit trees, Resistance, Screening, Reproduction factor, Morphological characters*

Associate editor: M. R. Atighi (Ph.D.)

Citation: Mahmoudisarabi, M. & Olia, M. (2022). Reaction of different pomegranate (*Punica granatum*) cultivars to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* race 2). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 45(3), 117-134. <https://doi.org/10.22055/ppr.2022.17475>.