

ارتباط بین جمعیت اولیه نماتد ریشه گرهی (*Meloidogyne javanica*) و میزان خسارت به گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus*)

حسین احمدی^۱ و سیدمحمد رضا موسوی^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۵)

چکیده

به منظور بررسی اثر جمعیت‌های اولیهی نماتد *Meloidogyne javanica* روی رشد و عملکرد رقم سلطانی گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus*) در سال ۱۳۹۲ آزمایش مزرعه‌ای درون کرت‌هایی به ابعاد ۳ × ۲ متر انجام شد. این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار و چهارده سطح جمعیت که از سری‌های هندسی تبعیت می‌کردند (۰ تا ۵۱۲ تخم یا لارو سن دوم در هر سانتی‌متر مکعب خاک) انجام شد. در سطوح بالای جمعیت نماتد (> ۲۵۶)، کلیه گیاهان مورد آزمایش از بین رفتند. داده‌های وزن تر و خشک اندام هوایی و میزان محصول به خوبی در معادله خسارت سین‌هورست جایگذاری شدند و حد تحمل برای این صفات به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۳۳ و ۰/۲۸ تخم یا لارو سن دوم در هر سانتی‌متر مکعب خاک برآورد شد. حداکثر نرخ تکثیر نماتد در شرایط مزرعه ۷۴۹ و تراکم تعادل آن ۱۵۹ عدد تخم و لارو سن دوم در هر سانتی‌متر مکعب خاک تخمین زده شد. فاکتور تولیدمثل با جمعیت اولیه نماتد ارتباط منفی داشت و بیشترین فاکتور تولیدمثل در کمترین جمعیت اولیه نماتد مشاهده شد. آستانه خسارت گیاه بامیه (کاهش ۱۰٪ محصول) بر اساس برآورد مدل رگرسیونی سین‌هورست، تراکم ۰/۸۵ عدد تخم یا لارو نماتد در هر سانتی‌متر مکعب خاک بود که نشان دهندهی حساسیت گیاه بامیه به نماتد *M. javanica* است.

کلیدواژه: پیش‌آگاهی، پویایی جمعیت، معادله خسارت

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rmmoosavi@miau.ac.ir و rmmoosavi@yahoo.com

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه بیماری‌شناسی گیاهی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.

۲. دانشیار، گروه بیماری‌شناسی گیاهی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.

The relationship of initial population densities of *Meloidogyne javanica* and damage level on okra (*Abelmoschus esculentus*)

H. Ahmadi¹ and M.R. Moosavi^{2*}

(Received: 3.4.2017; Accepted: 4.2.2018)

Abstract

A field experiment was conducted in the 2 × 3 m plots to determine the effect of different initial population densities of *Meloidogyne javanica* on growth parameters and yield of okra (*Abelmoschus esculentus*; cv. Soltani) in 2013. This research was carried out based on completely randomized design (CRD) with five replications using a geometric series of 14 nematode population densities (0 to 512 eggs or second stage juveniles (J2) / cm³ soil). The plants died at high levels of nematode population (> 256). The relative shoot fresh and dry weight and relative yield fitted the Seinhorst damage model and the tolerance limit for those traits was 0.34, 0.33 and 0.28 eggs or J2 / cm³ soil, respectively. The maximum multiplication rate was 749 and the equilibrium density was 159 eggs or J2 / cm³ soil. Nematode reproduction factor was negatively correlated with the initial populations as the highest multiplication was occurred at the lowest initial population densities. Damage threshold (10% yield loss) of okra to *M. javanica* was estimated as 0.85 eggs or J2 / cm³ soil which represented the susceptibility of okra plant to *M. javanica*.

Keywords: Damage functions, forecasting, population dynamics

*Corresponding author's E-mail: rmmoosavi@yahoo.com & rmmoosavi@miau.ac.ir

1. Former MSc Student, Department of plant pathology, Marvdasht branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.

2. Associate Professor, Department of plant pathology, Marvdasht branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.

مقدمه

گیاهی باید بر اساس روش‌های اقتصادی مناسب پایه-گذاری شود، به گونه‌ای که منافع حاصل از انجام مدیریت نسبت به هزینه‌های اجرای آن بیشتر باشد. به بیان دیگر ملاحظات اقتصادی بخش جدایی‌ناپذیر تولید محصولات کشاورزی است. در گیاهان و خصوصاً گیاهان یکساله خسارت نماتد با جمعیت اولیه آن مرتبط است و می‌توان بر اساس جمعیت اولیه نماتد در خاک، میزان کاهش رشد و عملکرد محصول را تخمین زد (Schomaker & Been 2006). به همین دلیل تعیین رابطه بین جمعیت اولیه نماتد و میزان خسارت ایجاد شده برای ارزیابی روش کنترلی که از آن برای کاهش جمعیت نماتد به زیر آستانه‌ی خسارت استفاده می‌شود بسیار مهم است (Greco & Di Vito 2009).

مشخص شدن این موضوع باعث افزایش دانش مدیریتی نماتد ریشه گرهی می‌گردد، بدین صورت که با تعیین جمعیت اولیه نماتد قادر به تخمین میزان خسارت نهایی نماتد روی محصول‌های مختلف از جمله بامیه بوده و اقتصادی بودن کاشت آن قابل محاسبه است. علی‌رغم کلیدی بودن این موضوع برای تصمیم‌های مدیریتی، داده‌ای در این خصوص در ایران و با استفاده از جدایه‌های ایرانی نماتد در شرایط اقلیمی کشور برای محصولات مختلف نداریم. این تحقیق جهت تعیین حد تحمل و همچنین رابطه بین جمعیت اولیه نماتد ریشه گرهی و خسارت وارد شده به گیاه بامیه رقم سلطانی در شهرستان مرودشت از استان فارس صورت پذیرفت.

مواد و روش‌های بررسی

تهیه جمعیت نماتد

با توجه به جمعیت بسیار زیاد مورد نیاز نماتد، تکثیر از

در میان نماتدهای انگل گیاهی، نماتدهای ریشه گرهی (*Meloidogyne Göldi*, 1892) از لحاظ اقتصادی دارای اهمیت بسیار زیادی بوده و محدود کننده کیفیت و کمیت تولیدات کشاورزی هستند (Moens et al. 2009). نماتد ریشه گرهی بیش از ۹۰ گونه دارد که از بین آن‌ها دو گونه *M. javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949 و *M. incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 متداول‌تر هستند (Moens et al. 2009). همه‌ی محققین بر مهم و اقتصادی بودن گونه *M. javanica* اتفاق نظر دارند (Bridge and Starr 2007). در ایران نیز حضور و خسارت نماتد *M. javanica* در مزارع سبزی و صیفی از بسیاری از استانهای کشور گزارش شده است (Ghaderi et al. 2012).

گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) یکی از مهمترین سبزیجات میوه‌ای مناطق گرم است (Tripathi et al. 2011) که عمدتاً در استان خوزستان کشت می‌شود. سطح زیر کشت بامیه در سال‌های اخیر در سایر استان‌ها مثل فارس و هرمزگان نیز افزایش یافته است. این گیاه جزء یکی از حساس‌ترین میزبان‌های نماتد ریشه گرهی است که سالانه ۲۸٪ از محصول آن در دنیا توسط نماتد ریشه گرهی از بین می‌رود (Lamberti 1979). بامیه در استان خوزستان از میان گیاهان باقلا، بادمجان، خیار، خیار چنبر، ریحان، گوجه فرنگی و هندوانه حساس‌ترین میزبان به *M. javanica* بود (Ahmadi & Tanha Maafi 2012). مشاهدات نگارندگان در استان فارس و بوشهر نیز نشان دهنده‌ی حساسیت بالای این گیاه به نماتد ریشه گرهی است.

پایه و اساس تمام سیستم‌های مدیریتی بیماری‌های

تشخیص داده شد (% آهک ۲۵/۵، /ازت ۰/۱۸، /کربن ۱/۷۸، فسفر (ppm) ۱۷/۱، پتاسیم (ppm) ۳۴۸، /زطوبت ۴۶، EC (ms) ۰/۸۸ و pH ۷/۸). پس از تسطیح خاک، مرزبندی و کرت‌بندی سطح مزرعه، کرت‌هایی به ابعاد ۴ × ۳ متر به صورت ردیفی و بر اساس نقشه‌ی طرح آزمایشی ایجاد گردید.

تیمارهای آزمایش شامل ۱۴ سطح مختلف جمعیت نماتد ریشه‌گرهی (*M. javanica*) بود، که بر اساس افزایش در سری‌های هندسی (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۱۲۸، ۲۵۶ و ۵۱۲ تخم یا لارو سن دوم در هر سانتی‌متر مکعب خاک) (Seinhorst 1965،) (1986a) به سطحی معادل ۳ × ۲ متر در بخش میانی کرت بزرگتر ۴ × ۳ متری اضافه گردید. برای آلوده سازی کرت‌ها از روش تغییر یافته‌ی ژینگ و وستفال استفاده شد (Xing & Westphal 2005). جمعیت مورد نظر در ۱۰۰ عدد سوراخ با عمق ۵ سانتی‌متر که در سطح کرت ۳ × ۲ متری ایجاد شده بود ریخته شد. سوراخ‌های ایجاد شده در جهت طول کرت با یکدیگر ۲۵ سانتی‌متر و در جهت عرض کرت با یکدیگر ۲۰ سانتی‌متر فاصله داشتند. بلافاصله پس از آلوده سازی با نماتد و با فاصله دو روز در میان آبیاری انجام گرفت تا نماتدها در خاک به صورت یکنواخت پخش گردند. یک هفته بعد و در تاریخ ۱۲ اردیبهشت ماه بذره‌های بامیه در قسمت میانی کرت آلوده شده با نماتد، روی خطوطی که با هم ۱۰۰ سانتی‌متر و از کناره‌ها ۵۰ سانتی‌متر فاصله داشتند، با دست کاشته شدند. فاصله بوته‌ها روی هر خط ۵۰ سانتی‌متر بود (شکل ۱).

تاثیر جمعیت اولیه نماتد *M. javanica* روی گیاه بامیه

تعداد پنج بوته تصادفی از هر کرت انتخاب شده و محصول تولید شده توسط آنها در طول فصل رشد

یک توده تخم امکان‌پذیر نبود. بنابراین از یک مزرعه گوجه‌فرنگی در منطقه برازجان (استان بوشهر) که شدیداً به نماتد ریشه گرهی آلوده بود، مقدار زیادی ریشه به آزمایشگاه منتقل گردید. تعداد ۳۰ عدد نماتد ماده به صورت تصادفی از ریشه خارج شده و از انتهای بدن آنها برش تهیه (Tylor & Netscher 1974) و مشخصات آن بررسی گردید. همچنین از خصوصیات ریخت‌شناسی و ریخت‌سنجی لارو سن دوم نیز استفاده شد (Hartman & Sasser 1985). پس از تشخیص گونه‌ی نماتد، ریشه‌های آلوده به قطعات ۱-۰/۵ سانتی‌متری بریده شده و به مدت ۴ دقیقه در محلول ۰/۵٪ هیپوکلریت سدیم به شدت تکان داده شدند. مخلوط حاصل از دو الک با منفذ ۶۰ و ۲۵ میکرومتری عبور داده شده (Hussey & Barker 1973) و تخم یا لاروهای سن دوم (J2) جمع‌آوری شده روی الک ۲۵ میکرومتری همراه با آب مقطر استریل به یک بشر منتقل شدند. جمعیت تخم یا لارو سن دوم از میانگین سه بار شمارش محاسبه شد.

انجام آزمایش مزرعه‌ای

این آزمایش در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت انجام شد. محل آزمایش در عرض ۲۹ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۴۰ متر از سطح دریا قرار داشت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار به اجرا درآمد. در این تحقیق از بذر بامیه رقم تجاری سلطانی (محصول شرکت Biotek Tohumculuk ترکیه) استفاده شد. قبل از آماده‌سازی زمین، از خاک و ریشه علف‌های هرز محل اجرای آزمایش نمونه برداری و از عدم حضور نماتد ریشه گرهی در خاک اطمینان حاصل شد. خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری تجزیه شد و بافت آن رسی-لومی

لاروهای نماتدهای روی سیستم ریشه و نماتدهای خاک به دست آمد. ارتباط بین جمعیت اولیه نماتد و وزن اندام هوایی (تر و خشک) یا میزان محصول (گرم بامیه تازه) در هر تیمار به کمک معادله سین هورست (معادله ۱) تعیین گردید (Seinhorst 1965, 1972, 1986b, 1998).

$$Y = m + (1 - m) \times 0.95^{\frac{(P_i - T)}{T}} \quad \text{at } P_i > T \quad (1)$$

$$Y = 1 \quad \text{at } P_i \leq T$$

در این معادله Y میزان عملکرد نسبی محصول یا وزن نسبی (تر و خشک) گیاه بامیه، P_i جمعیت اولیه تخم یا لارو سن دوم نماتد در سانتی‌متر مکعب خاک، m حداقل عملکرد نسبی یا حداقل وزن نسبی (در سطوح بالای جمعیت نماتد) و T سطح تحمل گیاه به نماتد می‌باشد. آستانه خسارت بر اساس کاهش ۱۰ درصدی محصول تعیین گردید (Mueller et al. 2012, Stirling 2000).

پویایی جمعیت

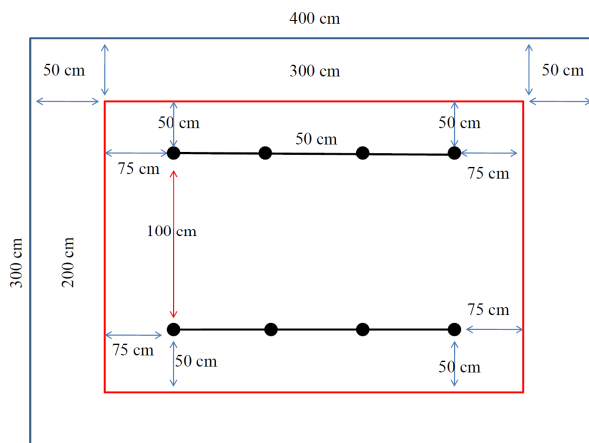
پویایی جمعیت *M. javanica* روی گیاه بامیه توسط مدل جمعیتی (معادله ۲) که به وسیله سین هورست (Seinhorst 1967a,b, 1986a) پیشنهاد شده است ارزیابی شد. برای بهبود محاسبه، جمعیت‌های ۲۵۶ و ۵۱۲ عدد تخم یا لارو سن دوم نماتد از متغیر پیش بینی کننده (P_i) حذف گردید.

$$P_f = \frac{a \times E \times P_i}{(a - 1) \times P_i + E} \quad (2)$$

در این فرمول a بیشترین نرخ تکثیر، E تراکم تعادل (جایی که جمعیت اولیه با جمعیت نهایی برابر است) و P_i جمعیت اولیه نماتد است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های به دست آمده تجزیه و تحلیل آماری شده



شکل ۱. دایره‌های توپر محل کاشت بذر گیاه بامیه در کرت‌های آزمایشی در مزرعه را نشان می‌دهد.

Fig 1. Solid circles represent the places where okra seeds planted in the experimental plots in the farm.

برداشت شده و عملکرد آنها ثبت گردید. هشتاد روز پس از مایه‌زنی نماتد، فاکتورهای رشدی همان پنج گیاه شامل وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه اندازه‌گیری شد. جمعیت نهایی نماتد (مجموع تخم و لارو سن دوم روی ریشه و لارو سن دوم درون خاک) و فاکتور تولید مثل نماتد در همه سطوح جمعیت محاسبه گردید (Greco & Di Vito 2009). تعداد تخم تشکیل شده‌ی نماتد روی سیستم ریشه به کمک روش توصیف شده توسط هوسی و بارکر و با استفاده از محلول ۰/۰۵٪ هیپوکلریت سدیم استخراج گردید (Hussey & Barker 1973). تعداد تخم یا لارو سن دوم نماتد روی ریشه به حجم یک مکعب ۵۰ سانتی‌متری خاک تقسیم گردید تا واحد جمعیت تخم یا لاروهای شمرده شده روی سیستم ریشه‌ای به تعداد نماتد در سانتی‌متر مکعب خاک تبدیل گردید. از سه طرف بوته‌های منتخب با فاصله ۱۰ سانتی‌متری سه نمونه ۱۰۰ سانتی‌متر مکعبی خاک انتخاب و پس از مخلوط کردن آنها یک نماینده‌ی ۱۰۰ سانتی‌متر مکعبی انتخاب و لاروهای سن دوم آن با روش الک-سانتریفیوژ استخراج (Jenkins 1964) و شمارش شدند. جمعیت نهایی از مجموع تخم یا

تخمین میزان رشد و محصول گیاه بامیه در جمعیت‌های

مختلف نماتد *M. javanica*

هنگامی که تعداد نماتد در خاک از ۲۵۶ عدد بیشتر شد بوته‌ها خشک شده و از بین رفتند. به همین دلیل مقدار m (حداقل عملکرد نسبی) در معادله سین‌هورست صفر در نظر گرفته شد (Greco & Di Vito 2009). وزن تر گیاهان به خوبی در این مدل جایگذاری گردید (معادله ۳). بر اساس معادله‌ی به دست آمده گیاه بامیه می‌تواند تعداد ۰/۳۴ عدد تخم یا لارو سن دوم نماتد به ازای هر سانتی‌متر مکعب خاک را تحمل کند (حد تحمل یا T) بدون اینکه وزن تر آن کاهش معنی‌داری پیدا کند. خطای استاندارد (standard error) و ضریب پراکندگی (coefficient of variation) محاسبه شده برای حد تحمل به ترتیب ۰/۲۴ و ۶/۹ بود ($df = 69; R^2 = 0.94$).

$$SF\ W = 0.95^{\frac{(P_i - 0.34)}{0.34}} \quad \text{at } P_i > T \quad (3)$$

$$SF\ W = 1 \quad \text{at } P_i \leq T$$

وزن تر اندام هوایی هنگامی که تعداد نماتد از یک عدد تخم یا لارو به ازای هر سانتی‌متر مکعب خاک فراتر رفت با شیب زیادی کاهش یافت (شکل ۲). وضعیت مشابهی در خصوص وزن خشک گیاه بامیه نیز وجود داشت و گیاه توانست تعداد ۰/۳۳ عدد تخم یا لارو سن دوم نماتد به ازای هر سانتی‌متر مکعب خاک را تحمل کند بدون اینکه وزن خشک آن کاهش یابد. مدل سین‌هورست برای وزن خشک گیاه در معادله ۴ نشان داده شده است. خطای استاندارد و ضریب پراکندگی محاسبه شده برای حد تحمل وزن خشک گیاه نسبت به نماتد به ترتیب ۰/۲۶ و ۷/۸ بود ($df = 69; R^2 = 0.94$) (شکل ۳).

$$SF\ W = 0.95^{\frac{(P_i - 0.33)}{0.33}} \quad \text{at } P_i > T \quad (4)$$

$$SF\ W = 1 \quad \text{at } P_i \leq T$$

(ANOVA) و مقایسه میانگین خصوصیات رشدی گیاه بامیه (وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه) و خصوصیات تکثیری نماتد (جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل) با آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) توسط نرم افزار Minitab (Minitab Inc., State ver. 16; Minitab Inc., State College, Pennsylvania, USA) انجام گرفت.

حد تحمل و آستانه خسارت با قرار دادن داده‌ها در معادله خسارت سین‌هورست و به کمک نرم افزار سیگما پلات ورژن ۱۱ (SigmaPlot ver. 11; Jandel Scientific, Corte Madera, California, USA) تخمین زده شد. آنالیز رگرسیون چند جمله‌ای تا توان پنج انجام گردید تا بهترین معادله‌ای که بتواند بر اساس جمعیت اولیه نماتد، وزن تر ریشه را پیش بینی کند مشخص گردد (SigmaPlot ver. 11).

ارتباط بین جمعیت اولیه (P_i) و جمعیت نهایی (P_f) نماتد با جایگذاری داده‌ها در معادله ۲ انجام گرفت (Minitab ver. 16).

نتایج

تاثیر جمعیت‌های مختلف نماتد *M. javanica* بر ویژگی‌های رشدی گیاه بامیه و تکثیری نماتد

افزایش جمعیت نماتد در خاک باعث تغییر معنی‌دار وزن تر ($df = 13; F = 193.5; P \leq 0.0001$) و خشک ($df = 13; F = 104.2; P \leq 0.0001$) اندام هوایی، میزان محصول ($df = 13; F = 146.727; P \leq 0.0001$) و وزن تر ریشه ($df = 13; F = 99.9; P \leq 0.0001$) گردید. بین جمعیت‌های نهایی نماتد ($df = 12; F = 71.3; P \leq 0.0001$) و فاکتور تولید مثل ($df = 12; F = 198.7; P \leq 0.0001$) نیز اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۱).

جدول ۱. تاثیر جمعیت اولیه نماتد ریشه گرهی (*Meloidogyne javanica*) بر ویژگی‌های رشدی گیاه بامیه (رقم سلطانی) و خصوصیات تکثیری نماتد پس از ۸۰ روز رشد در مزرعه.

Table 1. Effect of initial population densities of *Meloidogyne javanica* on growth parameters of okra plant (cv. Soltani) and reproduction traits of the nematode 80 days after growing in the farm.

Pi ¹	SFW ¹	SDW ¹	RFW ¹	Y ¹	Pf ¹	RF ¹
0	233 ± 11 a	45 ± 3.3 ab	38 ± 2 f	37 ± 1.5 ab	-	-
0.125	223 ± 7 a	51 ± 2.9 a	42 ± 2.8 f	38 ± 0.8 ab	60 ± 4.1 f	483 ± 33 a
0.25	253 ± 10 a	44 ± 2.8 ab	55 ± 2.6 e	40 ± 1.3 a	86 ± 4 e	343 ± 16 b
0.5	223 ± 6 a	42 ± 2.5 b	63 ± 2.6 cde	34 ± 0.7 ab	104 ± 5.2 de	208 ± 10 c
1	193 ± 7 b	44 ± 2.3 ab	69 ± 3.2 bc	32 ± 2.6 b	125 ± 8.6 cd	125 ± 9 d
2	158 ± 9 c	28 ± 2.3 c	76 ± 3.3 ab	27 ± 2.8 c	156 ± 4.9 ab	78 ± 2 e
4	112 ± 6 d	23 ± 1.8 cd	86 ± 4 a	14 ± 1.2 d	167 ± 5.2 ab	42 ± 1.3 ef
8	97 ± 6 d	17 ± 0.6 d	66 ± 3.4 bcd	12 ± 1.1 d	170 ± 6 a	21 ± 0.7 f
16	48 ± 7 e	7 ± 0.6 e	56 ± 3 de	6 ± 0.9 e	171 ± 8.6 a	11 ± 0.5 f
32	33 ± 5 ef	5 ± 0.4 e	31 ± 2.7 fg	3 ± 0.2 ef	145 ± 6.6 bc	4 ± 0.2 f
64	17 ± 2 fg	3 ± 0.4 e	22 ± 1.6 gh	1.5 ± 0.2 ef	154 ± 6 ab	2 ± 0.1 f
128	9 ± 1 fg	0.9 ± 0.1 e	16 ± 1 h	0.8 ± 0.1 ef	131 ± 4.4 c	1 ± 0.03 f
256	0 g	0 e	0 i	0 f	63 ± 2.9 f	0.2 ± 0.01 f
512	0 g	0 e	0 i	0 f	31 ± 2.2 g	0.06 ± 0.004 f

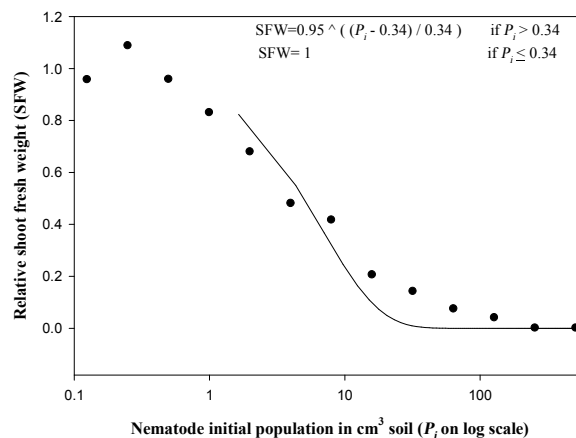
¹ Pi = nematode initial population (eggs or J2 / cm³ soil); SFW = shoot fresh weight (g / plant); SDW = shoot dry weight (g / plant); RFW = root fresh weight (g / plant); Y = yield fresh weight (g / plant); Pf = nematode final population (eggs or J2 / cm³ soil); RF = reproduction factor

آلودگی گیاه بامیه به نماتد *M. javanica* باعث کاهش معنی‌داری در میزان محصول (گرم بامیه‌ی تازه) گردید. بر اساس مدل سین‌هورست حد تحمل گیاه بامیه (رقم سلطانی) به نماتد *M. javanica* معادل ۰/۲۸ تخم یا لارو سن دوم به ازای هر سانتی‌متر مکعب خاک می‌باشد (معادله ۵؛ شکل ۴). خطای استاندارد و ضریب پراکندگی برای حد تحمل محصول گیاه به ترتیب ۰/۰۲ و ۶/۶ بود (df = 69; R² = 0.94).

$$Y = 0.95^{(P_i - 0.28) / 0.28} \quad \text{at } P_i > T \quad (5)$$

$$Y = 1 \quad \text{at } P_i \leq T$$

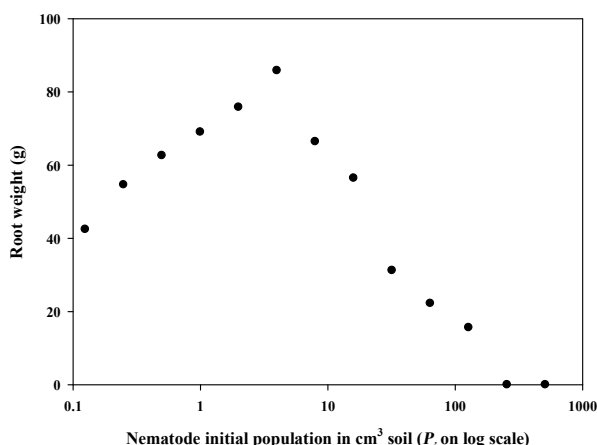
بر اساس مدل سین‌هورست آستانه خسارت نماتد به رقم سلطانی گیاه بامیه (که باعث کاهش ۱۰ درصدی محصول گردد) هنگامی است که جمعیت نماتد در خاک ۰/۸۵ تخم یا لارو سن دوم به ازای هر سانتی‌متر مکعب خاک باشد.



شکل ۲. ارتباط بین جمعیت اولیه نماتد *Meloidogyne javanica*

با وزن تر نسبی اندام هوایی (SFW) گیاه بامیه (رقم سلطانی) ۸۰ روز پس از کاشت در مزرعه. هر تیمار دارای ۵ تکرار بود.

Fig 2. Relationship between initial populations of *Meloidogyne javanica* and relative shoot fresh weight (SFW) of okra cv. Soltani after a 80-days growth in the field. Each treatment had five replications.



شکل ۵. تغییرات وزن تر ریشه‌ی گیاه بامیه (رقم سلطانی) در جمعیت‌های متفاوت نماتد *Meloidogyne javanica* پس از ۸۰ روز که در شرایط مزرعه رشد کردند. هر تیمار دارای پنج تکرار بود.

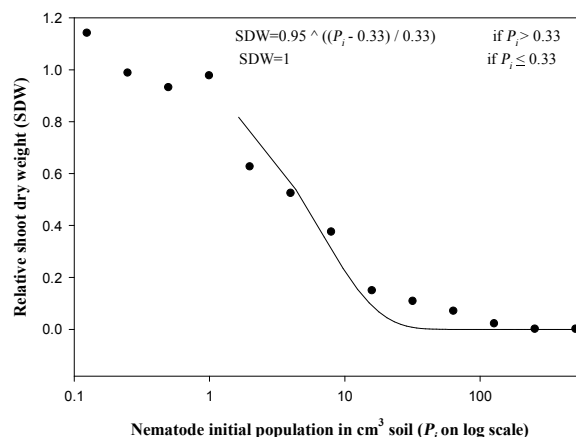
Fig 5. Changes in okra (cv. Soltani) root fresh weight at different initial population densities of *Meloidogyne javanica* measured at 80 days after inoculation in a field experiment. Each treatment had five replications.

افزایش جمعیت نماتد تا ۴ عدد تخم یا لارو سن دوم به ازای هر سانتی‌متر مکعب خاک با افزایش وزن تر ریشه همراه بود اما پس از آن، افزایش تعداد نماتد باعث کاهش وزن تر ریشه گردید (شکل ۵). مدل سین‌هورست به خوبی قادر به پیش‌بینی وزن تر ریشه بر اساس جمعیت اولیه نماتد نبود. بیشترین همخوانی بین وزن تر پیش‌بینی شده و وزن تر واقعی توسط معادله چند جمله‌ای به توان چهار (معادله ۶) وجود داشت ($R^2 = 0.74$).

$$\text{Root weight} = 62.693 - (0.8 \times P_i) + (0.005 \times P_i^2) - (0.00001 \times P_i^3) + (0.00000001 \times P_i^4) \quad (6)$$

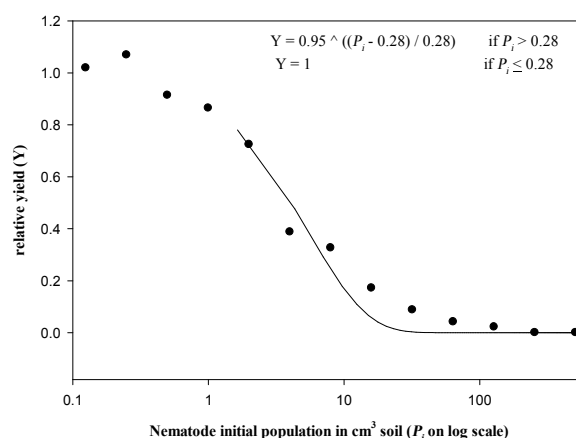
تغییرات و پویایی جمعیت نماتد *M. javanica*

جمعیت نهایی نماتد در خاک با افزایش جمعیت اولیه تا حد ۱۶ عدد تخم یا لارو سن دوم به ازای هر سانتی‌متر



شکل ۳. ارتباط بین جمعیت اولیه نماتد *Meloidogyne javanica* و وزن خشک نسبی (SDW) گیاه بامیه (رقم سلطانی) در آزمایش مزرعه‌ای. مقادیر هر تیمار از میانگین پنج تکرار به دست آمده است.

Fig 3. Relationship between *Meloidogyne javanica* initial populations and relative shoot dry weight (SDW) of okra (cv. Soltani) in the field experiment. Values are means of five replications.



شکل ۴. ارتباط میان جمعیت اولیه نماتد *Meloidogyne javanica* و عملکرد نسبی (Y، گرم میوه تازه) گیاه بامیه (رقم سلطانی) ۸۰ روز پس از آلودگی در شرایط مزرعه. هر تیمار دارای ۵ تکرار بود.

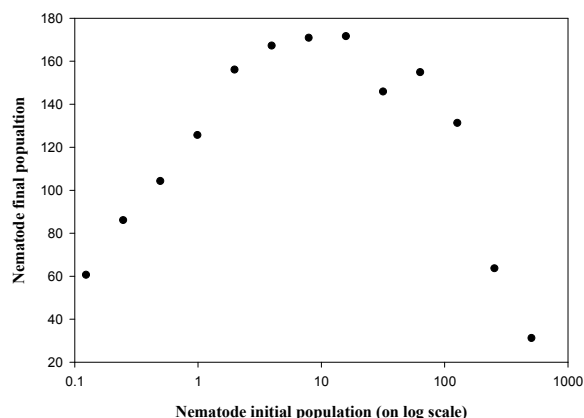
Fig 4. Relationship between *Meloidogyne javanica* initial populations and relative yield (Y, g fresh fruit weight) of okra (cv. Soltani) measured at 80 days post inoculation in a field experiment. Each treatment had five replications.

$$P_f = \frac{748.74 \times 159.09 \times P_i}{(748.74 - 1) \times P_i + 159.09} \quad (7)$$

بحث

اخذ تدابیر مدیریت نماتدها، نیازمند توانایی پیش‌بینی خسارت‌های مورد انتظار از یک جمعیت معین نماتد است. از آنجا که جمعیت نماتد در زمان کاشت فاکتور پیش‌بینی‌کننده‌ی خوبی برای خسارت وارده به گیاه است، بررسی پویایی جمعیت نماتد یک شاخه‌ی مهم در اجرای طرح‌های تحقیقاتی مرتبط با علم نماتدشناسی است (Schomaker & Been 2006). واضح است که افزایش تراکم جمعیت نماتدها می‌تواند به طور فزاینده‌ای در کاهش محصول گیاهان میزبان تأثیرگذار باشد. متأسفانه اطلاعات بسیار کمی در خصوص ارتباط بین جمعیت اولیه نماتد و میزان محصول اکثر گیاهان زراعی موجود است (Greco & Di Vito 2009). علی‌رغم حساسیت فراوان گیاه بامیه به نماتد ریشه‌گرهی (Noling 2009) پژوهش‌های انجام شده در خصوص برآورد خسارت وارده به این گیاه در اثر نماتد ریشه‌گرهی بسیار کم و انگشت‌شمار هستند.

در پژوهش حاضر هنگامی که جمعیت نماتد ۴/۰۶ تخم یا لارو سن دوم به ازای هر سانتی‌متر مکعب خاک بود، محصول (میوه بامیه) ۵۰٪ کاهش پیدا کرد (معادله ۵) در حالی که برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن تر و خشک گیاه به ترتیب ۴/۹ و ۴/۸ عدد نماتد در هر سانتی‌متر مکعب خاک لازم است (معادله ۳ و ۴). افزایش جمعیت نماتد با کاهش محصول و وزن اندام هوایی (تر و خشک) همراه بود. وضعیت مشابهی بین گونه‌های مختلف نماتد ریشه‌گرهی و میزبان‌هایشان گزارش شده است (Barker & Olthof 1976, Gharabadiyan et al. 2013, Greco & Di Vito 2009, Moosavi 2014, 2015, Russo et al.



شکل ۶. تغییرات جمعیت نهایی *Meloidogyne javanica* بر اساس جمعیت اولیه‌ای از نماتد که گیاه بامیه (رقم سلطانی) را آلوده کردند. جمعیت اولیه و نهایی بر اساس تعداد تخم یا لارو سن دوم در سانتی‌متر مکعب خاک نشان داده شده است. طول دوره‌ی آزمایش ۸۰ روز بود و هر تیمار پنج تکرار داشت.

Fig 6. Changes in final population densities of *Meloidogyne javanica* in accordance with initial population on okra (cv. Soltani). The initial and final population density of nematode represented as eggs or J2 / cm³ soil. The length of experiment period was 80 days and each treatment had five replications.

مکعب خاک افزایش نشان داد و پس از آن کاهش یافت (شکل ۶). فاکتور تولید مثل با جمعیت اولیه نماتد ارتباط منفی داشت و بیشترین فاکتور تولید مثل در کمترین جمعیت اولیه نماتد مشاهده شد.

داده‌های مربوط به جمعیت نهایی نماتد به خوبی در مدل دینامیک جمعیت جایگذاری شده و تغییرات آنها بر اساس مدل و با توجه به جمعیت اولیه قابل محاسبه بود (معادله ۷). در این مدل حداکثر نرخ تکثیر (a) ۷۴۹ و تراکم تعادل (E) ۱۵۹ (تخم یا لارو سن دوم در سانتی‌متر مکعب خاک) تخمین زده شد (خطای استاندارد a=94.8 و E=3.3؛ ضریب پراکندگی a=12.7 و E=2.1؛ df=53؛ R²=0.77).

معنی داری وجود ندارد. طول ریشه و اندام هوایی و وزن تر اندام هوایی گیاه بامیه هنگامی که با ۴۰۰۰ عدد لارو سن دوم نماتد در ۵۰۰۰ گرم خاک آلوده شده بودند (معادل ۳ عدد لارو سن دوم در هر سانتی متر مکعب خاک) به ترتیب ۳۸، ۳۷ و ۴۴٪ کاهش یافت (Hussain et al. 2011). هر چه طول دوره‌ی رشد گیاه میزبان نماتد بیشتر باشد، میزان خسارت نیز بیشتر است (Stirling 2000). البته واضح است که طول چرخه زندگی نماتد و نرخ تکثیر آن تحت تاثیر دما بوده و مستقیماً با درجه-روز تجمعی (Accumulated Degree-Day) بیشتر از یک دمای پایه (base temperature) مرتبط است (Trudgill 1995). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آستانه خسارت برای گیاهان یکساله علاوه بر جمعیت نماتد در زمان کاشت، به دمای زمان کشت و طول فصل رشد بستگی دارد (Ehwaeti et al. 1998). گیاهان بذری نسبت به زمانی که نشاکاری شوند نسبت به نماتد حساس‌ترند (Stirling 2000).

در این پژوهش، افزایش جمعیت نماتد تا حد ۴ عدد تخم یا لارو سن دوم در هر سانتی متر مکعب خاک باعث افزایش وزن تر ریشه گردید و پس از آن وزن ریشه کاهش یافت. افزایش حجم ریشه در پاسخ به آلودگی با نماتد و تولید گال روی ریشه باعث افزایش وزن ریشه می‌گردد. اگرچه هنگامی که جمعیت نماتدهای ریشه گرهی (*Meloidogyne spp.*) از یک حدی می‌گذرد، خسارت وارده به حدی است که گیاه قادر به جبران آن نیست. فتوسنتز در قسمت هوایی گیاه میزبان کاهش یافته و به دنبال آن توسعه ریشه متوقف و وزن آن کاهش می‌یابد (Karssen et al. 2013).

در این پژوهش، در سطوح کم جمعیت نماتد (۰/۱۲۵ و ۰/۲۵) مقدار محصول نسبت به شاهد (جمعیت صفر) کمی

2007, Schomaker & Been 2006, Wesemael et al. (2014).

کاشت نشاهای شش هفته‌ای گیاه بامیه (رقم Pusa Sawni) در خاک مزرعه‌ای که جمعیت اولیه لارو سن دوم نماتد *M. incognita* در آن ۲۹۳ عدد در هر ۱۰۰ گرم خاک بود (معادل ۳/۸۱ عدد در هر سانتی متر مکعب خاک) باعث کاهش ۹۱ درصدی محصول شد (Bhatti & Jain 1977). آزمایشی که روی رقم Clemson spineless گیاه بامیه در خاک مزرعه با آلودگی طبیعی به نماتد *M. incognita* انجام شد نشان داد افزایش تعداد گال روی ریشه با کاهش محصول مستقیم داشته و می‌تواند محصول را تا ۹۰٪ کاهش دهد. البته داده‌ها نتوانستند بین تعداد گال‌های تشکیل شده روی ریشه و مقدار محصول ارتباط رگرسیون معنی‌داری پیدا کنند. علت این موضوع پراکنش غیر یکنواخت نماتد در مزرعه اعلام شد (Lamberti et al. 1988).

شصت روز پس از آنکه نشاهای سه هفته‌ای بامیه (رقم نامشخص) در گلدان‌هایی با جمعیت‌های مختلف (۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ عدد لارو سن دوم در هر کیلوگرم خاک) نماتد *M. incognita* کاشته شدند، فاکتورهای رویشی آنها نشان داد که کاهش معنی‌دار رشد تا جمعیت ۱۰۰۰ عدد لارو سن دوم در هر کیلوگرم خاک (معادل ۰/۷۷ عدد در هر سانتی متر مکعب خاک) مشاهده نمی‌شود (Safiuddin & Sharma 2011). کاربرد جمعیت‌های مختلف نماتد *M. incognita* که از سری‌های هندسی (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ لارو سن دوم در ۵ کیلوگرم خاک) تبعیت می‌کردند روی رقم Punjab Selection گیاه بامیه که ۴۵ روز در گلخانه نگهداری شده بودند نشان داد که بین جمعیت ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ از نظر کاهش فاکتورهای رویشی گیاه اختلاف

عدد در ۱۰۰ گرم خاک) برآورد شد که بسیار بیشتر از گوجه فرنگی (۴۰٪) و بادمجان (۳۲٪) بود (Bhatti & Jain 1977). هنگامیکه جمعیت اولیه نماتد *M. incognita* در خاک ۲۵۰ عدد به ازای ۱۰۰۰ گرم خاک (معادل ۰/۱۹ در هر سانتی متر مکعب خاک) بود، بیشترین فاکتور تولید مثل نماتد (۱۶/۲ برابر) روی گیاه بامیه مشاهده شد (Safiuddin & Sharma 2011).

در مطالعه حاضر، بالا رفتن جمعیت اولیه نماتد با کاهش فاکتور تولید مثل نماتد همراه بود. به عبارت دیگر در سطوح بالای جمعیت نماتد، جمعیت نهایی کاهش شدیدی می‌یابد. این وضعیت در اغلب پژوهش‌های انجام شده در این خصوص گزارش شده است (Charegani et al. 2012, Di Vito et al. 1985, 1986, 1992, Moosavi et al. 2014, 2015). کاهش تکثیر نماتد در بالاترین سطوح تلقیح می‌تواند به خاطر تخریب سیستم ریشه‌ای گیاه، رقابت برای غذا و تغذیه بین نماتدهای در حال رشد در داخل سیستم ریشه و به خاطر ناتوانی لاروها در یافتن مکان‌های آلودگی جدید باشد (Escobar et al. 2015).

هر چند به کارگیری واژه‌های مقاوم، متحمل و حساس در مورد گیاهان یا ارقام مختلف یک گیاه به سادگی و تنها با یک آزمایش امکان‌پذیر نیست، اما در مجموع در پژوهش حاضر، با استناد به صفات رشدی گیاه و صفات تولید مثلی نماتد و همچنین بر اساس برآورد مدل رگرسیونی سین هورست، مشاهده گردید که گیاه بامیه (رقم سلطانی) به جدایه‌ی ایرانی نماتد *M. javanica* حساس است. حد تحمل (بدون کاهش محصول) و آستانه خسارت (کاهش ۱۰ درصدی محصول) رقم سلطانی به ترتیب ۰/۲۸ و ۰/۸۵ تخم یا لارو سن دوم در سانتی‌متر مکعب خاک برآورد گردید. بنابراین با توجه به حساسیت بالای گیاه بامیه به نماتد *M. javanica*، نمونه برداری از

افزایش یافت. به نظر می‌رسد که گیاهان آلوده به نماتدهای ریشه‌گرهی تولید ترکیبات شبه اکسین می‌کنند (Abad et al. 2009) که می‌تواند کاهش محصول را متوقف کرده یا حتی باعث افزایش محصول در جمعیت‌های کم نماتد گردد (Greco & Di Vito 2009).

در این پژوهش، با توجه به خشک شدن گیاه در جمعیت‌های بالا، حداقل میزان محصول (*m*) گیاه بامیه صفر در نظر گرفته شد. حداکثر نرخ تکثیر ۷۴۹ برابر و تراکم تعادل ۱۵۹ عدد نماتد (تخم یا لارو) برآورد شد. آستانه خسارت نماتد *M. javanica* روی گیاه بامیه که باعث کاهش ۱۰ درصدی محصول می‌گردد بر اساس مدل سین‌هورست ۰/۸۵ عدد تخم یا لارو سن دوم در هر سانتی‌متر مکعب خاک برآورد شد. از آنجا که در هیچ‌کدام از پژوهش‌های پیشین از مدل سین‌هورست برای تخمین حد تحمل، حداقل محصول، آستانه خسارت و بررسی پویایی جمعیت نماتد روی گیاه بامیه استفاده نشده است، داده‌های به دست آمده با سایر نتایج مقایسه نگردیده است. البته باید توجه داشت که تفاوت حد تحمل، حداقل محصول و آستانه خسارت در پژوهش‌های مختلف طبیعی بوده و می‌تواند ناشی از تفاوت در گونه و رقم گیاه، گونه و جمعیت نماتد، نوع خاک، نوع مایه تلقیح (لارو سن دوم به تنهایی یا مخلوطی از تخم یا لارو سن دوم) (Greco & Di Vito 2009, Hussey & Janssen 2002, Ravichandra Mekete et al. 2014) و شرایط محیطی زمان آزمایش (Mekete et al. 2003) باشد.

هنگامی که نشاهای شش هفته‌ای رقم *Pusa Sawani* گیاه بامیه در خاکی که جمعیت اولیه نماتد در آن ۲۹۳ لارو سن دوم در هر ۱۰۰ گرم خاک (معادل ۳/۸۱ عدد در سانتی‌متر مکعب خاک) بود کاشته شد، درصد افزایش جمعیت لاروهای سن دوم نماتد *M. incognita* (۶۹٪) (۴۹۴

خاک مزارع و تعیین میزان جمعیت نماتد در خاک قبل از کشت محصول جهت اجرای اقدامات مدیریتی علیه این نماتد خسارت زا ضروری می باشد.

منابع

- Abad P., Castagnone-Sereno P., Rosso M-N., de Almeida Engler J. and Favary B. 2009. Invasion, feeding and development, pp. 163–181. In: R. N. Perry, M. Moens and J. L. Starr (Eds). Root-knot nematodes. CABI Publishing, UK.
- Ahmadi A. R. and Tanha Maafi, Z. 2012. Distribution and infection severity of the root-knot nematodes in vegetable fields of Khuzestan province. 20th Iranian Plant Protection Congress, 25–28 August 2012; Shiraz, p. 653
- Barker K. R. and Olthof T. H. A. 1976. Relationship between nematode population densities and crop responses. Annual Review of Phytopathology 14: 327–353.
- Bhatti D. S. and Jain R. K. 1979. Estimation of loss in okra, tomato and brinjal yield due to *Meloidogyne incognita*. Indian Journal of Nematology 7: 37–41.
- Bridge J. and Starr J. L. 2007. Plant nematodes of agricultural importance. Manson Publishing, UK. 152 p.
- Charegani H., Majzoub S., Hamzehzarghani H. and Karegar-Bide A. 2012. Effect of various initial population densities of two species of *Meloidogyne* on growth of tomato and cucumber in greenhouse. Nematologia Mediterranea 40: 129–134.
- Di Vito M., Cianciotta V. and Zaccheo G. 1992. Yield of susceptible and resistant pepper in microplots infested with *Meloidogyne incognita*. Nematropica 22: 1–6.
- Di Vito M., Greco N. and Carella A. 1985. Population densities of *Meloidogyne incognita* and yield of *Capsicum annuum*. Journal of Nematology 17: 45–49.
- Di Vito M., Greco N. and Carella A. 1986. Effect of *Meloidogyne incognita* and importance of the inoculum on the yield of eggplant. Journal of Nematology 18: 487–490.
- Ehwaeti M. E., Phillips M. S. and Trudgill D. L. 1998. Dynamics of damage to tomato by *Meloidogyne incognita*. Fundamental and Applied Nematology 21: 627–635.
- Escobar C., Barcala M., Cabrera J. and Fenoll C. 2015. Overview of root-knot nematodes and giant cells, pp. 1–32. In: C. Escobar and C. Fenoll (Eds). Plant Nematode Interactions: A View on Compatible Interrelationships, Advances in Botanical Research, Vol. 73. Academic Press, UK.
- Ghaderi R., Kashi L. and Karegar A. 2012. The nematodes of Iran, based on the published reports until 2011. Agricultural Training and Promotion Publishing, Iran. 371 p.
- Gharabadiyan F., Jamali S. and Komeili H. R. 2013. Determining of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) damage function for tomato cultivars. Journal of Agricultural Sciences 58: 147–157.
- Greco N. and Di Vito M. 2009. Population dynamics and damage levels, pp. 246–274. In: R. N. Perry, M. Moens and J. L. Starr (Eds). Root-Knot Nematodes. CABI Publishing, UK.
- Hartman K. M. and Sasser J. N. 1985. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal-pattern morphology, pp. 69–77. In: K. R. Barker, C. C. Carter, J. N. Sasser (Eds). An Advanced Treatise on *Meloidogyne* Vol. II. Methodology. North Carolina State University Press, USA.
- Hussain M. A. Mukhtar T. and Kayani M. Z. 2011. Assessment of the damage caused by *Meloidogyne incognita* on okra (*Abelmoschus esculentus*). The Journal of Animal & Plant Sciences 21: 857–861.
- Hussey R. S. and Barker K. R. 1973. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. Plant Disease Reporter 57: 1025–1028.
- Hussey R. S. and 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. CABI Publishing, UK.
- Jenkins W. R. 1964. A rapid centrifugal-floatation technique for separating nematodes from soil. Plant Disease Reporter 48: 692.
- Karssen G. Wesemael W. M. L. and Moens M. 2013. Root-knot nematodes, pp. 73–108. In: R. N. Perry and M. Moens (Eds). Plant Nematology. 2nd ed., CABI Publishing, UK.
- Lamberti F. 1979. Economic importance of *Meloidogyne* in subtropical and Mediterranean climates, pp. 341–357.

- In F. Lamberti and C. E. Taylor (Eds.). Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species), Systematic, Biology and Control. Academic Press, USA.
- Lamberti F. Boiboi J. B. and Ciancio A. 1988. Losses due to *Meloidogyne incognita* in okra in Liberia. *Nematologia Mediterranea* 16: 5–6.
- Mekete T. Mandefro W. and Greco N. 2003. Relationship between initial population densities of *Meloidogyne javanica* and damage to pepper and tomato in Ethiopia. *Nematologia Mediterranea* 31: 169–171.
- Moens M. Perry R. N. and Starr J. L. 2009. *Meloidogyne* species – a diverse group of novel and important plant parasites, pp. 1–17. In: R. N. Perry, M. Moens and J. L. Starr (Eds). Root-Knot Nematodes. CABI Publishing, UK.
- Moosavi M. R. 2014. Dynamics of damage to eggplant by *Meloidogyne javanica*. *CIBTech Journal of Zoology* 3: 43–49.
- Moosavi M. R. 2015. Damage of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* to bell pepper, *Capsicum annuum*. *Journal of Plant Disease and Protection* 122: 244–249.
- Mueller J., Koening S., Kirkpatrick T., Kemerait B., Overstreet C. and Nichols B. 2012. Managing Nematodes in Cotton-Based Cropping Systems. Cotton Inc., USA, 4 p. <http://www.cottoninc.com/fiber/AgriculturalDisciplines/Nematology/2012-Managing-Nematodes/2012-Managing-Nematodes-PDF.pdf>
- Noling J. W. 2009. Nematode Management in Okra. Fact Sheet ENY-043 (NG027). Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, USA. 7 p. <http://nematology.ifas.ufl.edu/assaylab/Documents/Okra.pdf>
- Ravichandra N. G. 2014. Nematode population threshold levels, pp. 101–114. In: N. G. Ravichandra (Ed). Horticultural Nematology. Springer, Netherlands.
- Russo G., Greco N., d'Errico F. P. and Brandonisio A. 2007. Impact of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, on potato during two different growing seasons. *Nematologia Mediterranea* 35: 29–34.
- Safiuddin S. S. and Sharma S. 2011. Pathogenicity of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* and root rot fungus, *Rhizoctonia solani* on okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *e-Journal of Science & Technology* 6: 97–102.
- Schomaker C. H. and Been T. H. 2006. Plant growth and population dynamics, pp. 275–301. In: R. N. Perry and M. Moens (Eds). Plant Nematology. CABI Publishing, UK.
- Seinhorst J. W. 1965. The relationship between nematode density and damage to plants. *Nematologica* 11: 137–154.
- Seinhorst J. W. 1967a. The relationship between population increase and population density in plant parasitic nematodes – II. Sedentary nematodes. *Nematologica* 13: 157–171.
- Seinhorst J. W. 1967b. The relationship between population increase and population density in plant parasitic nematodes – V. Influence of damage to the host on multiplication. *Nematologica* 13: 481–492.
- Seinhorst J. W. 1972. The relationship between yield and square root of nematode density. *Nematologica* 18: 585–590.
- Seinhorst J. W. 1986a. The development of individuals and populations of cyst nematodes on plants, pp. 101–117. In: F. Lamberti and C. E. Taylor (Eds). Cysts Nematodes. Academic Press, UK.
- Seinhorst J. W. 1986b. Effects of nematode attack on the growth and yield of crop plants, pp. 191–209. In: F. Lamberti and C. E. Taylor (Eds). Cysts Nematodes. Academic Press, UK.
- Seinhorst J. W. 1998. The common relation between population density and plant weight in pot and microplot experiments with various nematode plant combinations. *Fundamental and Applied Nematology* 21: 459–468.
- Stirling G. R. 2000. Nematode monitoring strategies for vegetable crops. RIRDC Publication No. 00/25. Canberra, Rural Industries Research and Development Corporation, Australia, 37 p. www.rirdc.gov.au/reports/Ras/00-25.
- Tripathi K. K. Warriar R. Govila O. P. and Ahuja V. 2011. Biology of *Abelmoschus esculentus* L. (okra), Series of Crop Specific Biology Documents. Published by Ministry of Environment and Forests & Ministry of Science and Technology, New Delhi, India.
- Trudgill D. L. 1995. An assessment of the relevance of thermal time relationships to Nematology. *Fundamental and Applied Nematology* 18: 407–417.

- Taylor D. P. and Netscher C. 1974. An improved technique for preparing pernieal patterns of *Meloidogyne* spp. *Nematologica* 20: 268–269.
- Wesemael W. M. L., Taning L. M., Viaene N. and Moens M. 2014. Life cycle and damage of the root-knot nematode *Meloidogyne minor* on potato, *Solanum tuberosum*. *Nematology* 16: 185–192.
- Xing L. J. and Westphal A. 2005. A method for field infestation with *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology* 37: 500–503.