پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۳ (۴): ۳۹۵-۳۸۷ (۱۴۰۳)- مقاله پژوهشی

Journal of Applied Research in Plant Protection 13 (4): 387–395 (2024)-*Research Article*

https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2024.18604

کاربرد برخی محرک‌های زیستی در گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به نماتد *Meloidogyne javanica*

سعید مهدی، فاطمه خاجی، حبیب‌اله چاره‌گانی ✉

گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. ✉h.charehgani@yu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۰۷ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۸

چکیده

گوجه‌فرنگی توسط عامل ریشه‌گرهی (*Meloidogyne spp*) مورد حمله قرار می‌گیرد که باعث کاهش عملکرد تولید می‌شود. هزینه بالا و پیامدهای منفی کاربرد نماتدکش‌های شیمیایی بر محیط زیست، سبب محدودیت‌هایی در استفاده از آن‌ها شده است. استفاده از کودهای شیمیایی با تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر جمعیت نماتدها، به عنوان یک راهکار جایگزین سازگار با محیط زیست در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق اثر غلظت‌های حداقل و حداکثر توصیه شده کودهای زیما (اصلاح کننده خاک)، نِمو (افزایش دهنده رشد) و بُن‌زا (تحریک کننده رشد ریشه) در کاهش خسارت *M. javanica* در گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی در مرحله چهار برگی با کودهای نِمو و بُن‌زا به میزان ۰/۱ و ۰/۳ درصد و زیما به میزان ۰/۵ و یک درصد تیمار و به طور هم‌زمان با ۶۰۰۰ تخم نماتد مایه‌زنی و در شرایط گلخانه نگهداری شدند. پس از ۶۰ روز، نتایج نشان داد که کود نِمو در غلظت ۰/۳ درصد به‌طور معنی‌داری شاخص‌های رویشی گیاهان غیر آلوده و آلوده به نماتد را افزایش داد. همچنین غلظت ۰/۵ درصد کود زیما در مقایسه با شاهد به ترتیب موجب کاهش ۵۷/۴۲، ۳۴/۵۸، ۴۳/۶۷ و ۵۶/۹۳ درصد در تعداد تخم، گال و توده تخم در ریشه و فاکتور تولیدمثل نماتد شد. نتایج پژوهش نشان دهنده اهمیت اصلاح ساختار خاک و جبران مواد غذایی ضروری برای کاهش خسارت نماتدهای ریشه‌گرهی در گیاه گوجه‌فرنگی می‌باشد.

کلمات کلیدی: بُن‌زا، زیما، شاخص تولیدمثل، گوجه‌فرنگی، نِمو

Application of some biostimulants on tomato plants infected with *Meloidogyne javanica*

Saeid Mahdi, Fatemeh Khaji, Habiballah Charehgani ✉

Department of Plant Protection, Faculity of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran. ✉h.charehgani@yu.ac.ir

Received: 19 March 2024 Revised: 26 April 2024 Accepted: 17 June 2024

Abstract

Tomato is attacked by root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.), reducing crop yield. The negative consequences on the environment and the high cost of producing chemical nematicides limit their application. The use of chemical fertilizers with a direct and indirect effect on the population of nematodes is considered as an environmentally friendly alternative solution. In this research, the effect of recommended minimum and maximum concentrations of Zima (soil conditioner), Nemo (growth enhancer) and Bonza (root growth stimulant) fertilizers was investigated in reducing the damage caused by *M. javanica* in tomato plants under greenhouse conditions. For this purpose, four-leaf stage tomato seedlings were treated with the concentrations 0.5% and 1% of Zima fertilizer, 0.1% and 0.3% of Nemo fertilizer, and 0.1% and 0.3% of Bonza fertilizer and simultaneously inoculated with 6000 nematode eggs and kept in greenhouse conditions. Sixty days after nematode inoculation, the results showed that nemo at the rate of 0.3% significantly increased the vegetative indices of healthy and infected plants. Also, the concentration of 0.5% Zima fertilizer decreased the number of eggs, galls and eggmasses in the root system, and the reproduction factor of nematode by 57.4, 34.6, 43.7, and 56.9%, respectively, compared to the control. The results of the research showed the importance of modifying the soil structure and compensating essential nutrients to reduce the damage of root-knot nematodes in tomato plants.

Keywords: Bonza, Nemo, Reproduction factor, Tomato, Zima

How to cite:
Mahdi S, Khaji F, Charehgani H, 2024. Application of some biostimulants on tomato plants infected with *Meloidogyne javanica*. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 13 (4): 387–395.

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) پس از سیب زمینی دومین محصول مهم سبزی در دنیا است. این گیاه برای مصرف تازه‌خوری و محصولات فرآوری شده کشت می‌شود (Quinet *et al.* 2019). گوجه‌فرنگی منبع خوبی از مواد مؤثر گیاهی و مواد مغذی مانند لیکوپن، پتاسیم، آهن، فولات و ویتامین C است. علاوه بر لیکوپن و ویتامین C، گوجه فرنگی آنتی‌اکسیدان‌های دیگری مانند بتاکاروتن و ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها، کلروژنیک، هیدروکسی سینامیک اسید، فرولیک اسید و هوموانیلیک اسید را فراهم می‌کند (Bhowmik *et al.* 2012).

نماتدهای ریشه‌گرهی (*Meloidogyne* spp. Treub, 1885) یکی از مخرب‌ترین نماتدهای انگلی گیاهی هستند که طیف وسیعی از محصولات کشاورزی و زینتی و حتی علف‌های هرز را آلوده می‌کنند (Jones *et al.* 2013). این نماتدها با وارد کردن خسارت ۱۷۵ میلیارد دلاری، یکی از موانع اصلی تولید محصولات کشاورزی می‌باشند (Bernard *et al.* 2017). آلوده شدن گیاهان به این نماتدها، توانایی آن‌ها را برای جذب و انتقال مواد مغذی و آب از ریشه به اندام هوایی کاهش داده و تولید محصول و عملکرد را کاهش می‌دهد (Abad *et al.* 2009). کشاورزان از روش‌های شیمیایی برای مدیریت نماتدهای ریشه‌گرهی استفاده می‌کنند. اگرچه نماتدکش‌های مصنوعی پاسخ سریع و مؤثری ارائه می‌دهند، اما معایبی مانند هزینه بالا و پیامدهای منفی آن‌ها بر محیط زیست، محدودیت‌هایی در مورد استفاده از این روش به وجود آورده است. از این رو، یافتن یک ماده یا روش مؤثر و سازگار با محیط‌زیست برای مقابله با نماتدهای ریشه‌گرهی مورد توجه قرار گرفته است (Julio *et al.* 2017; Golmohammadi *et al.* 2022). به کار بردن کودهای آلی و غیرآلی موجب سرکوب نماتدها می‌شود (Kaplan & Neo 1993). استفاده از کودها به طور غیرمستقیم با افزایش تغذیه نماتد و یا با جبران مواد غذایی برای گیاه، بر جمعیت نماتد تأثیر می‌گذارد. از سوی دیگر، کمبود عناصر غذایی ممکن است گیاه را ضعیف و مستعد حمله نماتدها کند (Mozaffarian *et al.* 2020; Charehgani *et al.* 2021; Rostami *et al.* 2021). اثر مستقیم کودها بر روی نماتدها ممکن است رفتار و تولیدمثل نماتد را تغییر دهد که ممکن است منجر به کاهش یا افزایش جمعیت نماتد شود. اثربخشی کودها در تغییر جمعیت نماتد به اجزای کود و مواد مؤثره آن‌ها بستگی دارد (Gruzdeva *et al.* 2007). اجزای کود ممکن است به طور مستقیم برای نماتدها کشنده باشند یا ممکن است باعث تغییر اسیدیته و شوری خاک شوند که به نوبه خود بر جمعیت نماتدها تأثیر می‌گذارد (Tenuta & Ferris 2004). استفاده از برخی مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر مانع از تفریخ تخم نماتد می‌شود (Habash & Al-Banna 2011; Wang *et al.* 2013) در حالی که برخی دیگر مانند سولفات و کلرید روی به عنوان محرک عمل کرده و تفریخ تخم نماتد را افزایش می‌دهند (Behm *et al.* 1995). کودها معمولاً با توجه به نیاز محصولات و وضعیت حاصلخیزی خاک، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کودها دارای اثرات سرکوبگری، محرک و خنثی بر بیماری‌ها یا عوامل بیماری‌زای گیاهی هستند (Dordas 2008). استفاده از کود NPK (Nitrogen, Phosphorus and Potassium (kalium)) موجب کاهش تولید گال نماتد *M. javanica* به میزان ۲۳/۸ درصد در گیاه گوجه‌فرنگی شد (Saeedizadeh *et al.* 2020). کودهای فسفونات، از جمله فسفونات کلسیم، فسفونات منیزیم و فسفونات پتاسیم باعث کاهش تشکیل گال نماتد *M. javanica* در گیاهان میزبان در گلخانه شدند (Habash & Al-Banna 2011). شاخص تولیدمثل نماتد در گیاهان تیمار شده با کود سیلیکونی نانوکلات شده به صورت غرقابی، به میزان ۶۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین کاربرد نانو ذرات دی‌اکسید سیلیکون ($nSiO_2$) به شکل غرقاب کردن خاک، موجب کاهش این شاخص به میزان ۵۰ درصد نسبت به شاهد شد (Charehgani *et al.* 2021).

با وجود این یافته‌های امیدوارکننده، مدیریت مؤثر نماتدهای ریشه‌گرهی همچنان تحت بررسی است و نماتدکش‌های مصنوعی به شکل گسترده برای مقابله با این گروه از بیمارگرها استفاده می‌شوند. مطالعه حاضر به بررسی اثرات سه کود زیما (Zima، اصلاح کننده خاک) نِمو (Nemo، افزایش دهنده رشد) و بُن‌زا (Bonza، محرک رشد ریشه) بر روی گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به نماتد *M. javanica* پرداخته است. ترکیبات عمده این کودها شامل فرم‌های گوناگون نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مولیبدن و اسیدهای آمینه می‌باشد. کاربرد این کودها به صورت آبیاری توصیه شده است اما کاربرد کود نِمو و بُن‌زا به صورت محلول پاشی نیز امکان‌پذیر است. تأثیر کودهای مورد استفاده به عنوان کودهای بهبود دهنده رشد برای اولین بار در این پژوهش بر روی نماتد ریشه‌گرهی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

تهیه مایه تلقیح

ریشه آلوده به نماتد *M. javanica* از گلخانه پژوهشی گروه گیاهپزشکی دانشگاه یاسوج تهیه شد. برای تهیه تخم نماتد، ریشه‌ها با جریان ملایم آب شسته شد. سپس ریشه‌ها به همراه گیاهپزشکی دانشگاه یاسوج تهیه شد. برای تهیه تخم نماتد، ریشه‌ها با جریان ملایم آب شسته شد. سپس ریشه‌ها به همراه محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد درون دستگاه مخلوط‌کن برقی با سرعت متوسط به هم زده شدند. مخلوط به دست آمده از یک الک ۱۰۰ مش که بر روی یک الک ۵۰۰ مش قرار داشت عبور داده و سپس با جریان ملایم آب شستشو انجام شد تا هیپوکلریت سدیم از سوسپانسیون به دست آمده پاک شود. در نهایت سوسپانسیون تخم در الک ۵۰۰ مش جمع‌آوری شد (Hussey & Barker 1973).

کودهای مورد استفاده

کودهای زیما، نِمو، و بُن‌زا توسط شرکت دانش‌بنیان زیست فناور هامرز تولید شده است. به منظور یکسان بودن همه تیمارها، هر سه کود به شکل آبیاری استفاده شدند. میزان مصرف توصیه شده توسط شرکت سازنده در محصولات جالیزی برای کود زیما ۱۰ لیتر در هکتار و کودهای نِمو و بُن‌زا یک تا سه لیتر در هکتار می‌باشد.

آزمون گلخانه‌ای

ابتدا میزان مساوی بستر کشت شامل ترکیب استریل خاک مزرعه، ماسه و کود دامی پوسیده با نسبت ۲:۱:۱ درون گلدان‌های یک کیلوگرمی ریخته شد. در هر گلدان یک عدد بذر گیاه گوجه‌فرنگی رقم ارلی-اوربانا (Early-Urbana®) کشت شد و گلدان‌ها و در شرایط گلخانه با دمای ۲ ± ۲۷ درجه سانتی‌گراد و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند. سپس در مرحله چهار برگی، گیاهچه‌ها به وسیله غلظت‌های مناسب کودهای شیمیایی تیمار و با جمعیت مناسب نماتد، مایه‌زنی شدند. به منظور تیمار گیاهان به وسیله کودهای مورد آزمایش، مقدار کمینه و بیشینه غلظت توصیه شده آن‌ها تهیه شد. این مقادیر برای کودهای نِمو و بُن‌زا به میزان ۰/۱ و ۰/۳ درصد و برای کود زیما به میزان ۰/۵ و یک درصد بود. شرکت سازنده برای کود زیما تنها یک غلظت توصیه نموده است که به علت رعایت اصول پژوهش، غلظت معادل نصف غلظت توصیه شده به عنوان غلظت کمینه استفاده شد. دلیل انتخاب این غلظت‌ها تعیین کارایی غلظت کمینه و بیشینه توصیه شده توسط شرکت سازنده، بر نماتد ریشه‌گرهی بود. برای اعمال تیمار بر روی گیاهان، ۲۰ میلی‌لیتر از هر غلظت تهیه شده به صورت آبیاری برای گلدان‌ها استفاده شد. همچنین برای انجام مایه‌زنی نماتد به گیاهان، سه گودال در اطراف ریشه گیاهان حفر شد. در ادامه ۶۰۰۰ تخم نماتد *M. javanica* در کنار ریشه‌ها قرار داده شدند و سپس گودال‌ها به وسیله خاک پر شدند (Charehgani *et al.* 2021). از گیاهان آلوده به نماتد و غیر آلوده بدون تیمار کودی به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل با دو فاکتور غلظت کود و نماتد، در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار برای هر تیمار در شرایط گلخانه انجام شد. پس از گذشت ۶۰ روز، گیاهان برداشت شده و شاخص‌های رویشی گیاه شامل طول، وزن تر و خشک شاخساره و وزن تر ریشه و شاخص‌های جمعیتی نماتد شامل تعداد تخم در سیستم ریشه (Hussey & Barker 1974)، تعداد گال و کیسه تخم در ریشه (Hussey & Janssen 2002)، تعداد لارو سن دوم نماتد در خاک (Whitehead & Hemming 1965) مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت، شاخص تولیدمثل نیز با فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{شاخص تولید مثل} = \frac{\text{جمعیت نهایی نماتد}}{\text{جمعیت اولیه نماتد}}$$

منظور از جمعیت نهایی نماتد، مجموع تعداد تخم و کیسه تخم در سیستم ریشه و تعداد لارو سن دوم در گلدان می‌باشد (Taylor & Sasser 1978).

محاسبات آماری

داده‌های به دست آمده از بررسی شاخص‌های رویشی گیاهان و جمعیتی نماتد، با استفاده از رویه ANOVA و با استفاده از نرم‌افزار SAS ورژن ۹/۴ مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. داده‌های مربوط به شاخص‌های جمعیتی نماتد به صورت تجزیه واریانس یک طرفه (One-Way ANOVA) و داده‌های مربوط به شاخص‌های رویشی گیاه به صورت فاکتوریل دو طرفه ۶ × ۲ (غلظت‌های کود × نماتد) (Two-Way ANOVA) و در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح یک درصد انجام شد.

نتایج

نتایج مربوط به شاخص‌های رشدی گیاه

تجزیه واریانس و جدول مقایسه میانگین نتایج مربوط به شاخص‌های رویشی به ترتیب در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. تجزیه واریانس نتایج نشان دهنده معنی‌دار بودن تیمارهای اعمال شده بر روی همه شاخص‌های رویشی گیاه گوجه‌فرنگی بود.

جدول ۱. تجزیه واریانس شاخص‌های رویشی گیاه گوجه‌فرنگی غیرآلوده و آلوده به نماتد *Meloidogyne javanica* و تیمار شده با غلظت‌های ۰/۵ و یک درصد کود زیما، ۰/۱ و ۰/۳ درصد کود نِمو و ۰/۱ و ۰/۳ درصد کود بُن‌زا.

Table 1. Variance analysis of growth indices of non-inoculated and inoculated tomato plants with *Meloidogyne javanica* and treated with concentrations 0.5% and 1% of Zima fertilizer, 0.1% and 0.3% of Nemo fertilizer, and 0.1% and 0.3% of Bonza fertilizer.

Source	df	Mean square			
		Shoot length (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)
Fertilizer	7	187.94**	63.76**	19.86**	15.01**
Nematode	1	290.08**	104.61**	51.22**	37.43**
Fertilizer×Nematode	5	6.34**	1.58**	1.31**	1.78**
Error	42	9.74	5.49	0.56	0.11
CV		11.52	16.24	8.88	5.91

** significant level at $P \leq 0.01$

جدول ۲. مقایسه میانگین شاخص‌های رویشی گیاه گوجه‌فرنگی غیرآلوده و آلوده به نماتد *Meloidogyne javanica* و تیمار شده با غلظت‌های ۰/۵ و یک درصد کود زیما، ۰/۱ و ۰/۳ درصد کود نِمو و ۰/۱ و ۰/۳ درصد کود بُن‌زا.

Table 2. Mean growth indices of non-inoculated and inoculated tomato plants with *Meloidogyne javanica* and treated with concentrations 0.5% and 1% of Zima fertilizer, 0.1% and 0.3% of Nemo fertilizer, and 0.1% and 0.3% of Bonza fertilizer.

Treatments	Nematode	Shoot length (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)
Control	Non-inoculated	20.1 ± 1.2^{g}	11.5 ± 0.5^{fgh}	7.6 ± 0.3^{ef}	3.9 ± 0.1^{f}
	Inoculated	14.5 ± 0.6^{h}	8.8 ± 0.6^{h}	4.5 ± 0.4^{h}	3 ± 0.1^{g}
Zima 0.5 %	Non-inoculated	26.5 ± 2.5^{def}	$13 \pm 1.8^{d-g}$	8.5 ± 0.2^{de}	4.3 ± 0.04^{ef}
	Inoculated	23.8 ± 0.8^{fg}	10 ± 0.9^{gh}	6 ± 0.4^{g}	3.8 ± 0.05^{f}
Zima 1%	Non-inoculated	32.3 ± 2.5^{abc}	$14.7 \pm 2.8^{c-f}$	10 ± 0.5^{bc}	7.7 ± 0.1^{b}
	Inoculated	26.5 ± 1.0^{def}	$12 \pm 1.7^{e-h}$	6.6 ± 0.4^{gf}	5.5 ± 0.5^{d}
Nemo 0.1%	Non-inoculated	$28.1 \pm 2.9^{c-f}$	18.6 ± 0.3^{ab}	10.6 ± 0.3^{ab}	6.3 ± 0.1^{c}
	Inoculated	24.5 ± 1.6^{efg}	$14.4 \pm 0.4^{c-f}$	8.3 ± 0.4^{de}	5.6 ± 0.8^{d}
Nemo 0.3%	Non-inoculated	35.0 ± 0.9^{a}	20.7 ± 0.7^{ab}	11.6 ± 0.3^{ab}	6.7 ± 0.04^{c}
	Inoculated	$30.3 \pm 1.1^{a-d}$	17 ± 0.9^{bc}	10.5 ± 0.3^{ab}	4.6 ± 0.2^{ef}
Bonza 0.1%	Non-inoculated	$31.3 \pm 1.7^{a-d}$	$15.8 \pm 0.8^{b-e}$	9.2 ± 0.3^{cd}	7.8 ± 0.4^{b}
	Inoculated	22.6 ± 0.6^{fg}	$13.4 \pm 0.5^{c-g}$	7.6 ± 0.4^{ef}	5.3 ± 0.2^{d}
Bonza 0.3%	Non-inoculated	34.0 ± 1.2^{ab}	16.8 ± 0.9^{bcd}	9.7 ± 0.5^{bc}	9 ± 0.1^{a}
	Inoculated	$29.3 \pm 0.9^{b-e}$	$15.1 \pm 0.5^{b-f}$	8.1 ± 0.5^{de}	6.3 ± 0.1^{c}

Values are mean ± standard error of the mean (n = 4). Values in the same column followed by different letter(s) are significantly different according to Duncan multiple range test at $P \leq 0.01$.

بیشترین میزان طول شاخساره در گیاهان آلوده به نماتد، در گیاهان تیمار شده با کود نِمو در غلظت ۰/۳ درصد مشاهده شد که با گیاهان آلوده تیمار شده با کود بُن‌زا در غلظت ۰/۳ درصد و کود زیما در غلظت یک درصد تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداد. بیشترین میزان وزن تر شاخساره در گیاهان غیر آلوده نیز در گیاهان تیمار شده با کود نِمو در غلظت ۰/۳ درصد مشاهده شد که با گیاهان غیر آلوده تیمار شده با کود نِمو در غلظت ۰/۱ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت. گیاهان آلوده تیمار شده با کود نِمو در غلظت ۰/۳ درصد بیشترین میزان وزن تر شاخساره را نشان دادند که با گیاهان تیمار شده با کود نِمو در غلظت ۰/۱ درصد و هر دو غلظت کود بُن‌زا تفاوت معنی‌داری نداشتند. بیشترین مقدار وزن خشک شاخساره نیز در گیاهان غیر آلوده تیمار شده با غلظت ۰/۳ درصد کود نِمو مشاهده شد که با تیمار غلظت ۰/۱ درصد کود نِمو تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداد. بیشترین میزان وزن خشک شاخساره در گیاهان تیمار شده با غلظت ۰/۳ درصد کود نِمو مشاهده شد که با تیمارهای دیگر

تفاوت معنی‌داری داشت. بیشترین میزان وزن ریشه در گیاهان غیر آلوده تیمار شده با غلظت ۰/۳ درصد کود بُن‌زا مشاهده شد که با دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری از خود نشان داد. در گیاهان آلوده بیشترین میزان وزن ریشه در گیاهان تیمار شده با غلظت ۰/۳ درصد کود بُن‌زا مشاهده شد که با دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت.

نتایج مربوط به شاخص‌های تولید مثلی نماتد

تجزیه واریانس و جدول مقایسه میانگین نتایج مربوط به شاخص‌های جمعیتی نماتد به ترتیب در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. تجزیه واریانس نتایج نشان دهنده معنی‌دار بودن تیمارهای اعمال شده بر روی همه شاخص‌های جمعیتی نماتد ($P \leq 0.01$) به جز تعداد لارو سن دوم در خاک بود.

جدول ۳. تجزیه واریانس شاخص‌های جمعیتی نماتد *Meloidogyne javanica* در گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با غلظت‌های ۰/۵ و یک درصد کود زیما، ۰/۱ و ۰/۳ درصد کود نِمو و ۰/۱ و ۰/۳ درصد کود بُن‌زا.

Table 3. Variance analysis of nematode population indices on tomato plants infected with *Meloidogyne javanica* and treated with concentrations 0.5% and 1% of Zima fertilizer, 0.1% and 0.3% of Nemo fertilizer, and 0.1% and 0.3% of Bonza fertilizer.

Source	df	Mean square				
		Egg	Gall	Eggmasses	J2s□	Rf
Fertilizer	6	39925713.2**	48339.58**	5303.22**	16130.25ns	1.2**
Error	21	734618.5	1544.99	279.27	189.21	0.02
CV		11.05	9.34	8.39	10.54	10.79

** and ns significant level at $P \leq 0.01$ and no significant, respectively.
□ Second-stage juvenile

جدول ۴. مقایسه میانگین شاخص‌های جمعیتی نماتد در گیاهان گوجه‌فرنگی آلوده به *Meloidogyne javanica* و تیمار شده با غلظت‌های ۰/۵ و یک درصد کود زیما، ۰/۱ و ۰/۳ درصد کود نِمو و ۰/۱ و ۰/۳ درصد کود بُن‌زا.

Table 4. Mean nematode population indices on tomato plants infected with *Meloidogyne javanica* and treated with concentrations 0.5% and 1% of Zima fertilizer, 0.1% and 0.3% of Nemo fertilizer, and 0.1% and 0.3% of Bonza fertilizer.

Treatments	No. eggs (root system)$^{-1}$	No. galls (root system)$^{-1}$	No. eggmasses (root system)$^{-1}$	Reproduction Factor
Control	11818 ± 559^{a}	461 ± 24.4^{c}	245 ± 10.9^{a}	2.09 ± 0.1^{a}
Zima 0.5 %	5032 ± 251^{c}	302 ± 6.2^{e}	138 ± 5.7^{d}	0.9 ± 0.04^{c}
Zima 1%	4767 ± 117^{c}	340 ± 14.4^{de}	182 ± 8.8^{c}	0.87 ± 0.02^{c}
Nemo 0.1%	11044 ± 1379^{ab}	589 ± 79.6^{a}	227 ± 29.7^{ab}	1.96 ± 0.2^{ab}
Nemo 0.3%	5719 ± 384^{c}	344 ± 18.3^{de}	190 ± 6.8^{c}	1.02 ± 0.07^{c}
Bonza 0.1%	10307 ± 401^{b}	533 ± 15^{b}	217 ± 7.8^{b}	1.82 ± 0.07^{b}
Bonza 0.3%	5505 ± 634^{c}	370 ± 28.5^{d}	187 ± 11.5^{c}	0.99 ± 0.1^{c}

Values are mean ± standard error of the mean (n=4). Values in the same column followed by different letter(s) are significantly different according to Duncan multiple range test at $P \leq 0.01$.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین تعداد تخم در سیستم ریشه، در گیاهان تیمار شده با کود زیما در غلظت یک درصد مشاهده شد که با گیاهان تیمار شده با کود زیما در غلظت ۰/۵ درصد و کودهای نِمو و بُن‌زا در غلظت ۰/۳ درصد تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداد. کمترین تعداد گال در سیستم ریشه نیز در گیاهان تیمار شده با کود زیما در غلظت ۰/۵ درصد مشاهده شد که با گیاهان تیمار شده با کود زیما در غلظت یک درصد و کود نِمو در غلظت ۰/۳ درصد تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداد. کمترین تعداد کیسه تخم در سیستم ریشه، در گیاهان تیمار شده با غلظت ۰/۵ درصد کود زیما مشاهده شد که با تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری از خود نشان داد. کمترین مقدار فاکتور تولیدمثل نیز در تیمار غلظت یک درصد کود زیما مشاهده شد که با تیمارهای غلظت ۰/۵ درصد کود زیما، غلظت ۰/۳ درصد کود نِمو و غلظت ۰/۳ درصد کود بُن‌زا تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداد.

بحث

در پژوهش حاضر، اثر غلظت‌های حداکثر و حداقل کودهای نِمو، بُن‌زا و زیما در مدیریت نماتد *M. javanica* مورد ارزیابی قرار گرفت. کودهای استفاده شده در این پژوهش، دارای عناصر پر مصرف از جمله فرم‌های مختلف نیتروژن بوده و کود بُن‌زا دارای برخی عناصر کم مصرف از جمله آهن و مولیبدن نیز می‌باشد. همچنین دو کود نِمو و بُن‌زا علاوه بر عناصر، حاوی آمینواسیدهای آزاد نیز می‌باشند.

نماتدهای ریشه‌گرهی عملکرد روزنه را مختل کرده و تعرق و فتوسنتز را کاهش می‌دهند (Strajnar *et al.* 2012). همچنین این نماتدها انتقال آب از طریق ریشه‌ها را با مشکل مواجه کرده و تنش خشکی شدیدی را به گیاهان تحمیل می‌کنند (Alzarqaa *et al.* 2014). آلودگی به نماتدها می‌تواند باعث خسارتی قابل توجه در برخی گیاهان شود اما سطح کافی از درشت مغذی‌ها یا ریزمغذی‌ها، مانع از توقف رشد گیاه در شرایط آلودگی می‌شود (Santana-Gomes *et al.* 2013). در پژوهش حاضر، تیمار کود زیما در غلظت یک درصد در کاهش شاخص تولیدمثل نماتد تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت و موجب کاهش بیش از ۵۸ درصدی این شاخص شد. لازم به ذکر است که این کود به عنوان تیمار مؤثر در کاهش جمعیت نماتد، دارای چند فرم مختلف نیتروژن می‌باشد. افزایش رشد گیاه و کاهش خسارت نماتد پس از تیمار هر سه کود بررسی شده در پژوهش حاضر، با نتایج سایر پژوهش‌ها همسو می‌باشد. به عنوان مثال Zhao *et al.* (2009) و Santana-Gomes *et al.* (2013) از نیتروژن در پژوهش‌های خود استفاده کرده‌اند و نتایج پژوهش حاضر با در نظر گرفتن نتایج آنان، مورد تأیید قرار می‌گیرد. کودهای حاوی عناصر درشت مغذی مانند نیتروژن برای رشد سیستم ریشه و در نتیجه برای بهبود رشد گیاه در حضور یا عدم حضور نماتد مؤثر هستند (Ahmadi Mansourabad *et al.* 2016). نیتروژن یک ماده مغذی معدنی ضروری برای رشد و عملکرد محصول است (Xu *et al.* 2012). استفاده از کود نیتروژن می‌تواند موجب اثرگذاری بر خصوصیات خاک شود. عناصر موجود در خاک با چرخه مواد مغذی خاک و جذب مواد مغذی گیاه ارتباط نزدیکی دارند و در نتیجه بر بهره‌وری گیاه تأثیر می‌گذارند (Zhao *et al.* 2009). نیتروژن موجود به فرم اوره، توسط اوره‌آز موجود در خاک به آمونیاک تبدیل می‌شود. این تبدیل فرم برای موثر بودن اوره هم به عنوان کود و هم به عنوان نماتدکش ضروری است. بر اساس نظر پژوهشگران، فرم آمونیومی نیتروژن آسیب بیشتری به نماتدها وارد می‌کند که دلیل آن آزاد شدن آمونیاک آزاد در خاک در طی تجزیه آن می‌باشد. اثر تجزیه‌کنندگی اوره و نقش آن در افزایش توانایی تعارض میکروبی با نماتدها، به عنوان سازوکارهای کودهای نیتروژن در نظر گرفته می‌شود (Su *et al.* 2015). در یک پژوهش بر روی گیاه سویا، حذف مواد مغذی موجب افزایش آلودگی گیاه به نماتد *M. javanica* و کاهش شاخص‌های رویشی گیاه شد که حذف نیتروژن مؤثرترین عامل محدود کننده بود (Dias *et al.* 2021).

تیمار ۰/۳ درصد بُن‌زا شاخص تولیدمثل نماتد را به میزان ۵۲/۵۷ درصد کاهش داد. این کود نیز مانند زیما دارای فسفر و پتاسیم است که نشان دهنده تأثیر این عناصر در مدیریت نماتد ریشه‌گرهی می‌باشد. پتاسیم و فسفر به عنوان عناصر ضروری برای رشد گیاه شناخته می‌شوند (White & Karley 2010; Isidra-Arellona *et al.* 2021). این عناصر در فرایندهای فیزیولوژیک حیاتی گیاه نقش دارند. این عناصر رشد را بهبود بخشیده و با موجب افزایش کیفیت محصول می‌شوند. همچنین کمبود آن‌ها موجب اخلال در فرایندها حیاتی گیاه شده و کاهش کیفیت محصول می‌شود (Marschner 2012; Oosterhuis *et al.* 2014; Hu *et al.* 2016; Xu *et al.* 2020; Jezek *et al.* 2023; Lopez *et al.* 2023; Abobatta & Abd Alla 2023).

پتاسیم اثر مناسبی در کاهش تکثیر نماتد دارد (Siddiqui *et al.* 2001; Ahmadi Mansourabad *et al.* 2016). بر اساس یافته‌های Mozaffarian *et al.* (2020)، استفاده از عناصر نیتروژن و فسفر در گیاه بادمجان آلوده به نماتد *M. javanica* موجب کاهش شاخص‌های بیماری‌زایی و افزایش شاخص‌های رویشی گیاه شد. همچنین به کار بردن کودهای شیمیایی فسفات و پتاسیم به صورت ترکیب با خاک، موجب کاهش شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد *M. javanica* شد (Hemmati & Saeedizadeh 2020).

یکی از خسارت‌های نماتد ریشه‌گرهی، کاهش وزن ریشه می‌باشد که در گیاهان آلوده به نماتد، تیمار ۰/۳ درصد کود بُن‌زا موجب افزایش بیش از دو برابری وزن ریشه شد. بنابراین می‌توان بر اساس سازوکارهای عناصر فسفر و پتاسیم موجود در کود بُن‌زا، افزایش رشد ریشه را تحت تأثیر این کود، قابل توجیه دانست. Marschner (2012) با استفاده از پتاسیم، افزایش رشد گیاهان را تأیید کرده و همچنین Zhu *et al.* (2017) و Mozaffarian *et al.* (2020) با استفاده از فسفر و Hemmati & Saeedizadeh (2020) با استفاده از هر دو عنصر فسفر و پتاسیم، افزایش رشد گیاه و کاهش شاخص‌های نماتدی را تأیید کرده‌اند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. علاوه بر سازوکارهای پتاسیم در افزایش صفات رشدی مانند نقش در انتقال قند و افزایش فتوسنتز، این عنصر با کاهش ترشح متابولیت‌ها از ریشه (کاهش جلب نماتدها به سمت ریشه)، تولید پلی‌فنل‌ها، پراکسیداز و آمونیاک در کاهش خسارت نماتد نقش دارند (Xu *et al.* 2020).

ریزمغذی‌ها در متابولیسم گیاه نقش اساسی دارند و بر محتوای فنل و لیگنین و پایداری غشا اثر می‌گذارند (Marschner 2012). کود بُن‌زا دارای عناصر ریزمغذی آهن و مولیبدن بوده و موجب افزایش بیش از دو برابری وزن تر ریشه و

کاهش ۵۲/۵۷ درصدی شاخص تولیدمثل نماتد شد. آهن یک ریزمغذی ضروری برای گیاهان است که در فرآیندهای مهم گیاه ایفای نقش می‌کند (Rout & Sahoo 2015). استفاده از نانوکود کلاته آهن و روی و همچنین کودهای آهن و روی در دو پژوهش مجزا، موجب افزایش شاخص‌های رویشی گیاه بامیه و خیار و کاهش شاخص‌های بیماری‌زایی نماتدهای *M. javanica* و *M. incognita* شدند (Ahmadi Mansourabad *et al.* 2016; Rostami *et al.* 2021). از سوی دیگر، مولیبدن به عنوان یک کود ریزمغذی، با ایفای نقش در انفجار اکسیداتیو، در ایجاد مقاومت در گیاهان نقش داشته و به این طریق موجب کاهش خسارت نماتد می‌شود (Mendel & Hänsch 2002).

دو کود نِمو و بُن‌زا حاوی اسیدهای آمینه آزاد می‌باشند. اسیدهای آمینه به عنوان واسطه ساخت متابولیت‌های ثانویه عمل می‌کنند و در تحمل شرایط تنش به گیاه کمک می‌کنند و به این طریق موجب جبران خسارت نماتد و افزایش شاخص‌های رویشی گیاه می‌شوند. عدم تعادل در تغذیه گیاه اغلب به دلیل فقدان اسیدهای آمینه ضروری ایجاد می‌شود (Galili *et al.* 2016). اسیدهای آمینه همچنین به عنوان واسطه متابولیت‌های نهایی در مسیرهای متابولیکی خاص عمل می‌کنند و در نتیجه بر فرآیندهای زیستی گوناگون در گیاهان تأثیر می‌گذارند. اسیدهای آمینه تجمع لیگنین را در دیواره سلولی گیاه افزایش داده و پایداری غشا را بهبود می‌بخشند (Amir *et al.* 2018; Yang *et al.* 2018). این موارد نفوذ نماتد را به ریشه با مشکل مواجه کرده و موجب کاهش آلودگی می‌شوند. به نظر می‌رسد عناصر ریزمغذی بیش از اینکه به طور مستقیم در کاهش جمعیت نماتد نقش داشته باشد، در جبران خسارت این بیمارگر نقش دارد و به شکل غیرمستقیم با قرار دادن مواد ضروری برای انجام واکنش‌های خاص در اختیار گیاه، به گیاه برای مقابله با نماتد ریشه‌گرهی کمک می‌کند. این موارد تأثیر این گروه از مواد غذایی را در مدیریت نماتد ریشه‌گرهی توجیه می‌کند که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارند.

استفاده از یک عنصر غذایی به تنهایی، باعث بروز پیامدهای نامطلوب مانند شوری خاک، سمیت برای گیاهان و افت سطح مقاومت گیاه می‌شود؛ اما کودهای تجاری معمولاً حاوی ترکیبی از مواد مغذی معدنی مختلف هستند و هیچ اثر نامطلوبی ندارند یا کمترین اثر نامطلوب را نشان می‌دهند (Ahmadi Mansourabad *et al.* 2016). یکی از ویژگی‌های کودهای مورد استفاده در این پژوهش، مخلوط بودن چند عنصر ریز و درشت مغذی در آن‌هاست که پیامدهای نامطلوب استفاده یک عنصر به تنهایی را در پی نداشته و موجب تخریب ساختار خاک نمی‌شود.

در پژوهش حاضر اثر غلظت‌های حداقل و حداکثر توصیه شده کودهای زیما، نِمو و بُن‌زا مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی شاخص‌های رویشی گیاه و جمعیتی نماتد، غلظت ۰/۳ درصد کود نِمو به عنوان بهترین تیمار در افزایش شاخص‌های رویشی گیاهان غیر آلوده و آلوده به نماتد مشخص شد. همچنین بهترین تیمار در کاهش شاخص‌های جمعیتی نماتد، غلظت ۰/۵ درصد کود زیما گزارش شد؛ زیرا این تیمار در اغلب شاخص‌های جمعیتی نماتد کمترین مقدار را از خود نشان داد و یا این‌که با تیماری که کمترین میزان را نشان داده بود، تفاوت معنی‌داری نداشت. بر این اساس استفاده از کودهای نمو و زیما در غلظت‌های معرفی شده برای افزایش رشد گیاه و کاهش خسارت نماتد *M. javanica* در گیاهان گوجه‌فرنگی کشت شده در شرایط گلخانه توصیه می‌گردد.

References

Abad P, Castagnone-Sereno P, Rosso MN, Engler JdA, Favery B, 2009. Invasion, feeding and development. In: Perry RN, Moens M, Starr JL (eds). Root-knot Nematodes. CAB International, Wallingford. Pp. 163–181.

Abobatta W, Abd Alla M, 2023. Role of phosphates fertilizers in sustain horticulture production: growth and productivity of vegetable crops. *Asian Journal of Agricultural Research* 17: 1–7. DOI: 10.3923/ajar.2023.1.7.

Ahmadi Mansourabad M, Kargar Bideh A, Abdollahi M, 2016. Effects of some micronutrients and macronutrients on the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, in greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* cv. Negin). *Journal of Crop Protection* 5 (4): 507–517.

Alzarqaa AA, Roushdy SS, Alderfasi AA, Al-Yahya FA, Dawabah AAM, 2014. The physiological response of mungbean (*Vigna radiata*) to water deficit stress and *Meloidogyne javanica* infection. *Sustainable Irrigation & Drainage* 185: 89–100.

Amir R, Galili G, Cohen H, 2018. The metabolic roles of free amino acids during seed development. *Plant Science* 275: 11–18. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.06.011

Behm JE, Tylka GL, Niblack TL, Wiebold WJ, Donald PA, 1995. Effects of zinc fertilization of corn on hatching of *Heterodera glycines* in soil. *Journal of Nematology* 27: 164–171.

Bernard GC, Egnin M, Bonsi C, 2017. The impact of plant-parasitic nematodes on agriculture and methods of control. *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.68958

Bhowmik D, Kumar KS, Paswan S, Srivastava S, 2012. Tomato-A natural medicine and its health benefits. *Journal of Pharmacognosy & Phytochemistry* 1: 33–43.

Charehgani H, Fakharzadeh S, Nazaran MH, 2021. Evaluation of nano-chelated silicon fertilizer in the management of *Meloidogyne javanica* in tomato. *Indian Phytopathology* 74: 1027–1034.

Dias JP, Dias WP, Loreto RB, Favoreto L, Moraes LAC, *et al.*, 2021. Effects of nutrient omission on the reproduction of *Meloidogyne javanica* in soybean. *Journal of Plant Nutrition* 44 (14): 2057–2068.

Dordas C, 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28(1): 33–46. DOI: 10.1051/agro:2007051.

Galili G, Amir R, Fernie AR, 2016. The regulation of essential amino acid synthesis and accumulation in plants. *Annual Review of Plant Biology* 67: 153–178. DOI: 10.1146/annurev-arplant-043015–112213

Golmohammadi M, Noorizadeh S, Banihashemian SN, 2022. Biological control of citrus root nematode and root knot nematode in acid lime and kiwifruit hosts using Streptomyces isolates. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 11 (2): 91–100.

Gruzdeva LI, Matveeva EM, Kovalenko TE, 2007. Changes in soil nematode communities under the impact of fertilizers. *Eurasian Soil Science* 40(6): 681–693.

Habash S, Al-Banna L, 2011. Phosphonate fertilizers suppressed root-knot nematodes *Meloidogyne javanica* and *M. incognita*. *Journal of Nematology* 43: 95–100.

Hemmati S, Saeedizadeh A, 2020. Root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, in response to soil fertilization. *Brazilian Journal of Biology* 80(3): 621–630.

Hu W, Jiang N, Yang J, Meng Y, Wang Y, *et al.*, 2016. Potassium (K) supply affects K accumulation and photosynthetic physiology in two cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars with different K sensitivities. *Field Crops Research* 196: 51–63. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.06.005

Hussey RS, Barker KR, 1973. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter* 57: 1025–1028.

Hussey RS, Janssen GJW, 2002. Plant resistance to parasitic nematodes. In: Starr JL, Cook R, Bridge J (eds). Root-knot nematode: *Meloidogyne* species. CAB International, Wallingford. Pp. 43–70.

Isidra-Arellano MC, Delaux PM, Valds-Lpez O, 2021. The phosphate starvation response system: Its role in the regulation of plant-microbe interactions. *Plant Cell Physiology* 62: 392–400. DOI: 10.1093/pcp/pcab016.

Jezek M, Allan AC, Jones JJ, Geilfus CM, 2023. Why do plants blush when they are hungry? *New Phytology* 239: 494–505. DOI: 10.1111/nph.18833.

Jones JT, Haegeman A, Danchin EGJ, Gaur HS, Helder J, *et al.*, 2013. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology* 14 (9): 946–961.

Julio LF, González-Coloma A, Burillo J, Diaz CE, Andrés MF, 2017. Nematicidal activity of the hydrolate byproduct from the semi industrial vapor pressure extraction of domesticated *Artemisia absinthium* against *Meloidogyne javanica*. *Crop Protection* 94: 33–37.

Kaplan M, Neo JP, 1993. Effect of chicken-excrement amendments on *Meloidogyne arenaria*. *Journal of Nematology* 25: 71–77.

Lopez G, Ahmadi SH, Amelung W, Athmann M, Ewert F, *et al.*, 2023. Nutrient deficiency effects on root architecture and root-to-shoot ratio in arable crops. *Frontiers in Plant Science* 13: 5385. DOI: 10.3389/fpls.2022.1067498.

Marschner P, 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition, Academic Press. 651 pp.

Mendel RR, Hänsch R, 2002. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. *Experimental Botany* 53 (375): 1689–1698.

Mozaffarian S, Charehgani H, Abdollahi M, Rezaei R, 2020. Effect of some macronutrients on the root-knot

nematode, *Meloidogyne javanica* activities in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Iranian Plant Protection Research* 33 (4): 397–408. (In Persian with English Abstract)

Oosterhuis D, Loka D, Kawakami E, Pettigrew W, 2014. The physiology of potassium in crop production. *Advances in Agronomy* 126: 203–234. DOI: 10.1016/B978-0-12-800132-5.00003-1

Quinet M, Angosto T, Yuste-Lisbona FJ, Blanchard-Gros R, Bigot S, *et al.*, 2019. Tomato fruit development and metabolism. *Frontiers in Plant Science* 10: 1554. DOI: 10.3389.fpls.2019.01554.

Rostami S, Charehgani H, Abdollahi M, Rezaei R, 2021. Evaluation of nano iron and zinc chelated fertilizers on okra Abelmoschus esculentus infected with *Meloidogyne javanica*. *Journal of Crop Protection* 10 (3): 493 –502.

Rout GR, Sahoo S, 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science* 3: 1–24.

Saeedizadeh A, Niasti F, Baghaei MA, Hasanpour S, Agahi K, 2020. Effects of fertilizers on development of root-knot nematode, *Meloidogyne javanica. International Journal of Agriculture & Biology* 23: 431–437.

Santana-Gomez SM, Dias-Arieira CR, Roldi M, Dadazio TS, Marini PM, *et al.*, 2013. Mineral nutrition in the control of nematodes. *African Journal of Agricultural Research* 8: 2413–2420.

Siddiqui ZA, Iqbal A, Mahmood I, 2001. Effects of *Pseudomonas fluorescens* and fertilizers on the reproduction of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. *Applied Soil Ecology* 16: 179–185.

Strajnar P, Sirca S, Urek G, Sircelj H, Zeleznik P, *et al.*, 2012. Effect of *Meloidogyne ethiopica* parasitism on water management and physiological stress in tomato. *European Journal of Plant Pathology* 132: 49–57.

Su L, Ruan Y, Yang X, Wang K, Li R, *et al*., 2015. Suppression on plant-parasitic nematodes using a soil fumigation strategy based on ammonium bicarbonate and its effects on the nematode community. *Scientific Reports* 5: 17597.

Taylor AL, Sasser JN, 1987. Biology, Identification and Control of Root-knot Nematodes (*Meloidogyne* species). North Carolina State University Graphics. 111 pp.

Tenuta M, Ferris H, 2004. Sensitivity of nematode life-history groups to ions and osmotic tensions of nitrogenous solutions. *Journal of Nematology* 36 (1): 85–94.

White PJ, Karley AJ, 2010. Potassium. In: Hell R, Mende, RR (eds). Cell Biology of Metals and Nutrients. Springer, Berlin, Heidelberg. Pp. 199–224.

Whitehead AG, Hemming JR, 1965. A comparison of some quantitative methods extracting small vermiform nematodes from the soil. *Annals of Applied Biology* 55: 25–38. DOI: 10.1111.j.1744-7348.1965.tb07864.x

Xu G, Fan X, Miller AJ, 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology* 63: 153–182. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042811-105532

Xu X, Du X, Wang F, Sha J, Chen Q, *et al*., 2020. Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. *Frontiers in Plant Science* 11. DOI: 10.3389/fpls.2020.00904

Yang Q, Zhao D, Zhang C, Wu H, Li Q, *et al*., 2018. A connection between lysine and serotonin metabolism in rice endosperm. *Plant Physiology* 176: 1965–1980. DOI: 10.1104/pp.17.01283

Zhao Y, Wang P, Li J, Chen Y, Ying X, *et al*., 2009. The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat–maize cropping system. *European Journal of Agronomy* 31: 36–42. DOI: 10.1016/j.eja.2009.03.001

Wang Z, Shi Y, Yuan H, Yang W, Li H, 2013. The effects of nutrient elements on the hatching of cyst and vitality of secondary stage juvenile of cereal cyst nematode. *Acta Phytopathologica Sinica* 43 (3): 333–336.

Zhu Q, Ozores-Hampton M, Li Y, Morgan K, Liu G, *et al*., 2017. Effect of phosphorus rates on growth, yield, and postharvest quality of tomato in a calcareous soil. *Horticultural Science* 52 (10): 1406–1412.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)