

اثر کود نانو پتاس، سولفات پتاسیم و سالیسیلیک اسید روی رشد گیاه گوجه‌فرنگی و کنترل نماتد مولد گره ریشه (*Meloidogyne javanica*)

قنبرعلی آل‌سعدی^۱، سید محمدرضا موسوی^{۲*} و طاهره بصیرنیا^۳

- ۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بیماری‌شناسی، گروه بیماری‌شناسی گیاهی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران
- ۲- *نویسنده مسوول: دانشیار گروه بیماری‌شناسی گیاهی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران (rmmoosavi@yahoo.com)
- ۳- استادیار گروه گیاه‌پزشکی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۰۷

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۲۸

چکیده

کودها در کشاورزی عموماً برای بالا بردن کمیت و کیفیت محصول استفاده می‌شوند اما می‌توانند باعث افزایش سطح تحمل یا مقاومت گیاهان به نماتدها نیز گردند. پژوهش حاضر به صورت دو آزمایش جداگانه طراحی و اجرا گردید. در آزمایش اول اثر کودهای سولفات پتاسیم، نانوپتاس و سالیسیلیک اسید (SA) روی رشد گوجه‌فرنگی عاری از نماتد بررسی گردید. در آزمایش دوم اثر کودهای مذکور و SA به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی روی رشد گیاه و کنترل نماتد مطالعه شد. مقدار توصیه شده‌ی سولفات پتاسیم مورد نیاز برای هر گلدان یک کیلوگرمی محاسبه و یک هفته قبل از کاشت به خاک افزوده شد. محلول پاشی نانوپتاس سه روز قبل و دو هفته بعد از مایه زنی گیاهچه‌ها با نماتد انجام شد. سالیسیلیک اسید، ۲۴ ساعت قبل و یک هفته بعد از مایه‌زنی با نماتد محلول پاشی گردید. گیاهچه‌ها در مرحله‌ی چهار برگی با پنج عدد تخم و لارو سن دوم نماتد *Meloidogyne javanica* به ازای هر گرم خاک، مایه‌زنی و پس از هشت هفته برداشت شدند. بیشترین فاکتورهای رشدی گیاه عاری از نماتد زمانی دیده شد که عنصر پتاسیم به فرم نانو در اختیار گیاه قرار گرفت یا با SA محلول پاشی شد. در گیاهان آلوده به نماتد، محلول پاشی با SA بسیار مهم‌تر از کوددهی با پتاسیم یا نوع کود پتاسه‌ی استفاده شده بود. محلول پاشی با SA و استفاده از کود نانوپتاس باعث رشد بهتر گیاه و تکثیر کمتر نماتد (در حد کادوزافوس) گردید. هنگامی که محلول پاشی با SA انجام نشد، استفاده از کود سولفات پتاسیم اگرچه رشد بهتر گیاه را موجب نشد اما با کاهش جمعیت نهایی نماتد در طول رشد گیاه میزبان، اثر بهتری داشت.

کلید واژه‌ها: کود پتاسه، کود نانو، مبارزه، نماتد ریشه گره‌ی

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) یکی از سبزیجات مهم در جهان است که در سطحی بیش از پنج میلیون هکتار کشت شده و تولید سالانه‌ی آن حدود ۱۶۱ میلیون تن است (FAO, 2012). نماتدهای مولد گره ریشه (*Meloidogyne spp.*) از جمله بیمارگرهای مهم گوجه‌فرنگی در سراسر دنیا محسوب

می‌شوند (Seid et al., 2015) که قادر به آسیب رساندن به بیش از ۲۰۰۰ گونه‌ی گیاهی مختلف می‌باشند (Moens et al., 2009). نماتدهای این جنس باعث کاهش پنج درصدی محصولات در سطح جهان شده (Karsen et al., 2013) و در کشورهایی که شرایط برای فعالیت نماتد مساعد است، باعث خسارت ۱۵ درصدی می‌شوند (Taylor and Sasser, 1978).

تأثیر کود پتاسیم در کنترل نماتدها ثابت نبوده و با توجه به نوع گیاه و نماتد تغییر می‌کند. به‌عنوان مثال کاربرد کود پتاسه باعث کاهش فاکتور تولیدمثل و تعداد سیست‌های تشکیل شده روی سیستم ریشه‌ای ارقام حساس گیاه سویا گردید (Barbosa et al., 2010) اما باعث افزایش جمعیت نماتد مرکبات روی گیاه نارنج (Badra and Yousif, 1979) و نماتد *Rotylenchulus reniformis* روی پنبه (Pettigrew et al., 2005) گردید.

اخیراً نوع جدیدی از کود، تحت عنوان نانو کود وارد بازار شده است که زمان و سرعت آزاد سازی عناصر با دقت و کنترل بیشتری انجام شده و با نیاز غذایی گیاه هماهنگی می‌گردد. بدین ترتیب علاوه بر این که جذب مواد غذایی در گیاه و عملکرد محصول افزایش می‌یابد، آبخوبی عناصر نیز کاهش می‌یابد. کاربرد فناوری نانو در فرمولاسیون کودهای کشاورزی می‌تواند باعث کاهش قیمت محصولات کشاورزی، کاهش آلودگی‌های محیط‌زیست و کاهش مصرف انرژی گردد (Naderi and Danesh-Shahraki, 2013).

القای مقاومت در گیاه، روشی است که در آن بدون آلوده شدن محیط‌زیست، گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا از خود محافظت می‌کند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که هورمون سالیسیلیک اسید^۱ (SA) یک مولکول سیگنالی مهم در تولید مقاومت اکتسابی سیستمیک^۲ (SAR) بوده (Durrant and Dong, 2004) و نقش بسیار مهمی در کاهش بیماری (Sholevarfard and Moosavi, 2015) و افزایش پاسخ‌های دفاعی وابسته به ژن‌های مقاومت علیه نماتدهای انگل گیاه (Branch et al., 2004) دارد. علاوه بر فعالیت‌های دفاعی، این هورمون باعث تغییر (کاهش یا افزایش) رشد، افزایش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتز کننده، افزایش نرخ فتوسنتز و تغییر در فعالیت تعدادی از آنزیم‌های مهم گیاهی می‌شود (Yusuf et al., 2013).

در راستای اجرای کشاورزی پایدار و کاهش آلودگی

آلودگی به نماتد مولد گره ریشه باعث می‌شود مواد غذایی از قسمت‌های هوایی به سمت ریشه‌ها حرکت کرده و در نتیجه باعث تغییر و جابه‌جایی عناصر غذایی به خصوص پتاسیم در گیاه شود که همه این عوامل می‌توانند در گسترش علایم سوختگی حاشیه برگ‌ها نقش داشته باشند (Bergeson, 1966). بیماری ریشه گرهی عمدتاً در اثر چهار گونه *M. incognita*، *M. hapla*، *M. arenaria* و *M. javanica* ایجاد می‌شود. در ایران گونه‌های *M. incognita* و *M. javanica* بیشترین پراکنش را نسبت به سایر گونه‌ها دارند (Ghaderi et al., 2012).

روش‌های زیادی برای مبارزه با این نماتد استفاده می‌شود اما روش عمده‌ی مبارزه، روش شیمیایی است (Moosavi and Zare, 2012). با توجه به پرهزینه بودن، صدمه به سایر میکرواورگانیزم‌های مفید خاک و موجودات غیرهدف، ظهور مقاومت در نماتدها و همچنین باقی‌مانده‌ی سموم در محصولات کشاورزی، وجود یک راهکار جایگزین برای مدیریت نماتدهای انگل گیاهی ضروری است (Cumagun and Moosavi, 2015).

تقویت گیاه و افزایش حاصلخیزی خاک به‌وسیله کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک از روش‌های سستی افزایش عملکرد محصولات گیاهی است. اگرچه تحمل آفات و بیماری‌ها و مقاومت به آن‌ها یک پدیده‌ی ژنتیکی است، ولی این موضوع به‌وسیله‌ی فاکتورهای تغذیه‌ای گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. گیاهانی که وضعیت مناسبی از نظر تغذیه‌ای دارند نسبت به نماتدها از خود مقاومت و تحمل بیشتری نشان می‌دهند (Santana-Gomes et al., 2013). یکی از مهم‌ترین عناصری که بیماری‌ها و آفات گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد پتاسیم است. این عنصر تقریباً در تمام عملکردهای سلولی درگیر بوده و تنظیم‌کننده فعالیت آنزیم‌ها است. پتاسیم وقوع بیماری‌های قارچی-باکتریایی و خسارت حشرات و کرم‌های چوب‌خوار را به ترتیب ۷۰ و ۶۰ درصد کاهش می‌دهد و در اکثر موارد خسارت و ویروس‌ها را نیز کاهش داده است. اثر پتاسیم بر عملکرد محصول می‌تواند بر اساس نوع عامل بیماری‌زا تغییر نماید (Prabhu et al., 2007).

1- Salicylic acid

2- Systemic acquired resistance

محیطزیست، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کودهای پتاسه (سولفات پتاسیم و نانوپتاس)، سالیسیلیک اسید و اثر متقابل آن‌ها در میزان رشد گیاهان عاری از نماتد و همچنین تأثیر انفرادی و متقابل عوامل ذکر شده بر فاکتورهای تکثیر نماتد *Meloidogyne javanica* و شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

سطح بدون SA و محلول پاشی با SA) روی شاخص‌های تکثیری نماتد ریشه‌گرهی *M. javanica* و شاخص‌های رشدی گیاه گوجه‌فرنگی مطالعه شد. از نماتدکش شیمیایی کادوزافوس (FMC Corporation, USA) به‌عنوان شاهد مثبت استفاده گردید. تیمارها در هر دو آزمایش چهار تکرار داشتند.

کود سولفات پتاسیم ($44 \text{ K}_2\text{SO}_4$ درصد شرکت خدمات حمایتی کشاورزی، ایران) طبق توصیه شرکت سازنده به مقدار 0.08 گرم به ازای هر گلدان (معادل 200 کیلو در هکتار) یک هفته قبل از کشت به خاک هر گلدان افزوده شد. SA نیز با غلظت $1/5$ میلی مولار در دو نوبت، 24 ساعت قبل از مایه‌زنی با نماتد و یک هفته بعد از مایه‌زنی روی گیاهان محلول‌پاشی گردید (Nandi et al., 2003). نانو پتاس (حاوی 27 درصد پتاسیم کلات شده، شرکت خضراء، ایران) نیز بر اساس توصیه شرکت سازنده به مقدار دو در هزار در دو نوبت، سه روز قبل و دو هفته بعد از مایه‌زنی گیاهچه‌ها با نماتد محلول‌پاشی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه‌ی جمعیت نماتد و خاک مورد نیاز

با استفاده از روش تک توده تخم و تکثیر پیاپی روی گوجه‌فرنگی (رقم ارلی اوربانا) جمعیت کافی نماتد *M. javanica* از نماتدی که قبلاً جداسازی و شناسایی آن صورت گرفته بود، انجام پذیرفت (Moosavi et al., 2010). استخراج تخم و لارو سن دوم نماتد از ریشه‌های آلوده به کمک محلول 0.5 درصد هیپوکلریت سدیم انجام گرفت (Hussey and Barker, 1973).

جهت تهیه‌ی بستر کاشت مناسب، مخلوطی از یک قسمت خاک بکر و دو قسمت ماسه تهیه شده و کود حیوانی پوسیده به نسبت پنج درصد وزنی با آن مخلوط گردیده و در گلدان‌های یک کیلوگرمی ریخته شد. تعداد سه عدد بذر گوجه‌فرنگی (رقم ارلی اوربانا) پس از ضدعفونی سطحی در گلدان‌ها کاشته شده و بعد از گذشت یک ماه و در مرحله‌ی چهار برگی، در هر گلدان یک گیاهچه انتخاب و مابقی حذف شدند. روز بعد 5000 تخم و لارو سن دوم نماتد به هر گلدان یک کیلوگرمی اضافه شد (Moosavi et al., 2010).

آزمایش‌های گلخانه‌ای

پژوهش حاضر به‌صورت دو آزمایش جداگانه طراحی و اجرا گردید. در آزمایش اول اثر کودهای سولفات پتاسیم، نانو پتاس و سالیسیلیک اسید (SA) در یک طرح کاملاً تصادفی روی رشد گیاهان عاری از نماتد بررسی گردید. در آزمایش دوم به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اثر کودهای پتاسه (در سه سطح بدون کود، سولفات پتاسیم و نانو پتاس) و سالیسیلیک اسید (در دو

بررسی شاخص‌های مربوط به گیاه و نماتد

گلدان‌ها به مدت هشت هفته پس از مایه‌زنی با نماتد در گلخانه ($27 \pm 5^\circ \text{C}$) نگهداری شدند. سپس گیاه از ناحیه‌ی طوقه قطع و قسمت هوایی از ریشه‌ها جدا گردید. شاخص‌های رشدی گیاه شامل ارتفاع اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و وزن تر ریشه اندازه‌گیری شد. در گیاهان آلوده به نماتد مجموع تعداد گال و توده‌ی تخم تشکیل شده روی سیستم ریشه زیر میکروسکوپ تشریح شمرده شد (Taylor and Sasser, 1978). در مورد گال‌های مرکب تعداد توده تخم‌های اضافی به تعداد گال افزوده شد. ریشه با قیچی به قطعات 0.5 سانتی‌متری تقسیم شده و در خردکن حاوی محلول 0.5 درصد هیپوکلریت سدیم ریخته شده و به مدت 20 ثانیه با دور کم خرد گردید. محتویات درون خردکن از الک‌های 50 ، 200 و 500 مش رد شده و تخم و لاروهای موجود روی الک 500 مش از میانگین سه بار شمارش تعیین گردید (Moosavi et al., 2010). تعداد تخم‌های

شمرده شده به تعداد تخم در گرم خاک تبدیل شد. خاک گلدان‌ها به خوبی با هم مخلوط شده و لاروهای سن دوم موجود در ۱۰۰ گرم آن شمرده (Jenkins, 1964) و بر اساس تعداد در گرم خاک ثبت گردید. جمعیت نهایی از مجموع تخم‌ها و لاروهای سن دوم محاسبه شده و بر اساس گرم خاک بیان شد. فاکتور تولیدمثل از تقسیم جمعیت نهایی نماتد به جمعیت اولیه نماتد (۵۰۰۰ تخم و لارو سن دوم نماتد در هر گلدان معادل ۵ تخم و لارو سن دوم نماتد در هر گرم خاک) به دست آمد.

جهت تعیین درصد کنترل هر تیمار، تعداد تخم‌ها و لاروهای سن دوم در هر گرم خاک شاهد حاوی نماتد به تنهایی (X) از تعداد تخم‌ها و لاروهای سن دوم در هر گرم خاک هر تیمار (Y) کم شده و پس از تقسیم بر تعداد تخم‌ها و لاروهای سن دوم در هر گرم خاک شاهد حاوی نماتد (X) در عدد ۱۰۰ ضرب گردید (Moosavi, 2012).

محاسبات آماری

ابتدا داده‌های حاصل از هر دو آزمایش از نظر یکنواختی و نرمال بودن بررسی شدند. داده‌های بدست آمده از آزمایش اول توسط آزمون یک طرفه‌ی ANOVA و توسط نرم‌افزار SPSS (ver. 15) تجزیه و تحلیل شدند. داده‌های آزمایش دوم نیز توسط نرم‌افزار Minitab (ver. 16) بررسی گردیدند. میانگین داده‌های آزمایش دوم علاوه بر تجزیه و تحلیل به صورت فاکتوریل، جهت مقایسه با تیمار نماتد کش (که جزء تیمارهای آزمایش فاکتوریل نبود) در طرح کاملاً تصادفی نیز با یکدیگر مقایسه شدند. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون توکی در

نتایج

آزمایش اول

رشد طولی اندام هوایی ($df=3; F=8.4; P\leq 0.003$) و ریشه ($df=3; F=7.8; P\leq 0.004$) و وزن تر ($df=3; F=7.5; P\leq 0.004$) و خشک اندام هوایی ($df=3; F=5.5; P\leq 0.013$) و وزن تر ریشه ($df=3; F=7.5; P\leq 0.004$) در تیمارهای مختلف دارای تفاوت معنی‌دار با یکدیگر بودند. بیشترین فاکتورهای رشدی گیاه زمانی دیده شد که عنصر پتاسیم به فرم نانو در اختیار گیاه قرار گرفت، هر چند که این شاخص‌های رشدی عموماً با زمانی که گیاهان با SA محلول‌پاشی شدند نیز تفاوت معنی‌داری نداشتند. تأثیر نانو پتاسیم در افزایش وزن تر ریشه از همه‌ی تیمارها بیشتر بود. کاربرد سولفات پتاسیم نتوانست هیچ فاکتور رشدی را نسبت به شاهد افزایش دهد (جدول ۱).

آزمایش دوم

به جز طول ریشه و وزن خشک اندام هوایی که تحت تأثیر پاشش SA (به‌عنوان فاکتور اصلی) تغییر معنی‌داری نکرد، تمام فاکتورهای رویشی گیاه گوجه‌فرنگی تحت تأثیر کود پتاسه (به‌عنوان فاکتور اصلی) و پاشش SA (به‌عنوان فاکتور اصلی) تغییر معنی‌داری را از خود نشان دادند. تأثیر متقابل این دو فاکتور نیز تنها روی وزن تر اندام هوایی و طول ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۱- اثر تیمارهای مختلف بر میانگین ($\pm SE$) خصوصیات رویشی گیاه گوجه‌فرنگی (در غیاب نماتد

Meloidogyne javanica) هشت هفته پس از نگهداری در شرایط گلخانه

Table 1. Effect of different treatments on mean ($\pm SE$) growth parameters of nematode-free tomato plants after eight weeks in greenhouse

Treatments	length (cm)		weight (g)		
	Shoot	Root	Shoot (fresh)	Shoot (dry)	Root (fresh)
Control	42 \pm 1.1 ^b	21.25 \pm 1.4 ^b	16.52 \pm 1 ^b	2.9 \pm 0.5 ^b	3.7 \pm 0.4 ^b
Potassium sulphate	44 \pm 0.9 ^b	18.65 \pm 0.5 ^b	19 \pm 0.6 ^b	3.25 \pm 0.1 ^{ab}	4.22 \pm 0.3 ^b
Nano-potassium	55 \pm 1.5 ^a	26 \pm 0.9 ^a	25 \pm 1.2 ^a	4.62 \pm 0.4 ^a	5.95 \pm 0.3 ^a
Salicylic acid	47 \pm 3.3 ^{ab}	22.5 \pm 1.3 ^{ab}	20.72 \pm 2 ^{ab}	4.17 \pm 0.3 ^{ab}	4.27 \pm 0.3 ^b

Means in each column that do not share a letter are significantly different according to Tukey's studentized range test ($P < 0.05$).

جدول ۲- سطح معنی داری انفرادی و متقابل تیمارها بر خصوصیات روبشی گیاه گوجه فرنگی آلوده به نماتد مولد گره ریشه (*Meloidogyne javanica*) هشت هفته پس از نگهداری در گلخانه

Table 2. Significance level of main factors and their interaction on growth parameters of *Meloidogyne javanica*-infected tomato plants after eight weeks in greenhouse

Treatments	F				
	SL	SFW	SDW	RL	RFW
Salicylic acid (SA)	61.3**	13**	1.7 ^{ns}	0.04 ^{ns}	102.4**
Potassium fertilizer (P)	24.8**	17.2**	8**	30.2**	22.6**
SA × P	12.8**	1.1 ^{ns}	3.9*	0.06 ^{ns}	6.5**

ns, * and ** means non-significant, significant in 5% and 1% probability level respectively. SL: shoot length, SFW: shoot fresh weight, SDW: shoot dry weight, RL: root length, RFW: root fresh weight.

گال، تعداد تخم تشکیل شده روی سیستم ریشه، تعداد لارو سن دوم (J₂) در گرم خاک، جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل نماتد نسبت به تیمارهایی شد که در آن‌ها از SA استفاده نشده بود (جدول ۶). کاربرد و نوع کود پتاسه (به عنوان فاکتور اصلی) نیز باعث تفاوت معنی دار بین تیمارها گردید. تعداد گال، تعداد تخم، تعداد J₂، جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل در گیاهانی که هیچ نوع کود پتاسه دریافت نکرده بودند حداکثر بود. به جز تعداد لارو سن دوم، در سایر موارد سولفات پتاسیم به طور معنی داری باعث کاهش بیشتر فاکتورهای تولیدمندی نماتد شده بود (جدول ۶).

کمترین تعداد گال زمانی مشاهده شد که گیاه گوجه فرنگی هم با SA محلول پاشی شده و هم کود سولفات پتاسیم دریافت نموده بود. تعداد گال در این تیمار از نظر آماری با نماتدکش کادوزافوس و کود نانو پتاس تفاوت معنی داری نداشت. کمترین تعداد تخم تشکیل شده نیز در تیمارهایی دیده شد که با SA محلول پاشی شده و کود پتاسه (نانو یا سولفات) دریافت کرده بودند. تعداد تخم تشکیل شده در گیاهانی که کادوزافوس دریافت نموده بودند از نظر آماری با گیاهانی که کود سولفات پتاسیم دریافت نموده بودند و با SA محلول پاشی شده بودند، تفاوت آماری نداشت. به جز گیاهانی که هیچ نوع کود پتاسه دریافت نکرده بودند و با SA نیز محلول پاشی نشده بودند، تعداد J₂ در تیمارهای مختلف با یکدیگر اختلافی نداشت. هنگامی که گیاه با SA محلول پاشی شد (بدون توجه به کاربرد یا نوع کود پتاسه)، تعداد لارو سن دوم تشکیل شده با

تمام ویژگی‌های تکثیری نماتد *M. javanica* بین تیمارهایی که روی آن‌ها SA پاشیده شده بود با تیمارهای فاقد SA (به عنوان فاکتور اصلی) تفاوت معنی دار داشت. این موضوع در مورد کاربرد و نوع کود پتاسه (به عنوان فاکتور اصلی) نیز صادق بود. اثر متقابل SA و کود پتاسه نیز باعث اثرگذاری معنی دار روی تکثیر نماتد گردیده بود (جدول ۳).

SA به عنوان فاکتور اصلی موجب افزایش طول و وزن تر اندام هوایی شد ولی وزن تر ریشه را کاهش داد (جدول ۴). اگر کاربرد و نوع کود پتاسه به عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شود، بیشترین طول اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی و طول ریشه در تیمارهایی مشاهده شد که در آن‌ها از کود نانو پتاسیم استفاده شده بود. از نظر وزن تر ریشه بین عدم کاربرد کود پتاسه و کاربرد کود نانو پتاس تفاوت معنی داری مشاهده نشد اما کاربرد کود سولفات پتاسیم باعث کاهش وزن تر ریشه گردید (جدول ۴).

زمانی که نانو پتاسیم روی گیاه استفاده شد (بدون توجه به کاربرد یا عدم کاربرد SA)، بیشترین طول اندام هوایی و طول ریشه و وزن تر و خشک اندام هوایی ثبت گردید. کمترین وزن تر ریشه زمانی مشاهده گردید که گیاهان، سولفات پتاسیم را دریافت نموده و با SA محلول پاشی شدند. وزن تر ریشه در این تیمار از نظر آماری با نماتدکش شیمیایی کادوزافوس تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۵).

اگر وجود SA به عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شود، محلول پاشی با SA باعث کاهش معنی دار تعداد

نماتدکش کادوزافوس اختلافی نداشت. کمترین جمعیت نهایی و فاکتور تولیدمثل نیز در گیاهانی دیده شد که با SA محلول پاشی شده و کود پتاسه (نانو یا سولفات) دریافت کرده بودند. اختلاف معنی داری بین کادوزافوس و تیمار SA + سولفات پتاسیم از نظر جمعیت نهایی نماتد و فاکتور تولیدمثل آن دیده نشد (جدول ۷).

جدول ۳- سطح معنی داری انفرادی و متقابل تیمارها بر فاکتورهای تکثیری نماتد مولد گره ریشه (*Meloidogyne javanica*) هشت هفته پس از آلوده سازی گیاه گوجه فرنگی

Table 3. Significance level of main factors and their interaction on reproduction parameters of *Meloidogyne javanica* eight weeks after inoculation tomato plants in greenhouse

Treatments	F				
	Gall no.	Egg no.	J ₂ no.	Final population	Reproduction factor
Salicylic acid (SA)	309.9**	1276**	118.7**	1277.3**	1276.3**
Potassium fertilizer (P)	66.3**	97.4**	78.1**	99.2**	99.2**
SA × P	21.6**	33.3**	64.1**	216.5**	34.3**

ns, * and ** means non-significant, significant in 5% and 1% probability level respectively. Gall no. indicates the number of galls and egg masses on the root systems. Egg no., J₂ no. and final population indicate the number of nematode in g soil.

جدول ۴- اثر تیمارهای سالیسیلیک اسید و کود پتاسیم (به عنوان فاکتور اصلی) روی میانگین (± SE) شاخص های رشدی گیاه گوجه فرنگی آلوده به نماتد *Meloidogyne javanica* پس از هشت هفته نگهداری در گلخانه

Table 4. Effect of main factors (salicylic acid and potassium fertilizer) on mean (± SE) growth parameters of *Meloidogyne javanica*-infected tomato plants after eight weeks in greenhouse

Treatments	Length (cm)		Weight (g)		
	Shoot	Root	Shoot (fresh)	Shoot (dry)	Root (fresh)
No Salicylic acid	40.2±2.8 ^b	17.4±0.8 ^a	16.9±1.3 ^b	3.5±0.3 ^a	7.2±0.4 ^a
Salicylic acid	51.9±1.2 ^a	17.4±0.7 ^a	20.4±0.8 ^a	3.9±0.2 ^a	4.7±0.3 ^b
No potassium	40.3±4.2 ^C	15.9±0.5 ^B	15.9±1.1 ^B	3.4±0.4 ^B	6.7±0.7 ^A
Nano potassium	53±1.1 ^A	20.6±0.6 ^A	22.6±1.1 ^A	4.5±0.2 ^A	6.3±0.3 ^A
Potassium sulphate	44.9±2.4 ^B	15.9±0.2 ^B	17.5±0.9 ^B	3.2±0.2 ^B	4.8±0.4 ^B

Main factors were grouped separately by lowercase and uppercase letters. Lower case letters pertained to salicylic acid while uppercase letters related to potassium fertilizer. Means that do not share a letter are significantly different according to Tukey's studentized range test (P < 0.05).

جدول ۵- اثر تیمارهای مختلف بر میانگین (± SE) شاخص های رشدی گیاه گوجه فرنگی آلوده به نماتد *Meloidogyne javanica* پس از هشت هفته نگهداری در گلخانه

Table 5. Effect of different treatments on mean (± SE) growth parameters of *Meloidogyne javanica*-infected tomato plants after eight weeks in greenhouse

Treatments	Length (cm)		Weight (g)			
	shoot	Root	Shoot (fresh)	Shoot (dry)	Root (fresh)	
No SA	No potassium	30±0.9 ^{Cc}	16±0.9 ^{Bb}	13.5±0.6 ^{Dc}	2.9±0.3 ^{Bb}	8.6±0.5 ^{Aa}
SA	Nano potassium	52±2 ^{Aa}	20.7±1 ^{Aa}	21.9±2.2 ^{ABa}	4.9±0.4 ^{Aa}	7.1±0.3 ^{Bb}
	Potassium sulphate	38.6±0.5 ^{Bb}	15.8±0.3 ^{Bb}	15.3±0.5 ^{CDbc}	2.8±0.2 ^{Bb}	5.9±0.2 ^{BCbc}
SA	No potassium	50.5±3.6 ^{Aa}	15.8±0.7 ^{Bb}	18.3±1.4 ^{A-Dabc}	4±0.6 ^{ABab}	4.9±0.2 ^{CDEcd}
	Nano potassium	54±0.9 ^{Aa}	20.5±0.6 ^{Aa}	23.4±0.7 ^{Aa}	4.2±0.2 ^{ABab}	5.5±0.3 ^{CDc}
	Potassium sulphate	51.2±1.1 ^{Aa}	15.9±0.4 ^{Bb}	19.7±0.6 ^{ABCab}	3.6±0.1 ^{ABab}	3.6±0.2 ^{Ed}
	Cadusafos	40.1±1.3 ^{B-}	16.5±0.6 ^{B-}	17.3±0.8 ^{BCD-}	17.3±0.8 ^{BCD-}	3.4±0.2 ^{B-}

Lowercase letters show grouping treatments according to factorial experiment while uppercase letters show grouping treatments in a completely randomized design which include cadusafos. Means that do not share a letter are significantly different according to Tukey's studentized range test (P < 0.05).

جدول ۶- اثر تیمارهای سالیسیلیک اسید و کود پتاسیم (به عنوان فاکتور اصلی) روی میانگین (\pm SE) تکثیر نماتد *Meloidogyne javanica* پس از هشت هفته روی گیاه گوجه فرنگی در گلخانه

Table 6. Effect of main factors (salicylic acid and potassium fertilizer) on mean (\pm SE) reproduction parameters of *Meloidogyne javanica* eight weeks after inoculation tomato plants in greenhouse

Treatments	Gall no.	Egg no.	J ₂ no.	Final population	Reproduction factor
No Salicylic acid	103.3 \pm 9.2 ^a	49.4 \pm 3.5 ^a	0.4 \pm 0.6 ^a	49.8 \pm 3.6 ^a	10 \pm 0.7 ^a
Salicylic acid	46.6 \pm 2.6 ^b	13 \pm 0.9 ^b	0.2 \pm 0.09 ^b	13.1 \pm 0.9 ^b	2.6 \pm 0.2 ^b
No potassium	99.1 \pm 16.4 ^A	40.1 \pm 9 ^A	0.4 \pm 0.09 ^A	40.5 \pm 9.1 ^A	8.1 \pm 1.8 ^A
Nano potassium	71.8 \pm 9.9 ^B	30.8 \pm 6.7 ^B	0.2 \pm 0.01 ^B	31 \pm 6.7 ^B	6.2 \pm 1.3 ^B
Potassium sulphate	54 \pm 6.7 ^C	22.7 \pm 5.1 ^C	0.2 \pm 0.17 ^B	22.9 \pm 5.1 ^C	4.6 \pm 1 ^C

Gall no. indicates the number of galls and egg masses on the root systems. Egg no., J₂ no. and final population indicate the number of nematode in g soil. Main factors were grouped separately by lowercase and uppercase letters. Lower case letters pertained to salicylic acid while uppercase letters related to potassium fertilizer. Means that do not share a letter are significantly different according to Tukey's studentized range test ($P < 0.05$).

جدول ۷- اثر تیمارهای مختلف روی میانگین (\pm SE) شاخص‌های تکثیری نماتد *Meloidogyne javanica* پس از هشت هفته رشد روی گیاه گوجه فرنگی در گلخانه

Table 7. Effect of different treatments on mean (\pm SE) reproduction parameters of *Meloidogyne javanica* eight weeks after inoculation tomato plants in greenhouse

Treatments	Gall no.	Egg no.	J ₂ no.	Final population	Reproduction factor
No No potassium	141.8 \pm 6.8 ^{Aa}	63.8 \pm 1.8 ^{Aa}	0.65 \pm 0.05 ^{Aa}	64.4 \pm 1.8 ^{Aa}	12.9 \pm 0.4 ^{Aa}
SA Nano potassium	97 \pm 5.3 ^{Bb}	48.3 \pm 2.3 ^{Bb}	0.2 \pm 0.01 ^{Bb}	48.5 \pm 2.3 ^{Bb}	9.7 \pm 0.4 ^{Bb}
Potassium sulphate	71.3 \pm 3 ^{Cc}	36.2 \pm 0.5 ^{Cc}	0.22 \pm 0.07 ^{Bb}	36.4 \pm 0.5 ^{Cc}	7.3 \pm 0.1 ^{Cc}
SA No potassium	56.5 \pm 2.2 ^{CDcd}	16.5 \pm 0.4 ^{Dd}	0.19 \pm 0.06 ^{BCb}	16.6 \pm 0.4 ^{Dd}	3.3 \pm 0.08 ^{Dd}
Nano potassium	46.5 \pm 2.2 ^{DEde}	13.3 \pm 0.6 ^{DEde}	0.18 \pm 0.01 ^{BCb}	13.5 \pm 0.6 ^{DEde}	2.7 \pm 0.1 ^{DEde}
Potassium sulphate	36.7 \pm 1.1 ^{Ee}	9.1 \pm 0.4 ^{EFe}	0.13 \pm 0.06 ^{BCb}	9.3 \pm 0.4 ^{EFe}	1.9 \pm 0.09 ^{EFe}
Cadusafos	33.7 \pm 3.1 ^{E-}	7.7 \pm 0.4 ^{F-}	0.11 \pm 0.1 ^{C-}	7.8 \pm 0.4 ^{F-}	1.5 \pm 0.08 ^{F-}

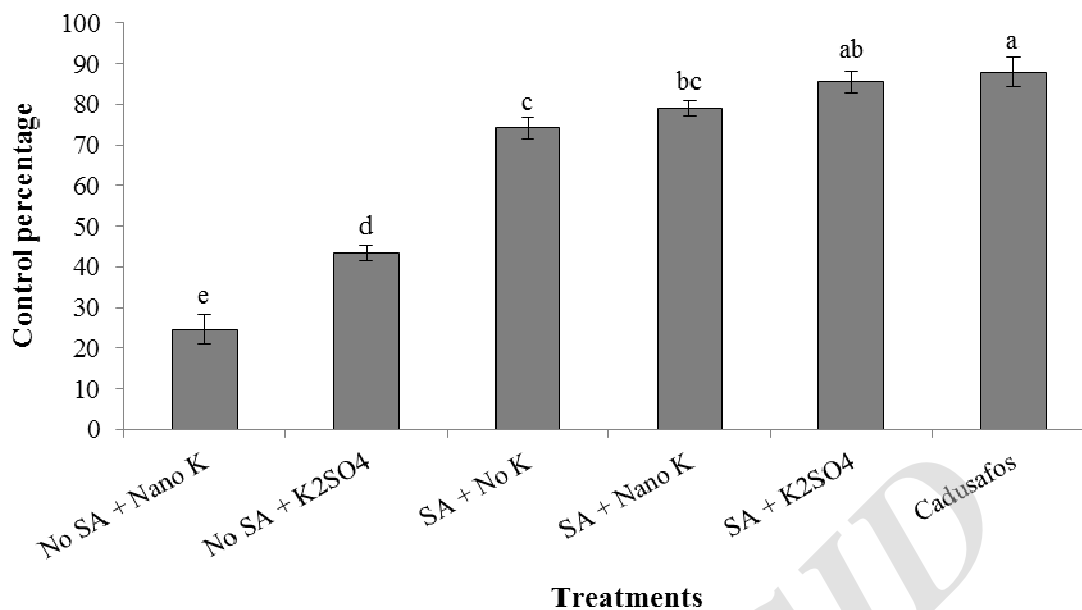
Gall no. indicates the number of galls and egg masses on the root systems. Egg no., J₂ no. and final population indicate the number of nematode in g soil. Lowercase letters show grouping treatments according to factorial experiment while uppercase letters show grouping treatments in a completely randomized design which include cadusafos.

روی بیمارگرها از جمله نماتدهای انگل گیاهی به دو طریق امکان پذیر است. از یک طرف با تأثیر بر شاخص‌های رشدی گیاه باعث تقویت آن برای دفاع از خود شده و از سوی دیگر ممکن است به طور مستقیم خاصیت ضد میکروبی داشته باشند و شاخص‌های مربوط به نماتد را تحت تأثیر قرار دهند (Sholevarfard and Moosavi, 2014). تأثیر پتاسیم در کاهش بیماری نماتدی پیشتر نیز گزارش شده است. هنگامی که غلظت پتاسیم استفاده شده در گیاه گوجه فرنگی از صفر به ۸ میلی مولار رسید، شاخص بیماری نماتد مولد گره ریشه (*M. incognita*) روی رقم حساس (precocious-2) ۴۶ درصد و در رقم مقاوم (06h-) 42) ۹۲ درصد کاهش یافت (Zhao et al., 2016). البته کاربرد کود پتاسه همیشه نیز به کاهش جمعیت نماتد

درصد کنترل تیمارهای مختلف با یکدیگر تفاوت معنی داری داشت ($df=5$; $F=259.5$; $P \leq 0.0001$). بیشترین درصد کنترل نماتد مولد گره ریشه (۸۸ درصد) در گلدان‌های حاوی نماتد کش کادوزافوس اتفاق افتاد که با گلدان‌های حاوی کود سولفات پتاسیم توأم با سالیسیلیک اسید (۸۶ درصد) اختلاف معنی دار نداشت ولی اختلاف آن با سایر تیمارها معنی دار بود. البته تیمار کود سولفات پتاسیم + SA تفاوت معنی داری با تیمار کود نانوپتاس + SA نداشت. کمترین میزان کنترل (۲۵ درصد) نیز در گلدان‌های حاوی نانو پتاس مشاهده گردید (شکل ۱).

بحث

به طور کلی اثر گذاری عناصر غذایی موجود در کودها



شکل ۱- میانگین (\pm SE) درصد کنترل نماتد *Meloidogyne javanica* در تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون توکی در سطح معنی داری ۰.۰۵٪ (حروف متفاوت در بالای هر ستون، نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار بین تیمارها می باشد)

Figure. 1. Mean (\pm SE) control percent of *Meloidogyne javanica* by different treatments. Means that do not share a letter are significantly different according to Tukey's studentized range test ($P < 0.05$)

در شاهد ۳/۶۶ گرم). همین موضوع در مورد گیاه پنبه و نماتد *Rotylenchulus reniformis* نیز صادق بود (در تیمار ۱۷/۵۸ و در شاهد ۱۵/۴۱ گرم). هنگامی که دوز کود پتاس تا ۹۰۰ و ۱۲۰۰ ppm بالا رفت، آنگاه افزایش رشد هر دو گیاه معنی دار شد (Badra and Yousif, 1979). کاربرد غلظت های مختلف کود پتاسه به فرمت K^+ روی گیاه گوجه فرنگی (رقم Hosen-Eilon) آلوده به نماتد *M. javanica* باعث افزایش معنی دار وزن تر اندام هوایی و ریشه نسبت به شاهد گردید (Spiegel et al., 1982) اما هنگامی که ۰/۲ گرم سولفات پتاسیم در گلدان های حاوی گندم آلوده به نماتد سیستی (*Heterodera filipjevi*) به کار رفت، علی رغم کاهش فاکتورهای رشدی نماتد، وزن هزار دانه و تعداد دانه ها در خوشه نسبت به شاهد تغییر معنی داری نداشت هر چند که وزن کاه و کلش گیاه افزایش اندکی نشان داد (Seifi and Karegar Bide, 2013).

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که اگر در خاکی نماتد مولد گره ریشه وجود نداشته باشد، تأمین پتاسیم

منتهی نمی شود (Badra and Yousif, 1979)؛ (Pettigrew et al., 2005). به نظر می رسد که گونه و رقم گیاه، گونه نماتد و نوع کود پتاسه ای استفاده شده (K_2SO_4 و K_2O , K^+) در به دست آمدن نتایج مختلف دخیل باشد.

بررسی نتایج سایر محققین نشان می دهد که تأثیر پتاسیم در افزایش رشد گیاه آلوده به نماتد نیز همیشه ثابت نبوده است. به عنوان مثال کاربرد کود پتاسه (K_2O) هنگامی که ارقام BRSGO-Ipameri (مقاوم) و BRSGO-Luziania (حساس) گیاه سویا به نماتد *Heterodera glycines* آلوده شدند باعث افزایش معنی دار رشد نسبت به شاهد نشد، هر چند که باعث کاهش فاکتورهای رشدی نماتد گردید (Barbosa et al., 2010). البته دوز کود مصرفی نیز در این میان موثر است. بدین مفهوم که هنگامی که کود پتاسه (K_2SO_4) با دوز ۶۰۰ ppm به ازای هر گلدان یک کیلوگرمی به کار رفت، رشد گیاهچه نارنج آلوده به نماتد مرکبات نسبت به شاهد افزایش معنی داری نیافت (در تیمار ۴/۶۶ گرم و

ریشه در گیاهان تیمار شده با کود سولفات پتاسیم کمتر از کود نانو پتاس بود که نشانگر تعداد کمتر گال تشکیل شده روی ریشه بوده که ویژگی بهتری محسوب می‌شود.

اگر در خاکی نماتد *M. javanica* وجود داشته باشد، محلول پاشی با SA بسیار مهم‌تر از کود دهی با پتاسیم یا نوع کود پتاسه‌ی استفاده شده است، چون هنگامی که محلول پاشی با SA انجام شد، کود دهی با پتاس یا نوع کود پتاسه تأثیر چندانی بر رشد گیاه نداشت اما اگر گیاه با SA محلول پاشی نشده باشد، کودهی با نانو پتاس باعث رشد بهتر گیاه گوجه‌فرنگی می‌گردد.

در مورد فاکتورهای رشدی نماتد وضعیت کمی متفاوت است. در تیمارهایی که از SA استفاده نشده بود فاکتورهای رشدی نماتد در گیاهانی که کود سولفات پتاسیم دریافت کرده بودند کمتر از سایر تیمارها بود. اما هنگامی که SA محلول پاشی شد، فاکتورهای رشدی نماتد در گلدان‌هایی که در آن‌ها از کود نانو پتاس استفاده شده بود با تیمارهایی که کود سولفات پتاسیم دریافت کرده بودند تفاوت معنی‌داری نداشت.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، اگر در خاکی نماتد *M. javanica* وجود نداشته باشد، کوددهی با نانو پتاس باعث رشد بهتر گیاه گوجه‌فرنگی می‌گردد. اما اگر نماتد وجود داشته باشد و قرار باشد گیاه گوجه‌فرنگی کاشته شود، محلول پاشی با SA و استفاده از کود پتاسه نانو باعث رشد بهتر گیاه و تکثیر کمتر نماتد می‌گردد. اگر امکان محلول پاشی با SA وجود نداشته باشد، استفاده از کود سولفات پتاسیم اگرچه رشد بهتر گیاه را موجب نمی‌شود اما با کاهش جمعیت نهایی نماتد در طول دوره‌ی رشد گیاه میزبان، در دراز مدت اثر بهتری خواهد داشت.

سپاس‌گزاری

نگارندگان از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت بابت تأمین مالی این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مورد نیاز گیاه به فرم نانو باعث بیشترین رشد در اندام‌های هوایی و ریشه‌ی گیاه می‌گردد. کودهای معمولی بلافاصله پس از کاربرد به مقدار زیادی در خاک آزاد می‌شوند و بر همین اساس مقدار زیادی از آن از دسترس گیاه خارج می‌شود. بر اساس برآوردها حدود ۵۰-۴۰ درصد از کودهای نیتروژنه، ۹۰-۷۵ درصد از کودهای فسفره و ۵۰-۴۰ درصد از کودهای پتاسه‌ی استفاده شده از دسترس گیاه خارج می‌شود (Trenkel, 2010). در سال‌های اخیر استفاده از کودهایی که به آرامی آزاد می‌شوند به‌عنوان راهکار جدید در نظر گرفته شده تا آزادسازی عناصر غذایی به‌صورت یکنواخت و در بازه‌ی زمانی طولانی‌تری صورت گیرد (Wu and Liu, 2008, Guo et al., 2005) و بر این اساس کودهای نانو که در آن عناصر غذایی در ذرات نانو به دام افتاده‌اند به بازار راه یافتند (DeRosa et al., 2010). این عمل باعث بهبود تغذیه گیاه و رشد بهتر آن می‌گردد.

البته محلول پاشی با SA نیز در گیاهان عاری از نماتد باعث افزایش رشد گیاه گردید و به جز در مورد وزن تر ریشه، در سایر موارد تفاوت معنی‌داری بین افزایش رشد در گیاهانی که با نانو پتاسیم تیمار شده بودند و گیاهانی که با SA محلول پاشی شده بودند دیده نشد. هر چند که تأثیر پاشیدن SA روی رشد گیاه بستگی به نوع گیاه، مرحله رشدی و غلظت SA دارد (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011). اثر SA در افزایش رشد سویا (Gutierrez-Coronado et al., 1998)، گندم (Shakirova et al., 2003)، ذرت (Gunes et al., 2007)، بایونه (Kovacik et al., 2009) و گوجه‌فرنگی (Javaheri et al., 2012) گزارش شده است.

هنگامی که گیاه آلوده به نماتد با SA محلول پاشی نشده بود، بیشترین رشد مربوط به تیمارهایی بود که در آن‌ها از نانو پتاس استفاده شده بود. اما هنگامی که گیاهان گوجه‌فرنگی با SA محلول پاشی شده بودند، به جز رشد طولی ریشه، در سایر فاکتورها بین کود نانو پتاس و کود سولفات پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. البته وزن تر

REFERENCES

- Badra, T., and Yousif, G.M. 1979. Comparative effects of potassium levels on growth and mineral composition of intact and nematized cowpea and sour orange seedlings. *Nematologia Mediterranea*, 7: 21-27.
- Barbosa, K.A.G., Garcia, R.A., Santos, L.C., Teixeira, R.A., Araujo, F.G., Rocha, M.R., and Lima, F.S.O. 2010. Effect of potassium fertilization on *Heterodera glycines* population in susceptible and resistant soybean cultivars. *Nematologia Brasileira*, 34: 150-158.
- Bergeson, G.B. 1966. Mobilization of minerals to the infection site of root knot nematodes. *Phytopathology*, 56: 1287-1289.
- Branch, C., Hwang, C.F., Navarre, D.A., and Williamson, V.M. 2004. Salicylic acid is part of the *Mi-1*-mediated defense response to root-knot nematode in tomato. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 17: 351-356.
- Cumagun, C.J.R., and Moosavi, M.R. 2015. Significance of biocontrol agents of phytonematodes. In: Askary, T.H., and Martinelli, P.R.P. (eds). *Biocontrol agents of phytonematodes*. CABI Publishing, Wallingford. pp: 50-78.
- DeRosa, M.R., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., and Sultan, Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology*, 5: 91. doi:10.1038/nnano.2010.2.
- Durrant, W.E., and Dong, X. 2004. Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 42: 185-209.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2012. *Food and Agricultural Organization statistics book on national crop production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Ghaderi, R., Kashi, L., and Karegar, A. 2012. *The nematodes of Iran, based on the published reports until 2011*. Agricultural Training and promotion Publishing, Tehran. P. 217. (In Farsi).
- Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri Bagci, E., and Cicek, N. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology*, 164: 728-736.
- Guo, M.Y., Liu, M.Z., Zhan, F.L., and Wu, L. 2005. Preparation and properties of a slow-release membrane-encapsulated urea fertilizer with superabsorbent and moisture preservation. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44: 4206-4211.
- Gutierrez-Coronado, M.A., Trejo-Lopez, C., and Larque-Saavedra, A. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*, 36: 563-565.
- 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.

Javaheri, M., Mashayekhi, K., Dadkhah, A., and Zaker Tavallae, F. 2012. Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4: 1184-1187.

Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. Plant Diseases, 48: 692.

Karsen, G., Wesemael, W., and Moens, M. 2013. Root-knot nematodes. In: Perry, R.N., and Moens, M. (eds). Plant nematology, 2nd edition. CABI Publishing, Wallingford. pp: 73-109.

Kovacik, J., Gruz, J., Backor, M., Strnad, M., and Repcak, M. 2009. Salicylic acid-induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. Plant Cell Reports, 28: 135-143.

Moens, M., Perry, R.N., and Starr, J.L. 2009. *Meloidogyne* species—a diverse group of novel and important plant parasites. In: Perry, R.N., Moens, M., and Starr, J.L. (eds). Root-knot nematodes. CABI Publishing, Wallingford, pp: 1-17.

Moosavi, M.R. 2012. Nematicidal effect of some herbal powders and their aqueous extracts against *Meloidogyne javanica*. Nematropica, 42: 48-56.

Moosavi, M.R., and Zare, R. 2012. Fungi as biological control agents of plant-parasitic nematodes. In: Merillon, J.M., and Ramawat, K.G. (eds). Plant defence: Biological control, Progress in Biological Control 12. Dordrecht, Springer Science + Business Media, pp: 67-107.

Moosavi, M.R., Zare, R., Zamanizadeh H.R., and Fatemy, S. 2010. Pathogenicity of *Pochonia* species on egg of *Meloidogyne javanica*. Journal of Invertebrate Pathology, 104: 125-133.

Naderi, M.R., and Danesh-Shahraki. A. 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5: 2229-2232.

Nandi, B., Kundu, K., Banerjee, N., and SinhaBabu, S.P. 2003. Salicylic acid-induced suppression of *Meloidogyne incognita* of okra and cowpea. Nematology, 5: 747-752.

Pettigrew, W.T., Meredith, Jr. W.R., and Young, L.D. 2005. Potassium fertilization effects on cotton lint yield, yield components, and reniform nematode populations. Agronomy Journal, 97: 1245-1251.

Prabhu, A.S., Fageria, N.D., Huber, D.M., and Rodrigues, F.A. 2007. Potassium and plant disease. In: Datnoff, L.E., Elmer, W.H., and Huber, D. M. (eds). Mineral nutrition and plant disease. APS Press, St. Paul. pp: 57-78.

Rivas-San Vicente, M., and Plasencia, J. 2011. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. Journal of Experimental Botany, 62: 1-18.

Santana-Gomes, S.M.S., Arieira, D.R.C., Roldi, M., Dadazio, S.T., Marini, M.P., Antonio, D., and Barizao, O. 2013. Mineral nutrition in the control of nematodes. *African Journal of Agricultural Research*, 8: 2413-2420.

Seid, A., Fininsa, C., Mekete, T., Decraemer, W., and Wesemael, W.M.L. 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a century-old battle. *Nematology*, 17: 995-1009.

Seifi, S., and Karegar Bide, A. 2013. Effect of mineral fertilizers on cereal cyst nematode *Heterodera filipjevi* population and evaluation of wheat. *World Applied Programming*, 3: 137-141.

Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, V., Fatkhutdinova, R.A., and Fatkhutdinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, 164: 317-322.

Sholevarfard, A.R., and Moosavi, M.R. 2014. The role of macro-and micronutrients in plant disease management. *Plant Pathology Science*, 3: 17-36. (In Farsi with English abstract).

Sholevarfard, A.R., and Moosavi, M.R. 2015. The potential of separate and combined application of some plant extracts and defense inducer molecules for controlling *Meloidogyne javanica*. *Nematropica*, 45: 82-91.

Spiegel, Y., Cohn, E., Kafkafi, U., and Sulami, M. 1982. Influence of potassium and nitrogen fertilization on parasitism by the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *Journal of Nematology*, 14: 530-535.

Taylor, A.L., and Sasser, J.N. 1978. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). University Graphics, Raleigh, North Carolina State. P. 111.

Trenkel, M.E. 2010. Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris. P. 160.

Wu, L., and Liu, M. 2008. Preparation and properties of chitosan coated NPK compound fertilizer with controlled release and water-retention. *Carbohydrate Polymers*, 72: 240-247.

Yusuf, M., Hayat, S., Alyemeni, M.N., Fariduddin, Q., and Ahmad, A. 2013. Salicylic acid: Physiological roles in plants. In: Hayat, S., Ahmad, A., and Alyemeni, M.N. (eds). *Salicylic acid: plant growth and development*. Springer Science + Business Media, Dordrecht. pp: 15-30.

Zhao, X., Hu, W., Zhang, S., Zhao, Q., and Wang, Q. 2016. Effect of potassium levels on suppressing root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) and resistance enzymes and compounds activities for tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Academia Journal of Agricultural Research*, 4: 306-314.

Effect of nano-K, potassium sulphate and salicylic acid on tomato growth and control of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*)

Gh.A. Alesaadi¹, S.M.R. Moosavi^{2*} and T. Basirnia³

1. Former M.Sc. student of Plant Pathology, Department of Plant Pathology, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran
2. ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Plant Pathology, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran (rmmoosavi@yahoo.com)
3. Assistant Professor, Department of Plant Protection, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

Received: 18 July 2016

Accepted: 28 May 2017

Abstract

Fertilizers are commonly used to enhance the quality and quantity of agricultural products, but they can also improve the tolerance or resistance level of plants against parasitic nematodes. The current study was performed in two separate experiments. In the first experiment, the effect of Nano-K and potassium sulphate fertilizers as well as salicylic acid (SA) was assessed on the growth of nematode-free tomato plants. In the second experiment, the effect of mentioned fertilizers and SA was investigated on plant growth and nematode control in a completely randomized factorial design. The recommended dose of potassium sulphate was mixed with the soil of one kg pot a week prior to planting tomato seeds. Nano-K fertilizer was sprayed on tomato seedlings three days before and two weeks after-nematode inoculation. SA was sprayed 24 h before- and one week after-nematode inoculation. Tomato seedlings were inoculated with five eggs and second stage juveniles of *Meloidogyne javanica* per g soil at the four-leaf stage. The pots were kept in a greenhouse for eight weeks. The highest growth of nematode-free tomato plants was seen in the pots that were sprayed with Nano-K or SA. In the nematode-infected plants, the effect of SA was more significant than the effect of application or kind of potassium fertilizers that were used. The highest plant growth and lowest nematode reproduction occurred when the plants were sprayed with SA and Nano-K. When SA was not sprayed, application of potassium sulphate did not result in the best plant growth, but it was more effective in reducing the population density of *M. javanica*.

Keywords: Potassium fertilizer, Nano fertilizer, Control, Root-knot nematode