

OCCURRENCE OF ROOT-KNOT NEMATODE ON WINTER TOMATO AND ITS EFFECT ON YIELD UNDER SUBTROPICAL CLIMATE

OCURRENCIA DEL NEMÁTODO AGALLADOR DE LA RAÍZ EN TOMATE INVERNAL Y SU EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO EN CLIMA SUBTROPICAL

Hai Yan **Wu**, Qiong **He**, Xun Bo **Zhou***

Guangxi key laboratory of Agric-Environment and Agric-products Safety, Agricultural College of Guangxi University, Nanning 530004, China. (xunbozhou@gmail.com).

ABSTRACT

Root-knot nematodes (RKN; *Meloidogyne* spp.), a major plant pathogen of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), causes yield loss in various tomato cultivars. Climatic conditions affect RKN infection; however, the effect of subtropical climate on epidemic RKN that have affected winter tomatoes in China is poorly known. In order to investigate the dynamics of the RKN populations in the rhizosphere soil of winter tomato and to analyze the relationship between grafted and non-grafted tomatoes and their yields, field experiments were conducted at the towns of Shuangqiao and Taiping in Guangxi Province, China during 2014-2016. The experimental fields of early and late sowing tomatoes were located at Shuangqiao and Taiping, respectively. ANOVA and means comparison (Tukey; $p \leq 0.05$) were performed by using SPSS software version 19.0. Results showed that RKN (*Meloidogyne incognita*) had three generations in early and late sowing tomatoes. In early sowing tomato at: 0-31, 32-113, and 114-155 d after transplanting (DAT) RKN generations occurred at 31, 81, and 28-42 d respectively. In late sowing tomato, there were three generations at 0-60, 47-101, and 88-157 DAT, nematode needed 46-60, 40, and 55 d to finish each generation. Some nematicides were applied to suppress J2s populations in the fields when the J2 populations peaked. The yield of grafted tomato was significantly higher than that of non-grafted tomato ($p \leq 0.05$). This result suggested that tolerance to RKN in grafted tomato rootstock was higher than that in non-grafted tomato.

Key words: *Meloidogyne incognita*, generations, rhizosphere, early sowing, late sowing, grafting.

RESUMEN

El nematodo agallador de la raíz (NAR; *Meloidogyne* spp. o RKN, por sus siglas en inglés), es un fitopatógeno importante del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) que causa pérdidas en el rendimiento de sus cultivares. Las condiciones climáticas afectan la incidencia del NAR; sin embargo, se conoce poco del efecto del clima subtropical en los nematodos epidémicos que afectan al tomate invernal en China. Para estudiar la dinámica de poblaciones de los NAR en la rizósfera del cultivo de tomate invernal, y para analizar la relación entre tomates injertados y no injertados y sus rendimientos, se realizaron experimentos de campo en las localidades de Shuangqiao y Taiping en la provincia china de Guangxi entre 2014 y 2016. Los campos experimentales de tomates de siembra temprana y tardía se ubicaron en Shuangqiao y Taiping, respectivamente. El ANDEVA y la prueba de comparación de medias (Tukey; $p \leq 0.05$) se efectuaron con el paquete estadístico SPSS, v. 19.0. Los resultados mostraron que los NAR (*Meloidogyne incognita*) formaron tres generaciones en tomate de siembra temprana y tardía. En tomate temprano, a los 0-31, 32-113, y 114-155 días después del trasplante (DDT), las cuales requirieron 31, 81 y 28-42 d, respectivamente. Durante la temporada de cultivo de tomate de siembra tardía, hubo tres generaciones a los 0-60, 47-101 y 88-157 DDT; los nematodos requirieron 46-60, 40 y 55 d para completar cada generación. Algunos nematicidas se aplicaron para suprimir a las poblaciones juveniles de segunda generación (J2) en los campos en los cuales las poblaciones J2 alcanzaron niveles máximos. El rendimiento del tomate injertado fue mayor ($p \leq 0.05$) que el del tomate no injertado. Este resultado indica que la tolerancia al NAR en portainjertos de tomates injertados fue mayor que en el tomate no injertado.

Palabras clave: *Meloidogyne incognita*, generaciones, rizósfera, siembra temprana, siembra tardía, injerto.

* Author for correspondence ♦ Autor para correspondencia.
Received: June, 2019. Approved: April, 2020.
Published as ARTICLE in *Agrociencia* 54: 717-729. 2020.

INTRODUCTION

Root-knot nematode (RKN; *Meloidogyne* spp.) disease affects most plant species. This nematode interacts with other plant pathogens and thereby exacerbates damages caused by other related soilborne diseases (Stirling *et al.*, 2004; Maqsood *et al.*, 2020). The yield of vegetables and other food crops can be reduced after an attack by RKN (Simon *et al.*, 2011; Kayani *et al.*, 2017). Tomato is widely cultured in open planting and greenhouses in China, but RKN often causes yield loss (Qiao *et al.*, 2010). In a field infected with RKN, a 36.5-81.3% yield loss was detected in an untreated control test plot, relative to the yield of a test plot treated with emamectin benzoate and cadusafos (Ma *et al.*, 2017).

The population densities of different *Meloidogyne* spp., such as *Meloidogyne naasi* and *Meloidogyne incognita*, in a field leads to different degrees of yield loss (Kayani *et al.*, 2017). The grain yield of rice is reduced by 97% at an initial RKN population density of 10 second-stage juveniles (J2) per gram of soil and 31% at the initial population density of 0.1 J2 g⁻¹ of soil (Poudyal *et al.*, 2005). RKN can cause from 25 to 100% in the yield of tomato cultivars (Seid *et al.*, 2015). The extent of crop loss can be influenced by the initial nematode population, crop susceptibility, cropping sequence, plant age, soil fertility, and secondary pathogen involvement (Simon *et al.*, 2011).

Yield reduction in plants directly depends on the initial population density of nematodes during planting (Moosavi, 2015; Kayani *et al.*, 2017). The population density of RKN in a field can be affected by many factors, such as temperature (Morris *et al.*, 2011), field capacity (Karajeh and Mohawesh, 2016), and nematicide application (Liu *et al.*, 2014). Population dynamics of RKN were described in many crops, including rice (Win *et al.*, 2013), cucumber (Giné *et al.*, 2014), and carrot (Heve *et al.*, 2015).

RKN disease in winter crops, such as tomato, is destructive in Guangxi Province, China. Guangxi has a subtropical monsoon climate, which allows nematodes to survive in soil all the year. However, the population dynamics of RKN in winter tomato exposed in such environment is poorly known. Therefore, the objectives of this study were to investigate: 1) the dynamics of RKN populations in

INTRODUCCIÓN

La enfermedad por el nematodo agallador de la raíz (NAR, *Meloidogyne* spp., en inglés RKN) afecta a muchas especies de plantas. Este nematodo interactúa con otros fitopatógenos, con ello exagera los daños causados por otras enfermedades relacionadas y transmitidas por el suelo (Stirling *et al.*, 2004; Maqsood *et al.*, 2020). El rendimiento de vegetales y otros cultivos alimenticios puede verse reducido luego de un ataque de NAR (Simon *et al.*, 2011; Kayani *et al.*, 2017). El cultivo del tomate es extenso en invernaderos y en campo abierto en China, pero el NAR suele reducir rendimientos (Qiao *et al.*, 2010). En un campo infectado con NAR se detectó una reducción en el rendimiento de 36.5-81.3% en una parcela testigo sin tratamientos, respecto a una parcela de prueba tratada con benzoato de emamectina y cadusafos (Ma *et al.*, 2017).

Las densidades de población de especies de *Meloidogyne* spp., tales como *Meloidogyne naasi* y *Meloidogyne incognita* en campo conducen a grados de reducción diferentes en el rendimiento (Kayani *et al.*, 2017). El rendimiento de grano de arroz se redujo en 97% con una densidad poblacional de 10 NAR juveniles de segunda generación (J2) por gramo de suelo y 31% en una densidad poblacional inicial de 0.1 J2 g⁻¹ de suelo (Poudyal *et al.*, 2005). El NAR puede causar entre 25 y 100% de reducción en el rendimiento de cultivares de tomate (Seid *et al.*, 2015). El grado de pérdida del cultivo puede verse influenciado por la población inicial de nematodos, susceptibilidad del cultivo, la secuencia de cultivo, la edad de la planta, fertilidad del suelo y el involucramiento de patógenos secundarios (Simon *et al.*, 2011).

La reducción del rendimiento en plantas depende, de manera directa, de la densidad de población inicial de los nematodos durante la siembra (Moosavi, 2015; Kayani *et al.*, 2017). La densidad poblacional de NAR en un campo puede verse afectada por muchos factores, tales como la temperatura (Morris *et al.*, 2011), la capacidad del campo (Karajeh y Mohawesh, 2016) y la aplicación de nematicida (Liu *et al.*, 2014). Las dinámicas de población de NAR se han descrito para muchos cultivos, incluidos arroz (Win *et al.*, 2013), pepino (Giné *et al.*, 2014) y zanahoria (Heve *et al.*, 2015).

La enfermedad del NAR en cultivos de invierno, como el tomate, es destructiva en la provincia

rhizosphere soil (RS) of early and late sowing winter tomatoes during growth season, 2) the differences in nematode population between RS and non-rhizosphere soil (nRS), 3) the yield of grafted and non-grafted tomatoes influenced by RKN, and 4) the number of generations of RKNs on winter tomato under subtropical monsoon climate.

MATERIALS AND METHODS

Dynamics of root-knot nematode population in rhizosphere soil and the yields of early sowing winter tomato

For the early sowing tomato, the seedlings were transplanted in early October. The experimental site was located at Shuangqiao, Nanning, Guangxi, China ($23^{\circ} 05' 54.59''$ N, $108^{\circ} 21' 09.79''$ E). Two plots were set up: 182.0 m^2 each plot, 7 beds. The soil was loamy with pH 5.6 and contained 47.6 g kg^{-1} of organic matter, 1.7 g kg^{-1} of total N, 175.9 mg kg^{-1} of available N, 24.5 mg kg^{-1} of available P, and 361.2 mg kg^{-1} of available K. The previous crop was rice.

The initial population density (before transplanting) of the RKN J2 in this field was 21.0 J2s per 100 cm^3 soil. Plant pattern was as following: each plant bed had two rows of tomato seedlings. The row spacing, bottom bed width, and bed height were 0.3, 1.0, and 0.3 m, respectively. The ditch width was set to 0.3 m, and the planting distance was set to 0.4 m (Figure 1).

de Guangxi, China. Guangxi cuenta con un clima subtropical de monzón, lo cual permite a los nematodos sobrevivir en el suelo durante todo el año. Sin embargo, se sabe poco de la dinámica poblacional de NAR en el tomate de invierno expuesto a tal ambiente. Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron investigar: 1) la dinámica poblacional de NAR en la rizósfera del suelo (RS) de tomate invernal de siembra temprana y tardía durante su temporada de cultivo, 2) las diferencias en las poblaciones de nematodos entre RS y suelo sin rizósfera (nRS), 3) el rendimiento de tomates injertados y no injertados infectados por NAR, y 4) el número de generaciones de NAR en tomate invernal bajo clima subtropical de monzón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dinámica poblacional del nematodo agallador de la raíz en la rizósfera del suelo y rendimiento del tomate invernal de siembra temprana

Para el tomate de siembra temprana, las plántulas se trasplantaron a principios de octubre. El sitio experimental se ubicó en Shuangqiao, Nanning, Guangxi, China ($23^{\circ} 05' 54.59''$ N, $108^{\circ} 21' 09.79''$ E). Dos parcelas se prepararon: 182.0 m^2 cada parcela, 7 camas. El suelo era arcilloso con un pH de 5.6 y contenía 47.6 g kg^{-1} de materia orgánica, 1.7 g kg^{-1} de N total, 175.9 mg kg^{-1} de

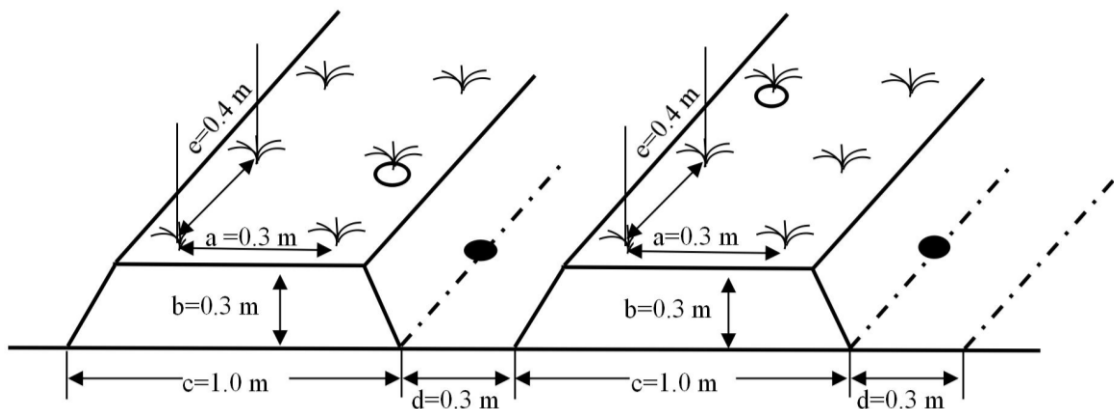


Figure 1. Map for tomato planting and sample spots during tomato growing season in the field. a: the row spacing; b: the bed height; c: the width of the bottom of the bed; d: the ditch width; e: individual spacing. ○, rhizosphere sample spot, indicates a sample spot that is 5 cm away from the tomato seedling main stem; ●, non-rhizosphere sample spot, indicates a sample spot that is at the edge of the bed where no root reached.

Figura 1. Mapa para la siembra de tomate y puntos de muestreo durante la temporada de cultivo de tomate en el campo. a: espaciado entre hileras; b: altura de camas; c: el ancho inferior de las camas; d: ancho de la zanja; e: espaciado individual. ○, punto muestra de rizosfera, indica un punto muestra a 5 cm del tallo principal de la plántula; ●, punto muestra no de rizosfera, indica un punto muestra al borde de la cama no alcanzado por ninguna raíz.

The grafted seeds (rootstock cultivar, Japanese super rootstock F1, Tailiang Germchit Co., Ltd.) and the scion cultivar (Henghe 5, Guangxi Dewodi Vegetable Seed Company) seeds were sown on August 25, 2015 and September 9, 2015, respectively.

Grafting was performed on September 22, 2015. Grafted and non-grafted seedlings (cultivar, Henghe 5) were transplanted when the 4th–5th leaf stages appeared on October 6, 2015. Each type had a plot of 280 m². The fruits were completely harvested on March 23, 2016. Fertilizer application, irrigation, and other management strategies for the two experimental plots were standard. No nematicide was applied during the tomato growing season.

In the harvesting stage, the number of fruits per plant of grafted and non-grafted tomatoes was counted and weighed using an electronic scale separately. The mean weight per fruit and the fruits per plant were recorded, and the total yields of the grafted and non-grafted tomatoes were calculated.

Dynamics of root-knot nematode population in the RS of late sowing winter tomato

For late sowing tomato, the seedlings were transplanted in last October. In 2014–2015, and the experiment was performed in a tomato field located in Taiping town, Nanning, Guangxi Province (23° 06' 18.46" N, 108° 26' 10.42" E). The soil was loamy with pH 5.8 and contained 25.4 g kg⁻¹ of organic matter, 1.6 g kg⁻¹ of total N, 151.9 mg kg⁻¹ of available N, 19.2 mg kg⁻¹ of available P, and 141.2 mg kg⁻¹ of available K. The previous crop was rice.

The initial population density (before transplanting) of the RKN J2 in this field was 1.3 J2s per 100 cm³ soil. Lime (395.0 kg ha⁻¹) was utilized in the experimental field before tomato was transplanted. The experiment had two plots (182.0 m² each plot, 7 beds), and each plant bed had two rows of tomato seedlings. The row spacing, the bottom bed width, and the bed height were 0.3, 1.0, and 0.3 m, respectively. The ditch width was set to 0.3 m, and the planting distance was set to 0.4 m (Figure 1).

Two tomato cultivars, Gaisi (Beijing Mirike International Agricultural Science and Technology Development Co., Ltd.) and Falali (Shandong Shouguang New Century Seedling Co., Ltd.), were used in this experiment. The tomato seedlings were sown in a seedling plate on October 2, 2014 and transplanted when the 4th–5th leaf stages were out on October 30, 2014. Then, the fruit was completely harvested on April 5, 2015. The fertilizer application, irrigation, and other management strategies for the two cultivar tomatoes were the same. Then, 5.7% emamectin benzoate ME (60.0 mL ha⁻¹) was applied three times in the first three consecutive weeks after tomato was transplanted (once a week).

N disponible, 24.5 mg kg⁻¹ de P disponible, y 361.2 mg kg⁻¹ de K disponible. El cultivo anterior fue arroz.

La densidad de población inicial (antes de trasplantar) de J2 del NAR en este campo era de 21.0 J2s por 100 cm³ suelo. El patrón de siembra fue el siguiente: cada cama contenía dos hileras de plántulas de tomate. El espaciado entre hileras, el ancho inferior de la cama y la altura de la cama fueron 0.3, 1.0, y 0.3 m, respectivamente. El ancho de la zanja se determinó en 0.3 m, y la distancia de siembra, en 0.4 m (Figura 1). Germoplasma para injerto (cultivar de portainjerto, super portainjerto japonés F1, Tailiang Germchit Co., Ltd.) y germoplasma del cultivar de vástago (Henghe 5, Guangxi Dewodi Vegetable Seed Company) se plantaron el 25 de agosto de 2015 y el 9 de septiembre de 2015, respectivamente.

El injerto se realizó el 22 de septiembre de 2015. Semillas injertadas y no injertadas (cultivar, Henghe 5) se trasplantaron en la etapa de aparición de las 4^a–5^a hojas, el 6 de octubre de 2015. Cada tipo contó con una parcela de 280 m². Los frutos se cosecharon por completo el 23 de marzo de 2016. La aplicación de fertilizante, riego y otras estrategias de manejo fueron las estándar en ambas parcelas experimentales. No se aplicó nematicida durante la temporada de desarrollo del tomate.

En la etapa de cosecha, el número de frutas por planta injertada y no injertada se contabilizó y se registró el peso de forma separada con una báscula. El peso medio por fruto, y el peso total de los frutos por planta se registraron y se calculó el rendimiento total de los tomates injertados y no injertados.

Dinámica poblacional del NAR en la RS del cultivo de tomate invernal de siembra tardía

Para el tomate de siembra tardía, se trasplantaron las plántulas a finales de octubre en 2014–2015, y el experimento se llevó a cabo en un campo de tomate ubicado en el pueblo de Taiping, Nanning, provincia de Guangxi (23° 06' 18.46" N, 108° 26' 10.42" E). El suelo era arcilloso, con un pH de 5.8 y contenía 25.4 g kg⁻¹ de materia orgánica, 1.6 g kg⁻¹ de N total, 151.9 mg kg⁻¹ de N disponible, 19.2 mg kg⁻¹ de P disponible y 141.2 mg kg⁻¹ de K disponible. El cultivo anterior fue arroz.

La densidad de población inicial (antes de trasplantar) de la J2 de NAR en este campo fue de 1.3 J2s por 100 cm³ de suelo. Cal (395.0 kg ha⁻¹) se utilizó en el campo experimental antes de trasplantar el tomate. El experimento contaba con dos parcelas (182.0 m² cada parcela, 7 camas), y cada cama de plantas contaba con dos hileras de plantas de tomate. El espaciado entre hileras, el ancho inferior de la cama, y la altura de la cama fueron de 0.3, 1.0 y 0.3 m, respectivamente. El ancho de la zanja se ajustó a 0.3 m y el dispositivo de siembra se ajustó a 0.4 m (Figura 1).

Dos cultivares de tomate, Gaisi (Beijing Mirike International Agricultural Science and Technology Development Co., Ltd.) y

In 2015-2016, the experiment field was established at Shuangqiao town, Guangxi Province (23° 05' 54.59" N, 108° 21' 09.79" E). One plot was set up (182.0 m² each plot, 7 beds). The soil was loamy with pH 5.7, 45.4 g kg⁻¹ of organic matter, 1.1 g kg⁻¹ of total N, 177.3 mg kg⁻¹ of available N, 53.5 mg kg⁻¹ of available P, and 193.6 mg kg⁻¹ of available K. The previous crop was rice.

The initial population density (before transplanting) of the RKN J2 in this field was 109.3 J2s per 100 cm⁻³ soil. Plant pattern was the same as above (Figure 1). Cultivar Henghe 5 (Guangxi Dewodi Vegetable Seed Company) was used in this trial. Tomato seedlings were sowing in a seedling plate on October 3, 2015 and transplanted when 4th-5th leaf stages appeared on November 1, 2015. The fruits were then completely harvested on April 7, 2016. The fertilizer and irrigation application, 5.7 % emamectin benzoate ME (60.0 mL ha⁻¹), and other management strategies for the tomatoes, were the same as those in the first-year trial.

The maximum and minimum daily air temperatures (T_{Max} , T_{Min}) on the day of sampling were recorded during tomato growth.

Sample collection

The soil in the field was randomly obtained from 15 spots for the testing of initial population density in each plot before tomato planting. Surface soil of 1 cm depth was removed, and 5-10 cm deep soil was obtained. The soil samples were mixed well for nematode extraction. Soil samples were collected during the tomato growth period. For Gaisi and Falali, soil samples were collected from November 4, 2014 to April 5, 2015; for Henghe 5 was from November 6, 2015 to April 6, 2016; for grafted and non-grafted tomatoes were from October 9, 2015 to March 23, 2016.

The RS sample was obtained from the tomato rhizosphere region that was 5 cm away from the tomato seedling main stem, and the nRS sample (control) was obtained from the bed edge where no root reached. Approximately 1 cm of the surface soil was removed, the sample was taken from approximately 10 cm depth soil, and five spots were selected in each row for 20 spots for the RS samples of each tomato cultivar and the nRS samples in each field. The soil sample was mixed well for nematode extraction.

Nematode extraction

Nematodes were extracted from a 100 cm³ well-mixed soil sample through sugar flotation-sieving and centrifugation and at 65 °C gentle heat and fixed in triethanolamine formalin (Zheng *et al.*, 2012). The RKN J2 was identified based on morphology and counted by optical stereoscopy and microscopy (ShunYu

Falali (Shandong Shouguang New Century Seedling Co., Ltd.) se usaron en este experimento. Las plántulas de tomate se sembraron en una charola el 2 de octubre de 2014 y trasplantaron cuando las 4^a-5^a hojas verdaderas emergieron, el 30 de octubre de 2014. Luego, el fruto se cosechó por completo el 5 de abril de 2015. La aplicación de fertilizante, riego y otras estrategias de manejo para ambos cultivares de tomate fueron las mismas. Luego, se aplicó 5.7% de benzoato de emamectina ME (60.0 mL ha⁻¹) tres veces durante tres semanas consecutivas después del trasplante del tomate (una vez por semana).

En 2015-2016, el campo experimental se estableció en el pueblo de Shuangqiao, provincia de Guangxi (23° 05' 54.59" N, 108° 21' 09.79" E). Las parcelas se delimitaron (182.0 m², 7 camas por cada parcela). El suelo era arcilloso, con un pH de 5.7, 45.4 g kg⁻¹ de materia orgánica, 1.1 g kg⁻¹ de N total N, 177.3 mg kg⁻¹ de N disponible, 53.5 mg kg⁻¹ de P disponible, y 193.6 mg kg⁻¹ de K disponible. El cultivo anterior fue arroz.

La densidad poblacional inicial (antes del trasplante) de la J2 del NAR en este campo fue de 109.3 J2s por 100 cm⁻³ de suelo. El patrón de siembra fue el mismo descrito antes (Figura 1). Para esta prueba se usó el cultivar Henghe 5 (Guangxi Dewodi Vegetable Seed Company). Las plántulas de tomate se sembraron en charolas el 3 de octubre de 2015 y trasplantaron en la etapa de aparición de las 4^a-5^a hojas el 1 de noviembre de 2015. Los frutos se cosecharon por completo el 7 de abril de 2016. Las aplicaciones de fertilizante y riego, 5.7 % benzoato de emamectina ME (60.0 mL ha⁻¹) y otras estrategias de manejo de los tomates fueron iguales a las del ensayo del primer año.

Las temperaturas diarias del aire máximas y mínimas (T_{Max} , T_{Min}) en el día del muestreo se registraron durante el crecimiento del tomate.

Recolección de muestras

El suelo del campo se obtuvo de manera aleatoria de 15 puntos para la prueba de densidad poblacional inicial en cada parcela antes de sembrar los tomates. El primer centímetro del suelo superficial se eliminó y se obtuvo la muestra de suelo de una profundidad de 5-10 cm. Estas muestras se colectaron durante el periodo de siembra del tomate, y se mezclaron bien para realizar la extracción de nematodos. En Gaisi y Falali, las muestras de suelo se colectaron del 4 de noviembre de 2014 al 5 de abril de 2015; en Henghe 5, fue del 6 de noviembre de 2015 al 6 de noviembre de 2016; en los tomates injertados y no injertados, fue del 9 de octubre de 2015 al 23 de marzo de 2016.

La muestra de RS se obtuvo de la región de la rizósfera del tomate que se encontraba a 5 cm del tallo principal de la plántula del tomate, y la muestra del nRS (control) se obtuvo del borde de la cama, a donde no alcanzaba a llegar ninguna raíz. El primer centímetro de la superficie del suelo se descartó; la muestra se

SZ6745N, Ningbo Sunny Instruments Co., Ltd., China). The J2 populations were expressed as the number of nematodes per 100 cm³ soil (Coyne *et al.*, 1999).

Data analysis

Data from individual experiments were analyzed with ANOVA by using SPSS (v. 19.0). Means were compared using Tukey test ($p \leq 0.05$). Figures were created using SigmaPlot 10.0.

RESULTS AND DISCUSSION

Population dynamics of J2 in the RS and the yields of early sowing winter tomato

In the field site of Shuangqiao town, anthesis and fruit-set of grafted tomato and non-grafted tomato occurred on November 7, 2015 (32 days after transplanting, DAT), and November 13, 2015 (37 DAT) respectively. The population dynamics of J2 in the RS of grafted tomato seedlings was remarkably different from that of the non-grafted tomato seedlings (Figure 2). The number of J2 in the RS of grafted tomato was significantly higher than

tomó de una profundidad del suelo de aproximadamente 10 cm, y se seleccionaron cinco puntos en cada hilera hasta 20 puntos para las muestras de RS de cada cultivar de tomate y las muestras de nRS en cada parcela. Las muestras de suelo se homogenizaron para la extracción de nematodos.

Extracción de nematodos

Los nematodos se extrajeron de una muestra de suelo bien mezclada de 100 cm³ por medio de tamizado de azúcar por flotación y centrifugado, seguido de exposición a un ligero calor de 65 °C y se fijó en trietanolamina formalina (Zheng *et al.*, 2012). La J2 de NAR se identificó por medio de morfología y se contabilizaron con microscopía óptica estereoscópica (ShunYu SZ6745N, Ningbo Sunny Instruments Co., Ltd., China). Las poblaciones J2 se expresaron como el número de nematodos por 100 cm³ de suelo (Coyne *et al.*, 1999).

Análisis de datos

Los datos de los experimentos individuales se analizaron con ANDEVA en SPSS (v. 19.0). Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los gráficos se crearon con SigmaPlot 10.0.

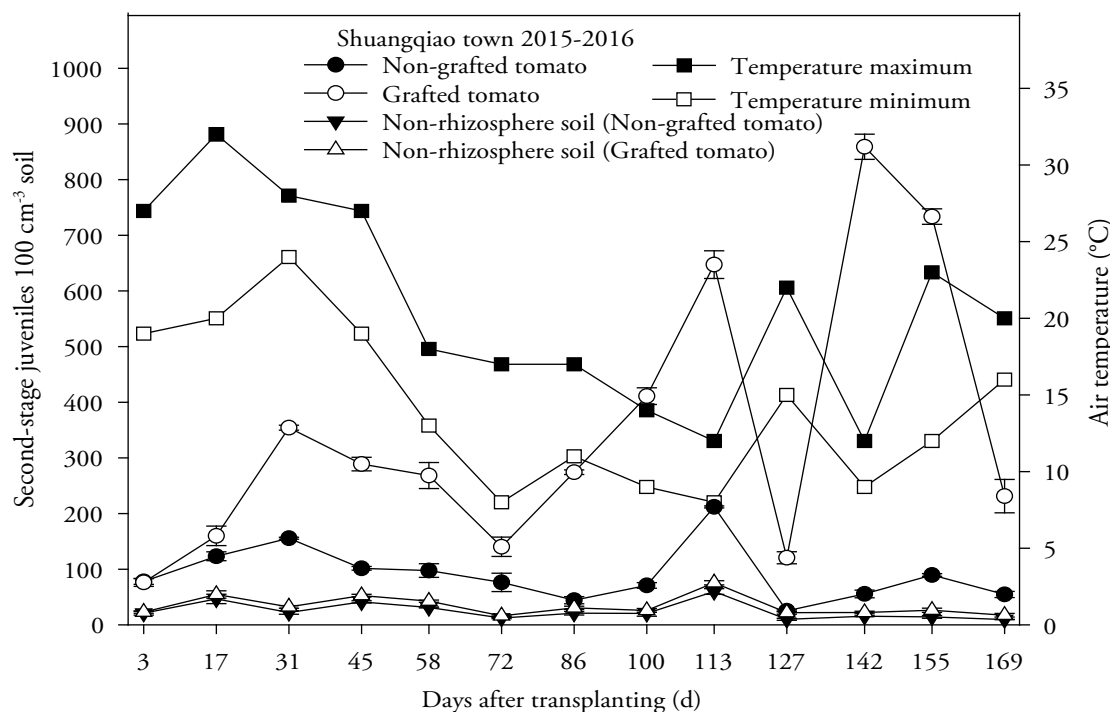


Figure 2. Dynamic of sampling day air temperature and second-stage juvenile population in the rhizosphere soil during early sowing tomato growth.

Figura 2. Dinámica de muestreo de temperatura del aire diurno de muestreo y población de juveniles de segunda generación (J2) en la rizósfera del suelo durante el crecimiento del tomate de siembra temprana.

that in the nRS of grafted tomato during tomato growth ($p \leq 0.05$). The number of J2 in the RS was significantly higher than that in the nRS for non-grafted tomato during tomato growth, except 127 and 142 DAT ($p \leq 0.05$). The number of RKN J2 in the RS of grafted tomato was significantly higher than that of non-grafted tomato, except at 3 DAT ($p \leq 0.05$). At 3, 17, 58, and 72 DAT, the number of J2 in the RS of non-grafted and grafted tomatoes was significantly higher than that in the nRS ($p \leq 0.05$).

The J2 population in the RS of non-grafted tomato that peaked at DAT 31 (T_{Max} 28.0 °C, T_{Min} 24.0 °C), DAT 113 (T_{Max} 12.0, T_{Min} 8.0 °C), and DAT 155 (T_{Max} 23.0, T_{Min} 12.0 °C) were 155.7, 212.0, and 89.7 J2s per 100 cm⁻³ soil; which were 7.0, 3.5, and 6.3 times those in the nRS of non-grafted tomato, respectively. The J2 population in the RS of grafted tomato that peaked at DAT 31 (T_{Max} 28.0 °C, T_{Min} 24.0 °C), DAT 113 (T_{Max} 12.0 °C, T_{Min} 8.0 °C), and DAT 142 (T_{Max} 12.0 °C, T_{Min} 9.0 °C) were 354.3, 647.3, and 859.0 J2s per 100 cm⁻³ soil, which were 11.0, 8.6, and 38.5 times those in the nRS of grafted tomato, respectively. The J2s population sampled from non-grafted tomato were remarkably higher than those sampled from grafted tomato. This result suggested that grafting rootstock could suppress RKN population and decrease their damage during tomato growth period.

The RKN had three generations, as revealed by the dynamics of J2 in the RS of the grafted and non-grafted tomato during early sowing tomato growth. First generation (31 d), second generation (81 d) and the third generation (28-42 d) developed at the early anthesis, the fruit-set period, and the late harvesting time respectively (Table 1). Therefore, some measures (nematicide application) can be adopted for the control of J2s population in the fields

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica poblacional de J2 del NAR en la RS y rendimientos de tomate invernadero de siembra temprana

En el sitio del campo en el pueblo de Shuangqiao, la antesis y el cuajado de tomates injertados y no injertados ocurrió el 7 de noviembre de 2015 (32 días después del trasplante, DDT) y el 13 de noviembre de 2015 (37 DDT) respectivamente. La dinámica poblacional de la J2 en la RS de plántulas de tomate injertado fue notablemente diferente al de las plántulas de tomate no injertadas (Figura 2). El número de J2 en la RS de tomate injertado fue significativamente mayor que aquel en el nRS de tomate injertado durante el crecimiento del tomate ($p \leq 0.05$). El número de J2 en el RS fue significativamente más alto que en el nRS para el tomate sin injertar durante el crecimiento del tomate, excepto 127 y 142 DDT ($p \leq 0.05$). El número de J2 NAR en el RS de tomate injertado fue significativamente mayor que en el del tomate no injertado, excepto 3 DDT ($p \leq 0.05$). A los 3, 17, 58, y 72 DDT, el número de J2 en la RS de tomates no injertados e injertados fue significativamente mayor que en el nRS ($p \leq 0.05$).

Las poblaciones de J2 en el RS de tomate no injertado que alcanzaron su punto máximo a los 31 DDT (T_{Max} 28.0 °C, T_{Min} 24.0 °C), 113 DDT (T_{Max} 12.0, T_{Min} 8.0 °C), y 155 DDT (T_{Max} 23.0, T_{Min} 12.0 °C) fueron de 155.7, 212.0 y 89.7 J2s por 100 cm⁻³ de suelo; 7.0, 3.5, y 6.3 veces las de aquellos en el nRS de tomate no injertado, respectivamente. Las poblaciones de J2 en el ST de tomate injertado que alcanzaron su punto máximo a los 31 DDT (T_{Max} 28.0 °C, T_{Min} 24.0 °C), 113 DDT (T_{Max} 12.0 °C, T_{Min} 8.0 °C), y 142 DDT (T_{Max} 12.0 °C, T_{Min} 9.0 °C)

Table 1. The time nematode needed to finish one generation during tomato growing season.

Cuadro 1. El tiempo requerido por el nematodo para completar una generación durante la temporada de siembra del tomate.

	Treatments	First generation (d)	Second generation (d)	Third generation (d)
Early sowing	Grafted tomato	31 (0-31 DAT)	81 (32-113 DAT)	28 (114-142 DAT)
	Non-grafted tomato	31 (0-31 DAT)	81 (32-113 DAT)	42 (114-155 DAT)
	Henghe 5	46 (0-46 DAT)	40 (47-87 DAT)	55 (88-143 DAT)
Late sowing	Gaisi	60 (0-60 DAT)	40 (61-101 DAT)	55 (102-157 DAT)
	Falali	46 (0-46 DAT)	40 (47-87 DAT)	55 (88-143 DAT)

DAT, days after transplanting ♦ DAT, días después de trasplante.

at the J2 population peak time, *i.e.* at 31, 113, 142, and 155 DAT in early sowing tomato. A number of nematicidal products, such as fluensulfone and fluopyram, show good potential for the management of southern RKN in lima beans (Jones *et al.*, 2017). Abamectin has been diffusely applied to control RKN disease in tomatoes (Qiao *et al.*, 2012; Ullah *et al.*, 2015).

The average fruit weights of grafted and non-grafted tomatoes were 0.1 and 0.1 kg per fruit and 3.4 ± 0.1 and 2.1 ± 0.2 kg per plant, respectively (Table 2). The yields of grafted tomato were significantly higher than those of non-grafted tomato (64083.7 ± 62.8 and 14577.0 ± 48.2 kg ha⁻¹ respectively; $p \leq 0.05$). The yield of grafted tomato was 4.4 times that of non-grafted tomato because the rootstock of grafted tomato can tolerate RKN to a greater extent than that of the non-grafted tomato. This phenomenon suggested that grafting rootstock can effectively protect tomato roots from nematode infection. Furthermore, grafting methods have been widely applied to improve tomato yield (Kunwar *et al.*, 2015).

Population dynamics of J2 in the RS during late sowing winter tomato growth

J2 was detected in the RS in all sampling time points during tomato growth in 2014-2016. The J2 population varied in different tomato varieties, experimental fields, and years of tomato growth.

In the field site in Taiping town, anthesis and fruit-set of Gaisi and Fallali occurred on November 29, 2014 (30 DAT), and December 4, 2014 (35 DAT) respectively. The number of J2 from the RS of Gaisi was remarkably different from that of Falali in 2014-2015, in contrary to the nRS difference. The number of J2s in the RS of Falali were higher ($p \leq 0.05$) than

fueron de 354.3, 647.3 y 859.0 J2s por 100 cm⁻³ de suelo, es decir, 11.0, 8.6 y 38.5 veces las de aquellos en el nRS de tomate injertado, respectivamente. La población de J2s muestreada de tomate no injertado fue notablemente más alta que aquellos muestreados de tomate injertado. Este resultado sugirió que injertar en este portainjertos podría suprimir la población de NAR y reducir su daño durante el periodo de crecimiento del tomate.

El NAR contó con tres generaciones, según lo presentado por la dinámica de J2 en la RS de tomates injertados y no injertados durante el crecimiento de tomate de siembra temprana. La primera (31 d), segunda (81 d) y tercera generación (28-42 d) se desarrollaron en la antesis, el cuajado y el tiempo de siembra tardía, respectivamente (Cuadro 1). Por lo tanto, algunas medidas (aplicaciones de nematicida) pueden adaptarse para el control de poblaciones de J2 en el campo en la hora pico de la población de J2, *i.e.* a los 31, 113, 142, y 155 DDT en tomate de siembra temprana. Una serie de productos nematicidas, tales como fluensulfona y fluopiram, presentan un buen potencial para el manejo de NAR sureño en habas (Jones *et al.*, 2017). La abamectina ha sido ampliamente usada para controlar la enfermedad de NAR en tomates (Qiao *et al.*, 2012; Ullah *et al.*, 2015).

El peso promedio de los frutos de tomates injertados y no injertados fue de 0.1 y 0.1 kg por fruto y 3.4 ± 0.1 y 2.1 ± 0.2 kg por planta, respectivamente (Cuadro 2). Los rendimientos del tomate injertado fueron mayores ($p \leq 0.05$) al del tomate no injertado (64083.7 ± 62.8 y 14577.0 ± 48.2 kg ha⁻¹ respectivamente). El rendimiento del tomate injertado fue 4.4 mayor al del tomate no injertado, ya que el portainjerto del tomate injertado tiene una mayor tolerancia al NAR que el del tomate no injertado. Este fenómeno sugiere que los portainjertos con sus raíces pueden proteger de una infección por nematodos al injerto

Table 2. Yield mean of grafted and non-grafted tomatoes.
Cuadro 2. Rendimiento medio de tomates injertados y no injertados.

Treatments	Single fruit weight (kg)	Fruit weight per plant (kg)	Yield (kg ha ⁻¹)
Grafted tomato	0.1±0.0 a	3.4±0.1 a	64083.7 ± 62.8 a
Non-grafted tomato	0.1±0.0 b	2.1±0.2 b	14577.0 ± 48.2 b

Means with different letter indicate statistical difference (Tukey test; $p \leq 0.05$) ♦ Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey test; $p \leq 0.05$).

those of Gaisi at 19, 46, and 87 DAT; but lower ($p \leq 0.05$) at 60, 74, 101, 116, 129, and 143 DAT (Figure 3, 2014–2015). The number of J2s in the RS

de tomate de manera efectiva. Más aun, los métodos para injertar se aplican en forma amplia para mejorar el rendimiento del tomate (Kunwar *et al.*, 2015).

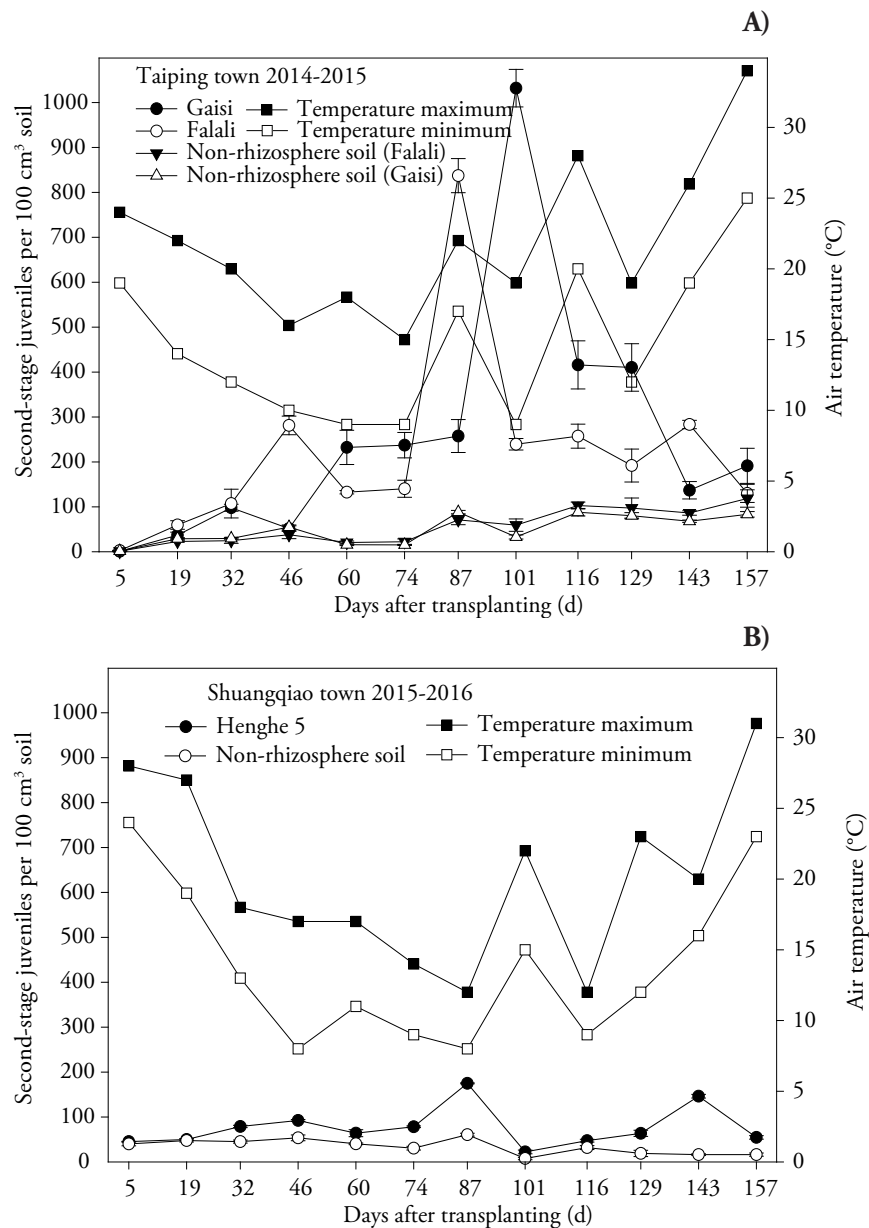


Figure 3. Dynamic changes of sampling day air temperature and second-stage juvenile populations in the rhizosphere soil during late sowing winter tomato growth in two localities and seasons Taiping 2014-2015 (A) and Shuangqiao 2015-2016 (B), Guangxi Province, China.

Figura 3. Cambios en la temperatura del aire en días de muestreo y dinámica poblacional de la 2^a generación de juveniles (J2) en la rizósfera del suelo del cultivo de tomate invernal de siembra tardía en dos localidades y ciclos: Taiping 2014-2015 (A) y Shuangqiao 2015-2016 (B), provincia de Guangxi, China.

of Gaisi and Falali substantially differed from those in nRS. The number of J2s in the RS of Gaisi at 32, 60, 74, 87, 101, 116, 129, and 143 DAT and those of Falali at 19, 32, 46, 60, 74, 87, 101, 116, and 143 DAT were higher ($p \leq 0.05$) than those of their correspondent nRS ($p \leq 0.05$).

In the RS of Gaisi, the peak J2 populations at DAT 60 (T_{Max} 18.0 °C, T_{Min} 9.0 °C), DAT 101 (T_{Max} 19.0 °C, T_{Min} 9.0 °C), and DAT 157 (T_{Max} 34.0 °C, T_{Min} 25.0 °C) were 232.3, 1032.0, and 191.3 J2s per 100 cm⁻³ soil, which were 14.8, 31.3, and 2.3 times those in the nRS of Gaisi, respectively. The peak J2 populations in the RS of Falali at DAT 46 (T_{Max} 16.0 °C, T_{Min} 10.0 °C), DAT 87 (T_{Max} 22.0 °C, T_{Min} 17.0 °C), and DAT 143 (T_{Max} 26.0 °C, T_{Min} 19.0 °C) were 281.3, 837.3, and 283.3 J2s per 100 cm⁻³ soil, which were 7.4, 11.8, and 3.3 times those in the nRS of Falali, respectively.

At the field site in Shuangqiao town during the 2015-2016 growing season, anthesis and fruit-set of Henghe 5 occurred on December 3, 2015 (32 DAT), and December 9, 2015 (38 DAT) respectively. The J2 population in the RS of Henghe 5 was significantly higher than that in the nRS during tomato growth, except at 19-74 DAT ($p \leq 0.05$; Figure 3, 2015-2016). The number of J2 in the RS of Henghe 5 that decreased at 5 DAT, increased at 74 DAT, peaked at DAT 46 (T_{Max} 17.0 °C, T_{Min} 8.0 °C), DAT 87 (T_{Max} 12.0 °C, T_{Min} 8.0 °C), and DAT 143 (T_{Max} 20.0 °C, T_{Min} 16.0 °C) was 92.3, 175.0, and 146.3 J2s per 100 cm⁻³ soil, which were 1.7, 2.9, and 9.0 times that in the nRS, respectively.

Temperature is one of the crucial factors that can affect the life cycle of RKN (Fernandez *et al.*, 2014). The life cycle of *M. incognita* is completed in tomato at average soil temperature between 16.2 °C and 30.0 °C (Ploeg and Maris, 1999). In our study, the average T_{Max} was higher than 16 °C during the tomato growing period. Thus, controlling the RKN was difficult in Nanning, China.

For early sowing tomato, the first generation required 31 d, and the second and third generation required 81 and 28-42 d, respectively. The second generation of early sowing tomato (81 d) was longer than that of the first and third generation during growing season because of the decreasing air temperature. The J2 population from the grafted tomato rhizosphere was bigger than that of non-grafted tomato during the tomato growing period.

Dinámica de población de J2 en la RS durante el crecimiento de tomate invernal de siembra tardía

La 2ª generación de juveniles (J2) se detectó en la RS en todas las fechas de muestreo del cultivo de tomate en 2014-2016. La población J2 varió según el cultivar del tomate, el campo experimental y los años de crecimiento del tomate.

En el sitio de campo del pueblo de Taiping, ocurrió la anthesis y cuajado de Gaisi y Falali el 29 de noviembre de 2014 (30 DDT) y el 4 de diciembre de 2014 (35 DDT) respectivamente. El número de J2 del RS de Gaisi fue notablemente diferente al de Falali en 2014-2015, en oposición a la diferencia de nRS. El número de J2 en RS del cultivar Falali fue mayor ($p \leq 0.05$) que en Gaisi a los 19, 46 y 87 DDT, pero menor ($p \leq 0.05$) a los 60, 74, 101, 116, 129 y 143 DDT (Figura 3, 2014-2015). El número de J2 en RS de Gaisi y Falali se diferenció sustancialmente de aquellos en nRS. El número de J2 en RS de Gaisi a 32, 60, 74, 87, 101, 116, 129 y 143 DDT y los de Falali a 19, 32, 46, 60, 74, 87, 101, 116 y 143 DDT fueron mayores ($p \leq 0.05$) a los de su nRS correspondiente ($p \leq 0.05$).

En la RS de Gaisi, las poblaciones pico de J2 a los 60 DDT (T_{Max} 18.0 °C, T_{Min} 9.0 °C), 101 DDT (T_{Max} 19.0 °C, T_{Min} 9.0 °C) y 157 DDT (T_{Max} 34.0 °C, T_{Min} 25.0 °C) fueron de 232.3, 1032.0 y 191.3 J2s por 100 cm⁻³ de suelo, 14.8, 31.3 y 2.3 veces mayor a las del nRS de Gaisi, respectivamente. Las poblaciones pico de J2 en el RS de Falali 46 DDT (T_{Max} 16.0 °C, T_{Min} 10.0 °C), 87 DDT (T_{Max} 22.0 °C, T_{Min} 17.0 °C) y 143 DDT (T_{Max} 26.0 °C, T_{Min} 19.0 °C) fueron de 281.3, 837.3 y 283.3 J2s por 100 cm⁻³ de suelo, 7.4, 11.8 y 3.3 veces mayor a la del nRS de Falali, respectivamente.

En el sitio de campo de Shuangqiao, durante la temporada de siembra de 2015-2016, la anthesis y el cuajado de Henghe 5 ocurrieron el 3 de diciembre de 2015 (32 DDT) y el 9 de diciembre de 2015 (38 DDT) respectivamente. La población de J2 en el RS de Henghe 5 fue significativamente mayor a aquella en nRS durante el crecimiento del tomate, excepto a 19-74 DDT ($p \leq 0.05$; Figura 3, 2015-2016). El número de J2 en el RS de Henghe 5 que se redujo a los 5 DDT, aumentó a los 74 DDT y alcanzó un pico a los 46 DDT (T_{Max} 17.0 °C, T_{Min} 8.0 °C), 87 DDT (T_{Max} 12.0 °C, T_{Min} 8.0 °C), y 143 DDT (T_{Max} 20.0 °C, T_{Min} 16.0 °C) fue de 92.3, 175.0, y 146.3

In addition, grafted tomato had higher production than that of non-grafted tomato, suggested that the stock (rootstock cultivar, Japanese super rootstock F1, Tailiang Germchit Co., Ltd.) has stronger roots system and is tolerant to the nematode.

For the late sowing tomato, the first generation required 46-60 d, and the second and the third generation required 40 and 55 d, respectively. The growing period of Gaisi, Falali, and Henghe 5 is similar. The anthesis of Gaisi and Falali initially appeared at 30 DAT and then entered anthesis period, whereas the anthesis of Henghe 5 initially appeared 2 d later than Gaisi and Falali. Gaisi, Falali, and Henghe 5 fruit set occurred at 5, 5, and 6 d after blossoming, respectively.

The fruit ripening of Gaisi, Falali, and Henghe 5 started from 116 DAT. The RKN populations of Gaisi, Falali, and Henghe 5 peaked at the same time approximately, that is, the first and second generation, during the fruit set period; and the third generation, during the harvesting time. Thus, the RKN had three generations, as revealed by the J2 dynamics in the RS of Gaisi, Falali, and Henghe 5 during tomato growth.

The nematode population of the third generation at Gaisi, Falali and Henghe 5, decreased with the increase of air temperature due to tomato roots becoming old with less feeding sites for J2s. Several nematicides, such as fluensulfone, fluopyram, and abamectin (Ullah *et al.*, 2015; Jones *et al.*, 2017) can be adopted to control J2 population in the fields on the J2 population peak times, at 46, 60, 87, 101, 143, and 157 DAT of late sowing tomato.

CONCLUSIONS

During winter tomato growing season, root-knot nematodes populations in rhizosphere soil of tomatoes had three peaks, and there was no difference, in rhizosphere soil root-knot nematodes populations, between early and late sowing tomatoes. The nematode populations of rhizosphere soil were consistently higher than those of non-rhizosphere soil, in both early and late sowing cultivars. The yield of grafted tomato was 4.4 times higher than that of non-grafted tomato. Root-knot nematodes completed three generations on winter tomato growing under subtropical monsoon climate in Nanning, China.

J2s por 100 cm³ de suelo, que fueron 1.7, 2.9 y 9.0 veces mayor a la del nRS, respectivamente.

La temperatura es uno de los factores cruciales que puede afectar el ciclo de vida del NAR (Fernandez *et al.*, 2014). El ciclo de vida de *M. incognita* se complete en el tomate a una temperatura del suelo promedio de entre 16.2 °C y 30.0 °C (Ploeg y Maris, 1999). En este estudio, la T_{max} promedio fue mayor a 16 °C durante el periodo de crecimiento del tomate. Por ello, resulta difícil controlar el NAR en Nanning, China.

Para el tomate de siembra temprana, la primera generación requirió de 31 d, mientras que la segunda y tercera requirieron de 81 y 28-42 d, respectivamente. La segunda generación de tomate de siembra temprana (81 d) fue más larga que la primera y tercera durante la temporada de siembra, debido a la reducción en la temperatura del aire. La población J2 de la rizosfera de tomate injertado fue mayor a la del tomate no injertado durante el periodo de siembra de tomate. Además, el tomate injertado tuvo una mayor producción que el tomate no injertado, esto sugiere que el portainjerto (cultivar de portainjerto, super portainjerto japonés F1, Tailiang Germchit Co., Ltd.) tiene un sistema radical más fuerte y es tolerante al nematodo.

Para el tomate de siembra tardía, la primera generación requirió de 46-60 d, mientras que la segunda y tercera requirieron de 40 y 55 d, respectivamente. El periodo de crecimiento de Gaisi, Falali, y Henghe 5 es similar. La anthesis de Gaisi y Falali aparecieron, inicialmente, a los 30 DDT y luego entraron al periodo de anthesis, mientras que la anthesis de Henghe 5 inicialmente apareció 2 d después de Gaisi y Falali. Las frutas de Gaisi, Falali y Henghe 5 emergieron 5, 5 y 6 d después del brote, respectivamente.

La maduración de las frutas de Gaisi, Falali y Henghe 5 comenzaron a partir de los 116 DDT. Las poblaciones de NNR de Gaisi, Falali y Henghe 5 alcanzaron sus picos aproximadamente al mismo tiempo, es decir, las generaciones primera y segunda, durante el periodo de cuajado, y la tercera generación, durante el tiempo de cosecha. Por ello el NNR tuvo tres generaciones, según lo revelado por la dinámica de J2 en el RS de Gaisi, Falali y Henghe 5 durante el crecimiento del tomate.

La población de nematodos de la tercera generación en Gaisi, Falali y Henghe 5 se redujo con el aumento de la temperatura del aire, debido a que las

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by National industrial system Guangxi Innovation Team (nycytxgxcxd-10-04), the National Natural Science Foundation of China (31660511, 31460464). EssayStar (<http://essaystar.com>) reviewed and edited first draft of this manuscript to English.

LITERATURE CITED

- Coyne, D. L., A. Plowright, J. Twumasi, and D. J. Hunt. 1999. Prevalence of plant parasitic nematodes associated with rice in Ghana with a discussion of their importance. *Nematology*. 1: 399–405.
- Fernandez, L., M. T. N. Cabasan, and D. De Waele. 2014. Life cycle of the rice root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* at different temperatures under non-flooded and flooded conditions. *Arch. Phytopath. Plant Prot.* 47: 1042–1049.
- Giné, A., M. López-Gómez, M. D. Vela, C. Ornat, M. Talavera, S. Verdejo-Lucas, and F. J. Sorribas. 2014. Thermal requirements and population dynamics of root-knot nematodes on cucumber and yield losses under protected cultivation. *Plant Pathol.* 63: 1446–1453.
- Heve, W. K., T. H. Been, C. H. Schomaker, and M. G. Teklu. 2015. Damage thresholds and population dynamics of *Meloidogyne chitwoodi* on carrot (*Daucus carota*) at different seed densities. *Nematology*. 17: 501–514.
- Jones, J. G., N. M. Kleczewski, J. Desaegeer, S. L. F. Meyer, and G. C. Johnson. 2017. Evaluation of nematicides for southern root-knot nematode management in lima bean. *Crop Prot.* 96: 151–157.
- Karajeh, M., and O. Mohawesh. 2016. Root-Knot Nematode (*Meloidogyne javanica*) - Deficit irrigation interactions on eggplant cropped under open field conditions. *J. Hortic. Res.* 24: 73–78.
- Kayani, M. Z., T. Mukhtar, and M. A. Hussain. 2017. Effects of southern root knot nematode population densities and plant age on growth and yield parameters of cucumber. *Crop Prot.* 92: 207–212.
- Kunwar, S., M. L. Paret, S. M. Olson, L. Ritchie, J. R. Rich, J. Freeman, and T. McAvoy. 2015. Grafting using rootstocks with resistance to *Ralstonia solanacearum* against *Meloidogyne incognita* in tomato production. *Plant Dis.* 99: 119–124.
- Liu, J., J. Sun, J. Qiu, X. Liu, and M. Xiang. 2014. Integrated management of root-knot nematodes on tomato in glasshouse production using nematicides and a biocontrol agent, and their effect on soil microbial communities. *Nematology*. 16: 463–473.
- Ma, Y., Y. Li, H. Lai, Q. Guo, and Q. Xue. 2017. Effects of two strains of *Streptomyces* on root-zone microbes and nematodes for biocontrol of root-knot nematode disease in tomato. *Appl. Soil Ecol.* 112: 34–41.
- Maqsood, A., H. Wu, M. Kamran, H. Altaf, A. Mustafa, S. Ahmar, N. T. T. Hong, K. Tariq, Q. He, and J. T. Chen. 2020. Variations in growth, physiology, and antioxidative defense responses of two tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars after co-infection of *Fusarium oxysporum* and *Meloidogyne incognita*. *Agronomy*. 10: 159; doi:10.3390/agronomy10020159.

raíces de los tomates se avejentaban con menos sitios de alimentación de los J2. Varios nematicidas, tales como fluensulfona, fluopiram y abamectina (Ullah *et al.*, 2015; Jones *et al.*, 2017) pueden ser usados para controlar a la población de J2 en momentos pico, a los 46, 60, 87, 101, 143 y 157 DDT del tomate de siembra tardía.

CONCLUSIONES

Durante la temporada del crecimiento del tomate invernadero, las poblaciones de nematodos agalladores de la raíz en la rizósfera del suelo del cultivo de tomate presentaron tres puntos de crecimiento máximo, y no hubo diferencia entre las poblaciones del nematodo agallador de la raíz en la rizósfera del suelo de los tomates de siembra temprana y tardía.

La población de nematodos en la rizósfera del suelo fue consistentemente mayor que la del suelo sin rizósfera, tanto en los cultivares de siembra temprana como tardía.

El rendimiento de tomate injertado fue 4.4 veces mayor que el del tomate no injertado. Los nematodos agalladores de la raíz completaron tres generaciones en cultivo de tomate invernadero bajo un clima subtropical de monzón en Nanning, China.

—Fin de la versión en Español—



- Moosavi, M. R. 2015. Damage of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* to bell pepper, *Capsicum annuum*. *J. Plant Dis. Protect.* 122: 244–249.
- Morris, K. S., F. G. Horgan, M. J. Downes, and C. T. Griffin. 2011. The effect of temperature on hatch and activity of second-stage juveniles of the root-knot nematode, *Meloidogyne minor*, an emerging pest in north-west Europe. *Nematology*. 13: 985–993.
- Ploeg, A. T., and P. C. Maris. 1999. Effects of temperature on the duration of the life cycle of a *Meloidogyne incognita* population. *Nematology*. 1: 389–393.
- Poudyal, D. S., R. R. Pokharel, S. M. Shrestha, and G. B. Khatri-Chetria. 2005. Effect of inoculum density of rice root knot nematode on growth of rice cv. Masuli and nematode development. *Austral. Plant Path.* 34: 181–185.
- Qiao, K., L. Jiang, H. Wang, X. Ji, and K. Wang. 2010. Evaluation of 1,3-dichloropropene as a methyl bromide alternative in tomato crops in China. *J. Agr. Food Chem.* 58: 11395–11399.

- Qiao, K., X. Liu, H. Wang, X. Xia, X. Ji, and K. Wang. 2012. Effect of abamectin on root-knot nematodes and tomato yield. *Pest Manage. Sci.* 68: 853–857.
- Seid, A., C. Fininsa, T. Mekete, W. Decraemer, and W. M. Wesemael. 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.)-a century-old battle. *Nematology*. 17: 995–1009.
- Simon, S., K. P. Singh, and G. Ghosh. 2011. Distribution of root-knot nematode on major field crops in Uttar Pradesh (India). *Arch. Phytopath. Plant Prot.* 44: 191–197.
- Stirling, G. R., D. Griffin, K. Ophel-Keller, A. McKay, D. Hartley, J. Currar, A. M. Stirling, C. Monsour, J. Winch, and B. Hardie. 2004. Combining an initial risk assessment process with DNA assays to improve prediction of soilborne diseases caused by root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in the Queensland tomato industry. *Austral. Plant Path.* 33: 285–293.
- Ullah, Z., N. Javed, S. A. Khan, I. UI Haq, and Q. Shakeel. 2015. Efficacy of Biopesticides for management of root knot nematode on tomato. *Int. J. Veget. Sci.* 21: 215–222.
- Win, P. P., P. P. Kyi, Z. T. Z. Maung, and D. D. Waele. 2013. Population dynamics of *Meloidogyne graminicola* and *Hirschmanniella oryzae* in a double rice-cropping sequence in the lowlands of Myanmar. *Nematology*. 15: 795–807.
- Zheng, G. D., L. B. Shi, H. Y. Wu, and D. L. Peng. 2012. Nematode communities in continuous tomato-cropping field soil infested by root-knot nematodes. *Acta. Agr. Scand. B-S. P.* 62: 216–223.

