

*Tylenchulus semipenetrans*:  
LOÀI TUYẾN TRÙNG GÂY HẠI HÀNG ĐẦU  
TRÊN CÂY CÓ MÚI

Nguyễn Gia Huy<sup>1,2\*</sup> và Đặng Thị Kim Uyên<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

<sup>2</sup>Bộ môn Bảo vệ thực vật, Viện cây ăn quả miền Nam, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ: Nguyễn Gia Huy, Email: giahuybvtv@gmail.com

Lịch sử bài báo

Ngày nhận: 27/02/2024; Ngày nhận chỉnh sửa: 03/4/2024; Ngày duyệt đăng: 09/4/2024

Tóm tắt

Bài tổng quan nghiên cứu này cung cấp một cái nhìn sâu sắc và toàn diện về *Tylenchulus semipenetrans*, một loài tuyến trùng ký sinh có ảnh hưởng đáng kể đến họ cây có múi. Bên cạnh đó, *T. semipenetrans* được biết đến với khả năng gây ra các vấn đề nghiêm trọng về sức khỏe của cây, dẫn đến giảm năng suất và tổn thất kinh tế lớn cho ngành nông nghiệp. Bài nghiên cứu này đi sâu vào sinh học, chu kỳ sống, đặc điểm hình thái và hành vi của loài tuyến trùng này, cung cấp cái nhìn chi tiết về cách thức ký sinh và ảnh hưởng đến cây chủ. Bên cạnh đó, bài nghiên cứu đề cập đến các thách thức trong việc kiểm soát *T. semipenetrans* và các phương pháp quản lý hiện nay, bao gồm canh tác, vật lý, sử dụng giống cây trồng kháng bệnh, biện pháp sinh học và hóa học. Sự kết hợp giữa kiến thức về sinh học và công nghệ nông nghiệp hiện đại được nhấn mạnh như một phần quan trọng của chiến lược quản lý loài tuyến trùng ký sinh này. Cuối cùng, bài tổng quan nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tiếp tục nghiên cứu để hiểu rõ hơn về *T. semipenetrans*, từ đó phát triển các giải pháp kiểm soát bền vững và hiệu quả, giảm thiểu tác động tiêu cực đến nông nghiệp và đảm bảo an ninh lương thực toàn cầu.

**Từ khóa:** Cây có múi, định danh, gốc ghép, sinh học, tổng quan, *Tylenchulus semipenetrans*.

DOI: <https://doi.org/10.52714/dthu.13.8.2024.1352>.

Trích dẫn: Nguyễn, G. H., & Đặng, T. K. U. (2024). *Tylenchulus semipenetrans*: loài tuyến trùng gây hại hàng đầu trên cây có múi. *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 13(8), 28-49. <https://doi.org/10.52714/dthu.13.8.2024.1352>.

Copyright © 2024 The author(s). This work is licensed under a CC BY-NC 4.0 License.

*Tylenchulus semipenetrans*:  
**THE LEADING PARASITIC NEMATODE  
ON CITRUS**

**Nguyen Gia Huy<sup>1,2\*</sup> and Dang Thi Kim Uyen<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>College of Agriculture, Can Tho University, Vietnam

<sup>2</sup>Department of Plant Protection, Southern Horticultural Research Institute, Vietnam

\*Corresponding author: Nguyen Gia Huy, Email: [giahuybvtv@gmail.com](mailto:giahuybvtv@gmail.com)

**Article history**

Received: 27/02/2024; Received in revised form: 03/4/2024; Accepted: 09/4/2024

**Abstract**

*This review provides an insightful and thorough examination of *Tylenchulus semipenetrans*, a parasitic nematode significantly impacting citrus crops. Moreover, *T. semipenetrans* is recognized to cause severe health issues in plants, leading to reduced productivity and substantial economic losses in the agricultural sector. This study delves into the biology, life cycle, morphological characteristics, and behavior of this nematode species, offering a detailed view of its parasitic mechanisms and effects on host plants. Additionally, the study addresses the challenges in controlling *T. semipenetrans* and the current management methods, including cultivation practices, physical, use of resistant plant varieties, biological, and chemical measures. The integration of biological knowledge with modern agricultural technology is crucial for managing this parasitic nematode species. Finally, the overview highlights the importance of ongoing research to gain a deeper understanding of *T. semipenetrans*, thereby developing sustainable and effective control solutions to mitigate its negative impact on agriculture and ensure global food security.*

**Keywords:** *Biology, citrus, identification, rootstocks, review, *Tylenchulus semipenetrans*.*

## 1. Đặt vấn đề

Cây có múi là loại cây trồng có sự phân bố và diện tích trồng hàng đầu trên thế giới với hai vùng trồng tập trung lớn là Địa Trung Hải và khu vực nhiệt đới (Verdejo-Lucas & McKenry, 2004). Diện tích trồng cây có múi trên toàn thế giới với diện tích 1,5 triệu hecta, năng suất hàng năm khoảng 40 triệu tấn và đa dạng về các giống cây trồng như bưởi, cam, chanh xanh hay chanh vàng,... (Abd-Elgawad & cs., 2010). Trong các loại trái thuộc họ cây có múi, cam chiếm phần lớn sản lượng lớn nhất trên thế giới (55%), tiếp theo là quýt (25%), chanh (13%) và bưởi (7%) (Global Citrus Outlook, 2019). Sản lượng trái cây có múi tại Việt Nam năm 2011 đạt 135 triệu tấn/ năm với diện tích canh tác trên 135 nghìn hecta. (Tổng cục thống kê, 2011). Đến hết năm 2022 cả nước có diện tích cây có múi hơn 262 nghìn ha, chiếm 21,47% diện tích cây ăn quả, sản lượng hơn 3,67 triệu tấn (Cục trồng trọt, 2023).

Trên cây có múi đã ghi nhận nhiều tác nhân mầm bệnh gây tàn phá và ảnh hưởng nghiêm trọng đến năng suất và phẩm chất của loại cây này như *Citrus tristeza virus* gây bệnh Tristeza, *Candidatus Liberibacter* (Huanglongbing), *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* (loét) (Tennant & cs., 2009); đặc biệt là nhóm tuyến trùng ký sinh thực vật được xem là tác nhân gây hại tiềm tàng làm ảnh hưởng sức sống cây có múi do đặc tính tích lũy mật số trong thời gian dài, khó bị kiểm soát và là tác nhân tạo phức hợp bệnh do tạo vết thương cơ giới khiến các mầm bệnh có nguồn gốc từ đất như *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp.,... xâm nhiễm vào cây trồng (Agrios, 2005). Có bốn nhóm tuyến trùng được cho là quan trọng trên nhóm cây có múi như: *T. semipenetrans*, *Pratylenchus coffeae*, *Radopholus similis*, *Meloidogyne* spp. (Kumar & Arthus, 2021). *T. semipenetrans* là một trong các tác nhân chính gây bệnh chết chậm “Slow decline”, làm stress sinh học dẫn đến giảm năng suất cây có múi trên toàn thế giới (Duncan & Cohn, 1990; Tennant & cs., 2009). Sự nóng lên toàn cầu có thể làm thay đổi tính di truyền của loài *T. semipenetrans* tác động tiêu cực đến năng suất cây có múi (Bozbuga & cs., 2023). Bên cạnh đó, theo hiểu biết của chúng tôi các vườn cây có múi tại Việt Nam đang có dấu hiệu suy giảm do bệnh

vàng lá thối rữa và xu hướng này ngày càng gia tăng, các nỗ lực nhằm phục hồi các vườn cây đang được thực hiện ngày càng mạnh mẽ.

Trong những năm gần đây, sự quan tâm đến nghiên cứu về tuyến trùng gây hại cho cây trồng đã gia tăng đáng kể tại Việt Nam, đặc biệt là đối với các loại cây quan trọng về mặt kinh tế như cây ăn quả. Tuyến trùng *T. semipenetrans*, một trong những loài tuyến trùng gây hại phổ biến, đã được phát hiện có mức độ hiện diện cao trong các vùng trồng cây có múi ở Việt Nam, với tỷ lệ lên đến 74,4% tại Cao Phong, Hòa Bình (Pháp & cs., 2016), và thậm chí cao hơn là 80% (Huy & cs., 2024). Dữ liệu này cho thấy sự phổ biến và tiềm ẩn nguy cơ cao từ loài tuyến trùng này đối với nền nông nghiệp Việt Nam. Mặc dù tỷ lệ hiện diện cao, nhưng kiến thức và nhận thức về loài tuyến trùng này cũng như tác động của chúng đến cây trồng tại Việt Nam vẫn còn nhiều hạn chế. Cụ thể, việc nhận diện và đánh giá mức độ gây hại của *T. semipenetrans* chưa được thực hiện một cách bài bản và toàn diện. Điều này dẫn đến việc thiếu thông tin cơ bản về sinh học, sinh thái của loài tuyến trùng này, làm cản trở việc phát triển các phương pháp quản lý hiệu quả. Trong bối cảnh đó, việc tăng cường nghiên cứu và khảo sát về loài tuyến trùng này trở nên cấp thiết. Các nghiên cứu cần tập trung vào việc xác định rõ ràng các vùng bị ảnh hưởng, mức độ gây hại, và khả năng chống chịu của các giống cây trồng đối với loài tuyến trùng này. Bên cạnh đó, việc phát triển các phương pháp quản lý tích hợp, bao gồm cả biện pháp sinh học và hóa học, cũng như ứng dụng các kỹ thuật canh tác tiên tiến, sẽ góp phần giảm thiểu tác động tiêu cực của *T. semipenetrans* đối với nền nông nghiệp Việt Nam.

Ngoài ra, việc nâng cao nhận thức và kiến thức về loài tuyến trùng này cho cộng đồng nông dân thông qua các chương trình tập huấn và truyền thông cũng là một phần quan trọng trong chiến lược quản lý loài tuyến trùng gây hại. Bằng cách trang bị đầy đủ kiến thức và công cụ cần thiết, nông dân có thể chủ động phòng tránh và giảm thiểu tác động từ *T. semipenetrans*, từ đó góp phần bảo vệ an ninh lương thực và thúc đẩy phát triển bền vững cho nông nghiệp Việt Nam.

## 2. Phân loại và đặc điểm hình thái loài *T. semipenetrans*

### 2.1. Phân loại học

Theo Siddiqi (2000): Loài *T. semipenetrans* (Cobb, 1913) thuộc Giống *Tylenchulus* (Cobb, 1913), Phân họ (SubFamily): Tylenchulinae (Skarbilovich, 1947), Họ (Family): Tylenchulidae Skarbilovich, 1947 (Kirjanova, 1955), Siêu họ (Superfamily): Tylenchuloidea (Skarbilovich, 1947), Phân bộ (Suborder): Criconematina (Siddiqi, 1980), Bộ (Order): Tylenchida (Cobb, 1913), Lớp (Class): Secernentea.

### 2.2. Vòng đời

Theo Van Gundy (1958), chu kỳ sống của loài *T. semipenetrans* từ trứng đến trứng mất từ 6 đến 8 tuần. Trong trứng, ấu trùng này lột xác thành ấu trùng giai đoạn hai (J2), sau đó nở ra và bắt đầu tìm kiếm rễ của cây chủ. Ấu trùng J2, vốn là con cái di động, các cá thể non ăn bên ngoài rồi chúng xâm nhập vào rễ sao cho phần đuôi vẫn ở bên ngoài trong đất, trải qua quá trình biến đổi qua các giai đoạn giun J3 và J4, trước khi chuyển thành dạng trưởng thành vốn ít di chuyển hơn. Để phát triển thành con trưởng thành, con cái cần phải hấp thụ dinh dưỡng từ lớp biểu bì và các lớp bên ngoài của mô vỏ rễ. Các con cái chưa trưởng thành xâm nhập vào bề mặt rễ và di chuyển vào các lớp vỏ sâu hơn, thường không tiếp cận được với trụ trung tâm hay lớp nội bì. Chúng trở nên ít di động và thiết lập một khu vực ổn định để kiếm ăn, tạo ra các tế bào chuyên biệt gọi là nurse cell, cơ quan hấp thụ dinh dưỡng chính. Khi trưởng thành, phần sau của cơ thể con cái phình to và ló ra ngoài bề mặt rễ, trong khi phần cổ và đầu dài và mảnh mai vẫn gắn vào vỏ rễ. Các con cái trưởng thành tiết ra trứng trong một chất nền sền sệt qua lỗ bài tiết của chúng, khối trứng của mỗi con cái chứa khoảng 100 quả trứng.

### 2.3. Sinh học và sinh thái loài *T. semipenetrans*

Ấu trùng tuổi 1 (J1) sẽ lột xác trực tiếp trong trứng nên trứng nở thành ấu trùng tuổi 2 (J2) dạng sợi chỉ và chúng không lập tức xâm nhập vào rễ. Con cái trưởng thành có khả năng sinh sản đơn tính không cần giao phối (trình sinh) tạo ra cả con đực và con cái (ấu trùng); một sự khác biệt về giới tính khi trưởng thành là con đực có dạng hình sợi và không có khả năng ký sinh thực vật do bị tiêu giảm kim ký sinh và thực quản (không cần ăn) và thường chiếm 25% tổng mật số ghi nhận trong quần thể (Dalmasso & cs., 1972; Shokoohi & Duncan, 2018), ấu trùng con cái giai đoạn

này chủ yếu là ngoại ký sinh (Ectoparasite) ăn các tế bào biểu bì và chúng có thể sống sót hơn hai năm trong trường hợp không có rễ (Duncan, 2009). Các ấu trùng tuổi 2 ăn tế bào biểu bì của rễ trong khoảng hai tuần, sau đó chúng lột xác trong vòng khoảng bảy ngày qua các giai đoạn ba, bốn và cuối cùng trở thành cá thể cái trưởng thành. Phần đầu của các cá thể cái non này xâm nhập sâu vào lớp bì của rễ sợi, tạo nên điểm nuôi dưỡng cố định và phát triển thành dạng sung to. Chúng thường ký sinh ở một số tế bào nuôi dưỡng quanh đầu của *T. semipenetrans* thiết lập nơi nuôi dưỡng 8-10 tế bào mầm với các hợp bào có thành dày và nhân lớn. Khu vực này có thể bị xâm chiếm bởi các vi sinh vật khác, trong khi phần sau của chúng vẫn nhô ra bên ngoài rễ. Khoảng sáu tuần sau khi trứng nở, ở điều kiện nhiệt độ 25 oC, cá thể cái đẻ trứng trên bề mặt rễ trong một khối trứng gelatin được tiết ra từ lỗ bài tiết (Shokoohi & Duncan, 2018).

### 2.4. Một số phương pháp định danh thông dụng

#### 2.4.1. Hình thái học (Morphology)

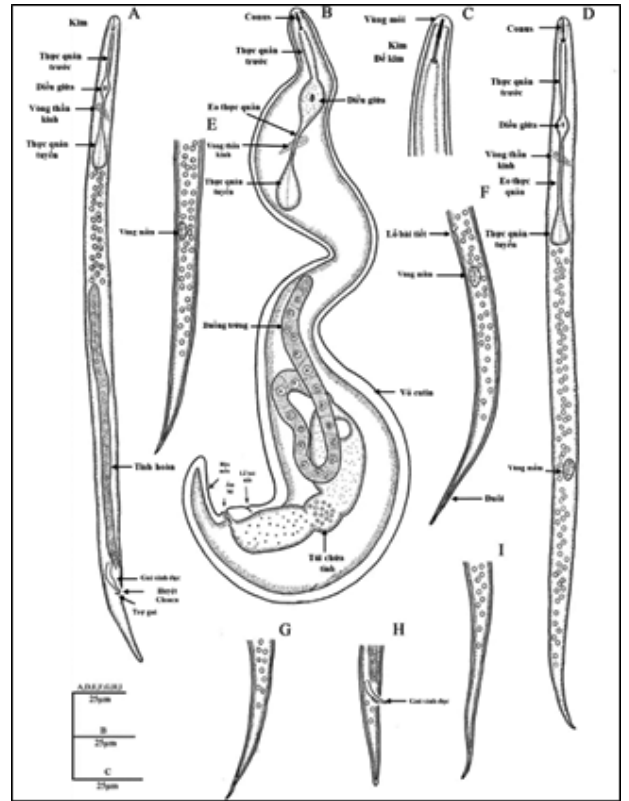
Con con (J2): Cơ thể hình giun, dài và được phân thành các đốt rõ ràng bằng cutin. Phần môi tù tròn và không rõ ràng, không phân đốt và không khác biệt so với viên cơ thể. Bên trong vùng môi chitin ở mức độ trung bình. Stylet có kích thước trung bình với phần đế kim hình tròn. Lỗ ra của tuyến thực quản phía sau nằm cách gốc stylet khoảng 4  $\mu\text{m}$ . Phần procorpus (thực quản trước) dạng trụ; phần metacorpus (điều giữa) có hình oval với một van bên trong hình oval phát triển rõ rệt. Isthmus (eo thực quản) hình trụ và kéo dài. Cả ruột sau và lỗ hậu môn bị tiêu giảm và mất chức năng. Vulva (âm hộ) nằm gần phần đuôi và có thành rất dày. Lỗ bài tiết (Excretory pore) rất nổi bật, nằm trước vulva. Hệ sinh dục có buồng trứng đơn, nằm kéo dài về phía trước và chứa một số ít noãn bào trong buồng trứng. Không có tử cung sau. Phần đuôi một nút đuôi hình chóp tù.

Con cái trưởng thành: cơ thể không đồng đều phình lớn, uốn cong về phía bụng. Đoạn rộng nhất của cơ thể nằm trong khoảng từ 68 đến 100  $\mu\text{m}$ . Phần cơ thể sau vulva có đường kính từ 32 đến 43  $\mu\text{m}$ . Chiều rộng của lớp cutin ở phần giữa cơ thể dao động từ 2.5 đến 5.5  $\mu\text{m}$ . Buồng trứng bị gấp khúc; spermatheca (túi chứa tinh) chứa tinh trùng. Có một quả trứng hình oval trong tử cung với kích thước khoảng 60-70  $\times$  35-37  $\mu\text{m}$ . Không có rectum (trực tràng) và lỗ hậu môn. Lỗ bài tiết nằm ở vị trí trước vulva, cách khoảng 12-17  $\mu\text{m}$ .

Con đực trưởng thành có hình dạng giun dài và mảnh. Chiều rộng vòng cutin chỉ từ 0.8 đến 0.9  $\mu\text{m}$ , không có vùng bên. Môi có hình dạng hình chóp, vùng môi bên trong chitin hóa không mạnh. Thực quản và stylet tiêu giảm: cả stylet và phần gốc của nó đều nhỏ; phần metacarpus phát triển kém và thiếu cấu trúc tạo cơ; thực quản tuyến tách biệt với ruột. Lỗ bài tiết được tìm thấy ở nửa sau của cơ thể. Tinh hoàn đơn, nằm ở phía trước. Không có cánh đuôi. Gai sinh dục cong và dài từ 14 đến 18  $\mu\text{m}$ . Trụ gai rất nhỏ và mảnh, dài khoảng 3 đến 4  $\mu\text{m}$ . Phần đuôi hình chóp, dài với nút đuôi tròn tù (Châu & Thanh, 2000).

2.4.2. Hình thái lượng (Morphometric)

Các chỉ tiêu hình thái lượng được đánh giá dựa trên nghiên cứu của de Man (1880) được trích dẫn từ Châu & Thanh (2000), có bổ sung đánh giá theo Pháp & cs. (2022). Ngoài ra, có thêm một số chỉ tiêu được quan tâm riêng cho loài *T. semipenetrans* như chiều dài từ lỗ bài tiết đến âm hộ, chiều dài cơ thể sau bị sưng, phần trăm chiều dài cơ thể sau bị sưng, chiều dài từ đầu đến gốc điều giữa, chiều dài phân sau âm hộ, chiều rộng phân sau âm hộ, khoang phân sau âm hộ và độ dày lớp biểu bì ở giữa cơ thể đối với con cái (Bảng 1). Từ đỉnh đầu đến hemizonid, TES (testis - tinh hoàn), Spi - spicule (gai sinh dục), Gub- gubernaculum (trụ gai) đối với con đực (Bảng 2) và ấu trùng (Bảng 3).



**Hình 1. Hình thái loài *T. semipenetrans*:**  
**A:** Toàn bộ là con đực; **B:** Toàn bộ con cái; **C:** Phần sau của ấu trùng; **D:** Ấu trùng (J2); **E-I** đầu sau của J2; **H:** Phần sau của con đực (Asadi & cs., 2023)

**Bảng 1. Chỉ số đo hình thái con cái trưởng thành tại một số nghiên cứu**

Mẫu	Van Gunday (1958)	Eroshenko & cs. (1985)	Inserra & cs. (1988)	Tanha Maafi & cs. (2012)	Rashidifard & cs. (2015a)	Rashidifard & cs. (2015b)	Asadi & cs. (2023)
n	10	10	25	12	15	6	5
L ( $\mu\text{m}$ )	370 (350-410)	400-500	389,0 (312,0-465,0)	287 ± 32,6 (240-370)	276,9±28,2 (245-300)	273,9± 21,6 (245-295)	267 ± 11 (254-292)
Từ lỗ bài tiết đến âm hộ ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	14,1 ± 3,3 (10-20)	17,4±3,6 (10,2-22,5)	17,2 ± 3,4 (13-22)	17,2 ± 3,4 (13-22)
Chiều dài cơ thể sau bị sưng ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	-	175,2±21,2 (153,6-209,7)	178 ± 21,2 (154-211)	167 ± 18,2 (160-209)
% Chiều dài cơ thể sau bị sưng	-	-	-	45,6-54,0	58,2±4,1 (55,2-62,9)	57,5 ± 3,7 (55-63)	53,2 ± 3,1 (50-60)
a	4,5 (3,75-5,07)	-	4,5 (3,5-6,4)	4,8 ± 1,4 (3,7-8,2)	5,6±2,2 (3,6-8)	3,8 ± 1,2 (2,7-5,2)	3,7 ± 1,1 (2,8-4,9)
b	2,97 (2,8-3,12)	-	3,2 (2,4-4,3)	-	-	-	-
Chiều dài từ đầu đến gốc điều giữa	-	-	-	46 ± 7,7 (35-55)	28,1±3,4 (24,5-31,3)	27 ± 2,9 (25-31)	26 ± 2,2 (25-29)
Stl ( $\mu\text{m}$ )	-	11,5-13	12,0 (11,0-12,5)	10 ± 1,2 (8-12)	14,7±6,1 (9,8-21,5)	14,3 ± 6,1 (10-22)	13,8 ± 5,3 (12-20)



DGO ( $\mu\text{m}$ )	-	-	4-6	$4,0 \pm 0,8$ (3-5)	$5 \pm 2,4$ (3,4-7,8)	$5 \pm 1,9$ (4-8)	$4,5 \pm 1,7$ (4-8)
EP ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$222 \pm 37,7$ (150-280)	$200,8 \pm 35,5$ (163,4-234,1)	$205,2 \pm 30,3$ (162-230)	$210 \pm 22,5$ (173-228)
EP (%)	82,5 (79,4-85)	-	84,0 (77,7-89,8)	$77,4 \pm 8,8$ (61,2-93,3)	$72 \pm 5,7$ (66,5-78)	$72 \pm 5,7$ (66,5-78)	$71 \pm 5,1$ (69-78)
Chiều dài thực quản ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$94 \pm 15,2$ (66-112)	135,3	$131,6 \pm 3,2$ (129-135)	$130,4 \pm 3,3$ (128-134)
Chiều dài TQ giữa ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$15,3 \pm 2,4$ (12-19)	$19,4 \pm 3,1$ (14,7-23)	$18 \pm 4,7$ (15-24)	$19 \pm 3,4$ (16-22)
Chiều rộng TQ giữa ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	-	$18,7 \pm 3,8$ (13,7-24,5)	$14,4 \pm 3,7$ (11-19)	$13,3 \pm 2,6$ (12-19)
Chiều dài TQ tuyến ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$21,5 \pm 3,4$ (15-27)	$19,4 \pm 3,1$ (14,7-23)	$20 \pm 2,9$ (13-25)	$20,1 \pm 2,4$ (14-24)
Chiều rộng TQ tuyến ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$12,6 \pm 2,0$ (10-16)	$18,7 \pm 3,8$ (13,7-24,5)	$18 \pm 3,9$ (13-26)	$19 \pm 2,3$ (14-25)
Chiều dài phần sau âm hộ ( $\mu\text{m}$ )	-	-	40,0 (26,5-52,0)	$27 \pm 6,0$ (17-36)	$20,9 \pm 5,9$ (13,7-31,3)	$4,2 \pm 0,9$ (4-5)	$18,3 \pm 4,2$ (14-28)
Chiều rộng phần sau âm hộ ( $\mu\text{m}$ )	-	-	10,5 (9,0-13,0)	$11,0 \pm 1,4$ (9-14)	$12,9 \pm 3,1$ (9-18)	$13 \pm 3,1$ (10-18)	$14 \pm 2,2$ (11-18)
Khoang phần sau âm hộ ( $\mu\text{m}$ )	-	-	4,0 (1,5-7,0)	$6,6 \pm 0,7$ (6-8)	$5,4 \pm 0,3$ (5,1-5,7)	$19,4 \pm 5,9$ (13-31)	$3,9 \pm 0,8$ (3-4)
W ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$64 \pm 16,8$ (30-80)	$81 \pm 14,2$ (54,9-100)	$79,5 \pm 13,5$ (55-97)	$73 \pm 8,8$ (60-94)
VB ( $\mu\text{m}$ )	-	30	-	$23 \pm 3,8$ (15-29)	$45,3 \pm 8,6$ (35,2-64,6)	$47 \pm 8,6$ (37-65)	$42 \pm 1,9$ (38-62)
Độ dày lớp biểu bì ở giữa cơ thể ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$4,2 \pm 0,8$ (3-5)	$5,2 \pm 0,8$ (3,9-6,8)	$5,4 \pm 1,2$ (4-9)	$5,2 \pm 1,3$ (5-9)

**Bảng 2. Chỉ số đo hình thái con đực trưởng thành tại một số nghiên cứu**

Mẫu	Van Gunday (1958)	Inserra & cs. (1988)	Tanha Maafi & cs. (2012)	Rashidifard & cs. (2015a)	Rashidifard & cs. (2015b)	Asadi & cs. (2023)
n	25	20	5	6	6	4
L ( $\mu\text{m}$ )	370 (330-410)	362,0 (346,5-380,0)	$310 \pm 19,2$ (286-326)	$328,1 \pm 21,8$ (305-355)	$325 \pm 18,5$ (300-345)	$372 \pm 17,9$ (326-399)
Từ đỉnh đầu đến hemizonid ( $\mu\text{m}$ )	-	-	$57 \pm 6,7$ (50-65)	$73,7 \pm 4$ (69-78)	$67,1 \pm 1,7$ (65,2-68,6)	$80 \pm 4,3$ (77-83)
a	33,9 (29-39)	32,1 (28,4-34,7)	$27,2 \pm 3,8$ (23,8-32,5)	$32,1 \pm 2$ (29,5-33,6)	$30,6 \pm 3,3$ (24,4-34,4)	$29,6 \pm 1,4$ (27,1-30)
b	3,57 (3,28-4,23)	3,4 (2,9-3,7)	$3,5 \pm 0,2$ (3,3-3,7)	$4,4 \pm 0,8$ (3,3-5,8)	$4,7 \pm 0,7$ (4,1-6)	$4,2 \pm 0,6$ (4,2-4,6)
Chiều dài từ đầu đến góc điều giữa ( $\mu\text{m}$ )	-	-	$36,0 \pm 1,4$ (35-37)	$36,5 \pm 7,4$ (27-46)	$37,6 \pm 1,7$ (35,2-40,2)	$38 \pm 1,2$ (33-45)
c	7,89-10,1	9,0 (7,7-10,1)	$8,1 \pm 0,1$ (8,0-8,2)	$7,3 \pm 0,6$ (6,4-7,8)	$8,2 \pm 0,3$ (7,7-8,8)	$8,7 \pm 0,5$ (8,1-8,8)
Stl ( $\mu\text{m}$ )	11 (11-12)	9,5 (9,0-10,5)	$8,5 \pm 0,6$ (8-9)	$8,8 \pm 2,1$ (7-11)	$9,4 \pm 1$ (7,8-10,7)	$8 \pm 0,8$ (7-9)
EP ( $\mu\text{m}$ )	-	-	$174 \pm 4,0$ (170-178)	$171,5 \pm 10,6$ (163-182)	$167,6 \pm 5,8$ (160,1-175,6)	$77 \pm 2,1$ (75-79)
EP (%)	53,1-58,4	57,1 (54,0-68,5)	$54,9 \pm 3,4$ (52,1-58,7)	$17,7 \pm 6,2$ (13-28)	$20,61 \pm 2,3$ (17,3-23,3)	$22,2 \pm 1,5$ (20-23)

Chiều dài thực quản ( $\mu\text{m}$ )	-	-	$89 \pm 1,5$ (87-90)	$73,1 \pm 5,2$ (68- 82)	$69,8 \pm 9,4$ (55,8-82,3)	$88 \pm 6,4$ (70-90)
NR ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$49,7 \pm 12$ (32-63)	$50,4 \pm 5,4$ (40,2-55,8)	$65 \pm 1,8$ (59-69)
TES ( $\mu\text{m}$ )	-	113,0 (85,5-131,5)	-	-	-	-
T (%)	36	-	-	-	-	-
W ( $\mu\text{m}$ )	-	-	$11,5 \pm 1,0$ (10-12)	$10,9 \pm 1,3$ (10-13)	$10,7 \pm 1,4$ (9,7-13,4)	$12,5 \pm 0,6$ (12-13,5)
Spi ( $\mu\text{m}$ )	-	16,5 (15,0-18,0)	$15,7 \pm 2,1$ (14-18)	$20 \pm 1,1$ (19-22)	$17,8 \pm 1,9$ (14,7-19,6)	$21,3 \pm 0,5$ (21-22)
Gub ( $\mu\text{m}$ )	-	3,5 (3,0-4,0)	$4,5 \pm 0,7$ (4-5)	$4 \pm 0,3$ (3-4)	$4,7 \pm 0,6$ (3,9-5,4)	$4,4 \pm 0,3$ (4,2-5)
Đuôi ( $\mu\text{m}$ )	-	39,5 (34,5-44,5)	$38,3 \pm 2,4$ (35-40)	$44,8 \pm 5,8$ (39-53)	$38,9 \pm 2,4$ (35,2-42,1)	$42,5 \pm 2,3$ (40-45)

**Bảng 3. Chỉ số đo hình thái ấu trùng tại một số nghiên cứu**

Mẫu	Van Gunday (1958)	Van Gunday (1958)	Inserra & cs. (1988)	Tanha Maafi & cs. (2012)	Rashidifard & cs. (2015b)	Rashidifard & cs. (2015a)	Asadi & cs. (2023)
n	25	- ♂	20 ♀	31 ♀	5 ♀	5 ♀	6 ♀
L ( $\mu\text{m}$ )	290 (250-360)	370 (280-340)	363,0 (333,5-384,5)	$306 \pm 13,8$ (278-334)	$304,5 \pm 13$ (282-318)	$323,6 \pm 13,7$ (309-345)	$322 \pm 10,6$ (302-333)
Từ đỉnh đầu đến điều giữa ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$43,6 \pm 2,5$ (38-48)	$42,9 \pm 7$ (34,1-51,2)	$43 \pm 6,8$ (37-54)	$47 \pm 1,9$ (45-55)
Từ đỉnh đầu đến hemizonid ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$65 \pm 4,3$ (57-71)	$71,3 \pm 5,1$ (65,8-78)	$69,6 \pm 4,8$ (66-77)	$82 \pm 1,3$ (80-88)
Từ đỉnh đầu đến vùng sinh dục mầm ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$198 \pm 9,9$ (179-217)	$210,9 \pm 7,8$ (200-217)	$216,3 \pm 16,1$ (200-243)	$199 \pm 9,8$ (185-212)
Từ phần sau đến vùng sinh dục mầm ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$109,2 \pm 7,6$ (90-124)	$134,6 \pm 9,9$ (124-151)	$134,6 \pm 9,9$ (124-151)	$125 \pm 1,9$ (122-130)
Từ lỗ bài tiết đến đầu vùng sinh dục mầm ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$28,5 \pm 6,8$ (15-40)	$30,7 \pm 13,7$ (19,5-48,7)	$46,7 \pm 13,5$ (37-70)	$127 \pm 10,3$ (118-148)
a	17,5 (15-20)	-	27,4 (24,8-29,1)	$30,1 \pm 1,6$ (27,7-33,4)	$23,9 \pm 1,1$ (22,5-25,2)	$27,3 \pm 2,3$ (20,9-27,1)	$22 \pm 0,5$ (21-22,2)
b	2,5 (2,15-3,00)	-	3,3 (3,0-3,7)	$3,5 \pm 0,2$ (3,2-4,0)	$3,1 \pm 0,1$ (2,9-3,3)	$3,3 \pm 0,3$ (3,1-4)	$2,9 \pm 9,2$ (2,8-3)
c	-	-	5,7 (5,4-5,9)	-	$6,9 \pm 0,7$ (5,8-7,7)	$7,5 \pm 1,3$ (6-9,2)	$6,4 \pm 0,8$ (6-6,7)
Stl ( $\mu\text{m}$ )	1,5 (12-15)	12 (11-13)	12,5 (12,0-13,0)	$11,1 \pm 0,6$ (10-12)	$13,3 \pm 0,6$ (12,2-13,7)	$13,4 \pm 2,9$ (12-19)	$14 \pm 2,1$ (12-16)
EP ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$169 \pm 8,4$ (148-184)	$176,7 \pm 9,4$ (164,2-180,9)	-	$84 \pm 0,8$ (80-86)
EP (%)	80,2 (76,9-84,2)	-	54,4 (52,4-57,6)	$55,3 \pm 2,0$ (49,5-58,4)	$59,7 \pm 4,1$ (52,8-63,1)	$52,4 \pm 1,4$ (50-54)	$50 \pm 3,1$ (47-54)
Chiều dài thực quản ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	$87 \pm 4,3$ (78-100)	$96,7 \pm 7,1$ (86,5-103,6)	$96,1 \pm 7,4$ (85-105)	$108 \pm 3,4$ (98-112)

NR ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	-	68,9 $\pm$ 12,5 (56,1-87,2)	75,2 $\pm$ 8,5 (66-88)	75 $\pm$ 1,5 (68-77)
Vùng mầm sinh dục (%)	-	-	-	64,7 $\pm$ 2,0 (61-70)	68,9 $\pm$ 1,2 (67,8-70,9)	66,7 $\pm$ 2,3 (65-70)	65 $\pm$ 1,9 (60-67)
W ( $\mu\text{m}$ )	-	-	-	10,1 $\pm$ 0,3 (10-11)	12,7 $\pm$ 0,7 (12,2-13,7)	13,7 $\pm$ 1 (13-15)	14,5 $\pm$ 0,5 (14-15)
Đuôi ( $\mu\text{m}$ )	-	-	55,0-70,0	-	-	43,9 $\pm$ 7,8 (33-54)	50,3 $\pm$ 2,2 (45-55)

Ghi chú: - chỉ tiêu không đánh giá.

#### 2.4.3. Định danh bằng kỹ thuật sinh học phân tử

Việc nhận diện chính xác các loài tuyến trùng ký sinh thực vật (PPN) là bước đầu tiên quan trọng trong việc phát triển các phương pháp kiểm soát hiệu quả. Hiện nay ngày càng phát hiện nhiều sự xuất hiện của nhiều loài mới và các chỉ tiêu về hình thái học (Morphology), khóa phân loại và hình thái lượng (Morphometric) trở nên phức tạp hơn do các đặc điểm tương đồng hay trùng lặp cao giữa các loài với nhau do vậy cần các kỹ thuật mức độ phân loại cao hơn. Trong đó, kỹ thuật chẩn đoán phân tử được áp dụng rộng rãi và khắc phục các khuyết điểm của các phương pháp trước đó.

Một số vùng gen đã được sử dụng làm cơ sở nghiên cứu và định danh tuyến trùng ký sinh thực vật như vùng đệm được phiên mã nội bộ (ITS)-rDNA (Madani & cs., 2004), vùng D2-D3 của rRNA 28S (rRNA) (Subbotin & cs., 2006), gene cytochrome oxidase C tiểu đơn vị 1 (COI) mtDNA (Sirengo & cs., 2020), tiểu đơn vị lớn (LSU) và tiểu đơn vị nhỏ (SSU) của rDNA (Kiewnick & cs., 2014).

Bên cạnh đó, một số kỹ thuật định danh hiện đại được sử dụng khá phổ biến như khuếch đại PCR (Polymerase Chain Reaction) thông qua một số đoạn mồi chuyên biệt từ rDNA-ITS (Liu & cs., 2011), vùng đệm phiên mã nội bộ rDNA (ITS) thông qua kỹ thuật PCR (RFLP) (restriction fragment length polymorphism) (Maafi & cs., 2012) hay kỹ thuật khuếch đại đẳng nhiệt qua trung gian vòng (LAMP) ở điều kiện tối ưu là 65°C trong 50 phút có độ nhạy gấp 10 lần so với PCR thông thường (Lin & cs., 2016); ngoài ra, kết hợp Flinders Technology Associates (FTA) xác định sự xâm nhiễm của tuyến trùng trong rễ (Peng & cs., 2017); kỹ thuật Real-Time PCR phát hiện kiểu hình kháng tuyến trùng *T. semipenetrans* (Ruiz & cs., 2023); ngoài ra, kiểm tra sự lây nhiễm của gốc ghép bằng phản ứng chuỗi polymerase khuếch đại vùng đặc trưng theo trình tự (SCAR-PCR) và phân

tích isozyme esterase (Téliz & cs., 2007). Bên cạnh đó, một kỹ thuật mới được ứng dụng Metagenomic trong đánh giá quần xã cộng đồng tuyến trùng trong đất được xem là công cụ tiềm năng trong quản lý tuyến trùng (Ciancio & cs., 2016).

### 3. Đặc điểm gây hại

#### 3.1. Triệu chứng gây hại

Cây có mùi trường thành và khỏe mạnh ít bị ảnh hưởng của tuyến trùng hơn bởi *T. semipenetrans* là loài bán nội ký sinh cố định chỉ xâm nhiễm vào rễ non (Duncan & Noling, 1987). Loài này có sự ký sinh và thích nghi đặc biệt trên cây có mùi, tùy vào độc tính từ nhẹ đến vừa phải và khả năng sinh sản mạnh mẽ (Cohn & cs., 1965b).

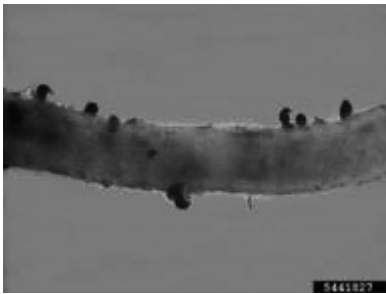
Rễ bị xâm nhiễm bởi tuyến trùng thường ít mọc rễ non, dẫn đến sự căng thẳng về khả năng kém hấp thụ nước và dinh dưỡng từ đất; đặc biệt khi mật số tăng cao làm vỏ rễ bị bong ra và rễ bị tổn thương nặng (Cohn, 1965b), làm giảm sự phát triển của chồi khiến lá nhỏ hơn bình thường bị vàng và rụng, thường dễ bị nhiễm Clo, cây bị ảnh hưởng không chết nhưng bị héo rũ, thấp còi, kém phát triển, giảm năng suất so với cây không bị xâm nhiễm trong điều kiện căng thẳng khi thiếu nước. Mặt khác, sự tấn công của *T. semipenetrans* còn tác động tiêu cực làm giảm tổng hàm lượng diệp lục trong lá, giảm khả năng hấp thụ CO<sub>2</sub> cho quang hợp, giảm khả năng hấp thụ trực tiếp nồng độ Na, K, Fe, Mn, Cu và Zn và có sự ảnh hưởng gia tăng khi tăng dần mật số tuyến trùng (Mashela & cs., 1992; Irshad & cs., 2012). Bên cạnh đó, sự tấn công của *T. semipenetrans* còn làm gia tăng sự tích tụ Na (Sodium) quá mức trong lá ở điều kiện nhiễm mặn (Mashela & Nthangeni, 2002). Ngoài ra, rễ bị nhiễm bệnh nặng có vẻ dày hơn rễ khỏe bệnh do tuyến trùng cái sinh sản khối trứng sền sệt trên bề mặt rễ gây hiện tượng “rễ bần” làm gia tăng sự bám dính của các loại hạt đất lên rễ (Hammam & cs., 2021).



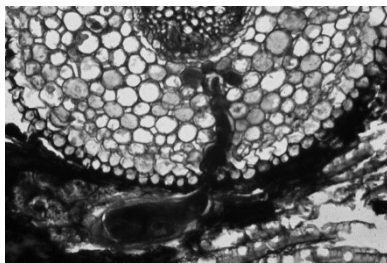
### 3.2. Cơ chế tác động

*T. semipenetrans* đã làm thay đổi cách phân phối các ion thẩm thấu trong cây: lượng  $K^+$  giảm trong lá;  $K^+$ ,  $Na^+$ , và  $Cl^-$  giảm ở rễ, trong khi  $Cl^-$  lại tăng ở lá và ở cây bị nhiễm tuyến trùng thì nồng độ tích lũy tinh bột lại tăng lên ở rễ (Mashela & cs., 1992).

Tinh bột là nguồn dinh dưỡng chính của *T. semipenetrans* do đó các tế bào bị ký sinh hình thành một loạt các cơ quan và ống trao đổi nội bào phức tạp liên kết tất cả các tế bào nuôi dưỡng. Bên cạnh đó, ở các vị trí này khả năng tổng hợp và vận chuyển chất dinh dưỡng cao và hàm lượng tinh bột kém hơn các tế bào xung quanh. Cá thể cái có khả năng di chuyển đầu để tiếp cận các ống dẫn dinh dưỡng. Khi tế bào già và chết đi, con cái kích thích sự phát triển của tế bào mới, làm cho không gian xung quanh đầu của nó dần dần mở rộng. Quá trình này có thể góp phần vào việc lớp vỏ bên ngoài của rễ bị bong ra và cuối cùng dẫn đến sự hoại tử ở các rễ già có mức độ nhiễm bệnh cao (Cohn, 1965a; B'Chir & Kallel, 1993).



Hình 2. Tuyến trùng *Tylenchulus semipenetrans* ký sinh trên rễ citrus (Mactode Publications)



Hình 3. Vị trí ký sinh của con cái thành trùng *T. semipenetrans* (Luc & cs., 2005)

### 3.3. Phạm vi ký chủ

Cây có múi và các loại cây khác trong họ Rutaceae, cùng với một số loại cây trồng không thuộc họ này như nho, ô liu, và hồng, đã được báo cáo là vật chủ của tuyến trùng *T. semipenetrans* (Shokoohi & Duncan, 2018).

Các dạng biotypes của loài *T. semipenetrans* được xác định dựa vào khả năng lây nhiễm và sinh sản của chúng (Baines & cs., 1969):

+ The "Citrus biotype" C1: sinh sản rất kém trên *P. trifoliata* nhưng nhiễm các loại *Citrus* spp., 'Carrizo' và 'Troyer' citrange, ô liu (*Olea europaea* L.), nho (*Vitis vinifera* L.), và hồng (*Diospyros lotus* L.). Hai kiểu biotype C2 và C4 cũng được xếp vào nhóm này do tính không nhất quán về khả năng xâm nhiễm trên *P. trifoliata* (Baines & cs., 1974).

+ The "Poncirus biotype" (C3): sinh sản mạnh mẽ trên các loại *Citrus* spp., *P. trifoliata*, các loài được lai và nho, nhưng không sinh sản trên ô liu, có nguồn gốc từ Nhật Bản (Inserra & cs., 1980).

+ The "Mediterranean biotype": có dạng biotype rất gần với kiểu C1 khi có thể sinh sản mạnh mẽ trên các loại *Citrus* spp., *P. trifoliata*, các loài được lai và nho, nhưng không sinh sản trên ô liu phân bố ở khu vực Địa Trung Hải, Nam Phi và Ấn Độ (Inserra & cs., 1980).

+ The "Grass biotype": chỉ ghi nhận sinh sản trên *Andropogon rhizomatus* (Stokes, 1969).

Theo hiểu biết của chúng tôi, các nghiên cứu tại Việt Nam chưa xác định biotype của *T. semipenetrans* nên vì thế vấn đề làm sáng tỏ bộ gen và biện pháp phòng trừ loại tuyến trùng này cũng trở nên khó khăn.

### 3.4. Ngưỡng gây hại và ngưỡng kinh tế

Đánh giá tổn thất sản lượng do *T. semipenetrans* trong các vườn cam trưởng thành dựa vào sự stress tích tụ lâu dài của cây và sự tích lũy mật số; do đó, các khuyến nghị sử dụng mật độ cá thể cái trên mỗi gam rễ làm chỉ số dự báo tổn thất sản lượng tốt nhất. Mật độ cá thể cái trên mỗi gam rễ đã được chứng minh là biến số ổn định hơn so với số lượng ấu trùng trong đất khi so sánh sự biến đổi theo mùa qua các năm và giữa các vườn cam, đánh giá hiệu quả của nematicide và xác định khả năng gây hại cho cây rễ (Sorribas & cs., 2008). Bên cạnh đó cũng cần chú ý đến Sức khỏe của cây không phải là một chỉ báo đáng tin cậy về sự hiện diện của tuyến trùng. Thường thì có một mối quan hệ tỷ lệ nghịch giữa mật độ quần thể tuyến trùng và sức khỏe của cây. Đối với tuyến trùng *T. semipenetrans* được đánh giá tại Israel, khi đạt 4000 con ấu trùng/gram rễ là ngưỡng gây hại (Cohn & cs., 1969). Tại California, Hoa Kỳ chỉ số ngưỡng kinh tế (ET) được đánh giá từ tháng 2 - 4 khi mật số con cái thành trùng

>400 con/gram rễ hoặc 100 con cái trưởng thành/gram rễ vào tháng 5 - 6 (Westerdahl, 2000). Còn tại Nam Phi, các khuyến nghị cho việc phòng trừ *T. semipenetrans* là 100 con cái trưởng thành/gram rễ (Le Roux & cs., 2000). Bên cạnh đó, tại đảo Síp việc phòng trị khi mật số con non đạt 5000 cá thể/250 cm<sup>3</sup> đất (Philis, 1989). Tại Ai Cập, ngưỡng kinh tế của *T. semipenetrans* trên một ký đất và 5 gram rễ là 13.000 con và 15.000 vào tháng 2 và tháng 8. Trong khi đó, đối với gốc ghép cam Chua có thể đạt 36.000 con vào tháng 3 cao đỉnh (Korayem & Hassabo, 2005). Theo Bridge & Starr (2007) thì ngưỡng kinh tế (ET) của *T. semipenetrans* là 1000 con/100 cm<sup>3</sup> đất. Tại Tây Ban Nha, giới hạn chịu đựng của giống *Clemenules* trên gốc ghép citrange là 287 con cái/gram rễ, trong khi đó ngưỡng kinh tế được xác định từ 330 đến 710 con cái/g rễ, tùy điều kiện canh tác và mùa vụ (Sorribas & cs., 2008).

### 3.5. Sự lưu tồn và lan truyền

Sự lan truyền và xâm nhiễm của tuyến trùng thường thông qua cây giống nhiễm bệnh, tàn dư thực vật, phân hữu cơ, lớp đất phủ, thiết bị, dụng cụ trong canh tác và hệ thống tưới tiêu (Abd-Elgawad & cs., 2016). Con cái J2 là có thể tồn tại trong điều kiện đất được bảo quản lên đến 2,5 năm và từ đất nông trại lên đến 4 năm sau khi cây được nhổ bỏ (Tsai & Van Gundy, 1989).

Sự tấn công của tuyến trùng còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố như thành phần và mật số loài tuyến trùng trong đất, đặc điểm sinh thái đất, tính nhạy cảm của của gốc ghép và đồng thời là sự hiện diện của các mầm bệnh như vi sinh vật gây bệnh và biện pháp quản lý trong canh tác (Duncan & Cohn, 1990). Ngoài ra, sự xâm nhập của tuyến trùng vào cây có múi phụ thuộc vào nguồn nước tưới tiêu, vật liệu che phủ, cây con nhiễm bệnh và phân bón hữu cơ.

Tại Pakistan, loài *T. semipenetrans* có thể được phát hiện ở nhiệt độ từ 9-12°C với số lượng rất ít và khoảng nhiệt độ có số lượng tuyến trùng và con cái trong rễ tối đa trong rễ là 26-29°C ở sâu 30 cm, còn ở độ sâu 45 cm tính từ mặt đất, số lượng tuyến trùng giảm dần (Saeed & cs., 2019).

### 3.6. Tương tác giữa mầm bệnh và tuyến trùng

Sự hiện diện của tuyến trùng làm gia tăng sự xâm nhiễm của *Fusarium oxysporum* hay *Fusarium solani* trên cây có múi (O'Bannon & cs., 1967). Sự xâm nhiễm của tuyến trùng trên rễ cây làm rễ bị phân

hủy nhanh hơn so với rễ không nhiễm bệnh do sự tấn công của nấm và vi khuẩn (Hammam & cs., 2021).

### 3.7. Các yếu tố ảnh hưởng đến *T. semipenetrans*

Môi trường đất: Sự tăng mật độ của tuyến trùng được ghi nhận thông qua việc tăng độ bão hòa nước của đất (lên đến 43%), cũng như qua việc tăng lượng bùn, cát, P (phospho), K (Potassium), và carbon hữu cơ trong đất. Tuy nhiên, mật độ tuyến trùng giảm khi có sự tăng về độ mặn của đất, lượng calci carbonate, nitơ tổng số và hàm lượng đất sét. Mật độ tuyến trùng cao nhất được quan sát ở đất có kết cấu mùn (Salahi & cs., 2014). *T. semipenetrans* có thể được tìm thấy ở bất kỳ kết cấu đất nào, nhưng thiệt hại lớn nhất xảy ra ở đất nông, thoát nước kém, có hàm lượng chất hữu cơ từ 2-3% (O'Bannon & Essar, 1994).

Cấu trúc đất và pH: Các yếu tố như cấu trúc đất, độ pH và hàm lượng khoáng chất có mối tương quan đến sự sinh trưởng và phát triển của quần xã tuyến trùng trong vườn cây có múi (Zoubi & cs., 2022). Độ pH đất lý tưởng cho hoạt động của tuyến trùng gần với 7, và sự tăng hoặc giảm độ pH đất đều gây ra sự giảm sút của quần thể tuyến trùng (Salahi Ardakani & cs., 2014). Sự ảnh hưởng của độ mặn và pH đất đối với *T. semipenetrans* biến đổi tùy thuộc vào điều kiện cụ thể (Shokoohi & Duncan, 2018). Sự gây hại của tuyến trùng thường gặp trong khoảng pH từ 6 đến 8, nhưng được ghi nhận là nghiêm trọng hơn trên đất có tính kiềm nhẹ và chứa vôi so với đất có tính acid cao. Qua các khảo sát trên toàn thế giới cho thấy mật số của loài *T. semipenetrans* ở đất kiềm cao hơn so với đất chua (Van Gundy & Martin, 1961). Độ mặn của đất làm gia tăng số lượng trứng; tuy nhiên lại có thể làm giảm sức sống của tuyến trùng. Song, trong điều kiện mặn, nồng độ Na (Sodium) tích tụ quá cao trong cây cũng tạo điều kiện thuận lợi cho sự tấn công của tuyến trùng (Mashela & cs., 1992).

Nhiệt độ: *T. semipenetrans* phát triển mạnh nhất ở điều kiện nhiệt độ khoảng 25°C, nhưng quần thể của chúng giảm đáng kể khi nhiệt độ tăng lên trên 31°C hoặc giảm xuống dưới 21°C (O'bannon & cs., 1966). Quá trình sinh sản của tuyến trùng diễn ra trong một phạm vi rộng của nhiệt độ, loại đất, và độ pH. Quần thể tuyến trùng phát triển mạnh nhất ở khoảng nhiệt độ đất từ 28 đến 31°C. Mặc dù vẫn có khả năng sinh sản ở nhiệt độ thấp như 21°C, nhưng sự sinh sản giảm đáng kể ở nhiệt độ cao hơn 31°C (Kirkpatrick & cs., 1965; O'Bannon & cs., 1966).

Âm độ: Con cái J2 dường như rất nhạy cảm với điều kiện đất khô, mặc dù chúng có khả năng chống lại sự mất nước đến một mức độ nào đó (Tsai & Van Gundy, 1989), sự gia tăng hoặc suy giảm mật số của *T. semipenetrans* bị ảnh hưởng trực tiếp bởi sự hạn hán của một phần hoặc toàn bộ hệ thống rễ (Duncan, 2009). Còn theo Sorribas & cs. (2000), độ ẩm cũng tỷ lệ nghịch với sự gia tăng mật số của *T. semipenetrans*, minh chứng rõ nhất trong hệ thống tưới nhỏ giọt thì mật số của loài này cao hơn so với tưới ngập.

Phân bón: Nitơ có thể tác động đến mật độ của *T. semipenetrans* trong đất, phụ thuộc vào loại phân bón được áp dụng. Tác dụng diệt tuyến trùng của amoniac được cải thiện khi sử dụng phân bón giải phóng amoniac cùng với các chất làm thay đổi độ kiềm của đất (Rodriguez-Kabana, 1986; Oka & cs., 2006). Hàm lượng K (Potassium) trong đất được phát hiện có mối quan hệ tích cực tăng lên với số lượng ấu trùng giai đoạn 2 (J2) và con đực, một hiện tượng tương tự cũng được ghi nhận trong các loại cây trồng khác (Pettigrew & cs., 2006), một nghiên cứu của Sharma & cs. (2005) cũng cho thấy việc bón K làm gia tăng 93% mật số tuyến trùng so với mức kiểm soát; tuy nhiên, việc bón chung P+K lại giúp làm giảm tới 50% mật số quần thể tuyến trùng tại vùng rễ. Đồng thời, sức khỏe và mức độ dinh dưỡng của cây cũng có ảnh hưởng đến mật số của tuyến trùng, với mức độ dinh dưỡng cao hơn có thể hỗ trợ kiểm soát tốt hơn mật số của *T. semipenetrans* (Mangat & Sharma, 1981). Mặt khác, phân tích mức độ quan trọng tiêu chuẩn của các dinh dưỡng khoáng trong đất như đạm, lân và K (Potassium) cho thấy sự phân bố và gia tăng mật số của tuyến trùng tỷ lệ thuận sự gia tăng liều lượng bón phân đạm. Trong khi đó, việc bón phân lân và K (Potassium) lại tỷ lệ nghịch với sự phân bố và suy giảm của tuyến trùng nghĩa là việc bón các nhóm phân có chứa P và K làm gia tăng sự ức chế của cây trồng đối với tuyến trùng trong đất (Sharma & cs., 2003).

Chất hữu cơ: Ngoài ra, chất hữu cơ cũng có những ảnh hưởng trực tiếp và gián tiếp đến mật số tuyến trùng (Bernard & cs., 2017). Tuyến trùng ký sinh cây có mùi được tìm thấy ở mật số cao trên đất có sa cấu đất mịn hoặc đất có hàm lượng chất hữu cơ cao. Song, sự sinh sản của các loài tuyến trùng tỷ lệ thuận với độ mặn của đất; trong khi đó, đất cát nghèo chất hữu cơ làm giảm quần thể tuyến trùng trong đất (Timmer & cs., 2003).

### 3.8. Thiệt hại

Ước tính thiệt hại năng suất do *T. semipenetrans* gây ra dao động từ 10% đến 30%, tùy thuộc vào cấu trúc đất, mức độ nhiễm bệnh, mức độ xâm lấn của quần thể tuyến trùng, tính miễn cảm của gốc ghép, sự hiện diện của các mầm bệnh khác và biện pháp quản lý (Asadi & cs., 2023).

Còn theo Garcia Teran & cs. (1987) ghi nhận *T. semipenetrans* xâm nhiễm trên giống cam Valencia với gốc ghép cam chua (*C. aurantium*) có thể làm giảm năng suất đến 43,3%. Nghiên cứu cho thấy *T. semipenetrans* gây thiệt hại nghiêm trọng lên cây chanh banhazer (*Citrus aurantifolia*), với mật độ 2300 ấu trùng tuổi 2 (J2)/ 150 cm<sup>3</sup> đất dẫn đến mất mát 39,2 kg quả/ cây; trong khi 500 J2 trên cùng khối lượng đất gây mất 31,5 kg quả/ cây (Duncan, 2005). Theo Abd-Elgawad & cs. (2016), ước tính khoảng 21,9% các vườn cây có múi tại khu vực Địa Trung Hải bị giảm năng suất trái vượt quá 39 kg quả/ cây do *T. semipenetrans*.

### 4. Biện pháp quản lý

Các phương pháp bảo vệ thêm bao gồm việc loại bỏ các cây nhiễm bệnh, áp dụng biện pháp canh tác và vệ sinh, xử lý đất bằng cách khử trùng và phơi sáng, cùng với việc cải thiện đất bằng cách bổ sung chất hữu cơ và áp dụng luân phiên các loại cây trồng. Dù rằng các chiết xuất từ thực vật và các biện pháp kiểm soát sinh học khác đã được chứng minh là những giải pháp quản lý thân thiện với môi trường trong phòng thí nghiệm và nhà kính, hiệu quả thực tế của chúng vẫn cần được xác nhận thêm. Sử dụng các vật chủ có khả năng kháng bệnh được xem là giải pháp tiềm năng nhất. Tuy nhiên, hiệu quả của việc sử dụng gốc ghép kháng bệnh có thể giảm do sự xuất hiện của các biến thể tuyến trùng có khả năng vượt qua sự chống chịu, điều kiện đất đai không tương thích với các biến thể đó, sự không tương thích giữa gốc và cành ghép, cũng như các yếu tố làm vườn bất lợi khác (Ghaderi & cs., 2022). Do đó, tình hình dịch hại cây trồng trở nên phổ biến và phức tạp hơn người ta đã nhận thức được sự cần thiết của việc áp dụng phương pháp quản lý sâu bệnh tổng hợp (IPM) (Ali & cs., 2020).

#### 4.1. Biện pháp canh tác và vật lý

Các biện pháp canh tác làm xáo trộn đất có thể làm gia tăng tỷ lệ tử vong của tuyến trùng do sự mất cân bằng độ ẩm hay chúng bị tiêu diệt do tiếp xúc trực tiếp với ánh sáng mặt trời (Hannon, 1964).



Nhiệt trị: Khi ngâm rễ trần của cây có múi ở nhiệt độ 45°C trong 25 phút hoặc 50°C trong 10 - 20 phút loại bỏ tối đa tuyến trùng tiềm sinh trong cây mà tại nhiệt độ này không ảnh hưởng xấu đến thực vật (O'Bannon & Taylor, 1967).

Xông hơi nước: sử dụng nước có hơi ga giúp môi trường trong đất tăng đến 70°C, chủ yếu là kết hợp nước với đá Vermiculite hoặc đá tuff thường tạo hiệu quả cao hơn so với đất than bùn (Tjamos & cs., 1999).

#### 4.2. Giống kháng và gốc ghép

Chưa có loài nào trong nhóm cây có múi được xác định có khả năng kháng với *T. semipenetrens*. Tuy nhiên, đặc tính kháng duy nhất hiện được biết đến, được đưa vào các loại cây có múi, là một tính trạng trội có nguồn gốc từ *Poncirus trifoliata* (Hagag, 2023).

Loài *T. semipenetrens* sinh sản mạnh mẽ nhất trên giống *Citrus reticulata*, tiếp theo là *C. sinensis*, *C. limon* và *C. paradisi* (Bozbuga & cs., 2023). Khả năng sinh sản của *T. semipenetrens* trên *C. reticulata* và *C. sinensis* cao hơn *C. limon* và *C. paradise*, cho thấy sự nhạy cảm về giống chống chịu (Hagag, 2023). Theo Duncan & cs. (1993) ghi nhận dịch tiết từ giống kháng bệnh có tính xua đuổi và ức chế *T. semipenetrens* tốt hơn giống nhạy cảm.

*Poncirus trifoliata* thích ứng được với điều kiện lạnh ở mức độ vừa phải và cũng có khả năng kháng lại *Phytophthora nicotianae*, virus tristeza, exocortis và xyloporosis viroid, cũng như bệnh bạc lá. Tuy nhiên, các giống lai của *P. trifoliata* không thể chịu được điều kiện đất kiềm, và khả năng kháng *T. semipenetrens* đã được ghi nhận giảm sau khi các giống gốc ghép này được trồng rộng rãi (Baines & cs., 1974; Duncan & cs., 1994).

Sử dụng giống LB6-2 [*Citrus reticulata* × *C. sinensis*] là giống miễn cảm với tuyến trùng, Swingle citrumelo (*C. paradisi* × *Poncirus trifoliata*) có tính kháng cao với tuyến trùng tiến hành lai và cho thấy khi phân tích RADP giống *Poncirus trifoliata*, kết quả này thể hiện 53,6% phương sai kiểu hình được giải thích bởi vùng gen chính này nên các chương trình nhân gốc ghép cần có chứng minh về cơ sở di truyền học (Ling & cs., 2000). Theo Irshad & cs. (2012) báo cáo loài *Citrus jambhiri* rất miễn cảm với tuyến trùng và bệnh thối rễ có nguồn gốc từ đất.

Gốc ghép có khả năng chống chịu: Gốc ghép chống chịu thường tạo tính kháng cao nhất so với các biện pháp khác, gốc ghép cam Ba Khía (*Poncirus trifoliata*) có tính kháng cao ( $P_f/P_i < 1$ ) đối với loài *T. semipenetrens*; trong khi đó, các gốc ghép khác chỉ có tính kháng vừa phải ( $P_f/P_i > 1$ ). Giống Swingle citrumelo (*Citrus paradisi* × *P. trifoliata*) được sử dụng làm gốc ghép có khả năng chống chịu cao đối với tuyến trùng ký sinh cây có múi (Giudice & Inserra, 1980), giống Carrizo citranges (*Citrus sinensis* × *P. trifoliata*) có tính đề kháng tương đối đối với *T. semipenetrens*. Tuy nhiên, giống cam Ba Khía và Swingle citrumelo nhạy cảm trên đất kiềm (Verdejo-Lucas & Kaplan, 2002).

Nghiên cứu của Galeano & cs. (2003) nhận định *Cleopatra mandarin* × *Poncirus trifoliata* có khả năng kháng tốt với tuyến trùng *T. semipenetrens* thông qua khả năng tích tụ lignin và suberin.

Hiệu quả của các gốc ghép chống bệnh có thể bị giảm do sự xuất hiện của các biến thể gene tuyến trùng kháng lại sự chống chịu, tính chất đất không tương thích với các giống cây đó, sự không tương thích giữa gốc ghép và cành ghép, cũng như các điều kiện làm vườn không thuận lợi (Ghaderi & Hosseinvand, 2022).

#### 4.3. Dịch trích thực vật

Chiết xuất alcohol từ bắp cải và tỏi cho hiệu suất cao nhất, với tỷ lệ giảm tuyến trùng *T. semipenetrens* lần lượt là 95,92% và 94,92% và sự gia tăng đáng kể về tổng trọng lượng tươi và khô của chồi cây, chiều cao cây cam chua (Saadoon & cs., 2022).

Đánh giá hiệu quả sử dụng dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub> (pH: 11 và 12), dịch trích cây sài đất (*Sphagneticola calendulacea* (L.) Pruski), lá neem (*Azadirachta indica*), lá trà ta (*Melaleuca cajuputi* Powel.) nồng độ 10%, 20% và 30% cho hiệu quả nhanh nhưng giảm dần theo thời gian, hiệu quả phòng trừ trong đất là 67,8-86,5% (20 ngày sau khi xử lý), ở rễ đạt 59,8 - 89,4% (100 ngày sau khi xử lý) (Phú & cs., 2023).

Độ hữu hiệu của các loại dịch trích thực vật khi xử lý đối với tuyến trùng lần lượt là: tỏi (*Allium sativum*) đạt 76,52%, tiếp theo là cúc vạn thọ Pháp (*Tagetes patula*) đạt 72,0%, bí đỏ (*Cucurbita maxima*) đạt 71,84%, *Inula viscosa* đạt 63,96%, *Origanum syriacum* đạt 55,04% và *Thymus* đạt 53,72% (Ibrahim & cs., 2016).

Dịch trích được chiết xuất từ nước của cây neem *Azadirachta indica*, *Calotropis procera* và (*Datura alba*) có hiệu quả gây chết cho *T. semipenetrans* tại thời điểm 48 giờ sau khi xử lý ở phòng thí nghiệm và nhà lưới (Ahmad & cs., 2004).

Mặc dù các chất chiết xuất từ thực vật và các phương pháp kiểm soát sinh học khác đã được chứng minh là thân thiện với môi trường trong các nghiên cứu phòng thí nghiệm và nhà kính, hiệu quả của chúng trong thực tế vẫn cần được đánh giá thêm (Ghaderi & Hosseinvand, 2022).

#### 4.4. Xông hơi sinh học

Các hoạt chất Isothiocyanates (2-phenylethyl isothiocyanate (0.01  $\mu\text{mol/mL}$ ), phenyl isothiocyanate (0.48  $\mu\text{mol/mL}$ ) gây chết ở giá trị LC90 và một ứng cử viên khác là allyl isothiocyanate) do sự phân hủy của glucosinolates nhờ enzyme myrosinase thuộc họ Brassicaceae, có khả năng tiêu diệt tuyến trùng *T. semipenetrans* (Zasada & Ferris, 2003).

#### 4.5. Tác nhân sinh học

Việc sử dụng thuốc hóa học để quản lý tuyến trùng được xem xét và bị cấm do những tác động của nó mang lại cho môi trường, vì vậy liệu pháp sử dụng vi sinh vật ký sinh nội sinh đang được quan tâm do chúng giúp cây ký chủ tăng cường khả năng phòng thủ để kháng mầm bệnh mà phương pháp này mang tính bền vững cao và bảo tồn được hệ sinh thái đất (Zhang, 2009).

Các chủng vi sinh vật như nấm (*Trichoderma spp.*, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia*, và *mycorrhizae*, *Glomus spp.*) và vi khuẩn (*Bacillus spp.*, *Pseudomonas fluorescens*, *Streptomyces avermitilis*, and *Pasteuria spp.*) là những đối tượng tiềm năng trong quản lý tuyến trùng (Kumar & Arthus, 2021). Theo Deepa & cs. (2011) *P. fluorescens*, *Trichoderma viride*, *T. harzianum* và *P. chlamydosporia* trên chanh (*Citrus limonia*) cho thấy đều mang lại hiệu quả kiểm soát *T. semipenetrans*.

##### 4.5.1. Nấm đối kháng và nấm ký sinh

Nghiên cứu của Hương & cs. (2022) về phân lập các chủng nấm có khả năng ức chế tuyến trùng trong rễ cây có múi cho thấy ở mật số 2.107 thì nấm *Arthrobotrys DP7* có khả năng tiêu diệt tuyến trùng đạt 72,82% sau 15 ngày thí nghiệm, *Paecilomyces NT11* ký sinh trứng đạt 90,67% và *Trichoderma NM22* ức chế sự nở của trứng đạt 80,33% sau 7 ngày thí nghiệm.

Tại phòng thí nghiệm hiệu quả gây chết tuyến trùng tuổi 2 *T. semipenetrans* cho thấy *Trichoderma album* đạt 88,3% ở nồng độ 30 g/L tại thời điểm 72 giờ và trong điều kiện nhà lưới khi thử nghiệm trên hai giống cam Baladi và chanh cho thấy hiệu quả của *T. album* đạt lần lượt trong đất và rễ là 88,3, 89,0%; 72,0, 77,9% (Elzawahry & cs., 2015).

Nấm *Paecilomyces lilacinus* (10, 20 và 40 kg/ha) và nấm *Trichoderma sp.* (20, 40 và 80 kg/ha) có hiệu quả chậm và tăng dần theo thời gian, ở 100 NSKXL, hiệu quả phòng trừ tuyến trùng ký sinh trong đất đạt 69,6 - 80,4% và ở rễ đạt 59,7 - 82,9% (Phú & cs., 2023). Dịch lọc từ *Talaromyces cyanescens* và *P. lilacinus* có thể ức chế sinh sản của con cái và ức chế sự nở trứng *T. semipenetrans* (Verdejo & cs., 2009).

Ngoài ra, Rao (2008) cũng báo cáo rằng việc áp dụng nấm *P. lilacinus* cùng với vi khuẩn *Pseudomonas fluorescens*, có tính năng phát huỳnh quang, mang lại kết quả tích cực trong việc kiểm soát các loài tuyến trùng như *Rotylenchulus reniformis* và *Meloidogyne spp.*, chứng tỏ sự hiệu quả của cả hai trong việc phòng trừ tuyến trùng.

Trong nghiên cứu của Jindapunnapat & cs. (2013), đã được khám phá và chứng minh rằng nấm *Trichoderma harzianum* có hiệu quả đáng kể trong việc giảm mật độ của tuyến trùng *Meloidogyne enterolobii*, một loài tuyến trùng gây hại phổ biến, cả trong đất và trên rễ cây ổi. Sự hiệu quả này được quan sát thông qua cơ chế sinh học tương tác giữa nấm *Trichoderma* và tuyến trùng, vốn bao gồm khả năng cạnh tranh, kháng sinh, và kích thích miễn dịch thực vật, từ đó làm giảm sự phát triển và sự xâm nhập của tuyến trùng vào rễ cây.

Việc kết hợp *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, *Streptomyces griseus* và *Paecilomyces lilacinus* trong việc kiểm soát tuyến trùng *T. semipenetrans*, cũng như sự kết hợp của chúng với Nemastop, một chế phẩm sinh học chống tuyến trùng làm giảm mạnh mẽ quần thể *T. semipenetrans*, trong khi *B. subtilis* hoặc *T. harzianum* đơn lẻ làm giảm tỷ lệ nhiễm *F. solani*. Nghiên cứu này mở ra hướng điều trị mới với cách tiếp cận tích hợp, nơi sự kết hợp của các tác nhân sinh học với các cơ chế hoạt động khác nhau mang lại hiệu quả cao hơn trong việc kiểm soát cả tuyến trùng và nấm gây bệnh trên cây cam (Ibrahim & cs., 2019). Việc kết hợp các chủng *Trichoderma viride*, *T. harzianum* và *B. subtilis* cùng phân compost có thể



giảm bệnh do *F. solani* và *T. semipenetrans* thông qua kích thích hoạt động của enzyme như peroxidase, polyphenol oxidase và chitinase lên 300, 72,2 và 109,9% (Hammam & cs., 2016).

#### 4.5.2 Nấm cộng sinh

Tại điều kiện nhà lưới, nấm cộng sinh AMF (Arbuscular mycorrhiza fungi) có khả năng ngăn chặn sự xâm nhiễm vào rễ cây có múi và không xuất hiện tuyến trùng sau lây nhiễm. Khi bổ sung đồng thời EM (Effective microorganisms) và AMF tăng khả năng phát triển của cây và không tăng mật độ tuyến trùng trong đất và rễ (Tran & cs., 2019).

#### 4.5.3. Vi khuẩn đối kháng và ký sinh

Nghiên cứu của Suganthi & cs. (2019) ghi nhận dịch lọc của bốn chủng vi khuẩn VSEB3, VREB8, PMEB1 và VREF3 làm giảm đáng kể tỷ lệ nở trứng tuyến trùng (97,17; 96,60; 89,24 và 88,10%) và làm chết ấu trùng tuổi 2 loài *T. semipenetrans* lần lượt 100, 100, 99,33 và 87%) ở nồng độ 100% trong 5 ngày và 72 giờ tiếp xúc tương ứng.

Khi nghiên cứu của Labiadh & cs. (2023) sử dụng vi khuẩn vùng rễ *Bacillus weihenstephanensis*, *B. subtilis*, *B. thuringiensis*, *B. pumilus*, *B. cereus* và *Lysinibacillus sphaericus*, cho thấy hiệu quả cao nhất trên ấu trùng *T. semipenetrans* (J2) gây tử vong lên tới 85% ở cá con (J2) sau 6 ngày tiếp xúc trong ống nghiệm. Xử lý *Bacillus thuringiensis* giúp làm giảm mật số tuyến trùng lần lượt hai mùa là 60,7 và 55,8% (El-Saedy & cs., 2019).

Tại phòng thí nghiệm hiệu quả gây chết tuyến trùng tuổi 2 *T. semipenetrans* cho thấy *B. megaterium* đạt 90,5% ở nồng độ 30 g/L tại thời điểm 72 giờ và trong điều kiện nhà lưới khi thử nghiệm trên hai giống cam Baladi và chanh cho thấy hiệu quả của *B. megaterium* đạt lần lượt trong đất và rễ là 89,0; 89,5%; 76,6; 82,9% (Elzawahry & cs., 2015).

Trong nghiên cứu của Park & cs. (2004), vi khuẩn *P. fluorescens* được xác định có khả năng ký sinh và hiệu quả trong việc giảm mật độ của cá thể cái và trứng của tuyến trùng *T. semipenetrans* trong môi trường đất thông qua khả năng tiết độc tố leucino. Điều này cho thấy tiềm năng của *P. fluorescens* như một tác nhân sinh học trong việc kiểm soát tuyến trùng gây hại. Theo Deepa & cs. (2014) cho rằng vi khuẩn *P. fluorescens* kích thích hoạt động của các enzym phòng thủ như Peroxidase (PO), Polyphenol

oxydase (PPO), Phenylalanine amoniac lyase (PAL) và Phenol trong phòng trừ *T. semipenetrans*. Việc bổ sung 20 g *P. fluorescens*/ cây có hiệu quả phòng bệnh tăng tốt nhất và năng suất tăng gấp 3 lần so với đối chứng không chủng (Deepa & cs., 2011).

Khi tiến hành đánh giá hiệu quả ức chế đồng thời của tuyến trùng *T. semipenetrans* và nấm *Fusarium* spp. trên giống cam ngọt (*Citrus sinensis* L.) trên gốc ghép cam chua (*C. aurantium* L.) cho thấy các nghiệm thức xử lý bằng *B. subtilis* và *P. fluorescens* làm giảm quần thể nấm gây hại từ 38,5% xuống còn 1,2-4%, Heterorhabditis egyptii (16,3%), Kocide (6,6%) và Carbofuran (18,4%). Khi tiến hành thử nồng độ thể tích của các nghiệm thức *B. subtilis* và *P. fluorescens* (20 mL) hiệu quả đạt kiểm soát tuyến trùng đồng thời là nấm và tuyến trùng *T. semipenetrans* cao hơn so với *B. subtilis* và *P. fluorescens* (10 mL) và thuốc hóa học (Carbofuran và Kocide); bên cạnh đó, khi xử lý *B. subtilis* và *P. fluorescens* giúp gia tăng năng suất cây trồng. Đối với các nghiệm thức chỉ chủng nấm bệnh và tuyến trùng thì tỷ lệ bệnh toàn vườn là 1,9 và 3,1% (Abd-Elgawad & cs., 2010).

Việc sử dụng hai loài vi khuẩn *P. flourescence* 843 và *Azospirillum brasilense* W24 giúp tăng chất lượng, năng suất, trọng lượng và chiều dài quả, trong đó, chủng 843 kiểm soát hiệu quả đồng thời *Tylenchulus* spp. và *Pratylenchus* spp. hơn so với W24 tại Ai Cập (Shamseldin & cs., 2010).

Nghiên cứu của Huang & cs. (2004; 2010) cho thấy vi khuẩn *B. subtilis* không chỉ có khả năng chống lại tuyến trùng mà còn chống lại các loại nấm bệnh trong đất. Sự hiệu quả này phần lớn được quy cho khả năng của chúng trong việc sản xuất hai loại kháng sinh là bacterocin và subitisin, cung cấp một phương pháp phòng trừ đa năng và sinh học.

#### 4.5.4. Xạ khuẩn

Nhóm xạ khuẩn *Streptomyces* nổi bật với khả năng sản xuất enzyme chitinase và các hợp chất sát khuẩn làm chúng trở thành tác nhân hiệu quả trong phòng trừ sinh học đối với mầm bệnh và tuyến trùng trong đất (Dicklow & cs., 1993); Mahadevan & Crawford, 1997)

#### 4.5.5. Động vật bắt mồi

Loài *Iotonchus tenuicaudatus* có khả năng ăn thịt *T. semipenetrans* và *Helicotylenchus dihystra* (Rama & Dasgupta, 1998).

Các nghiên cứu của Kumar & Arthus (2021) đã chỉ ra rằng một số loài ve sẩn môi thuộc họ Mesostigmata, bộ Parasitiformes, đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát sinh học đối với tuyến trùng. Những loài ve này, thông qua chế độ ăn thịt tự nhiên của chúng, được coi là tác nhân sinh học hiệu quả, có khả năng tiêu diệt và giảm mật độ của tuyến trùng trong môi trường tự nhiên.

#### 4.6. Biện pháp sử dụng hoạt chất sinh học và hóa học

Khử trùng đất bằng biện pháp xông hơi hóa chất: giúp loại bỏ hiệu quả các loại mầm bệnh, cỏ dại, côn trùng và tuyến trùng trong đất. Hai nhóm hóa chất chính được sử dụng là nhóm hydrocarbon halogen hóa và nhóm chất giải phóng hợp chất methyl isothiocyanate. Tuy nhiên, biện pháp này có những khuyết điểm nhất định như: chi phí tốn kém, hóa chất có tính bay hơi nhanh, chỉ áp dụng cho đất thoáng khí và chỉ sử dụng để khai hoang là chính vì khi sử dụng trên vườn đã có canh tác thì những nghiên cứu về sự ngộ độc của cây có mùi đối với các hoạt chất này chưa được nghiên cứu cụ thể (Sorribas & cs., 2003).

Khi xử lý trong điều kiện phòng thí nghiệm bằng chế phẩm Chitosan-Super nồng độ 2% làm gia tăng tỷ lệ chết của tuyến trùng lần lượt 53,01±11,05, 86,5±5,96, 98,57±1,87, 99,92±0,14% tại các thời điểm 24, 48, 72, 96 giờ và trong điều kiện nhà lưới loại chế phẩm này làm giảm mật số tuyến trùng trong đất nhưng lại làm tăng mật số trong rễ (Tran & cs., 2019).

Dung dịch Ca(OH)<sub>2</sub> (pH: 10) và KOH (pH: 10, 11 và 12) có hiệu quả nhanh, trong đất đạt 51,6 - 60,3% (20 NSKXL), kéo dài đến 40 và 60 NSKXL sau đó giảm dần, ở rễ đạt 59,1 - 66,9% (100 NSKXL) (Phú & cs., 2023).

Phòng trừ *Tylenchulus semipentans* trên Cam Valencia cho thấy abamectin, boron, chitosan và oxamyl 24% SL tại hai mùa liên tiếp cho kết quả giảm mật số tuyến trùng và khả năng sinh sản của chúng tương ứng 74,5-83,4% và 70-82%; trong khi đó, hydrogen peroxide không có khác biệt giữa 2 mùa. Ngoài ra, boron còn giúp gia tăng năng suất, tổng chất rắn hòa tan (13,6%), thể tích nước cam (36,4%), vitamin C (19,7%) và giảm độ acid trong nước ép (16,7%) (El-Saedy & cs., 2019).

Khi xử lý một số loại thuốc để tiêu diệt tuyến trùng *Meloidogyne enterolobii* thể hiện Map logic 90WP (Clinoptilolite) đạt 78,5%, Tervigo 020SC

(Abamectin) đạt 71,5%, Nemaces (*P. lilacinus*: 108 cfu/g) đạt 65,9% sau 40 ngày xử lý. Bên cạnh đó, khi có sự kết hợp giữa việc sử dụng thuốc trừ tuyến trùng và biện pháp canh tác bổ sung vôi + phân hữu cơ + chế phẩm *Trichoderma* làm giảm mật số tuyến trùng đến 74,5% (Chung & cs., 2022).

Các loại thuốc diệt tuyến trùng (nematicide) trong đất chủ yếu bao gồm nhóm oxime-carbamate (như aldicarb, oxamyl, carbofuran) và nhóm organophosphate (bao gồm fenamiphos, ethoprophos và cadusaphos), trong đó, cadusaphos dạng hạt được đánh giá cao về hiệu quả chống lại *T. semipentans* (Verdejo-Lucas và McKenry, 2014). Tuy nhiên, các hoạt chất diệt này cần được hòa tan vào đất, thông qua các phương pháp cơ khí hoặc qua việc tưới nước, nhằm bảo đảm tính hiệu quả và an toàn (Hammam & cs., 2021). Trong nhà kính, fenamiphos và cadusaphos (4 và 8 ppm) hiệu quả nhất khi phun cùng lúc với việc chùng tuyến trùng, trong khi Vydate và fenamiphos (8 ppm) tốt nhất sau 6 tuần bón. Các nghiên cứu ngoài đồng với fenamiphos và cadusaphos (1 và 2 g/m<sup>2</sup>) cho thấy giảm mật độ tuyến trùng, nhưng không ảnh hưởng tới trọng lượng và kích thước quả (Maafi & Damadzadeh, 2008).

#### 5. Kết luận

Kết luận từ bài nghiên cứu tổng quan về tuyến trùng *T. semipentans* mang lại cái nhìn toàn diện và sâu sắc về vấn đề nghiên cứu, từ đặc điểm sinh học, cấu trúc đến ảnh hưởng kinh tế và môi trường của loài tuyến trùng này với khả năng ký sinh và gây hại cho nhiều loại cây trồng quan trọng, đặc biệt là cây có mùi, đã trở thành một mối quan tâm lớn trong cộng đồng nghiên cứu và ngành nông nghiệp toàn cầu.

Các phát hiện trong nghiên cứu cho thấy sự đa dạng trong cấu trúc và chức năng giữa các giai đoạn phát triển khác nhau của *T. semipentans*, cũng như giữa giới tính. Sự thích nghi sinh học này không chỉ giúp loài tuyến trùng tồn tại và phát triển trong môi trường ký sinh khắc nghiệt mà còn làm tăng thách thức trong việc kiểm soát sự lây lan và ảnh hưởng của chúng. Các đặc điểm sinh học và hành vi của *T. semipentans* là chìa khóa để phát triển các phương pháp quản lý và kiểm soát dựa trên bằng chứng, giúp giảm thiểu tác động tiêu cực đến sản xuất nông nghiệp và bảo vệ nguồn lợi kinh tế.

Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng nhấn mạnh vai trò của việc áp dụng các tiếp cận đa ngành trong việc

hiểu biết và giải quyết vấn đề tuyến trùng ký sinh thực vật. Sự kết hợp giữa kiến thức về sinh học, sinh thái học, gen học, và công nghệ sinh học mở ra hướng tiếp cận mới trong việc phát triển các giống cây trồng có khả năng kháng bệnh, cũng như trong việc tạo ra các phương pháp kiểm soát sinh học và hóa học đặc hiệu và bền vững. Việc tích hợp các nghiên cứu về tương tác giữa tuyến trùng và cây chủ, cũng như tác động của biến đổi khí hậu và các yếu tố môi trường khác lên chu kỳ sống và sự phát triển của *T. semipenetrans*, là cần thiết để hiểu rõ hơn về cơ chế ký sinh và gây bệnh của loài này.

Cuối cùng, bài tổng quan nghiên cứu về *T. semipenetrans* mong muốn không chỉ giúp cải thiện hiệu quả canh tác và bảo vệ nguồn lợi nông nghiệp mà còn góp phần vào việc bảo vệ đa dạng sinh học và duy trì sự cân bằng của hệ sinh thái. Việc đầu tư vào nghiên cứu và phát triển các giải pháp kiểm soát tuyến trùng ký sinh này không chỉ là một bước tiến quan trọng trong lĩnh vực nông nghiệp mà còn thể hiện cam kết trong việc bảo vệ môi trường và đảm bảo an ninh lương thực cho tương lai.

#### Tài liệu tham khảo

- Abd-Elgawad, M. M., Koura, F. F., Montasser, S. A., & Hammam, M. M. (2016). Distribution and losses of *Tylenchulus semipenetrans* in citrus orchards on reclaimed land in Egypt. *Nematology*, 18(10), 1141-1150.
- Abd-Elgawad, M., Abdel-Kader, M. M., El-Mougy, N. S., El-Gamal, N., & Mohamed, M. (2010). Protective treatments against soilborne pathogens in citrus orchards. *Journal of Plant Protection Research*, 50(4), 477-484.
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5<sup>th</sup> ed.). Elsevier.
- Ahmad, M. S., Tariq Mukhtar, T. M., & Riaz Ahmad, R. A. (2004). Some studies on the control of citrus nematode (*Tylenchulus semipenetrans*) by leaf extracts of three plants and their effects on plant growth variables. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3(5), 544-548.
- Ali, A.S.A.; Fiad, M.A.; Makkouk, K., Zian, S.A., Hasanain, M.K.; Al-Jboory, I., Bayaa, B.; Abo Shal, A.M.; Elnahas, S.E.M.; Abd-Elgawad, M.M.M. & Alyousuf, A.A. (2020). Research challenges in plant protection science (In Arabic). Pp. 387-425. In: Plant Protection Challenges in the Arab Countries: 2050 Vision. K. Makkouk, S.G. Kumari, I. Al-Jboory & B. Bayaa (eds.). *Arab Society for Plant Protection, Beirut, Lebanon*.
- Asadi, S. Z., Jamali, S., Ghadamyari, M., & Motaghitalab, V. (2023). Morphology and molecular characterization of *Tylenchulus semipenetrans* from citrus orchards in northern Iran. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*, 68(3), 301-314.
- Baines, R. C., Cameron, J. W., & Soost, R. K. (1974). Four biotypes of *Tylenchulus semipenetrans* in California identified, and their importance in the development of resistant citrus rootstocks. *Journal of Nematology*, 6(2), 63.
- Baines, R. C., Miyakawa, T., Cameron, J. W., & Small, R. H. (1969). Infectivity of two biotypes of the citrus nematode on citrus and on some other hosts. *Journal of Nematology*, 1(2), 150-159.
- B'Chir, M. M., & Kallel, S. (1993). Effects of *Tylenchulus semipenetrans* on the morphogenesis of juvenile citrus trees. *IOBC-WPRS Bulletin*, 16(7), 62-76.
- Bernard, G. C., Egnin, M., Bonsi, C., Mortley, D., Witola, W. H., McElhenney, W., ... & Lawrence, K. (2017). Evaluation of root-knot nematode resistance in sweetpotato. *African Journal of Agricultural Research*, 12(16), 1411-1414.
- Bozbuga, R., Yildiz, S., Yuksel, E., Özer, G., Dababat, A. A., & İmren, M. (2023). Nematode-citrus plant interactions: host preference, damage rate and molecular characterization of Citrus root nematode *Tylenchulus semipenetrans*. *Plant Biology*, 25(6), 871-879.
- Bridge, J., & Starr, J. L. (2007). *Plant nematodes of agricultural importance: a color handbook*. Elsevier.
- Châu, N. N., & Thanh, N. V. (2000). *Động vật chí Việt Nam: Tuyến trùng ký sinh thực vật*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật. 401 trang.
- Chung, N. V., Hùng, N. M., Tuyên, N. H., Hạnh, N. T., Thúy, N. T., & Anh, T. H. (2022). Tuyến trùng nốt sùng Meloidogyne sp. ký sinh rễ cây ổi (*Psidium guajava*) và một số biện pháp phòng trừ hiệu quả. *Tạp chí BVTV*, Số 6/2022.



- Ciancio, A., Colagiero, M., Pentimone, I., & Rosso, L. (2016). Soil microbial communities and their potential for root-knot nematodes management: a review. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 15(8), 1833-1839.
- Cohn, E. (1965a). On the feeding and histopathology of the citrus nematode. *Nematologica*, 11(1), 47-54.
- Cohn, E. (1965b). The development of the citrus nematode on some of its hosts 1. *Nematologica*, 11(4), 593-600.
- Cohn, E. (1969). The citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans* Cobb, as a pest of citrus in Israel. *Proceedings of the First International Citrus Symposium*, us Symposium. 2, 1013-1017.
- Cohn, E., Minz, G., & Monselise, S. P. (1965b). The distribution, ecology and pathogenicity of the citrus nematode in Israel. *Israel Journal of Agricultural Research*, 15, 187-200.
- Cục trồng trọt (2023). Sản xuất cây có múi đạt chất lượng và an toàn thực phẩm. <https://nhandan.vn/san-xuat-cay-co-mui-dat-chat-luong-va-an-toan-thuc-pham-post788365.html> (20/12/2023).
- Dalmasso, A., Macaron, J., & Berge, J. B. (1972). Details of reproduction in *Tylenchulus semipenetrans* and *Cacopaurus pestis* (Nematoda: Criconelematoidea). *Nematologica*, 18(4), 423-431.
- Deepa, S. P., Subramanian, S., & Ramakrishnan, S. (2011). Biomangement of citrus nematode *Tylenchulus semipenetrans* Cobb on lemon, *Citrus limonia* L. *Journal of Biopesticides*, 4(2), 205-207.
- Deepa, S. P., Subramanian, S., & Ramakrishnan, S. (2014). Biochemical Mechanism of Biocontrol Agents in the Management of Citrus Nematode, *Tylenchulus semipenetrans* on Lemon, *Citrus limonia* L. *Indian Journal of Nematology*, 44(1), 1-5.
- Dicklow, M. B., Acosta, N., & Zuckerman, B. M. (1993). A novel *Streptomyces* species for controlling plant-parasitic nematodes. *Journal of Chemical Ecology*, 19, 159-173.
- Duncan, L. W. (2005). Nematode parasites of citrus. *In Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (pp. 437-466). Wallingford UK: CABI Publishing.
- Duncan, L. W. (2009). Managing nematodes in citrus orchards. *Integrated management of fruit crops and forest nematodes*, Springer Science+ Business Media BV, 135-173.
- Duncan, L. W., & Cohn, E. (1990). Nematode parasites of citrus. *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture.*, 321-346.
- Duncan, L. W., & Noling, J. W. (1987). By *Tylenchulus semipenetrans*. *Revue Nématol*, 10(1), 61-66.
- Duncan, L. W., Graham, J. H., & Timmer, L. W. (1993). Seasonal patterns associated with *Tylenchulus semipenetrans* and *Phytophthora parasitica* in the citrus rhizosphere. *Phytopathology*, 83(5), 573-581.
- Duncan, L. W., Inserra, R. N., O'Bannon, J. H., & El-Morshedy, M. M. (1994). Reproduction of a Florida population of *Tylenchulus semipenetrans* on resistant citrus rootstocks. *Plant Disease*, 78(11), 1067-1071.
- El-Marzoky, A. M., Elnahal, A. S., Jghef, M. M., Abourehab, M. A., El-Tarabily, K. A., & Ali, M. A. (2023). Purpureocillium lilacinum strain AUMC 10620 as a biocontrol agent against the citrus nematode *Tylenchulus semipenetrans* under laboratory and field conditions. *European Journal of Plant Pathology*, 1-18.
- El-Mohamedy, R. S., Hammam, M. M., Abd-El-Kareem, F., & Abd-Elgawad, M. M. (2016). Biological soil treatment to control *Fusarium solani* and *Tylenchulus semipenetrans* on sour orange seedlings under greenhouse conditions. *Int J ChemTech Res*, 9(7), 73-85.
- El-Saedy, M. A. M., Hammad, S. E., & Awd Allah, S. F. A. (2019). Nematicidal effect of abamectin, boron, chitosan, hydrogen peroxide and *Bacillus thuringiensis* against citrus nematode on Valencia orange trees. *Plant Sci. Phytopathol*, 3, 111-117.
- Elzawahry, A. M., Khalil, A. E. M., Allam, A. D. A., & Mostafa, R. G. (2015). Effect of the bio-agents (*Bacillus megaterium* and *Trichoderma album*) on citrus nematode (*Tylenchulus semipenetrans*) infecting baladi orange and. *Journal of Phytopathology and Pest Management*, 1-8.

- Eroshenko, A. S., Nguyen, N., Nguyen, V. T., & Doan, K. (1985). Parasitic plant nematodes of North Vietnam. *Parasitic plant nematodes of North Vietnam*.
- Galeano, M., Verdejo-Lucas, S., Sorribas, F. J., Ornat, C., Forner, J. B., & Alcaide, A. (2003). New citrus selections from Cleopatra mandarin × Poncirus trifoliata with resistance to *Tylenchulus semipenetrans* Cobb. *Nematology*, 5(2), 227-234.
- Garcia Teran, O., Duarte, E., & Jimenez, Y. E. (1987). Relation between the population density of *Tylenchulus semipenetrans* and the yields of Valencia oranges (*Citrus sinensis*). *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Protección de Plantas*, 10(1), 63-71.
- Ghaderi, R., & Hosseinvand, M. (2022). Non-chemical Management of the Citrus Nematode, *Tylenchulus semipenetrans* (Nematoda: Tylenchulidae). In *Sustainable Management of Nematodes in Agriculture, Vol. 1: Organic Management* (pp. 217-245). Cham: Springer International Publishing.
- Giudice, V. L., & Inserra, R. N. (1980). Reaction of citrus and noncitrus rootstocks to *Tylenchulus semipenetrans* (‘). *Nematologia Mediterranea*, 8, 103-105.
- Global Citrus Outlook (2019). <https://worldcitrusorganisation.org/wp-content/uploads/2020/01/Citrus-Market-Trends-2019.pdf?ref=blog.farmtogether.com>.
- Hagag, E. S. (2023). Pathogenicity of Citrus Nematode (*Tylenchulus semipenetrans*). In *Nematode-Plant Interactions and Controlling Infection* (pp. 142-164). IGI Global.
- Hammam, M. M., El-Mohamedy, R. S., Abd-El-Kareem, F., & Abd-Elgawad, M. M. (2016). Evaluation of soil amended with bio-agents and compost alone or in combination for controlling citrus nematode *Tylenchulus semipenetrans* and Fusarium dry root rot on Volkamer lime under greenhouse conditions. *Int. J. ChemTech Res*, 9(7), 86-96.
- Hammam, M., Abdel Gawad, M., Ruan, W., & El-bahrawy, A. (2021). Management of pests and pathogens affecting citrus yield in Egypt with special emphasis on nematodes. *Egyptian Journal of Agronematology*, 20(2), 64-84.
- Hannon, C. I. (1964). Control of the citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans*, in microplot experiments. *Plant Disease Reporter*, 48, 471-475.
- Huang, X., Zhao, N., & Zhang, K. (2004). Extracellular enzymes serving as virulence factors in nematophagous fungi involved in infection of the host. *Research in Microbiology*, 155(10), 811-816.
- Huang, Y., Xu, C., Ma, L., Zhang, K., Duan, C., & Mo, M. (2010). Characterisation of volatiles produced from *Bacillus megaterium* YFM3.25 and their nematocidal activity against *Meloidogyne incognita*. *European journal of plant pathology*, 126, 417-422.
- Huong, N. Đ. T., Liên, N. T., & Nguyệt, H. T. (2022). Phân lập các chủng nấm săn tuyến trùng có khả năng ức chế tuyến trùng trong đất vùng rễ cây có mùi. *Tạp chí Khoa học*, 19(9), 1393-1403.
- Huy, N., Tram, T., Uyen, D., & Hoa, N. (2024). Study on the Population and Composition of Parasitic Nematodes related to Da Xanh Pomelo (*Citrus maxima*) in Tien Giang Province, Vietnam. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, 7(1), 2030-2039. <https://doi.org/10.31817/vjas.2024.7.1.02>
- Ibrahim, D., Ali, A., & Metwaly, H. (2019). Bio-management of citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans* and dry root rot fungi, *Fusarium solani* under laboratory and field conditions. *Egyptian Journal of Agronematology*, 18(2), 118-128.
- Ibrahim, S. K., Ibrahim Azar, C. N., Akikki, B., & Ibrahim, L. (2016). Plant-parasitic nematodes on stone fruits and citrus in Lebanon. *Lebanese Science Journal*, 17(1), 9-24.
- Inserra, R. N., Vovlas, N., & O'Bannon, J. H. (1980). A classification of *Tylenchulus semipenetrans* biotypes. *Journal of Nematology*, 12(4), 283-287.
- Inserra, R. N., Vovlas, N., O'Bannon, J. H., & Esser, R. (1988). *Tylenchulus graminis* n. sp. and *T. palustris* n. sp. (Tylenchulidae), from native flora of Florida, with notes on *T. semipenetrans* and *T. furcus*. *Journal of Nematology*, 20(2), 266-287.



- Irshad, U., Mukhtar, T., Ashfaq, M., Kayani, M. Z., Kayani, S. B., Hanif, M., & Aslam, S. (2012). Pathogenicity of citrus nematode (*Tylenchulus semipenetrans*) on Citrus jambhiri. *J. Anim. Plant Sci*, 22(4), 1014-1018.
- Jindapunnapat, K., Chinnasri, B., & Kwankuae, S. (2013). Biological control of root-knot nematodes (*Meloidogyne enterolobii*) in guava by the fungus *Trichoderma harzianum*. *Journal of Developments in Sustainable Agriculture*, 8(2), 110-118.
- Kiewnick, S., Holterman, M., van den Elsen, S., van Megen, H., Frey, J. E., & Helder, J. (2014). Comparison of two short DNA barcoding loci (COI and COII) and two longer ribosomal DNA genes (SSU & LSU rRNA) for specimen identification among quarantine root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) and their close relatives. *European Journal of Plant Pathology*, 140, 97-110.
- Kirkpatrick, J. D., Van Gundy, S. D., & Tsao, P. H. (1965). Soil pH, tempera ture, and citrus nematode reproduction. *Phytopathology*, 55(10), 1064.
- Korayem, M., & Hasabo, S. A. A. (2005). Citrus yield in relation to *Tylenchulus semipenetrans* in silty loam soil. *International Journal of Nematology*, 15(2), 179-182.
- Kumar, K. K., & Arthurs, S. (2021). Recent advances in the biological control of citrus nematodes: A review. *Biological Control*, 157, 104593.
- Labiadh, M., Mhamdi, B., Loulou, A., & Sadreddine, K. (2023). Impact of rhizobacteria community of citrus root on *Tylenchulus semipenetrans* and on Citrus plant growth. *Biocontrol Science and Technology*, 33(3), 241-257.
- Le Roux, H. F., Pretorius, M. C., & Huisman, L. (2000). Citrus nematode IPM in southern Africa. *Proceedings of the International Society of Citriculare*, 2, 823-827.
- Lin, B., Wang, H., Zhuo, K., & Liao, J. (2016). Loop-mediated isothermal amplification for the detection of *Tylenchulus semipenetrans* in soil. *Plant Disease*, 100(5), 877-883.
- Lin, B., Wang, H., Zhuo, K., & Liao, J. (2016). Loop-mediated isothermal amplification for the detection of *Tylenchulus semipenetrans* in soil. *Plant Disease*, 100(5), 877-883.
- Ling, P., Duncan, L. W., Deng, Z., Dunn, D., Hu, X., Huang, S., & Gmitter Jr, F. G. (2000). Inheritance of citrus nematode resistance and its linkage with molecular markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 100, 1010-1017.
- Liu, G. K., Juan, C., Shun, X., Zhang S. S., & Pan, D. M. (2011). Development of species-specific PCR primers and sensitive detection of the *Tylenchulus semipenetrans* in China. *Agricultural Sciences in China*, 10(2), 252-258.
- Luc, M., Sikora, R. A., & Bridge, J. (Eds.). (2005). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. CABI publishing.
- Maafi, Z. T., & Damadzadeh, M. (2008). Incidence and control of the citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans* Cobb, in the north of Iran. *Nematology*, 10(1), 113-122.
- Maafi, Z. T., Amani, M., Stanley, J. D., Inserra, R. N., Van den Berg, E., & Subbotin, S. A. (2012). Description of *Tylenchulus musicola* sp. n.(Nematoda: Tylenchulidae) from banana in Iran with molecular phylogeny and characterisation of species of *Tylenchulus* Cobb, 1913. *Nematology*, 14(3), 353-369.
- Madani, M., Vovlas, N., Castillo, P., Subbotin, S. A., & Moens, M. (2004). Molecular characterization of cyst nematode Species (*Heterodera* spp.) from the Mediterranean Basin using RFLPs and sequences of ITS-rDNA. *Journal of Phytopathology*, 152(4), 229-234.
- Mahadevan, B., & Crawford, D. L. (1997). Properties of the chitinase of the antifungal biocontrol agent *Streptomyces lydicus* WYEC108. *Enzyme and Microbial Technology*, 20(7), 489-493.
- Mangat, B. P. S., & Sharma, N. K. (1981). Influence of host nutrition on multiplication and development of citrus nematode. *Indian Phytopathology*, 34(1), 90-91.
- Mashela, P. W., & Nthangeni, M. (2002). Osmolyte allocation in response to *Tylenchulus semipenetrans* infection, stem girdling, and root pruning in citrus. *Journal of Nematology*, 34(3), 273-277.

- Mashela, P., Duncan, L. W., Graham, J. H., & McSorley, R. (1992). Leaching soluble salts increases population densities of *Tylenchulus semipenetrans*. *Journal of Nematology*, 24(1), 103-108.
- O'bannon, J. H., & Essar, R. P. (1994). *Citrus Declines Caused by Nematodes in Florida I. Soil Factors*. University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences, EDIS.
- O'bannon, J. H., & Taylor, A. L. (1967). Control of nematodes on citrus seedlings by chemical bare-root dip. *Plant Disease Reporter*, 51(7), 995-998.
- O'bannon, J. H., Leathers, C. R., & Reynolds, H. W. (1967). Interactions of *Tylenchulus semipenetrans* and *Fusarium* species on rough lemon (*Citrus limon*). *Phytopathology*, 57(4), 414-417.
- O'Bannon, J. H., Reynolds, H. W., & Leathers, C. R. (1966). Effects of temperature on penetration, development, and reproduction of *Tylenchulus semipenetrans*. *Nematologica*, 12(4), 483-487.
- Oka, Y., Tkachi, N., Shuker, S., Rosenberg, R., Suriano, S., & Fine, P. (2006). Laboratory studies on the enhancement of nematicidal activity of ammonia-releasing fertilisers by alkaline amendments. *Nematology*, 8(3), 335-346.
- Park, J. O., Hargreaves, J. R., McConville, E. J., Stirling, G. R., Ghisalberti, E. L., & Sivasithamparam, K. (2004). Production of leucinostatins and nematicidal activity of Australian isolates of *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson. *Letters in Applied Microbiology*, 38(4), 271-276.
- Peng, H., Long, H., Huang, W., Liu, J., Cui, J., Kong, L., ... & Peng, D. (2017). Rapid, simple and direct detection of *Meloidogyne* hapla from infected root galls using loop-mediated isothermal amplification combined with FTA technology. *Scientific Reports*, 7(1), 44853.
- Pettigrew, W. T., Meredith Jr, W. R., & Young, L. D. (2005). Potassium fertilization effects on cotton lint yield, yield components, and reniform nematode populations. *Agronomy Journal*, 97(4), 1245-1251.
- Pháp, T. Q., Duyên, N. T., Linh, L. T. M. & Tiên N. H. (2022). *Nhóm tuyến trùng trong quan trọng trong nông nghiệp ở Việt Nam*. Nhà xuất bản khoa học tự nhiên và công nghệ. 349 trang.
- Philis, I. (1989). Yield loss assessment caused by the citrus nematode *Tylenchulus semipenetrans* on Valencia oranges Cyprus. *Nematologia Mediterranea*. 17(1), 5-6.
- Phú, N. B., Tịnh, N. Q., & Sĩ, N. Q. (2023). Hiệu quả của một số biện pháp phòng trừ tuyến trùng ký sinh rễ cây cam quýt theo hướng thân thiện với môi trường. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 59(6), 127-137.
- Rama, K., & Dasgupta, M. K. (1998). Biocontrol of nematodes associated with mandarin orange decline by the promotion of predatory nematode *Iotonchus tenuicaudatus* (Kreis, 1924). *Indian Journal of Nematology*, 28(2), 118-124.
- Rao, M. S. (2008, December). Effect of Combinations of Bio-Pesticides on the Management of Nematodes on *Carica papaya* L. In *II International Symposium on Papaya 851* (pp. 459-464).
- Rashidifard, M., Shokoohi, E., Hoseinipour, A., & Jamali, S. (2015a). *Tylenchulus semipenetrans* (Nematoda: Tylenchulidae) on pomegranate in Iran. *Australasian Plant Disease Notes*, 10, 1-6.
- Rashidifard, M., Shokoohi, E., Hoseinipour, A., & Jamali, S. (2015b). Distribution, morphology, seasonal dynamics, and molecular characterization of *Tylenchulus semipenetrans* from citrus orchards in southern Iran. *Biologia*, 70(6), 771-781.
- Rodriguez-Kabana, R. (1986). Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology*, 18(2), 129-134.
- Ruiz, M., Vo, A. D., Becker, J. O., & Roose, M. L. (2023). Real-Time PCR to Phenotype Resistance to the Citrus Nematode *Tylenchulus semipenetrans* Cobb. *Plants*, 12(13), 2543.
- Saadoon, S. M., Sergany, M. I., Mona, H. E., Reham, A. M., & Gad, S. B. (2022). Research Paper (Plant Extracts: Nematodes) The Efficiency of Using Some Natural Compounds for Management of Citrus Nematode *Tylenchulus semipenetrans*. 40(4), 346 pages.

- Saeed, M., Mukhtar, T., & Rehman, M. A. (2019). Temporal fluctuations in the population of citrus nematode (*Tylenchulus semipenetrans*) in the Pothowar region of Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 51(6), 2257-2263.
- Salahi, A., A., Tanha, M. Z., Mokaram, A., & Mohammadi, G. E. (2014). Relationship between soil properties and abundance of *Tylenchulus semipenetrans* in citrus orchards, Kohgiluyeh va Boyerahmad Province. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(7), 1699-1710.
- Shamseldin, A., El-Sheikh, M. H., Hassan, H. S. A., & Kabeil, S. S. (2010). Microbial biofertilization approaches to improve yield and quality of Washington navel orange and reducing the survival of nematode in the soil. *Journal of American Science*, 6(12), 264-271.
- Sharma, G. C., Thakur, B. S., & Kashyap, A. S. (2003). Impact of NPK on the Nematode Populations and Yield of Plum (*Prunus salicina*). In *VII International Symposium on Temperate Zone Fruits in the Tropics and Subtropics-Part Two 696* (pp. 433-436).
- Shokoohi, E., & Duncan, L. W. (2018). Nematode parasites of citrus. In *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (pp. 446-476). Wallingford UK: CAB International.
- Siddiqi M. R. (2000). *Tylenchida: Parasites of Plants and Insects* CABY Publishing, Wallingford, United Kingdom. 848 pages.
- Sirengo, D. K. (2020). *Morphological and molecular characterisation of plant-parasitic nematodes associated with pineapple, roses and tea in Kenya* (Doctoral dissertation, Ghent University).
- Sorribas, F. J., Verdejo-Lucas, S., Forner, J. B., Alcaidel, A., Pons, J., & Ornat, C. (2000). Seasonality of *Tylenchulus semipenetrans* Cobb and *Pasteuria* sp. in citrus orchards in Spain. *Journal of Nematology*, 32(4S), 622.
- Sorribas, F. J., Verdejo-Lucas, S., Galeano, M., Pastor, J., & Ornat, C. (2003). Effect of 1, 3 dichloropropene and rootstocks alone and in combination on *Tylenchulus semipenetrans* and citrus tree growth in a replant management program. *Nematologica*, 33(4), 147-156.
- Sorribas, F. J., Verdejo-Lucas, S., Pastor, J., Ornat, C., Pons, J., & Valero, J. (2008). Population densities of *Tylenchulus semipenetrans* related to physicochemical properties of soil and yield of clementine mandarin in Spain. *Plant disease*, 92(3), 445-450.
- Stokes, D. E (1969). *Andropogon rhizomatus* parasitized by a strain of *Tylenchulus semipenetrans* not parasitic to four citrus rootstocks. *Plant Disease Reporter*, 53(11), 882-885.
- Subbotin, S. A., Sturhan, D., Chizhov, V. N., Vovlas, N., & Baldwin, J. G. (2006). Phylogenetic analysis of *Tylenchida* Thorne, 1949 as inferred from D2 and D3 expansion fragments of the 28S rRNA gene sequences. *Nematology*, 8(3), 455-474.
- Suganthi, K., Vetrivelkalai, P., Poornima, K., & Vijayakumar, R. M. (2019). In vitro bioefficacy of endophytic isolates against citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(5), 1050-1055.
- Téliz, D., Landa, B. B., Rapoport, H. F., Camacho, F. P., Jiménez-Díaz, R. M., & Castillo, P. (2007). Plant-parasitic nematodes infecting grapevine in southern Spain and susceptible reaction to root-knot nematodes of rootstocks reported as moderately resistant. *Plant Disease*, 91(9), 1147-1154.
- Tennant, P. F., Robinson, D., Fisher, L., Bennett, S. M., Hutton, D., Coates-Beckford, P., & Mc Laughlin, W. (2009). Diseases and pests of citrus (*Citrus* spp.). *Tree and Forestry Science and Biotechnology*, 3(2), 81-107.
- Timmer, L. W., Garnsey, S. M., & Broadbent, P. (2003). Diseases of citrus. In R. C. Ploetz (Ed.), *Diseases of tropical fruit crops* (pp. 163-195). CABI: Publishing.
- Tjamos, E. C., Grinstein, A., & Gamliel, A. (1999). Disinfestation of soil and growth media. In R. Albajes, M. Lodovica Gullino, J. C. Lenteren, Y. Elad. *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops* (pp. 139-149). Kluwer Academic Publishers.
- Tran, B. T., Watts-Williams, S. J., & Cavagnaro, T.

- R. (2019). Impact of an arbuscular mycorrhizal fungus on the growth and nutrition of fifteen crop and pasture plant species. *Functional Plant Biology*, 46(8), 732-742.
- Tsai, B. Y., & Van Gundy, S. D. (1989). Comparison of anhydrobiotic ability of the citrus nematode with other plant parasitic nematodes. In R. Goren & K. Mendel. *Proceedings of the sixth international citrus congress Middle-East, Tel Aviv, Israel, 6-11 March 1988. Volume 2.* (pp. 983-992). Margraf Scientific Publishers.
- Van Gundy, S. D. (1958). The life history of the citrus nematode *Tylenchulus semipenetrans* Cobb 1. *Nematologica*, 3(4), 283-294.
- Van Gundy, S. D., & Martin, J. P. (1961). Influence of *Tylenchulus semipenetrans* on the growth and chemical composition of sweet orange seedlings in soils of various exchangeable cation ratios.
- Verdejo-Lucas, S., Viera, A. A., Stchigel, A. M., & Sorribas Royo, F. J. (2009). Screening culture filtrates of fungi for activity against *Tylenchulus semipenetrans*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4), 896-904.
- Verdejo-Lucas, S., & Kaplan, D. T. (2002). The citrus nematode: *Tylenchulus semipenetrans*. In J. L. Starr, R. Cook & J. Bridge. *Plant resistance to parasitic nematodes* (pp. 207-219). Wallingford UK: CABI Publishing.
- Verdejo-Lucas, S., & McKenry, M. V. (2004). Management of the citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans*. *Journal of Nematology*, 36(4), 424.
- Westerdahl, B. B. (2000). Citrus Nematodes. UC Management Guidelines for Nematodes on Citrus. Available at: (<http://www.ipm.ucdavis.edu>).
- Zasada, I. A., & Ferris, H. (2003). Sensitivity of *Meloidogyne javanica* and *Tylenchulus semipenetrans* to isothiocyanates in laboratory assays. *Phytopathology*, 93(6), 747-750.
- Zhang, C., Yin, L., & Dai, S. (2009). Diversity of root-associated fungal endophytes in *Rhododendron fortunei* in subtropical forests of China. *Mycorrhiza*, 19(6), 417-423.
- Zoubi, B., Mokri, F., Dababat, A. A., Amer, M., Ghoulam, C., Lahlali, R., ... & Qaddoury, A. (2022). Occurrence and geographic distribution of plant-parasitic nematodes associated with citrus in Morocco and their interaction with soil patterns. *Life*, 12(5), 637.