

竹子寄生线虫种类及其分布概况

王宏洪¹, 廖金铃^{1,2*}

(1. 广东生态工程职业学院, 广东 广州 510520; 2. 华南农业大学植物线虫研究室, 广东 广州 510642)

摘要:病虫害影响竹子生长, 制约着竹林产业发展。由于植物线虫病害症状比较隐蔽, 植物线虫对竹林的影响通常难以评估且容易被忽视。本文对国内外竹子线虫的种类、分布和寄主等方面进行了综述。全世界已报道竹子寄生线虫 82 种, 隶属于 4 目、12 科、29 属, 其中, 国内报道了竹子线虫 36 种; 美国和印度的竹子寄生线虫比较丰富, 分别报道了 38 种和 20 种。植物线虫对竹子的致病性研究较少, 印度报道了植物线虫对竹子造成的损失, 美国报道了 2 种寄生线虫侵染竹子的组织病理学研究。本文对我国竹子寄生线虫研究的方向进行了探讨, 为今后竹子寄生线虫研究和防治工作提供重要参考。

关键词:竹子; 植物线虫; 致病性; 防治; 检疫

中图分类号: S432

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2018)05-0159-09

Review on Species and Distribution of Plant Parasitic Nematodes on Bamboo

WANG Hong-hong¹, LIAO Jin-ling^{1,2}

(1. Guangdong Eco-Engineering Polytechnic, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Laboratory of Plant Nematology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: The purpose of this study is to review the nematode species parasitizing on bamboos, their distribution and hosts. 82 nematode species belonging to 29 genera and 12 families of 4 orders were reported on bamboo in the world, in which 36 species in China, 38 species in American, and 20 species in India. Few studies focus on the pathogenicity of plant nematodes to bamboos. There were some reports of nematodes causing losses on bamboos in India. Histological observations of two nematode species in infected bamboos were reported in USA. This paper discusses the research direction of nematodes parasitizing on bamboo, aiming at providing useful information for research, control and quarantine of nematodes parasitizing on bamboo.

Keywords: bamboo; plant nematodes; pathogenicity; control; quarantine

竹子是重要的森林资源, 是林业产业的重要组成部分。全世界共有竹子 70 余属, 1 200 多种, 主要分布在热带和亚热带地区^[1]。据统计, 中国有竹子植物 43 属, 700 余种^[2]。像其他植物一样, 竹子的一生遭受各种病虫害的侵扰^[3-7], 病虫害被认为是引起竹林产业重大经济损失的主要原因^[3-4]。作为根部病害的一类, 竹子线虫病害报道甚少^[8]。

植物线虫是一类潜在的植物病原物, 大多数植物线虫为害植物的地下部分, 使地上部分表现叶片

发黄、植株矮小和营养不良, 通常症状并不明显, 很容易被忽视^[9]。然而, 植物线虫对根部的损伤可为其他病原物的侵入打开通道, 使植物感染其他病害^[9]。植物线虫也可以与土壤中其他病原物形成复合侵染, 长针科和毛刺科的一些种类还可传播病毒^[9]。因此, 有必要重新评估植物线虫对竹子生长的影响。本文对国内外竹子寄生线虫的种类、地理分布及其致病性进行归纳评述, 为进一步开展我国竹子线虫病害调查和防控提供参考依据。

收稿日期: 2017-11-06

基金项目: 广东省林业科技创新专项资金项目(2015KJCX045)

作者简介: 王宏洪, 博士, 讲师. 主要研究方向: 植物线虫检测与防控. 电话: 15920335727. E-mail: angongong2003@163.com

* 责任作者: 廖金铃, 教授, 博士生导师. 主要研究方向: 植物病原线虫学和分子植物病理学. E-mail: jlliao@scau.edu.cn

1 竹子寄生线虫的种类与地理分布

参考 Maggenti^[10] 和 Hunt^[11] 的分类系统,全世界已报道的竹子寄生线虫 82 种,隶属于 4 目、12 科、29 属,其中,国内报道了线虫病害 36 种,隶属于 4 目、11 科、18 属;美国和印度的竹子寄生线虫比较丰富,分别报道了 38 种和 20 种。8 类竹子寄生线虫分布最广,分别是剑线虫 (*Xiphinema* Cobb, 1913)、孢囊线虫 (*Heterodera* A. Schmidt, 1871)、短体线虫 (*Pratylenchus* Filipjev, 1936)、针线虫 (*Paratylenchus* Micoletzky, 1922)、根结线虫 (*Meloidogyne* Goeldi, 1892)、拟毛刺线虫 (*Paratrichodorus* Siddiqi, 1974)、螺旋线虫 (*Helicotylenchus* Steiner, 1945) 和矮化线虫 (*Tylenchorhynchus* Cobb, 1913)。

1.1 垫刃目 Order Tylenchida Thorne, 1949

1.1.1 垫刃科 Family Tylenchidae Örley, 1880

(1) 戴维恩垫刃线虫 *Tylenchus davainei* Bastian, 1965

寄主:毛竹 [*Phyllostachys pubescens* (Pradelle) Mazel ex J. Houz.] (中国)^[12]、斑竹 (*Phyllostachys bambusoides* cv. 'Tanakae' I. Tsuboi)、茶杆竹 (*Pseudosasa amabilis* (McClure) Keng f.)、小佛肚竹 (*Bambusa ventricosa* McClure) 和 黄杆乌哺鸡竹 (*Phyllostachys vivax* McClure f. *aureocaulis* N. X. Ma) (中国浙江湖州)^[13]。

(2) 丝状丝尾垫刃线虫 *Filenchus filiformis* (Bütschii, 1873) Meyl, 1961

寄主:钓鱼竹 (*Phyllostachys nigra* (Lodd.) Munro var. *henonis* (Mitford) Stapf ex Rendle) (中国云南昆明)^[14], 之前报道为丝状垫刃线虫 *Tylenchus filiformis* Bütschii, 1873。

1.1.2 锥科 Family Dolichodoridae Chitwood, 1950

异头锥线虫 *Dolichodoros heterocephalus* Cobb, 1914

寄主:籼竹属 (*Bambusa* sp.) (美国加州)^[15]。

1.1.3 刺科 Family Belonolaimidae Whitehead, 1960

(1) 厚尾矮化线虫 *Tylenchorhynchus crassicaudatus* Williams, 1960

寄主:金竹 (*Phyllostachys sulphurea* (Carrière) Rivière & C. Rivière) (中国云南丽江)^[16]。

(2) 尤因矮化线虫 *Tylenchorhynchus ewingi* Hopper, 1959

寄主:金竹 (中国云南丽江)^[16]。

(3) 饰环矮化线虫 *Tylenchorhynchus annulatus* (Cassidy, 1930) Golden, 1971

寄主:竹子 (中国台湾)^[17]。

(4) 竹子矮化线虫 *Tylenchorhynchus bambusi* Singh, Lal, Rathour and Ganguly, 2010

寄主:竹子 (印度阿萨姆邦)^[18]。

(5) 最大矮化线虫 *Tylenchorhynchus maximus* Allen, 1955

寄主:籼竹属 (美国加州)^[19]。

(6) 克莱顿矮化线虫 *Tylenchorhynchus claytoni* Steiner, 1937

寄主:籼竹属 (美国加州)^[19]。

(7) 清亮矮化线虫 *Tylenchorhynchus clarus* Allen, 1955

寄主:籼竹属 (美国加州)^[19]。

(8) 棒尾矮化线虫 *Tylenchorhynchus clavicaudatus* Seinhorst, 1963

寄主:毛竹 (中国)^[12], 之前报道为棒尾双垫刃线虫 *Bitylenchus clavicaudatus* (Seinhorst, 1963) Siddiqi, 1986。

(9) 具头五沟线虫 *Quinisulcius capitatus* (Allen, 1955) Siddiqi, 1971

寄主:籼竹属 (美国加州)^[19], 之前报道为具头矮化线虫 *Tylenchorhynchus capitatus* Allen, 1955。

(10) 短齿默林线虫 *Merlinius brevidens* (Allen, 1955) Siddiqi, 1970

寄主:籼竹属 (美国加州)^[19]。

1.1.4 短体科 Family Pratylenchidae Thorne, 1949

(1) 咖啡短体线虫 *Pratylenchus coffeae* (Zimmermann, 1898) Filipjev and Schuumans Stekhoven, 1941

寄主:毛竹 (中国)^[12]; 马来甜龙竹 (*Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer) (美国)^[20]; 麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* Munro) (日本九州)^[21]。

(2) 伤残短体线虫 *Pratylenchus vulnus* Allen and Jensen, 1951

寄主:金竹 (中国云南丽江)^[16]; 籼竹属 (美国加州)^[19]。

(3) 最短尾短体线虫 *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey, 1929) Filipjev and Schuumans Stekhoven, 1941

寄主:*Bambusa nana* Roxb.^[22] 和竹子 (印度阿萨姆邦)^[23]。

(4) 穿刺短体线虫 *Pratylenchus penetrans* (Cobb, 1917) Filipjev and Schuurmans Stekhoven, 1941
寄主: 籐竹属(美国加州)^[19]。

(5) 落选短体线虫 *Pratylenchus neglectus* (Rensch, 1924) Filipjev and Schuurmans Stekhoven, 1941
寄主: 籐竹属(美国加州)^[19]。

(6) 相似穿孔线虫 *Radopholus similis* (Cobb, 1893) Thorne, 1949
寄主: 籐竹属(美国佛罗里达州)^[20]。

1.1.5 纽带科 Family Hoplolaimidae Filipjev, 1934

(1) 巨尾器盾线虫 *Scutellonema megascutatum* Peng and Siddiqi, 1994
寄主: 毛竹(中国北京)^[24]。

(2) 竹子盾线虫 *Scutellonema bamboosae* Saha, Lal, Singh, Kaushal and Sharma, 2000
寄主: 竹子(印度曼尼普尔邦)^[25]

(3) 短尾盾线虫 *Scutellonema brachyurum* (Steiner, 1938) Andrassy, 1958
寄主: 籐竹属(美国加州)^[19]。

(4) *Scutellonema* sp. C
寄主: 竹子(中国台湾)^[26-27], 之前报道为截形盾线虫 *Scutellonema truncatum* Sher, 1964。

(5) *Helicotylenchus assamensis* Saha, Lal, Singh, Kaushal & Shama, 2000
寄主: 竹子(印度阿萨姆邦 Jorhat 市)^[25]。

(6) 尖尾螺旋线虫 *Helicotylenchus cuspidatus* Saha, Lal, Singh, Kaushal & Shama, 2000
寄主: 竹子(印度阿萨姆邦 Jorhat 市)^[25]。

(7) 双角螺旋线虫 *Helicotylenchus digonicus*, Perry, 1999
寄主: 籐竹属(美国加州)^[19]; 竹子(印度曼尼普尔邦)^[28]。

(8) 双宫螺旋线虫 *Helicotylenchus dihystra*, Cobb, 1893

寄主: 毛竹(中国)^[12]、金竹(中国云南丽江)^[16]、淡竹(*Phyllostachys glauca* McClure) 和黄秆京竹(*Phyllostachys aureosulcata* f. *aureocaulis* Z. P. Wang & N. X. Ma) (中国浙江湖州)^[13]; 籐竹属(美国加州)^[19]; 竹子(印度曼尼普尔邦)^[28]。

(9) 刺桐螺旋线虫 *Helicotylenchus erythrinae* (Zimmermann, 1904) Golden, 1956

寄主: 籐竹属(美国加州)^[19]; 竹子(印度曼尼普尔邦)^[28]。

(10) *Helicotylenchus girus* Saha, Chawla and Khan, 1974

寄主: 竹子(印度曼尼普尔邦)^[28]。

(11) 草类螺旋线虫 *Helicotylenchus graminophilus* Fetedar and Mahajan, 1974

寄主: 竹子(印度曼尼普尔邦)^[28]。

(12) 印度螺旋线虫 *Helicotylenchus indicus* Siddiqi, 1963

寄主: 竹子(印度曼尼普尔邦)^[28]。

(13) 假强壮螺旋线虫 *Helicotylenchus pseudorobustus* (Steiner, 1914) Golden, 1959

寄主: 毛竹(中国)^[12]; 籐竹属(美国加州)^[19]; 竹子(印度曼尼普尔邦)^[28]和中国山东^[29]。

(14) 塞沙德尔螺旋线虫 *Helicotylenchus seshadrii* Singh and Khera, 1980

寄主: 竹子(印度曼尼普尔邦)^[28]。

(15) 刻尾螺旋线虫 *Helicotylenchus crenacauda* Sher, 1966

寄主: 金竹(中国云南丽江)^[16]。

(16) 离异肾状线虫 *Rotylenchulus leptus* Dasgupta, Raski and Sher, 1968

寄主: 籐竹属(津巴布韦)^[30]。

1.1.6 异皮科 Family Heteroderidae Filipjev and Schuurmans Stekhoven, 1941

(1) 竹子孢囊线虫 *Heterodera bamboosi* (Kaushal and Swarup, 1988) Mundo-Ocampo, Troccoli, Subbotin and Inserra, 2008

寄主: 竹子(印度)^[31], 之前报道为 *Brevicephalodera bamboosi* Kaushal and Swarup, 1988。

(2) 朝鲜孢囊线虫 *Heterodera koreana* (Vovlas, Lamberti and Choo, 1992) Mundo-Ocampo, Troccoli, Subbotin and Inserra, 2008

寄主: 人面竹(*Phyllostachys aurea* (André) Rivière & C. Rivière) (美国佛罗里达州)^[32]; 紫竹(*Phyllostachys nigra* (Lodd. ex Lindl.) Munro) (美国佛罗里达州^[33]和伊朗吉兰省^[34]); 毛竹(中国江西南昌、浙江临川^[35-36]和韩国庆南省^[37-38]), 韩国种群之前被报道为 *Afenestrata koreana* Vovlas, Lamberti and Choo, 1992。

(3) 海南孢囊线虫 *Heterodera hainanensis* Zhuo, Wang, Ye, Peng and Liao, 2013

寄主: 毛竹(中国海南五指山市)^[39]。

(4) 冯氏孢囊线虫 *Heterodera fengi* Wang, Zhuo,

Ye, Zhang, Peng and Liao, 2013

寄主:毛竹(中国广东广州)^[40]。

(5) 广东袍囊线虫 *Heterodera guangdongensis*

Zhuo, Wang, Zhang and Liao, 2014

寄主:毛竹(中国广东广州)^[41]。

(6) 根结线虫 *Meloidogyne* sp.

寄主:紫竹和黄花竹(金镶玉竹)(中国云南)^[42]; 籐竹属(美国加州)^[19]; 竹子(印度)^[23]。

(7) 南方根结线虫 *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White, 1919) Chitwood, 1949

寄主:金竹(中国云南丽江)^[16]和毛竹(中国)^[12]; 人面竹和籐竹属(美国佛罗里达州)^[15]。

(8) 花生根结线虫 *Meloidogyne arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949

寄主:毛竹(中国)^[12]。

1.1.7 环线虫科 Family Criconeematidae Taylor, 1936

(1) 小环线虫 *Criconemoides* sp.

寄主:紫竹(中国云南)^[42]; *Bambusa ventricosa* McClure 和籐竹属(美国加州)^[19]; 竹子(印度)^[23]。

(2) 拉氏中环线虫 *Mesocriconeema raskiense* (de Grisse, 1964) Andrassy, 1965

寄主:金竹(中国云南丽江)^[16], 之前报道为拉氏小环线虫 *Criconebella raskiensis* (de Grisse, 1964) Luc and Raski, 1981。

(3) 弯曲中环线虫 *Mesocriconeema curvatum* (Raski, 1952) Loof and de Grisse, 1989

寄主:青篱竹属(*Arundinaria* sp.) (美国阿肯色州华盛顿县)^[43]。

(4) 异盘中环线虫 *Mesocriconeema xenoplax* (Raski, 1952) Loof and de Grisse, 1989

寄主:青篱竹属(美国阿肯色州华盛顿县)^[43]。

(5) *Mesocriconeema rusticum* (Micoletzky, 1915) Loof and de Grisse, 1989

寄主:籐竹属(美国加州)^[19], 之前报道为 *Criconemoides lobatum* Raski, 1952。

(6) 可变环线虫 *Criconeema mutabile* (Taylor, 1936) Raski and Luc, 1985

寄主:籐竹属(美国加州)^[19]; 竹子(委内瑞拉), 之前报道为可变小环线虫 *Criconemoides mutabilis* Taylor, 1936。

(7) 德曼环线虫 *Criconeema demani* Micoletzky, 1925

寄主:人面竹(韩国釜山)^[44], 之前报道为 *Not-*

bocriconeema demani (Micoletzky, 1925) de Grisse and Loof, 1965。

(8) 镶边盘环线虫 *Discocriconebella limitanea* (Luc, 1959) de Grisse and Loof, 1965

寄主:金竹(中国云南丽江)^[16]。

(9) 奇氏拟鞘线虫 *Hemicriconemoides chitwoodi*, Esser, 1960

寄主:金竹(中国云南丽江)^[16]。

(10) 紧鞘拟鞘线虫 *Hemicriconemoides strictathecatus*, Esser, 1960

寄主:金竹(中国云南丽江)^[16]。

(11) 荔枝拟鞘线虫 *Hemicriconemoides litchi* Edward and Misra, 1964

寄主:竹子(菲律宾吕宋岛马里基纳市)^[45]。

(12) 芒果拟鞘线虫 *Hemicriconemoides mangiferae* Siddiqi, 1961

寄主:印度籐竹(*Bambusa arundinacea*) (印度泰米尔纳德邦)^[46]。

(13) *Hemicyclophora epicharoides* Loof, 1968

寄主:青篱竹属(美国阿肯色州佩里县)^[47]。

(14) 朱克曼鞘线虫 *Hemicyclophora zuckermani* Brzeski, 1963

寄主:青篱竹属(美国阿肯色州华盛顿县)^[47]。

1.1.8 半穿刺科 Family Tylenchulidae Skarbilovich, 1947

(1) 广州针线虫 *Paratylenchus guangzhouensis* Wang, Li, Xie, Xu and Wu, 2016

寄主:小琴丝竹(*Bambusa multiplex* (Lour.) Raeusch. ex Schult. f.) (中国广东广州)^[48]。

(2) 双花针线虫 *Paratylenchus dianthus* Jenkins & Taylor, 1956

寄主:籐竹属(美国加州)^[19]。

(3) 具钩针线虫 *Paratylenchus hamatus* Thorne and Allen, 1950

寄主:籐竹属(美国加州)^[19]。

(4) 隐针线虫 *Paratylenchus latescens* (Raski, 1976) Siddiqi, 1986

寄主:桂竹(*Phyllostachys bambusoides* Siebold & Zucc.) (美国佛罗里达州)^[49-50], 之前报道为隐细针线虫 *Gracilacus latescens* Raski, 1976。

(5) 双线针线虫 *Paratylenchus bilineata* (Brzeski, 1995) Brzeski, 1998

寄主:竹子(中国台湾)^[51], 之前报道为双线细

针线虫 *Gracilacus bilineata* Brzeski, 1995。

(6) 针尾针线虫 *Paratylenchus aculeata* Brown, 1959

寄主:竹子(中国台湾)^[51],之前报道为针尾细针线虫 *Gracilacus aculeata* (Brown, 1959) Raski, 1962。

(7) 柑橘半穿刺线虫 *Tylenchulus semipenetrans* Cobb, 1913

寄主:籐竹属(美国加州)^[19]。

1.2 滑刃目 Order Aphelenchida Siddiqi, 1980

1.2.1 真滑刃科 Family Aphelenchidae (Fuchs, 1937) Steiner, 1949

燕麦真滑刃线虫 *Aphelenchus avenae* Bastian, 1865

寄主:金竹(中国云南丽江)^[16]。

1.2.2 滑刃科 Family Aphelenchoididae Skarbilovich, 1947

(1) 内卷滑刃线虫 *Aphelenchoides involutus* Minegawa, 1992

寄主:金竹(中国云南丽江)^[16]。

(2) 双尾滑刃线虫 *Aphelenchoides bicaudatus* (Imamura, 1931) Filipjev and Schuumans Stekhoven, 1941

寄主:钓鱼竹(中国云南昆明)^[14]。

1.3 矛线目 Order Dorylaimida Pearse, 1942

长针科 Family Longidoridae Thorne, 1935

(1) 美洲剑线虫 *Xiphinema americanum* Cobb, 1913

寄主:黄秆京竹(中国上海)^[52];籐竹属(美国加州)^[19-20];竹子(印度)^[23]。

(2) 湖南剑线虫 *Xiphinema hunaniense* Wang and Wu, 1992

寄主:金竹(中国)^[12]。

(3) 标明剑线虫 *Xiphinema insigne* Loos, 1949

寄主:方竹(*Chimonobambusa quadrangularis* (Franceschi) Makino) 和金镶玉竹(*Phyllostachys aureosulcata* f. *spectabilis* (C. D. Chu & C. S. Chao) C. D. Chu & C. S. Chao) (中国浙江湖州)^[13];竹子(中国台湾)^[53]。

(4) 移去剑线虫 *Xiphinema elongatum* Schuumans Stekhoven and Teunissen, 1938

寄主:竹子(中国台湾)^[54]。

(5) 根剑线虫 *Xiphinema radicola* Goodey, 1936

寄主:竹子(印度阿萨姆邦 Jorhat 市)^[55],之前报道为 *Xiphinema paradicicola* Phukan and Sanwal, 1982。

(6) *Xiphinema sheri* Lamberti and Bleve-Zacheo, 1979

寄主:大青籐竹[*Arundinaria gigantea* (Walter) Muhl.] (美国佛罗里达州)^[15]。

(7) 考克斯剑线虫 *Xiphinema coxi* Tarjan, 1964

寄主:大青籐竹(美国佛罗里达州)^[15]。

(8) 河南长针线虫 *Longidorus henanus* Xu and Chen, 1992

寄主:竹子(中国北京)^[56]。

(9) 刚果长针线虫 *Longidorus congoensis* Aboul-Eid, 1970

寄主:非洲高地竹(*Arundinaria alpina* K. Schum.) (刚果)^[57-58]。

(10) 拟长针线虫 *Paralongidorus* sp.

寄主:籐竹属(美国加州)^[19];竹子(印度)^[23]。

(11) 肥尾长针线虫 *Californidorus pinguicaudatus* Robbins and Weiner, 1978

寄主:竹子(美国加州)^[59]。

1.4 三矛目 Order Triplonchida Cobb, 1920

毛刺科 Family Trichodoridae (Thorne, 1935) Siddiqi, 1974

(1) 毛刺线虫 *Trichodorus* sp.

寄主:籐竹属(美国加州)^[19];竹子(印度)^[23]。

(2) 南京毛刺线虫 *Trichodorus nanjingensis* Liu and Cheng, 1990

寄主: *Bambusa glaucescens* var. *siviereorum* (Maire) L. C. Chia & H. L. Fung (中国江苏南京)^[60]。

(3) 短小拟毛刺线虫 *Paratrachodorus nanus* (Allen, 1957) Siddiqi, 1974

寄主:籐竹属(美国加州)^[19],之前报道为短小毛刺线虫 *Trichodorus nanus* Allen, 1957。

(4) 胼胝拟毛刺线虫 *Paratrachodorus porosus* (Allen, 1957) Siddiqi, 1973

寄主:方竹和大佛肚竹(*Bambusa vulgaris* f. *waminii* T. H. Wen) (中国浙江湖州)^[13]。

(5) 较小拟毛刺线虫 *Paratrachodorus minor* (Colbran, 1965) Siddiqi, 1974

寄主:籐竹属(美国加州)^[19]。

(6) 圆肌拟毛刺线虫 *Paratrachodorus teres* (Hop-

per, 1962) Siddiqi, 1974

寄主:大青篱竹(美国佛罗里达州)^[15]。

2 竹子寄生线虫的致病性

已报道的竹子寄生线虫种类较少,其致病性的研究更匮乏。不同植物线虫对竹子的影响有差别,其中,剑线虫和拟毛刺线虫中的传毒类群危害最大^[23];短体线虫对竹子的影响仅次于传毒线虫^[23],原因可能是短体线虫可与其他病原物复合侵染;孢囊线虫和根结线虫对竹子也有较大危害^[23];针线虫通常可以在竹子根际大量存在,其他植物线虫对竹子的影响还不清楚。

2.1 剑线虫和拟毛刺线虫

剑线虫和拟毛刺线虫为植物根部迁移性外寄生线虫^[9]。剑线虫可引起根部组织变黑、皮层增厚和侧根增生,甚至造成根部肿大或坏死^[61]。拟毛刺线虫通过取食幼嫩侧根顶端组织,使根尖停止生长和变钝,刺激次生侧根形成;再侵染后形成三级侧根,多次侵染后形成短粗的丛根症状;短粗根无吸收功能,很快死亡,地上部因此衰退或枯死,即短粗根病(stubby root disease)^[62]。已证实9种剑线虫和7种拟毛刺线虫能传播病毒^[62-63],与直接取食危害相比,能够传播植物病毒的线虫危害性更大,我国已将所有传毒线虫列入《中华人民共和国进境有害生物名录》。

竹子上已报道的7种剑线虫和4种拟毛刺线虫中,有2种剑线虫和3种拟毛刺线虫能够传播病毒,分别是美洲剑线虫、考克斯剑线虫和短小拟毛刺线虫、较小拟毛刺线虫、圆肌拟毛刺线虫^[62-63]。在印度,美洲剑线虫是危害竹子的主要植物线虫,对印度竹林产业造成的损伤为15%^[23]。除了美洲剑线虫外,其它几种传毒线虫对竹子的危害仍未可知。

2.2 短体线虫

短体线虫是迁移性专性内寄生线虫,又称根腐线虫,主要通过穿刺、取食皮层薄壁细胞引起根部坏死损伤,导致寄主植物根系统功能丧失,水分和营养的吸收与运输受阻^[64]。此外,由短体线虫引起的坏死损伤可被病原真菌和细菌侵入,导致宿主根部的大面积腐烂,造成更严重的复合病害^[65]。

竹子上已报道5种短体线虫,咖啡短体线虫分布最普遍^[10,20-21],尽管这种线虫是重要的作物病原线虫,但未有其对竹子致病性的报道。作为印度竹子的主要植物线虫,最短尾短体线虫和其他短体线

虫对印度竹林产业造成的损失为10%~12%^[23]。

2.3 孢囊线虫和根结线虫

孢囊线虫和根结线虫为植物根部定居性内寄生线虫^[9]。竹子上报道了5种孢囊线虫^[31,37,39-41],中国报道了4种孢囊线虫^[35-36,39-41],其中,3种仅在我国报道,分别是海南孢囊线虫^[39]、广东孢囊线虫^[40]和冯氏孢囊线虫^[41]。朝鲜孢囊线虫的寄主和地理分布最广^[32-38]。Inserra等^[32]报道了朝鲜孢囊线虫对人面竹的致病性。孢囊线虫2龄幼虫穿刺幼根表皮和皮层薄壁组织,并且在内皮层细胞建立取食位点;线虫持续吸附在紧邻中柱鞘的内皮层细胞的细胞壁上,在用口针刺穿内皮层细胞的细胞壁后取食中柱鞘;线虫的取食诱导中柱鞘细胞膨大,随后,细胞壁溶解,这些细胞融合成合胞体,最后,合胞体因吸收维管薄壁细胞和韧皮细胞而膨大;细胞壁碎片分散在合胞体高浓度的细胞质中,合胞体细胞壁增厚,尤其是在取食位点附近;融合细胞的细胞核过度增大,细胞核表面深度凹陷,内部核仁明显^[32]。

根结线虫可危害印度竹林,造成的损失为4%~5%^[23]。佛罗里达州的人面竹和籐竹属根部发现南方根结线虫,根内还发现了根结线虫雌虫,但没有提到其地上部症状^[15]。南方根结线虫世界性分布,寄主十分广泛;幼虫从卵中孵化后,寻找和穿刺附近的根尖;取食造成根部形成膨大的根结,根结内的雌虫产下卵囊;被侵染的根系统退化,产生许多根结,植株生长不良,表现为叶片失绿和萎焉^[9]。

2.4 针线虫

针线虫主要外寄生在植物根部,口针较短的针线虫侵染植物幼根的表皮细胞,而口针较长的种类能够破坏植物更深层的根部细胞^[66-67]。然而,有报道称,虽在寄主植物根际大量存在某些针线虫,却并未显著影响植株生长^[68]。

Troccoli等^[49]报道了隐针线虫对桂竹的致病性,但没有报道经济损失。隐针线虫的成熟雌虫具有固着性外寄生习性,线形雌虫将长的口针插入根组织,通过口针持续吸附在根的表面,随着生殖腺的成熟,雌虫身体膨大;线虫取食表皮、皮层薄壁组织和厚壁组织,线虫的取食诱导取食位点表皮细胞的细胞壁增厚;口针可以穿透3~4层细胞,然后被细胞质组分的取食管紧紧包裹,使线虫的口针和虫体锚定在根的表面,仅在线虫口针能够探索到的表皮、厚壁组织和在中柱鞘皮层薄壁细胞中观察到取食管;持续取食这些组织导致合胞体的形成,细胞壁溶解

和纹孔场是合胞体的特征;合胞体延伸到皮层薄壁细胞,并且延伸到中柱合并内皮层细胞、中柱鞘、韧皮细胞和维管薄壁细胞;合胞体内可观察到具有肥大细胞核和核仁以及颗粒状细胞质的高浓度的离散细胞,合并到合胞体的内皮层细胞没有细胞壁增厚^[47-48]。全世界已报道6种针线虫,3种口针较短^[17,46],3种口针较长^[47-49],其对竹子生长的影响仍不清楚。

3 讨论

竹子寄生线虫致病性方面的研究极其匮乏,美国报道了朝鲜孢囊线虫和隐针线虫对竹子的致病性研究,仅有根部症状和组织病理学的观察与描述,地上部的症状和经济损失并未提及^[30,36,47-48]。尽管美国的竹子线虫种类十分丰富,它们对竹子的具体危害却鲜有报道^[13]。印度报道了几类线虫对竹林产量的影响,其中,美洲剑线虫和最短尾短体线虫等根腐线虫最受重视^[21]。包括美洲剑线虫在内的美洲剑线虫组(*Xiphinema americanum* group)有近40个形态特征近似的种类,彼此差异不大,很容易混淆^[69]。美洲剑线虫被普遍认为是北美特有的传毒线虫种类,其他地区(包括中国)报道的美洲剑线虫受到质疑,有可能是美洲剑线虫组的其它种类,需要进一步确认^[69-70]。

我国竹子寄生线虫致病性方面的研究较少,未见相关报道。国内竹子上报道的线虫种类中,剑线虫、孢囊线虫和短体线虫的报道较多,但它们对竹子的致病性有待研究。

4 结论

竹子上植物寄生线虫种类丰富,已报道至少82种,其中包括一些重要的种类,如能够传播植物病毒的剑线虫和拟毛刺线虫,定居性内寄生的孢囊线虫和根结线虫,迁移性内寄生的短体线虫以及以外寄生为主的针线虫。中国和美国报道的竹子寄生线虫种类最多,印度其次。

植物寄生线虫的竹子寄主超过22种,大部分竹子种类不易鉴定,其中,25种线虫寄主为籐竹属,26种线虫寄主为竹子(Bamboo),均未鉴定到种。在所有竹子寄主中,金竹和毛竹上报道的寄生线虫种类最多,分别为13种和12种。

5 展望

竹子寄生线虫虽种类较多,但绝大多数种类对

竹子的危害程度尚不清楚,今后可以关注重要线虫对主要竹子生长的影响。

本文大部分数据来自零星报道的相关文献,其中,观赏竹类线虫调查较多,材用竹和笋用竹线虫种类调查较少,有必要系统调查主要经济竹子寄生线虫种类。

竹子的根系发达,植物线虫作为根部病原物,单独危害症状通常不明显。然而,植物线虫可为其他病原的侵入提供条件,加重病害发生。线虫与其他病原物的复合侵染可以作为竹子根部病害重要研究方向之一。

参考文献:

- [1] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.
- [2] 易同培,史军义,马丽莎,等. 中国竹类图志[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [3] Shu J, Wang H. Pests and Diseases of Bamboos[M]//Liese W, Köhl M. Bamboo; the Plant and Its Uses. Switzerland; Springer International Publishing, 2015: 175-192.
- [4] 余德才,翁素红,邹力骏,等. 毛竹林主要害虫工程治理技术[J]. 林业科学研究, 2003, 16(4): 501-505.
- [5] 徐梅卿,戴玉成,范少辉,等. 中国竹类病害记述及其病原物分类地位(上)[J]. 林业科学研究, 2006, 19(6): 692-699.
- [6] 徐梅卿,戴玉成,范少辉,等. 中国竹类病害记述及其病原物分类地位(下)[J]. 林业科学研究, 2007, 20(1): 45-52.
- [7] 周春来,吴小芹,吉静,等. 竹类病害研究进展[J]. 林业科技开发, 2010, 24(5): 8-13.
- [8] 耿胜胜,张威,仲建平,等. 早竹丛枝病的调查及病原菌的分子鉴定[J]. 林业科学研究, 2017, 30(5): 805-811.
- [9] 冯志新. 植物线虫学[M]. 北京:中国农业出版社, 2001.
- [10] Maggenti A R. Nematoda; higher classification[M]//Nickle W R. Manual of Agricultural Nematology. New York; Marcel Decker, 1991: 147-187.
- [11] Hunt D J. Aphelenchida, Longidoridae and Trichodoridae: Their Systematics and Bionomics[M]. Wallingford, UK: CAB International, 1993.
- [12] 赵文霞,杨宝君. 中国植物线虫名录[M]. 北京:中国林业出版社, 2006.
- [13] 谢清云,张海滨,郑炜,等. 湖州出口竹苗内植物寄生线虫种类调查[J]. 植物检疫, 2007, 21(1): 49-50.
- [14] 肖枢,喻盛甫. '99昆明世博会参展植物寄生线虫的检疫初报[J]. 植物检疫, 1999, 13(4): 200-203.
- [15] Turner M. Some Asian Imports That We Don't Need! [EB/OL]. <http://www.bamboo.org/GeneralInfoPages/BambooPests.html>, 2008-10-26/2016-11-18
- [16] 李卫芬,胡先奇,和江明,等. 丽江园林植物寄生线虫调查鉴定[J]. 云南农业科技, 2006(4): 35-37.
- [17] Chen D Y, Ni H F, Yen J H, et al. Identification of stunt nematode *Tylenchorhynchus annulatus* and a new recorded *Tylenchorhynchus leuiterminalis* (Nematoda: Belonolaimidae) in Taiwan [J]. Plant

- Pathology Bulletin, 2006, 15(4): 251 - 262.
- [18] Singh M, Lal M, Rathour K S, *et al.* Two new tylenchid nematode species from India [J]. Indian Journal of Nematology, 2010, 40(2): 216 - 220.
- [19] Siddiqui I A, SA French A M. Distribution of plant parasitic nematodes in California [R]. Department of Food and Agriculture, Sacramento, Calif. (EUA). Div. of Plant Industry, 1973.
- [20] Goodey J B, Franklin M T, Hooper D J, *et al.* The nematode parasites of plants cataloged under their hosts [M]. UK: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1965.
- [21] 後藤昭. 沖繩の主要作物の植物寄生性線虫[J]. 九州病害虫研究会報, 1968(14): 78 - 82.
- [22] Basu S D. Root lesion nematode (*Pratylenchus sp.*) in bamboo hedge [J]. Two and a Bud, 1978, 25(2): 98 - 99.
- [23] Khan M R. Nematodes, an emerging threat to global forests: Assessment and management [J]. Plant Pathology Journal, 2012, 11(4): 99 - 113.
- [24] Peng D L, Siddiqui M R. *Scutellonema cheni* sp. nov. and *S. megascutatum* sp. nov. (Nematoda: Hoplolaimidae) from China [J]. Afro - Asian Journal of Nematology, 1994, 4(2): 197 - 202.
- [25] Saha M, Lal M, Singh M, *et al.* Four new species of Hoplolaimoidea (Nematoda: Tylenchida) from India [J]. International Journal of Nematology, 2000, 10(2): 192 - 198.
- [26] 陈殿义, 陈瑞祥, 颜志恒, 等. 台湾和金门地区螺旋线虫和矛线虫 (Nematoda: Hoplolaiminae) 之种类鉴定 [J]. 植物病理学会刊, 2006, 15(1): 25 - 38.
- [27] Van den Berg E, Tiedt L R, Stanley J D, *et al.* Characterisation of some *Scutellonema* species (Tylenchida: Hoplolaimidae) occurring in Botswana, South Africa, Costa Rica and the USA, with description of *S. clavicaudatum* sp. n. and a molecular phylogeny of the genus [J]. Nematology, 2017, 19(2): 131 - 173.
- [28] Mohilal N, Dhanachand C, Anandi Y. Parasitic nematodes associated with bamboo plants. I. Species of *Helicotylenchus* from Manipur [J]. Uttar Pradesh Journal of Zoology, 2001, 21(1): 69 - 73.
- [29] 袁 辉, 赵从凯, 赵洪海. 山东省纽带亚科线虫种类的鉴定名录 [J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2007, 24(2): 120 - 122.
- [30] Robinson A F, Inserra R N, Caswell-Chen E P, *et al.* *Rotylenchulus* species: Identification, distribution, host ranges, and crop plant resistance [J]. Nematropica, 1997, 27(2): 127 - 180.
- [31] Kaushal K K, Swarup G. Two new cyst nematode species from India [J]. Indian Journal of Nematology, 1988, 18(2): 299 - 306.
- [32] Inserra R N, Vovlas N, Lehman P S. Parasitism of fishpole bamboo roots by *Afenestrata koreana* [J]. Nematropica, 1999, 29(1): 105 - 111.
- [33] Mundo-Ocampo M, Troccoli A, Subbotin S A, *et al.* Synonymy of *Afenestrata* with *Heterodera* supported by phylogenetics with molecular and morphological characterisation of *H. koreana* comb. n. and *H. orientalis* comb. n. (Tylenchida: Heteroderidae) [J]. Nematology, 2008, 10(5): 611 - 632.
- [34] Maafi Z T, Taheri Z M. First Report of Korean Cyst Nematode, *Heterodera koreana*, Parasitic on Bamboo, *Phyllostachys nigra*, from Iran [J]. Journal of Nematology, 2015, 47(3): 167 - 168.
- [35] 王宏洪, 卓 侃, 张洪玲, 等. 孢囊线虫中国新纪录种—朝鲜孢囊线虫 (*Heterodera koreana*) [J]. 植物病理学报, 2012, 42(5): 551 - 555.
- [36] 朱红雪, 田忠玲, 蔡瑞杭, 等. 朝鲜孢囊线虫——浙江省孢囊线虫新纪录种 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2017, 43(1): 81 - 88.
- [37] Vovlas N, Lamberti F, Choo H Y. Description of *Afenestrata koreana* n. sp. (Nematoda: Heteroderinae), a Parasite, of Bamboo in Korea [J]. Journal of Nematology, 1992, 24(4): 553.
- [38] Vovlas N, Lamberti F, Choo H Y. Host response of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) to the cystforming nematode *Afenestrata koreana* [J]. Afro-Asian Journal of Nematology, 1993, 3: 170 - 172.
- [39] Zhuo K, Wang H, Ye W, *et al.* *Heterodera hainanensis* n. sp. (Nematoda: Heteroderinae) from bamboo in Hainan Province, China—a new cyst nematode in the *Afenestrata* group [J]. Nematology, 2013, 15(3): 303 - 314.
- [40] Wang H, Zhuo K, Ye W, *et al.* *Heterodera fengi* n. sp. (Nematoda: Heteroderinae) from bamboo in Guangdong Province, China—a new cyst nematode in the *Cyperi* group [J]. Zootaxa, 2013, 3652(1): 179 - 192.
- [41] Zhuo K, Wang H, Zhang H, *et al.* *Heterodera guangdongensis* n. sp. (Nematoda: Heteroderinae) from bamboo in Guangdong Province, China—a new cyst nematode in the *Cyperi* group [J]. Zootaxa, 2014, 3881(5): 488 - 500.
- [42] 李卫芬, 黄新动, 胡先奇, 等. 云南花卉寄生线虫初步调查 [J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(2): 196 - 200.
- [43] Cordero M A, Robbins R T, Szalanski A L. Taxonomic and molecular identification of *Mesocriconema* and *Criconemoides* species (Nematoda: Criconematidae) [J]. Journal of Nematology, 2012, 44(4): 399 - 426.
- [44] Choi Y E, Geraert E. Criconematids from Korea with the description of eight new species (Nematoda: Tylenchida) [J]. Nematologica, 1975, 21(1): 35 - 52.
- [45] Pinochet J, Raski D J. Four new species of the genus *Hemicriconemoides* (Nematoda: Criconematidae) [J]. Journal of Nematology, 1975, 7(3): 263 - 270.
- [46] Ashokkumar P, Vadivelu S, Mehta U K, *et al.* Occurrence and seasonal variation of *Hemicriconemoides mangiferae* from tropical and subtropical orchards in peninsular India [J]. Nematropica, 1991, 21(2): 167 - 176.
- [47] López M A C, Robbins R T, Szalanski A L. Taxonomic and Molecular Identification of *Hemicaloosia*, *Hemicyclophora*, *Gracilacus* and *Paratylenchus* Species (Nematoda: Criconematidae) [J]. Journal of Nematology, 2013, 45(3): 145 - 171.
- [48] Wang K, Li Y, Xie H, *et al.* Morphology and molecular analysis of *Paratylenchus guangzhouensis* n. sp. (Nematoda: Paratylenchinae) from the soil associated with *Bambusa multiplex* in China [J]. European Journal of Plant Pathology, 2016, 145(2): 255 - 264.
- [49] Troccoli A, Vovlas N, Inserra R N. Parasitism of timber bamboo roots by *Gracilacus latescens* raski, 1976 and morpho-biological notes on mature and immature life stages [J]. Nematropica, 2002, 32

- (1): 87 - 102.
- [50] Inserra R N, Achor D, Duncan L W, *et al.* Ultrastructure of the attachment and feeding sites of *Gracilacus latescens* Raski, 1976 in timber bamboo roots and selected anatomical details of the female stylet [J]. *Nematology*, 2003, 5(2): 307 - 312.
- [51] Chen D Y, Ni H F, Tsay T T, *et al.* Identification of *Gracilacus bilineata* and *G. aculeata* (Nematoda: Criconematoidea, Tylenchulidae) among bamboo plantations in Taiwan [J]. *Plant Pathology Bulletin*, 2008, 17(3): 209 - 220.
- [52] 宋绍祎, 高辉, 周国梁. 盆景植物线虫种类的研究 I. 湖南剑线虫 [J]. *上海农业学报*, 1998, 14(2): 73 - 75.
- [53] 陈殿义, 倪蕙芳, 颜志恒, 等. 台湾地区剑线虫 *Xiphinema insigne* 之变异性 [J]. *植物病理学会刊*, 2004, 13(2): 127 - 142.
- [54] 陈殿义, 倪蕙芳, 颜志恒, 等. 台湾地区剑线虫 *Xiphinema elongatum* 之变异性 [J]. *植物病理学会刊*, 2004, 13(1): 45 - 60.
- [55] Luc M, Loof P A A, Coomans A. Description of *Xiphinema thorneanum* n. sp. and observations on some species of the genus (Nematoda: Longidoridae) [J]. *Revue de Nématologie*, 1986, 9(4): 337 - 346.
- [56] Zheng J, Peng D, Robbins R T, *et al.* Description of *Longidorus hangzhouensis* sp. n. (Nematoda: Longidoridae) from Zhejiang Province, new geographical records of *L. henanus* Xu & Cheng, 1992, and an identification key for *Longidorus* species occurring in China [J]. *Nematology*, 2001, 3(3): 219 - 227.
- [57] Aboul-Eid H Z. Systematic Notes On *Longidorus* and *Paralongidorus* [J]. *Nematologica*, 1970, 16(2): 159 - 179.
- [58] Halbrecht J M, Robbins R T, Vrain T C, *et al.* *Longidorus*, *Paralongidorus* and *Xiphinema* species with three juvenile developmental stages [J]. *Mededelingen-Faculteit Laddbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen*, 1997, 62: 691 - 700.
- [59] Robbins R T, Weiner A C. *Californidorus pinguicaudatus* n. gen., n. sp. from California (Nematoda: Longidoridae) [J]. *Revue de Nématologie*, 1978, 1(2): 189 - 195.
- [60] Zheng J, Jiang L, Liang D, *et al.* Three trichodorid species (Nematoda: Trichodoridae) occurring in China [J]. *Helminthologia*, 2004, 41(1): 39 - 44.
- [61] Hunt D J, Towle A. Feeding studies on *Xiphinema vulgare* Tarjan, 1964 (Nematoda: Longidoridae) [J]. *Revue de Nématologie*, 1979, 2: 37 - 40.
- [62] Decraemer W. The family Trichodoridea; Study root and virus vector nematodes [M]. London: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [63] Taylor C, Brown D. Nematode Vectors of Plant Viruses [M]. UK: CAB International, 1997.
- [64] Potter J W, Olthof T A. Nematode pests of vegetable crops [M] // Evans E K, Trudgill D L, Webster J M. *Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture*. Wallingford, UK: CAB International, 1993: 171 - 207.
- [65] LaMondia J A. Interaction of *Pratylenchus penetrans* and *Rhizoctonia fragariae* in strawberry black root rot [J]. *Journal of Nematology*, 2003, 35(1): 17 - 22.
- [66] Siddiqi M R. Tylenchida: Parasites of Plants and Insects, 2nd Edition [M]. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2000.
- [67] Čermák V, Renčo M. The family Paratylenchidae Thorne, 1949 in the rhizosphere of grass and woody species in Europe: a review of the literature [J]. *Helminthologia*, 2010, 47(3): 139 - 146.
- [68] Loof P A A. *Paratylenchus projectus*. CIH Descriptions of Plant-parasitic Nematodes. Set 5, No. 71 [M]. UK: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1975.
- [69] Lamberti F, Molinari S, Moens M, *et al.* The *Xiphinema americanum* group. I. Putative species, their geographical occurrence and distribution, and regional polytomous identification keys for the group [J]. *Russian Journal of Nematology*, 2000, 8(1): 65 - 84.
- [70] 武扬. 中国剑线虫属主要种群的形态学与分子分类研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2007.

(责任编辑:徐玉秀)