

A Study of Historical Investigation on the Main Alien Forest Invasive Species *Bursaphelenchus xylophilus* in Guangdong

Bo Zhang¹, Xiaowen Lin², Weixi Xiao³, Yueqing Tan⁴, Xuliang Zhu⁴, Weiwen Lai², Xuelun Jiang², Anqiang Xiang^{2*}

¹Agriculture Training Center, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong

²School of Public Management, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong

³School of Humanities and Law, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong

⁴Boluo Agriculture Promotion Centre of Guangdong, Boluo Guangdong

Email: *xianganqiang@126.com

Received: Jul. 10th, 2015; accepted: Jul. 22nd, 2015; published: Jul. 28th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Bursaphelenchus xylophilus is one of the major agricultural and forest invasive species in Guangdong, which has caused severe damage towards stability of domestic species and ecology system. The invasion of the *Bursaphelenchus xylophilus* can be divided into three phases: initial invasion and partial occurrence, invasion spreading and damage appearance, damage enlarging and comprehensive treatment. The rapid spreading of the *Bursaphelenchus xylophilus* in Guangdong is mainly through two approaches including human behavior and natural dissemination.

Keywords

Bursaphelenchus xylophilus, Alien Invasive Species, Historical Investigation, Guangdong Forest

广东林业重要外来有害生物松材线虫入侵的历史考察

张波¹, 林孝文², 萧卫堉³, 谭悦庆⁴, 朱旭良⁴, 赖韦文², 江雪伦², 向安强^{2*}

*通讯作者。

¹华南农业大学, 农事训练中心, 广东 广州

²华南农业大学, 公共管理学院, 广东 广州

³华南农业大学, 人文与法学学院, 广东 广州

⁴广东省博罗县农业技术推广中心, 广东 博罗

Email: xianganqiang@126.com

收稿日期: 2015年7月10日; 录用日期: 2015年7月22日; 发布日期: 2015年7月28日

摘要

松材线虫是广东地区重要的林业外来入侵生物, 对本土松林种类及林业生态系统的功能稳定性造成严重威胁。广东地区松材线虫的入侵可分为三个历史阶段: 入侵初期与局部发生时期、蔓延与危害时期及危害扩大与综合防治时期。松材线虫在广东快速扩散蔓延主要通过人为和自然两种传播途径。

关键词

松材线虫, 外来入侵生物, 历史考察, 广东林业

1. 引言

以开放著称的广东, 对于外来生物似乎也非常“开放”, 这里已是我国生物入侵重灾区之一。广东温和的气候、充沛的降水等生态环境为外来生物提供了适宜的生存空间和条件。据统计, 在 200 种外来入侵生物中, 广东省就有近 90 种。2003 年国家环保总局公布的首批 16 种外来入侵物种名单中, 广东为 12 种, 占 75% [1]。入侵生物对广东生态环境造成不同程度的破坏, 威胁农林业生产安全, 导致广东经济损失巨大。

外来入侵生物松材线虫, 是松材线虫病的病原。广东现有 4300 多万亩松林, 松材线虫病被视为松林的癌症, 往往对松林造成毁灭性打击, 对林业生态、林业经济造成重大损失。松材线虫自入侵广东以来, 其导致的松材线虫病成为林业有害生物发生危害的主要种类[2]。学术界对于松材线虫导致的松材线虫病研究颇丰, 绝大多数研究成果都集中在自然科学领域, 如松材线虫病的病理学与生物防治研究, 但针对广东地区的研究较少, 仅有五篇, 包括松材线虫病发生规律研究[3], 松材线虫病发生现状及防控措施[4]-[6], 松材线虫病防控问题研究[7]等。广东作为我国早期松材线虫病重疫区, 至 2010 年累计受灾面积约占全国四分之一。对广东地区松材线虫入侵进行历史考察, 有助于了解松材线虫入侵的过程及趋势, 具有一定现实意义与学术价值。基此, 本文在前人研究基础上, 对松材线虫在广东地区的入侵历史作初步探究。

2. 松材线虫入侵机理及危害

2.1. 松材线虫简介

松材线虫最早在 1929 年由美国 Steiner 和 Buhner 两人发现, 1934 年命名为 *Aphelenchoide xylophilus* [8] [9]。松材线虫分类地位为线虫门(Nematoda)、侧尾腺纲(Secementea)、滑刃目(Aphelenchida)、滑刃亚目(Aphelenchidae)、滑刃科(Aphelenchoididae)、伞滑刃亚科(Bursaphelenchinae)、伞滑刃属(Bursaphelenchus) [10]。松材线虫雌、雄两性成虫虫体细长, 呈蠕虫形, 长约 1 mm。唇区高, 级缩显著; 口针细长, 其基

部微微增厚,使口针基结清晰;中食道球卵圆形,占体宽的 2/3 以上,几乎充满体腔,瓣膜清晰,食道腺细长叶状,模糊,覆盖于肠背面;排泄孔的开口大致和食道与肠的交接处平行;半月体在排泄孔后约 2/3 体宽处[8]。

松材线虫本身活动范围有限,移动能力一般仅在寄主体内活动,自然传播方式主要靠媒介昆虫。松墨天牛(*Monochamus alternatus*)等媒介昆虫不但将线虫传带至适合的寄主上,同时还可造成有利于线虫侵入的伤口[11]。通过调查和人工接种研究,松材线虫可寄生 108 种针叶树,其中松属(*Pinus*)植物 80 种(变种、杂交种),雪松属(*Cedrus* spp.)、冷杉属(*Abies* spp.)、云杉属(*Picea* spp.)、落叶松属(*Larix* spp.)和黄杉属(*Pseudotsuga* spp.)等非松属针叶植物 27 种自然条件下感病的松属植物 45 种(中国 9 种),非松属植物 13 种;人工接种感病的松属植物 18 种,非松属植物 14 种[12]。

2.2. 松材线虫病简介

松材线虫真正危害林业安全的是其作为病原的松材线虫病。松材线虫病(*Bursaphelenchus xylophalus*)又称松树线虫萎蔫病、松树萎蔫病、松树枯萎病,最早发生在北美洲地区,后迅速在世界范围内蔓延,是我国禁止入境的动植物检疫对象。该病于 1982 年在我国南京中山陵首次发现后,10 年间安徽、广东、山东、浙江相继发生,现已成为我国毁灭性的森林病害。松树感病后一般 2~3 个月内死亡,国内外尚未有效的防治方法,其在日本危害严重并造成极大损失[3] [4]。松褐天牛、墨天牛是其主要传播昆虫,松材线虫通过入侵树体,寄生在松树体内取食营养而导致树木快速死亡[13]。

研究得知,松材线虫病的危害大多从树冠上部开始出现症状,松树从出现症状到整株枯死所需时间因季节而异,在 5~9 月,只需 1 个月时间,冬春季病程较长,可达 2 个月。松树感染松材线虫病初期,感病枝梢针叶失绿变黄,嫩枝上可见到松褐天牛取食补充营养的痕迹;随后失绿变黄的感病枝梢逐渐增多,针叶相继出现红褐色萎蔫,由局部发展到整树针叶出现萎蔫,直到全株枯萎死亡。这时,针叶不萎缩,长时间内不脱落,树脂分泌停止,通常能够观察到松褐天牛产卵的刻槽,并陆续出现其它松树蛀干害虫的危害。此外,被松材线虫侵染枯死的树木,伴随着真菌生长,木质部往往有蓝变的症状[14]。

2.3. 传播与发病机理

2.3.1. 传播机理

松材线虫借助松褐天牛(*Monochamus alternatus*)、墨天牛(*Monochamus calolinensis*)两种昆虫的活动传播,主要寄生在马尾松、黑松、湿地松等松属植物。梳理文献,还未发现有研究者证明松材线虫究竟如何入侵我国并传入广东的。但是,关于松材线虫病的发病及传播机理则有深入的研究结果。如图 1 所示,松材线虫传播主要有自然传播和人为传播两种途径。由此看来,松材线虫传入我国有两种可能方式,一是通过松褐天牛、墨天牛等传入我国境内,一种是通过贸易木材进口传入我国境内。自然途径传播是指松材线虫以松褐天牛、墨天牛等昆虫为传播媒介,借天牛进行传播和扩散[11]。松褐天牛在健康松树上取食枝条、产卵时侵入松树体内。松材线虫和天牛共栖于病死松木,松材线虫在天牛羽化出孔前进入天牛体内,在天牛体上随天牛离开病木,在天牛的生活过程中,逐渐脱落,脱落的同时或随后,通过天牛在健康树上补充营养和在衰弱树上产卵所造成的伤口而侵入树体,在健康的树木上造成新的病害。松褐天牛、墨天牛等昆虫又具有长距离飞行能力,间接增强了所携带松材线虫的扩散能力。人为途径传播是指携带松材线虫的病木、松木半成品、成品等因调运而扩散。病木上的松材线虫接触到健康松树木,通过染病机理,从而使松木致病。这个过程当中,病木及其制品流通管理难度大,加快了病害蔓延。由于对病害缺乏足够的认识,在经济利益的驱动下,部分群众偷砍、收购、加工、运输病木及其制品的现象时有发生,造成了松材线虫从病区向非病区扩散蔓延[15]。

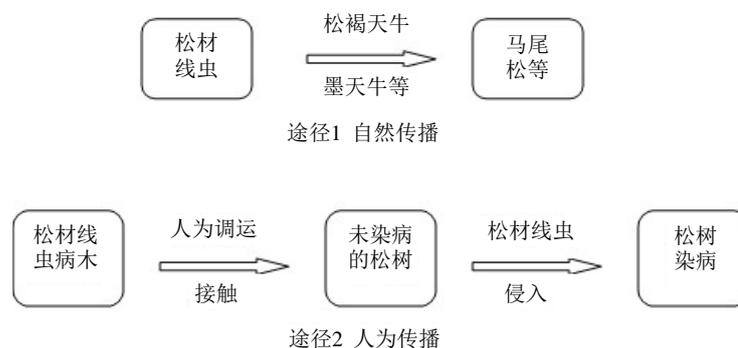


Figure 1. Two approaches of spreading of *Bursaphelenchus xylophilus*

图 1. 松材线虫传播的两种途径

2.3.2. 致病机理

松材线虫作为病原的松材线虫病至今难以得到有效的防治，是因为其致病机理非常复杂，学术界仍未研究清楚。国内外学者对松材线虫病致病机理主要有三种观点：1) 松材线虫分泌的酶破坏了松树薄壁细胞的壁和膜，导致松树死亡；2) 松材线虫入侵松树后，树体内出现了导致松树死亡的毒素；3) 松材线虫入侵松树后，树体内挥发性物质增加，管胞中形成空洞，致使松树体内水分输导受阻，松树萎蔫死亡[16]。

2.3.3. 发生机理与潜伏期

有学者通过对健康树的内生细菌与病害关系进行研究，选取马尾松水培离体作接种材料，初步研究出健康马尾松的内生细菌与病害的关系，首次发现松树茎部内生细菌与松材线虫病的发生有非常密切关系[17]。松材线虫病的发生和发展涉及到寄主(松树)，媒介(昆虫)、病原(松材线虫)及有关微生物(真菌、细菌)等多种生物因素。这此因素相互之间构成复杂关系，给致病机理的研究工作增加了难度[18]。

研究发现，松材线虫病具有一定时期的潜伏期。由于松褐天牛的羽化期长，补充营养传播松材线虫的时间也很长，造成松树感染的时间不同，天牛传到松树上的线虫量也不同。同时，不同松树个体的长势有差异，对松材线虫的抗性在松树间也存在个体差异。松材线虫在部分松树体内存在后，其松树在当年并未表现外部症状，而在次年死亡[19] [20]。

2.4. 松材线虫病在广东的分布与危害

广东疫区的发病树种、气候条件及环境因素与国内外其它疫区有很大的不同[3]。广东年平均气温在15℃以上，气候环境极适合松材线虫生长、松材线虫病发生。其在广东每年的发病时间为5~12月，5月底或6月初开始发病，此后疫情迅速加重，7月份发生的病树最多，8月份逐渐下降，10月份再度回升[4]。广东地区的气候条件，客观上为松材线虫病的爆发提供了有利的环境因素，加重了防治工作的压力。

一个地区出现松材线虫病，说明当地出现松材线虫，有虫才有病。梳理各报纸对广东松材线虫病的报道，发现自1988年松材线虫入侵广东以来，为控制松材线虫病疫情被迫砍掉松林面积累计200多万亩。广东是全国多个省份中松材线虫病受灾情况最为严重的之一。

根据1997年有学者研究的当时广东松材线虫害分布状况[3]，可知松材线虫入侵广东前10年的大致危害分布，即深圳及临近的东莞、惠州等地区受灾最为严重。

2005年国家林业局公布，广东受灾地区包括广州市白云区、天河区、黄埔区、从化市、增城市，深圳市龙岗区、宝安区，东莞市，惠州市惠城区、惠阳区、博罗县、惠东县共12个县区[21]。

2009年，有研究人员应用定量方法估计我国松材线虫病的适生性分布[22]，指出位于我国南端的广

东省, 是多个南方省份之中松材线虫病受灾分布点较为密集的省份, 不仅靠近内陆的市县分布点较多, 沿海岸线也能观察到密集分布点。

2010年广东仍有8个地级市23个县级行政区发生松材线虫病疫情, 发生面积超过21万亩, 约占全国发生面积的四分之一[23]。

根据2011年最新统计, 广东疫区已经扩大到广州大部分地方, 及汕头、韶关、梅州、肇庆的部分地区[7]。可见松材线虫入侵26年以来, 广东松材线虫病的受灾面积不断扩大、灾情蔓延, 防治工作严峻。

3. 广东松材线虫入侵的历史阶段

广东地区松材线虫对于林业危害具有范围广、面积大、防治难等特点, 其入侵的历史阶段大致可以分为入侵初期与局部发生时期(1988~1995)、蔓延与危害时期(1996~1997)及危害扩大与综合防治时期(1998~至今)三个不可分割, 紧密联系的阶段。每个阶段的危害程度都与松材线虫的致病机理及传播机理(包括自然传播和人为传播两条途径)密切相关。

3.1. 入侵初期与局部发生时期(1988~1995)

1986年我国把松材线虫定为对外动植物检疫对象。沙头角植检人员把现场检疫松材线虫和林区监测作为重点任务, 不定期进行调查[24]。广东松材线虫病于1988年6月首次在深圳沙头角梧桐山脉一带发现, 疫区面积约为1.13万 hm^2 , 病树4658株[4]。沙头角的松材线虫灾害来源于毗邻的香港地区, 依靠松褐天牛进行传播。

深圳是广东松材线虫病首发疫区, 是松材线虫首先入侵地区, 也是广东第一个对松材线虫病的形成、发展规律进行研究的地区。1993年, 由广东森防站和深圳市绿化委员会等单位承担的国家科委重点课题“松材线虫病疫情变动规律及控制措施研究”, 历经数年, 并取得阶段性成果[5]。在此研究的基础上, 深圳市有关部门制定建立隔离林带, 对入境木材严格检疫, 及时清除病死松木等一系列松材线虫病防治措施。经过自然科学界针对松材线虫病病原体(松材线虫)、传播媒介、发病规律、防治方法等大量的研究, 人们已经总结出系列综合防治的方法和措施。如建立隔离林带等, 及时清除松林中病木, 综合利用化学、生物、营林、检疫等措施手段。

从表1的数据来看, 深圳发现松材线虫病之初, 只有深圳地区才有相关统计数据, 一直到1996年开始, 才有惠州、东莞等地关于灾害发生面积和病树数量的统计数据。深圳、东莞、惠州、广州等四个城市是广东松材线虫病历年发生情况最为严重的地区。早在1995年, 松材线虫已扩散传播到与深圳毗邻的惠州、东莞两市林区[25]。

该时期内, 深圳采取了设立隔离林带以控制松材线虫的扩散。深圳在与内地相邻地区, 建成一条长86 km, 宽4 km, 总面积2.6万公顷的阔叶树隔离林带; 为防止疫区内病木外流, 设立了12个木材检疫哨卡, 全天24小时值班; 对隔离带内疫情严重地区实行“小片皆伐”, 并用化学药剂喷杀松褐天牛, 成功地将病情控制在隔离带内, 保障了广东及毗邻省区的松林安全[5]。隔离带的设立, 在松材线虫入侵与松材线虫病局部发生时期有一定的作用, 但是随着时间的推移, 隔离带控制松材线虫病情扩散的效果日益变差。

3.2. 蔓延与危害时期(1996~1997)

该时期, 松材线虫病害迅速在深圳地区松林扩散蔓延, 疫情持续加重。到了1996年, 松材线虫突破隔离林带传播, 侵入与深圳市相邻的惠州市和东莞市, 广东的松材线虫病受灾面积快速扩大, 病树数量迅速增加。至1997年, 广东松材线虫病疫区面积上升到1.66万 hm^2 , 病树105,334株, 累计枯死松树449,286

Table 1. Statistics of occurrence of *Bursaphelenchus xylophilus* in Guangdong from 1988 to 1997

表 1. 1988~1997 年广东松材线虫病历年发生情况表

| 年份 | 疫情面积(万 km ²) | | | 病树(株) | | | 合计 | |
|------|--------------------------|------|------|--------|--------|--------|------|---------|
| | 深圳 | 惠州 | 东莞 | 深圳 | 惠州 | 东莞 | 面积 | 病树 |
| 1988 | 1.13 | | | 4658 | | | 1.13 | 4658 |
| 1989 | 1.4 | | | 46,134 | | | 1.49 | 46,134 |
| 1990 | 1.4 | | | 26,775 | | | 1.4 | 26,775 |
| 1991 | 1.55 | | | 29,390 | | | 1.55 | 29,390 |
| 1992 | 1.28 | | | 52,000 | | | 1.28 | 52,000 |
| 1993 | 1.03 | | | 55,686 | | | 1.03 | 55,686 |
| 1994 | 0.68 | | | 51,200 | | | 0.68 | 51,200 |
| 1995 | 0.44 | | | 6738 | | | 0.44 | 6738 |
| 1996 | 0.4 | 0.15 | 0.13 | 3071 | 47,300 | 21,000 | 0.67 | 71,371 |
| 1997 | 0.27 | 1.06 | 0.34 | 2334 | 52,000 | 51,000 | 1.67 | 105,334 |
| | | | | | | | 病树累计 | 449,286 |

(资料来源: 参考文献[3])。

株[4]。从表 1 数据可以看到, 1996~1997 年间广东松材线虫从深圳疫区蔓延至东莞、惠州两市, 危害更大范围的林业。松材线虫入侵惠州、东莞市两年时间, 惠州市松材线虫病受灾面积从 0 增加到 0.15 hm² 再剧增到 1.06 hm², 病树数量从 0 到 473,000 株再增加到 52,000 株; 东莞市受灾面积从 0 增加到 0.13 hm² 再扩大到 0.34 hm², 病树数量从 0 到 21,000 株再增加到 51,000 株。广东松材线虫首先发现地是在深圳市, 集中的受灾疫区为深圳市、东莞市和惠州市。深圳松材线虫病受灾面积和病树数量自 1993 年起有明显降低, 而惠州、东莞两个松材线虫蔓延地区的松材线虫病疫情却不断加重。可见松材线虫蔓延至气温、树种等更加符合其适生性条件的地区, 其危害更严重。

3.3. 危害扩大与综合防治时期(1998~至今)

1998 年, 广东启动国家级松材线虫病工程治理试点项目, 综合应用化学、人工、生物、物理、营林等防治技术措施, 试图控制惠州、东莞、深圳等市松材线虫的扩散、松材线虫病成灾情况。但 2000 年在广州市白云区太和镇新发现松材线虫病疫情, 证实松材线虫已入侵广州。根据 2003 年调查统计, 广东发生松材线虫病的县级行政区有 15 个, 发生面积 2.076 万 hm² [4]。2005 年国家林业局公布, 广东松材线虫病受灾地区包括广州市白云区、天河区、黄埔区、从化市、增城市, 深圳市龙岗区、宝安区, 东莞市, 惠州市惠城区、惠阳区、博罗县、惠东县共 12 个县区[21]。2010 年有 8 个地级市 23 个县级行政区发生松材线虫病疫情, 发生面积超过 21 万亩, 约占全国发生面积的四分之一[23]。根据 2011 年最新统计, 松材线虫已经传播扩散到广州大部分地方, 汕头、韶关、梅州、肇庆的部分地区[7]。

借鉴深圳市 1993 年的松材线虫病防治措施及经验[5], 惠州市于 2001 年, 在国家级松材线虫病治理工程区内, 采用及时、高强度清理病死树措施或一次性皆伐更新的办法, 同时在治理工程区的不同发生类型区推广应用引诱剂、昆虫天敌、化学杀虫剂等防治方法, 取得良好的防治效果[25]。深圳、惠州市是松材线虫早期入侵的城市, 其防治方法为遭受松材线虫入侵的其他城市提供了借鉴经验。至 2012 年, 大致将广东松材线虫病发生面积控制在 10 万 hm² 左右, 但防治工作依然任重道远。

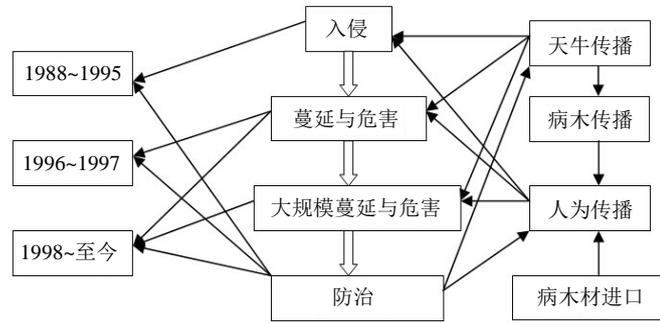


Figure 2. Invasion process of *Bursaphelenchus xylophilus*

图 2. 广东地区松材线虫入侵过程示意图

4. 广东松材线虫入侵的过程分析

松材线虫入侵广东的历史，大致可以分为入侵初期与局部发生时期(1988~1995)、蔓延与危害时期(1996~1997)及危害扩大与综合防治时期(1998~至今)，其入侵过程详见图 2。每一个时期，松材线虫的蔓延和危害，皆通过两种途径传播，即自然传播和人为传播。自然传播，主要靠松褐天牛和墨天牛两种天牛传播。人为传播，一是进口送木材检疫过程中一些复杂的因素，如人为疏忽、物流量大等原因未能检疫出带病木材，流入境内从而得到传播；二是境内松材装卸货过程中，人为疏忽将病木与健康送木材混合堆放，病木中的松材线虫通过传播媒介松褐天牛将病害感染健康木材。

广东地区经济贸易交流频繁，松材线虫通过自然和人为途径在这种经贸活动过程中得到传播，并且难以防治。防治工作一方面从自然途径的重点即松褐天牛、墨天牛等传播媒介入手，另一方面则从人为途径的木材进口检疫、运输、发现病木入手，综合利用化学、生物、营林、检疫等措施手段。

5. 结语

松材线虫最早发生在北美洲地区，后迅速在世界范围内蔓延，是国际上公认的重要检疫性有害生物，为我国禁止入境的动植物检疫对象，也是广东林业病害的重要类型之一。广东于 1988 年 6 月首次在深圳沙头角梧桐山脉一带发现松材线虫病情，即标志着松材线虫已入侵广东深圳。2010 年，广东已有 8 个地级市 23 个县级行政区发生松材线虫病疫情，发生面积超过 21 万亩，约占全国发生面积的四分之一。松材线虫在广东危害面积大，范围广，给林业造成重大的损失。松材线虫入侵广东的历史，大致可以分为入侵初期与局部发生时期(1988~1995)、蔓延与危害时期(1996~1997)以及危害扩大与综合防治时期(1998~至今)三个阶段。入侵初期与局部发生时期主要在深圳市局部发生并造成危害，蔓延与危害时期则从深圳市疫区扩大到东莞、惠州两市，危害扩大与综合防治时期便开始在广东省内大范围扩大并形成危害，综合防治受到重视并得到加强。三个不同的历史阶段并不是相互割裂分离的，而是密切相关、紧密联系的，并且前一时期是导致后一时期发生的重要原因。自松材线虫入侵广东以来，防治工作一直是重点及难点，虽然最近几年广东控制松材线虫病疫情工作取得一定成效，但仍然存在一些问题，防治工作任重道远。

基金项目

广东省博罗县农业技术推广中心——华南农业大学合作科研项目“广东农业重要外来生物入侵的历史与启示——以惠州市博罗县为中心的调研”(项目编号：华农研横字 7700-H13510)。

参考文献 (References)

- [1] 曹斯, 刘俊, 卞德龙 (2012) 不速生物客来势汹汹. *南方日报*, 2012-7-16(A12).

- [2] 林绪平 (2009) 广东林业有害生物防控现状与对策的思考. *广东林业科技*, **5**, 107-110.
- [3] 余海滨, 陈沐荣 (1999) 广东松材线虫病发生规律研究. *云南农业大学学报*, **S1**, 103-110.
- [4] 叶燕华, 余海滨, 林绪平 (2005) 广东省松材线虫病的发生现状及防控措施. *广东林业科技*, **2**, 73-75.
- [5] 王淑英 (1993) 深圳控制松材线虫病研究取得阶段性成果. *森林病虫害通讯*, **3**, 31.
- [6] 方天松, 余海滨, 王忠 (2007) 广东省黑松感染松材线虫病. *林业建设*, **6**, 46-48.
- [7] 梁玮莎, 方天松 (2012) 广东松材线虫病防控进展存在问题与对策. *绿化与生活*, **7**, 34-37.
- [8] 马以桂, 高崇省, 赵森 (1997) 松材线虫. *天津农业科技*, **3**, 32-38.
- [9] Steiner, G. and Buhner, E.M. (1934) *Aphelenchoides xylophilus* n. sp., a nematode associated with blue-stain and other fungi in timber. *Journal of Agricultural Research*, **48**, 949-951.
- [10] Nickle, W.R. (1970) A taxonomic review of the genera of the Aphelenchoidea (Fuchs, 1937) Thorne, 1949 (Nematoda: Tylenchida). *Journal of Nematology*, **2**, 375.
- [11] 谢立群, 巨云为, 赵博光 (2007) 松材线虫传播机理的研究进展. *安徽农业科学*, **35**, 5798-5800.
- [12] 王明旭 (2007) 松材线虫发病条件的研究概况. *湖南林业科技*, **5**, 4-10.
- [13] 杨振德, 赵博光, 郭建 (2003) 松材线虫行为学研究进展. *南京林业大学学报(自然科学版)*, **1**, 87-92.
- [14] 范军祥, 黄焕华, 钱明惠 (2008) 松材线虫病的诊断方法探讨. *广东林业科技*, **5**, 52-55.
- [15] 高文 (2009) 松材线虫病的发生及防治. *现代农业科技*, **3**, 142-145.
- [16] 王敏敏, 叶建仁, 潘宏阳 (2006) 松材线虫病致病机理和防治技术研究进展. *南京林业大学学报(自然科学版)*, **2**, 103-107.
- [17] 谈家金, 叶建仁 (2003) 松材线虫病致病机理的研究进展. *华中农业大学学报*, **6**, 613-616.
- [18] 郭道森, 赵博光, 李周直 (2000) 松材线虫病致病机理的研究进展. *南京林业大学学报*, **4**, 64-68.
- [19] 杨宝君, 胡凯基, 王秋丽, 等 (1993) 松树对松材线虫抗性的研究. *林业科学研究*, **3**, 249-255.
- [20] Mamiya, Y. (1983) Pathology of pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. *Annual Review of Phytopathology*, **21**, 201-220.
- [21] 齐联 (2005) 国家林业局公布最新松材线虫病疫区. *中国绿色时报*, 2005-2-24(A1).
- [22] 冯益明, 张海军, 吕全 (2009) 松材线虫病在我国适生性分布的定量估计. *林业科学*, **2**, 65-71.
- [23] 黎明 (2010) 广东出狠招阻击松树“癌症”松材线虫病. *中国绿色时报*, 2010-4-27(A3).
- [24] 深圳沙头角动植物检疫所 (1983) 深圳沙头角发现马尾松萎蔫线虫病. *植物检疫*, **4**, 257-258.
- [25] 陈沐荣, 谢诚, 陈纪文 (2003) 惠州松材线虫病综合控制技术措施及其效果评价. *中国森林病虫害*, **4**, 40-42.