

RISK ASSESSMENT AND COUNTERMEASURES OF
PINE WOOD NEMATODE DISEASE IN CHINA

中国松材线虫病 危险性评估及对策

张星耀 吕 全 冯益明 石 雷 © 著
梁 军 严东辉 刘振宇



科学出版社

中国松材线虫病危险性评估及对策

张星耀 吕 全 冯益明 石 雷 著
梁 军 严东辉 刘振宇

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

松材线虫病的危险性评估是实现病害大范围内可持续控制的基础和重要依据。本书依据制约松材线虫病发生和扩散蔓延的四个基本条件即病原松材线虫、传播媒介松墨天牛、环境气候条件和寄主植物的基本特征,应用模糊综合评判、地理信息系统和地统计学等理论与方法,建立评估模型,直观定量地描述松材线虫病在我国的潜在分布范围和评价各个省、直辖市、自治区及县级行政区划的病害发生危险等级,为具体地区松材线虫病防治的策略运用和生产规划提供科学依据。

本书的读者对象包括科研工作人员、大专院校师生以及林业生产和森林病虫害防治部门的行政官员和管理人员。

图书在版编目(CIP)数据

中国松材线虫病危险性评估及对策/张星耀等著. —北京:科学出版社, 2011
ISBN 978-7-03-032543-3

I. ①中… II. ①张… III. ①松属—松材线虫病—病虫害防治 IV. ①S763.712.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 208193 号

责任编辑:张会格 莫结胜 雷 旻/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

天 时 彩 色 印 刷 有 限 公 司 印 刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011 年 11 月第一次印刷 印张:24 1/2

字数:576 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着全球化的进程，在世界范围内越来越频繁的人类活动，使大量生物物种进入一个全新的生态系统。在全球范围的尺度上，生物交流成为决定生物多样性变化的重要因素之一，生物入侵被纳入显著影响全球环境变化的因子之内。外来入侵物种在全球范围内普遍存在，几乎涉及各个生物分类单元和各种生态系统。入侵物种能够在基因水平、物种水平和生态系统水平上造成对环境和社会经济不可逆转的显著影响。入侵物种的控制管理不仅包括对其直接危害的预防、控制和减轻，还包括对间接造成生态服务损失的管理。

外来入侵物种是全球范围内生物多样性保护、农林业可持续发展和国际贸易的最大障碍，给入侵地生态系统和国土安全造成灾害性的损失。据统计，近年来我国林业入侵种每年严重发生与危害的面积约 150 万 hm^2 ，造成经济、社会和生态损失达 560 亿元，给我国生态环境、生物多样性和社会经济带来巨大损失。其中引起松材线虫病的松材线虫被列为我国第一大林业外来有害生物。松材线虫病又称松树枯萎病、松树萎蔫病、松材线虫萎蔫病，是以松材线虫为主导病原的，综合有媒介天牛传播和人为参与扩散，同时与寄主松树、伴生细菌和树栖真菌及自然非生物环境因素互作的复杂病害系统，是一种危害松树的毁灭性病害。松树感病后 2~3 个月甚至几个星期内就可能枯萎死亡，整片松林在 3~5 年内可以被摧毁。该病是国际、国内的重要检疫对象。世界范围内该病已给病害发生国造成了巨大的经济、生态和社会损失。病害自入侵我国以来造成大量松树死亡和松林景观的严重破坏，给我国的生态文明建设带来巨大损失。据不完全统计，中国有超过 5000 万株的松树死于松材线虫病，损失木材超过 500 万 m^3 ，年均发生面积近 6 万 hm^2 ，导致的直接经济损失约 25 亿元，间接损失约 250 亿元。松材线虫病的危害和扩散趋势严重威胁着我国南方甚至华北部分地区的 3000 多万公顷松林安全和黄山、庐山、泰山、张家界等风景名胜区及三峡库区等重点生态区位。给我国生态文明社会建设和经济社会发展造成了巨大损失，严重威胁到我国的国土生态安全。

外来入侵物种的预警研究是当代国际上生物学和生态学两大学科交叉领域的热点研究。有害生物的危险性评估是基于特定物种的生物生态学特性，依据未发生新区的生物、气候条件，预测未来有害生物可能适生的范围，同时按照有害生物适宜生存的程度，确定危险性等级。根据不同的危险性等级分类施策，确定并实施相应的防治策略和具体措施，以控制危害的蔓延扩散和降低各种损失。

松材线虫病作为一种发生严重的复合侵染性森林病害，对具体区域上森林的危险性评估是病害防治科学规划和策略提出的基础依据。本书在总体介绍松材线虫病及入侵生物危险性评估现状的基础上，针对病害具体的生物生态学特点，结合森林植被分布，提出全国不同省、市、自治区病害发生危险性等级，并给出有松材线虫病威胁的各个省份

所有县级行政区划的风险等级及其防治评价，为具体地区有害生物防治提供直接指导。

本书的研究和出版受林业公益性行业专项“入侵生物主导的松树枯萎病害形成机理研究”(200904061)、“中国森林对气候变化的响应与林业适应对策研究”(200804001)、国家“十五”科技攻关课题“重大林木病虫害的检疫、监测和预警技术研究”(2001BA509B09)和“十一五”科技支撑课题“林业入侵物种区域减灾与持续治理技术”(2006BAD08A19)的先后资助。学科组黄任娥博士后提供了松材线虫和拟松材线虫系列图片，贾秀贞老师以及历届研究生王卫东、张海军、潘红伟、徐亮、孟贤静、吴斯亮、程燕林、理永霞、马健和张秀英等同学参与部分工作，特此致谢。

作 者

2011年7月19日

目 录

前言

第一章 引言	1
第一节 松材线虫病简介	1
第二节 松材线虫病在我国的分布和危害状况	9
第三节 有害生物危险性评估研究现状	11
第四节 目的和意义	18
第二章 危险性评估方法与技术	20
第一节 危险性评估方法	20
第二节 评估指标体系	23
第三章 评估结果	32
第一节 中国大陆松材线虫病危险性分布格局	32
第二节 分省松材线虫病危险性分布格局	33
第三节 各县松材线虫病危险性等级及说明	74
第四章 中国松材线虫病控制分等级对策	373
第一节 最适宜地区 (>0.85)	373
第二节 适宜地区 ($0.7\sim 0.85$)	379
第三节 次适宜地区 ($0.55\sim 0.7$)	379
第四节 不适宜地区 ($0.4\sim 0.55$) 和极不适宜地区 (<0.4)	379
第五节 中国松材线虫病防控的总体评估和展望	379
参考文献	381

第一章 引言

第一节 松材线虫病简介

松材线虫病又称松树枯萎病、松树萎蔫病、松材线虫萎蔫病，是以松材线虫为主导病原的，综合有媒介天牛传播和人为参与扩散，同时与寄主松树、伴生细菌和树栖真菌及自然非生物环境因素互作的复杂病害系统，是一种危害松树(尤其是松属植物(*Pinus* spp.))的毁灭性病害。松树感病后 2~3 个月甚至几个星期内就可能枯萎死亡，整片松林在 3~5 年可以被摧毁，是国际、国内的重要检疫对象。

松材线虫原产于北美，在北美的分布十分广泛，美国至少 36 个州报道有松材线虫分布，但松材线虫病在北美(包括美国、加拿大、墨西哥等地)只是偶有发生，并不流行，而且松材线虫只是作为病害发生的次生病原(Bergdahl, 1988; Rutherford et al., 1987; Robbins, 1982)。但是，当它被传播至日本、中国、韩国时却引发松树枯萎病害的大面积流行(杨宝君, 2003a; Mamiya, 1988)。自 1905 年在日本长崎市周围松林首次发现危害以后，一个多世纪以来，在日本境内不断扩展蔓延，几乎席卷日本全国，使无数松林被毁灭，给日本造成了巨大的经济损失(Mamiya, 2004; 1988; 1983)。我国自 1982 年在南京中山陵的黑松上首次发现该病危害以来(孙永春, 1982)，在短短的 20 年内，疫情已扩展到江苏、浙江、安徽、广东、山东、湖北、湖南、江西、贵州、四川、重庆、福建以及香港和台湾等地区的局部松林。该病害于 1999 年在葡萄牙报道后，引起欧洲各国高度紧张，欧盟委员会当即下达草案，要求各成员国开展松林的普查工作(Anonymous, 2000; Mota et al., 1999)。

症状 松树感染松材线虫后，树脂分泌开始减少；针叶开始变灰绿色，接着呈黄褐色。如果气候条件干燥、炎热，感病松树将迅速枯萎死亡(与胸径大小和树龄无关)，树脂停止分泌，枝条下垂，针叶呈红褐色、不脱落，枯死针叶能在枝条上保留 1 年或更长时间。

病原 松材线虫[*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Burer 1934) Nickle 1970]主要形态特征(图 1-1~图 1-3 供显微观察对比)：口针纤细、有小的基节，中食道球卵圆形；雄虫交合刺呈弓形(图 1-1, I)，尾部有端生交合伞(图 1-1, H)；雌虫阴门有阴门盖(图 1-1, G)，从寄主松树采回虫株的雌虫尾部钝圆或有一小的尾尖突(图 1-1, E)，但带尾尖突的虫株经真菌培养基培养后，尾尖突将消失。

松材线虫与栖息于松树体内的拟松材线虫(*Bursaphelenchus mucronatus*) (图 1-4~图 1-6 供显微观察对比)，在形态上十分相似，二者的区别主要表现在：①雌虫尾部形态。松材线虫雌虫尾部钝圆或有一小的尾尖突，并且这一尾尖突经真菌培养后会消失；拟松材线虫的雌虫尾部具有明显的尾尖突，经真菌培养后不会消失。②扩散型 3 龄幼虫 L_{III} 尾部形态。松材线虫的扩散型 3 龄幼虫尾部是钝圆的(图 1-1, F)，而拟松材线虫的扩散型 3 龄幼虫尾部则具有明显的尾尖突(图 1-4, F)。③雄虫尾翼(端生交合伞)的形状。松材线虫交合伞末端呈圆弧形(图 1-1, H)，而拟松材线虫交合伞末端则平截或稍微平截(图 1-4, G)。

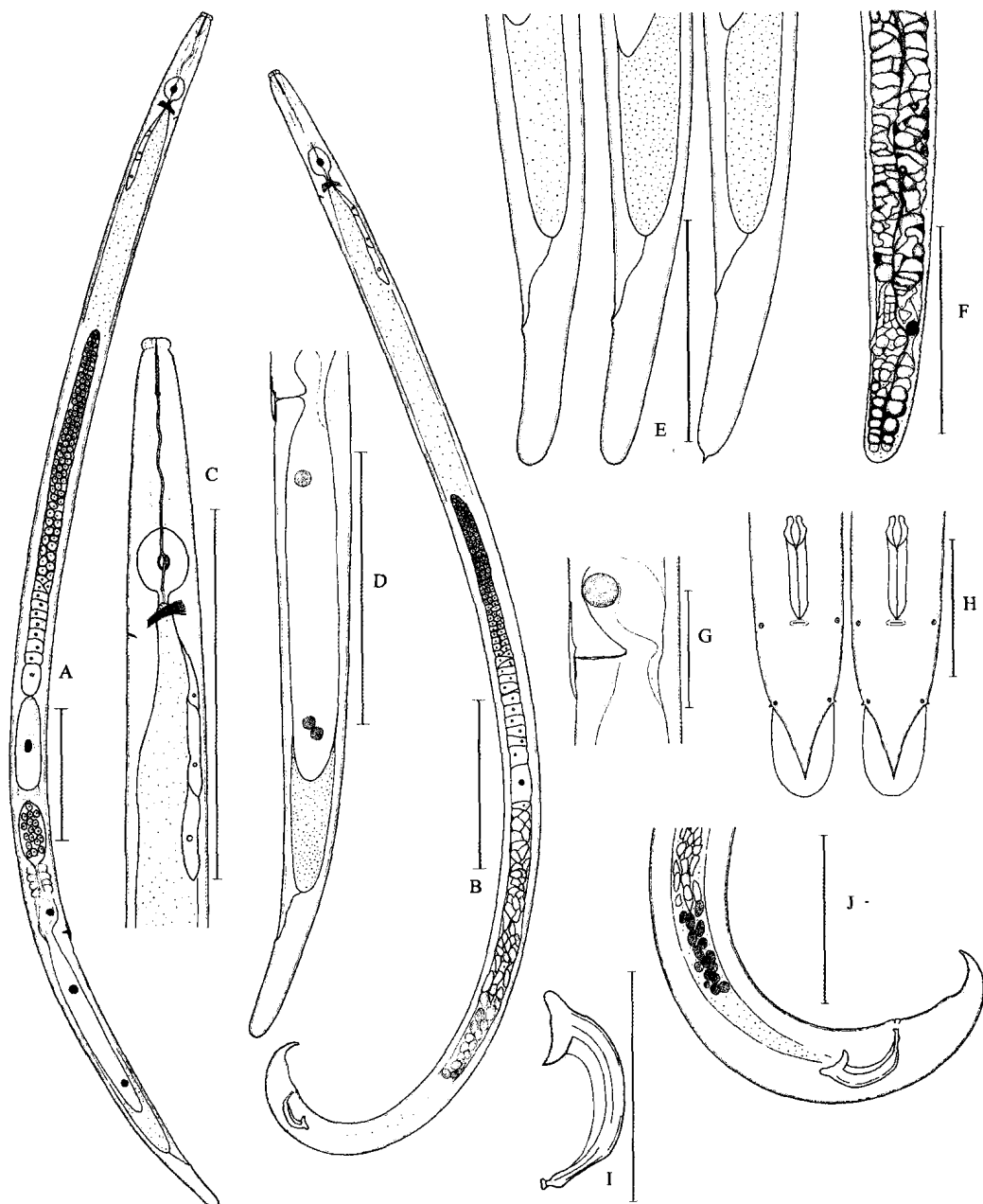


图 1-1 松材线虫墨线图

注：图中，A 为雌虫(entire view of female)；B 为雄虫(entire view of male)；C 为雌虫前部(anterior region of female)；D 为雌虫后部(posterior region of female)；E 为雌虫尾部(female tails)；F 为扩散型 3 龄幼虫尾部形态(tail of dispersal third stage larvae)；G 为 阴门(vulva)；H 为雄虫尾部腹面观(ventral view of male tails)；I 为交合刺(spicule)；J 为雄虫尾部侧面观(lateral view of male tail) (比例尺：A, B, C, D = 100 μ m；E, F, J = 50 μ m；G, H, I = 30 μ m)

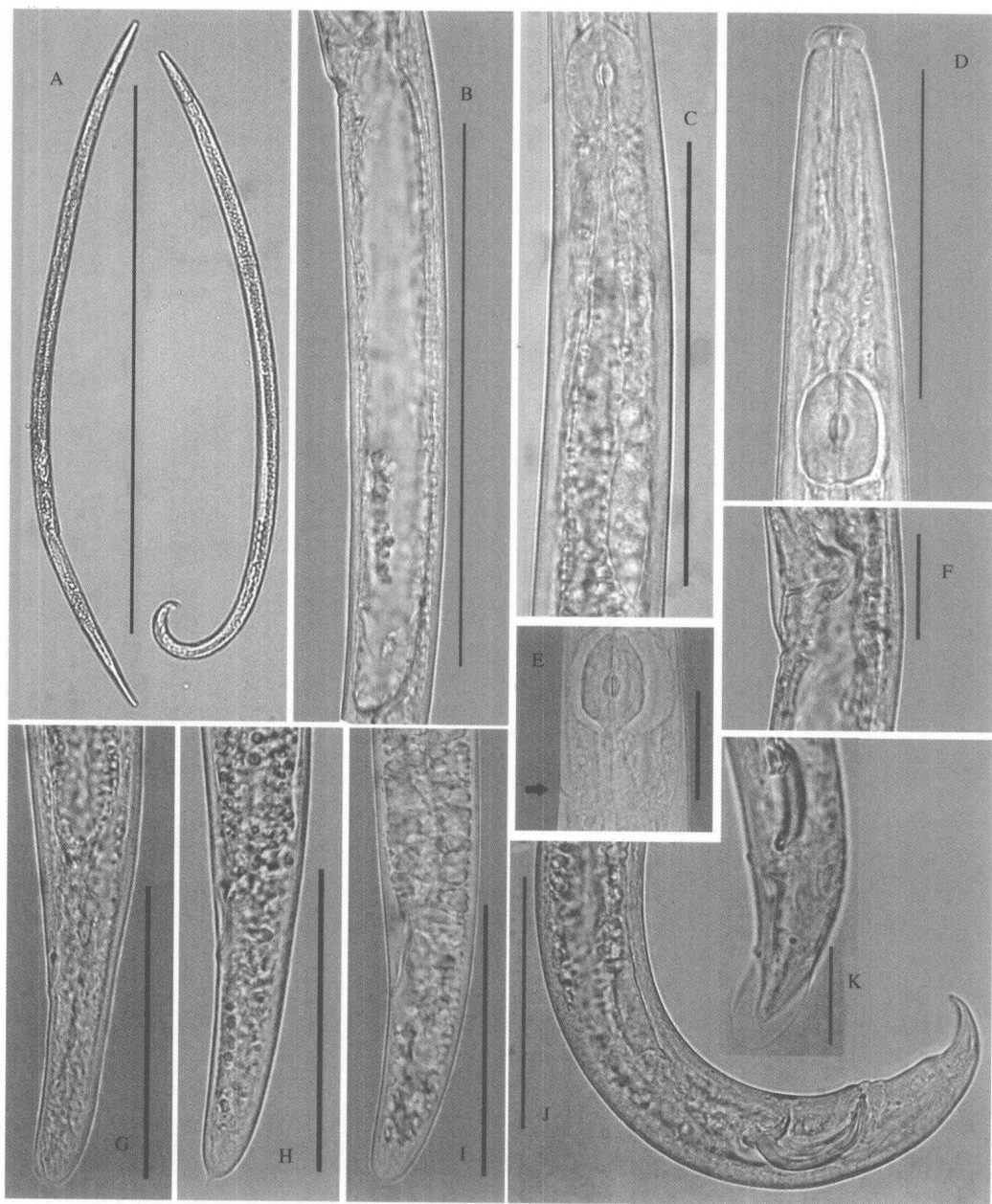


图 1-2 松材线虫光学图

注：图中，A 为虫体全身(左-雌，右-雄) (entire view of female (left) and male (right))；B 为后子宫囊 (postuterine sac)；C 为雄虫前部 (anterior region of male) (后食道腺 (pharyngeal gland lobe))；D 为排泄孔 (excretory pore)；E 为阴门 (vulva)；F 为交合伞 (bursa)；G 为雄虫尾部侧面观 (lateral view of male tail)；H, I 为雌虫尾部形态 (variation of female tails)；J 为扩散型 3 龄幼虫尾部形态 (tail of dispersal third stage larvae) (比例尺：A = 700 μm ；B = 120 μm ；C = 80 μm ；D, E, F = 20 μm ；G, H, I, J = 50 μm)

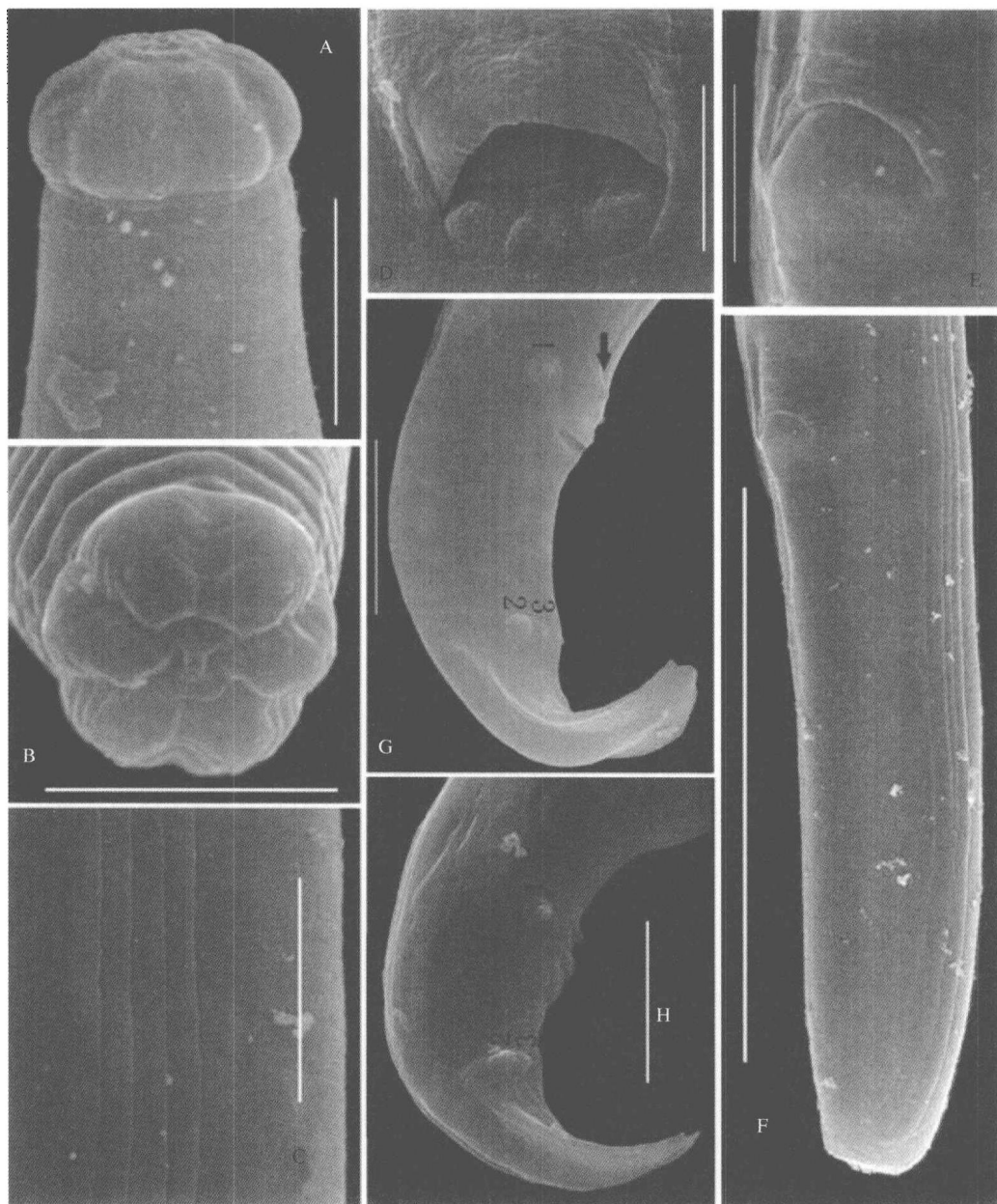


图 1-3 松材线虫扫描电镜图

注：图中，A 为头部(head)；B 为唇区(lip region)；C 为侧区 4 条侧线(lateral field with four lines)；D 为阴门(vulva)；E 为雌虫肛门(FemMale anus)；F 为雌虫尾部(female tails)；G, H 为雄虫尾部的乳突(papillae on male tail) (1 为肛前乳突(precloacal pair)；2, 3 为肛后乳突(postcloacal pairs)；箭头表示肛门处乳突(alcloacal papillae)) (比例尺：A, B, C, D = 5 μm ；E = 2 μm ；F = 20 μm ；G, H = 10 μm)

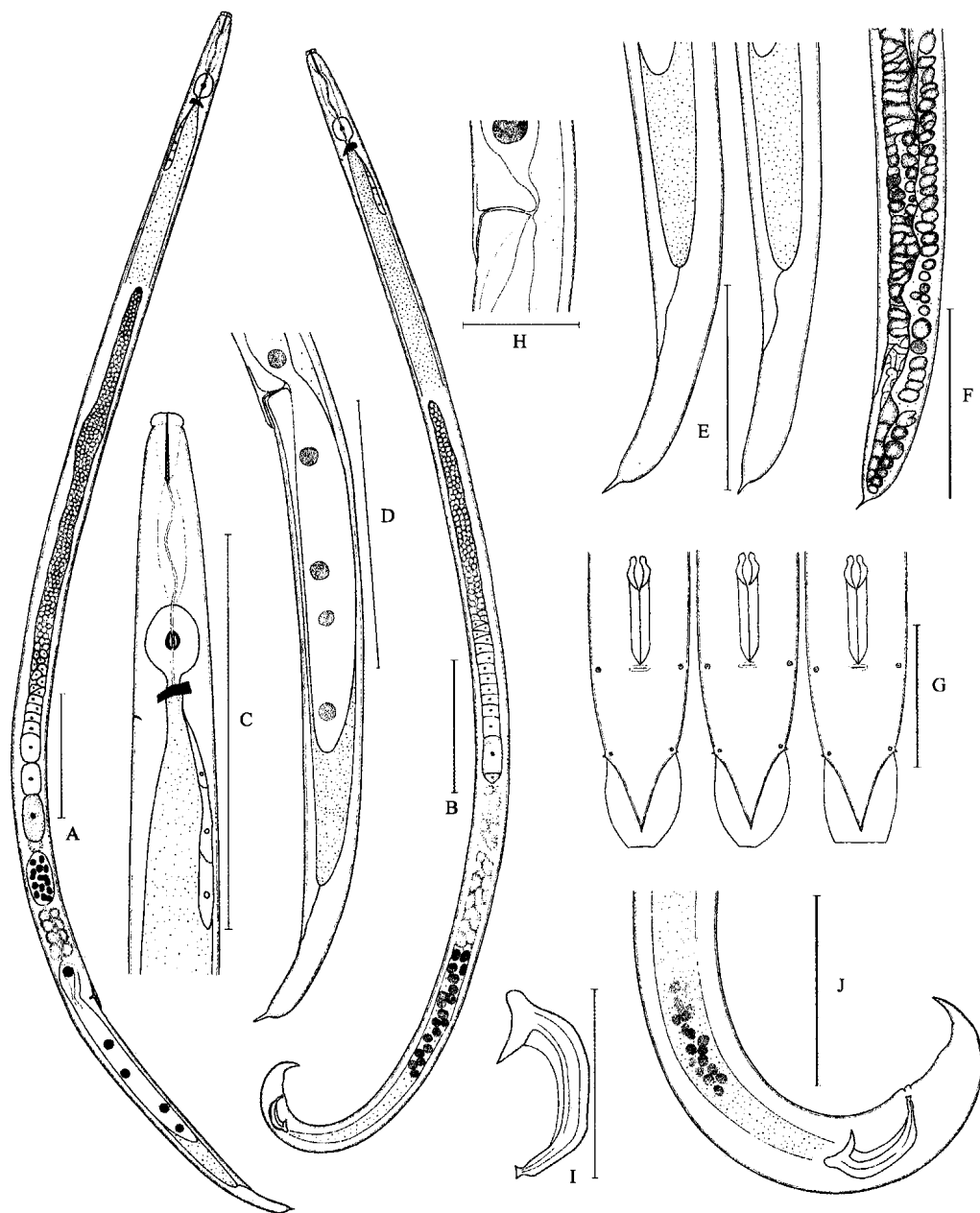


图 1-4 拟松材线虫墨线图

注：图中，A 为雌虫(entire view of female)；B 为雄虫(entire view of male)；C 为雌虫前部(anterior region of female)；D 为雌虫后部(posterior region of female)；E 为雌虫尾部(female tails)；F 为扩散型 3 龄幼虫尾部形态(tail of dispersal third stage larvae)；G 为雄虫尾部腹面观(ventral view of male tails)；H 为阴门(vulva)；I 为 交合刺(spicule)；J 为雄虫尾部侧面观(lateral view of male tail) (比例尺：A, B, C, D = 100 μ m；E, F, J = 50 μ m；G, H, I = 30 μ m)

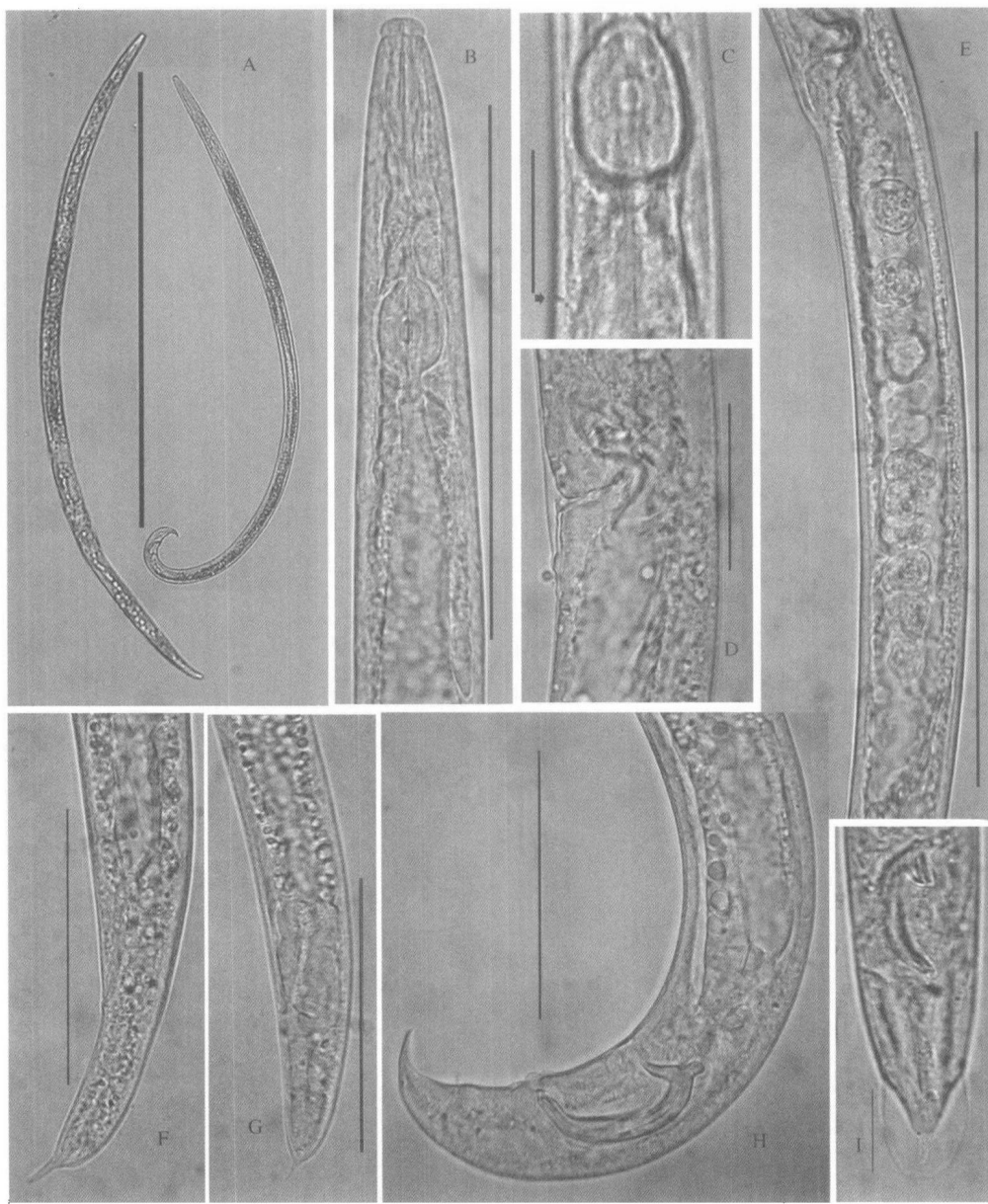


图 1-5 拟松材线虫光学图

注：图中，A 为虫体全身(左-雌，右-雄) (entire view of female (left) and male (right)); B 为雌虫前部 (anterior region of female) (后食道腺 pharyngeal gland lobe); C 为排泄孔 (excretory pore); D 为 阴门 (vulva); E 为后阴子宫囊 (postuterine sac); F 为雌虫尾部 (female tails); G 为扩散型 3 龄幼虫尾部形态 (tail of dispersal third stage larvae); H 为雄虫尾部侧面观 (lateral view of male tail); I 为交合伞 (bursa) (比例尺: A = 600 μm ; B = 100 μm ; C, I = 15 μm ; D = 30 μm ; E = 130 μm ; F, G, H = 50 μm)

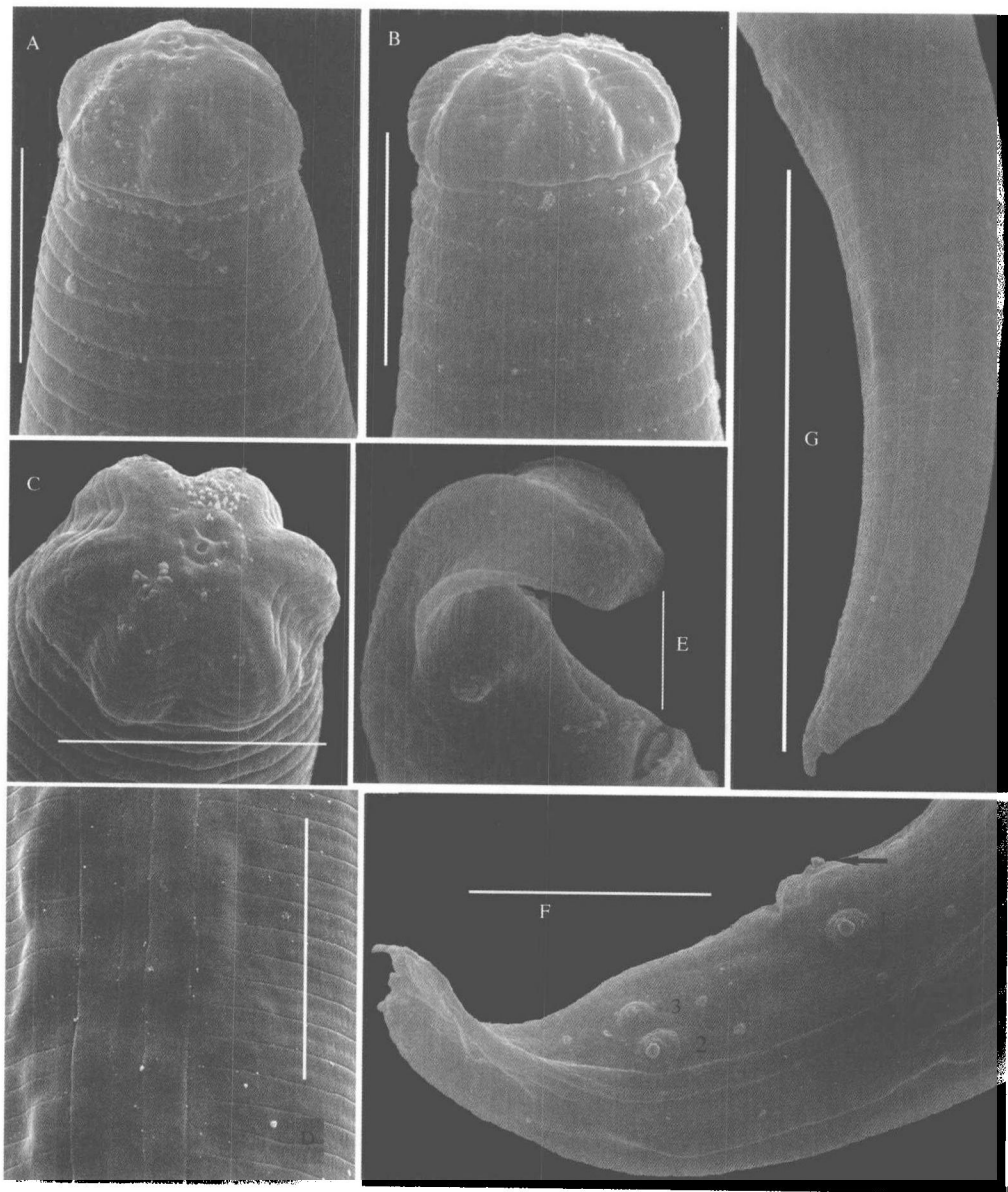


图 1-6 拟松材线虫扫描电镜图

注：图中，A, B 为头部(head)；C 为唇区(lip region)；D 为侧区 4 条侧线(lateral field with four lines)；E, F 为雄虫尾部的乳突(papillae on male tail) (1 为肛前乳突(precloacal pair), 2, 3 为肛后乳突(postcloacal pairs)；箭头表示肛门处乳突(alcloacal papillae))；G 为雌虫尾部(Female tails) (比例尺：A, B, C, E = 5 μm ；D, F = 10 μm ；G = 20 μm)

发生规律 松材线虫自身的扩散距离是非常有限的,它主要通过媒介昆虫(以墨天牛属(*Monochamus* spp.)为主)携带传播,我国的主要媒介昆虫为松墨天牛(*Monochamus*

alternatus Hope)。在我国每年春季,羽化的松墨天牛携带 4 龄持久型松材线虫传播至松树寄主上,松材线虫通过松墨天牛补充营养造成的伤口侵入松树(图 1-7)。因此,松材线虫病侵染发生的时间同松墨天牛成虫补充营养的时间相一致,出现在 6 月底到 7 月初。此外,天牛在寄主体内产卵也促成松材线虫的再次传播。

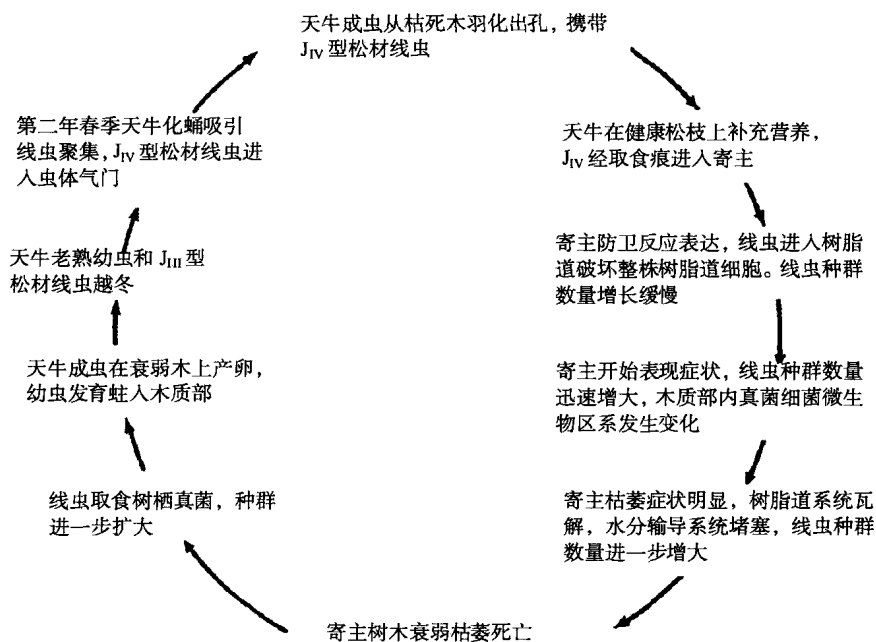


图 1-7 松材线虫病侵染循环示意图

J_{III} 为 3 龄扩散型松材线虫幼虫; J_{IV} 为 4 龄持久型松材线虫幼虫; $J_1 \sim J_4$ 为繁殖型 1~4 龄松材线虫幼虫

松材线虫在寄主松树体内能不断地扩散移动和大量繁殖,破坏输水组织,从而导致松树迅速枯萎死亡。林间初发病时间一般在 5 月底或 6 月初,此后发病个体和林分病情迅速加重,7 月、8 月发生的病死树数量达高峰,秋季数量下降,暖冬前的秋季病害有所回升。

高温干燥的气候条件能促进病害的发生和蔓延,而低温的气候条件则将延缓病害的发展。在热带地区,寄主松树通常在感病当年的秋季就枯萎死亡,但在寒冷地区,松墨天牛的羽化时间较晚,病害的发展速度也更慢,感病松树通常在翌年的春夏萎蔫死亡(谢立群等, 2007; 张心团等, 2004; 杨宝君等, 2003b; Mamiya et al., 1972)。

同时,松墨天牛成虫寻找病弱树产卵并在树中发育为幼虫,幼虫与松材线虫一同越冬。在枯死树上越冬的松材线虫是来年病害发生的主要侵染来源。翌年 4~5 月天牛成虫羽化时,松材线虫转变为扩散型 3 龄幼虫向蛹室移动,进入天牛的呼吸系统(气门)并转变为 4 龄持久型松材线虫幼虫,随着羽化的松墨天牛补充营养开始下一个侵染循环。

松墨天牛的飞行能力是有限的,它对病害的传播主要局限于近距离,通常是一

个地区甚至一个林分内。因此,松材线虫病的远距离传播则主要是人为活动因素造成的,如调运携带有松材线虫(或同时潜伏媒介昆虫)的苗木、枝丫、木材和木质包装物品等。

第二节 松材线虫病在我国的分布和危害状况

根据国家林业局 2011 年第 2 号公告,截至目前松材线虫病疫情已扩散至 15 个省、直辖市、自治区的 186 个县级行政区划(图 1-8),具体包括:

江苏省。南京市玄武区、浦口区、栖霞区、雨花台区、江宁区、六合区、溧水县、高淳县,无锡市滨湖区、惠山区、宜兴市,连云港市新浦区、连云区,淮安市盱眙县,扬州市仪征市,南通市崇川区,镇江市京口区、润州区、丹徒区、新区、句容市,常州市金坛市、溧阳市,苏州市常熟市。

浙江省。杭州市西湖区、富阳市、临安市,宁波市江北区、镇海区、北仑区、鄞州区、余姚市、慈溪市、奉化市、宁海县、象山县,温州市乐清市、洞头县,嘉兴市平湖市、海盐县,湖州市吴兴区、长兴县、德清县,绍兴市越城区、诸暨市、上虞市、嵊州市、绍兴县、新昌县,舟山市定海区、普陀区,台州市黄岩区、临海市、温岭市,丽水市缙云县。

安徽省。合肥市蜀山区、肥东县,芜湖市南陵县,马鞍山市雨山区、花山区、当涂县,铜陵市郊区、铜陵县,安庆市宜秀区、桐城市、枞阳县、怀宁县,滁州市南谯区、明光市、全椒县、来安县、定远县,巢湖市居巢区、含山县、无为县、庐江县,六安市霍山县,池州市青阳县,宣城市宣州区、宁国市、广德县、郎溪县。

福建省。福州市仓山区、马尾区、晋安区、闽侯县、连江县、长乐市、福清市,厦门市思明区、湖里区、翔安区、海沧区,三明市梅列区、三元区、沙县、泰宁县,泉州市鲤城区、丰泽区、石狮市、南安市,漳州市云霄县、漳浦县、东山县、龙海市、诏安县,南平市延平区。

江西省。南昌市南昌县、进贤县,九江市庐山区、彭泽县、湖口县、都昌县,新余市分宜县,赣州市章贡区、赣县,吉安市吉州区、吉安县,上饶市信州区、鄱阳县。

山东省。青岛市崂山区,烟台市长岛县,威海市文登市、荣成市,潍坊市临朐县,淄博市博山区。

河南省。信阳市新县。

湖北省。武汉市洪山区,宜昌市伍家岗区、点军区、猇亭区、夷陵区、宜都市、长阳县,恩施土家苗族自治州恩施市,黄冈市红安县,襄樊市保康县。

湖南省。衡阳市石鼓区、衡南县,邵阳市邵东县,岳阳市云溪区、临湘市,益阳市资阳区、桃江县,郴州市北湖区、苏仙区。

广东省。广州市天河区、白云区、黄埔区、花都区、萝岗区、从化市、增城市,深圳市龙岗区,汕头市濠江区,韶关市武江区、曲江区、乐昌市、始兴县、乳源县,肇庆市封开县,惠州市惠城区、惠阳区、惠东县、博罗县,梅州市梅江区、梅县,东莞市。

广西壮族自治区。梧州市万秀区、苍梧县，贵港市桂平市。

重庆市。沙坪坝区、万州区、涪陵区、长寿区、巴南区、忠县、云阳县。

四川省。甘孜州泸定县。

贵州省。遵义市红花岗区、遵义县，毕节地区金沙县，黔西南州册亨县。

陕西省。商洛市柞水县，汉中市略阳县，安康市汉滨区。

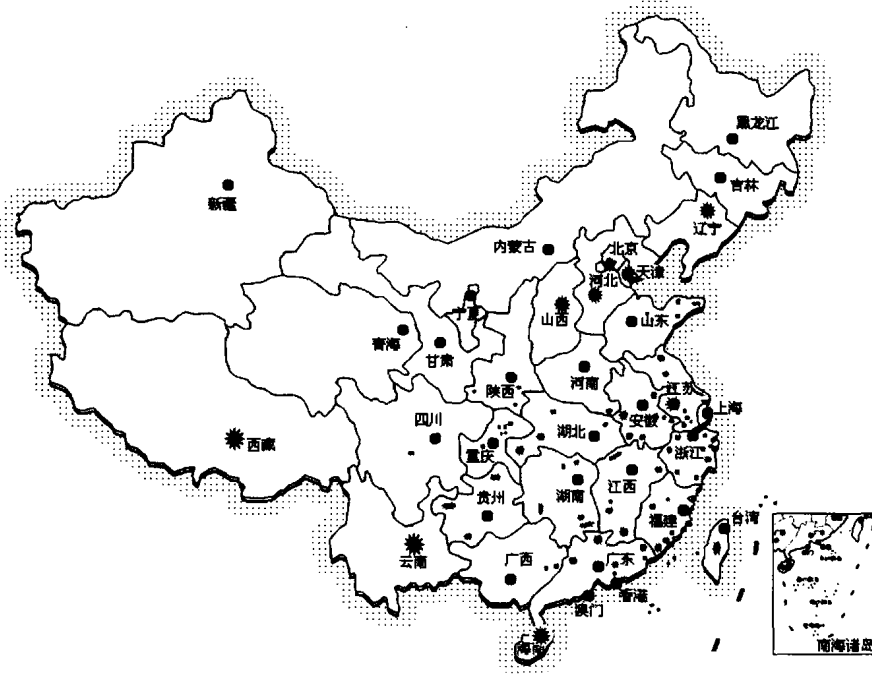


图 1-8 我国松材线虫病和松墨天牛分布示意图

注，图中，红色区域指松材线虫病发生区（松材线虫病发生区都有松墨天牛的分布）；绿色标记指非松材线虫病疫区，但有松墨天牛的分布；无标记区域为还未发现有松墨天牛分布的区域

据不完全统计(图 1-9)，中国有超过 5000 万株松树死于松材线虫病，损失木材超过 500 万 m^3 ，年均发生面积近 6 万 hm^2 ，导致的直接经济损失约 25 亿元，间接损失约 250 亿元。不仅给我国的森林资源造成了严重威胁，而且还导致很多自然景观和生态环境的破坏，给国民经济和人民生活造成了不可估量的损失(潘宏阳等, 2009; 王心同等, 2008; 阮祥胜, 1996)。20 多年来，我国各级政府投入了大量的人力、物力和财力加强松材线虫病的检疫和防控治理，拔除了一部分疫点，取得了一些除治经验，使我国松材线虫病的蔓延速度下降，出现病害面积和病死树数量双下降的趋势。但病害仍然在不断扩散蔓延，当前该病害正威胁着我国南方甚至华北部分地区的 3000 多万公顷松林及黄山、庐山、泰山和张家界等世界自然与文化遗产、风景名胜区的生态安全(孙玉剑等, 2008)。

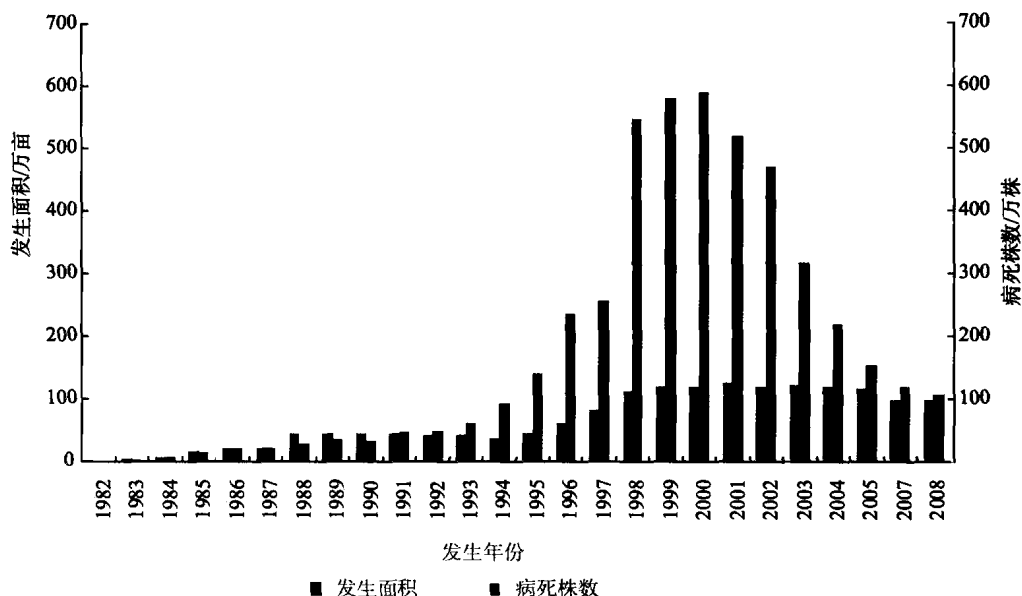


图 1-9 1982~2008 年我国大陆松材线虫病发生及危害情况

1 亩 ≈ 666.7 m²

第三节 有害生物危险性评估研究现状

联合国粮食及农业组织 (FAO) 1999 年的《国际植物检疫措施标准第 5 号：植物检疫术语表》对有害生物风险分析 (pest risk analysis, PRA) 的定义是：“评价生物学或其他科学、经济学证据，确定某种有害生物是否予以管制以及管制所采取的植物卫生措施力度的过程” (IPPC, 1997; FAO, 1996)。

我国学者认为，有害生物风险分析，是通过分析外来有害生物在某一新的区域传入的可能性，以及一旦传入并定殖之后，对生态和农林业生产所造成的危害，从而根据分析的结果，相应地制定检疫和其他风险管理策略，确保当地生态的安全 (刘红霞等, 2001; 梁忆冰等, 1994; 季良, 1994)。

一、有害生物风险分析准则

(一)《有害生物风险分析准则》简介

1995 年 FAO 已经完成并通过《有害生物风险分析准则》，这是一个每年进行开放修订的国际植物检疫措施标准；已经植物检疫措施专家委员会批准分发各成员和区域植物保护组织磋商。

根据 FAO 颁布的《有害生物风险分析准则》，PRA 分为三个阶段：第一阶段，开始进行有害生物风险分析工作；第二阶段，有害生物风险评估；第三阶段，有害生物风险管理。每一阶段的过程都给出了相应的流程图。有害生物风险评估是决定一种有害生物