

*Major
Forest Diseases
and
Insect Pests
in
China*

张星耀 骆有庆 主编

**中国森林
重大生物灾害**

中国林业出版社

中国森林重大生物灾害

Major Forest Diseases and Insect Pests in China

张星耀 骆有庆 主编

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国森林重大生物灾害/张星耀, 骆有庆 主编. —北京: 中国林业出版社,
2003

ISBN 7-5038-3574-5

I. 中… II. ①张… ②骆… III. ①森林-动物危害-研究-中国 ②森林-
植物病害-研究-中国 IV. S7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 093688 号

出版: 中国林业出版社

北京市西城区刘海胡同 7 号, 100009

网址: <http://www.naturalbook.com>

印刷: 北京市昌平百善印刷厂

发行: 新华书店北京发行所

版次: 2003 年 12 月第 1 版

印次: 2003 年 12 月第 1 次

字数: 702 千字

印张: 25

开本: 889mm×1194mm, 1/16

印数: 1~1500 册

定价: 80.00 元

《中国森林重大生物灾害》

编 委 会

主 编

张星耀 骆有庆

编 委

严东辉 (常务编委)
梁 军 吕 全 温俊宝

编著者

(按姓氏笔画排列)

王鸿斌	叶剑雄	刘红霞	刘会香
吕 全	许志春	严东辉	何学友
宋晓东	宋瑞清	张 真	张永安
张星耀	李丽莎	李镇宇	杨忠岐
苏 智	迟德富	陈国发	骆有庆
梁 军	黄金水	黄焕华	温俊宝
	韩崇选	魏建荣	

和其他许多自然灾害一样，森林生物灾害对森林的可持续经营和林业可持续发展已经造成巨大影响和损失。随着当前林业的快速发展以及对外交流的日益频繁，森林生物灾害必将进一步加剧。

森林生物对森林造成一定的危害，应当被视为一种很正常的自然现象，它是森林生态系统发育演变过程中不断出现的一种自然过程。由于物种在其繁衍过程中的错位现象，以及人们在从事林业活动中的某些不适当方式，加剧了这一现象的反复发生。因此人们常见的是其灾害的一面。然而一定程度的灾害现象可对物种分布错位进行不断的自然修正，它促进了生态系统的良性发展，使系统发育更加完善和稳定。但长期以来人们对森林中出现的生物灾害在认识上产生了很大的局限性，对出现灾害的两面性缺乏科学的认识，对森林灾害的定义和内涵认识模糊不清。因此在对待森林生物灾害的过程中缺少战略层面的思考和认识，从而导致了許多不适当的、甚至是错误的控制策略，加剧了灾害的反复发生和严重程度。值得庆幸的是，人们对灾害本质的认识正在不断地深化和提高，这在本书的内容中集中地体现了出来。书中许多观点和认识与本人不谋而合。

《中国森林重大生物灾害》一书的主编和编著者们，在多年从事森林保护科学研究和教学以及防治实践的基础上，深刻认识到森林生物灾害形成的本质，更多地从森林生态系统的角度去看待灾害的成因和过程。对中国目前所发生的重大病虫害进行了系统的总结和提炼。结合国际上森林保护的发展趋势，在近自然林业理论原则指导下，在森林可持续发展的层面上，站在森林保护学科发展的前沿，提出我国十多种重大森林病虫害的控制对策。在写作思考上虽然按病

虫种类为对象分别成章，但它又有别于论文的格式，按对象自成章节。书的末章还专题论述了中国森林生物灾害的未来趋势，在更高的战略思维下提出今后的控灾策略。本书不失为一部高水平的森林保护专著，它的出版将对我国森林保护事业产生重大影响。

陈昌浩

全国政协委员
中国林学会森林昆虫分会理事长
中国林业科学研究院首席科学家
森林生态环境与保护研究所名誉所长

2003年6月于北京

我国森林资源绝对数量较高,但人均占有量少,属森林资源贫乏国家。近半个世纪以来,我国人工林发展速度非常之快,面积不断扩大,为世界之冠,但林分质量不高,森林病虫害的发生面积和危害程度呈不断上升之势。

我国可引起森林灾害的生物种类超过 8000 种,其中,有害昆虫 5000 种以上,真菌、细菌等病原物约 3000 种,鼠类 160 余种。其中主要的有害生物,即影响我国林业可持续发展的有害生物有 100 多种;重大的有害生物,即严重制约我国林业可持续发展的有害生物种类约 50 种。

近半个世纪以来,我国森林生物灾害控制的研究取得了长足的进步,尤其是近 20 年以来,在国家持续投入下,对一些森林重大病虫害开展了以控制技术为主的研究,取得了一些有意义的进展,也产出许多实用技术,极大地促进了我国森林保护事业的发展以及森林病虫害控制技术水平的提高。

本书的编著者是我国目前从事相关研究的专家和学者,我们根据研究的总体进展,选择我国有代表性的森林重大生物灾害,试图系统地反映这些灾害的研究成果,概括我国森林重大生物灾害的研究进展和控制实践。

新世纪初,我国的森林保护学研究和森林生物灾害控制面临着新的挑战,总结历史,继往开来,任重道远。

请读者批评指正。

编著者
2003 年春天

序
前 言

■ 松材线虫病	1
一、灾害的原因及其描述	1
二、灾害在中国的形成、分布和发展	3
三、国内外研究历史和进展	14
四、灾害控制策略和技术	20
■ 杨树天牛	30
一、主要杨树天牛种类	30
二、杨树天牛灾害的成灾原因	40
三、杨树天牛灾害主要研究进展	42
四、灾害控制策略与技术	46
五、展 望	51
■ 松毛虫	56
一、松毛虫灾害的原因及其描述	56
二、松毛虫的种类和分布与灾害发生规律	57
三、国内外研究历史和进展	61
五、松毛虫灾害的防治历史和现状	73
■ 红脂大小蠹	81
一、灾害的原因及其描述	81
二、灾害在中国的形成、分布和发展	83
三、国内外研究历史和现状	87
四、灾害控制策略和技术	89
■ 杨树溃疡病	93
一、灾害的原因及其描述	93
二、灾害在中国的形成、分布和发展	98
三、国内外研究历史和进展	99
四、灾害控制策略和技术	110

■ 杨树烂皮病	120
一、灾害的原因及其描述	120
二、灾害在中国的形成、分布和发展	122
三、国内外研究历史和进展	125
四、灾害控制策略和技术	128
■ 美国白蛾	140
一、灾害的原因及其描述	140
二、灾害在中国的形成、分布和发展	143
三、国内外研究历史和进展	145
四、灾害控制策略和技术	151
■ 松叶蜂	157
一、灾害的原因及其描述	157
二、灾害在中国的形成、分布和发生发展规律	158
三、国内外研究历史和进展	162
四、灾害控制策略和技术	177
■ 松枯梢病	186
一、灾害的原因及其描述	186
二、灾害在中国的形成、分布和发展	188
三、国内外研究历史和进展	193
四、灾害控制策略和技术	198
■ 泡桐丛枝病	204
一、灾害的原因及其描述	204
二、灾害在中国的形成、分布和发展	205
三、国内外研究历史和进展	207
四、灾害控制策略和技术	213
■ 松纵坑切梢小蠹	217
一、灾害原因及其描述	217
二、灾害在中国的形成、分布和发展	219
三、国内外研究历史和进展	225
四、灾害控制策略和技术	226
■ 木麻黄星天牛	233
一、灾害的原因及其描述	233
二、灾害在中国的形成、分布和发展	234
三、国内外研究历史和进展	237
四、灾害控制策略和技术	243
■ 木麻黄多纹豹蠹蛾	247
一、灾害的原因及其描述	247
二、灾害在中国的形成、分布和发展	248
三、国内外研究历史和进展	251

四、灾害控制策略和技术	253
■ 松突圆蚧	256
一、灾害的原因及其描述	256
二、灾害在中国的形成、分布和发展	259
三、国内外研究历史和进展	264
四、灾害控制策略和技术	274
■ 松树疱锈病	277
一、灾害的原因及其描述	277
二、灾害在中国的形成、分布和发展	280
三、国内外研究历史和进展	281
四、灾害控制策略	288
■ 杨圆蚧	292
一、灾害的原因及其描述	292
二、灾害在中国的形成、分布和发展	296
三、国内外研究历史和进展	297
四、灾害控制策略和技术	308
■ 白杨透翅蛾	312
一、灾害的原因及其描述	312
二、灾害在中国的形成、分布和发展	313
三、国内外研究历史和进展	317
四、灾害控制策略和技术	317
■ 杨干透翅蛾	319
一、灾害的原因及其描述	319
二、灾害在中国的形成、分布和发展	320
三、国内外研究历史和进展	323
四、灾害控制技术	324
■ 森林鼠害	326
一、害鼠与林业	326
二、害鼠的主要种类及生物学习性	332
三、森林害鼠监测、预报方法	351
四、害鼠综合管理	355
■ 展 望	372
一、中国森林生物灾害的未来趋势以及社会发展对其控制的需求	372
二、中国森林生物灾害的未来控制策略	375
三、中国森林生物灾害的研究方向和重大研究课题	381

松材线虫病

Pine Wilt

Bursaphelenchus xylophilus (Steiner & Buhrer) Nickle

松材线虫病是以病原松材线虫为主导的，综合有人为参与、媒介天牛传播、寄主松树以及环境因素互作的复杂病害系统，对感病松林是毁灭性的。病原线虫列为重点（A类）植物检疫对象。该病已给除北美洲原产地外的病害发生国造成了巨大的经济损失和生态压力。20世纪80年代初，该病由境外传入我国境内，随后迅速扩散蔓延，成为我国有史以来森林最危险的一种生物灾害。现在疫情的发展趋势已构成了对我国世界自然文化遗产黄山和张家界自然景观的严重威胁。另外，随着我国加入世界贸易组织，贸易往来将愈加频繁，松材线虫由境外反复进入我国的可能性越来越大。并且可行性分析认为松材线虫在中国还具更为广泛的定殖区，以及定殖后迅速扩散的可能。因此，松材线虫病的控制和治理是我国森林保护工作中，必须长期面对的严峻课题。

一、灾害的原因及其描述

（一）症状

松材线虫病又称松树萎蔫病、松树枯萎病、松材线虫萎蔫病。

该病是由松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhrer) Nickle 引起的松林毁灭性自然灾害。病害初始发生的组织病理学症状主要是，松树管胞出现异常空化和栓塞，管胞形成受到抑制，树脂道周围上皮细胞遭到破坏，树脂道的泌脂细胞胞质固化、核畸形或消失，轴向和射线薄壁细胞内含物褐化死亡，树脂正常代谢受干扰，树脂分泌减少，之后树木边材内形成层出现死亡和栓堵。随着病害生理和水分异常生理的加剧，开始出现针叶深褐色枯死外部症状，不久整树针叶迅速枯萎，树木失水死亡。病害在树木个体早期受害林分中常零星分布，并多个发病中心。几年内病区树木大量或成片陆续枯萎，致使整个林分毁灭。

(二) 病 原

1. 生物学地位

松材线虫病病原是松材线虫 (*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner 1934) Nickle 1970)。异名有: *Aphelenchoides xylophilus* Steiner & Buhner 1934; *Bursaphelenchus lignicolus* Mamiya & Kiyohara, 1972。松材线虫的生物分类地位属滑刃目 (Aphelenchida) (EPPO/OEPP, 2001) 寄生真滑刃科 (滑刃科) (Parasitaphelenchidae (Aphelenchoididae)) 伞滑刃亚科 (*Bursaphelenchinae*) 伞滑刃属 (*Bursaphelenchus*)。

2. 鉴别特征

松材线虫具有伞滑刃属的一般形态特征 (Nickle, 1970; Hunt, 1993): 成虫细长, 唇区高并具一缢缩, 六唇; 口针明显, 通常基部稍微增厚; 中食道球发育良好, 卵圆形。雄虫尾部形似近锥体, 并强烈向腹部弯曲, 尾端具尾翼状交合伞, 该结构在线虫处于背腹位置时易见; 交合刺粗壮, 似玫瑰刺, 顶端通常突出和喙突明显; 导刺带缺乏。雌虫阴门位于体长的 $7/10 \sim 4/5$ 处, 后子宫囊长度通常是 $3 \sim 6$ 倍的体宽。松材线虫雄虫交合刺大, 弓形, 具锐尖的喙突和盘状突起末端。雌虫体宽圆, 近圆柱形, 尾端指形。阴门有一宽的阴门盖。松材线虫种群中的绝大部分具圆尾, 但一些雌虫的尾部, 偶然也存在有小尾突。扫描电子显微镜下可见雄虫侧区有 4 侧带, 尾部乳突的数量和位置是: 肛门前 1 对侧乳、尾翼区前两对肛后乳突以及肛前一个居中的乳突。

据 Braasch (2001) 统计认为, 松材线虫的大小一般为, 雄虫体长 $590 \sim 1300 \mu\text{m}$, 口针长 $11 \sim 17 \mu\text{m}$, 交合刺长 $19 \sim 30 \mu\text{m}$, $a=35 \sim 56$, $c=21 \sim 32$; 雌虫体长 $447 \sim 1290 \mu\text{m}$, 口针 $11 \sim 18 \mu\text{m}$, $a=33 \sim 58$, $c=22 \sim 32$ 。我国报道的松材线虫大小基本在此范围内, 但个别特征的数据有些出入, 并且国内不同疫区的松材线虫的大小也有所差别。为便于比较, 列于文中。

L =体长 (μm)

a =体长与最大体宽之比

b =体长与头端至食道和肠相交界长度之比

c =体长与尾长 (肛门以下) 之比

V =头端至肛门长度与体长之比

St =口针长度 (μm)

Sp =交合刺长度 (μm)

南京株系: 雌(20), $L=1140$ (960~1310), $a=39.4$ (32.0~52.0), $b=11.1$ (9.0~12.0), $c=27.3$ (23.6~31.6), $v=72.9$ (70.0~82.0), $St=15.2$ (13.5~16.2); 雄(20), $L=1070$ (910~1190), $a=47.6$ (35.0~54.9), $b=11.0$ (9.2~15.0), $c=31.3$ (28.5~35.0), $St=15.1$ (13.5~17.6), $Sp=29.8$ (27.0~32.0)。

深圳株系: 雌(60), $L=663.2$ (501.8~852.8), $a=35.1$ (30.9~39.5), $b=10.0$ (8.4~11.8), $c=26.0$ (21.6~31.6), $V=74.1$ (68.8~82.4), $St=14.2$ (10.4~15.6), 雄(60), $L=603.5$ (488.8~842.4), $a=35.7$ (26.9~45.3), $b=9.3$ (8.2~10.9), $c=20.8$ (17.2~25.5), $St=13.7$ (10.4~15.6), $Sp=25.5$ (20.8~31.2)。

香港株系: 雌(40), $L=844.2$ (624.0~1133.6), $a=36.4$ (30.0~42.2), $b=11.3$ (9.4~14.1), $c=31.6$ (23.3~46.3), $V=75.2$ (69.9~83.3), $St=14.4$ (13.0~16.9); 雄(40), $L=800.3$ (572.10~967.2), $a=37.4$ (33.7~51.3), $b=10.7$ (8.3~14.6), $c=24.1$ (17.1~31), $St=15.3$ (13.0~16.9), $Sp=29.8$ (26.0~33.8)。

日本株系: 雌(40) $L=810$ (710~1010), $a=40.0$ (33.0~46.0), $b=10.3$ (9.4~12.8), $c=26.0$ (23.0~

32.0), $V=72.7(67.0\sim78.0)$, $St=15.9(14.0\sim18.0)$; 雄 (40) $L=730(590\sim820)$, $a=42.3(36.0\sim47.0)$, $b=9.4(7.6\sim11.3)$, $c=26.4(21.0\sim31.0)$, $St=14.9(14.0\sim17.0)$, $Sp=27.0(25.0\sim30.0)$ 。

美国株系: 雌 (13), $L=1029.6(741\sim1234)$, $a=43.0(34.0\sim48.0)$, $b=11.1(9.9\sim12.6)$, $c=27.7(19.6\sim34.5)$, $V=73.7(71.6\sim75.7)$, $St=15.3(13.5\sim16.2)$; 雄 (13), $L=1021(811\sim1190)$, $a=40.8(31.6\sim49.9)$, $b=9.7(8.6\sim11.5)$, $c=33.9(28.6\sim38.1)$, $St=15.1(14.9\sim16.2)$, $Sp=29.5(27.0\sim32.4)$ 。

松材线虫与其他伞滑刃属种在遗传物质 DNA 特征上存在差别。松材线虫 rDNA 的 ITS 序列, 经 *RsaI*、*HaeIII*、*MspI*、*HinfI*、*AluI* 等限制性内切酶消化后, 在 ITS-RFLP 带型上出现特征性片段。关于松材线虫 DNA 特征研究的进展见国内外研究历史和进展一节中的相关内容和参考文献。

二、灾害在中国的形成、分布和发展

(一) 灾害形成的生物学基础

1. 松材线虫

(1) 发育和生活史

松材线虫卵透明长圆形, 大小 $60(48\sim70)\sim22(19\sim24)\mu\text{m}$ 。适宜培养条件下 (25°C), 产下的卵 1h 后开始分裂发育, 经卵裂期、桑实期、囊胚期、蝌蚪期, 在卵内发育为 1 龄和 2 龄幼虫。从卵产下到 2 龄幼虫孵化, 约 30h。孵化出的 2 龄幼虫, 可开始直接取食真菌。2 龄幼虫在 24h 到 72h, 陆续蜕皮发育成为 3 龄、4 龄和成虫。发育形态上, 桑实期之前卵细胞只是分裂, 分化不明显, 进入囊胚期分化出内外胚层, 蝌蚪期的胚进一步分化出口腔、体壁、尾部等, 初显虫体轮廓, 呈两折态, 进入 1 龄后, 分化出头部, 呈现三折态虫体, 此时看不出口针和中食道球。1 龄幼虫在卵内蜕皮发育为 2 龄幼虫, 2 龄幼虫唇部、口针、中食道球已完全形成。2 龄幼虫从卵中孵出, 取食营养。如果此时得不到营养, 幼虫将死亡。生殖原基的分化在 3 龄幼虫开始, 直蜕皮到 4 龄, 生殖腺发育加速, 4 龄幼虫再蜕皮为性成熟的成虫。雌雄成虫交配, 雌虫又开始产卵, 完成 1 个世代。

1 个世代的时间, 在不同温度下有所变化。 15°C 时, 约为 12 天; 20°C 时, 6 天; 25°C , 4~5 天; 28°C , 4 天; 30°C , 3 天, 该温度下, 易出现死亡成虫, 超过 30°C 时, 幼虫发育出现障碍。松材线虫发育临界温度的理论值是 9.5°C 。

在自然越冬条件下, 生活史中常有特殊形态特征的扩散性 (休眠型、持久型) 3 龄和 4 龄幼虫出现。扩散性 3 龄幼虫同上述营养繁殖期中的各龄幼虫和成虫相比, 具有更深的体色和更宽更钝的半圆形尾端。深体色因储藏密集颗粒状物质在体内所致。扩散性 4 龄幼虫随传播媒介昆虫转移到新一轮的寄主上。扩散性 4 龄幼虫唇部为高出的圆顶状, 发育不完善, 不见口针, 中食道球不明显, 食道和食道腺退化。尾部圆锥状, 端部上翘。体内有深色颗粒密集部分, 体表有黏性物质。

(2) 松材线虫的培养

松树体内存在的真菌可能是松材线虫在树体内生活取食的主要营养来源。松树体内能分离到大量的丝状真菌和非褶菌目的真菌。一些培养试验表明, 松材线虫在蓝色长喙壳 (*Ceratocystis coerulescens*)、枝孢状枝孢霉 (*Cladosporium cladosporioides*)、松壳囊孢 (*Cytospora pini*)、*Ophiostoma piliferum*、亚蠕孢卧孔菌 (*Phellinus subvermispora*)、粉红层孔菌 (*Fomes roseus*)、

干酪菌 (*Tyromyces kravtzevianus*)、*Tyromyces lapponicus*、加拿大盘革菌 (*Aleurodiscus canadensis*)、锈红木层孔菌 (*Phellinus ferruginosa*)、灰葡萄孢 (*Botrytis cinerea*) 以及盘多毛菌 (*Pestalotia* sp.)、色二孢菌 (*Diplodia* sp.)、镰刀菌 (*Fusarium* sp.)、毛壳菌 (*Chaetomium* sp.) 等的一些真菌上,能良好地完成生活史。但在不同的真菌上,松材线虫的发育历期有差异,25℃下,在长喙壳松、毛壳菌、镰刀菌上发育历期为4天;灰葡萄孢上,5天;盘多毛孢上,6天。松材线虫在松属树木上比在松科的其他属一些植物,生存和繁殖都表现出最好。另外,松材线虫在日本赤松、黑松和苜蓿的愈伤组织上也能培养。

(3) 致病性

松材线虫的致病性最先由清原和德重在1970年的接种试验中得到证实。后续的研究进一步明确了松材线虫是引起松树死亡的病原。但松材线虫的致病力存在分化。不同地理来源的松材线虫株系致病力的差异大于来自相同地理背景而寄主不同的松材线虫株系的致病力。国内松材线虫株系,在同样条件下比日本、加拿大的株系,引致的松树死亡率高出25~62个百分点。我国江苏和广东松材线虫种群对4~6年生马尾松的致病力较强,安徽种群致病力则较弱。同一株系对不同寄主和树龄其致病力也出现变化,一般而言,在松属树种和感病树种上,表现出较强致病力。但松材线虫的致病力并不只对同源寄主才表现高致病性,一些来自南京黑松的松材线虫株系能在华山松和欧洲赤松引起更高的侵染死亡率。

2. 寄主树种

(1) 主要寄主树种

松材线虫主要寄主是松属植物 (*Pinus* spp.), 另外的寄主有雪松属 (*Cedrus* spp.)、冷杉属 (*Abies* spp.)、云杉属 (*Picea* spp.)、落叶松属 (*Larix* spp.) 和黄杉属 (*Pseudotsuga* spp.) 等属的植物。目前已知自然条件下感病的寄主有47种,其中松树38种,其他针叶树9种;人工接种条件下,另有17种松树、4种非松属针叶树能够感病。因此,累计松属寄主树种55种,非松属针叶树13种,共68种。高度感病的寄主有黑松 (*Pinus thunbergii*)、马尾松 (*P. massoniana*)、琉球松 (*P. luchuensis*)、湿地松 (*P. elliotii*)、云南松 (*P. yunnanensis*)、华南五针松 (*P. kwangtungensis*)、华山松 (*P. armandii*)、红松 (*P. koraiensis*)、樟子松 (*P. sylvestris* var. *mongolica*)、黄山松 (*P. taiwanensis*) 等。海南五针松 (*P. fenzeliana*)、乔松 (*P. griffith*) 等被认为是中抗的。接种条件下,寄主植物对松材线虫的感病性,可因树龄、种源、环境条件的不同以及松材线虫的适应性变化而不同。如马尾松、华山松、白皮松 (*P. bungeana*)、黄山松、湿地松 (*P. elliotii*) 都有或曾有过抗病和感病的结论。我国存在十余种高感松树,但目前我国大陆自然状况下发病松树以黑松和马尾松为主,后者是我国重要的绿化造林树种(表1-1)。

表 1-1 松材线虫寄主树种一览

中文名称	学名	自然 / 人工寄主
华山松	<i>Pinus armandii</i>	—
班克松	<i>P. banksiana</i>	+
白皮松	<i>P. bungeana</i>	+
加勒比松	<i>P. caribaea</i>	+
瑞士石松	<i>P. cembra</i>	+
美国沙松	<i>P. clausa</i>	+
扭叶松	<i>P. contorta</i>	+
日本赤松	<i>P. densiflora</i>	+
千头赤松	<i>P. densiflora</i> cv. <i>umberaclifera</i>	+
萌芽松	<i>P. echinata</i>	+
湿地松	<i>P. elliotii</i>	+
大叶松	<i>P. engelmannii</i>	+
柔松	<i>P. flexilis</i>	—

中文名称	学名	自然 / 人工寄主
海南五针松	<i>P. fenzeliana</i>	—
光松	<i>P. glabra</i>	—
硬枝展松	<i>P. greggii</i>	+
乔松	<i>P. griffithii</i>	—
地中海松	<i>P. halepensis</i>	+
	<i>P. hinekomatus</i>	—
黑材松	<i>P. jeffreyi</i>	—
卡西松	<i>P. kesiya</i>	+
红松	<i>P. koraiensis</i>	—
华南五针松	<i>P. kwangtungensis</i>	+
糖松	<i>P. lambertiana</i>	—
光叶松	<i>P. leiophylla</i>	+
疏球松	<i>P. luchuensis</i>	+
马尾松	<i>P. massoniana</i>	+
米却肯松	<i>P. michoacana</i>	+
	<i>P. montana</i>	+
西部白松	<i>P. monticola</i>	—
台湾五针松	<i>P. morrisonicola</i>	—
欧洲黑松	<i>P. nigra</i>	+
卵果松	<i>P. oocarpa</i>	+
日本五针松	<i>P. parviflora</i>	+
长叶松	<i>P. palustris</i>	+
海岸松	<i>P. pinaster</i>	+
西黄松	<i>P. ponderosa</i>	+
拟北美乔松	<i>P. pseudostrobus</i>	+
辛松	<i>P. pungens</i>	—
辐射松	<i>P. radiata</i>	+
多脂松	<i>P. resinosa</i>	+
刚松	<i>P. rigida</i>	+
野松	<i>P. rudis</i>	+
晚松	<i>P. serotina</i>	—
类球果松	<i>P. strobiformis</i>	—
北美乔松	<i>P. strobus</i>	+
欧洲赤松	<i>P. sylvestris</i>	+
樟子松	<i>P. sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	—
火炬松	<i>P. taeda</i>	+
黄山松	<i>P. taiwanensis</i>	+
油松	<i>P. tabulaeformis</i>	—
日本黑松	<i>P. thunbergii</i>	+
黄松	<i>P. thunbergii</i> × <i>P. massoniana</i>	+
矮松	<i>P. virginiana</i>	+
云南松	<i>P. yunnanensis</i>	—
香脂冷杉	<i>Abies balsamea</i>	+
日本冷杉	<i>A. homolepis</i>	—
萨哈林冷杉	<i>A. sachalinensis</i>	—
雪松	<i>Cedrus deodara</i>	+
北非雪松	<i>C. atlantica</i>	+
欧洲落叶松	<i>Larix decidua</i>	+
美洲落叶松	<i>L. laricina</i>	—
日本落叶松	<i>L. kaempferi</i>	—
加拿大云杉	<i>Picea canadensis</i>	+
欧洲云杉	<i>P. excelsa</i>	+
白云杉	<i>P. glauca</i>	+
北美云杉	<i>P. pungens</i>	+
北美黄杉	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	+

注：“+”表示该树种是松材线虫的自然发病寄主；“—”表示该树种是松材线虫的人工接种寄主。摘自：松材线虫（*Bursaphelenchus xylophilus*）随美国和日本输华货物的木质包装材料传入中国的风险分析报告一文

（2）主要寄主树种在中国的分布

中国幅员辽阔，地大物博，针叶树类型复杂多样，珍稀、特有森林多，在 9 600 000km² 的国土面积中，森林面积 158 941 000hm²，森林覆被率 16.55%，其中针叶树面积 57 069 300hm²，约占整个森林的 42.7%，从平原到高山几乎所有的林区都可见到针叶树的广泛存在。其中松树

资源丰富,种类众多,境内生长松属树种约 50 种,面积约占整个针叶树林的 58%左右,从南到北均有分布。松树是中国主要的林业资源。

中国的松树树种中有许多种类对松材线虫是感病的,甚至是高度感病的。为对松材线虫病的危险性有一个整体认识,这里介绍我国主要感病松树寄主的分布情况。白皮松主要分布在北亚热带-暖温带及干旱暖温带,纬度 $31^{\circ}25' \sim 37^{\circ}$, 经度 $104^{\circ}20' \sim 114^{\circ}$, 海拔 500~1900m 的河北、山西、江苏、浙江、湖北、四川、陕西和甘肃等省份。华山松主要分布在南亚热带暖温带,纬度 $23^{\circ}30' \sim 36^{\circ}30'$, 经度 $93^{\circ}50' \sim 113^{\circ}$, 海拔 1000~3300m, 北至山西南部,南至陕、甘边境,东到湖北西至西藏的地区。黑松主要分布在中温带至暖温带和北亚热带。纬度 $30^{\circ} \sim 43^{\circ}$, 经度 $118^{\circ} \sim 122^{\circ}$, 海拔 0~1000m 的辽宁、上海、江苏、浙江、安徽和山东等地。红松主要分布在中温带,纬度 $40^{\circ}01' \sim 52^{\circ}$, 经度 $124^{\circ}45' \sim 134^{\circ}$, 海拔 150~1800m 的区域,即长白山区,小兴安岭以南,北安线以东,丹东、沈阳以北地区。黄山松主要分布在中亚热带至南亚热带,纬度 $27^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 经度 $109^{\circ} \sim 121^{\circ}$, 海拔 600~2800m 的地区,所在省份包括浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、台湾等。马尾松主要分布在南亚热带至北亚热带,纬度 $21^{\circ}41' \sim 33^{\circ}57'$, 经度 $103^{\circ} \sim 121^{\circ}10'$, 海拔 9~800m 的范围,分布省份有江苏、浙江、安徽、福建、江西、河南、湖北、湖南、广东、广西、四川、贵州、陕西、台湾等。湿地松主要分布在南亚热带至北亚热带,纬度 $25^{\circ}30' \sim 33^{\circ}30'$, 经度 $80^{\circ} \sim 90^{\circ}$, 海拔 0~600m 的江苏、浙江、安徽、福建、湖北、湖南、广东、广西、四川和贵州等造林区。云南松主要分布在中亚热带,纬度 $23^{\circ}30' \sim 31^{\circ}40'$, 经度 $98^{\circ}30' \sim 106^{\circ}$, 海拔 600~3100m 的我国西南地区。樟子松主要分布在寒带至中温带,纬度 $49^{\circ}30' \sim 53^{\circ}29'$, 经度 $117^{\circ}10' \sim 127^{\circ}30'$, 海拔 300~1000m 的内蒙古、黑龙江、陕西、新疆等地。

业已证明,除北美的土著树种外,亚欧的松树树种基本是感病的。中国的第 1 大树种马尾松过去被认为高度抗病,但现已被证实在中国的松材线虫疫区是感病的,松材线虫已经在林中造成大量的马尾松死亡。中国的其他主要松树树种如思茅松 (*P. kesiya* var. *langbianensis*)、高山松 (*P. densata*) 等,它们对松材线虫的感病性还没有人进行测定,但有可能也是感病的。总之,中国全境广泛存在着大量感病的松树树种。

3. 媒介昆虫

松材线虫媒介昆虫种类集中在墨天牛属的昆虫种类上。据报道,亚洲的主要种类有松墨(褐)天牛 (*Monochamus alternatus* Hope)、闪光墨天牛 (*M. nitens* Bates)、云杉花墨天牛 (*M. saltuarius* Gebler)。北美主要有卡罗来纳墨天牛 (*M. carolinensis* Oliver)、白点墨天牛 (*M. scutellatus* Say)、南美松墨天牛 (*M. titillatrix* Fabricius)、钝角墨天牛 (*M. obtusus* Casey)、可变墨天牛 (*M. mutator* LeConte)、褐点墨天牛 (*M. notatus* Drury)、香枞墨天牛 (*M. marmorator* (Kirby))、俄勒冈白点墨天牛 (*M. scutellatus oregonensis* (LeConte))、锈红墨天牛 (*M. rubiginosus* Bates)、小灰长角天牛 (*Acanthocinus griseus*) 和台湾长角天牛 (*Acanthocinus gundaiensis*)。目前认为能够有效传播松材线虫病的媒介昆虫在亚洲主要是松墨天牛,在北美主要是卡罗来纳墨天牛。

(1) 松墨天牛的形态特征

松墨天牛 (*Monochamus alternatus* Hope 1842) 又名松褐天牛、松天牛。

异名 *Monochamus tesserula* White。分类上属鞘翅目叶甲总科 (Chrysomeloidea) 天牛科 (Cerambycidae) 沟胫天牛亚科 (Lamiinae) 墨天牛属 (*Monochamus*)。

成虫 体长 15~28mm, 宽 4.5~9.5mm, 棕色至赤褐色, 密生黄褐色绒毛。触角栗色, 雄虫触角第 1、第 2 节全部和第 3 节基部具有稀疏的灰白色绒毛, 其余各节为褐色。雌虫触角除 9~11 节褐色外, 其余各节多为灰白色, 末端一小环为深色。雄虫触角约是体长的 2.0~2.5

倍；雌虫触角约是体长的 1.3~1.5 倍。前胸宽大于长，多皱纹，侧刺突较大。前胸背板中区有较阔的橙黄色纵纹，与 3 条黑色绒纹相间。中胸小盾片密被棕色绒毛。每一鞘翅具 5 条纵纹，由方形或长方形的黑色及灰白色绒毛斑点相间组成。鞘翅基部具黑色散生粗颗粒，末端近乎平切，内端角明显，外端角大，圆形。腹面及足杂有灰白色绒毛。

卵 长约 4mm，宽约 1mm，乳白色，长椭圆形，一侧略内弯。幼虫乳白色、扁圆筒形，老熟时体长可达 50mm，头宽近约 5mm。头部深褐色。前胸背板褐色，宽达 8mm，前缘区密布棕色刚毛，中央有波状横纹，后区具细刺状小颗粒组成的凸形斑。前胸腹板中前腹片近三角形，基部两侧各具 1 个较骨化的淡褐色斑，小腹片褶前区密布淡褐色微粒。腹背步泡突具 2 横沟，1 纵中沟，左右各 1 短侧陷，横列 4 列瘤突，互相衔接愈合。表面具微粒；腹部步泡突有 1 横沟，2 列瘤突。肛门 3 裂，呈 T 形，中裂缝极短。

蛹 离蛹，乳白色，圆筒形，体长 20~26mm。腹末狭长，头、足腿节端部和跗界节末端，及胴部背面密生小刺，以腹部末端的小刺最大。

(2) 松墨天牛的分布和危害

松墨天牛在我国目前主要分布于河北、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东、广西、四川、贵州、云南、西藏、陕西、台湾等地。主要寄主是针叶树种，主要危害马尾松、云南松、黑松、油松、华山松、思茅松、落叶松、雪松、云杉、冷杉等。

(3) 松墨天牛的生活史和生物学特性

生活史 松墨天牛的生活史在我国一般是 1 年 1 代，往南如广东部分地区 1 年可出现 2~3 代，往北南京地区部分地区报道有 2 年 1 代的个体。通常以 4、5 龄老熟幼虫越冬，4 月中旬开始化蛹，5 月上旬初始羽化，6 月中下旬，成虫出孔高峰期。雄成虫在出孔 10 天以后就可以与雌成虫交配，雌成虫补充营养 20 天左右开始产卵。产卵期在 6 月上中旬，盛期在 6 月下旬至 7 月上旬。据统计，南京地区松墨天牛的各虫态虫期及历时是：卵期 6~10 天，从 6 月上旬到 9 月上旬，历时约 90 天；幼虫期 290~320 天，从 6 月中上旬到次年 6 月上旬；蛹期 10~21 天，从 4 月中下旬到 7 月上旬，历时约 70 天；成虫期 34~108 天，从 5 月中旬到 9 月中旬，历时约 120 天。

在广东，松墨天牛以 1 年发生 2 代为主，幼虫越冬。在南部山区 1 年发生 3 带，粤北山区 1 年 1 代。1 年 2 代的松墨天牛的虫态历期一般是，越冬代幼虫 3 月中下旬化蛹，成虫 4 月中下旬羽出高峰，产卵期至 6 月结束。第 1 代幼虫 4 月开始孵化，6 月中旬开始化蛹，成虫 7 月下旬至 8 月上旬为羽出高峰期，产卵期至 9 月上旬止。

在安徽，松墨天牛 1 年发生 1 代。以 3、4 龄幼虫在树干木质部蛹室内越冬，翌年 4 月中下旬始蛹，5 月上中旬成虫开始羽化出孔，盛期为 6 月中下旬。其后 2~3 周进行交配与产卵，产卵期 6 月上旬至 9 月上旬。

在山东烟台地区 1 年发生 1 代，大多以老熟幼虫在树干或较粗枝、伐根木质部蛹室内越冬，少量未老熟幼虫主要为 3 龄以下在树皮下越冬。翌年 4 月初越冬幼虫开始活动，5 月初陆续化蛹，5 月下旬为化蛹盛期，6 月初可见成虫，6 月下旬为出孔盛期，10 月份仍可见成虫，成虫期前后可持续 4 个多月。

生物学特性 **化蛹**：越冬幼虫在虫道末端蛹室化蛹。化蛹时，老熟幼虫除头部外通体乳白色，虫体明显缩短成圆柱形，体节细密，体软，色微黄，以后体色再呈乳白色，腹末前缩与表皮出现间隙，蛹体器官逐渐显现，最后蜕皮化蛹。蛹发育的起始温度为 $11.08 \pm 0.72^{\circ}\text{C}$ ，有效积温为 167 ± 10.68 日度。蛹的发育历期随气温升高而缩短。有报道认为，蛹室通气性对幼虫化蛹有显著影响。刚蜕皮的蛹乳白色，静伏多天后体色出现变化。羽化前几天，胸腹部先呈淡黄色，后显现浅灰色环纹。即将羽化时，背线开裂。