

文章编号: 1000-5692(2000)02-0170-06

# 松材线虫病自然扩散特性及防治策略

来燕学

(浙江省宁波市森林病虫防治站, 浙江宁波 315000)

**摘要:** 为了探讨松材线虫病自然分布规律并按自然规律拟定松材线虫病防治策略, 用  $c = s^2/x$  描述市、县、镇、村 4 级松材线虫病静态分布, 并分析宁波疫区南片 1992 年到 1998 年松材线虫病的动态分布; 用种群增长数学公式  $N_t = N_0 e^{rt}$  描述数量关系确定松材线虫病增长速度; 最后用次年病死树增减率标准  $D = (N_{t+1} - N_t)/N_t \times 100\%$ , 评价“先核心后外围”策略和“先外围后核心”策略的实施效果。结果表明: 松材线虫病自然分布为强烈的核心分布; 扩展速度在面积方面可表述为  $N_t = N_0 e^{0.43t}$ , 在病死树数量方面可表述为  $N_t = N_0 e^{1.19t}$ , 中心区病死树数量与远端疫点的距离关系可表述为  $y = 10^{1.9907+0.4475 \log x}$ ; 先外围策略导致了疫病全面增加, 先核心策略全面抑制了疫病的发展。按松材线虫病分布规律, 采取先核心策略, 能有效地抑制松材线虫病的发展。图 1 表 4 参 4

**关键词:** 松材线虫病; 分布; 防治策略

**中图分类号:** S763.8      **文献标识码:** A

松材线虫病防治, 在宏观层面上, 首先要理清指导(战略)思想<sup>[1]</sup>, 接着就需研究实现指导思想的具体部署。所谓部署就是次于战略层面的策略。中国古代“田忌赛马”就是著名的策略取胜事件。目前, “先外围后核心”是松材线虫病防治的通行策略。即: 在松材线虫病大面积发生区, 防治工作从外围零星疫点入手, 逐渐向中心严重区推进。多年实践表明, 这个策略是宁波南部松材线虫病越治越多的重要原因之一。本文在分析研究松材线虫病的自然扩散特性基础之上, 提出先核心后外围的策略, 并在实践中体现了治理效果。

## 1 材料与方法

宁波市松材线虫病分南片(象山半岛)和东片(北仑半岛, 含大榭岛)2片。研究材料为2片县区、乡镇、林班(村)和小班4级历年病情数据。方法为(1)对病死树数作  $\sqrt{x_{ij} + 1}$  转换后, 用  $c = s^2/x$ <sup>[2]</sup> 描述市、县、镇和村4级松材线虫病静态分布; (2)用同样方法分析南片1992年到1998年数据, 考察分布的动态变化; (3)再结合零星疫点出现特点, 用种群增长数学公式  $N_t = N_0 e^{rt}$  描述面积、死树、范围3项扩散的数量关系; (4)用次年病死树增减率标准  $D = [(N_{t+1} - N_t)/N_t] \times 100\%$  ( $N_t$  为当年病死树数量,  $N_{t+1}$  为去年病死树数量), 评价“先核心后外围”策略和“先外围后核心”策略的实施效果。 $D > 0$  表示病死树基数得到压缩, 防治有效;  $D = 0$  表示病死树基数得到控制;  $D < 0$  表示病死树基数增加, 防治无效。

收稿日期: 1999-08-20; 修回日期: 1999-12-28

作者简介: 来燕学(1956—), 男, 浙江宁波人, 高级工程师, 从事森林病虫防治研究。

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

## 2 结果与分析

### 2.1 松材线虫病分布和扩展特征

2.1.1 松材线虫病的静态分布 根据  $s^2/x$  分析, 松材线虫病表现为明显的核心分布。从一个村而言, 集中分布于几个小班; 镇集中于几个村; 县(区)集中于几个镇; 省(市)集中于几个县(区)。每个统计单位的  $s^2/x \gg 1$ , 表现为高度的集聚性(表 1)。从整体看, 松材线虫病聚集度与统计范围成正比, 从市级到村级  $c$  值从 270.61 下降到 22.84, 表明统计范围越大, 聚集度越高, 范围越小, 聚集度越低。

表 1 宁波市松材线虫病 4 级静态分布 (1996 年)

Table 1 Static distribution of pine wilt disease in Ningbo

统计单位	统计区域	单位数	发病个数	枯死树数量		$\sqrt{x_{ij} + 1}$		$x$	$s^2$	$s^2/x$
				最大值	最小值	最大值	最小值			
县区	宁波市	10	3	156 691	0	395.84	1	115.9	31 363.3	270.61
乡镇	象山半岛	20	17	61 921	0	248.84	1	51.53	4 170.6	80.93
村级	白峰镇	22	18	20 500	0	143.18	1	35.63	1 207.0	33.88
小班	轮江村	16	16	8 400	20	91.66	4.58	26.16	597.6	22.84

2.1.2 松材线虫病的动态分布 随着时间推移, 南片松材线虫病虽然分布逐年扩大, 从 1992 年至 1997 年, 发病单位由 10 个增加到 20 个, 但是病死树核心分布的格局没有变化, 反而加强,  $s^2/x$  的值由 36.31 增至 143.68。这个结果表明发病区病死树数量增长速度快于发病面积增加速度, 即发病面积增加是由死树增加来带动(表 2)。

表 2 宁波南片松材线虫病动态分布

Table 2 Dynamic distribution of pine wilt disease with time in south part of Ningbo

年份	统计单位数	发病单位数	$\sqrt{\text{病死树株数} + 1}$		$x$	$s$	$s/x$	$s^2/x$
			最大值	最小值				
1992	20	10	78.52	1	12.47	21.28	1.71	36.31
1993	20	11	72.07	1	11.77	17.73	1.51	26.71
1994	20	11	68.23	1	15.98	21.57	1.34	29.11
1995	20	15	143.99	1	29.62	38.45	1.29	49.91
1996	20	17	248.84	1	51.53	64.58	1.25	80.93
1997	20	20	340.78	1.73	87.02	93.88	1.08	101.28
1998	20	20	729.18	20.61	263.91	194.73	0.74	143.68

2.1.3 松材线虫病的扩散方式 根据静态和动态分布特征推论, 松材线虫病有连续(渗透)和不连续(跳跃)2 种扩散方式。连续扩散是指以发病树为中心, 按就近危害原则, 逐渐侵染周围松树, 使健康松树感病的过程, 表现为疫点膨大和病死树数量上升。不连续扩散是指松材线虫病从一个发病点跨过一定的松林间隔到另一个松林区形成新疫点的过程, 表现为发病面积增加, 对病死树数量影响不大(大量迁飞例外)。渗透和跳跃 2 种形式同时存在。在老病区表现为渗透带动跳跃, 渗透形成的中心区与最远新疫点的距离可用一组三角形示意(图 1)。

由图 1 可见。随着中心区病死树基数对数值的增加, 边缘地区疫点距离的对数值也随之增加。1992 年、1993 年和 1994 年两者关系不明显; 1995 年起两者关系密切, 1998 年象山中心区向西扩展的对数值为 4.50, 合 31.6 km。通过回归分析可得到关系式:  $y = 10^{1.9907+0.4475 \log x}$ ,  $r = 0.8922$ 。其中:  $y$  为中心发病点与最远外围疫点距离, 单位 m;  $x$  为发病点病死树株数, 单位株;  $r$  为相关系数。

2.1.4 扩散速度 松材线虫病的扩散速度表现在面积扩大、病死树增加和范围扩展3个方面。

面积增加速度符合昆虫种群在无限环境中的指数增加规律。1992年宁波南片发病面积 $1000 \text{ hm}^2$ , 增加数学式为:  $N_t = N_0 e^{0.43t}$ 。 $N_0$  为种群初始值, 单位  $\text{hm}^2$ ;  $N_t$  为  $t$  a 后种群值, 单位  $\text{hm}^2$ ;  $t$  为时间, 单位 a。用该式求算出估计值, 与每年实测回归, 得回归式:  $y = 8415.00 + 1.03x, r = 0.99$ 。 $y$  为实际发生面积值,  $x$  为指数式估算的发生面积,  $r$  为相关系数。

死树数量增加速度也符合有害生物种群在无限环境中的几何级数增加规律。1994年宁波南片有病死树木1.8万株, 增加式为:  $N_t = N_0 e^{1.19t}$ 。 $N_0$  为病死树数量初始值, 单位株;  $N_t$  为  $t$  a 后病死树数量, 单位株;  $t$  为时间, 单位 a。用该公式求算出病死树数量估计值, 与实际病死树数量回归, 得回归式:  $y = -7.33 + 1.01x, r = 0.98$ 。 $y$  为实际病死树发生数量, 单位万株;  $x$  为指数式估算的病死树发生数量, 单位万株;  $r$  为相关系数。

范围扩大速度是指松材线虫病外围点每年偏离中心区的最大距离, 也符合几何级数增长规律。1992年宁波南片中心疫区与外围疫点的最大距离为2398 m, 指数增长式:  $N_t = N_0 e^{0.44t}$ 。 $N_0$  为距离初始值, 单位 m;  $N_t$  为  $t$  a 后距离值, 单位 m;  $t$  为时间, 单位 a。用该式求算出估计值, 与实际发生值回归, 可得回归方程:  $y = 305.46 + 1.05x, r = 0.98$ 。 $y$  为实际距离, 单位 m;  $x$  为指数式估算值, 单位 m;  $r$  为相关系数。

从上述3个方面分析可知, 松材线虫病扩展符合有害生物内禀指数增加规律。面积扩展和距离扩展的内禀增长率极为相似, 分别为0.44和0.43。这表明面积和距离增长实际上是同一回事, 都取决于中心发病区病死树增长的指数规律。

## 2.2 2种治理策略的不同效果

2.2.1 先外围策略的运行结果 宁波市确立先外围策略是在1991年秋, 但真正运行这个策略始于1994年。此后南片松材线虫病就失去控制而狂增(表3)。

由表3可见, 1994年起防治重心从中心区移到外围区和零星区集中人财物力皆伐外围区松林 $28.7 \text{ hm}^2$ , 零星区 $13.3 \text{ hm}^2$ 。1995年, 疫情全面上升。中心区发病小班增57.4%, 发病面积增56.4%, 病死树数增352.2%, 实现“三增”。中心区疫病增长特点是病死树数量优先增长, 使构成比例由68.6%上升到82.2%, 发病面积和小班数由于处于“饱和”, 虽然绝对值增加但构成比例反而下降到45.6%和44.2%。这种情况促使中心区部分松墨天牛向外迁移寻找新的生活空间, 导致外围区发病面积上升126.6%, 病死树数量增加295.5%。小班和面积的结构比例分别增加到37.5%和35.7%, 而病死树数结构基本没有发生变化, 只增加0.5%。这表明入侵的松墨天牛数量较少。零星区被外围区隔开, 离中心区较远, 从中心区外迁的松墨天牛大都被外围区吸收, 没有明显“跳入”扩展。因此零星区疫情基本稳定, 发病面积、病死树数只增加25.5%和0.9%, 而面积的结构比例反而从24.8%下降到18.7%, 病死树从19.3%下降到5.2%。这表明在不受或少受外界影响的情况下, 清

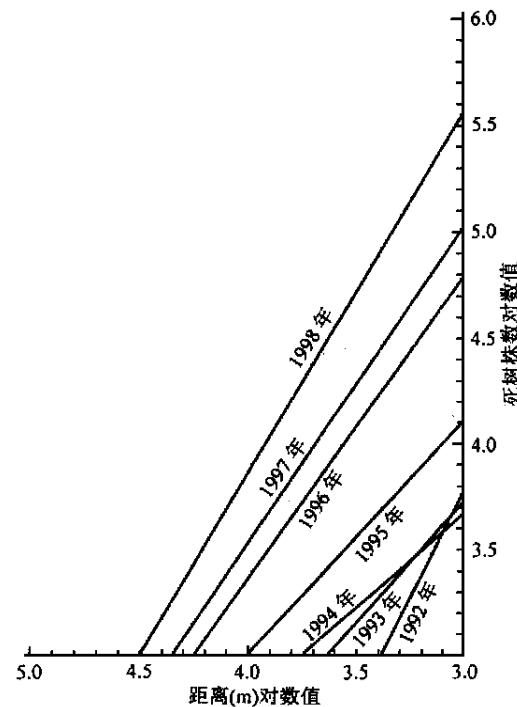


图1 松材线虫病中心疫区病死树数量与外围距离的关系

Figure 1 Relationships between the number of dead trees and distance

理病死松树和皆伐都能取得控制松材线虫病的暂时效果。由于当时不了解中心区与外围区之间的关系, 1995 年外围防治力度继续加大, 中心区几乎全部放弃防治, 外围区部分放弃防治, 集中全力皆伐 174.9 hm<sup>2</sup>, 试图扑灭零星区内的新疫点。但事与愿违, 1996 年疫情全面恶化。中心区病情继续实现“三增”, 但增幅有所下降, 发病面积和病死树数分别增加 54.9% 和 146.9%, 发病面积和病死树数的结构比例面积回落到 27.8% 和 59.1%。外围区病情狂增, 发病面积和病死树数分别增加 248.8% 和 646.8%, 结构比例增加到 49.0% 和 27.5%。零星区虽然得到大力防治, 但不能阻拦中心区和外围区的疫源侵入, 疫情跟着上升。发病面积增加 213.6%, 病死树数增加 782.8%, 发病面积和病死树数的结构比例分别上升到 23.2% 和 13.4%。这个结果进一步表明放弃中心区, 从外围入手, 致力于零星小疫点扑灭的策略是导致疫病暴发的重要原因。这种策略继续的结果是中心区松树大部枯死, 形成无松的“空洞区”, 外围区逐步转化为“圆环状的发病中心”, 零星区转变为“外围区”, 同时在更远的地区形成新的“零星区”。

表 3 宁波南部采用先外围策略治理松材线虫病结果

Table 3 The results of controlling pine wilt disease with the tactic of first controlling outside then center in south part of Ningbo

年度	中 心 区			外 围 区			零 星 区		
	小班数/个	面积/hm <sup>2</sup>	死树数/株	小班数/个	面积/hm <sup>2</sup>	死树数/株	小班数/个	面积/hm <sup>2</sup>	死树数/株
1994	169 (47.3%)	692.9 (48.8%)	7 925 (68.6%)	100 (27.9%)	373.5 (26.4%)	1 396 (12.1%)	89 (24.8%)	353.3 (24.8%)	2 229 (19.3%)
清理+熏蒸, 放弃									
1995	266 (44.2%)	1 083.8 (45.6%)	35 843 (82.2%)	226 (37.5%)	846.5 (35.7%)	5 521 (12.6%)	110 (18.3%)	443.6 (18.7%)	2 249 (5.2%)
放弃									
1996	383 (24.2%)	1 678.7 (27.8%)	88 509 (59.1%)	822 (51.9%)	2 952.5 (49.0%)	41 232 (27.5%)	379 (23.9%)	1 391.1 (23.2%)	19 854 (13.4%)

说明: 括号中百分数为各区发病小班数、发病面积和死树数的构成比例

2.2.2 先核心策略的实行结果 1996 年宁波东部发生松材线虫病后, 立即实施了“先核心”防治策略, 取得明显效果 (表 4)。

表 4 宁波东部采用先核心策略治理松材线虫病效果

Table 4 The results of controlling pine wilt disease with the tactic of first controlling center then outside in east part of Ningbo

年 度	中 心 区			零 星 区		
	小班数/个	面积/hm <sup>2</sup>	死树数/株	小班数/个	面积/hm <sup>2</sup>	死树数/株
1996	219 (72.8%)	807.2 (62.7%)	120 107 (84.9%)	82 (27.2%)	480.3 (37.3%)	21 353 (15.1%)
用二阶原点除害法全面清理烧毁病死松树						
1997	226 (83.1%)	906.5 (77.3%)	113 454 (96.5%)	46 (16.9%)	266.3 (22.7%)	4 104 (3.5%)

说明: 括号中百分数为各区发病小班数、发病面积和死树数的构成比例

由表 4 可见, 东部发病区从中心区入手对病死树实行全面清理烧毁后, 不管中心区还是零星区的疫情基数都得到明显下降。中心区病死树下降 5.5%, 零星区不但病死树数量下降 80.8%, 而且发病面积也下降 44.5%。这表明, 在中心区疫情得到控制的前提下, 零星区不但能压缩病死树规模, 而且能压缩发病面积, 扑灭零星疫点。但从表 4 也可见中心区病死树下降, 发病面积上升的反常现象。分析认为, 这是外围区疫病发生发展的特有现象。因为外围区受到中心区疫情影响, 中心以跳跃方式向外扩散疫病时首先导致外围区的发病面积增加而对病死树数量影响不大 (表 3)。这个现象表明, 宁波东部松材线虫病中心区实际上是另一个大发病中心的外围区。这另一个大发病中心显然是隔海相望的舟山群岛。舟山群岛有 100 多万株病死松树, 每年有上亿头松墨天牛, 随着海风或气流向外扩展寻求新寄主, 相距仅 4.5 km 和穿山半岛无疑是第一块跳板<sup>[3]</sup>。由此推论, 在舟山松树毁灭和松墨天牛

牛全部释放之前, 北仑松材线虫病防治难以全面收效。

全力治理中心区能取得防治效果的原因很简单, 即最直接最大限度地杀死了躲在枯死松树内的松墨天牛, 降低了疫病的基数; 反之, 外围策略把精力用于砍活树, 造成枯死松树内的松墨天牛按指数规律上升。实际上可用前述的松材线虫病分布理论来说明2种策略的不同效果。如一个地区有11万棵枯死松树, 10万棵分布在中心区, 1万棵分布在外围区, 决策投入20万元防治资金。

第1种策略 皆伐外围区松林, 去除1万株病死松树和9万株活松树, 次年疫病发生情况按指数规律增长的结果是:  $N_t = N_0 e^{1.19t} = 100000 \times e^{1.19t} = 328708$ 。

根据  $D = [(N_{t-1} - N_t) / N_{t-1}] \times 100\% = [(110000 - 328700) / 110000] \times 100\% = -198.81\%$ , 表明病死树增加1.98倍。

第2种策略 全面清理烧毁中心区10万株病死树, 次年疫病发生情况会按指数规律增长的结果是:  $N_t = N_0 e^{1.19t} = 100000 \times e^{1.19t} = 328708$ 。

根据  $D = [(N_{t-1} - N_t) / N_{t-1}] \times 100\% = [(110000 - 32870) / 110000] \times 100\% = 70.12\%$ , 表明病死树减少70.12%。

由此可见2种策略产生了完全不同的结果。第1种策略的结果是: 防治无效, 病情扩散, 还会产生66.7 hm<sup>2</sup> 皆伐迹地。第2种策略的结果是: 防治有效, 病情压缩, 松林持续存在, 不形成新荒山。

### 3 结论与讨论

在松林的“均匀介质”中, 松材线虫病侵入后, 会以指数规律积累病情基数, 逐年形成发病中心。随着病情逐年增加, 部分松墨天牛又会“跳跃”传播疫病, 在中心区附近的外围区形成新疫点。因为松材线虫病面积以小班为单位统计, 1个小班上只要有1棵枯死松树就算是发病小班, 所以外围区有发病面积增速快于中心区, 病死树增速滞后于面积增速的特有现象。同时, 按照这种扩散特点, 几年后, 在均匀介质上会形成大小不同的发病点。这些点表明为明显的核心分布特征。

松材线虫病扩散速度与病情基数有关。早期病情基数小, 扩散能力弱, 不会导致松林重大损失; 中后期随着基数积累, 扩散速度加快, 不加控制会爆发成灾。中心发病区的病情基数(以乡镇为单位)与扩散半径关系可用数学式表达, 病情基数越高, 扩散距离越远。例如有10万株病死树的发病中心, 可以在16.9 km 范围外形成新疫点。

由分布特征和扩散速度分析可知, 采用先外围后核心策略值得商榷。这个策略舍本逐末, 避重就轻, 每年留下大量病原, 是导致松材线虫病扩展的重要根源。1991年宁波南部发生松材线虫病, 专家论证提出“从外围入手皆伐松林, 3 a 扑灭疫病”的策略。当时病区松材线虫病防治指挥部总指挥朱晋福和副指挥朱振海, 不愿失去松林, 与笔者商量, 是否有替代方法。笔者认为关键是杀死枯死松树内的松材线虫和松墨天牛。他们认为有理, 采取了从北门山(1991年8月松材线虫检出点)入手, 全面清理病死松树的策略和方法。从1991年冬到1992年春, 及时处理了12万株枯死松树, 取得重要成果。到1992年夏, 病死树压缩到3.99万株, 压缩率为68.8%。1992年冬到1993年, 由于“两朱”双双调离, “外围皆伐”策略得以强化, 为勾溪镇和茅洋镇的2个零星新疫点皆伐6.7 hm<sup>2</sup> 松林。但当时病情基数尚低, 防治资金相对充裕, 对中心区采用收购病死木办法治理, 基本做到了全面治理。一直到1994年, 南片发病面积1418 hm<sup>2</sup>, 病死树1.8万株, 分别比1991年降低32.7%和85.9%, 处于控制压缩状态<sup>[4]</sup>。1995年后以封锁代清理, 中心区完全放弃防治, 造成疫情爆发成灾的后果。

### 参考文献:

- 1 来燕学. 松墨天牛的飞行特性与防治松材线虫病的指导思想[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(3): 320~324.
- 2 南开大学, 中山大学. 昆虫学(下册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980. 210~218.
- 3 来燕学, 周永平, 俞林祥, 等. 松材线虫病新疫点成因机制初探[J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(4): 425~429.
- 4 来燕学. 宁波市松材线虫病防治现状和前景[J]. 植物检疫, 1996, 10(4): 217~218.

# A tactic for controlling pine wilt disease based on its distribution and spread

LAI Yan-xue

(Forest Disease and Pest Control Station of Ningbo City, Ningbo 315000, Zhejiang, China)

**Abstract:** In order to study and establish a tactic for controlling pine wilt disease based on its distribution and spread in a state of nature, the paper describes the static and dynamic distribution of this disease with  $c = s^2/x$  in the range from city to village in 1992—1998, decides on its growth rate using  $N_t = N_0 e^{rt}$ , comments on the effect of two practicing tactics, that is “first controlling outside then center” and “first controlling center then outside”, according to the number of wilt pine trees next year applying the standard of  $D = [(N_{t-1} - N_t)/N_{t-1}] \times 100\%$ . The results show that  $c \gg 1$  means there are some obvious cores in the distribution of pine wilt disease, the growth rate in area is  $N_t = N_0 e^{0.48 t}$ , the number of wilt pine trees is  $N_t = N_0 e^{0.19 t}$ , the relationship between the number of wilt pine trees in center areas and the distance of the outer wilt pine trees is  $y = 10^{1.9907+0.4475 \log x}$ , the tactic of “first controlling outside then center” leads to overall increasing of pine wilt disease, and the tactic of “first controlling center then outside” leads to its overall decreasing. The tactic of “first controlling center then outside” can effectively control the development of pine wilt disease.

**Key words:** pine wilt disease; distribution; control tactic