

## 松材线虫病病死木木材物理力学性质测定

来燕学<sup>1</sup>, 马灵飞<sup>2</sup>, 池树友<sup>1</sup>, 张毅峰<sup>1</sup>, 王亚红<sup>1</sup>, 金永明<sup>2</sup>

(1. 浙江省宁波市森林病虫防治检疫站, 浙江 宁波 315000; 2. 浙江林学院  
工程学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 对当年、前1年受松材线虫病 *Bursaphelenchus xylophilus* 危害的病死马尾松 *Pinus massoniana* 及健康马尾松木材的物理力学性质进行了测定。结果表明, 松材线虫病病死木木材的静曲强度、弹性模量、抗拉强度、抗压强度、冲击韧性和握钉力与健康材差异显著, 密度与健康材差异不显著。健康木材的静曲强度比松材线虫病木材高30%; 弹性模量比病材高20%; 病木的抗拉强度只有健康材的54.1%~76.9%; 健康材抗压强度比病材高出26.8%; 健康材冲击韧性比病材高21.0%~32.5%; 病木的弦向握钉力是健康材的77.3%~91.7%; 径向握钉力是健康材的65.9%~70.1%; 健康材密度较病材高出15.0%。表3参11

**关键词:** 林业工程; 松材线虫病; 木材材性; 物理力学性质; 马尾松

中图分类号: S781

文献标志码: A

文章编号: 1000-5692(2008)01-0007-04

## Comparing physical and mechanical properties of dead wood resulting from pine wilt disease and healthy wood

LAI Yan-xue<sup>1</sup>, MA Ling-fei<sup>2</sup>, CHI Shu-you<sup>1</sup>, ZHANG Yi-feng<sup>1</sup>, WANG Ya-hong<sup>1</sup>, JIN Yong-ming<sup>2</sup>

(1. Forest Pest Control and Quarantine Station of Ningbo City, Ningbo 315000, Zhejiang, China; 2. School of  
Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** In order to save wood resources, we also use disease-infected pinewoods after killing the nematode and the insect vector in wood. But is the disease will affect pinewood characteristics? This study compared the physical and mechanical properties of healthy wood from *Pinus massoniana* gathered in 2004 and dead woods that had suffered pine wilt disease and died in 2003 and 2004. Results indicated that healthy wood was significantly greater than dead wood for modulus of rupture (MOR) ( $P < 0.01$ ), modulus of elasticity (MOE) ( $P < 0.05$ ), tensile strength ( $P < 0.01$ ), compression strength ( $P < 0.01$ ), impact toughness ( $P < 0.01$ ) and nail-holding performance (dead wood 65.9% - 91.7% less), while there were no significant differences for density. Except of density, dead wood can not compare with the health wood, so we should make a difference between the two woods. [Ch, 3 tab. 11 ref.]

**Key words:** forest engineering; pine wilt disease (*Bursaphelenchus xylophilus*); wood characteristics; physical and mechanical properties; *Pinus massoniana*

松材线虫病 *Bursaphelenchus xylophilus* 是松属 *Pinus* 植物的一种毁灭性病害<sup>[1]</sup>。我国是松材线虫病受灾最严重的国家之一, 自1982年在南京中山陵首次发生松材线虫病以来<sup>[2]</sup>, 已造成数千万株松树死亡, 给我国的经济和生态环境造成了不可估量的损失。在松材线虫病防治过程中, 多采取烧毁疫木的方式达到杀灭松木内媒介昆虫的目的<sup>[3]</sup>。近些年来, 为了节约木材资源和促进可持续防治, 疫木安全利用已成为松材线虫病防治的重要措施。松疫木通过安全的加工过程达到消灭媒介昆虫和病原线虫的效果, 或者通过溴甲烷熏蒸除害处理后再进行使用。但在安全利用过程中, 人们普遍担心疫木的

收稿日期: 2007-02-01; 修回日期: 2007-05-24

基金项目: 浙江省宁波市农科教结合资助项目(2003NK26)

作者简介: 来燕学, 教授级高级工程师, 从事森林病虫害防治检疫等研究。E-mail: nbssfz@zjly.gov.cn

材性降低, 利用价值受到影响。为了弄清松材线虫病疫木的木材性质与正常松木的差异, 笔者对马尾松 *Pinus massoniana* 当年的病木、前一年的病木及健康木的物理力学性质进行了比较测定, 以期对松材线虫病疫木的价值作出正确合理的评估。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验材料为3种类型的马尾松木材。样本全部在浙江省宁波市境内采集。材料A: 2004年当年采集的健康马尾松木; 材料B: 2003年的松材线虫病病死马尾松木; 材料C: 2004年当年的松材线虫病病死马尾松木。

### 1.2 主要设备

MJ6132A型精密推台锯, MWD-50型微机控制电子式木材万能力学试验机, 滑动式切片机, 烘箱, 游标卡尺, 螺旋测微器, OLYMPUS显微镜。

### 1.3 测定方法

试件的锯解及截取按国家标准 GB/T 1929 - 1991, 然后进行力学性能测试<sup>[4]</sup>。顺纹抗压强度测试方法参照 GB/T 1935 - 1991 进行, 长度为顺纹方向; 抗弯强度参照 GB/T 1936.1 - 1991; 抗弯弹性模量按照 GB/T 1936.2 - 1991, 长度为顺纹方向; 冲击韧性按照 GB/T 1940 - 1991, 长度为顺纹方向; 顺纹抗拉强度按照 GB/T 1938 - 1991; 握钉力按照 GB/T 14018 - 1992, 长度为顺纹方向; 密度测定按照 GB/T 1933 - 1991。各种试件数量和尺寸见表1。

表1 测试试件的数量及尺寸

Table 1 Number and size of the samples determined

测试项目	试件数			试件尺寸/(mm × mm × mm)
	A	B	C	
抗弯弹性模量	44	28	45	300 × 20 × 20
顺纹抗压强度	40	40	40	30 × 20 × 20
顺纹抗拉强度	26	25	26	
冲击韧性	45	29	44	30 × 20 × 20
抗弯强度	44	28	45	300 × 20 × 20
握钉力				150 × 50 × 50
密度	35	20	35	

## 2 结果与分析

根据国家标准 GB/T 1929 - 1991, 各项物理力学性质的测定结果(所有数据均已换算成含水率为12%时的标准强度)的平均值、标准差、标准误差、变异系数和置信度在95%以上的准确指数见表2。

由表2可以看出, 所有物理力学性质均以健康马尾松为最优, 其中健康木材的静曲强度为100.4 MPa, 当年和前1年松材线虫病病死木的静曲强度分别为77.1和76.9 MPa, 健康材比病材高30.0%; 健康材弹性模量为13 360.0 MPa, 当年和前1年病材的弹性模量分别为11 040.0和11 740.0 MPa, 健康材比病材高20.0%, 病材与健康材存在差异。健康材抗拉强度为113.3 MPa, 前1年松材线虫病病死木为61.3 MPa, 只有健康材的54.1%; 当年病材的抗拉强度为87.1 MPa, 是健康材的76.9%。健康材抗压强度为44.0 MPa, 分别比前1年和当年病材高出26.8%和23.2%。健康材冲击韧性为62.0 kJ · m<sup>-2</sup>, 比前1年松材线虫病病材高32.5%, 比当年病材高21.0%。前1年和当年病材弦向握钉力分别为22.2和18.7 N · mm<sup>-1</sup>, 分别是健康材的91.7%和77.3%; 径向握钉力分别为17.2和18.3 N · mm<sup>-1</sup>, 是健康材的65.9%和70.1%, 健康材与病材差异显著。健康材气干密度为0.60 g · cm<sup>-3</sup>, 高出病材

15.0%；绝干密度为  $0.565 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，较病材高出 15.1%，平均值差距较小。

表 2 3 种马尾松木材物理力学性质测定

Table 2 Tests on wood physical-mechanical properties

物理力学性质	平均值			标准差			标准误差			变异系数/%			准确指数/%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
静曲强度/ MPa	100.40	76.90	77.10	19.12	15.08	17.82	2.99	2.96	2.72	19.6	19.6	23.1	6.1	7.7	7.0
弹性模量/MPa	13 360.00	11 740.00	11 040.00	28 476.00	2 582.00	2 221.00	4.34	4.88	3.35	21.5	22.0	19.0	6.6	8.3	5.7
顺纹抗压强度/MPa	44.00	34.70	35.70	6.36	8.73	6.28	1.02	1.40	0.99	15.1	27.0	17.9	4.8	8.7	5.6
顺纹抗拉强度/MPa	113.30	61.30	87.10	27.97	23.95	25.47	5.59	4.99	6.00	28.1	44.1	32.8	11.2	18.4	15.4
冲击韧性/ ( $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )	62.00	46.80	51.20	20.50	16.60	19.50	3.20	3.10	3.10	33.1	35.6	38.1	10.3	13.2	11.9
弦向握钉力/ ( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ )	24.2	22.2	18.7												
径向握钉力/ ( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ )	26.1	17.2	18.3												
气干密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	0.060	0.521	0.521	0.065	0.033	0.055	0.011	0.007	0.009	10.90	6.46	10.80	3.76	2.88	3.65
绝干密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	0.565	0.491	0.492	0.061	0.034	0.054	0.010	0.007	0.009	10.90	7.05	11.10	3.68	3.15	3.89

在测试的物理力学性质指标中，健康材与病材的密度最为接近，相差约 15.0%，无明显差异。而静曲强度、弹性模量、抗拉强度、抗压强度和冲击韧性等指标健康材比病材高出 20.0% ~ 40.0%，差异显著，与以往的研究结果有所不同<sup>[5]</sup>。

从松材线虫病组织病理学研究分析，松材线虫破坏的是松树树脂道的泌脂细胞及轴向、射线薄壁细胞<sup>[6,7]</sup>，这些细胞的破坏和变异对木材力学性质影响不大。但现代研究表明，松材线虫侵入树体还带入了大量的细菌和真菌，这些细菌和真菌能够侵染木材的细胞壁<sup>[8]</sup>。所以，由于受线虫带入的细菌和真菌影响，木材的组织结构遭受一定程度的破坏，木材的物理力学性质因此较健康材有所下降。

用 Matlab 软件中的 anova1 函数对静曲强度、弹性模量、抗拉强度、抗压强度和冲击韧性等指标进行单因素方差分析。结果可见(表 3)， $F_{0.05}(2, 75)$  大于  $F$  值的概率小于 0.05，可以认为  $F_{0.05}(2, 75) < F$  值，即差异显著。为进一步说明，查概率中常用的显著水准  $\alpha$  下  $F_{0.01}$  值，将由 Matlab 算出的  $F$  值与查得的  $F_{0.01}$  值进行比较，即  $F > F_{0.01}$ 。所以，在 95% 的概率上可以认为各列均值之间存在显著差异，即松材线虫病木材与健康材之间差异显著。

木材密度用以表示木材细胞壁物质的多少，是木材物理性质中最重要的综合性材性指标，是木材实际应用时的最主要参数之一<sup>[9,10]</sup>。木材密度的大小与木材的强度、硬度、耐磨性和发热值有很大的关系，还会影响木材的加工质量、制浆得率和木浆的质量，因此木材密度的大小对木材价值有着重要意义，决定了木材的用途<sup>[11]</sup>。从试验测定的数据可以看出，松材线虫病木材的密度较健康材变化不明显，并没有因为松材线虫的侵染而显著降低，与健康材差异不显著。

### 3 结论

试验结果表明，松材线虫病病死马尾松木材的物理力学性质与健康松木有显著差异。3 种木材相比，即健康木: 当年病死木: 前 1 年病死木，静曲强度为 1:0.766:0.768；弹性模量为 1:0.879:0.827；

顺纹抗压强度为 1:0.789:0.811; 顺纹抗拉强度为 1:0.613:0.769; 冲击韧性为 1:0.755:0.826。可见, 病木的强度较健康木约低 30.0%, 但当年病死木与前 1 年病死木之间的力学性质差异不大。所有指标中, 病木与健康木的顺纹抗拉强度差异最大, 密度差异不显著。

表 3 3 种木材物理力学性质方差分析

Table 3 Covariance analysis of wood physical-mechanical properties

测试项目	变异来源	自由度	平方和	均方差	<i>F</i>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	<i>F</i> <sub>0.01</sub>
静曲强度	组间	2	7 769.2	388.6			
	误差	75	26 115.2		11.02	3.12	4.92
	总变异	77	34 214.4	352.6			
弹性模量	组间	2	4.788 49E+07	2.394 25E+07			
	误差	81	5.372 62E+08		3.61	3.11	4.88
	总变异	83	5.851 47E+08	6.632 87E+06			
顺纹抗压强度	组间	2	1 929.9	965.0			
	误差	114	5 775.5		19.05	3.08	4.82
	总变异	116	7 705.5	51.0			
顺纹抗拉强度	组间	2	21 954.4	10 977.2			
	误差	51	35 630.3		15.71	3.18	5.05
	总变异	53	57 584.8	698.6			
冲击韧性	组间	2	3 825.6	1 912.8			
	误差	84	31 033.9		5.18	3.11	4.88
	总变异	86	34 859.5	369.5			

尽管病材的密度与健康材接近, 但部分物理性质相差较大, 在实际应用过程中, 病材与健康材应区别对待。

### 参考文献:

- [1] 朱克恭, 朱正昌, 严敖金. 中国松材线虫病的流行与治理[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995: 297-314.
- [2] 程湖瑞, 林茂松, 黎伟强. 南京黑松上发生的萎蔫线虫病[J]. 森林病虫害通讯, 1983(4): 1-5.
- [3] 来燕学, 周永平, 俞林祥, 等. 林内就地火烧病死木防治松材线虫病试验[J]. 江苏林业科技, 2000, 27(6): 28-32.
- [4] 中华人民共和国国家技术监督局. GB/T 1927~1943-1991 木材物理力学性质试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [5] 蒋丽雅, 王晓芸, 朋金和, 等. 松材线虫病罹病株木材物理力学性质的研究[J]. 森林病虫害通讯, 1990(4): 10-11.
- [6] KIYOHARA T, SUZUKI K, HASHIMOTO H. Migration of the pine wood nematode in a pine tree at an early stage of infection [J]. *Trans Annu Meet Jpn For Soc*, 1975, 86: 299-300.
- [7] MAMIYA Y, KOBAYASHI T, ZINNO Y, et al. Disease development of pine trees naturally infected with *Bursaphelenchus lignicolus* [J]. *Trans Annu Meet Jpn For Soc*, 1973, 84: 323-324.
- [8] 杨宝君. 中国松材线虫病的流行和治理[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [9] 尹思慈. 木材品质与缺陷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991.
- [10] 申宗圻. 木材学[M]. 2版. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [11] 马连祥, 杨文斌, 周定国. 酸雨和大气污染对杨树木材物理性质的影响——对年轮宽度和基本密度的影响[J]. 福建林学院学报, 2000, 20(3): 269-272.