

纯林和混交林中拟赤杨材性的比较分析

林秀芳¹, 林金国^{2,①}, 王水英², 陈慈禄³

(1. 福建省林业调查规划院, 福建 福州 350003;

2. 福建农林大学材料工程学院, 福建 福州 350002; 3. 福建省顺昌县林业局, 福建 顺昌 353200)

摘要: 对拟赤杨(*Alniphyllum fortunei* Makino) 纯林、拟赤杨-马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.) 混交林和拟赤杨-杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 混交林中拟赤杨木材的物理力学性质和化学组分进行了测定和比较分析。结果表明, 混交林中拟赤杨的木材密度、干缩系数和力学强度均大于纯林, 且拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材的各指标值均最高。拟赤杨-杉木混交林中拟赤杨木材的热水抽出物、1% NaOH 抽出物、苯醇抽出物、硝酸-乙醇纤维素和 Klason 木素含量分别为 2.31%、18.63%、2.52%、45.74% 和 21.59%, 均高于纯林; 拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材的戊聚糖含量(22.98%) 高于纯林。说明拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材的材性总体上最优, 在拟赤杨木材品质培育过程中宜选择马尾松作为伴生树种。

关键词: 拟赤杨; 纯林; 混交林; 材性

中图分类号: S781.29; S781.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0978(2008)01-0038-05

Comparative analysis on wood property of *Alniphyllum fortunei* in pure and mixed forests LIN Xiu-fang¹, LIN Jin-guo^{2,①}, WANG Shui-ying², CHEN Ci-lu³ (1. Fujian Forestry and Design Institute, Fuzhou 350003, China; 2. Material Engineering College, Fujian Forestry and Agriculture University, Fuzhou 350002, China; 3. Forestry Bureau of Shunchang County, Shunchang 353200, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2008, 17(1): 38-42

Abstract: Physical and mechanical properties and chemical composition of *Alniphyllum fortunei* Makino wood in *A. fortunei* pure forest, *A. fortunei*-*Pinus massoniana* Lamb. mixed forest and *A. fortunei*-*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. mixed forest were determined and analyzed comparatively. The results showed that wood density, shrinkage coefficient and mechanical strength of *A. fortunei* wood in mixed forests were higher than that in *A. fortunei* pure forest. Furthermore, those indexes of *A. fortunei* wood in *A. fortunei*-*P. massoniana* mixed forest were the highest. Contents of hot water extractive, 1% NaOH extractive, benzene-alcohol extractive, nitric acid-alcohol cellulose and Klason lignin of *A. fortunei* wood in *A. fortunei*-*C. lanceolata* mixed forest respectively reached to 2.31%, 18.63%, 2.52%, 45.74% and 21.59%, which were higher than that in *A. fortunei* pure forest. Pentosan content of *A. fortunei* wood in *A. fortunei*-*P. massoniana* mixed forest was 22.98%, which was higher than that in *A. fortunei* pure forest. It is suggested that in generally, the wood property indexes of *A. fortunei* wood in *A. fortunei*-*P. massoniana* mixed forest are the best. Therefore, *P. massoniana* is suitable for used as the associated tree species in process of timber culture of *A. fortunei* wood.

Key words: *Alniphyllum fortunei* Makino; pure forest; mixed forest; wood property

大力发展人工林是世界各国面对天然林和天然次生林日益减少所采取的共同战略措施。新中国成立以来, 工业人工林的营造取得了长足的发展。国家林业局于 2005 年 1 月 18 日发布的第 6 次森林资源清查结果表明, 中国国内人工林的保存面积为 5.3×10^7 hm², 蓄积量达 15.05×10^8 m³, 居世界首位, 约占全世界造林面积的 1/5。20 世纪 50 年代以

来, 福建省的森林资源结构发生了巨大变化, 天然林资源急剧减少, 人工林面积迅速扩大, 且以针叶林面

收稿日期: 2007-04-29

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(B0110024)

作者简介: 林秀芳(1973-), 女, 福建莆田人, 本科, 工程师, 主要从事木材科学方面的研究。

① 通讯作者 E-mail: fjljng@126.com

积增加为主,阔叶林面积呈递减趋势。

拟赤杨(*Alniphyllum fortunei* Makino)属安息香科(*Styracaceae*)拟赤杨属(*Alniphyllum* Matsum.)落叶乔木,普遍生长于福建省海拔300~700 m的林区,适应性和萌芽力均较强、干形通直、尖削度小,是中国南方优良速生用材树种之一。拟赤杨木材轻软细致、纹理直、易加工,常作为火柴杆、造纸、人造板、家具及建筑等用材。

以阔叶树种为目的树种,选择种间关系协调的伴生树种合理混交,不但能促进阔叶树种的生长,而且还能改善其干形。在福建省,马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)和杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]是拟赤杨理想的伴生树种^[1]。掌握不同伴生树种对拟赤杨木材材性的影响规律,对通过生物措施控制拟赤杨木材的材性变异、定向培育优质木材和高效合理利用木材具有重要的指导意义。林型材质变异规律是培育优质木材的理论依据,具有重要的研究价值^[2]。目前,国内外关于针叶林材质变异的研究较多^[3-7],对阔叶林材质变异的研究报道则较少,且未见有关伴生树种对包括拟赤杨在内的福建中亚热带人工阔叶林材质影响的研究报道。

笔者比较分析了混交林和纯林中拟赤杨木材理化性质(包括木材物理性质、力学性质和化学性质)的差异,研究了混交林中伴生树种马尾松和杉木对拟赤杨木材理化性质的影响,以期对拟赤杨人工林材质的定向培育和木材的合理高效利用提供一定的理论依据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

供试的拟赤杨人工林位于福建省顺昌县大历镇,处于福建省中部偏西北地区,地理位置为东经117°13'~118°14'、北纬26°39'~27°13'。人工林所处山脉属武夷山系杉岭向东南延伸的支脉,地势由顺昌县的西南部、北部和东北部向该县的中部、东部和西北部的丘陵和河谷台地倾斜。

该地区四季分明、夏长冬短,气候温暖湿润,太阳辐射充足,日照时数适中,年均日照时数1 719.8 h。年平均气温18.5℃,1月份平均气温7.8℃,年极端最高气温40.2℃,年极端最低气温-6.8℃,

日平均气温 ≥ 10 ℃的全年积温为5 884.4℃;全年无霜期310 d,偶有降雪,年平均降雪天数3.1 d;年均降水量1 696.9 mm(3月份至6月份最多,占全年的60%),年均空气相对湿度82%,年蒸发量1 374.1 mm,年蒸发量小于降水量。地带性土壤为红壤,土层厚度多在1 m以上,肥力较高。

供试的拟赤杨纯林、拟赤杨-马尾松混交林及拟赤杨-杉木混交林的林龄均为20 a,其中后两者的林分结构分别为拟赤杨与杉木1:2行间混交、拟赤杨与马尾松1:2行间混交。供试林木的立地级均为Ⅱ级,造林密度均为1 800株·hm⁻²,造林后第10年实施间伐,间伐强度为1/3,现存密度为1 200株·hm⁻²,样地海拔360~390 m,苗木来源和其他培育措施相同。

1.2 研究方法

1.2.1 取材方法 在拟赤杨纯林、拟赤杨-马尾松混交林及拟赤杨-杉木混交林中建立20 m×20 m的样地,在多样地内对拟赤杨进行每木检测,测定胸径和树高。每种林分分别采集拟赤杨5株,其中纯林中拟赤杨样木胸径17.6~18.4 cm,树高16.7~17.6 m;拟赤杨-杉木混交林中拟赤杨样木胸径18.0~18.6 cm,树高16.9~17.9 m;拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨样木胸径18.3~18.8 cm,树高17.3~18.5 m。每木自胸高以上截取2 m长树干运回实验室,进行木材物理力学性质和化学组分的测定。

1.2.2 木材物理力学性质的测定 将试材在室内气干后,加工成无疵小试样,按照国家标准GB1927—1943-91^[8]进行各项木材物理力学指标的测定,各项力学强度指标均使用欧姆斯诺(Amsler)公司生产的4 t木材力学试验机进行测定,测定的有效样本数为32。

1.2.3 木材化学组分的测定 将木材原料去皮,用四分法劈成薄片并放置48 h,风干后置于粉碎机中磨细,用标准筛截取能过40目筛但不能过60目筛的部分粉末作为分析试样,参照国家标准^[9]对木材中的热水抽出物、1% NaOH抽出物、苯醇抽出物、硝酸-乙醇纤维素、戊聚糖和Klason木素含量等指标进行测定。

1.3 数据处理

采用Excel和SPSS 10.0统计分析软件对实验数据进行数据整理和统计分析^[10]。

2 结果和分析

2.1 拟赤杨木材物理性质的差异

2.1.1 木材密度的差异 木材密度是木材单一性质中最重要的指标。一般认为,作为承重的结构材料,木材品质主要取决于木材密度^[11]。根据纯林和混交林中拟赤杨木材的基本密度和气干密度(表1)可知,混交林中拟赤杨的木材密度大于纯林,且拟赤杨-马尾松混交林中的拟赤杨木材密度最大。这是由于伴生树种马尾松和杉木在生长过程中与拟赤杨之间对水分吸收、输导和光照条件等存在一定的竞争,为了在生长过程中有足够的水分供应和充足的光照,拟赤杨体内输导组织导管的比量增加,机械支持组织木纤维的分裂速度加快,从而提高了拟赤杨的生存竞争能力。

不同林分中拟赤杨木材密度的变异系数也表现

为:拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材密度的变异系数最大、拟赤杨-杉木混交林中的次之、拟赤杨纯林中的最小,表明混交林中拟赤杨木材密度的离散性大于纯林中的拟赤杨,且拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材密度的离散性大于拟赤杨-杉木混交林中的拟赤杨。说明伴生树种马尾松和杉木不但促进了拟赤杨的生长,而且在一定程度上提高了拟赤杨的木材密度,但同时也加大了拟赤杨木材密度的波动。

差异显著性分析结果表明,拟赤杨-马尾松混交林、拟赤杨-杉木混交林和拟赤杨纯林中拟赤杨木材密度的差异均不显著(表1),说明伴生树种马尾松和杉木对拟赤杨木材密度的影响不显著。但在拟赤杨木材密度品质培育过程中,选择马尾松和杉木作为伴生树种并采用合适的混交比例可获得密度较高的拟赤杨木材。

表1 纯林和混交林中拟赤杨木材密度的比较¹⁾

Table 1 Comparison of wood density of *Alniphyllum fortunei* Makino in pure and mixed forests¹⁾

样地 Plot	基本密度 Basic density		气干密度 Air-seasoned wood density	
	$(\bar{X} \pm SD)/g \cdot cm^{-3}$	CV/%	$(\bar{X} \pm SD)/g \cdot cm^{-3}$	CV/%
拟赤杨-马尾松混交林 <i>A. fortunei</i> - <i>Pinus massoniana</i> mixed forest	0.363 ± 0.034a	9.37	0.447 ± 0.048a	10.74
拟赤杨-杉木混交林 <i>A. fortunei</i> - <i>Cunninghamia lanceolata</i> mixed forest	0.355 ± 0.021a	5.92	0.439 ± 0.033a	7.52
拟赤杨纯林 <i>A. fortunei</i> pure forest	0.352 ± 0.017a	4.83	0.437 ± 0.027a	6.18

¹⁾ 同列中相同的字母表示在5%水平上差异不显著 The same letters in the same column indicate no significant difference at 5% level.

2.1.2 尺寸稳定性的差异 木材的尺寸稳定性可用干缩系数和差异干缩来衡量,干缩系数和差异干缩越小,说明木材的尺寸稳定性越好,其中差异干缩尤为重要。3种林分中拟赤杨木材的干缩系数及差异干缩见表2。由表2可见,混交林中拟赤杨木材的干缩系数大于纯林,且拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨的干缩系数和差异干缩均最大、拟赤杨-杉木混交林次之、拟赤杨纯林最小,该结果与伴生树种马尾松和杉木提高了拟赤杨的木材密度有关。

根据各干缩指标的变异系数(表2)可见,混交林中拟赤杨木材各干缩指标的离散性大于纯林(径向干缩系数除外),且拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材干缩指标的离散性大于拟赤杨-杉木混交林,其径向干缩系数、弦向干缩系数及体积干缩系数的变异系数分别为9.60%~13.18%、5.38%~10.76%和6.94%~10.34%,差异干缩变异系数范

围为3.23%~6.75%。说明伴生树种马尾松和杉木增加了拟赤杨木材干缩性的波动,并且在一定程度上降低了拟赤杨木材的尺寸稳定性。

差异显著性分析结果表明,3种林分中拟赤杨木材各干缩系数的差异均不显著,差异干缩也无显著差异(表2),说明伴生树种马尾松和杉木对拟赤杨尺寸稳定性的影响不显著。

2.2 拟赤杨木材力学性质的差异

纯林和混交林中拟赤杨木材的各力学性质指标见表3。由表3可见,混交林中拟赤杨木材的顺纹抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量、顺纹抗剪强度、抗劈力和冲击韧性大于纯林,且拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材的各指标均大于拟赤杨-杉木混交林。这一现象与伴生树种马尾松和杉木提高了拟赤杨木材的密度有一定关系。测定结果表明,伴生树种马尾松和杉木提高了拟赤杨木材的力学强度,增

强了大部分力学强度指标的波动。

差异显著性分析结果表明, 拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材的径面顺纹抗剪强度和抗劈力与拟赤杨-杉木混交林中的拟赤杨木材存在极显著差异, 抗弯弹性模量和弦面顺纹抗剪强度差异显著, 其他力学强度指标差异均不显著; 拟赤杨-马尾松混交林与纯林中拟赤杨木材的抗弯弹性模量、顺纹抗剪强度和抗劈力的差异极显著, 顺纹抗压强度差异

显著, 其他力学强度指标差异均不显著; 拟赤杨-杉木混交林与拟赤杨纯林中拟赤杨木材的各种力学强度指标差异均不显著(表3)。说明伴生树种马尾松对拟赤杨木材大部分力学强度指标有极显著或显著影响, 而杉木对拟赤杨木材各种力学强度指标的影响则不显著。因此, 在拟赤杨木材强度品质培育过程中, 选择马尾松作为伴生树种并采用合适的混交比例, 可获得较多强度较高的拟赤杨木材。

表2 纯林和混交林中拟赤杨木材干缩性指标的比较¹⁾

Table 2 Comparison of wood shrinkage indexes of *Alniphyllum fortunei* Makino in pure and mixed forests¹⁾

样地号 ²⁾ No. of plot ²⁾	径向干缩系数 Shrinkage coefficient of radial direction		弦向干缩系数 Shrinkage coefficient of tangential direction		体积干缩系数 Shrinkage coefficient of volume		差异干缩 Ratio of tangential shrinkage to radial shrinkage	
	($\bar{X} \pm SD$)/%	CV/%	($\bar{X} \pm SD$)/%	CV/%	($\bar{X} \pm SD$)/%	CV/%	($\bar{X} \pm SD$)/%	CV/%
1	0.129 ± 0.017a	13.18	0.288 ± 0.031a	10.76	0.435 ± 0.045a	10.34	2.31 ± 0.156a	6.75
2	0.125 ± 0.012a	9.60	0.282 ± 0.026a	9.22	0.425 ± 0.036a	8.47	2.28 ± 0.098a	4.30
3	0.123 ± 0.015a	12.20	0.279 ± 0.015a	5.38	0.418 ± 0.029a	6.94	2.26 ± 0.073a	3.23

¹⁾ 同列中相同的字母表示在5%水平上差异不显著 The same letters in the same column indicate no significant difference at 5% level.

²⁾ 1: 拟赤杨-马尾松混交林 *A. fortunei*-*Pinus massoniana* Lamb. mixed forest; 2: 拟赤杨-杉木混交林 *A. fortunei*-*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. mixed forest; 3: 拟赤杨纯林 *A. fortunei* pure forest.

表3 纯林和混交林中拟赤杨木材力学性质的比较¹⁾

Table 3 Comparison of wood mechanical properties of *Alniphyllum fortunei* Makino in pure and mixed forests¹⁾

样地号 ²⁾ No. of plot ²⁾	顺纹抗压强度 Compression strength parallel to grain		抗弯强度 Static bending strength		冲击韧性 Impact toughness		抗弯弹性模量 Elastic modulus of bending	
	($\bar{X} \pm SD$)/MPa	CV/%	($\bar{X} \pm SD$)/MPa	CV/%	($\bar{X} \pm SD$)/kJ·m ⁻²	CV/%	($\bar{X} \pm SD$)/MPa	CV/%
1	40.82 ± 5.36aA	13.46	82.68 ± 10.91aA	13.34	53.31 ± 7.04aA	13.31	8 690 ± 495.7aA	5.77
2	38.61 ± 5.01abA	12.98	79.85 ± 10.81aA	13.54	51.56 ± 6.43aA	12.47	8 450 ± 394.7bA	4.67
3	37.75 ± 5.32bA	14.09	77.76 ± 10.72aA	13.79	50.76 ± 6.97aA	13.73	8 370 ± 353.2bB	4.22

样地号 ²⁾ No. of plot ²⁾	径面顺纹抗剪强度 Shearing strength of radial section		弦面顺纹抗剪强度 Shearing strength of tangential section		径面弦面抗劈力 Resistance to cleavage of radial section		弦面抗劈力 Resistance to cleavage of tangential section	
	($\bar{X} \pm SD$)/MPa	CV/%	($\bar{X} \pm SD$)/MPa	CV/%	($\bar{X} \pm SD$)/N·mm ⁻¹	CV/%	($\bar{X} \pm SD$)/N·mm ⁻¹	CV/%
1	10.33 ± 1.13aA	11.94	11.76 ± 1.41aA	11.99	12.97 ± 1.42aA	10.95	18.05 ± 1.61aA	8.92
2	9.65 ± 0.85bB	8.81	10.89 ± 1.32bA	12.12	12.04 ± 1.29bB	10.71	16.97 ± 1.45bB	8.54
3	9.26 ± 0.79bB	8.53	10.58 ± 1.02bB	9.64	11.74 ± 1.13bB	9.63	16.69 ± 1.32bB	7.91

¹⁾ 同列中不同的大小写字母分别表示在1%和5%水平上差异显著 Different capitals and small letters in the same column indicate the significant difference at 1% and 5% levels respectively. ²⁾ 1: 拟赤杨-马尾松混交林 *A. fortunei*-*Pinus massoniana* Lamb. mixed forest; 2: 拟赤杨-杉木混交林 *A. fortunei*-*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. mixed forest; 3: 拟赤杨纯林 *A. fortunei* pure forest.

2.3 拟赤杨木材化学组分的差异

木材的化学组成与木材的材性和利用密切相关, 纤维素、半纤维素和木素是构成木材细胞壁的3种主要成分, 其含量影响着木材的材性和利用, 其中半纤维素含量一般用戊聚糖含量表示。已有的研究表明, 木材抽出物与木材的色、香、味和天然耐久性等特性有密切关系^[12]。不同林分中拟赤杨木

材的化学组分见表4。由表4可见, 拟赤杨-杉木混交林中拟赤杨木材的热水抽出物含量、1% NaOH抽出物含量、苯醇抽出物含量、硝酸-乙醇纤维素含量和 Klason 木素含量均大于纯林, 拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材的上述指标均最小; 拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材的戊聚糖含量最高, 纯林次之, 拟赤杨-杉木混交林中的最低。说明伴生树种

表4 纯林和混交林中拟赤杨木材化学组分的比较

Table 4 Comparison of wood chemical composition of *Alniphyllum fortunei* Makino in pure and mixed forests

样地号 ¹⁾ No. of plot ¹⁾	抽出物含量/% Extractive content			硝酸-乙醇 纤维素含量/% Nitric acid-alcohol cellulose content	戊聚糖含量/% Pentosan content	Klason 木素含量/% Klason lignin content
	热水 Hot water	1% NaOH	苯醇 Benzene-alcohol			
1	2.02	18.25	2.14	45.33	22.98	21.31
2	2.31	18.63	2.52	45.74	22.67	21.59
3	2.18	18.46	2.29	45.59	22.89	21.47

¹⁾ 1: 拟赤杨-马尾松混交林 *A. fortunei*-*Pinus massoniana* Lamb. mixed forest; 2: 拟赤杨-杉木混交林 *A. fortunei*-*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. mixed forest; 3: 拟赤杨纯林 *A. fortunei* pure forest.

杉木有利于改善拟赤杨木材的天然耐久性,而伴生树种马尾松则降低了拟赤杨木材的天然耐久性。

3 结 论

通过对纯林和混交林中拟赤杨木材各种物理力学性质指标的测定和比较分析,发现混交林中拟赤杨的木材密度、干缩系数和力学强度均大于纯林,且拟赤杨-马尾松混交林中的各项指标大于拟赤杨-杉木混交林;拟赤杨-杉木混交林和拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材的差异干缩均稍大于纯林。由于混交林中伴生树种对拟赤杨生长过程中的水分供应和光照条件有一定的竞争,促使拟赤杨体内输导组织导管比量的增加和机械支持组织木纤维的分裂速度加快,最终引起与木材物理力学性质密切相关的木材结构的变化。

拟赤杨-杉木混交林中拟赤杨木材的热水抽出物、1% NaOH 抽出物、苯醇抽出物、硝酸-乙醇纤维素和 Klason 木素含量均大于纯林,拟赤杨-马尾松混交林中拟赤杨木材的戊聚糖含量大于纯林。由于不同林分结构中拟赤杨的生长条件有一定差异,使拟赤杨体内化学成分的生物合成水平不同,导致纯林和混交林中拟赤杨木材的化学组成存在一定差异。由于拟赤杨-杉木混交林中拟赤杨木材的戊聚糖含量低于纯林,据此可以判定以杉木为伴生树种有利于改善拟赤杨木材的天然耐久性。

根据测定结果综合评价认为,拟赤杨-马尾松

混交林中拟赤杨木材的材性指标总体上优于拟赤杨-杉木混交林和纯林,因此,在拟赤杨木材品质培育过程中宜选择马尾松作为伴生树种。

参考文献:

- [1] 陈存及, 陈伙法, 梁一池, 等. 阔叶树种栽培[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 1-8.
- [2] 李 坚, 栾树杰, 李耀芬, 等. 生物木材学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993: 140-149.
- [3] Blankenhorn P R, Bowersox T W, Strauss C H, et al. Effects of management strategy and site on specific gravity of a *Populus* hybrid clone[J]. Wood and Fiber Science, 1992, 24(3): 274-279.
- [4] Bendtsen B A, Senft J F. Properties in individual growth rings of plantation grown eastern cotton wood and loblolly pine[J]. Wood and Fiber Science, 1986(1): 23-28.
- [5] 范志平, 姜凤岐, 林鹤鸣. 农田防护林木材材质物理特性研究[J]. 应用生态学报, 1996, 7(3): 235-239.
- [6] 徐魁梧, 徐永吉, 龚士淦. 不同立地指数对人工林红皮云杉管胞形态的影响[J]. 南京林业大学学报, 1999, 23(1): 57-60.
- [7] 林金国, 张兴正, 翁 闲. 立地条件对米老排人工林生长和材质的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(3): 50-54.
- [8] 国家技术监督局. GB1927-1943-91, 木材物理力学性质试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991: 1-63.
- [9] 屈维均. 制浆造纸实验[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1992: 25-63.
- [10] 陈华豪, 丁恩统, 洪 伟, 等. 林业应用数理统计[M]. 大连: 大连海运学院出版社, 1988: 60-82, 105-110.
- [11] 尹思慈. 木材品质和缺陷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 6-7.
- [12] 刘一星, 赵广杰. 木质资源材料学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 91-129.