

# 毛竹人工林的林学因子对毛竹材化学组成的影响

林金国<sup>1</sup>, 王水英<sup>1</sup>, 林秀芳<sup>2</sup>

(1. 福建农林大学材料工程学院, 福建 福州 350002; 2. 福建省林业调查规划院, 福建 福州 350003)

**摘要:** 对海拔、立地级、坡向、林分结构和立竹度等林学因子不同的毛竹 [*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie] 人工林中毛竹材的化学组成进行了比较分析。结果表明: 随海拔的升高(300、600 和 900 m), 毛竹材中热水抽合物、苯-醇抽合物、Klason 木素和灰分含量提高, 1% 氢氧化钠抽合物和纤维素含量减少, 其中, 1% 氢氧化钠抽合物、苯-醇抽合物及灰分含量差异极显著, 而海拔 300 和 600 m 林地中毛竹材的热水抽合物和纤维素含量与海拔 900 m 林地有极显著差异; 海拔 600 m 林地中毛竹材的戊聚糖含量最低, 且 3 种林地上戊聚糖含量有极显著差异。立地级 I、II 和 III 级的毛竹人工林中毛竹材的热水抽合物、1% 氢氧化钠抽合物、Klason 木素和灰分含量均依次增高, 戊聚糖含量依次减少; II 级林地中毛竹材的苯-醇抽合物和纤维素含量最高; 立地级对毛竹材的热水抽合物、1% 氢氧化钠抽合物和纤维素含量均有极显著影响。阴坡的毛竹材中热水抽合物、1% 氢氧化钠抽合物、苯-醇抽合物、纤维素和灰分含量均高于阳坡, 而戊聚糖和 Klason 木素含量均低于阳坡; 坡向对毛竹材中热水抽合物、1% 氢氧化钠抽合物和苯-醇抽合物含量有极显著影响, 对纤维素、戊聚糖、Klason 木素和灰分含量的影响不显著。毛竹纯林中毛竹材的 1% 氢氧化钠抽合物、苯-醇抽合物和纤维素含量均高于毛竹-杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 混交林和竹-阔混交林, 戊聚糖、Klason 木素和灰分的含量介于后二者之间; 林分结构对毛竹材中戊聚糖、Klason 木素和灰分含量的影响不显著。随立竹度的提高(1 500、3 000 和 4 500 株·hm<sup>-2</sup>), 毛竹材中 1% 氢氧化钠抽合物含量提高, 戊聚糖和 Klason 木素的含量减少; 立竹度 3 000 株·hm<sup>-2</sup> 的林地中毛竹材的苯-醇抽合物、纤维素和灰分含量最高, 热水抽合物含量最低; 立竹度对毛竹材中热水抽合物和苯-醇抽合物含量有极显著影响。综合分析结果显示, 定向培育毛竹纸浆材应选择海拔 300 m 的阴坡 II 级林地营造毛竹纯林, 立竹度应控制在 3 000 株·hm<sup>-2</sup> 左右。

**关键词:** 毛竹; 人工林; 林学因子; 毛竹材; 化学组成

中图分类号: S781.4; S781.9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2010)04-0018-06

**Effect of forestry factors of Moso (*Phyllostachys edulis*) plantation on chemical compositions of Moso culm-wood** LIN Jin-guo<sup>1</sup>, WANG Shui-ying<sup>1</sup>, LIN Xiu-fang<sup>2</sup> (1. College of Material Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fujian Forestry and Design Institute, Fuzhou 350003, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2010, 19(4): 18-23

**Abstract:** Chemical compositions of Moso [*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie] culm-wood in Moso plantations with different forestry factors such as altitude, site class, aspect, stand structure and bamboo density were comparatively analyzed. The results show that with rising of altitude (300, 600 and 900 m), contents of hot water extractive, benzene-ethanol extractive, Klason lignin and ash of Moso culm-wood enhance, but contents of 1% NaOH extractive and cellulose decrease. And contents of 1% NaOH extractive, benzene-ethanol extractive and ash appear extremely significant differences among three stands with different altitudes, while contents of hot water extractive and cellulose of Moso culm-wood at altitude 300 and 600 m stands have extremely significant differences with those at altitude 900 m stand. Pentosan content of Moso culm-wood at altitude 600 m stand is the lowest, and appears extremely significant difference among three stands with different altitudes. Contents of hot water extractive, 1% NaOH extractive, Klason lignin and ash of Moso culm-wood at I, II and III site class plantations

increase while content of pentosan decreases, successively. Contents of benzene-ethanol extractive and cellulose of Moso culm-wood at II site class plantation are the highest. The site class has a highly significant influence on contents of hot water extractive, 1% NaOH extractive and cellulose of Moso culm-wood. Contents of hot water extractive, 1% NaOH extractive, benzene-ethanol extractive, cellulose and ash of Moso culm-wood at shady slope are all higher while contents of pentosan and Klason lignin are lower than those at sunny slope. The aspect has a highly significant influence on contents of hot water extractive, 1% NaOH extractive and benzene-ethanol extractive and has no influence on contents of cellulose, pentosan, Klason lignin and ash. Contents of 1% NaOH extractive, benzene-ethanol extractive and cellulose of Moso culm-wood in *P. edulis* pure forest are higher than those in mixed forests of *P. edulis-Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. and *P. edulis*-broadleaves species, while contents of pentosan, Klason lignin and ash in *P. edulis* pure forest lie between those in the later two mixed forests. And stand structure has no significant effect on contents of pentosan, Klason lignin and ash. With rising of bamboo density (1 500, 3 000 and 4 500 plants · hm<sup>-2</sup>), content of 1% NaOH extractive increases, while contents of pentosan and Klason lignin decrease. In which, contents of benzene-ethanol extractive, cellulose and ash of Moso culm-wood in the plantation with a bamboo density of 3 000 plants · hm<sup>-2</sup> are the highest while hot water extractive content is the lowest. And the bamboo density has an extremely significant influence on contents of hot water extractive and benzene-ethanol extractive. The result of comprehensively analysis indicates that in order to orientally cultivate the Moso culm-wood suitable for pulp-paper material, it should be chosen the forest land of altitude 300 m at shady slope of II site class to create pure forest of *P. edulis* with a bamboo density of about 3 000 plants · hm<sup>-2</sup>.

**Key words:** *Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie; plantation; forestry factor; Moso culm-wood; chemical composition

随着世界性天然林资源的枯竭和保护工程的实施,木材供需矛盾更加突出。以竹代木成为解决木材资源短缺的重要途径之一。毛竹[*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie]是中国南方最主要的经济竹种之一,分布在秦岭汉水流域以南各地,分布广、用途多、资源蕴藏量大,大量用于制浆造纸,是主要的纸浆材竹种之一,具有很高的经济价值。营造毛竹纸浆林对于缓解纸浆原料紧张局面具有重要意义。

林型材质变异规律是培育优质木竹材的理论依据,具有重要的研究价值<sup>[1]</sup>。化学组成是研究竹材材性的基础之一,也是竹材利用的依据之一,对竹材的加工利用有显著影响,是选择造纸原料时必须首先了解的因素<sup>[2]</sup>。作为重要的纸浆原料,毛竹的化学组成对产品质量影响很大。在毛竹的生长过程中,各种林学因子通过影响毛竹的生长对毛竹材的材质产生影响,掌握海拔、立地级、坡向、林分结构和立竹度等因子对毛竹材化学组成的影响规律,对定向培育制浆造纸工业需要的优质毛竹材具有重要的指导意义,探明不同林学因子对毛竹材化学组成的影响还可为毛竹材的合理加工和利用提供科学依据。迄今为止,国内外对木材材性变异的研究较多,但对毛竹材材质变异研究较少<sup>[3-12]</sup>,而有关毛竹人工林的林学因子对毛竹材化学组成影响的研究尚未见报道。

鉴于此,作者初步分析了毛竹人工林的不同林学因子(海拔、立地级、坡向、林分结构和立竹度)对毛竹材化学组成的影响,以期对毛竹材材质的定向培育和高效合理利用提供理论依据。

## 1 研究地概况和研究方法

### 1.1 研究地概况

供试毛竹人工林位于福建省建瓯市迪口镇,处于福建中部偏北,地理坐标为东经 118°16' ~ 118°36'、北纬 26°38' ~ 26°50',林地所处山脉位于武夷山脉东南面、鹫峰山脉西北侧,属武夷山系杉岭东南延伸的支脉。该地区四季分明、夏长冬短、温暖湿润,属中亚热带海洋性季风气候,非常适宜毛竹生长。全年平均日照时数为 1 612 h,太阳辐射充足,日照时数适中;年平均气温 19.4 °C,1 月份平均气温 9.0 °C,7 月份平均气温 28.5 °C,极端最高气温 44 °C,极端最低气温 -6.0 °C,全年日均温 ≥ 10 °C 的积温为 5 865.3 °C;全年无霜期 270 d,偶有降雪,年均降雪天数 4.3 d;年均降水量 1 726.6 mm,3 月份至 6 月份降水量最多,占全年降水量的 65%,年均空气相对湿度 83%,年均蒸发量 1 386.2 mm,蒸发量小于降水量。地带性土壤为红壤,土层深厚,厚度多在 1 m 以上。

## 1.2 林地选择

供试毛竹人工林内的毛竹均为福建建瓯种源,林地坡度约为 25°,均为下坡位,各林地均已施用化肥(300 kg·hm<sup>-2</sup>尿素,配以 60 kg·hm<sup>-2</sup>过磷酸钙,春、秋季各施 1 次)。林地基本因子为海拔 300 m、立地Ⅱ级、坡向阴坡、林分结构为毛竹纯林、立竹度 3 000 株·hm<sup>-2</sup>,在此基础上,每一因子分别选择 2~3 个不同水平的林地取样分析。

海拔不同的 3 种林地(300、600 和 900 m)除海拔外其余因子保持不变,样竹平均胸径依次为 8.6、9.0 和 7.3 cm,平均竹高依次为 11.9、12.6 和 11.7 m;立地级不同的 3 种林地(Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ级)除立地级外其余因子保持不变,样竹平均胸径依次为 10.6、8.6 和 7.5 cm,平均竹高依次为 15.0、11.9 和 10.7 m;坡向不同的 2 种林地(阴坡和阳坡)除坡向外其余因子保持不变,样竹平均胸径依次为 8.6 和 9.5 cm,平均竹高依次为 11.9 和 13.8 m;林分结构不同的 3 种林地为毛竹纯林、毛竹-杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 混交林和竹-阔混交林,除林分结构外其余因子保持不变,样竹平均胸径依次为 8.6、7.1 和 8.8 cm,平均竹高依次为 11.9、10.9 和 13.5 m;立竹度不同的 3 种林地(1 500、3 000 和 4 500 株·hm<sup>-2</sup>)除立竹度外其余因子保持不变,样竹平均胸径依次为 10.7、8.6 和 7.8 cm,平均竹高依次为 12.9、11.9 和 11.6 m。

在各林地中分别选取 15 株竹龄 6 a、生长良好且无缺陷的样竹,齐地伐倒,以距竹竿基部 1.5 m 处的高度为基准向上截取 2 m 竹段作为试材。

## 1.3 测定方法

按照 GB/T 2677.4—1993、GB/T 2677.5—1993、GB/T 2677.6—1994、GB/T 2677.10—1994、GB/T 2677.9—1994、GB/T 2677.8—1994 和 GB/T 2677.3—

1993 的方法分别测定毛竹材样品中的热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物、纤维素、戊聚糖、Klason 木素和灰分含量,其中纤维素含量测定采用硝酸-乙醇法<sup>[13]</sup>。各指标均重复测定 3 次。

## 1.4 数据处理

应用数理统计方法,采用 Excel 和 SPSS 10.0 软件进行数据处理和统计分析<sup>[14]</sup>,并采用 Duncan's 新复极差检验法进行多重比较。

## 2 结果和分析

### 2.1 海拔对毛竹材化学组成的影响

在海拔不同的 3 种毛竹人工林中毛竹材的化学组成见表 1。由表 1 可见,在海拔 300、600 和 900 m 的林地中,毛竹材的热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物、纤维素、戊聚糖、Klason 木素及灰分含量分别为 6.11%~6.74%、22.31%~25.34%、5.12%~5.96%、42.08%~43.51%、26.67%~28.50%、24.30%~24.44% 和 1.43%~2.45%。其中,热水抽出物、苯-醇抽出物、Klason 木素和灰分含量随着海拔升高而增加;1% 氢氧化钠抽出物和纤维素含量随着海拔升高而减小;戊聚糖含量在海拔 900 m 的林分中最高,在海拔 600 m 的林分中最低。

差异显著性分析结果表明,海拔 300 和 600 m 的毛竹材中热水抽出物和纤维素的含量无显著差异,但与海拔 900 m 的毛竹材有极显著差异;海拔不同的毛竹材的 1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物、戊聚糖及灰分含量均差异极显著,但 Klason 木素含量差异不显著。纤维素、半纤维素和木素是构成竹材细胞壁的主要成分,其含量影响竹材的使用,一般以戊聚糖含量反映半纤维素含量。作为纸浆原料时,竹材中的纤维素含量越高、木素含量越低越有利<sup>[15]</sup>。因此,毛竹

表 1 海拔对毛竹材化学组成的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Effect of altitude on chemical compositions of Moso [*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie] culm-wood ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

海拔/m Altitude	含量/% Content						
	热水抽出物 Hot water extractive	1% 氢氧化钠抽出物 1% NaOH extractive	苯-醇抽出物 Benzene-ethanol extractive	纤维素 Cellulose	戊聚糖 Pentosan	Klason 木素 Klason lignin	灰分 Ash
300	6.11±0.15Aa	25.34±0.49Cc	5.12±0.13Aa	43.51±0.58Bb	27.83±0.52Bb	24.30±0.45Aa	1.43±0.02Aa
600	6.25±0.12Aa	24.73±0.45Bb	5.45±0.11Bb	43.49±0.62Bb	26.67±0.43Aa	24.41±0.41Aa	1.80±0.03Bb
900	6.74±0.14Bb	22.31±0.41Aa	5.96±0.12Cc	42.08±0.56Aa	28.50±0.47Cc	24.44±0.44Aa	2.45±0.04Cc

<sup>1)</sup> 同列中不同的大写和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 differences at 1% and 5% levels, respectively.

纸浆材培育宜选择海拔 300 ~ 600 m 的区域。

## 2.2 立地级对毛竹材化学组成的影响

在立地级不同的 3 种毛竹人工林中毛竹材的化学组成见表 2。由表 2 可见,在立地级不同的 3 种毛竹人工林中毛竹材的热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物、纤维素、戊聚糖、Klason 木素及灰分含量分别为 5.68% ~ 6.87%、24.05% ~ 26.22%、4.59% ~ 5.12%、42.31% ~ 43.51%、27.49% ~ 27.93%、23.64% ~ 24.33% 和 1.42% ~ 1.54%。其中,立地级 I、II 和 III 级的毛竹人工林中毛竹材的热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物、Klason 木素和灰分的含量依次提高,戊聚糖含量依次减少;立地级 II 级林分中毛竹材的苯-醇抽出物和纤维素含量最高。

差异显著性分析结果表明,立地级不同的 3 种林分中毛竹材的热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物和纤维素含量均有极显著差异;立地级 II 级的林分中毛竹材的苯-醇抽出物和纤维素含量极显著高于 I 和 III 级

林分,但 I 级林分中毛竹材的苯-醇抽出物含量与 III 级林分差异不显著,而其纤维素含量则极显著高于 III 级林分;I 和 II 级林分中毛竹材的戊聚糖和灰分含量差异不显著,但与 III 级林分分别有极显著差异;I 级林分中毛竹材的 Klason 木素含量极显著低于 II 和 III 级林分,但后二者间差异不显著。因此,毛竹纸浆材培育宜选择 II 级立地地域营造毛竹人工林。

## 2.3 坡向对毛竹材化学组成的影响

不同坡向毛竹人工林中毛竹材的化学组成见表 3。由表 3 可见,阴坡的毛竹材中热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物、纤维素和灰分含量均高于阳坡,而戊聚糖和 Klason 木素含量却略低于阳坡。

差异显著性分析结果表明,生长于不同坡向的毛竹材中热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物和苯-醇抽出物含量均有极显著差异,而纤维素、戊聚糖、Klason 木素和灰分含量差异不显著。总体上看,在毛竹纸浆材培育过程中宜选择阴坡进行栽种。

表 2 立地级对毛竹材化学组成的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Effect of site class on chemical compositions of Moso [*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie] culm-wood ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

立地级 Site class	含量/% Content						
	热水抽出物 Hot water extractive	1% 氢氧化钠抽出物 1% NaOH extractive	苯-醇抽出物 Benzene-ethanol extractive	纤维素 Cellulose	戊聚糖 Pentosan	Klason 木素 Klason lignin	灰分 Ash
I	5.68±0.12Aa	24.05±0.52Aa	4.59±0.11Aa	42.95±0.62Bb	27.93±0.56Bb	23.64±0.42Aa	1.42±0.03Aa
II	6.11±0.15Bb	25.34±0.49Bb	5.12±0.13Bb	43.51±0.58Cc	27.83±0.52Bb	24.30±0.45Bb	1.43±0.02Aa
III	6.87±0.13Cc	26.22±0.57Cc	4.62±0.10Aa	42.31±0.65Aa	27.49±0.53Aa	24.33±0.38Bb	1.54±0.03Bb

<sup>1)</sup> 同列中不同的大写和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 differences at 1% and 5% levels, respectively.

表 3 坡向对毛竹材化学组成的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 3 Effect of aspect on chemical compositions of Moso [*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie] culm-wood ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

坡向 Aspect	含量/% Content						
	热水抽出物 Hot water extractive	1% 氢氧化钠抽出物 1% NaOH extractive	苯-醇抽出物 Benzene-ethanol extractive	纤维素 Cellulose	戊聚糖 Pentosan	Klason 木素 Klason lignin	灰分 Ash
阴坡 Shady slope	6.11±0.15Bb	25.34±0.49Bb	5.12±0.13Bb	43.51±0.58Aa	27.83±0.52Aa	24.30±0.45Aa	1.43±0.02Aa
阳坡 Sunny slope	5.62±0.12Aa	24.71±0.45Aa	3.44±0.10Aa	43.40±0.55Aa	27.93±0.53Aa	24.51±0.42Aa	1.39±0.01Aa

<sup>1)</sup> 同列中不同的大写和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 differences at 1% and 5% levels, respectively.

## 2.4 林分结构对毛竹材化学组成的影响

在林分结构不同的毛竹人工林中毛竹材的化学组成见表 4。在毛竹纯林、毛竹-杉木混交林、竹-阔混交林中毛竹材的热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物、纤维素、戊聚糖、Klason 木素和灰

分含量分别为 6.11% ~ 6.63%、24.92% ~ 25.34%、4.43% ~ 5.12%、41.48% ~ 43.51%、27.69% ~ 27.84%、24.22% ~ 24.32% 和 1.42% ~ 1.47%。毛竹纯林中毛竹材的 1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物和纤维素含量均高于毛竹-杉木混交林和竹-阔混

交林,其热水抽出物含量低于毛竹-杉木混交林和竹-阔混交林,而其戊聚糖、Klason 木素和灰分含量介于毛竹-杉木混交林和竹-阔混交林之间。

差异显著性分析结果表明,毛竹纯林和毛竹-杉木混交林中毛竹材的热水抽出物含量差异不显著,但均极显著低于竹-阔混交林;毛竹纯林和竹-阔混交林中毛竹材的 1% 氢氧化钠抽出物和苯-醇抽出物含量差异不显著,但均与毛竹-杉木混交林有极显著差异;毛竹纯林和毛竹-杉木混交林中毛竹材纤维素含量差异不显著,但均与竹-阔混交林有极显著差异;3 种林分中毛竹材的戊聚糖、Klason 木素和灰分含量均无显著差异。总体上看,在毛竹纸浆材培育过程中宜营造毛竹纯林。

表 4 林分结构对毛竹材化学组成的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 4 Effect of stand structure on chemical compositions of Moso [*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie] culm-wood( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

林分结构 <sup>2)</sup> Stand structure <sup>2)</sup>	含量/% Content						
	热水抽出物 Hot water extractive	1% 氢氧化钠抽出物 1% NaOH extractive	苯-醇抽出物 Benzene-ethanol extractive	纤维素 Cellulose	戊聚糖 Pentosan	Klason 木素 Klason lignin	灰分 Ash
P	6.11±0.15Aa	25.34±0.49Bb	5.12±0.13Bb	43.51±0.58Bb	27.83±0.52Aa	24.30±0.45Aa	1.43±0.02Aa
M1	6.15±0.17Aa	24.92±0.41Aa	4.43±0.12Aa	42.93±0.55Bb	27.84±0.49Aa	24.22±0.44Aa	1.42±0.02Aa
M2	6.63±0.16Bb	25.31±0.42Bb	5.03±0.14Bb	41.48±0.53Aa	27.69±0.48Aa	24.32±0.47Aa	1.47±0.03Aa

<sup>1)</sup> 同列中不同的大写和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 differences at 1% and 5% levels, respectively. <sup>2)</sup> P: 毛竹纯林 *Phyllostachys edulis* pure forest; M1: 毛竹-杉木混交林 *P. edulis-Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. mixed forest; M2: 竹-阔混交林 *P. edulis*-broadleaves species mixed forest.

表 5 立竹度对毛竹材化学组成的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 5 Effect of bamboo density on chemical compositions of Moso [*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie] culm-wood( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

立竹 度/株·hm <sup>-2</sup> Bamboo density	含量/% Content						
	热水抽出物 Hot water extractive	1% 氢氧化钠抽出物 1% NaOH extractive	苯-醇抽出物 Benzene-ethanol extractive	纤维素 Cellulose	戊聚糖 Pentosan	Klason 木素 Klason lignin	灰分 Ash
1 500	6.99±0.13Bb	23.06±0.42Aa	4.74±0.10Bb	42.68±0.51Aa	28.62±0.44Bb	24.59±0.41Bb	1.50±0.03Aa
3 000	6.11±0.15Aa	25.34±0.49Bb	5.12±0.13Cc	43.51±0.58Bb	27.83±0.52Aa	24.30±0.45Aa	1.53±0.02Aa
4 500	7.48±0.16Cc	25.45±0.47Bb	3.52±0.08Aa	43.38±0.56Bb	27.61±0.48Aa	24.23±0.39Aa	1.48±0.03Aa

<sup>1)</sup> 同列中不同的大写和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 differences at 1% and 5% levels, respectively.

差异显著性分析结果表明,3 种立竹度林分中毛竹材的热水抽出物和苯-醇抽出物含量均差异极显著,但灰分含量无显著差异;立竹度 3 000 或 4 500 株·hm<sup>-2</sup>的林分中毛竹材的 1% 氢氧化钠抽出物、纤维素、戊聚糖和 Klason 木素含量无显著差异,但均与立竹度 1 500 株·hm<sup>-2</sup>的林分有极显著差异。从立竹度角度综合比较后可见,在毛竹纸浆材培育过程中毛竹人工林的立竹度宜控制在 3 000 株·hm<sup>-2</sup>左右。

## 2.5 立竹度对毛竹材化学组成的影响

在立竹度(竹林密度)不同的 3 种人工毛竹林中毛竹材的化学组成见表 5。在立竹度分别为 1 500、3 000 和 4 500 株·hm<sup>-2</sup>的林分中毛竹材的热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物、纤维素、戊聚糖、Klason 木素和灰分含量分别为 6.11%~7.48%、23.06%~25.45%、3.52%~5.12%、42.68%~43.51%、27.61%~28.62%、24.23%~24.59% 和 1.48%~1.53%。立竹度 3 000 株·hm<sup>-2</sup>的林分中毛竹材热水抽出物含量最低,苯-醇抽出物、纤维素及灰分含量最高;毛竹材中 1% 氢氧化钠抽出物含量随着立竹度的提高而增加,戊聚糖和 Klason 木素含量随立竹度的提高而减小。

## 3 讨论和结论

竹材化学组成是竹材性质的重要体现,直接关系到竹材的加工利用,尤其是其中的纤维素、半纤维素和木素的含量最为重要。林地的海拔、立地级、坡向、林分结构和立竹度等林学因子对毛竹材的化学组成均有较为明显的影响。在海拔 300、600 和 900 m 的

毛竹人工林中,毛竹材的热水抽出物、苯-醇抽出物、Klason 木素和灰分含量随海拔的升高而增加,而 1% 氢氧化钠抽出物和纤维素含量随着海拔的升高而减少,这是由于随海拔的升高林地气温下降,低温有利于毛竹中的 Klason 木素和苯-醇抽出物等化学物质的合成和积累,不利于纤维素的合成和积累。在立地级 I、II 和 III 级的毛竹人工林中,毛竹材的热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物、Klason 木素和灰分含量逐渐增加而戊聚糖含量逐渐减少,在立地级 II 级的林分中毛竹材的苯-醇抽出物和纤维素含量最高,这是由于在立地级 III、II 和 I 级的林分中,土壤肥力依次增强,不利于 Klason 木素的合成和积累,却有利于戊聚糖的合成和积累。不同坡向的毛竹材化学组成也有明显的差异,阴坡毛竹材中的热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物、纤维素和灰分含量均高于阳坡,而戊聚糖和 Klason 木素含量却低于阳坡,这是由于阳坡光照充足,有利于戊聚糖和 Klason 木素的合成和积累,不利于纤维素等物质的合成和积累。不同林分结构对毛竹材的化学组成也有明显影响,毛竹纯林中毛竹材的 1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物和纤维素含量均高于毛竹-杉木混交林和竹-阔混交林,其热水抽出物含量则低于上述 2 种混交林,而其戊聚糖、Klason 木素和灰分含量则介于 2 种混交林之间,这是由于毛竹纯林中毛竹不与其他树种产生竞争,有利于纤维素的合成和积累。毛竹人工林立竹度的不同也能够导致毛竹材化学组成的差异,立竹度 3 000 株·hm<sup>-2</sup>的林地中毛竹材的热水抽出物含量最低,而苯-醇抽出物、纤维素和灰分含量最高;随立竹度的增大,毛竹材的 1% 氢氧化钠抽出物含量逐渐提高,而戊聚糖和 Klason 木素含量则逐渐减少,这是由于随立竹度的增大,毛竹个体间的竞争增强,不利于戊聚糖和 Klason 木素的合成和积累。

根据差异显著性分析结果可见,海拔对毛竹材中 1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物、戊聚糖和灰分含量有极显著影响,对热水抽出物和纤维素含量也有一定的影响,而对 Klason 木素含量无显著影响;立地级对毛竹材中热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物和纤维素含量有极显著影响;坡向对毛竹材中热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物和苯-醇抽出物含量有极显著影响,对纤维素、戊聚糖、Klason 木素和灰分含量无明显影响;林分结构对毛竹材中戊聚糖、Klason 木素和灰分含量无显著影响;立竹度对毛竹材中热水抽出物和

苯-醇抽出物含量有极显著影响,但对灰分含量影响不显著。总体上看,毛竹材的热水抽出物、1% 氢氧化钠抽出物、苯-醇抽出物及纤维素含量受毛竹人工林林学因子的影响较大。

根据上述测定分析结果和毛竹人工林造林实践综合分析后认为:定向培育毛竹纸浆材应选择海拔 300 m 的阴坡 II 级区域营造毛竹纯林,且立竹度应控制在 3 000 株·hm<sup>-2</sup>左右。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 刘一星, 赵广杰. 木质资源材料学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 120-129.
- [3] 马灵飞, 马乃训. 毛竹材材性变异的研究[J]. 林业科学, 1997, 33(4): 356-364.
- [4] Lindström H, Evans J W, Verrill S P. Influence of cambial age and growth conditions on microfibril angle in young Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) [J]. *Holzforchung*, 1998, 52(6): 573-581.
- [5] 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.
- [6] Molteberg D, Høibø O. Development and variation of wood density, kraft pulp yield and fibre dimensions in young Norway spruce (*Picea abies*) [J]. *Wood Science and Technology*, 2006, 40(3): 173-189.
- [7] 虞华强, 费本华, 任海青, 等. 毛竹顺纹抗拉性质的变异及与气干密度的关系[J]. 林业科学, 2006, 42(3): 72-76.
- [8] Leal S, Sousa V B, Pereira H. Radial variation of vessel size and distribution in cork oak wood (*Quercus suber* L.) [J]. *Wood Science and Technology*, 2007, 41(4): 339-350.
- [9] 汪佑宏, 王 善, 王传贵, 等. 不同海拔高度及坡向毛竹主要物理力学性质的差异[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(1): 20-22.
- [10] 林秀芳, 林金国, 王水英, 等. 纯林和混交林中拟赤杨材性的比较分析[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(1): 38-42.
- [11] 杨 旭, 杨志玲, 甘光标, 等. 葛藤纤维的形态和化学组成及其与产地和生长时间的相关性[J]. 植物资源与环境学报, 2009, 18(4): 16-22.
- [12] 林金国, 陈慈禄, 林秀芳. 人工纯林和混交林中南酸枣木材解剖特性的比较分析[J]. 植物资源与环境学报, 2009, 18(4): 46-52.
- [13] 屈维均. 制浆造纸实验[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1990: 25-63.
- [14] 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.
- [15] 隆言泉. 制浆原理与工程[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1992: 13-25.