

不同海拔人工林毛竹材纤维形态和化学成分的差异

刘主凰¹, 王水英¹, 林金国^{1*}, 余雁²

(1. 福建农林大学 材料工程学院, 福建 福州 350002; 2. 国际竹藤网络中心, 北京 100102)

摘要: 对不同海拔人工林毛竹材纤维形态和化学成分进行测定和分析以揭示其变异规律。结果表明: 海拔 300 m 人工林毛竹材纤维长度、长宽比和长纤维比率均大于海拔 600 m 和海拔 900 m; 海拔高度对人工林毛竹材纤维形态影响极显著; 随着海拔高度的增加, 毛竹材的热水抽出物含量、苯-醇抽出物含量、Klason 木素含量及灰分含量均呈增大趋势, 1% NaOH 抽出物含量、纤维素含量及 pH 值均呈减小趋势。海拔 300 m 的毛竹材最适宜用作纸浆材。

关键词: 海拔; 毛竹材; 纤维形态; 化学成分

中图分类号: S781.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2011)02-0196-04

Difference in Fiber Morphology and Chemical Composition of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* from Plantation of Different Altitudes

LIU Zhu-huang¹, WANG Shui-ying¹, LIN Jin-guo^{1*}, YU Yan²

(1. College of Material Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

2. International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

Abstract: Fiber morphology and chemical composition of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* plantation from different altitudes were determined and analyzed, and the variation regularities were revealed. The results showed that fiber length, the ratio of length to width and the ratio of long fiber of *P. heterocycla* cv. *pubescens* culm growing in the altitude of 300 m were bigger than those in the altitude of 600 m and 900 m. Altitude had extremely significant effects on fiber morphology of *P. heterocycla* cv. *pubescens*. Hot water extractive content, benzene-ethanol extractive content, Klason lignin content and ash content increased with the increase of altitude, while 1% NaOH extractive content, cellulose content and pH value decreased. *P. heterocycla* cv. *pubescens* growing in the altitude of 300 m was optimum for pulpwood.

Key words: altitude; *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens*; fiber morphology; chemical composition

毛竹(*Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens*)是我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,具有分布广、用途多、生产潜力大、生态和经济价值高等特点。毛竹喜温暖湿润气候,最适宜生长在海拔高度 250~1 000 m、平均温度 14~20 ℃、土壤深厚肥沃、排水良好、呈弱酸性的林地中。我国有竹类植物 48 属 500 余种,竹林面积 720 多万 hm²,其中毛竹约 300 万 hm²,产量约占世界总产量的 90%。随着世界性天然林资源的枯竭和天

然林资源保护工程的实施,木材供需矛盾更加尖锐,以竹代木可缓解木材供需矛盾,是解决我国木材资源短缺的重要途径。毛竹纸浆对于缓解我国目前纸浆紧张局势也具有重要意义。毛竹生长过程受本身遗传特性的制约,又受到包括海拔在内的生长环境的影响,生长环境通过影响毛竹的生长过程而影响毛竹材的材质。迄今为止,关于毛竹材物理力学性质及其影响规律的研究有较多报道^[1-4],但对不同海拔毛竹材纤维形态和化学成分变异规律的研究尚未

收稿日期: 2010-03-22 修回日期: 2010-06-20

基金项目: 国家“十一五”科技支撑课题“可降解竹基高分子复合材料制造关键技术研究”与示范(2008BADA9B01); 福建省林业厅科学基金项目“福建主要竹种材性变异规律及应用的研究”。

作者简介: 刘主凰,女,在读硕士研究生,从事木材科学研究。

* 通讯作者: 林金国,男,博士,教授,主要从事木材科学方面的研究。E-mail: fjlinjg@yahoo.com.cn

见报道。本研究通过对不同海拔人工林毛竹材纤维形态和化学成分进行测定分析,为毛竹纸浆材的定向培育和合理利用提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

毛竹试验材料采自福建省建瓯市迪口镇,种源为福建建瓯。所有的毛竹试验材料均按国家标准《竹材物理力学性质试验方法》(GB/T15780-1995)

表1 人工林毛竹生长状况

Table 1 The growth condition of *P. heterocycla* cv. *pubescens* from plantations for test materials

海拔高度 /m	立竹度 /(株·hm ⁻²)	立地条件	坡向	株数	竹龄 /a	平均胸径 /cm	平均竹高 /m
300	3 000	Ⅱ级地	阴坡	15	6	8.59	11.90
600	3 000	Ⅱ级地	阴坡	15	6	9.01	12.60
900	3 000	Ⅱ级地	阴坡	15	6	7.26	11.70

1.2 试验方法

1.2.1 纤维形态测定 从海拔高度不同的人工林毛竹材不同部位(下部、中部、上部)的竹环北向取长约2.5 cm的竹块,作为测定试样。采用许尔兹法(氯酸钾:60%硝酸:水=1:2:1)进行离析,将制好的竹纤维载玻片放在数码显微镜下测定,每个试样测定64根完整纤维的长度和宽度。

1.2.2 化学性质测定 热水抽出物、1%NaOH抽出物、苯醇抽出物、纤维素、戊聚糖、木素和灰分的含量等分别按国标相应项目进行^[5]。

1.2.3 数据处理与分析方法 应用数理统计方法采用Excel软件、SPSS10.0等统计分析软件进行数据处理和统计分析^[6],研究各项材性指标的差异。

2 结果与分析

2.1 不同海拔毛竹材纤维形态的变异

2.1.1 纤维长度 纤维长度是评价纤维原料品质的一个重要指标,它不仅与纸页撕裂度呈直线关系,而且长度大有利于提高纸张的抗张强度、耐破度及耐折度^[7]。纸张强度实际上是由纤维本身的强度和纤维之间的结合强度决定的。纤维愈长、愈柔软,纤维就有更多的接触点,交织能力就愈强^[8]。从(表2)可以看出,不同海拔高度毛竹材纤维长度均表现为:中部略大于上部和下部。W. Liese^[9]认为纤维的长度与节间的长度相关。由于在茎秆中部存在最长的节间,也就有较长的纤维。对纤维长度进行方差分析表2,结果表明,不同海拔高度毛竹材上部和

规定采集样竹,在海拔高度不同、其他因子相同的条件下,选择竹林分布均匀的林分内建立标准地。按规格伐取样竹,选择生长良好、无缺陷的人工林毛竹(表1),齐地伐倒后,每株从离竹秆基部1.5 m处向上截取2 m竹段作为基部(即下部),1/3和1/2秆高处向上截取各1 m长的竹段分别作为中部和梢部(即上部)运回实验室,然后每段从大头处锯取5 cm厚的竹环供纤维分析用,其余部分供化学性质测定用。

下部的纤维长度均存在极显著差异,中部的纤维长度存在显著差异。海拔300 m的毛竹材纤维长度最长,海拔900 m的毛竹材纤维长度最短,3种海拔高度毛竹材纤维长度存在极显著差异。因此,定向培育长纤维毛竹材,可选择海拔300 m营造毛竹林。

纤维长度的频率分布是确定原料配比的主要依据^[10]。由表3可看出,纤维长度小于900 μm(短纤维)的频率都很小,尤其是海拔300 m,而海拔600 m和海拔900 m的毛竹材短纤维频率则分别为0.69%和6.94%;不同海拔高度毛竹材纤维长度在900~1 600 μm(中等纤维)区间的频率差别较大,表现为:海拔900 m>海拔600 m>海拔300 m;不同海拔高度毛竹材纤维长度在1 600~3 000 μm(长纤维)区间的频率均较高,但其差别也较大,表现为:海拔300 m>海拔600 m>海拔900 m;纤维长度在3 000~4 000 μm区间的频率相对较小,均不到10%,其频率大小为海拔300 m>海拔600 m>海拔900 m。人工林毛竹材纤维长度及其长纤维分布频率随着海拔高度的增加而减小,可能是由于林地气温随着海拔高度的增加而降低,而气温降低不利于维管束组织中纤维的纵向伸张。从纤维长度分布频率来看,海拔300 m的毛竹材最适合用作纸浆用材。3种海拔高度的毛竹纤维长度分布频率大部分集中在1 600~3 000 μm,这个区间才是确定原料配比的主要依据。

表 2 不同海拔高度毛竹材纤维长度方差分析及 Duncan 多重比较

Table 2 Variance analysis and Duncan multiple comparisons of fiber length of *P. heterocyclus* cv. *pubescens* growing in different altitudes

部位	海拔高度/m	均值/ μm	5%显著水平	1%极显著水平	F 值 & 显著性
上部	300	2 184.10	a	A	37.915**
	600	1 851.42	b	B	
	900	1 528.38	c	C	
中部	300	2 318.81	a	A	3.644*
	600	1 922.17	b	A	
	900	1 886.64	b	A	
下部	300	2 305.83	a	A	8.465**
	600	1 819.44	b	B	
	900	1 728.87	b	B	
平均值	300	2 257.58	a	A	25.402**
	600	1 864.34	b	B	
	900	1 731.67	c	B	

表 3 不同海拔毛竹材纤维长度的频率分布

Table 3 Frequency distribution of fiber length of

P. heterocyclus cv. *pubescens* growing in different altitudes

海拔高度/m	毛竹材纤维长度/ μm			
	<900	900~1 600	1 600~3 000	3 000~4 000
300	0.00	6.60	87.15	6.25
600	0.69	30.38	67.53	1.39
900	6.94	43.58	48.78	0.69

2.1.2 纤维宽度 虽然纤维宽度对纸张质量无直接影响,但纤维宽度直接影响到纤维的长宽比,因此对纸张质量仍然存在一定影响^[11]。从表 4 可以看出,3 种海拔高度毛竹材纤维宽度在 13.61~18.10 μm 之间,下部纤维宽度小于中部和上部的。海拔 300 m 的毛竹材纤维宽度均值最小,海拔 600 m 的次之,海拔 900 m 的最大,这可能是由于林地气温随着海拔高度的增加而降低,而气温降低有利于维管束组织中纤维的横向伸张。方差分析结果表明,3 种海拔高度毛竹材上部、中部和下部纤维宽度及其均值均存在极显著差异。

表 4 不同海拔毛竹材纤维宽度及方差分析

Table 4 Fiber width and variance of *P. heterocyclus* cv.*pubescens* culm growing in different altitudes

海拔高度/m	上部/ μm	中部/ μm	下部/ μm	平均值/ μm
300	14.88	13.92	13.61	14.14
600	16.82	16.40	15.71	16.31
900	18.10	17.44	16.85	17.46
方差分析	30.097**	58.677**	30.097**	30.809**

2.1.3 纤维长宽比 纤维长宽比是影响纸张质量的重要因子之一。竹材纤维长宽比与竹材性质和利用有着密切的关系,长宽比大的竹材,其强固性和割裂性比较好,纸的撕裂强度高、耐折度大。对纸浆而言,比值在 80~150 之间是优质材,比值大的适合于

做优质纸浆原料,长宽比小于 45 的纤维不宜纸浆^[12]。从表 5 可以看出,3 种海拔高度毛竹材长宽比在 100.34~169.44 之间,完全符合纸浆原料的要求;海拔 300 m 毛竹材纤维长宽比明显大于海拔 600 m 和海拔 900 m。人工林毛竹材纤维长宽比随着海拔高度的增加而减小,这是由于随着海拔高度的增加,纤维长度减小而纤维宽度增大的缘故。对不同海拔高度毛竹材纤维长宽比进行方差分析(表 5),结果表明:不同海拔高度毛竹材纤维长宽比均值差异极显著。海拔高度对毛竹材上、中部纤维长宽比影响极显著,但对下部纤维长宽比影响不显著。从长宽比来看:3 种海拔高度的毛竹材均为优良的纸浆原料,且海拔 300 m 毛竹材优于海拔 600 m 和海拔 900 m 毛竹材。

表 5 不同海拔毛竹材纤维长宽比及方差分析

Table 5 The ratio of fiber length to width and variance analysis of

P. heterocyclus cv. *pubescens* culm growing in different altitudes

海拔高度/m	上部	中部	下部	平均值
300	162.91	169.44	154.35	162.23
600	104.14	124.59	121.37	116.70
900	100.34	105.27	89.96	98.52
方差分析	9.103**	9.327**	0.339	12.883**

2.2 不同海拔毛竹材化学成分的变异

纤维素、半纤维素、木素是构成竹材细胞壁的主要成分,其含量影响着竹材的材性和利用,一般以戊聚糖含量反映半纤维素含量。作为纸浆用材,纤维素含量影响着纤维的结合,纤维素含量高、聚合度大的纤维强度好,成纸的结合力较大,可用于强度和紧度要求大的纸类的原料;木素含量多的其所得纸浆亲水性差,不易打浆,纤维之间的结合力也低,成纸的紧度小,强度差;聚戊糖是一种半纤维素,它是由木糖、阿拉伯糖等五碳糖构成的高聚物的物。由于半纤维素

的聚合度远远低于纤维素,所以其在化学制浆过程中很容易被水解而排除掉,因此它对纸浆得率有负影响,即影响打浆和成纸的透明性,其含量高,打浆容易,纤维结合强度也较大^[13]。因此,毛竹材作为纸浆用材必须考虑海拔对其化学组成的影响。从(表 6)可以看出:随着海拔高度的增加,毛竹材热水抽出物

含量、苯-醇抽出物含量、Klason 木素含量及灰分含量均呈增大趋势,而 1%NaOH 抽出物含量、纤维素含量及 pH 值均呈减小趋势,聚戊糖含量则表现为海拔 900 m>海拔 300 m>海拔 600 m。作为纸浆原料,纤维素含量越高越有利,木素含量越低越有利,综合来看,海拔 300 m 的人工林毛竹材最适宜用作纸浆材。

表 6 不同海拔高度毛竹材化学成分

Table 6 Chemical composition of *P. heterocycla* cv *pubescens* culm growing in different altitudes %

海拔高度/m	热水抽出物	1%NaOH 抽出物	苯-醇抽出物	纤维素	聚戊糖	Klason 木素	灰分	pH 值
300	6.11	25.34	5.12	43.51	27.83	24.30	1.43	5.68
600	6.25	24.73	5.45	43.49	26.67	24.41	1.80	5.57
900	6.74	22.31	5.96	42.08	28.50	24.44	2.45	5.49

3 结论

通过对不同海拔毛竹材纤维形态和化学成分进行测定和分析,结果表明,海拔 300 m 的毛竹材纤维长度、长宽比和长纤维比率均大于海拔 600 m 的和海拔 900 m 的毛竹材,而纤维宽度则相反;海拔高度对毛竹材纤维长度、纤维宽度和长宽比影响极显著;随着海拔高度的增加,毛竹材的热水抽出物含量、苯-醇抽出物含量、Klason 木素含量及灰分含量均呈增大趋势,1%NaOH 抽出物含量、纤维素含量及 pH 值均呈减小趋势;聚戊糖含量则表现为海拔 900 m>海拔 300 m>海拔 600 m;不同海拔高度人工林毛竹材作为纸浆材应首选海拔 300 m 的毛竹材。

参考文献:

[1] 汪佑宏,卞正明,刘杏娥. 等. 坡向对毛竹主要物理力学性质的影响[J]. 西北林学院学报,2008,23(3):179-181.
WANG Y H, BIAN Z M, LIU X E, *et al.* Impact of different slopes on main physical and mechanical properties of bamboo [J]. Journal of Northwest Agriculture University, 2008, 23 (3):179-181. (in Chinese)

[2] 张令峰,许海峰,汪佑宏,等. 不同海拔高度及坡向对毛竹解剖特征影响及其与物理力学性质关系[J]. 安徽农业大学学报, 2009,36(1):77-80.
ZHANG L F, XU H F, WANG Y H, *et al.* Impact on bamboo anatomical characteristics of different altitudes and slope and relationship between them and the main physical & mechanical properties[J]. Journal of Anhui Agriculture University,2009,36(1):77-80. (in Chinese)

[3] 汪佑宏,王善,王传贵. 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.
WANG Y H, WANG S, WANG C G. Difference in main physical and mechanical properties of bamboo located at different elevations and slopes [J]. Journal of Northeast Agriculture

University, 2008, 36(1):20-22. (in Chinese)

[4] 汪佑宏,田根林,刘杏娥,等. 不同海拔高度对毛竹主要物理力学性质的影响[J]. 安徽农业大学学报,2007, 34(2):222-225.
WANG Y H, TIAN G L, LIU X E, *et al.* Effects of different altitudes on main physical and mechanical properties of bamboo [J]. Journal of Anhui Agriculture University, 2007, 34(2): 222-225. (in Chinese)

[5] 屈维均. 制浆造纸实验[M]. 北京:中国轻工业出版社,1992: 25-63.

[6] 陈华豪,丁恩统,洪伟,等. 林业应用数理统计[M]. 辽宁大连: 大连海运学院出版社,1988:60-82,105-110.

[7] 夏玉芳,吴炳生. 3 年生料慈竹纤维形态及组织比量分析[J]. 贵州农学院学报,1996,15(1):22-25.
XIA Y F, WU B S. Studies on the fiber forms and tissue percentage of three-year *Bambusa distegia* [J]. Journal of Guizhou Agric. Coll., 1996, 15(1):22-25. (in Chinese)

[8] 马灵飞,韩红,马乃训. 部分散生竹纤维形态及主要理化性质 [J]. 浙江林学院学报,1993,10(4):361-367.

[9] LIESE W. The Anatomy of Bamboo Culms[R]. Beijing:IN-BAR Tech. Rep., 18,1998:130-135.

[10] 全金英,张潇. 茶秆竹、淡竹、短穗竹纤维形态和化学组成的研究[J]. 竹类研究,1997,16(2):1-6.

[11] 夏玉芳. 料慈竹纤维形态和造纸性能及其与其他竹种的比较研究[J]. 竹子研究汇刊,1997,16(4):16-20.
XIA Y F. Study on fiber forms and papermaking properties of *Bambusa distegia* and comparison with other bamboos [J]. Journal of Bamboo Research, 1997, 16(4):16-20. (in Chinese)

[12] 夏玉芳,曾静. 料慈竹不同年龄纤维形态的研究[J]. 竹子研究汇刊,1996,15(1):45-51.
XIA Y F, ZENG J. Studies on fiber morphology of *Bambusa distegia* with different age [J]. Journal of Bamboo Research, 1996,15(1):45-51. (in Chinese)

[13] 隆言泉. 纸浆原理与工程[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1994.