

牡竹属三竹种的秆形质量与材性比较

郭子武¹, 陈双林¹, 杨清平¹, 李迎春¹, 邹跃国²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 福建省华安县林业局, 福建 华安 363800)

摘要: 对牡竹属(*Dendrocalamus*) 3个竹笋品质佳的竹种[勃氏甜龙竹(*D. brandisii*)、马来麻竹(*D. asper*)、花吊丝竹(*D. minor* var. *amoenus*)]的竹材形态质量及材性进行比较研究。结果表明:种间的立竹枝下高、相对全高的差异显著或极显著,勃氏甜龙竹相对枝下高最小,立竹胸径、全高、枝下高、尖削度值、壁厚率均为最大;竹秆含水率随立竹年龄增大而下降,3年生立竹的竹秆含水率为花吊丝竹>勃氏甜龙竹>马来麻竹,种间差异极显著;相对材积为勃氏甜龙竹($1771.35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-1}$)>马来麻竹($1166.66 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-1}$)>花吊丝竹($659.78 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-1}$),种间差异极显著;竹材密度随立竹年龄增大而提高,3年生立竹的竹材密度为花吊丝竹(0.914 g cm^{-3})>勃氏甜龙竹(0.812 g cm^{-3})>马来麻竹(0.749 g cm^{-3}),种间差异显著。因此,勃氏甜龙竹、马来麻竹可作为优良的笋材兼用竹种,而花吊丝竹宜作为笋用、观赏竹种推广应用。

关键词: 牡竹属; 秆形; 竹材; 竹材密度

中图分类号: S795.601

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2011)04-0328-05

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.04.008

Comparative Analysis of Culm Form and Timber Characteristics in Three *Dendrocalamus* Species

GUO Zi-wu¹, CHEN Shuang-lin¹, YANG Qing-ping¹, LI Ying-chun¹, ZOU Yue-guo²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China;

2. Forestry Bureau of Huaan County in Fujian, Huaan 363800, China)

Abstract: The culm form and timber properties of three *Dendrocalamus* species, such as *D. minor* var. *amoenus*, *D. asper* and *D. brandisii*, were studied. The results showed that there were significant difference in height under branch and very significant difference on relative total height among three bamboo species. The diameter at breast height (DBH), total height, height under branch, taper and wall thickness ratio of *D. brandisii* were the biggest, while the relative height under branch was the smallest. With the increment of bamboo age, water content of bamboo culm decreased significantly with order as *D. minor* var. *amoenus* > *D. brandisii* > *D. asper*. The difference in relative volume of *D. brandisii*, *D. minor* var. *amoenus*, *D. asper* was very significant with $1771.35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-1}$, $1166.66 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-1}$, and $659.78 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-1}$, respectively. With the increment of bamboo age, timber density increased significantly, *D. minor* was the highest, and *D. asper* was the lowest. Timber density of 3-year-old *D. minor* var. *amoenus*, *D. brandisii* and *D. asper* was 0.914 g cm^{-3} , 0.812 g cm^{-3} , and 0.749 g cm^{-3} , respectively. It suggested that *D. minor* var. *amoenus* could accomplish as ornament and shoot use bamboo, otherwise *D. brandisii* and *D. asper* as bamboo shoot and timber.

Key words: *Dendrocalamus*; Culm form; Timber; Timber density

收稿日期: 2010-12-14 接受日期: 2011-03-03

基金项目: 国家农业科技成果转化基金项目(2007GB24320419)资助

作者简介: 郭子武(1975 ~),男,博士,山东武城人,从事竹林生态与培育研究, email: hunt-panther@163.com

丛生竹是我国竹林资源的重要组成部分,具有生长快、伐期短、产量高、纤维长等优点,在当今全社会关注环境保护,应对全球气候变化,森林资源日渐匮乏,迅猛发展的竹材加工业原料日趋紧张的大背景下,区域性规模化发展和开发利用丛生竹资源,尤其是笋材兼用丛生竹种,这对于环境保护和促进社会经济发展及进一步提升我国竹产业整体水平有着重要的现实意义。对于丛生竹的研究比毛竹(*Phyllostachys edulis*)、雷竹(*P. praecox*)等散生竹种有较大的差距,其中许多具有优良经济性状的笋材兼用丛生竹种资源未得到发掘利用^[1-2]。

牡竹属(*Dendrocalamus*)为合轴丛生型,有50余种,多分布于热带和亚热带地区,其中,花吊丝竹(*D. minor* var. *amoenus*)、马来麻竹(*D. asper*)、勃氏甜龙竹(*D. brandisii*)的竹笋品质佳、产量高,目前在一些适生区已作为优良笋用竹种进行推广栽培,开展了引种、丰产培育和效益评价等方面的研究^[3-6],但尚无其竹材形态质量与材性等方面的研究报道。为此,本研究对勃氏甜龙竹、马来麻竹、花吊丝竹立竹的主要构件因子(立竹胸径、全高、枝下高、相对全高、相对枝下高、壁厚率、尖削度值等)、竹秆含水率、材积和竹材密度等进行了调查,对3竹种的立竹秆形质量和性材进行了分析比较,旨在为优良笋材兼用丛生竹种筛选提供借鉴。

1 试验地概况

试验地位于中亚热带与亚热带气候过渡区的福建省华安县竹类植物园(25°00′36″N, 117°32′27″E),海拔为150 m,年均气温17.5℃,极端最高气温达39℃,极端最低气温为-3.8℃,年均降水量为1447.9 mm,属低山缓坡地,土壤为赤红壤,pH值为4.31,土壤疏松,土层厚度大于1 m,土壤有机质含量为31.78 g kg⁻¹,全氮、全磷、全钾含量分别为1.10 g kg⁻¹、0.278 g kg⁻¹和0.692 g kg⁻¹,速效氮、磷、钾含量分别为175.86 mg kg⁻¹、30.02 mg kg⁻¹和26.95 mg kg⁻¹。

2 材料和方法

2.1 试验竹林

3竹种试验林位于竹类植物园的南向缓坡地,于2002年4月从竹种园同一种源圃移1年生健壮母竹的竹苑栽植,初植密度均为600丛 hm⁻²,造林后3年成林。2009年试验期间林分现存立竹年龄为1~3

年,每丛平均有立竹6~8株,花吊丝竹、马来麻竹、勃氏甜龙竹的最大立竹全高分别为16.26 m、16.34 m、21.93 m,最大立竹胸径分别为71.11 mm、97.15 mm、121.62 mm,立竹平均胸径分别为47.44 mm、67.87 mm、81.53 mm。3竹种试验林面积均约为4 hm²左右,试验竹林不施肥,只在夏季进行1次中耕除草。

2.2 调查方法

在3竹种试验林中按年龄随机选取1~3年生样竹各30株,齐地伐倒后逐株测量立竹胸径、全高、枝下高等立竹秆形结构因子,去除枝叶称竹秆鲜重(W_f),再分别选取每个年龄立竹5株,分别取每株的竹秆上、中、下部混合样(5份),于105℃杀青后,85℃下烘干至恒重(W_d),测定竹秆含水率,计算竹秆的生物量。另将伐取的其它样竹竹秆按1 m长度锯成区段,垂直四方向测量每段竹秆上下两端的内外直径及壁厚,用于计算竹材材积、密度及尖削度值。

2.3 数据处理

2.3.1 立竹相对全高、相对枝下高

$$RTH = TH/DBH \quad (1)$$

式中, RTH 为立竹相对全高, TH 为立竹全高(m), DBH 为立竹胸径(cm)。

$$RBH = BH/DBH \quad (2)$$

式中, RBH 为立竹相对枝下高, BH 为立竹枝下高(m)。

2.3.2 竹秆壁厚率

$$ARWT = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{d_i} \quad (3)$$

式中, $ARWT$ 为立竹壁厚率, T_i 为立竹在第*i*区段高处的竹壁厚度(mm), d_i 为立竹在第*i*区段高处的竹秆直径(mm)。 $n(n=1,2,3,\dots)$ 为立竹竹秆分成的区段数。

2.3.3 立竹尖削度值^[7]

$$TAP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{TH} \times \frac{d_i}{DBH} \quad (4)$$

式中, TAP 为立竹尖削度值, H_i 为竹秆第*i*段长度(m), TH 为立竹全高(m), d_i 为竹秆第*i*段上端直径(mm), DBH 为立竹胸径(mm), $n(i=1,2,3,\dots,n)$ 为竹秆分成的区段数。

2.3.4 竹秆含水率

$$W_c = \frac{W_f - W_d}{W_f} \times 100\% \quad (5)$$

式中, W_c 为竹秆含水率(%), W_f 为竹秆样品鲜重(kg), W_d 为竹秆样品干重(kg)。

2.3.5 竹材材积^[8]

$$V_{外i} = \frac{\pi}{3} (r_{外i}^2 + r_{外i} \times r_{外i+1} + r_{外i+1}^2) \times h \quad (6)$$

$$V_{内i} = \frac{\pi}{3} (r_{内i}^2 + r_{内i} \times r_{内i+1} + r_{内i+1}^2) \times h \quad (7)$$

$$V_i = V_{外i} - V_{内i} \quad (8)$$

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \quad (9)$$

式中, $V_{外i}$ 、 $V_{内i}$ 分别为第 i 段竹材的外围体积和内腔体积(cm^3), $r_{外i}$ 、 $r_{内i}$ 分别为第 i 段竹材的内半径和外半径(mm), h 为竹段长度(m), V_i 为第 i 段竹材实际材积(cm^3), V 为单株立竹实际材积(cm^3)。

2.3.6 竹材密度

$$D = W/V \times 1000 \quad (10)$$

式中, D 为竹材密度(g cm^{-3}), W 为立竹竹秆干重(kg), V 为立竹实际材积(cm^3)。

数据整理及图表制作用 Excel 及 Sigmaplot 统计软件进行, 采用 SPSS 11.5 进行方差分析(One-Way ANOVA analysis)、Duncan 多重比较(Duncan's multiple test)。

3 结果和分析

3.1 立竹秆形结构主要因子

从表 1 可知, 勃氏甜龙竹立竹的胸径、全高、枝下高最大, 虽然花吊丝竹的立竹胸径最小, 但其立竹全高、枝下高均大于马来麻竹。勃氏甜龙竹和马来麻竹的立竹胸径差异不显著, 花吊丝竹和马来麻竹的立竹全高差异不显著, 3 竹种间的立竹枝下高差异显著。相对全高的种间差异极显著, 以花吊丝竹 > 勃氏甜龙竹 > 马来麻竹, 相对枝下高为花吊丝竹 > 马来麻竹 > 勃氏甜龙竹, 其中, 勃氏甜龙竹和马来麻竹的差异不显著, 均与花吊丝竹的差异显著。3 竹种间的立竹尖削度值为 0.66 ~ 0.76, 且勃氏甜龙竹 > 花吊丝竹 > 马来麻竹, 勃氏甜龙竹与马来麻竹、花吊丝竹差异均极显著, 而后二者无显著差异。竹秆壁厚率为勃氏甜龙竹 > 马来麻竹 > 花吊丝竹, 其中, 勃氏甜龙竹与花吊丝竹、马来麻竹差异极显著, 而马来麻竹和花吊丝竹的差异不显著。

表 1 3 竹种立竹的主要秆形结构因子

Table 1 Culms forms of three bamboo species

	花吊丝竹 <i>D. minor</i> var. <i>amoenus</i>	勃氏甜龙竹 <i>D. brandisii</i>	马来麻竹 <i>D. asper</i>
胸径 Diameter at breast height (cm)	4.74 ± 1.80B	8.18 ± 1.27A	7.03 ± 1.73A
全高 Total height (m)	11.08 ± 2.72B	15.31 ± 3.03A	9.05 ± 2.13B
相对全高 Relative total height	2.408 ± 0.125A	1.899 ± 0.114B	1.343 ± 0.128C
枝下高 Height under branch (m)	2.58 ± 0.23b	3.08 ± 0.34a	1.71 ± 0.13c
相对枝下高 Relative height under branch	0.543 ± 0.129a	0.388 ± 0.113b	0.484 ± 0.147b
尖削度 Taper	0.7089 ± 0.0361B	0.7587 ± 0.0259A	0.6651 ± 0.0383B
竹秆壁厚率 Wall thickness ratio	0.1334 ± 0.0250B	0.1535 ± 0.0155A	0.1418 ± 0.0162B

数据后不同大写字母、小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)。Data followed different capital and small letters indicate significant difference at 0.01 and 0.05 levels, respectively. 下表同。The same as following Tables.

3.2 竹秆含水率

随着立竹年龄的增大, 3 竹种的竹秆含水率均呈递减趋势(表 2), 3 年生立竹竹秆含水率与 1 年生

立竹的差异均达显著水平。以可采伐利用的 3 年生立竹比较, 竹秆含水率种间差异极显著, 且马来麻竹 > 勃氏甜龙竹 > 花吊丝竹。

表 2 3 竹种立竹竹秆含水率比较

Table 2 Water content of bamboo culm inr three bamboo species

竹种 Bamboo	年龄 Age (a)		
	1	2	3
马来麻竹 <i>D. asper</i>	48.97 ± 1.62aa	46.74 ± 1.09aa	40.73 ± 0.61bA
勃氏甜龙竹 <i>D. brandisii</i>	46.75 ± 0.934aa	42.07 ± 1.57bb	36.87 ± 0.91cB
花吊丝竹 <i>D. minor</i> var. <i>amoenus</i>	38.22 ± 0.28ab	37.19 ± 0.57ac	31.55 ± 1.84bC

第一个字母为同行比较, 第二个字母为同列比较。表 4 同。The first letter followed data was compared within line, and the second letter within column. The same as Table 4.

3.3 竹材材积

已有研究表明, 竹子材积与立竹胸径呈极显著

相关关系^[9], 为此, 我们分别构建了 3 竹种的立竹胸径-材积模型, 经显著性检验($R_{adj}^2 > 0.86$, $F > 83$,

表3 3竹种立竹胸径与材积关系

Table 3 Relationship between timber volume and DBH of three bamboo species

竹种 Bamboo	拟合方程 Regression equation	R^2_{adj}	F	P
马来麻竹 <i>D. asper</i>	$V = 352.66DBH^2 - 2031.16DBH + 4665.84$	0.9181	168.05	<0.0001
花吊丝竹 <i>D. minor</i> var. <i>amoenus</i>	$V = 86.41DBH^2 + 456.12DBH - 894.71$	0.8611	83.69	<0.0001
勃氏甜龙竹 <i>D. brandisii</i>	$V = 371.55DBH^2 - 1698.99DBH + 4113.38$	0.8962	113.22	<0.0001

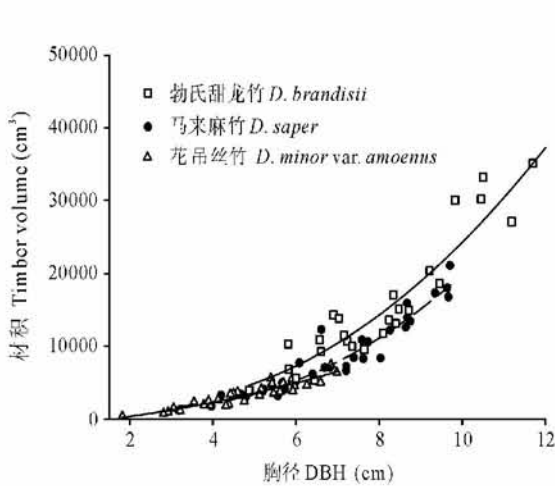


图1 立竹胸径与材积关系

Fig. 1 Relationship between timber volume and DBH

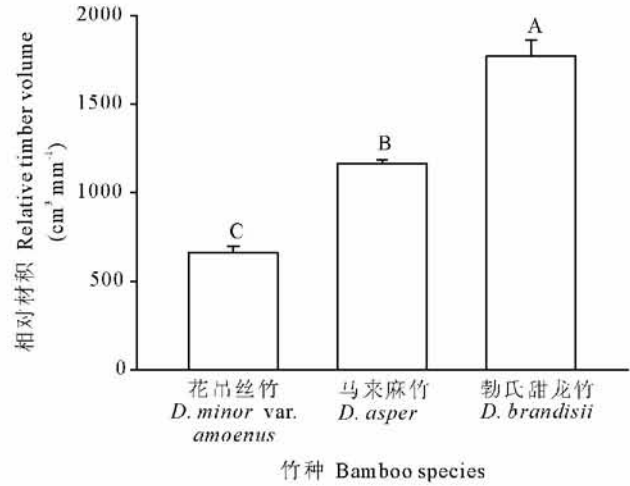


图2 3竹种立竹的相对材积

Fig. 2 Relative timber volume of three bamboo species

表4 3竹种竹材密度差异分析

Table 4 Analysis of difference on timber density of three sympodial bamboo species

竹种 Bamboo	年龄 Age (a)		
	1	2	3
花吊丝竹 <i>D. minor</i> var. <i>amoenus</i>	0.786 ± 0.031ba	0.838 ± 0.031ba	0.914 ± 0.022aa
马来麻竹 <i>D. asper</i>	0.419 ± 0.021cc	0.634 ± 0.021bb	0.749 ± 0.033ac
勃氏甜龙竹 <i>D. brandisii</i>	0.638 ± 0.011bb	0.741 ± 0.041ba	0.812 ± 0.034ab

$P < 0.0001$),模型及相关系数均达显著水平(表3),说明模型可以反映材积与立竹胸径的关系(图1)。竹种间的立竹相对材积差异极显著(图2),它们的变化趋势与竹秆壁厚率一致,为勃氏甜龙竹($1771.35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) > 马来麻竹($1166.66 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) > 花吊丝竹($659.78 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)。

3.4 竹材密度比较

3竹种的竹材密度均随立竹年龄的增大而提高(表4),且均为花吊丝竹 > 勃氏甜龙竹 > 马来麻竹。1年生和2年生的花吊丝竹和勃氏甜龙竹立竹的竹材密度差异不显著,但与3年生立竹的差异显著。马来麻竹的竹材密度年际间变化大,1、2和3年生的立竹间均有显著差异,3年生较1年生立竹的竹材密度增加 0.340 g cm^{-3} ,增幅超过80%,说明其立竹重量生长速率快。

4 结论和讨论

立竹秆形是竹类植物生物量积累及材性的基础,良好的秆形能够拓展立竹的生存空间,提高对环境和资源的占有率和竹材质量。3竹种立竹的秆形特征表明,同一生境中勃氏甜龙竹立竹的胸径、全高及枝下高均最大,相对枝下高最小,枝条分布均匀,能有效增加光合器官竹叶的面积,获取更多的光合空间,促使竹秆生物量积累和无性系繁衍更新。3竹种的尖削度值均在0.66以上,均比毛竹大($0.25 \sim 0.65$)^[10-11],而以勃甜龙竹尖削度值最大,即秆形最匀称。

竹秆含水率与竹类植物的生物量积累、竹子材性密切相关,较低的含水率意味着较好的材性和较高的生物量积累效率^[12]。3竹种的竹秆含水率均随立竹年龄增大而降低,3年生立竹竹秆含水率的

种间差异极显著,以花吊丝竹最低,勃氏甜龙竹次之,马来麻竹最高,体现了花吊丝竹、勃氏甜龙竹较好的材性;立竹材积受立竹胸径、全高和竹壁厚度的共同影响,而立竹全高是立竹胸径的从属因子,与立竹胸径呈一致性的线性增长趋势^[13],说明立竹相对材积主要受立竹壁厚率的影响。3 竹种立竹材积与立竹胸径均呈显著的二次多项式线性相关,3 竹种立竹的相对材积与立竹壁厚率的变化趋势一致,种间差异极显著,以勃氏甜龙竹最高,马来麻竹次之,花吊丝竹最低。竹材密度是衡量竹子材性和竹材物理结构的重要指标之一^[14-16],3 竹种竹材密度随立竹年龄增大而增大,可伐取利用的 3 年生立竹竹材密度种间差异显著,以花吊丝竹最高,勃氏甜龙竹次之,马来麻竹最低,说明竹材密度除了和立竹年龄有关外,也与竹种有着直接的关系。

综合分析,勃氏甜龙竹的竹林产品产量高,材用性能良好,竹笋品质极佳,是一种优良的笋材兼用的丛生竹种,可以区域规模化发展。花吊丝竹虽然竹秆含水率低、竹材密度高、立竹尖削度值和壁厚率较高,但秆径小,竹材产量低,不适于作为笋材兼用竹种推广应用,但立竹竹秆较为匀称,竹秆基部有黄色纵条纹,被白粉,竹丛形态优美,可以作为笋用、观赏竹种栽培。马来麻竹立竹秆形结构特征和材性处于两竹种之间,可作为笋材兼用丛生竹种在一定区域推广应用。

参考文献

- [1] Zhang Z B(张自斌), Zhou G Y(周光益), Lin Q Z(林亲众). Research progress and some problems on cluster bamboo in China [J]. Trop For(热带林业), 2007, 35(2): 12-17, 4.(in Chinese)
- [2] Ouyang P(欧阳平), Yang H Q(杨汉奇). Present situation and development orientation of cluster bamboo cultivation of China [J]. Yunnan For Sci Techn(云南林业科技), 2002, 99(2): 74-77.(in Chinese)
- [3] Ruan Z Y(阮桢媛), Yang H Q(杨汉奇), Tian B(田波). Genetic diversity analysis based on ISSR among six populations of *Dendrocalamus brandisii* in Yunnan Province, China [J]. J Beijing For Univ(北京林业大学学报), 2010, 32(2): 46-51.(in Chinese)
- [4] Cheng S L(陈双林), Xiao J H(萧江华), Zou Y G(邹跃国). Study on structure optimization of *Dendrocalamus brandisii* shoot and stock-producing stand [J]. For Res(林业科学研究), 2003, 16(6): 677-683.(in Chinese)
- [5] Deng H(邓恢). High-yield cultivation technique of *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* [J]. Chin For Sci Techn(林业科技开发), 2008, 22(1): 80-83.(in Chinese)
- [6] Guo Z W(郭子武), Li Y C(李迎春), Yang Q P(杨清平), et al. Studies on relationship between biomass and modules of *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2009, 17(6): 543-548.(in Chinese)
- [7] Lin H(林华). Analysis of the effects of high-benefit cultivation techniques for industrial bamboo timber moso forest [J]. J Bamboo Res(竹子研究汇刊), 2008, 27(2): 42-47.(in Chinese)
- [8] Ma L T(马兰涛), Chen S L(陈双林), Zou Y G(邹跃国), et al. Present biomass distribution and timber physical structure of *Guadua amplexifolia* [J]. Guihaia(广西植物), 2009, 29(2): 217-221.(in Chinese)
- [9] Chen S L(陈双林), Wu B L(吴柏林), Yu M Z(虞敏之), et al. The relationship among main component of factors and establishment of timber volume table [J]. J Fujian For Sci Techn(福建林业科技), 2008, 35(2): 30-33.(in Chinese)
- [10] Jiang Z H(江泽慧). Bamboo and Rattan in the World [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology House, 2002: 101-112.(in Chinese)
- [11] Gao L(高黎), Wang Z(王正), Lin T(蔺焱), et al. A comparative study of main physical and mechanical properties of *Arundinaria* and *Phyllostachys pubescens* [J]. World Bamboo Ratt(世界竹藤通讯), 2010, 8(4): 20-22.(in Chinese)
- [12] Chung K F, Yu W K. Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings [J]. Engi Stru, 2002, 24: 429-442.
- [13] Chen S L(陈双林), Wu B L(吴柏林), Wu M(吴明), et al. A study of interannual succession rule and influential factors of young stands structure of *Phyllostachys pubescens* [J]. J Zhejiang For Coll(浙江林学院学报), 2004, 21(4): 393-397.(in Chinese)
- [14] Su W H(苏文会), Gu X P(顾小平), Yue J J(岳晋军), et al. Study on the structure of culm form of *Bambusa wenchouensis* [J]. For Res(林业科学研究), 2006, 19(1): 98-101.(in Chinese)
- [15] Lin J G(林金国), Lai G M(赖根明), Zheng G F(郑国丰). Variation law of basic density and shrinkage of *Chimonbambusa quadrangularis* [J]. J NW For Univ(西北林学院学报), 2004, 19(2): 112-115.(in Chinese)
- [16] Ma L F(马灵飞), Ma N X(马乃训). Studies on variation in bamboo wood properties of *Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens* [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 1998, 33(4): 356-364.(in Chinese)