

Guadua amplexifolia 现存生物量 分配和竹材物理结构研究

马兰涛¹, 陈双林^{1*}, 邹跃国², 庄裕根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: 通过对 *Guadua amplexifolia* 现存单株生物量结构和竹材物理结构研究, 结果表明: 地上部分生物量在枝条上的分配比例高于相同径级毛竹, 根冠比较其他丛生竹种大, 具有发达的地下根系且易形成密集林分, 是良好的防风植物材料; 地上部分各器官生物量与地径、全高均呈显著的正相关, 可以用相对生长模型进行模拟; 竹秆有较大的相对壁厚和较低的含水率, 可以作为良好的材用竹种进行培育。虽然竹秆壁厚的分布特点有很大差异, 但竹秆实际材积和地径之间具有显著的相关性, 可以用3次多项式进行模拟。

关键词: *Guadua amplexifolia*; 生物量; 竹材材积; 竹材密度

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2009)02-0217-05

Present biomass distribution and timber physical structure of *Guadua amplexifolia*

MA Lan-Tao¹, CHEN Shuang-Lin^{1*}, ZOU Yue-Guo², ZHUANG Yu-Gen²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China; 2. Forestry Bureau of Huaan, Huaan 363800, China)

Abstract: Research on individual bamboo biomass and timber physical structure indicated that the allocation of *Guadua amplexifolia* biomass to branch is higher than moso-bamboo evidently. Root shoot ratio is larger than other sympodial bamboo, so it can be considered as a good breakwind plant because of developed root and branch. Every modular biomass above ground had significant positive correlation with basal diameter and total height, it can be simulated with allometric model. The culm had large relative wall thickness and low moisture content, so it can be cultivated as fine timber-used bamboo. Although the wall thickness differed in culms, the timber volume had significant correlation with basal diameter, and it can be simulated with cubic polynomial.

Key words: *Guadua amplexifolia*; biomass; bamboo timber volume; density of bamboo timber

竹类植物是重要的克隆植物, 具有无性系植物的许多独特优点, 且周期短、用途广, 在资源日益匮乏的今天具有很高的开发利用价值。 *Guadua amplexifolia* J. S. Presl 隶属瓜多竹属, 为大型丛生竹种, 广泛分布于厄瓜多尔、哥伦比亚、巴西、阿根廷等国, 是南美洲主要栽培竹种之一。该竹种生物量大, 材质机械性能好, 是优良的材用竹种。结合国家林业局“948”项目“优良速生竹种引进”的实施, 2002

年引入至福建华安竹类植物园, 开展了生态适应性、种苗繁育、人工栽培等试验。为进一步评价其推广应用价值, 对生物量分配和竹材材积、密度等物理结构进行了研究。

1 试验地概况

试验地位于中亚热带与南亚热带气候过渡区的

收稿日期: 2007-08-13 修回日期: 2008-05-20

基金项目: 国家林业局“948”项目(2000-04-16)[Supported by the“948”Program of State Forestry Administration(2000-04-16)]

作者简介: 马兰涛(1982-), 女, 河北唐县人, 硕士研究生, 研究方向为竹林生态学。

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: cslbamboo@126.com)

福建省华安县竹类植物园,海拔为150 m,年均气温17.5~21.4 °C,极端最高气温39 °C,极端最低气温-3.8 °C,年均降水量1447.9~2023 mm,属低山缓坡地,土壤为砖红壤性红壤,pH值4.31,土壤疏松,土层厚度大于1 m,有机质含量31.78 g·kg⁻¹,全氮、全磷、全钾的含量分别为1.10 g·kg⁻¹、0.278 g·kg⁻¹和0.692 g·kg⁻¹,速效氮、磷、钾分别为175.86 mg·kg⁻¹、30.02 mg·kg⁻¹和26.95 mg·kg⁻¹。

试验林位于竹类植物园西向缓坡地,于2004年移栽,初植密度1500丛·hm⁻²,试验期间林分现存立竹主要为2~3年生,平均地径36.5 mm,最大地径和竹高分别为58 mm和11.2 m。

2 试验方法

2.1 地上部分生物量

因1年生立竹尚未完全抽枝展叶,3年生立竹已钩梢,故取2年生竹为研究对象。在试验竹林中选取2年生不同地径立竹30株(其中30 mm以下、30~40 mm、40~50 mm和50 mm以上分别为7、8、8、7株),齐地伐倒测量全高、地径、冠长、冠幅等结构因子,然后将秆、枝、叶分别称取鲜重。并其中选取3株样竹,分别取每株的竹秆、竹枝上中下部和竹叶的混合样(竹秆、竹枝、竹叶各3份),105 °C杀青后,85 °C下烘干至恒重,测定各器官含水率,计算各器官的生物量,用DPS分析软件进行生物量回归分析。

2.2 地下部分生物量

在试验林分中随机选择10样丛,调查样丛立竹数和各立竹地径后伐除全部立竹,再整丛挖起竹兜,洗去兜部泥土后将根和地下茎剪下,自然晾干后分别称鲜重,然后分别取样3份烘干至恒重计算地下器官含水率和生物量;根据上述的立竹地径与地上生物量的回归方程,以样丛立竹平均地径和立竹数计算样丛地上部分总生物量,进而分析地上和地下部分生物量的关系。

2.3 竹材物理结构

在竹林中选取不同地径立竹15株(其中30 mm以下、30~40 mm、40~50 mm和50 mm以上分别为2、7、5、1株),劈除枝条,按30 cm长将竹秆分成区段,分别测量每段的底端直径,空心部分测量出现空心的高度和内径;称取竹秆鲜重,并按上述方法取样烘干计算单株秆生物量。按以下方法分别计算竹秆材积、相对壁厚和竹材密度。

2.3.1 竹材材积

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

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

$$V_i = V_{外i} - V_{内i}$$

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$

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, $r_{外i}$ 、 $r_{内i}$ 分别为第*i*段竹材的内半径和外半径; h 为竹段长度; V_i 为第*i*段实际材积, V 为单株立竹实际材积。

2.3.2 相对壁厚 $c_i = \frac{r_{外i} - r_{内i}}{d_i}$

c_i 为第*i*段底端的相对壁厚, $r_{外i}$ 、 $r_{内i}$ 和 d_i 分别为该处的外半径、内半径和直径。

2.3.3 竹材密度 $d = \frac{W}{V}$

式中, W 为单株秆干重, V 为单株实际材积。

表1 *G. amplexifolia* 器官含水率

Table 1 Moisture content in every organ of *G. amplexifolia*

项目 Item	秆 Culm	枝 Branch	叶 Leaf	地下茎 Rhizome	根 Root
取样鲜重 FW (g)	748.0	440.6	435.1	866.1	333.3
干重 DW (g)	543.1	205.0	130.0	361.0	114.0
含水率 MC (%)	27.39	53.47	70.12	58.32	65.80

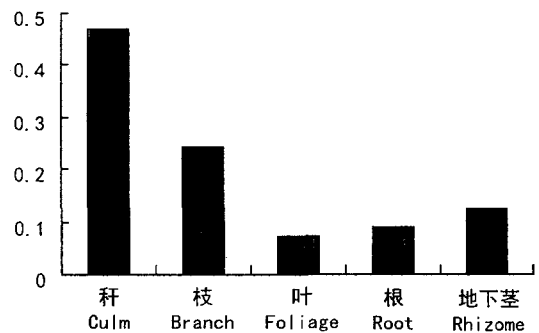


图1 *G. amplexifolia* 各器官生物量比例

Fig. 1 Every organ's biomass ratio of *G. amplexifolia*

3 结果与分析

3.1 生物量分配规律

3.1.1 器官含水率 竹秆含水率是影响竹材机械性能的重要物理指标,竹材的几项机械性能指标均和

含水率呈负相关关系(Chung & Yu, 2002), 较低的竹秆含水率也就意味着较强的机械性能, 这一特性在材用方面是至关重要的。

从表 1 看出, *G. amplexifolia* 各器官的含水率为叶>根>地下茎>枝>秆。竹秆含水率显著低于福建 2 年生绿竹 (*Dendrocalamopsis oldhami*) (35.84%~49.68%) (郑维鹏等, 2004) 和麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus*) (46.72%) (尤志达, 2003), 说明 *G. amplexifolia* 材用性能较好。

3.1.2 器官生物量分配 从图 1 分析可知, *G. amplexifolia* 各器官生物量分配规律为秆(47.06%)

>枝(24.39%)>地下茎(12.39%)>根(8.87%)>叶(7.29%)。枝生物量占地上部分生物量比重为 30.98%, 显著高于我国的主要材用竹种毛竹 (*Phyllostachys pubescens*) (11.93%) (彭在清等, 2002), 较同处于热带地区相似径级的埃塞俄比亚本土竹种 *Yushania alpine* 高 13% (Embaye 等, 2005)。根冠比(地下与地上生物量比)为 0.27, 稍高于同属狭叶瓜多竹 (*Guadua angustifolia*) 的 0.25 (Riaño 等, 2002), 显著高于福建麻竹(0.13) (林益明等, 2000)、绿竹(0.16) (彭在清等, 2002)。从具有发达的分枝和分枝低及较大的根冠比等特点

表 2 结构因子与地上器官生物量的相关系数矩阵

Table 2 Correlation matrix between aboveground biomass and structure factors

	H	L	A	D	W1	W2	W3
L	0.96951** (<0.0001)						
A	0.18393 (0.5117)	0.21873 (0.4335)					
D	0.76355 (0.0009)	0.81899 (0.0002**)	0.14920 (0.5956)				
W1	0.87595** (<0.0001)	0.90865 (<0.0001)	0.22318 (0.4240)	0.93883** (<0.0001)			
W2	0.55962* (0.0301)	0.64614** (0.0093)	0.72827** (0.0021)	0.62084* (0.0135)	0.63898 (0.0103)		
W3	0.30011 (0.2771)	0.40458 (0.1347)	0.28690 (0.2998)	0.71289** (0.0029)	0.58012 (0.0234)	0.63016 (0.0118)	
W	0.82267** (0.0002)	0.88212** (<0.0001)	0.40768 (0.1315)	0.92485** (<0.0001)	0.96150 (<0.0001)	0.81889 (0.0002)	0.69905 (0.0037)

注: W1、W2、W3、W 分别为秆、枝、叶和地上部分总生物量; H 为立竹全高; L 为冠长; A 为平均冠幅; D 为地径。

Note: W1, W2, W3 is biomass of culm, branch, leaf and aboveground biomass respectively; H: height; L: Length of crown; A: Average crown width; D: Basal diameter.

表 3 地上器官生物量模型

Table 3 Biomass model of aboveground components

	模型 Model	决定系数 R ²	F 值	显著水平
秆 Culm	$W_1 = 0.310649D^{2.3635}$	0.8620	81.22009	0.00000
枝 Branch	$W_2 = 11.0060D^{1.2108}$	0.3165	6.02066	0.02901
叶 Leaf	$W_3 = 1.2743D^{1.4669}$	0.4191	9.38083	0.00907
地上生物量 Total	$W = 2.5506D^{1.9305}$	0.7876	48.21116	0.00001
秆 Culm	$\ln W_1 = -1.1238 + 0.946902 \ln(D^2 H)$	0.9405	205.47236	0.00000
枝 Branch	$\ln W_2 = 1.9739 + 0.529766 \ln(D^2 H)$	0.4583	11.00022	0.00557
叶 Leaf	$\ln W_3 = 1.6289 + 0.435124 \ln(D^2 H)$	0.3779	7.89863	0.01473
地上生物量 Total	$\ln W = 1.1957 + 0.748902 \ln(D^2 H)$	0.8810	96.20467	0.00000

分析, *G. amplexifolia* 是良好的防风植物材料。

3.1.3 地上部分器官生物量模型 相关分析(表 2)表明, 各器官生物量与地径之间的相关性均达到极显著或显著水平, 秆、枝生物量与冠长和全高显著相关, 冠长与全高具有极显著相关($R=0.9695$) (表 2)。考虑到指标的易测性和模型的实用性, 选择地径和全高对地上部分各器官生物量进行回归分析。

选择相对生长模型和幂函数模型对地径、全高与器官生物量的关系进行模拟。

利用幂函数模型和相对生长模型对地上各部分生物量进行回归分析, 均达显著水平, 以相对生长模型效果较好, 可用于生物量的估算。虽然叶生物量模型的决定系数相对较小, 但经 F 检验也达到了显著水平, 其它各器官相对生长模型 F 检验均达极显

著水平(表 3)。

3.2 竹材物理结构

3.2.1 竹秆壁厚 *G. amplexifolia* 具有较大的秆壁厚度,当地径较小时,全秆呈实心,随着地径的增大,竹秆出现部分空心的趋势。如图 2 所示,地径 40 mm 以下的多为全秆实心,40 mm 以上的在一定高度出现空心,出现空心的高度没有特定的规律。但其相对壁厚仍较大,调查结果显示单株空心部分的平均相对壁厚均在 0.2~0.35 之间,平均为 0.28,而同属的狭叶瓜多竹则为 0.12~0.16,平均为 0.14(Londoño 等,2002),显著高于后者。

3.2.2 竹秆材积 虽然 *G. amplexifolia* 立竹因径级不同竹秆表现出不同的空心或实心特征,但实际材积随地径表现出较好的规律性,应用三次多项式曲线建立了立竹材积和地径的回归模型(图 3):($R^2 = 0.8858, F = 27.9203, P < 0.0001$)经 F 检验,达极显著水平,可用于地径对材积的估算。

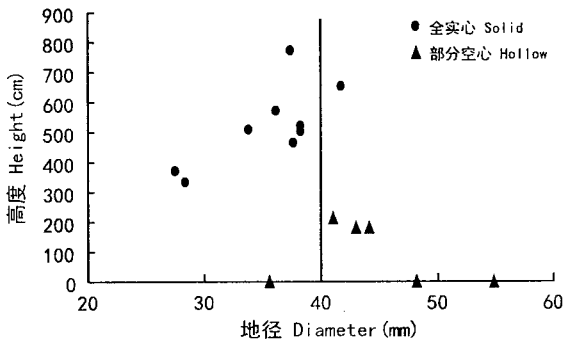


图 2 竹材空心与地径的关系
Fig. 2 Relationship between basal diameter and stem hollow

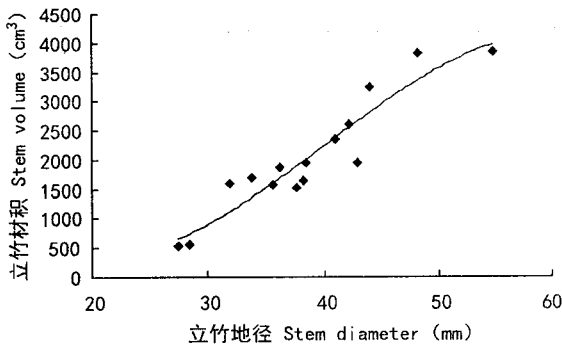


图 3 材积与地径的关系模型
Fig. 3 Model of stem volume and basal diameter

3.2.3 竹材密度 竹材的密度和竹材的力学性质呈现密切的正相关关系(苏文会等,2006),是评价竹材

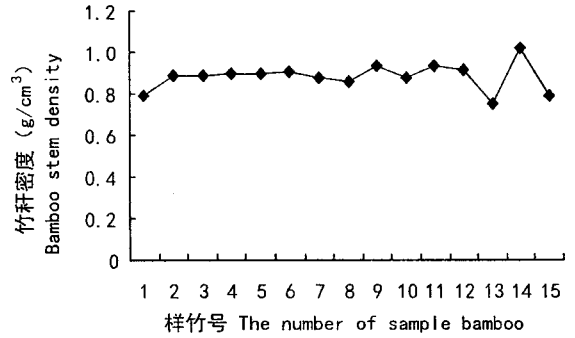


图 4 *Guadua* 标准竹秆材平均基本密度
Fig. 4 Average stem density of *Guadua* sample

力学性能的重要指标之一。竹材密度除了和立竹年龄有关(林金国等,2004),还和竹种有着密切关系,不同的竹种竹材密度差异很大(马灵飞等,1998;林金国等,2004)。*G. amplexifolia* 2 年生竹材平均基本密度为 $0.88 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (图 4),变异系数 8.96%,较龙竹(*Dendrocalamus giganteus*)、甜龙竹(*D. brandisii*)、黄竹(*D. membranaceus*)、油簕竹(*Bambusa lapidea*)等丛生竹种高的多(张宏建等,1998),这也意味着该竹种优良的材用特性。

4 结论与讨论

G. amplexifolia 生物量分配特点与我国主要经济竹种毛竹明显不同,其地上生物量中枝条所占比重较大,具有较发达的分枝和较小的枝下高,易形成密集林分,且笋芽在萌发出土前能在地下行走一段距离,能形成散生状林分等特点,在防护林建设中具有较好的应用价值。

植物根冠比反映了植物对环境资源的不同利用方式,较高的根冠比反映了植物对水分和养分较高的需求和竞争能力(Tilman, 1988)。据 Ovington (1962)研究,对于很多林木,根冠比的范围是实生苗稍大于 0.4,幼树为 0.2~0.3,大树则在 0.2 以下。*G. amplexifolia* 的根冠比较散生的毛竹低,而较麻竹、绿竹等丛生竹种高,相对本地其他丛生竹种具有较发达的地下系统,利用环境资源的能力较强。

G. amplexifolia 立竹个体间竹秆相对壁厚差异较大,竹秆有随着立竹径级的增大而呈现部分空心的特征,这一特殊现象的形成机理有待进一步研究。竹秆实际材积与地径呈较高的相关性。由于竹秆较大的相对壁厚和较低的含水率,使得该竹种具

有较大的实际材积和优良的竹材物理性质,可作为优良的材用竹种在其适生区进行推广应用,尤其是结合沿海防护林建设。

参考文献:

- Chung KF, Yu WK. 2002. Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings[J]. *Engineering Structures*, (24):429-442
- Embaye KM, Weih S, Ledinc, et al. 2005. Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implications for management[J]. *Fore Ecol Management*, **204**: 159-169
- Lin JG(林金国), Lai GM(赖根明), Zheng GF(郑国丰), et al. 2004. Variation law of basic density and shrinkage of *Chimonobambusa quadrangularis*(方竹材基本密度和干缩性变异规律的研究)[J]. *J Northwest Fore Univ*(西北林学院学报), **19**(2):112-115
- Lin YM(林益明), Li HC(李惠聪), Lin P(林鹏), et al. 2000. Biomass structure and energy distribution of *Dendrocalamus latiflorus* population(麻竹种群生物量结构和能量分布)[J]. *J Bamboo Res*(竹子研究汇刊), **19**(4):36-41
- Londoño X, Camayo GC, Riaño NM, et al. 2002. Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms[J]. *Bamboo Sci Culture*, **16**(1):18-31
- Ma LF(马灵飞), Ma NX(马乃训). 1998. Study on variation in bamboo wood properties of *Phyllostachys heterocyclus* var. *pubescens*(毛竹材材性变异的研究)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), **33**(4):356-364
- Ovington JD. 1962. Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept[J]. *Advan Ecol Res*:103-192
- Peng ZQ(彭在清), Lin YM(林益明), Liu JB(刘建斌), et al. 2002. Biomass structure and energy distribution of *Phyllostachys heterocyclus* cv. *pubescens* population(福建永春毛竹种群生物量和能量研究)[J]. *J Xiamen Univ(Nat Sci Edi)*(厦门大学学报·自然科学版), **41**(5):579-583
- Riaño NM, Londoño X, López Y, et al. 2002. Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* in relation to ageing in the Valle del Cauca-Colombia[J]. *Bamboo Sci Culture*, **16**(1):43-51
- Su WH(苏文会), Gu XP(顾小平), Yue JJ(岳晋军), et al. 2006. Study on wood mechanical properties of *Bambusa wenchouensis* (大木竹秆形结构的研究)[J]. *Fore Res*(林业科学研究), **19**(1):98-101
- Tilman D. 1988. Plant strategies and the structure and dynamics of plant communities [M]. Princeton: Princeton University Press, 52-97
- You ZD(尤志达). 2003. Water content dynamic of *Dendrocalamus latiflorus* planted on mountains(山地麻竹水分含量动态)[J]. *J Bamboo Res*(竹子研究汇刊), **22**(2):45-48
- Zhang HJ(张宏建), Du F(杜凡), Zhang FX(张福兴), et al. 1998. Main physical and mechanical properties of four typical thick-growing woody bamboos in Yunnan(云南4种材用丛生竹的主要物理力学性质)[J]. *J Southwest Fore Coll*(西南林学院学报), **18**(3):189-193
- Zheng WP(郑维鹏), Fang ZK(方镇坤), Chen LX(陈良喜), et al. 2004. Study on moisture content and water-holding capacity of different provenances of *Dendrocalamopsis oldhami*(福建绿竹不同种源含水率与持水量研究)[J]. *J Fujian Fore Sci Tech*(福建林业科技), **31**(3):6-9
- small seeds always inferior to seedlings from large seeds? Effect of seed biomass on seedling growth in *Pastinaca sativa*[J]. *New phytol*, **110**:299-305
- Leishman MR, Westoby M. 1998. Seed size and shape are not related to persistence in soil in Australia in the same way as in Britain[J]. *Funct. Ecol*, **12**(3):480-485
- Liu ZM(刘志民), Jiang DM(蒋德明), Gao HY(高红瑛), et al. 2003. Relationships between plant reproductive strategy and disturbance(植物生活史繁殖对策与干扰关系的研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **14**(3):418-422
- Moles AT, Hodson DW, Webb CJ. 2000. Seed size and shape and persistence in the soil in the New Zealand flora[J]. *Oikos*, **89**: 541-545
- Thompson K, Band SR, Hodgson JG. 1993. Seed size and shape predict persistence in soil[J]. *Funct Ecol*, **7**:236-241
- Thompson K. 1992. The functional ecology of seed banks[C]// Fenner M(eds). *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. Wallingford: CAB International, 231-258
- Wei MY(韦美玉). 2004. Lawn weeds and their occurrence pattern in Duyun District(都匀地区草坪杂草及其发生规律)[J]. *Guizhou Agric Sci*(贵州农业科学), **32**(4):32-35
- Wei MY(韦美玉), Liu LP(刘丽萍), Wen ZR(文治瑞). 2006. Growth and control plant in Qiannan Areas of Guizhou(贵州黔南地区外来植物逸生及危害调查)[J]. *Guizhou Agric Sci*(贵州农业科学), **34**(4):35-38
- Weiher EA, Van DW, Thomson K. 1999. Challenging Theophrastus: A common core list of plant traits for functional ecology[J]. *J Veg Sci*, **10**:609-620
- Wu YQ(吴彦琼), Hu YJ(胡玉佳), Liao FL(廖富林). 2005. *Wedelia trilobata*—a species from introduced to potential invasive (从引进到潜在入侵的植物—南美蜚螞菊)[J]. *Guihaia*(广西植物), **25**(5):413-418
- Xiang YC(向言词), Peng SL(彭少麟), Zhou HC(周厚诚), et al. 2002. The impacts of non-native species on biodiversity and its control(外来种对生物多样性的影响及其控制)[J]. *Guihaia*(广西植物), **22**(5):425-432
- Yang FG(杨逢建), Zhang ZH(张衷华), Wang WJ(王文杰), et al. 2007. Anatomical and physiological differences of eight exotic species from Asteraceae(八种菊科外来植物种子形态与生理生化特征的差异)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **27**(4):332-336

(上接第230页 Continue from page 230)