

# 花吊丝竹立竹构件与生物量关系的研究

郭子武, 李迎春, 杨清平, 陈双林\*

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

**摘要:** 对大型优良丛生竹花吊丝竹(*Dendrocalamus minor* var. *amoenus*) 1~4 a 生的立竹构件与生物量的关系进行了研究。结果表明:立竹胸径与其他立竹构件间达显著( $P < 0.05$ )或极显著相关( $P < 0.01$ ),立竹胸径与立竹全高( $R^2 = 0.7804$ ,  $R_{adj}^2 = 0.7682$ ,  $F = 63.9525$ ,  $P < 0.0001$ )、立竹枝下高( $R^2 = 0.5017$ ,  $R_{adj}^2 = 0.4741$ ,  $F = 18.13$ ,  $P = 0.0005$ )均呈线性关系,与立竹平均壁厚率呈二次多项式关系( $R^2 = 0.7728$ ,  $R_{adj}^2 = 0.7559$ ,  $F = 45.9109$ ,  $P < 0.0001$ );立竹胸径、立竹全高均与器官生物量呈极显著正相关,构建了立竹胸径、立竹全高与器官生物量间的逐步回归模型,模型检验相关参数  $R^2 > 0.66$ ,  $F > 15$ ,  $P < 0.0052$ 。1~2 a 生立竹器官生物量由立竹胸径、立竹全高决定,3~4 a 生立竹器官生物量由立竹胸径决定。

**关键词:** 花吊丝竹; 生物量; 胸径; 全高; 秆壁厚率

中图分类号: S718.556

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2009)06-0543-06

## Studies on Relationship between Biomass and Modules of *Dendrocalamus minor* var. *amoenus*

GUO Zi-wu, LI Ying-chun, YANG Qing-ping, CHEN Shuang-lin\*

(Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China)

**Abstract:** The relationships between modules Modular and biomass of *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* were studied. The results showed that diameter at breast height (DBH) had significant correlation with other components. The DBH was linear to total height (H), height under branch (L), with  $R^2 = 0.5017$ ,  $R_{adj}^2 = 0.4741$ ,  $F = 18.13$ ,  $P = 0.0005$ ,  $R^2 = 0.7804$ ,  $R_{adj}^2 = 0.7682$ ,  $F = 63.9525$ ,  $P < 0.0001$ , respectively, and had quadratic polynomial relation to wall thickness ratio, with  $R^2 = 0.7728$ ,  $R_{adj}^2 = 0.7559$ ,  $F = 45.9109$ ,  $P < 0.0001$ . The relationship between organ biomass and DBH, H were significant, and the stepwise regression model ( $R^2 > 0.66$ ,  $F > 15$ ,  $P < 0.0052$ ) was established of 1~4-year-old bamboo. It indicated that the biomass of 1- and 2-year-old individuals were determined by DBH and H, while those of 3-, and 4-year-old individuals were only by DBH.

**Key words:** *Dendrocalamus minor* var. *amoenus*; Biomass; Diameter at breast height (DBH); Total height (H); Wall thickness ratio

竹子是集经济、生态和社会效益于一体的重要克隆植物,在区域经济社会发展和环境保护中发挥着越来越重要的作用,被誉为 21 世纪最有发展前景的植物类型。我国竹类资源丰富,有 39 属 500 多种<sup>[1-2]</sup>。但竹类种质资源利用率低,目前主栽竹

种仅 20 余种,许多具有优良经济性状的竹种还未得到规模化开发利用,发掘利用优良经济竹种资源是今后我国竹业经营水平提升的重要研究内容<sup>[3-4]</sup>。

花吊丝竹(*Dendrocalamus minor* var. *amoenus*)为牡竹属大型丛生竹种,分布于我国的广西、广东、

收稿日期:2009-02-13 接受日期:2009-05-18

基金项目:科技部成果转化项目(2007GB24320419)资助

\* 通讯作者 Corresponding author

云南、福建等地,是优良的笋用、材用和观赏竹种<sup>[5]</sup>。花吊丝竹生态适应性强,在石灰岩山地也能良好生长,并表现出较好的经济性状,是我国石漠化地区可以推广应用的优良竹种<sup>[6]</sup>。生物量是衡量植物光合作用和干物质积累能力的重要指标,其在不同器官上的分配量与植物的经济价值密切相关。目前,对毛竹(*Phyllostachys pubescens*)<sup>[7-9]</sup>、雷竹(*P. praecox*)<sup>[10]</sup>、石竹(*P. nuda*)<sup>[11]</sup>、红哺鸡竹(*P. iridescens*)<sup>[12]</sup>、苦竹(*Pleioblastus amarus*)<sup>[13]</sup>、撑麻 7 号(*Bambusa pervariabilis* × *Dendrocalamus latiflorus* No. 7)<sup>[14]</sup>等竹种的生物量分配进行了研究,但未见花吊丝竹的相关报道。本文依据花吊丝竹生物学特征,探讨 1~4 a 生花吊丝竹立竹构件因子间的关系及生物量的积累规律,为花吊丝竹林定向培育提供科学依据。

## 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福建省华安县竹类植物园,海拔 150 m,年均气温 17.5~21.4℃,极端最高气温 39℃,极端最低气温 -3.8℃,年均降水量 1 447.9~2 023 mm,属低山缓坡地。土壤为砖红壤,pH 4.31,土壤疏松,土层厚度大于 1 m,有机质、全氮、全磷、全钾含量分别为 31.78 g kg<sup>-1</sup>、1.10 g kg<sup>-1</sup>、0.278 g kg<sup>-1</sup> 和 0.692 g kg<sup>-1</sup>,速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 175.86 mg kg<sup>-1</sup>、30.02 mg kg<sup>-1</sup> 和 26.95 mg kg<sup>-1</sup>。

## 2 材料和方法

### 2.1 试验竹林

试验林位于竹类植物园南向缓坡地,于 2002 年 4 月份移 1 a 生健壮母竹的竹苑栽植,初植密度为 600 丛 hm<sup>-2</sup>。试验期间林分现存立竹为 1~4 a 生,竹丛平均立竹密度每丛 8 株,立竹年龄结构 1 a: 2 a: 3 a: 4 a = 4: 3: 2: 1。最大立竹全高和立竹胸径分别为 16.26 m 和 71.11 mm,立竹平均胸径 42.27 mm。试验竹林不施肥,只夏季进行 1 次中耕除草。

### 2.2 调查方法

选取不同径级的 1~4 a 生样竹各 30 株,齐地伐倒后逐株测量立竹胸径(DBH)、立竹全高(H)和枝下高(L),劈除立竹枝条,按 100 cm 长度将竹秆分成区段,分别从 4 个方向测量每区段竹秆的上端壁厚(wt, mm),上端直径(d, mm),计算立竹平均壁厚率(RWT):  $RWT = wt/d$ 。分别称竹秆、竹枝、竹叶的

鲜重,并选取每个年龄的样竹 5 株,分离竹秆、竹枝及竹叶,105℃ 杀青后,85℃ 下烘干至恒重,测定各器官含水率,依据含水率计算各器官的生物量(W)<sup>[15]</sup>。

### 2.3 线性回归模型构建

随机选取 20 株样竹的立竹构件和生物量数据,以立竹胸径为自变量,建立立竹胸径与全高、壁厚率、及立竹全高与器官生物量的数学模型,并与剩余 10 株样竹的相关数据进行成对数据双尾 T 检验,以验证模型的可靠性。数据分析及处理采用 SAS9.0 及 Sigmaplot10.0 软件。

## 3 结果和分析

### 3.1 立竹胸径与全高的关系

竹子无次生分生组织,生长主要依靠顶端分生组织和居间分生组织来完成<sup>[4]</sup>。竹笋出土前由顶端分生组织形成节、节间、节隔、笋箨,并分化出居间分生组织,出土后竹笋至幼竹拔节生长结束主要完成竹笋的高生长,竹子的粗度和节数不再变化,也即竹子增粗的横向生长在增高的纵向生长之前完成。由表 1 可知,立竹全高和胸径呈极显著正相关,说明胸径对竹全高起决定作用,即立竹全高是立竹胸径的从属因子,这与毛竹的研究结果一致<sup>[6]</sup>。利用实测数据对二者关系进行模拟,得回归模型:  $H = 2.5030 + 1.6345DBH$ ,  $R^2 = 0.7804$ ,  $R_{adj}^2 = 0.7682$ ,  $F = 63.9525$ ,  $P < 0.0001$ ,经 Durbin-Watson 统计  $D = 1.9112$ ,95% 置信区间为 [7.7071 12.2949],相关参数表明模型显著。进一步通过模型系数显著性检验,方程常数项系数 b ( $P < 0.00192$ ),一次项系数 a ( $P < 0.0001$ ),均达极显著水平。模型计算值与实测值成对数据的 t 检验值为 0.8243,这说明两组数据差异不显著,说明模型能够很好地反映 DBH 与 H 间的关系(图 1)。

### 3.2 胸径与枝下高的关系

相关分析表明,立竹枝下高与胸径呈显著相关关系(表 1),且具有一致的增长趋势(图 2),即说明枝下高也是胸径的从属因子。逐步回归分析得:  $L = -0.8232 + 0.8135DBH$ ,  $R^2 = 0.5017$ ,  $R_{adj}^2 = 0.4741$ ,  $F = 18.13$ ,  $P = 0.0005$ ,经 Durbin-Watson 统计  $D = 2.1228$ ,95% 置信区间为 [0.2404 4.9236],说明模型显著;模型计算值与实测值成对数据的 t 检验值为 0.5308,即两组数据差异不显著,说明该模型能够很好地反映 D 与 L 间的关系。

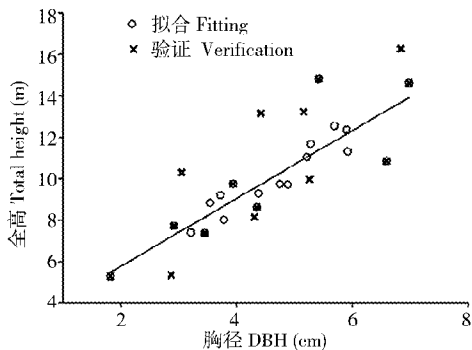


图 1 立竹胸径与立竹全高关系拟合曲线

Fig. 1 The fitting curve of relationship between DBH and H

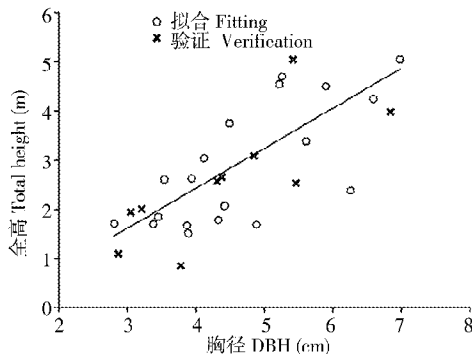


图 2 立竹胸径与立竹枝下高关系拟合曲线

Fig. 2 The fitting curve of relationship between DBH and L

### 3.3 胸径与平均壁厚率的关系

已有研究表明,气候条件(温度、湿度)、立地条件、竹林经营类型和竹林经营水平等直接影响立竹的竹壁厚度<sup>[17-19]</sup>,在相同的环境与经营条件下,花吊丝竹不同径级立竹的壁厚率呈一致的变化规律(图 3),即从竹秆基部到顶部呈高-低-高的规律,以竹秆顶部最大,基部次之,竹秆中部最小,这与毛竹的相关研究结果一致<sup>[14]</sup>。

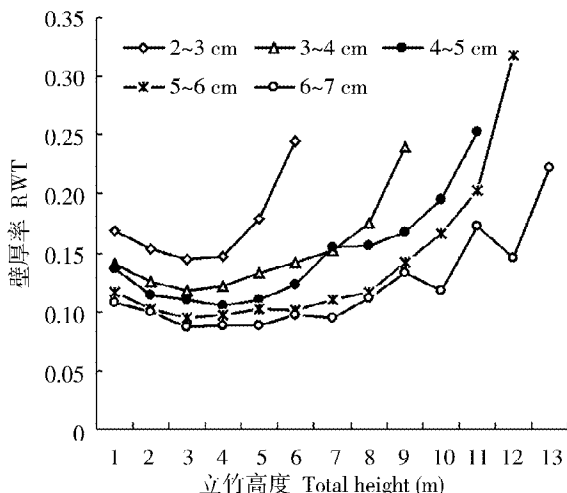


图 3 立竹壁厚率与立竹全高的关系

Fig. 3 The relationship between RWT and H

相关分析表明,立竹胸径与立竹平均壁厚率呈极显著负相关关系(表 1),与陈双林等<sup>[16]</sup>对毛竹壁厚率的研究结果不一致,其原因可能是花吊丝竹为大型丛生竹成竹后整丛竹共有个庞大的地下系统,且生物量大,生长速度快,积累的物质更多的用于竹笋萌发和新竹的形态建成,竹壁厚度的增加较单株胸径的增加相对滞后,因此二者呈负相关关系。经数据拟合,立竹胸径与立竹平均壁厚率的数量关系模型为: $RWT = 0.2612 - 0.0459DBH + 0.0036DBH^2$ 。经检验,模型  $R^2 = 0.7728, R_{adj}^2 = 0.7559, F = 45.9109, P < 0.0001$ ,经 Durbin-Watson 统计  $D = 2.0113, 95\%$  置信区间为  $[0.1101, 0.1477]$ ,即模型显著。模型系数显著性检验,方程常数项系数  $y_0 (P < 0.0001)$ ,一次项系数  $a (P < 0.0001)$  及二次项系数  $b (P = 0.0009)$  均达极显著水平,模型计算值与实测值成对数据  $t$  检验值为 0.7458,说明两组数据差异不显著,即该模型能够很好地反映立竹胸径与立竹壁厚率的关系(图 4)。

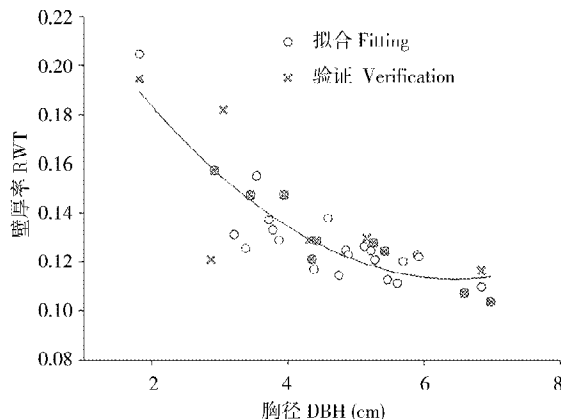


图 4 胸径与壁厚率关系拟合曲线

Fig. 4 The fitting curve of relationship between DBH and RWT

### 3.4 立竹构件因子与器官生物量的相关性

从表 1 可知,花吊丝竹各器官生物量及总生物量与立竹构件 DBH、H、L 之间的相关性均达到极显著或显著水平,其中,竹秆生物量(W1)与它们的相关性均达到极显著水平,竹枝生物量(W2)、竹叶生物量(W3)与 DBH、H 呈极显著正相关,与 L 呈显著相关,地上部分总生物量(W)与它们的相关性均达到极显著水平。

在立竹构件 DBH、H、L 中,胸径、全高与器官生物量及总生物量的相关性达极显著水平,因此以胸径、全高来构建器官生物量模型,探讨立竹构件与生物量间的关系。

表 1 立竹构件因子与器官生物量的相关关系

Table 1 Correlation between above-ground biomass and modules

	DBH	H	L	W1	W2	W3	W
H	0.770**						
L	0.339*	0.772**					
W1	0.932**	0.854**	0.638**				
W2	0.625**	0.423**	0.313*	0.644**			
W3	0.673**	0.473**	0.337*	0.652**	0.853**		
W	0.905**	0.763**	0.622**	0.950**	0.836**	0.841**	
RWT	-0.762**	-0.443**	-0.450**	-0.622**	-0.485**	-0.486**	-0.627**

DBH: 胸径 Diameter at breast height; H: 全高 Total height; L: 枝下高 Height under branch; W1: 秆生物量 Culm biomass; W2: 枝生物量 Branch biomass; W3: 叶生物量 Leaf biomass; W: 总生物量 Total biomass; RWT: 壁厚率 Wall thickness ratio. \*\* 和 \* 分别表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ) 和显著 ( $P < 0.05$ )。

\*\* and \* present significant difference at 1% and 5% levels, respectively.

### 3.5 立竹器官生物量模型构建

立竹胸径、全高与器官生物量及地上部分总生物量间的关系达极显著水平, 利用实测数据, 通过逐步回归的方法建立了花吊丝竹 1~4 a 生地上部分生物量线性回归模型(表 2), 各龄立竹各器官的生物量模型检验的相关参数: 决定系数  $R^2 > 0.66$ 、

$F > 15$ 、显著水平  $P < 0.0052$ 、模型验证  $t > 0.55$ , 即模型极显著, 且模型计算值与实测值间差异不显著 ( $t > 0.05$ ), 这说明模型能够很好地反映各龄立竹地上部分生物量与立竹胸径、立竹全高间的关系, 可以用于 1~4 a 生花吊丝竹地上部分生物量的预测。

表 2 花吊丝竹器官生物量回归模型

Table 2 Biomass regression models to above-ground modules

年龄 Age (a)	器官 Organ	回归模型 Regression model	$R^2$	$F$	$P$	$t$ 检验 $t$ -test
1	秆 Culm	$W_{11} = -4.70909 + 0.98739DBH + 0.27916H$	0.9753	138.18	<0.0001	0.6667
	枝 Branch	$W_{12} = -0.20890 + 0.21065DBH + 0.14406H$	0.6621	15.86	0.0052	0.9029
	叶 Leaf	$W_{13} = -0.44661 + 0.27167DBH + 0.11103H$	0.6872	17.58	0.0030	0.6889
	总生物量 Total biomass	$W_1 = -5.45421 + 1.46011DBH + 0.29207H$	0.9617	87.90	<0.0001	0.9212
2	秆 Culm	$W_{21} = -2.17084 + 0.90552DBH + 0.09429H$	0.9145	85.57	<0.0001	0.8194
	枝 Branch	$W_{22} = -0.50375 + 0.57091DBH + 0.07541H$	0.8447	19.03	0.0015	0.8001
	叶 Leaf	$W_{23} = -0.42168 + 0.54510DBH + 0.73372H$	0.8365	32.75	0.0007	0.9831
	总生物量 Total biomass	$W_2 = -3.34805 + 1.94950DBH + 0.13412H$	0.9438	134.24	<0.0001	0.9543
3	秆 Culm	$W_{31} = -2.50887 + 1.30111DBH$	0.9258	99.75	<0.0001	0.7545
	枝 Branch	$W_{32} = -0.07714 + 0.27767DBH$	0.7169	20.25	0.0020	0.8188
	叶 Leaf	$W_{33} = -0.29556 + 0.26820DBH$	0.6643	15.83	0.0041	0.7511
	总生物量 Total biomass	$W_3 = -2.95277 + 1.84698DBH$	0.9431	132.68	<0.0001	0.9654
4	秆 Culm	$W_{41} = -2.71293 + 1.18752DBH$	0.9575	247.88	<0.0001	0.7791
	枝 Branch	$W_{42} = -0.20720 + 0.21188DBH$	0.6719	22.52	0.0006	0.8598
	叶 Leaf	$W_{43} = -0.86269 + 0.32857DBH$	0.8478	61.28	<0.0001	0.5501
	总生物量 Total biomass	$W_4 = -1.45958 + 1.15918DBH$	0.8857	65.24	<0.0001	0.9878

在器官生物量模型中,以竹秆生物量模型及总生物量模型拟合效果最好, $R^2 > 0.88$ ,  $P < 0.0001$ ,竹枝、竹叶生物量模型拟合效果稍差,但也达到极显著水平( $R^2 > 0.66$ ,  $P < 0.0052$ )。不同年龄立竹生物量方程变量个数不同,1~2 a 生立竹生物量由立竹胸径、立竹全高决定,而3~4 a 生立竹生物量取决于立竹胸径大小,模型中只有一个变量。为了研究立竹胸径、立竹全高对立竹器官生物量的作用效应,对生物量模型以立竹胸径、立竹全高为自变量分别取一阶导数,结果表明立竹胸径、全高对立竹器官生物量和立竹地上部分总生物量起正作用,即随着立竹胸径、全高的增大生物量也随之增加,而且以立竹胸径为自变量的一阶导数值远大于以立竹全高为自变量的一阶导数值,这说明立竹胸径对生物量的作用效应远大于全高。

#### 4 结论和讨论

竹子是重要的无性系克隆植物,在竹笋地下生长期就决定了竹子的粗度和节数,幼竹高生长和抽枝展叶期竹子粗度不会改变。本文利用1~4 a 生立竹构件的实测数据建立了立竹胸径、立竹全高、立竹枝下高关系的数学模型,经检验和数据验证模型极显著或显著相关,能够很好地反映出立竹全高、枝下高是立竹胸径的从属因子。也即表明,在调查林分结构、立竹构件时,可只测量易测因子立竹胸径,以立竹胸径与其他因子间的相关模型来推算立竹全高、枝下高。

立竹壁厚率是竹材质量的重要指标之一,竹壁越厚出材率、竹材利用率、重量和经济效益越高,但竹秆绝对壁厚难于用来衡量单株立竹的竹材总量<sup>[20]</sup>,本文在前人对立竹壁厚研究的基础上引入立竹壁厚率的概念,通过数据拟合,确定了立竹壁厚率与立竹胸径的二次多项式关系模型,模型及各项系数均达极显著水平,拟合效果良好,可只测量易测因子立竹胸径,以立竹壁厚率与立竹胸径的关系模型来推算立竹壁厚率及壁厚。

生物量是初级生产力的重要组成部分和表现形式<sup>[21]</sup>,在很大程度上反映了竹林的结构、生产潜力和生活周期<sup>[22]</sup>。有关竹类植物生物量的研究多是利用现有的生物量模型<sup>[7,9,16]</sup>,侧重于生物量分配和现有模型的印证及生物量的预测与估算,仅有少量研究涉及模型的构建<sup>[8,12-14]</sup>。本文依据花吊丝竹生物学特性,通过逐步回归方法建立了1~4 a 生立

竹各器官的生物量模型,经检验和模型验证,所有模型均达显著水平。模型分析表明,不同年龄立竹模型参数存在差异,即1~2 a 生立竹器官和地上部分总生物量由立竹胸径、立竹全高决定,而3~4 a 生立竹仅由立竹胸径决定,而且立竹胸径对生物量的效应远远高于立竹全高,这与花吊丝竹新竹在发笋当年虽完成了高生长,但仅完成部分枝叶的生长,至第2年抽枝长叶才能全部完成的生长发育规律有关。

#### 参考文献

- [1] Li C R(李昌荣), Tu L B(屠六邦), Wang J R(王进荣), et al. Study on regulating food chains in bamboo forest ecosystem [J]. *Chin J Eco*(生态学杂志), 1995, 14(6): 21-24.(in Chinese)
- [2] Yang Q, Duan Z B, Wang Z L, et al. Bamboo resources, utilization and *ex-situ* conservation in Xishuangbanna, South-eastern China [J]. *J For Res*, 2008, 19(1): 79-83.
- [3] Zhou B Z, Fu M Y, Xie J Z, et al. Ecological functions of bamboo forest: Research and application [J]. *J For Res*, 2005, 16(2): 143-147.
- [4] Li Z H, Kobayashi M. Plantation future bamboo in China [J]. *J For Res*, 2004, 15(3): 233-242.
- [5] Deng H(邓恢). High-yield cultivation techniques of *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* [J]. *China For Sci Techn*(林业科技开发), 2008, 22(1): 80-83.(in Chinese)
- [6] Teng H Q(滕华卿). Application of *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* in soil conservation [J]. *Fujian Soil Water Conserv*(福建水土保持), 2004, 16(3): 23-23, 38.(in Chinese)
- [7] He D J(何东进), Hong W(洪伟). Study on energy estimation models for various parts of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* forest [J]. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), 2000, 6(5): 412-418.(in Chinese)
- [8] Peng Z Q(彭在清), Lin Y M(林益明), Liu J B(刘建斌), et al. Biomass structure and energy distribution of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* population [J]. *J Xiamen Univ (Nat Sci)* (厦门大学学报:自然科学版), 2002, 41(5): 579-583.(in Chinese)
- [9] He D J(何东进), Hong W(洪伟), Wu C Z(吴承楨). A study on simulating predictive mode of mean DBH for bamboo stands [J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), 2000, 36(1): 148-53.(in Chinese)
- [10] Jin A W(金爱武), Zhou G M(周国模), Ma Y(马跃), et al. Studies of biomass of various organ of *Phyllostachys praecox* [J]. *J Zhejiang For Sci Techn*(浙江林业科技), 1999, 19(2): 7-10.(in Chinese)
- [11] Huang Z A(黄宗安). A study on biomass regression model of various organs of *Phyllostachys nuda* McClure [J]. *J Bamboo Res* (竹子研究汇刊), 2000, 19(4): 54-57.(in Chinese)
- [12] Ma N X(马乃训), Chen H X(陈红星), Zhang W Y(张文燕). Study on biomass of fine economic bamboo species *Phyllostachys iridescens* [J]. *J Bamboo Res* (竹子研究汇刊), 1994, 13(1): 31-41.(in Chinese)
- [13] Lin X C(林新春), Fang W(方伟), Yu J X(俞建新), et al. Biomass

- models of organs of *Pleioblastus amarus* [J]. *J Zhejiang For Coll* (浙江林学院学报), 2004, 21(2): 168-171. (in Chinese)
- [14] Qiu Y H(邱银河). Research of above-ground biomass distribution of *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocalamus latiflorus* [J]. *World Bamboo Rattan*(世界竹藤通讯), 2007, 5(3): 29-31. (in Chinese)
- [15] 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)
- [16] 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 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)
- [17] Wang Y D(汪阳东), Wei D H(韦德煌). The effect of weather factors on the culm growth of MOSO bamboo [J]. *J Bamboo Res* (竹子研究汇刊), 2002, 21(1): 46-52. (in Chinese)
- [18] Wang Y D(汪阳东). The effect of management on the growing and form of MOSO bamboo culms [J]. *For Res*(林业科学研究), 2001, 14(2): 45-49. (in Chinese)
- [19] Jiang Z H(江泽慧). *Bamboo and Rattan in the World* [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology House, 2002: 102-117. (in Chinese)
- [20] Chung K F, Yu W K. Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings [J]. *Engin Struct*, 2002, 24: 429-442.
- [21] Wu Z F(吴福忠), Wang K Y(王开运), Yang W Q(杨万勤), et al. Advances in ecological process of the giant panda staple food bamboo forests [J]. *World Sci-techn Res Devel*(世界科技研究发展), 2005, 27(3): 79-84. (in Chinese)
- [22] Li K H(李凯辉), Hu Y K(胡玉昆), Adeli M, et al. Species diversity and above-ground biomass of alpine grassland on the southern slope of Tianshan Mountain [J]. *J Arid Land Resour Environ*(干旱区资源与环境), 2007, 21(1): 155-159. (in Chinese)