

广宁茶秆竹地上生物量分布特征研究

格日乐图¹, 吴志民^{2*}, 杨校生¹, 傅懋毅¹, 冯志龙³

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 国家林业局对外项目中心, 北京 100714;
3. 广东省广宁县林业局, 广东 广宁 526300)

关键词: 茶秆竹; 地上生物量; 广宁县

中图分类号: S795.1

文献标识码: A

Study on Above-ground Biomass Allocation Characteristics of *Pseudosasa amabilis*

GERI Le-tu¹, WU Zhi-min², YANG Xiao-sheng¹, FU Mao-yi¹, FENG Zhi-long³

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;
2. Foreign Project Center of State Forestry Administration, Beijing 100714, China;
3. Forestry Bureau of Guangning County, Guangning 526300, Guangdong, China)

Abstract: Based on the diameter, height and biomass of different organs of *Pseudosasa amabilis*, an individual optimization model is established. The results showed that the relationships among diameter, height, and biomass of different organs followed the power function model, rather than exponential model, linear model, or polynomial model. The biomass proportion of large diameter grade increased apparently after culm harvesting, and diameter was mainly distributed from 4 to 5 cm diameter grade. The standing biomass of cultivated *Pseudosasa amabilis* was between 48.10 t·hm⁻² and 53.10 t·hm⁻², while standing biomass of non cultivated *P. amabilis* stand was between 66.90—70.40 t·hm⁻², which is a suitable species for carbon sink. Bamboo individual biomass accounted for 70% of the above-ground biomass and grew multiply as the individual bamboo diameter increasing. The biomass of litter ranged from 8.32% to 18.10% in standing biomass while that of non cultivated bamboo stands was lower than that of cultivated bamboo. There existed a 1:1 constant relationship between leaf biomass and branch biomass.

Key words: *Pseudosasa amabilis*; above-ground standing biomass; Guangning County

生物量作为生态系统研究的本底数据,是研究碳汇的基础,也是评价植物生长状况和生态系统功能的重要指标。特别是《联合国气候变化框架公约》及其《京都议定书》的形成^[1-2],加速了国际社会森林碳交易进程,使碳汇与生物量研究成为当前的热点之一。竹类植物生物量的研究取得了一些进展,但关于生物量与碳汇关系研究起步较晚。

茶秆竹(*Pseudosasa amabilis* (McClure) Keng

f.)属禾本科(Gramineae)竹亚科(Bambusoideae)矢竹属(*Pseudosasa* Makino ex Nakai),别名厘竹、青厘竹,生长速度快,繁殖力强。茶秆竹是我国有名的出口传统特产,远销五大洲40多个国家。广东怀集县和广宁县是茶秆竹的中心产区,出口量占全国的70%。茶秆竹有竹秆通直、节平、光滑、坚韧、弹性强、不易虫蛀、耐腐蚀等特点,其材质优良、外形美观、经久耐用,是制作各种竹家具、花架、笔杆、高级

收稿日期: 2009-07-17

基金项目: 国家林业局软科学研究项目“竹林生态系统生物多样性评估与保护策略”(2007-R18)

作者简介: 格日乐图(1975—),男,内蒙古通辽人,助理研究员,主要从事森林资源可持续经营管理研究。

* 通讯作者。

钓鱼竿、雕刻工艺美术品等的主要原材料。目前已经开展了茶秆竹地上生物量的相关研究^[3-5],但尚未见采伐经营对茶秆竹生物量与碳汇影响方面的报道。本文以广东广宁茶秆竹为试验材料,通过建立生物量模型,揭示不同采伐经营的茶秆竹地上生物量分配规律,为评价茶秆竹碳汇功能提供科学依据。

1 研究地点概况

试验地点为广东省广宁县古水镇,属于广东省西北部、北江支流绥江的中游,所处地理坐标23°42'~23°43'N,112°17'~112°18'E。古水镇为中低山地带,海拔700~1200 m。属于亚热带季风气候,年平均气温20.7℃,年平均日照1707 h,无霜期313 d,年降水量1732 mm。土壤为山地赤红壤。该地区植被为南亚热带常绿阔叶林。茶秆竹样地基本情况见表1。

表1 茶秆竹样地基本情况

项目	样地1	样地2	样地3	样地4
经营情况	近2 a 经采伐	近2 a 经采伐	未经采伐	未经采伐
林龄/a	25	25	32	32
海拔/m	200	200	200	200
坡度/(°)	35	38	30	30
立竹密度/ (株·hm ⁻²)	13 872	14 832	34 336	45 408

2 材料与方

2.1 样地与标准竹选择

2008年7月,选择两种类型茶秆竹林分,一种为近2 a 经采伐经营的林分,林龄在25 a 以上(样地1和样地2),每2 a 采伐1次,每次采伐鲜质量约22.5~30.0 t·hm⁻²;另一种为近5~6 a 未经采伐经营的茶秆竹林分,林龄在32 a 以上(样地3和样地4)。样地大小为25 m×25 m,对样地进行每木检尺后,在样地内按胸高径阶1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5 cm 10个等级随机选取竹龄为3~4 a 的标准竹,伐倒后测量单株株高,并按收获法称取单株竹叶、竹枝、竹秆鲜质量,每个径阶重复6次。每个径阶抽取2株,每隔1 m 截取10 cm 长度的竹节,并取部分竹叶、枝条带回实验室对其进行105℃烘干,测定含水率,计算各器官的干物质含量。在选择标准竹时,为了保证数据的准确性和精度,尽量选择健康度较好,未弯曲、倒伏、翻兜和遭受病虫害的竹子。

2.2 模型的建立与检验

2.2.1 备选模型 研究胸径、株高、生物量之间的关

系,关键是要找出它们之间相关的数学模型。常用的趋势模型有线性趋势模型、多项式趋势模型、对数趋势模型、幂函数趋势模型、指数趋势模型、逻辑斯蒂(Logistic)模型、龚伯茨(Gompertz)模型等。为了估算茶秆竹生物量的大小,本研究选择显著性水平较高,且便于生产运用的指数趋势模型、线性趋势模型、多项式趋势模型、幂函数趋势模型进行拟合^[6-17],确定最适合该竹种的生物量模型。备选模型见表2。

表2 备选模型

趋势模型	参数个数	模型表达式
指数趋势模型	2	$y = Ae^{Bx}$
线性趋势模型	2	$y = A + Bx$
多项式趋势模型	3	$y = A + Bx + Cx^2$
幂函数趋势模型	2	$y = Ax^B$

2.2.2 模型检验 模型检验主要考虑决定系数 R^2 和 F 分布检验。

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = 1 - \frac{RSS}{TSS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

$$F = \frac{SSR/1}{SSE/(n-2)} = \frac{\sum (\hat{y} - \bar{y})/1}{\sum (y_i - \hat{y})/(n-2)}$$

式中: y 、 \hat{y} 、 \bar{y} 分别为实测值、预测值、平均值; n 为样本数, ESS 为回归平方和, TSS 为总变差, RSS 为残差平方和, SSR 为离差平方和, SSE 为误差项离差平方和。模型的求解通过Excel2007软件完成。

3 结果与分析

3.1 胸径与株高及竹叶、竹枝、竹秆生物量的相关性分析

由表3可看出:茶秆竹胸径、株高、竹叶质量、竹秆质量、单株地上质量、竹枝质量之间均呈极显著相关,其中胸径与株高和竹枝质量之间相关系数达到0.980以上;竹秆质量与单株地上生物量的相关性最高,相关系数达到0.999。总之,各器官生物量、胸径、株高之间均存在显著的相关性。

3.2 胸径与株高及竹叶、竹枝、竹秆生物量模型的建立

由 R 值比较分析(表4)可见:胸径与株高拟合的4种模型都达到了显著水平,其中幂函数趋势模型的决定系数最高, $R^2 = 0.999$,拟合程度最好;其次是多项式趋势模型决定系数 $R^2 = 0.998$ 。由 F 值可看出:多项式趋势模型和幂函数趋势模型的 F 值 $> F_{0.01}(1,58) = 7.08$,具有极显著线性关系,由此可以

表 3 茶秆竹各变量之间相关矩阵

项目	胸径	株高	竹叶质量	竹枝质量	竹秆质量	单株地上生物量
胸径	1.000					
株高	0.987 **	1.000				
竹叶质量	0.962 **	0.938 **	1.000			
竹枝质量	0.982 **	0.966 **	0.957 **	1.000		
竹秆质量	0.960 **	0.936 **	0.958 **	0.964 **	1.000	
单株地上生物量	0.968 **	0.945 **	0.968 **	0.973 **	0.999 **	1.000

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

判断,茶秆竹的胸径与株高拟合模型同时服从幂函数趋势模型和多项式趋势模型分布规律。幂函数趋

势模型常量 $0.773 < 1$,说明茶秆竹株高的增幅相对于胸径的增幅较慢。

表 4 茶秆竹胸径与不同器官生物量拟合模型

项目	拟合模型	R ² 值	F(1,58) 值
胸径与株高	$y = 3.154e^{0.270x}$	0.946	0.34
	$y = 2.004x + 1.643$	0.995	4.15
	$y = -0.080x^2 + 2.530x + 0.942$	0.998	11.84
	$y = 3.342x^{0.773}$	0.999	11.84
胸径与竹叶生物量	$y = 27.83e^{0.581x}$	0.948	0.22
	$y = 113.70x - 121.40$	0.946	0.94
	$y = 11.36x^2 + 39.07x - 21.87$	0.982	7.44
胸径与竹枝生物量	$y = 31.53x^{1.663}$	0.946	7.42
	$y = 30.29e^{0.554x}$	0.950	0.25
	$y = 107.60x - 108.30$	0.982	0.97
胸径与竹秆生物量	$y = 10.72x^2 + 37.16x - 14.28$	0.998	9.04
	$y = 34.19x^{1.581}$	0.998	8.15
	$y = 140.50e^{0.667x}$	0.947	0.19
胸径与单株地上生物量	$y = 909.10x - 1157.00$	0.962	0.52
	$y = 124.10x^2 + 92.86x - 69.11$	0.990	7.06
	$y = 162.50x^{1.905}$	0.996	7.35
胸径与单株地上生物量	$y = 197.52e^{0.270x}$	0.949	0.20
	$y = 1130.04x - 1387.00$	0.968	0.61
	$y = 146.20x^2 + 169.10x - 105.20$	0.994	10.90
	$y = 227.40x^{1.838}$	0.997	11.62

同样,单株胸径与竹叶生物量模型同时服从多项式趋势模型和幂函数趋势模型关系。幂函数趋势模型的常量系数为 $1.663 > 1.5$,表明茶秆竹单株竹叶生物量增幅明显高于胸径增幅。胸径大的茶秆竹更有利于进行更多的光合作用,促进有机物的合成。

胸径与竹枝生物量的拟合模型中,多项式趋势模型和幂函数趋势模型相关系数 $R^2 = 0.998$,达到极显著水平,且多项式趋势模型和幂函数趋势模型的关系 F 值 $> F_{0.01}(1,58) = 7.08$,胸径与枝条生物量之间服从多项式趋势模型和幂函数趋势模型的关系。

胸径与竹秆生物量的拟合模型中,多项式趋势模型和幂函数趋势模型相关系数均达到极显著水平,仅幂函数趋势模型的关系 F 值 $> F_{0.01}(1,58) = 7.08$,胸径与竹秆生物量之间服从幂函数趋势模型的关系。另外幂函数趋势模型的常量系数为 $1.565 > 1$,说明随着茶秆竹的单株胸径增加,其竹秆生物量的增幅就越大。

胸径与单株地上生物量的 4 种拟合模型中,幂函数趋势模型的拟合度最高, $R^2 = 0.997$,指数趋势模型相对较差, $R^2 = 0.949$ 。4 种模型中,多项式趋势模型和幂函数趋势模型的关系 F 值 $> F_{0.01}(1,58) = 7.08$,说明茶秆竹单株地上生物量同时服从多项式趋势模型和幂函数趋势模型。

3.3 胸径与株高、地上生物量拟合模型筛选结果

根据以上研究结果,筛选出最优模型函数关系:胸径与株高(m):

$$H = -0.080x^2 + 2.530x + 0.942 \text{ 或 } H = 3.342x^{0.773}$$

胸径与单株竹叶生物量(g): $W1 = 11.36x^2 + 39.07x - 21.87$ 或 $W1 = 31.53x^{1.663}$

胸径与单株竹枝生物量(g): $W2 = 10.72x^2 + 37.16x - 14.28$ 或 $W2 = 34.19x^{1.581}$

胸径与单株竹秆生物量(g): $W3 = 162.50x^{1.905}$

胸径与单株地上生物量(g): $W = 146.2x^2 + 169.1x - 105.2$ 或 $W = 227.4x^{1.838}$

式中: W 代表生物量, x 代表胸径。

在生产实践中, 茶秆竹各器官生物量则可利用以上模型来估算。从筛选结果来看, 单株竹叶生物量、单株竹枝生物量、单株地上生物量模型同时服从多项式趋势模型和幂函数趋势模型 2 种趋势模型, 可以在不同使用要求和不同精度要求下选择性地使用模型; 单株竹秆生物量只服从幂函数趋势模型, 模型选择性相对较低。一般情况下, 由于多项式趋势模型精度受截距为负数的影响, 在对胸径较小的竹林进行拟合时不宜采用, 应尽量使用幂函数趋势模型降低拟合误差。

3.4 茶秆竹单株地上生物量分配规律

从表 5 可见: 茶秆竹胸径为 1 cm 时, 竹秆生物

量为 161.54 g, 占单株地上生物量 70.9%; 竹叶生物量和竹枝生物量分别为 32.33 g 和 33.89 g, 各占单株地上生物量 14.2%、14.9%。当竹秆胸径达到 5.5 cm 时, 竹秆生物量为 4 403.33 g, 占单株地上生物量 80.1%; 竹叶生物量和竹枝生物量分别为 565.02 g 和 531.66 g, 各占单株地上生物量 10.3%、9.7%。茶秆竹竹叶生物量与竹枝生物量之间存在约为 1:1 的恒定比例关系。竹秆生物量与竹叶生物量、竹枝生物量比例并不呈现恒定比例关系。茶秆竹单株地上生物量分配规律为: 竹秆 > 竹枝 ≈ 竹叶。竹秆生物量比例随着单株胸径的增加而增加, 但增加幅度比较小。竹叶生物量和竹枝生物量比例随着单株胸径的增加而略微有所降低。

表 5 茶秆竹单株地上生物量分配特征

胸径/cm	竹叶生物量/g	竹叶生物量比例/%	竹枝生物量/g	竹枝生物量比例/%	竹秆生物量/g	竹秆生物量比例/%	地上生物量/g
1.0	32.33	14.2	33.89	14.9	161.54	70.9	234.25
1.5	64.59	14.0	62.76	13.6	332.87	72.3	472.78
2.0	103.61	12.2	106.78	12.6	637.79	75.2	832.78
2.5	137.35	11.1	142.89	11.5	962.34	77.4	1 214.48
3.0	198.36	11.6	194.52	11.3	1 324.12	77.1	1 651.96
3.5	251.74	10.7	237.40	10.1	1 854.35	79.1	2 392.43
4.0	303.43	10.7	296.08	10.5	2 230.07	78.8	3 044.46
4.5	401.35	11.2	372.88	10.4	2 797.24	78.3	3 769.09
5.0	440.75	10.4	435.67	10.2	3 376.76	79.4	4 365.35
5.5	565.02	10.3	531.66	9.7	4 403.33	80.1	5 527.87

3.5 茶秆竹径阶生物量与地上生物量分配规律

从表 6 可见: 样地 1 和样地 2 经采伐经营后, 小径阶茶秆竹生物量比例明显减少, 大径阶生物量比例明显增加, 生物量主要分布在 4 ~ 5 cm 径阶范围内。未经采伐经营的茶秆竹生物量主要分布在 2 ~ 4 cm 径阶范围内。从地上生物量来看, 采伐经营的竹林地上生物量主要维持在 48.10 ~ 53.10 t ·

hm⁻² 之间, 而未采伐经营的竹林地上生物量分布在 66.90 ~ 70.40 t · hm⁻² 范围, 未采伐经营的竹林地上生物量比采伐经营竹林的地上生物量高。茶秆竹林分的草本层和灌木层生物量较低, 枯落物层生物量较大, 枯落物层生物量为灌木层和草本层的 100 倍以上。灌木层和草本层生物量可忽略不计, 4 个样地枯落物层生物量分布在 6.084 ~ 10.646 t · hm⁻²

表 6 茶秆竹林径阶生物量与地上生物量分配特征

项目	样地 1	样地 2	样地 3	样地 4
0 < 胸径 ≤ 1 茶秆竹地上生物量	0.00	0.00	0.00	0.00
1 < 胸径 ≤ 2 茶秆竹地上生物量	0.10	0.00	2.00	5.10
2 < 胸径 ≤ 3 茶秆竹地上生物量	1.80	1.00	22.20	36.00
3 < 胸径 ≤ 4 茶秆竹地上生物量	12.60	14.80	34.10	25.00
4 < 胸径 ≤ 5 茶秆竹地上生物量	28.00	31.20	8.50	4.30
5 < 胸径 ≤ 6 茶秆竹地上生物量	5.60	6.00	0.10	0.10
茶秆竹地上生物量	48.10	53.10	66.90	70.40
灌木层生物量	0.056	0.015	0.106	0.031
草本层生物量	0.019	0.015	0.017	0.021
枯落物层生物量	10.646	7.792	6.084	7.095
林分地上总生物量	58.821	60.822	73.107	77.647

注: 样地 1 和样地 2 为采伐经营竹林, 样地 3 和样地 4 为未采伐经营竹林。

之间,枯落物的生物量主要来源于竹枝、竹叶的凋落物,因此枯落物层生物量可视为茶秆竹的竹枝、竹叶多年累计生物量。枯落物层生物量占林分地上总生物量的比例在 8.32%~18.10% 之间。

4 结论与讨论

研究表明:广东广宁茶秆竹的株高、胸径、竹叶质量、竹枝质量、竹秆质量与地上单株生物量之间存在极显著的相关性,株高、胸径、竹叶质量、竹枝质量、竹秆质量等均可作为拟合茶秆竹地上生物量的指标。在野外胸径相对于其它指标具有干扰少、测量精度高、易掌握等特点,通过单个指标胸径就可以较好地建立广宁茶秆竹株高、地上各器官生物量拟合模型,建议在实际模型拟合过程中应用。茶秆竹胸径与株高、各器官生物量模型均服从幂函数趋势模型。从胸径与竹叶生物量的拟合程度来看,幂函数趋势模型常量系数 >1.5 ,说明胸径越大其生物量积累速率越高,所以在竹林经营时尽量保留大径阶的竹笋,有利于提高茶秆竹的生物量和碳汇能力,同时又能够达到高产高效的目的。

采伐后茶秆竹林分大径阶生物量比例明显增加。采伐经营的茶秆竹林分地上生物量低于未经采伐经营的茶秆竹林分地上生物量,其灌木层和草本层的生物量差异不显著。在枯落物层,经采伐经营林分的地上生物量大于未经采伐经营林分的地上生物量。尽管采伐经营后的茶秆竹生物量较未经采伐的茶秆竹生物量有所降低,但促进了大径阶茶秆竹的生物量比例。根据茶秆竹采伐量推算,采伐经营的茶秆竹平均每年均有 $13.7 \sim 18.3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的生物量被伐转移,从多年的总生物量积累来看,经过采伐经营的茶秆竹林分碳汇贡献更大。近天然经营的茶秆竹地上生物量 ($70.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 与武夷山天然毛竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. De Lehaie) 林的地上生物量 ($70.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 接近,是天然苦竹 (*Pleioblastus amarus* (Keng) Keng f.) 林的 1.15 倍^[18],茶秆竹单位面积生物量较大,是一种较好的碳汇竹种。本文未分析茶秆竹地下生物量的分布规律,有待今后继续补充研究。

茶秆竹竹枝生物量与竹叶生物量几乎相等,这与麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* Munro)、雷竹 (*P. praecox* Chu et Chao cv. *prevernalis* S. Y. Chen et C. Y. Yao)、方竹 (*Chimonobambusa quadrangularis*

(Fenzi) Makino)、慈竹 (*Neosinocalamus affinis* (Rendle) Keng f.)、糙花少穗竹 (*Oligostachyum scabriflorum* (McClure) Z. P. Wang et G. H. Ye)、寒竹 (*C. marmorea* (Mitford) Makino) 等竹枝生物量 $>$ 竹叶生物量^[6-16] 的分配规律有所不同,与箬竹 (*Qiongzhueta tumidinoda* Hsueh et Yi)、箭竹 (*Fargesia spathacea* Franch.) 等竹枝生物量 \approx 竹叶生物量的结论相同^[6-16]。广宁茶秆竹的竹秆生物量所占地上总生物量的比例(大于 75%)明显大于麻竹、毛环竹、方竹等竹秆生物量,但竹叶生物量比例却与其它竹种的比例接近,约为 10% 左右。

参考文献:

- [1] 胡品平. 森林碳汇服务的经济学分析——基于产权角度看森林碳汇服务交易[J]. 中国林业经济, 2007(2): 34-37
- [2] 李怒云,徐泽鸿,王春峰,等. 中国造林再造林碳汇项目的优先发展区域选择与评价[J]. 林业科学, 2007, 43(7): 5-9
- [3] 郑金双,曹永慧,肖书平,等. 茶秆竹生物量模型研究[J]. 竹子研究汇刊, 2001, 20(4): 67-71
- [4] 郑金双,曹永慧,代全林,等. 茶秆竹林叶面积指数与生物量关系的研究[J]. 竹子研究汇刊, 2001, 20(1): 53-57
- [5] 林传文. 不同立竹密度下茶秆竹林生长的响应[J]. 福建林业科技, 2005, 32(3): 62-64
- [6] 金爱武,马跃. 雷竹各器官生物量模型研究[J]. 浙江林业科技, 1999, 19(2): 7-9
- [7] 陈学魁. 麻竹单株生物量模型研究[J]. 福建林学院学报, 1998, 18(3): 260-262
- [8] 邱银河. 撑麻 7 号竹地上部分生物量分配研究[J]. 世界竹藤通讯, 2007, 5(3): 29-31
- [9] 童建宁. 方竹林垦复前后生物量结构变化的研究[J]. 福建林业科技, 2007, 34(1): 110-113
- [10] 吴锦华. 垦复干扰对糙花少穗竹林生物量分配格局的影响[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2007, 20(6): 3-5
- [11] 周世强. 冷箭竹无性系种群生物量的初步研究[J]. 植物学通报, 1995, 12(增刊): 63-65
- [12] 徐道旺,陈少红,杨金满. 毛环竹笋用林生物量结构调查分析[J]. 福建林业科技, 2004, 31(11): 67-70
- [13] 苏智先,钟章成. 缙云山慈竹种群生物量结构研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(3): 240-252
- [14] 董文渊,黄宝龙,谢泽轩,等. 箬竹无性系种群生物量结构与动态研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(4): 416-420
- [15] 周本智,吴良如,邹跃国. 闽南麻竹人工林地上部分现存生物量的研究[J]. 林业科学研究, 1999, 12(1): 47-52
- [16] 周玉卿. 井冈山寒竹种群生物量结构初步研究[J]. 西北农业学报, 2004, 13(4): 120-123
- [17] 广宁县人民政府. 广宁竹志[M]. 广州: 广东人民出版社, 1991
- [18] 何东进,洪伟,吴承祯,等. 武夷山毛竹天然林生物量与能量分配规律及其与人工林比较研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(2): 291-296