

椴竹各器官生物量模型

杨前宇¹, 谢锦忠¹, 张 玮¹, 林振清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. 福建省建瓯市林业局, 福建 建瓯 353100)

摘要: 对耐寒丛生竹种椴竹 *Bambusa textilis* var. *tasca* 种群的生物量结构进行了研究, 并对其各器官生物量与胸径和平均壁厚的相关模型进行了拟合。结果表明: 椴竹各器官生物量的分配中, 竹秆所占比例最大, 为总生物量的 74.62%, 远超过毛竹 *Phyllostachys pubescens* 等竹种的相应值。椴竹的胸径和平均壁厚与各器官生物量之间均呈极显著相关性, 其中竹枝生物量干质量(B_t), 竹叶生物量干质量(B_l), 竹秆生物量干质量(B_s), 地上部分生物量干质量(B_a), 全竹生物量干质量(W_{ht})与胸径(D)和平均壁厚(A)间相关关系的拟合模型分别 $B_t = -2\ 672.765 + 1\ 299.919D + 59.298D^2 - 36.222D^3$, $B_l = -2\ 756.615 + 1\ 290.910D + 95.822D^2 - 34.991D^3$, $B_s = -4\ 016.535 + 2\ 161.650D + 21.755D^2 - 45.453D^3$, $B_a = -7\ 445.916 + 3\ 952.480D + 45.439D^2 - 96.666D^3$, $W_{ht} = -7\ 360.122 + 3\ 933.155D + 41.158D^2 - 93.171D^3$, $B_t = -1\ 914.129 + 739.465A + 30.261A^2 - 61.285A^3$, $B_l = -3\ 342.800 + 1\ 228.745A - 1.165A^2 - 104.356A^3$, $B_s = -6\ 103.838 + 1\ 790.994A + 44.430A^2 - 13.674A^3$, $B_a = -9\ 770.036 + 2\ 464.708A + 19.688A^2 - 23.782A^3$, $W_{ht} = -9\ 914.842 + 2\ 912.175A + 25.624A^2 - 23.513A^3$ 。根据以上公式估算出椴竹林单株平均秆生物量为 $1.52\ \text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$, 单株平均全竹生物量 $2.31\ \text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$, 单位面积秆生物量 $3.28\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; 单位面积全竹生物量 $4.96\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。表 8 参 29

关键词: 森林生态学; 椴竹; 生物量; 模型; 胸径; 平均壁厚

中图分类号: S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2011)03-0519-08

Biomass models for *Bambusa textilis* var. *tasca*

YANG Qian-yu¹, XIE Jin-zhong¹, ZHANG Wei¹, LIN Zhen-qing²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;
2. Forest Enterprise of Jianou City, Jianou 353100, Fujian, China)

Abstract: The biomass of *Bambusa textilis* var. *tasca* was studied using regression models that were constructed for biomass components: bamboo pole-dry (B_t), bamboo leaf-dry (B_l), bamboo culm-dry (B_s), aboveground part-dry (B_a), and bamboo-dry (W_{ht}); based on diameter at breast-high (DBH) (D) and the average thickness of the culm-base (A). For the purpose of *Bambusa textilis* var. *tasca* rational operation and development to provide theoretical basis and basic data. Results showed that culm biomass of *B. textilis* var. *tasca* counted for 74.62%, which was much higher than *Phyllostachys pubescens*. Regression equations in terms of DBH were: $B_t = -2\ 672.765 + 1\ 299.919D + 59.298D^2 - 36.222D^3$, $B_l = -2\ 756.615 + 1\ 290.910D + 95.822D^2 - 34.991D^3$, $B_s = -4\ 016.535 + 2\ 161.650D + 21.755D^2 - 45.453D^3$, $B_a = -7\ 445.916 + 3\ 952.480D + 45.439D^2 - 96.666D^3$, and $W_{ht} = -7\ 360.122 + 3\ 933.155D + 41.158D^2 - 93.171D^3$, and in terms of A were: $B_t = -1\ 914.129 + 739.465A + 30.261A^2 - 61.285A^3$, $B_l = -3\ 342.800 + 1\ 228.745A - 1.165A^2 - 104.356A^3$, $B_s = -6\ 103.838 + 1\ 790.994A + 44.430A^2 - 13.674A^3$, $B_a = -9\ 770.036 + 2\ 464.708A + 19.688A^2 - 23.782A^3$, and $W_{ht} = -9\ 914.842 + 2\ 912.175A + 25.624A^2 - 23.513A^3$. With these equations, *Bambusa*

收稿日期: 2010-09-17; 修回日期: 2010-12-20

基金项目: 国家农业科技成果转化资金项目(2010GB24320622); 中国林业科学研究院亚热带林业研究所基本科研业务费专项资金资助项目

作者简介: 杨前宇, 从事竹类研究。E-mail: yangdayu0055@163.com。通信作者: 谢锦忠, 博士, 从事竹类研究。E-mail: jzhxie@163.com

textilis var. *tasca* had an average yield in stem biomass of $1.52 \text{ kg} \cdot \text{plant}^{-1}$; an average biomass bamboo of $2.31 \text{ kg} \cdot \text{plant}^{-1}$; a stem biomass per unit area of $3.28 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$; and a bamboo biomass of per unit area of $4.96 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. View of the high yield of *Bambusa textilis* var. *tasca*, wood is better features, both for the development of *Bambusa textilis* var. *tasca* ease the current difficulties facing the bamboo industry, or the use of bamboo species diversity has important economic and ecological significance. [Ch, 8 tab. 29 ref.]

Key words: forest ecology; *Bambusa textilis* var. *tasca*; biomass; models; DBH; sverage thickness

椴竹 *Bambusa textilis* var. *tasca*, 又名温州水竹, 竹节平滑, 节间较长, 是中国为数不多的耐寒丛生竹种之一^[1-2], 与青皮竹 *Bambusa textilis* 在外观形态上的主要区别在于其秆箨背面多少被棕色刺毛, 箨叶较箨鞘短, 其分布在广东、广西和福建等地。该竹种不仅竹箨柔韧, 拉力强, 是竹编织品的上等材料。而且易解离, 出浆率高, 是竹浆造纸的优良原料。但是, 目前的椴竹都处于野生状态, 未见人工成片栽培^[3-4]。为了更好地经营椴竹, 合理评价椴竹林分生产力, 开展其生物量研究很有必要。关于林木生物量的报道很多^[5-6], 对于同种植物而言, 体积的大小基本可以代表生物量储量, 因此, 可以通过器官来描述植物群落的生物量, 这也是目前在生产实践中常用的森林生物量估算方法^[7]。植株在生长过程中为适应环境的不断变化, 优化生物量分配格局, 会把有限的资源分配给叶、枝、秆、笋和根等不同器官来进行权衡, 即对一种器官投入的增加就意味着对其他器官投入的减少^[8-9]。因此, 植株器官与生物量关系及由此形成的生物量分配格局是自身遗传因素、环境压力及自然选择共同作用的结果^[10], 所以植物器官可以看成是反映它们对环境的适应能力和生长发育规律的重要依据^[11-16], 傅懋毅、金爱武等^[17-24]相继对毛竹 *Phyllostachys pubescens* 和雷竹 *Ph. praecox* 等竹种的生物量进行了研究, 但迄今未见椴竹的相关报道。本研究通过样地标准竹生物量测定与分析, 建立了各器官生物量回归模型, 并利用模型计算出椴竹单株生物量和林分产量。旨在为椴竹竹林的合理经营与开发提供理论依据和基础数据。

1 材料和方法

1.1 研究地区概况

椴竹试验地设在福建省建瓯市小桥镇, 处于 $26^{\circ}57' \sim 27^{\circ}16'N$, $117^{\circ}57' \sim 118^{\circ}27'E$, 海拔为 $150 \sim 160 \text{ m}$, 平均气温为 $18.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 最冷月(1月)均温 $7.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 最热月(7月)均温 $28.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 极端最低气温 $6.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 年降水量为 $1\ 676 \text{ mm}$, 年均日照时数为 $1\ 813 \text{ h}$, 全年无霜期为 $286 \sim 291 \text{ d}$ 。竹林自然生长, 基本无人经营, 土壤为黄红壤山地, 土层厚度在 1.0 m 以上, 坡度较平缓, 面积约为 100 hm^2 。

1.2 采样方法

采用典型样地法和随机区组法布设相关试验, 即在椴竹林中选择3块具有代表性的样地(即1号、2号、3号), 大小为 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$, 共116丛, 2 576株, 包括1年生552株, 2年生1 024株, 3年生及以上1 000株。其中1号样地40丛, 787株; 2号样地40丛, 896株; 3号样地36丛, 893株。对椴竹进行每竹检尺, 先计算各年龄段样竹的平均胸径, 再统计各年龄径级的分布比例, 即: $1.5 \sim 2.5 \text{ cm}$, $2.6 \sim 3.5 \text{ cm}$, $3.6 \sim 4.5 \text{ cm}$, $4.6 \sim 5.5 \text{ cm}$ 。按照各年龄径级的分布比例, 选取生长良好、无病虫害的试验样竹, 各个年龄各选取20株, 3个年龄共取60株(表1)。将各径级标准竹连笋挖起, 测胸径、枝下高、全竹长和数枝盘数。然后从秆基处锯断, 称地上部分鲜质量, 再洗净笋上的泥土, 剥下枝、叶, 分别称秆、枝、叶、笋的鲜质量, 取胸径的 $2/5$ 为用材小头直径, 在该秆径处去掉小头, 剩余部分长度为秆高, 数节数。然后将秆5等分, 自基部开始编号为1, 2, 3, 4, 5, 称为相对高度, 并分别对各段称量, 测量各段基部处壁厚。对每竹取枝、叶、笋、根和各段基部处秆环 $10 \sim 200 \text{ g}$, 带回实验室测其含水率, 根据含水率计算各器官的生物量干质量。

1.3 数据分析

试验数据在Excel统计软件中进行整理和作图, 根据椴竹不同年龄的器官鲜质量和干质量的测定值计算椴竹器官含水率和生物量分配比例, 其中器官含水率计算方法为(鲜质量 - 干质量)/鲜质量。应用SPSS 16.0统计分析软件分析椴竹主要器官因子与器官生物量间的相互关系, 通过椴竹主要器官因子与地上和地下器官生物量间的通径分析筛选出影响椴竹器官生物量的代表性器官因子, 并通过回归分析建

表 1 各年龄样竹选取比例

Table 1 Each age sample bamboo selection proportion

径级/cm	1 年生样竹		2 年生样竹		3 年生样竹	
	百分比/%	被选样竹/株	百分比/%	被选样竹/株	百分比/%	被选样竹/株
1.5 ~ 2.5	2.17	1	8.40	2	30.90	6
2.6 ~ 3.5	16.12	3	41.02	8	59.50	12
3.6 ~ 4.5	70.83	14	48.44	10	9.20	2
4.6 ~ 5.5	10.87	2	2.16	0	0.40	0
Σ	100	20	100	20	100	20

立代表椴竹器官因子与器官生物量的估测模型。

2 结果与分析

2.1 椴竹的生物量结构

2.1.1 椴竹器官的含水率及随年龄的变化 由于竹类植物各器官的组织结构和功能不同，其含水率也有差异。对于同一器官，随着年龄的增长，含水率也会出现相应的变化，器官的含水率在一定程度上反映了干物质的积累程度。表 2 是不同年龄下椴竹枝、叶、秆、莖和根的含水率状况。由表 2 可分析出，在椴竹器官中，竹根含水率最大，秆、莖和叶次之，枝最小。随年龄的增大，椴竹枝、叶、秆和莖的含水率均呈下降趋势，其中以秆的降低幅度最大，竹根、竹枝和竹叶含水率变化较小。这主要是由于椴竹为丛生竹，竹根细而密集，吸水性较好。竹叶又可以再生，随着老叶的脱落，新叶逐渐长出，相对来说，不同年龄的竹株，其叶片年龄较为一致，含水率也相对稳定^[25-26]。

表 2 不同年龄椴竹器官的含水率

Table 2 Moisture content of *Bambusa textilis* var. *tasca* components for different ages

年龄/a	含水率/%				
	枝	叶	秆	莖	根
1			55.86 ± 4.61	50.03 ± 5.62	58.03 ± 3.30
2	42.10 ± 1.96	45.80 ± 3.49	47.80 ± 3.47	46.05 ± 5.91	61.30 ± 4.73
≥3	41.58 ± 4.43	41.87 ± 2.80	43.87 ± 5.57	43.09 ± 6.01	58.99 ± 4.72
均值	41.84	43.84	49.17	46.39	59.44

说明：当年生椴竹尚未抽枝展叶，故数据空白。表中数据为平均值 ± 标准差。

2.1.2 椴竹器官生物量的分配 竹类植物的生物量中，除了地上部分的秆、枝和叶，还有地下的莖和鞭根系统。椴竹属于丛生竹，地下部分主要是粗大短缩的竹莖和细而密集的竹根组成。表 3 表明：椴竹地上部分干生物量占总生物量的百分比为 89.62% ~ 92.95%，平均 91.11%，说明该竹大部分生物量集中在地上。其中，竹秆的生物量比例为 64.50% ~ 89.62%，平均 74.60%，同前人研究的其他竹种竹秆生物量占总生物量的百分率相比，椴竹竹秆所占的生物量比例较大。例如：丰产毛竹林竹秆生物量占总生物量的百分比为 54.22% (干质量)，苦竹 *Pleioblastus amarus* 为 63.6%^[27]，台湾桂竹 *Phyllostachys makinoi* 为 51.7%^[9]，肿节少穗竹 *Oligostachyum oedogonatum* 为 54.7%^[11]，巴山木竹 *Bashania fargesii* 为 55.6%^[11]，拐棍竹 *Fargesia robusta* 为 44.3%^[28]。表 3 较直观地描述了椴竹枝、叶、秆、莖和根的干生物量分配状况及随年龄的变化规律。1 年生竹由于尚未抽枝展叶，竹秆所占百分率为 89.62%，随着年龄增长，秆所占比例有所下降，然后趋于稳定，这与巴山木竹等竹种的生长规律类似^[29]。

2.1.3 不同年龄椴竹竹秆各段的含水率 竹类植物的秆在不同高度处的含水率有一定差异，一般表现为从基部到梢部含水率有所降低。表 4 为 1 ~ 3 年生以上椴竹竹秆各段的含水率状况。从表中数据可看出，2 ~ 3 年生椴竹竹秆的含水率随高度的增大而逐渐下降，这与以往其他竹种的研究结果是一致的^[12,16-17]。

表3 地上、地下器官干生物量分配

Table 3 Dry biomass distribution of components above and under ground

年龄/a	各器官干生物量比例/%						全竹生物量
	枝	叶	秆	地上部分	蔸	根	
1			89.62	89.62	9.31	1.06	100.00
2	11.00	10.09	69.69	90.77	8.20	1.02	100.00
≥3	17.08	11.37	64.50	92.95	6.37	0.68	100.00
均值	14.04	10.73	74.60	91.11	7.96	0.92	100.00

而1年生竹则表现为梢部含水率大,这是由于1年生竹竹秆尚未老化,尤其是梢部组织幼嫩,含水率较高。

2.1.4 椴竹竹秆各段生物量的分配 竹类植物的秆是一个圆锥体,从秆基到秆梢,随高度的增大,竹秆直径逐渐变小,所以在不同高度处同长度的秆段其生物量是有差异的。竹秆各段生物量的分配规律从另一个角度反映了竹种的秆形结构,研究它对秆材的合理利用有一定指导意义。将椴竹样竹的秆5等分,测定各秆段的干生物量,结果见表5。从表中数据可看出,不同年龄下,椴竹秆从基部到梢部,各秆段的干生物量百分率均逐渐减小。各年龄基部处秆段(“1”)的百分率平均为32.71%,到最末端梢部处(“5”)减小至8.77%。并描述了1~3年生以上椴竹竹秆从基到梢生物量分配比例的变化趋势。因为竹秆随高度的增大,其直径和竹壁厚度逐渐减小,故生物量随之减小。

2.2 椴竹器官生物量与主要器官因子关系

本研究是在11月进行调查的,由于此时1年生椴竹抽枝长叶还未完成,而2~3(≥3)年生椴竹已经发育完成,成为功能竹,因此,椴竹器官生物量与主要器官因子的关系通过2~3(≥3)年生椴竹的有关数据进行统计分析。由表6分析可知:椴竹的胸径和平均壁厚与各器官生物量及地上、地下部分和全竹总生物量均呈极显著相关。椴竹全高除与枝盘数、节数、根生物量和地下部分生物量相关性不显著外,以及与蔸生物量呈显著相关外,与其他器官生物量和竹枝、竹叶、竹秆、地上部分和全竹总生物量相关性均达极显著水平。椴竹枝下高除与竹枝生物量相关性不显著外,以及与竹叶生物量呈显著相关和与节数呈极显著负相关外,与其他器官生物量和竹秆、地上部分、地下部分和全竹总生物量相关性均达极显著水平。椴竹枝盘数除与竹枝和竹叶生物量相关性不显著外,以及与节数生物量呈极负显著相关外,与其他器官生物量和竹秆、地上部分、地下部分和全竹总生物量相关性均达极显著水平。而椴竹的节数只与竹蔸、竹根和地下部分生物量呈极显著负相关外,与其他器官生物量和竹枝、竹叶、竹秆、地上部分和全竹总生物量均不呈相关性。说明椴竹胸径、平均壁厚、全高、枝下高、枝盘数和节数等主要器官因子在彼此间相互影响的同时,共同对椴竹器官生物量产生直接或间接的影响。其中椴竹器官因子中,胸径和平均壁厚对椴竹生物量的影响最大,具有决定性的作用。

2.3 椴竹胸径和平均壁厚与器官生物量模型构建

通过椴竹的主要器官因子与器官生物量的关系分析可知,椴竹胸径和平均壁厚对椴竹生物量具有决定性的影响,因此,为了便于生产上估算椴竹生物量的大小,可以通过2~3(≥3)年生椴竹的胸径和平均

表4 不同年龄椴竹各秆段的含水率

Table 4 Moisture content of each culm part of *Bambusa textilis* var. *tasca* for different ages

年龄/a	含水率/%				
	1	2	3	4	5
1	48.53	52.16	54.41	60.69	62.22
2	47.44	46.53	46.02	45.17	44.67
≥3	46.86	44.56	44.09	43.67	40.17
均值	47.61	47.75	48.17	49.84	49.02

说明:1,2,3,4,5分别表示从秆的基到梢的各秆段。

表5 不同年龄椴竹各秆段全干生物量的分配

Table 5 Dry biomass distribution of culm part of *Bambusa textilis* var. *tasca* for different ages

年龄/a	各秆段干生物量比例/%					
	1	2	3	4	5	全秆
1	35.13	25.59	19.56	12.20	7.52	100.00
2	29.01	22.87	19.24	15.76	13.12	100.00
≥3	33.99	26.82	20.98	12.56	5.66	100.00
均值	32.71	25.09	19.93	13.51	8.77	100.00

说明:1,2,3,4,5分别表示从秆的基到梢的各秆段。

表 6 椴竹器官生物量及主要器官因子的相关性

Table 6 Correlation between the biomass components and component factors of *Bambusa textilis* var. *tasca*

	全高	胸径	平均壁厚	枝下高	枝盘数	节数	枝质量	叶质量	秆质量	茛质量	根质量	全竹质量	地上质量	地下质量
全高	1													
胸径	0.519**	1												
平均壁厚	0.597**	0.875**	1											
枝下高	0.457**	0.845**	0.804**	1										
枝盘数	0.296	0.825**	0.775**	0.963**	1									
节数	0.263	-0.558**	-0.528**	-0.628**	-0.690**	1								
枝质量	0.816**	0.407**	0.467**	0.188	0.026	0.239	1							
叶质量	0.698**	0.442**	0.546**	0.357*	0.224	-0.028	0.845**	1						
秆质量	0.762**	0.927**	0.888**	0.740**	0.671**	-0.287	0.676**	0.640**	1					
茛质量	0.317*	0.877**	0.885**	0.961**	0.916**	-0.663**	0.083	0.166	0.749**	1				
根质量	0.016	0.712**	0.554**	0.773**	0.819**	-0.733**	-0.188	0.114	0.455**	0.742**	1			
全竹质量	0.813**	0.857**	0.860**	0.676**	0.581**	-0.218	0.794**	0.783**	0.977**	0.378*	0.266	1		
地上质量	0.830**	0.823**	0.827**	0.633**	0.528**	-0.167	0.832**	0.810**	0.964**	0.362*	0.213	0.977**	1	
地下质量	0.284	0.881**	0.866**	0.876**	0.932**	-0.694**	0.047	0.164	0.731**	0.995**	0.800**	0.278	0.289	1

说明：以上椴竹各器官生物量的质量为干质量量，*表示 0.05 水平显著相关，**表示 0.01 水平极显著相关。

均壁厚与器官生物量的回归模型对椴竹林地生物量进行估测。在对椴竹胸径和平均壁厚与竹枝、竹叶、竹秆、竹茛、竹根、地上部分、地下部分和全竹秆生物量的关系进行构建时采用多种函数关系进行模拟，然后从中选择拟合效果最好(R^2 值最大)的函数作为估测函数模型。由表 7 可知：所筛选出的椴竹

表 7 各器官生物量与胸径和平均壁厚的拟合模型

Table 7 Fitted model of different components biomass and DBH and average thickness

	项目	拟合方程	R^2	F	P
胸径 D/mm	竹枝生物量 B_l/g	$B_l = -2\ 672.765 + 1\ 299.919D + 59.298D^2 - 36.222D^3$	0.768	11.769	0.000
	竹叶生物量 B_f/g	$B_f = -2\ 756.615 + 1\ 290.910D + 95.822D^2 - 34.991D^3$	0.759	11.692	0.000
	竹秆生物量 B_s/g	$B_s = -4\ 016.535 + 2\ 161.650D + 21.755D^2 - 45.453D^3$	0.888	27.717	0.000
	竹茛生物量 B_{lp}/g	$B_{lp} = 59.856 + 9.667D - 5.285D^2 + 3.606D^3$	0.811	14.990	0.000
	竹根生物量 B_r/g	$B_r = 10.176 + 18.477D - 2.104D^2 + 0.779D^3$	0.611	5.508	0.000
	地上部分生物量 B_a/g	$B_a = -7\ 445.916 + 3\ 952.480D + 45.439D^2 - 96.666D^3$	0.786	12.796	0.000
	地下部分生物量 B_u/g	$B_u = 70.031 + 11.244D - 7.389D^2 + 4.385D^3$	0.833	17.414	0.000
	全竹生物量 W_{ta}/g	$W_{ta} = -7\ 360.122 + 3\ 933.155D + 41.158D^2 - 93.171D^3$	0.823	16.223	0.000
平均壁厚 A/mm	竹枝生物量 B_l/g	$B_l = -1\ 914.129 + 739.465A + 30.261A^2 - 61.285A^3$	0.624	5.887	0.000
	竹叶生物量 B_f/g	$B_f = -3\ 342.800 + 1\ 228.745A - 1.165A^2 - 104.356A^3$	0.668	6.013	0.000
	竹秆生物量 B_s/g	$B_s = -6\ 103.838 + 1\ 790.994A + 44.430A^2 - 13.674A^3$	0.841	18.568	0.000
	竹茛生物量 B_{lp}/g	$B_{lp} = 1.252 - 34.953A + 1.784A^2 + 0.518A^3$	0.794	13.475	0.000
	竹根生物量 B_r/g	$B_r = -147.360 + 43.119A + 124.617A^2 - 0.412A^3$	0.604	5.121	0.000
	地上部分生物量 B_a/g	$B_a = -9\ 770.036 + 2\ 464.708A + 19.688A^2 - 23.782A^3$	0.755	11.416	0.000
	地下部分生物量 B_u/g	$B_u = -72.559 - 39.369A + 10.060A^2 - 0.421A^3$	0.753	10.678	0.000
	全竹生物量 W_{ta}/g	$W_{ta} = -9\ 914.842 + 2\ 912.175A + 25.624A^2 - 23.513A^3$	0.810	14.936	0.000

胸径和平均壁厚与器官生物量、地上部分、地下部分和总生物量的三次曲线函数模型回归效果均达到了极显著相关水平。

2.4 椴竹林分生物产量估算

调查了3块400 m²样地,共1 200 m²,样竹共计116丛,2 576株。根据表1和表7计算出椴竹林径级分布规律(表8)。由表8可知,椴竹平均全竹生物量为2.31 kg·株⁻¹,其中竹秆平均生物量为1.52 kg·株⁻¹。椴竹林分单位面积全竹生物量为4.96 kg·m⁻²,其中单位面积竹秆平均生物量为3.28 kg·m⁻²。

表8 椴竹林生物量估算

Table 8 Estimate of biomass of *Bambusa textilis* var. *tasca* stand

径级/cm	单株秆生物量/kg	单株全竹生物量/kg	样竹数/株	秆生物量/kg	全竹生物量/kg	单株平均秆生物量/(kg·株 ⁻¹)	单株平均全竹生物量/(kg·株 ⁻¹)	单位面积秆生物量/(kg·m ⁻²)	单位面积全竹生物量/(kg·m ⁻²)
2	0.03	0.07	407	12.21	28.49				
3	1.44	2.26	1 104	1 589.76	2 495.04				
4	2.11	3.07	979	2 065.69	3 005.53	1.52	2.31	3.28	4.96
5	3.93	6.35	66	259.38	419.10				
Σ			2 576	3 927.04	5 948.16				

3 总结

椴竹绝大多数变量之间呈极显著相关,各器官生物量与胸径和平均壁厚的关系更为密切。通过回归分析,建立了椴竹各器官生物量的回归方程。根据椴竹胸径和平均壁厚与竹高、枝下高和枝盘数的相关模型以及各器官生物量模型,可计算出椴竹各径级单株的各器官生物量。然后再根据椴竹各径级的单株生物量、椴竹林分的径级分布规律及立竹密度,可以计算出单位面积椴竹林分生物量产量。

在椴竹各器官生物量的分配中,竹秆占绝对比例,为总生物量的74.60%,超过毛竹的相应值。为加工企业提供了理论依据和原料成本,缓解了中国竹种利用单一,尤其是竹板材加工几乎完全依赖毛竹,使得毛竹价格一直居高不下的局面。近年来,中国竹产业发展迅速,其中竹板材加工和竹浆造纸呈现出欣欣向荣的新局面,而目前中国竹类资源的开发利用却仍然处于传统模式。鉴于椴竹竹材产量高、材性较好等特点,椴竹的开发无论对缓解目前竹产业面临的种种困境,还是对竹种的多样化利用都具有重要的经济和生态意义。

参考文献:

- [1] 张玮,谢锦忠,吴继林,等.低温驯化对部分丛生竹种叶片膜脂脂肪酸的影响[J].林业科学研究,2009,22(1):139-143.
ZHANG Wei, XIE Jinzhong, WU Jilin, et al. Changes in membrane lipid fatty acids of some sympodial bamboos in response to low temperature exposure [J]. *For Res*, 2009, 22(1): 139-143.
- [2] 吴继林.大湖竹种园丛生竹种的收集及其耐寒性评价研究[J].竹子研究汇刊,2008,27(1):19-25.
WU Jilin. Collection of sympodial bamboos and evaluation of their cold resistance in Dahu Bamboo Garden [J]. *J Bamboo Res*, 2008, 27(1): 19-25.
- [3] 朱石麟.中国竹类植物图志[M].北京:中国林业出版社,1994.
- [4] 林振清.椴竹人工栽培试验[J].世界竹藤通讯,2004,2(4):24-25.
LIN Zhenqing. Cultivation test on plantation of *Bambusa textilis* var. *tasca* McClure [J]. *World Bamboo Res*, 2004, 2(4): 24-25.
- [5] 周国模,姚建祥,乔卫阳,等.浙江庆元杉木人工林生物量的研究[J].浙江林学院学报,1996,13(3):235-242.
ZHOU Guomo, YAO Jianxiang, QIAO Weiyang, et al. Biomass of Chinese fir planted forest in Qingyuan of Zhejiang [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1996, 13(3): 235-242.

- [6] 周永学, 樊军锋, 杨培华, 等. 奥地利黑松与油松 1 年生苗生长和生物量对比分析[J]. 浙江林学院学报, 2003, **20** (4): 438 - 441.
ZHOU Yongxue, FAN Junfeng, YANG Peihua, *et al.* Comparative studies on growth and biomass of one-year-old seedlings of *Pinus nigra* var. *austriaca* and *Pinus tabulaeformis* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2003, **20** (4): 438 - 441.
- [7] 刘长成, 魏雅芬, 刘玉国, 等. 贵州普定喀斯特次生林乔灌层地上生物量[J]. 植物生态学报, 2009, **33** (4): 698 - 705.
LIU Changcheng, WEI Yafen, LIU Yuguo, *et al.* Biomass of canopy and shrub layers of karst forests in Puding, Guizhou, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2009, **33** (4): 698 - 705.
- [8] FABBRO T, KORNER C. Altitudinal differences in flower traits and reproductive allocation [J]. *Flora*, 2004, **199**: 70 - 81.
- [9] 刘左军, 杜国祯, 陈家宽. 不同生境下黄帚橐吾 (*Ligularia virgaurea*) 个体大小依赖的繁殖分配[J]. 植物生态学报, 2002, **26** (1): 44 - 50.
LIU Zuojun, DU Guozhen, CHEN Jiakuan. Size-dependent reproductive allocation of *Ligularia virgaurea* in different habitats [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2002, **26** (1): 44 - 50.
- [10] 李亚, 陈芳, 马全林, 等. 沙地一年生植物五星蒿的构件特征研究[J]. 草业科学, 2009, **26** (7): 66 - 71.
LI Ya, CHEN Fang, MA Quanlin, *et al.* The modular characteristic of the annual psammophilous *Bassia dasyphylla* [J]. *Pratacul Sci*, 2009, **26** (7): 66 - 71.
- [11] De KROON H, HUTCHINGS M J. Morphological plasticity in clonal plants: the foraging concept reconsidered [J]. *J Ecol*, 1995, **82**: 143 - 152.
- [12] 王静, 杨持, 王铁娟. 放牧退化群落中冷蒿种群生物量资源分配的变化[J]. 应用生态学报, 2005, **16** (12): 2316 - 2320.
WANG Jing, YANG Chi, WANG Tiejuan. Changes of biomass allocation of *Artemisia frigida* population in grazing-induced retrogressive communities [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (12): 2316 - 2320.
- [13] 张文辉, 李红, 李景侠, 等. 秦岭独叶草种群个体和构件生物量动态研究[J]. 应用生态学报, 2003, **14** (4): 530 - 534.
ZHANG Wenhui, LI Hong, LI Jingxia, *et al.* Individual and modular biomass dynamics of *Kingdonia uniflora* population in Qinling Mountain [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, **14** (4): 530 - 534.
- [14] 徐莉, 王丽, 岳明, 等. 新疆阜康荒漠红砂种群构件结构与环境因子的灰色关联度分析 [J]. 植物生态学报, 2003, **27** (6): 742 - 748.
XU Li, WANG Li, YUE Ming, *et al.* Analysis of grey relatedness between the modular structure of *Reaumuria soongorica* population in the desert of Fukang, Xinjiang and the environmental factors [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2003, **27** (6): 742 - 748.
- [15] 杨允菲, 邢福. 松嫩平原杂类草草甸阿尔泰狗娃花无性系种群构件年龄结构[J]. 应用生态学报, 2008, **19** (4): 757 - 762.
YANG Yunfei, XING Fu. Age structure of the modules of clonal *Heteropappus altaicus* population on weedy meadow steppe in Songnen Plain of China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19** (4): 757 - 762.
- [16] 刘玉成, 杜道林. 缙云山大头茶幼苗种群构件结构及与环境因子的多元分析[J]. 植物生态学报, 1996, **20** (4): 338 - 347.
LIU Yucheng, DU Daolin. Multivariate analysis of the ecological factors and the modular structure of *Gordonia acuminata* young tree population in mountain Jinyun, Sichuan, China [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1996, **20** (4): 338 - 347.
- [17] FU Maoyi, XIE Jinzhong, FANG Mingyu. Biomass of *Phyllostachys pubescens* stands and its study methods [C]// 邓炳生. 竹类及其工业利用: 国际竹类工业利用研讨会论文集. 北京: 中国林业科学研究院, 国际热带木材组织. 1992.
- [18] 金爱武, 周国模, 马跃, 等. 雷竹各器官生物量模型研究[J]. 浙江林业科技, 1999, **19** (2): 7 - 10.
JIN Aiwu, ZHOU Guomo, MA Yue, *et al.* Studies on biomass various organ of *Phyllostachys praecox* [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 1999, **19** (2): 7 - 10.
- [19] 郑郁善, 梁鸿巍. 台湾桂竹各器官生物量模型研究[J]. 竹子研究汇刊, 1998, **17** (1): 37 - 41.
ZHENG Yushan, LIANG Hongwei. Study on the biomass models for different organs of *Phyllostachys makinoi* [J].

- J Bamboo Res*, 1998, **17** (1): 37 – 41.
- [20] 黄宗安. 石竹各器官生物量回归模型研究[J]. 竹子研究汇刊, 2000, **19** (4): 54 – 57.
HUANG Zhong'an. A study on biomass regression model of various organs of *Phyllostachys nuda* McClure [J]. *J Bamboo Res*, 2000, **19** (4): 54 – 57.
- [21] 郑郁善, 陈明阳, 林金国, 等. 肿节少穗竹各器官生物量模型研究[J]. 福建林学院学报, 1998, **18** (2): 159 – 162.
ZHENG Yushan, CHEN Mingyang, LIN Jinguo, *et al.* Study on the models for biomass of *Oligostachyum oekogomatum* [J]. *J Fujian Coll For*, 1998, **18** (2): 159 – 162.
- [22] 周芳纯. 毛竹林结构的数学模型[J]. 竹类研究, 1987, **6** (1): 14 – 36.
ZHOU Fangchun. Energy estimation models for various parts of *Phyllostachys pubescens* [J]. *Bamboo Res*, 1987, **6** (1): 14 – 36.
- [23] 牟克华, 史立新. 拐棍竹生物学特性及其生物量的研究[J]. 竹类研究, 1995, **14** (2): 45 – 51.
MOU Kehua, SHI Lixin. Biomass model research of *Fargesia robusta* Yi [J]. *Bamboo Res*, 1995, **14** (2): 45 – 51.
- [24] 马乃训, 陈红星, 张文燕. 优良经济竹种红哺鸡竹生物量的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1994, **13** (1): 31 – 41.
MA Naixun, CHEN Hongxing, ZHANG Wenyan. Study on biomass of fine economic bamboo species *Phyllostachys iridescens* [J]. *J Bamboo Res*, 1994, **13** (1): 31 – 41.
- [25] 林新春, 方伟, 李贤海, 等. 苦竹种群生物量结构研究[J]. 竹子研究汇刊, 2004, **23** (2): 26 – 29.
LIN Xinchun, FANG Wei, LI Xianhai, *et al.* A study on biomass structure of *Pleioblastus amarus* population [J]. *J Bamboo Res*, 2004, **23** (2): 26 – 29.
- [26] 郑容妹, 郑郁, 丁闽锋, 等. 苦竹生物量模型的研究[J]. 福建林学院学报, 2003, **23** (1): 61 – 64.
ZHENG Rongmei, ZHENG Yu, DING Minfeng, *et al.* A study on biomass model of *Pleioblastus amarus* population [J]. *J Fujian Coll For*, 2003, **23** (1): 61 – 64.
- [27] 王太鑫, 丁雨龙, 李继清, 等. 巴山木竹种群生物量结构研究[J]. 竹子研究汇刊, 2005, **24** (1): 19 – 24.
WANG Taixin, DING Yulong, LI Jiqing, *et al.* Studies on the structure of biomass of *Arundianaria fargesii* clone population [J]. *J Bamboo Res*, 2005, **24** (1): 19 – 24.
- [28] 俞友明, 杨云芳, 方伟, 等. 红壳竹人工林竹材物理力学性质的研究[J]. 竹子研究汇刊, 2001, **20** (4): 42 – 46.
YU Youming, YANG Yunfang, FANG Wei, *et al.* Study on physico-mechanical properties of *Phyllostachys iridescens* wood from plantation [J]. *J Bamboo Res*, 2001, **20** (4): 42 – 46.
- [29] 於琼花, 俞友明, 金永明, 等. 雷竹人工林竹材物理力学性质[J]. 浙江林学院学报, 2004, **21** (2): 130 – 133.
YU Qionghua, YU Youming, JIN Yongming, *et al.* Physico-mechanical properties of planted *Phyllostachys praecox* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2004, **21** (2): 130 – 133.