

西双版纳不同林龄人工龙竹林的生物量及其模型

唐建维¹, 萧自位^{1,2}, 王小李³, 郑丽³, 朱兴正⁴, 高丽红⁵

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园热带植物资源开放实验室, 云南 勐腊 666303;

2. 中国科学院研究生院, 北京 10049; 3. 云南省情报研究院, 云南 昆明 650051;

4. 云南省农业科学院茶叶研究所, 云南 勐海 666201; 5. 西双版纳州科技情报研究所, 云南 景洪 666100)

摘要: 根据不同龄级和大小的龙竹个体生物量数据, 建立了以胸径(D)为自变量的不同龄级龙竹各器官的生物量回归模型, 测定了龙竹单株各器官的含水率和林分的生物量, 分析了3个不同林龄的人工龙竹林的生物量组成和分配特征及其变化趋势。龙竹不同器官的含水率均随林龄呈现逐渐下降的趋势, 茎秆的含水率下降幅度最大, 枝次之, 而根的含水率变化幅度最小。龙竹林的生物量随林龄而迅速增长, 4年生龙竹林的生物量(19905.6 kg/hm²)分别为3年生和2年生龙竹林生物量的3.27倍和8.73倍。3个不同林龄的龙竹林生物量的器官分配比例虽有所不同, 但均以茎秆所占的比例最大(42.9%~49.4%), 根次之(21.6%~24.1%), 叶最小(11.8%~14.8%), 其器官分配的比例大小均呈现出茎秆>根>枝>叶的规律性。

关键词: 人工龙竹林; 生物量; 回归模型; 西双版纳

中图分类号: S795; S781.55⁺6

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2011)12-0054-07

Biomass and its regression models of artificial *Dendrocalamus giganteus* within different stand ages in Xishuangbanna

TANG Jian-wei¹, XIAO Zi-wei¹, WANG Xiao-li², ZHENG Li², ZHU Xing-zheng³, GAO Li-hong⁴

(1. Laboratory of Tropical Plant Resource Science, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Menglun Town, Mengla County, Yunnan 66303, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10049, China; 3. Yunnan Academy of Sci-tech Information, Kunming 650051, Yun'nan, China; 4. Tea Institute of Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Menghai 666201, Yunnan, China; 5. Xishuangbanna Institute of Sci-tech Information, Jinghong 666100, Yunnan, China)

Abstract: In order to study the biomass dynamics of artificial *Dendrocalamus giganteus* forest within different stand ages, three plots with a size of 25 m × 20 m were established, respectively, in three different artificial *Dendrocalamus giganteus* forests which were cultivated in 2007, 2008 and 2009, in Menghai County, Xishuangbanna, Yunnan Province. By using the investigation data of sample individual of *Dendrocalamus giganteus* with different age and diameter at breast height, the moisture content in different organs of *Dendrocalamus giganteus* were measured, and the regression models of different organs biomass relating with D (diameter at breast height, 1.3 m) were established to estimate the biomass of *Dendrocalamus giganteus* forests with different stand age. The results show that the moisture contents in different organs decreased gradually with increase of stand age, the degression of moisture content in stem was the biggest and of root was the smallest in four organs. Total biomass in 4-year-stand (19 905.6 kg/hm²) was 3.27 times and 8.73 times as much as that in 3-year-stand and 2-year-stand, respectively, which shows that total biomass rapidly increased with stand age. Concerning different parts allocation of biomass in three stands, the biomass of stem accounted 42.9 % ~ 49.4% of the total, and roots, twigs and leaves made up 21.6 % ~ 24.1%, 15.7 % ~ 18.2% and 11.8 % ~ 14.8 %, respectively, which was ranked as stems > roots > twigs > leaves in three different stands.

Key words: artificial *Dendrocalamus giganteus* forest; biomass; regression models; Xishuangbanna

收稿日期: 2011-07-12

基金项目: 中法农村 CDM 试点开发试点与能力建设项目

作者简介: 唐建维(1964—), 男, 广西全州人, 博士, 副研究员, 主要从事植物生态学研究; E-mail: tangjw@xtbg.org.cn

龙竹 *Dendrocalamus giganteus* 属禾本科 Gramineae 竹亚科 Bambusoideae 牡竹属 *Dendrocalamus* 植物, 为云南特有的大型合轴丛生竹类。不仅秆型高大, 圆满通直, 材质优良; 而且繁殖容易, 成林成材迅速, 生产量高^[1]。由于龙竹竹秆壁厚、通直、强度大、耐久性好, 被认为是云南省最好的建筑用竹之一, 并广泛用于竹产区建造房屋和简易桥梁以及制造地板、竹胶板、竹木家俱、工艺品和各种农用具、生活用具等; 同时龙竹还是优良的纸浆用材^[2]。目前已成为云南省栽培面积最大、用途最广、经济价值最高的竹种^[1, 3]。

龙竹主要产于云南省的南部地区, 包括红河、西双版纳、思茅、临沧、德宏等地州以及文山、大理、玉溪、保山等地州的大部分县; 印度、泰国、缅甸也有分布。除在红河、西双版纳和思茅等地州有小面积的天然林外, 绝大部分为人工栽培。其垂直分布高度在滇南、滇西南可达 2 200 m, 适生海拔为 1 200~1 800 m; 在滇中、滇西为 1 950 m, 适生海拔为 1 000~1 600 m^[1]。作为重要的经济竹种, 目前已有部分学者对其生物生态学特性^[1]、环境条件和立地类型^[4]、林分结构^[5]、竹材化学成分^[2]及力学性能^[6]与吸水膨胀特性^[7]、环境的适生性及产量预测^[8]进行了初步研究; 并对其小苗压条育苗技术^[9]及丰产栽培技术^[10-12]进行了初步探讨。但对其林分的生物量动态研究及其预测模型的建立等方面则还未见有关报道。

由于龙竹所具有的速生丰产, 再生能力强, 经济价值高, 用途广泛等特点, 不仅在固碳减排方面具有极大的潜力, 并具有较好的经济效益、生态效益和社会效益。目前龙竹已成为山区荒山造林, 推动山区经济及带动当地相关产业发展的重要竹种。作为“中法农村 CDM 开发试点与能力建设”项目的子项目“云南西双版纳竹林造林项目”, 其主要内容就是在西双版纳地区营造约 1 万 hm^2 的龙竹林。通过该项目的实施, 以期对本地区部分退化山地进行恢复和改造, 在固碳增汇的同时, 促进我国西南农村地区的碳减排和山区经济的可持续发展。因此, 建立精度较高的龙竹生物量预测模型, 准确地掌握不同林龄的龙竹林生物量动态, 为竹林碳汇项目的开发提供可靠的基础数据, 已成为目前非常受关注的问题之一。本项目以西双版纳地区营造的不同林龄的人工龙竹林为研究对象, 通过对其林分的调查及不同器

官生物量回归模型的建立, 对不同林龄的人工龙竹林的生物量及其分配特征进行深入系统的研究和分析, 掌握不同林龄的人工龙竹林的生物量动态变化规律及其分配特征, 以期为人工龙竹林的经营管理及其碳汇项目的开发提供科学依据。

1 调查区自然概况

调查区位于西双版纳傣族自治州勐海县境内的南糯山。该地区属热带、亚热带西南季风气候, 一年分为旱季、雨季和雾凉季 3 季, 3~5 月为旱季, 气温高, 雨量少; 6~10 月为雨季, 气候湿热, 此时期集中了全年降水的 85%; 11 月~翌年 2 月为雾凉季, 降雨较少, 但早晚有浓雾, 空气湿度大。全年平均气温 18.6 $^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 6 541.6 $^{\circ}\text{C}$, 极端最低温 -3.5 $^{\circ}\text{C}$, 极端最高温 30.2 $^{\circ}\text{C}$, 年温差小, 而日温差大。年日照时数为 1 782~2 323 h。年均降雨量山区为 1 600~2 400 mm。年蒸发量 1 505~1 834 mm。土壤类型为赤红壤, 土层深厚, 达 1 m 以上, 呈微酸性, pH 值在 5.0~5.5。

2 研究方法

2.1 样地的选择与建立

调查样地位于在云南勐象竹业有限公司南糯山基地, 在 3 个不同年份 (2007、2008、2009) 营造的龙竹林中, 分别设置 3 块 25 m $\times$ 20 m 的样地。在每块样地的中心点用 GPS 测定该样地的地理位置和海拔, 用军用指北针测量每块样地的坡向、坡度。

2.2 样地的调查方法

测定样地内每株龙竹个体的基径、胸径、枝下高, 采用目测法估测竹竿高度, 并分别观测记录每株个体的萌发年份、生长情况, 及害情况, 如折断、断顶、虫吃等。

2.3 龙竹样木的取样方法

根据不同林龄龙竹林各样地的调查数据, 分别在不同林龄的各径级个体中选取生长发育正常、无病虫害的龙竹个体 51 株作为样竹进行生物量调查。其中: 竹龄 ≤ 1 年的 16 株 (I 龄级), 竹龄 1~2 年 (II 龄级) 的 19 株, 竹龄 2~3 年的 16 株 (III 龄级)。为保证所建立模型的实用性, 在与该基地相邻村寨种植的龙竹林中, 选取了竹龄大于 3 年

(IV 龄级) 的不同径级大小、生长正常的样竹 12 株。

2.4 龙竹样木生物量的测定

采用收获法, 将所选取的样竹个体连同根系一起挖出, 测量其基径、胸径和高度, 将茎秆、枝、叶分别称重记录, 根系分为根莖和须根分别称重。每个器官分别取样 300~500 g。茎秆的取样则根据其个体的大小和高度, 分别在基径、胸径、中部和顶部位置分别取样组成一个混合样。样品带回实验室后, 茎秆、枝、根系样品于 105℃, 叶于 75℃ 烘箱中烘干至恒重后称重, 计算出每个器官的含水率, 以此换算各器官的干重, 求出每株样竹各器官的干重和总重。

2.5 数据处理与分析方法

所有样地的野外调查数据和各龄级不同样竹的器官生物量的测定值均输入 EXCEL 中。根据龙竹各龄级每株样竹各器官(茎秆、枝、叶、根)生物量(干物质)的测定值, 计算每株样竹各器官的含水率、生物量及整株个体的生物量。在 SPSS13.0 软件上采用单因素方差分析(ANOVA, Tukey-Test)和皮尔逊(Pearson)相关分析方法进行显著性检验和相关性分析, 以确定各器官生物量之间的相关关系。并分别采用线性和非线性的指数、对数、幂函数和多项式等多种函数进行拟合, 建立龙竹各器官生物量和总生物量的回归模型。从中选取相关系数最高者作为龙竹各器官生物量和总生物量的优化预测模型。

3 结果与分析

3.1 不同林龄龙竹各器官的含水率

因竹类植物各器官所在其组织结构和功能等方面的不同, 其含水率也必然产生差异。而且随着年龄的增长, 同一器官的水分含量也会出现相应的变化(见表 1)。从表 1 知, 龙竹不同器官含水率

随着年龄的变化均呈现逐渐下降的趋势, 但以秆的含水率下降幅度最大, 枝次之, 而根的含水率变化幅度最小。单因素方差分析表明, IV 龄级茎秆的含水率(53.17%)显著地小于 I 龄级(63.42%)、II 龄级(63.23%)和 III 龄级(60.64%)的茎秆含水率(ANOVA, $d_f=3$, $F=7.281$, $P<0.001$)。虽然 III 龄级的茎秆含水率稍低于 I 龄级、II 龄级的茎秆含水率, 但三者之间并没有显著性差异(ANOVA, $d_f=2$, $F=1.696$, $P>0.05$)。在 4 个不同龄级枝的含水率中, 则是 I 龄级枝的含水率(63.83%)最大, 显著地大于 II 龄级、III 龄级和 IV 龄级(ANOVA, $d_f=3$, $F=5.947$, $P<0.001$); 虽然 IV 龄级的枝含水率稍低于 II 龄级、III 龄级的枝的含水率, 但三者之间并没有显著性差异(ANOVA, $d_f=2$, $F=0.698$, $P>0.05$)。4 个不同龄级叶的含水率呈现出与茎秆相似的变化规律, IV 龄级茎秆的含水率(65.74%)显著地小于 I 龄级(69.81%)、II 龄级(69.42%)和 III 龄级(69.07%)的叶的含水率(ANOVA, $d_f=3$, $F=3.206$, $P<0.05$)。I 龄级、II 龄级和 III 龄级三者之间叶的含水率则基本相近。虽然 4 个不同龄级根系的含水率有所不同, 但差异并不显著(ANOVA, $d_f=3$, $F=0.349$, $P>0.05$)。

从同一龄级各个器官的含水率的变化情况来看, I 龄级、II 龄级和 III 龄级均以叶的含水率最高, 根次之, 枝的含水率最少, 呈现出叶 > 根 > 茎秆 > 枝的变化规律。但 IV 龄级各个器官的含水率虽然仍以叶的含水率最高, 根次之, 但枝的含水率要稍大于茎秆的含水率, 各器官的大小变化顺序为叶 > 根 > 枝 > 茎秆。

3.2 龙竹胸径、茎秆高度与各器官及其生物量的相关性分析

根据不同龄级的龙竹样竹调查资料, 对龙竹的胸径、竹高及各器官生物量之间进行相关分析, 各因子的相关性分析结果见表 2。由表中可看出,

表 1 不同竹龄龙竹各器官的含水率[†]
Table 1 Moisture content in different organs of *Dendrocalamus giganteus* within different ages

龄级	数量/株	茎秆/%	枝/%	叶/%	根系/%
I	16	63.42±4.45a	62.83±7.79a	69.81±4.02a	66.56±7.81a
II	19	63.23±8.11a	57.89±5.71b	69.42±4.48a	65.40±8.75a
III	16	60.64±6.77a	57.60±5.83b	69.07±3.60a	64.65±5.78a
IV	12	53.17±2.78b	55.49±3.78b	65.74±6.59b	63.34±8.36a

[†] 表中数据为平均值±标准差, 同列数据后标不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Mean ± SD, Values followed by different letters in the line are significant difference at $P<0.05$. The following tables is the same.

表 2 不同龄级龙竹各器官生物量及其与胸径、高度的相关性分析[†]
Table 2 Correlation between different organ biomass and DBH and height of *Dendrocalamus giganteus* within different ages classes

龄级	项 目	胸径 D	高度 H	茎竿重 m_s	枝重 m_b	叶重 m_l	根重 m_r	总重 m_{total}
I	胸径 D	1						
	高度 H	0.906**	1					
	茎竿重 m_s	0.924**	0.888**	1				
	枝重 m_b	0.761**	0.646**	0.559*	1			
	叶重 m_l	0.631**	0.541*	0.440	0.889**	1		
	根重 m_r	0.953**	0.852**	0.970**	0.653**	0.498*	1	
	总重 m_{total}	0.944**	0.893**	0.997**	0.614**	0.492*	0.982**	1
II	胸径 D	1						
	高度 H	0.965**	1					
	茎竿重 m_s	0.934**	0.932**	1				
	枝重 m_b	0.892**	0.803**	0.781**	1			
	叶重 m_l	0.849**	0.901**	0.825**	0.863**	1		
	根重 m_r	0.861**	0.927**	0.993**	0.818**	0.855**	1	
	总重 m_{total}	0.876**	0.935**	0.999**	0.803**	0.843**	0.996**	1
III	胸径 D	1						
	高度 H	0.978**	1					
	茎竿重 m_s	0.943**	0.949**	1				
	枝重 m_b	0.953**	0.911**	0.828**	1			
	叶重 m_l	0.986**	0.958**	0.900**	0.978**	1		
	根重 m_r	0.947**	0.922**	0.973**	0.857**	0.918**	1	
	总重 m_{total}	0.956**	0.955**	0.998**	0.854**	0.920**	0.983**	1
IV	胸径 D	1						
	高度 H	0.974**	1					
	茎竿重 m_s	0.925**	0.940**	1				
	枝重 m_b	0.926**	0.851**	0.749**	1			
	叶重 m_l	0.916**	0.889**	0.900**	0.837**	1		
	根重 m_r	0.905**	0.893**	0.958**	0.734**	0.928**	1	
	总重 m_{total}	0.936**	0.942**	0.998**	0.774**	0.918**	0.973**	1

[†] * 表示两个因子之间的相关性达到显著水平($P<0.05$); ** 表示两个因子之间的相关性达到极显著水平($P<0.01$)。
Note: * Correlation is significant at the 0.05 level, ** Correlation is significant at the 0.01 level, The following tables is the same.

除 I 龄级龙竹的茎竿重与叶重之间的相关性较差之外, 4 个龄级中龙竹各个体的胸径、竹高及其各器官之间均体现出显著的相关关系。胸径、竹高与全株重、茎竿重、枝重、叶重、根重的相关性达到极显著水平。即使 I 龄级龙竹的株高与叶重、茎重与枝重、叶重与根重和总重的相关性相对较低, 也达到了显著水平。

3.3 不同林龄龙竹各器官生物量优化回归模型的建立

建立生物量回归模型是为在相似立地条件下相同植物种类的生物量估测提供依据。大量森林

群落生物量的研究表明: 乔木生物量与其胸径 D 存在着很好的相关关系^[13-15]。虽然在上述 4 个不同龄级中龙竹各个体的胸径、竹高及其各器官之间体现出显著的相关关系。但在野外的实际工作中, 由于对高度的估计常常产生较大的误差, 因而在进行生物量估算时高度 H 并不是一个很好的参数^[15]。为避免因竹杆高度估测所带来的生物量估算误差以及在实际工作中有可操作性, 本研究生物量预测方程采用以龙竹的胸径 D 为单变量的与各器官生物量之间的线性和非线性的回归方程。同时许多其它竹类生物量预测模型的研究表明, 采用以胸径 D 为单变量的回归方程能够较真

实地反映竹类生物量 m 随竹竿胸径 D 的变化趋势^[16-19]。由此，根据 4 个不同龄级各径级的样竹生物量的调查数据，以胸径为自变量，分别以龙竹的茎竿、枝、叶和根系生物量为因变量，采用线性和非线性的多种回归方程（直线、幂函数、指数函数、多项式等）对不同龄级的龙竹各器官生物量和个体生物量进行

回归分析，从中选取回归系数最高者作为龙竹各器官生物量和个体总生物量的最优回归模型。经统计学检验，不同龄级龙竹个体各器官（茎秆、枝、叶和根）生物量和总生物量回归模型的回归系数及 F 检验值均达到极显著水平（见表 3）。因此，竹竿的胸径 D 可作为龙竹各器官生物量的重要估测参数。

表 3 不同龄级龙竹各器官生物量的优化回归模型[†]
Table 3 Regression models for different organ biomass of *Dendrocalamus giganteus* within different age classes

龄级	器官	生物量回归方程	回归系数 R^2	F	$F_{0.01}$
I	茎竿	$m_s = 0.102D^{2.099}$	0.967**	434.912	8.68
	枝	$m_b = -0.012D^2 + 0.306D - 0.580$	0.848**	38.918	6.51
	叶	$m_l = -0.016D^2 + 0.380D - 0.808$	0.829**	33.84	6.51
	根	$m_r = 0.045D^{1.863}$	0.902**	138.818	8.68
	总量	$m_{total} = 0.226D^{1.925}$	0.966**	419.898	8.68
II	茎竿	$m_s = 0.334D^2 - 2.475D + 5.734$	0.980**	391.821	6.23
	枝	$m_b = 1.292\ln(D) - 0.630$	0.812**	69.290	8.40
	叶	$m_l = 0.100D + 0.038$	0.823**	78.938	8.40
	根	$m_r = 0.060D^2 - 0.398D + 1.542$	0.985**	512.901	6.23
	总量	$m_{total} = 0.398D^2 - 2.709D + 8.046$	0.986**	517.702	6.23
III	茎竿	$m_s = 0.072D^{2.331}$	0.975**	535.524	6.51
	枝	$m_b = 1.497\ln(D) - 0.877$	0.934**	198.213	6.51
	叶	$m_l = 0.118D - 0.214$	0.972**	491.001	6.51
	根	$m_r = 0.061D^2 - 0.388D + 1.373$	0.980**	318.366	6.70
	总量	$m_{total} = 0.275D^{1.955}$	0.988**	1195.999	6.51
IV	茎竿	$m_s = 0.131D^{2.141}$	0.986**	723.974	10.04
	枝	$m_b = -0.010D^2 + 0.365D - 0.400$	0.926**	56.283	8.02
	叶	$m_l = 0.091D - 0.085$	0.857**	59.748	10.04
	根	$m_r = 0.071D^2 - 0.575D + 1.675$	0.960**	108.897	8.02
	总量	$m_{total} = 0.385D^{1.820}$	0.987**	787.853	10.04

[†] m : kg; D : cm; ** $P < 0.01$.

3.4 不同林龄龙竹林的生物量动态

根据不同时间种植的龙竹林各样地的野外调查数据，采用上述所建立的不同龄级龙竹各器官的生物量回归模型直接计算出各样地不同龄级的龙竹个体各器官的生物量。不同时间种植的龙竹林的生物量估算结果（见表 4）表明：龙竹林的生物量随种植时间而迅速增长，2007 年种植的龙竹林的生物量（19 905.6 kg/hm²）分别为 2008 年和 2009 年种植的龙竹林生物量的 3.27 倍和 8.73 倍。

3.4.1 不同林龄龙竹生物量的器官分配

3 个不同林龄的龙竹林生物量的器官分配均以茎秆最大，根次之，叶最小（见表 4），其器官分配的比例大小呈现出茎秆 > 根 > 枝 > 叶的规律

性。但 3 个不同林龄的龙竹林生物量的器官分配比例又有所不同，在 2 年生（2009 年种植）龙竹林生物量的器官分配中，茎秆约占其总生物量的 1/2；其次为根，占其总生物量的 1/5 以上，而枝所占的比例则为 1/6；叶所占的比例最小，约占总生物量的 1/8。与 2 年生的龙竹林相比，3 年生（2008 年种植）龙竹林生物量的茎秆所占比例有所下降，仅占其总生物量的 42.9%；但根、枝和叶所占的比例有所上升，分别占其总生物量的 24.11%，18.2% 和 14.8%。而 4 年生（2007 年种植）龙竹林生物量的器官分配除根所占的比例大于 2 年生龙竹林外，茎秆、枝、叶所占的比例均稍低于 2 年生的龙竹林。与 3 年生的龙

表 4 不同林龄龙竹林的生物量及其器官分配[†]
Table 4 Total biomass and its allocation of *Dendrocalamus giganteus* forests within different stand ages (kg/hm²)

种植 时间	林龄/a	茎竿	枝	叶	根	总量
2009	2年	1127.3±150.5	365.3±29.5	294.1±21.9	493.0±34.2	2279.7±154.7
		(49.4)	(16.0)	(12.9)	(21.6)	(100.00)
2008	3年	2607.2±629.9	1104.3±77.4	902.2±45.8	1465.5±131.3	6079.3±826.6
		(42.9)	(18.2)	(14.8)	(24.1)	(100.00)
2007	4年	9647.2±2224.2	3132.4±649.8	2353.3±438.3	4772.7±774.8	19905.6±4994.4
		(48.5)	(15.7)	(11.8)	(24.0)	(100.00)

† 括号内数值为百分比(下同)。
Note: values in the parenthesis are percentage.

竹林相比, 4 年生龙竹林的茎秆所占的比例高于 3 年生的龙竹林, 枝、叶则稍低之, 但根则与 3 年生相近。不同林龄龙竹林生物量器官分配比例的不同, 反映出龙竹林在其生长发育过程中不同器官的干物质的积累程度的差异。表明龙竹林自种植的第 2 年后, 干物质积累从地上部分(茎秆、枝、叶)的积累逐渐向地下部分(根)转移, 根系生物量在迅速增加, 为竹笋的大量萌发创造条件。

3.4.2 不同林龄龙竹林中各龄级的生物量组成

在 3 个不同林龄的龙竹林林分中, 由于种植的母竹苗不仅个体小, 而且在其发笋后均被砍伐。因此, 除 2 年生(2009 年)种植 的龙竹林由新萌发的 I 龄级个体组成外, 3 年生(2008 年种植)的龙竹林由 I 龄级和 II 龄级个体组成; 而 4 年生(2007

年种植)的龙竹林则由 I 龄级、II 龄级和 III 龄级的个体组成。从 3 年生龙竹林的生物量组成来看(见表 5), I 龄级的个体总生物量达 4 189.9 kg/hm², 是 II 龄级生物量的 2.3 倍。在其总生物量的组成中, I 龄级个体生物量的茎秆、枝、叶和根分别约是 II 龄级的 1.72 倍、1.69 倍、4.73 倍和 3.14 倍。而在 4 年生的龙竹林中, I 龄级个体的生物量达 11 934.3 kg/hm², 分别约是 II 龄级、III 龄级个体生物量的 2 倍和 6 倍。在其总生物量的组成中, I 龄级个体的茎秆、枝、叶和根的生物量分别是 II 龄级个体各器官的 1.45 倍、1.74 倍、4.65 倍和 3.21 倍; 是 III 龄级个体各器官生物量的 6.32 倍、4.03 倍、18.49 倍和 4.72 倍。从 3 个不同林龄龙竹林中同一龄级的生物量来看, 4 年生龙竹林中 I 龄级个体的生物量约是 3 年生 I 龄级个体生物量的

表 5 不同林龄龙竹林中各龄级的的生物量组成及其器官分配
Table 5 Total biomass and its allocation of different age classes in *Dendrocalamus giganteus* forests within different stand ages (kg/hm²)

种植时间	林龄/a	龄级	茎竿	枝	叶	根	总量
2009	2	I	1127.3±150.5	365.3±29.5	294.1±21.9	493.0±34.2	2279.7±154.7
		%	(49.4)	(16.0)	(12.9)	(21.6)	(100.00)
2008	3	I	1649.1±158.4	693.2±30.3	744.7±31.1	1111.9±60.4	4198.9±440.1
		%	(63.25)	(62.77)	(82.54)	(75.87)	(69.07)
		II	958.2±140.3	411.1±59.0	157.5±26.8	353.7±74.5	1880.4±284.2
		%	(36.75)	(37.23)	(17.46)	(24.13)	(30.93)
		合计	2607.2±629.9	1104.3±77.4	902.2±45.8	1465.5±131.3	6079.3±826.6
		%	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)
2007	4	I	5227.2±521.1	1719.8±170.7	1854.1±170.9	3133.3±334.4	11934.3±1504.0
		%	(54.18)	(54.90)	(78.79)	(65.65)	(59.95)
		II	3593.1±309.2	989.0±125.9	399.0±75.5	975.1±193.7	5956.2±594.7
		%	(37.25)	(31.57)	(16.95)	(20.43)	(29.93)
		III	827.0±198.2	423.6±106.4	100.2±27.2	664.3±113.9	2015.1±429.9
		%	(8.57)	(13.62)	(4.26)	(13.92)	(10.12)
		合计	9647.2±2224.2	3132.4±649.8	2353.3±438.3	4772.7±774.8	19905.6±4994.4
		%	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)

2.84 倍, 是 2 年生 I 龄级个体生物量的 5.23 倍。表明龙竹林的发笋能力随着种植时间而增强, 发笋的个体数量随时间而增多; 同时生长迅速, 从而使林分生物量急剧增长。

4 结 论

(1) 4 个不同龄级各器官的含水率测定表明, 龙竹不同器官含水率随林龄均呈现逐渐下降的趋势, 以秆的含水率下降幅度最大, 枝次之, 而根的含水率变化幅度最小。I 龄级、II 龄级和 III 龄级均以叶的含水率最高, 根次之, 枝的含水率最少, 呈现出叶 > 根 > 茎秆 > 枝的变化规律。但 IV 龄级各个器官的含水率大小变化顺序则为叶 > 根 > 枝 > 茎秆。在各龄级不同器官的含水率中, IV 龄级茎秆和叶的含水率显著地小于 I 龄级、II 龄级和 III 龄级的茎秆含水率, 而后三者之间无显著差异。枝的含水率则以 I 龄级枝的含水率最大, 显著地大于 II 龄级、III 龄级和 IV 龄级; 根的含水率在各龄级间则无显著差异。

(2) 4 个不同龄级龙竹的胸径、竹高及各器官生物量之间的相关分析结果表明, 除 I 龄级龙竹的茎秆重与叶重之间的相关性较差之外, 4 个龄级中龙竹各个体的胸径、竹高及其各器官之间均体现出显著的相关关系。

(3) 龙竹林的生物量随种植时间而迅速增长, 4 年生龙竹林的生物量分别为 3 年生和 2 年生龙竹林生物量的 3.27 倍和 8.73 倍。3 个不同林龄的龙竹林生物量的器官分配比例虽有所不同, 但均以茎秆最大, 根次之, 叶最小, 其器官分配的比例大小均呈现出茎秆 > 根 > 枝 > 叶的规律性。

(4) 采用以龙竹的茎秆胸径 D 为单变量而建立的不同林龄龙竹各器官的生物量优化回归模型, 其相关性均达到极显著水平, 并具有较高的可信度, 可应用于相似立地条件下龙竹林生物量的估测。同时所建立的生物量模型在实际工作中具有较强的可操作性, 只须调查林分中个体的年龄及胸径, 就可计算出单株个体各器官的生物量和林分单位面积上的生物量。

参考文献:

- [1] 陈舒怀, 谭宏超. 龙竹的生物学和生态学特性 [J]. 云南林业科技, 1997, (4): 35-38.
- [2] 张宏健, 王文久, 杜凡. 云南 4 种典型材用丛生竹的化学成分 [J]. 云南林业科技, 1998, (4): 75-78.
- [3] 阮桢媛, 杨汉奇, 杨宇明, 等. 龙竹研究进展及应用前景 [J]. 山东林业科技, 2008, (4): 77-79.
- [4] 陆素娟, 李乡旺. 龙竹的环境条件与立地类型 [J]. 西南林学院学报, 1997, 17(1): 12-6.
- [5] 罗明灿, 刘惠民, 韩灯, 等. 龙竹林分结构的初步研究 [J]. 竹子研究汇刊, 2001, 20 (1): 15-18.
- [6] 嵇伟兵, 姚文斌, 马灵飞. 龙竹和绿竹竹材壁厚度的梯度力学性能 [J]. 浙江林学院学报, 2007, 24 (2): 125-129.
- [7] 田芸, 安胜足, 孙照斌. 龙竹竹材的吸水膨胀特性 [J]. 福建林业科技, 2007, 34 (2): 148-250.
- [8] 王海亮. 龙竹适生性及产量预测初步研究 [J]. 林业建设, 2009, (4): 37-42.
- [9] 谭宏超. 龙竹小苗压条育苗的技术 [J]. 云南师范大学学报, 1995, 15 (3): 115-117.
- [10] 谭宏超. 龙竹丰产技巧 [J]. 农村实用技术与信息, 2001, (6): 31-32.
- [11] 刘惠民, 杨宇明, 罗明灿, 等. 龙竹天然林低产林分丰产改造技术研究 [J]. 林业科技开发, 2002, 16 (3): 33-35.
- [12] 刘清江, 王涇. 龙竹丰产栽培技术 [J]. 中国热带农业, 2007, (1): 69-70.
- [13] Araújo T M, Higuchi N, Carvalho J A. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 117: 43-52.
- [14] Brown S. Estimating Biomass and biomass change of tropical forests: a primer [C] // In: Brown S ed. UN-FAO Forestry Paper No. 134. Rome: FAO, 1997, 1-31.
- [15] Chave J, Riéra B, Dubois M A. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability [J]. Journal of Tropical Ecology, 2001, 17: 79-96.
- [16] 杨清, 苏光荣, 段柱标, 等. 版纳甜龙竹种群生物量结构及其回归模型 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2008, 36(7): 127~134.
- [17] 张鹏, 黄玲玲, 张旭东, 等. 滩地硬头黄竹生物量结构及回归模型的研究 [J]. 竹子研究汇刊, 2009, 28(3): 25-28.
- [18] 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.
- [19] 郑郁善, 梁洪桑, 游兴早. 绿竹生物量模型研究 [J]. 竹子研究汇刊, 1997, 16(4): 43-46.
- [20] 王伯荪, 彭少麟. 鼎湖山森林优势种群数量动态 [J]. 生态学报, 1987, 7(3): 214-221.

致谢: 本项野外工作得到了云南勐象竹业有限公司的大力支持, 在此深表谢意!

[本文编校: 邱德勇]