

# 西双版纳橡胶林的生物量及其模型<sup>\*</sup>

唐建维<sup>1\*</sup> 庞家平<sup>1,2</sup> 陈明勇<sup>3</sup> 郭贤明<sup>3</sup> 曾 荣<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐腊 666303; <sup>2</sup>中国科学院研究生院, 北京 100049; <sup>3</sup>西双版纳国家级自然保护区科研所, 云南景洪 666100)

**摘要** 利用 30 株不同年龄和径阶的橡胶树样木数据, 建立了以胸径 ( $D$ ) 和胸径的平方乘以树高 ( $D^2H$ ) 为自变量的生物量回归模型。根据所建立的生物量回归模型, 推算了 15 个 1000 m<sup>2</sup> 不同林龄橡胶林的生物量, 并分析了其组成和分配特征及不同林龄生物量的变化趋势。林分的总生物量随林龄而增加, 7、13、19、25 和 47 年生橡胶林生物量分别为 23.98、66.90、150.37、171.12 和 250.21 t·hm<sup>-2</sup>。生物量的器官分配以干材所占的比例最大, 占 50% 以上, 并随林龄而递增; 枝生物量所占比例也随着林龄的增加而增大; 叶和根的生物量所占比例则随林龄呈下降趋势。橡胶林生物量远低于本地区的热带季节雨林和石灰山季雨林, 但高于本地区的热带次生林及其他热带地区年龄相近的人工林。

**关键词** 生物量; 回归模型; 橡胶林; 西双版纳

中图分类号 S718.55 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)10-1942-07

**Biomass and its estimation model of rubber plantations in Xishuangbanna, Southwest China.** TANG Jian-wei<sup>1</sup>, PANG Jia-ping<sup>1,2</sup>, CHEN Ming-yong<sup>3</sup>, GUO Xian-ming<sup>3</sup>, ZENG Rong<sup>3</sup> (<sup>1</sup>Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, Yunnan, China; <sup>2</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; <sup>3</sup>Institute of Xishuangbanna National Nature Reserve, Jinghong 666100, Yunnan, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(10): 1942-1948

**Abstract** Aimed to study the dynamics of the biomass and its allocation of the rubber plantations with different stand age in Xishuangbanna of Southwest China, fifteen plots, each with a size of 25 m × 40 m, were established at different sites. By using the investigation data of 30 rubber trees with different age and diameter at breast height, the regression model of the biomass relating with  $D$  (diameter at breast height, 1.3 m) and  $D^2H$  was established, and applied to estimate the biomass of 15 rubber plantations with different stand age, and to analyze the allocation characteristics of the biomass with stand age. The total biomass of the stands increased with stand age, being 23.98 t·hm<sup>-2</sup> in 7-year-old stand, 66.90 t·hm<sup>-2</sup> in 13-year-old stand, 150.37 t·hm<sup>-2</sup> in 19-year-old stand, 171.12 t·hm<sup>-2</sup> in 25-year-old stand, and 250.21 t·hm<sup>-2</sup> in 47-year-old stand. The biomass of trunk occupied the greatest proportion, being 53.61% of the total in 7-year-old stand, 57.79% in 13-year-old stand, 61.30% in 19-year-old stand, 62.27% in 25-year-old stand, and 67.74% in 47-year-old stand. Branch biomass also increased with stand age, from 15.14% of the total in 7-year-old stand to 18.20% in 47-year-old stand, while root biomass decreased with stand age, being 25.54%, 20.22%, 16.93%, 16.08%, and 12.47% of the total in the five stands, respectively. Leaf biomass contributed small, which also decreased from 3.11% of the total in 7-year-old stand to 2.25% in 47-year-old stand. Comparing with that of other forest types, the biomass of the rubber plantations in study area was far lower than that of the tropical seasonal rainforests and tropical monsoon rainforests over limestone, but higher than that of the secondary tropical forests in the same area and of the forest plantations in other tropical regions of China.

**Key words** biomass; regression model; rubber plantation; Xishuangbanna

\* 云南省省院省校科技合作计划项目 (2006XY38) 和中国科学院农业项目办公室资助项目 (NK 十五-C-25)。

\*\* 通讯作者 E-mail: tangjw@xtbg.org.cn

收稿日期: 2009-03-09 接受日期: 2009-06-09

生物量不仅是研究植被净生产力、衡量林地生产力和经营效果的重要指标,也是度量植被碳库,研究整个生态系统结构、功能、能量流动和物质循环的重要参数 (Oveman *et al.*, 1994; 冯仲科等, 2005; 樊后保等, 2006; 黄玫等, 2006; Garkotij 2008)。森林是陆地生物圈的主体,以全球非冰表面 40% 的面积贮存了全球陆地生物量地上部分的 76% ~ 98% 和地下部分的 40%,森林及其变化对陆地生物圈及其他地表过程有着重要的影响 (Mahi *et al.*, 1999; Fang *et al.*, 2001; 方精云等, 2002)。森林生物量的估算成为当今生态学和全球变化研究的重要内容之一。

自 20 世纪 60 年代以来,国际上许多学者陆续对热带雨林、温带阔叶林、北方针叶林的生物量进行了广泛而深入的研究 (Brown & Lugo, 1984; Houghton *et al.*, 2001; Bond-lamberty *et al.*, 2002; Houghton, 2005)。我国自 20 世纪 70 年代末开始展开森林生物量的研究,国内众多学者先后对温带、亚热带的针叶林、人工林和常绿阔叶林的生物量进行了一系列的研究 (冯宗炜等, 1982; 马钦彦, 1989; 江洪和朱家骏, 1986; 彭少麟和张祝平, 1990; 谢寿昌等, 1996; 李轩然等, 2006)。而对热带森林生物量的研究,直到 20 世纪 90 年代才逐渐展开 (李意德和张振才, 1992; 唐建维等, 1998; 郑征等, 2000; 施济普等, 2001; 冯志立等, 2005; 吕晓涛等, 2007; 戚剑飞和唐建维, 2008)。

橡胶 (*Hevea brasiliensis*) 作为一种重要的经济树种,在热带地区尤其是东南亚广泛种植。近年来随着世界上对天然橡胶需求的增加,橡胶种植更是得到了迅猛的发展,热带地区的橡胶种植面积不断扩大 (Zhang *et al.*, 2007)。在东南亚的许多地区,橡胶林的大量发展导致天然林和次生林被取代 (Werner *et al.*, 2006)。位于云南省南部的西双版纳,是我国最主要的橡胶种植地之一。截至 2003 年天然橡胶的种植面积已占当地面积的 11.3%,与季节雨林、次生林共同组成西双版纳地区主要的森林类型 (Liet *et al.*, 2007)。长期以来,许多学者相继对本地区的次生林、热带季节雨林、石灰山季雨林等不同类型的森林的生物量进行了研究 (唐建维等, 1998; 冯志立等, 2005; 吕晓涛等, 2007; 戚剑飞和唐建维, 2008)。虽然部分学者对西双版纳橡胶林的生物量进行了研究 (唐建维等, 2003; 杨景成等, 2005; 贾开心等, 2006),但这些研究都局限于某一林龄的橡胶生物量,且建立的模型样木数量偏少,难以对不同林

龄的橡胶林生物量进行准确的估测;同时也缺乏不同生长发育阶段下生物量的组成及分配规律的研究。为此,笔者于 2007 年底对西双版纳 5 个不同年龄阶段的橡胶林生物量进行了实测调查,探讨橡胶林生物量组成和分配以及各器官生物量随林龄的变化规律,为准确估算本地区的森林碳储量,进一步开展碳循环等相关研究提供科学依据。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 自然概况

试验样地位于西双版纳勐腊县勐仑镇,该地区属于西南热带季风气候,海拔高度为 560 m,一年可分为干热、湿热和雾凉 3 季,3—5 月为干热季,气温较高,雨量较少;6—10 月为雨季 (湿热季),气候湿热,此时期集中了全年降水的 85%;11 月—次年 2 月为雾凉季,降雨较少,但早晚有浓雾,空气湿度较大。年平均气温 21.6 °C,年均降雨量 1557 mm,年平均相对湿度 86%,年日照时数 1828 h,有雾日数 173.7 d,终年无霜,土壤为砖红壤,土层深厚,pH 值为 5.6 左右。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 样地的选择与建立** 2007 年 12 月,在西双版纳勐仑镇选取 5 个不同林龄 (7、13、19、25、47 年) 的橡胶林样地,样地大小为 1000 m<sup>2</sup> (25 m × 40 m),每个林龄设置 3 个重复,共 15 块样地。对样地内所有橡胶树进行编号后进行每木调查,测量每株的胸径、树高、冠幅。林下草本层由于人为的除草以及除草剂的实施,使林下草本层生物量很少,因此没有对草本层的生物量进行调查。同时,在实际工作中难以对多样地的产胶量进行统计,除 7 年生样地没有产胶外,其他 4 块样地的产胶量也未计算在生物量中。多样地基本特征见表 1。

**1.2.2 样木生物量的测定** 在每木调查的基础上,选择不同林龄和大小的风倒和更新橡胶树共 30 株作为样木,进行生物量测定。测定其基径、胸径、树高和冠幅并按 2 m 区分段锯断称量,在树干基部、胸径和中部及顶端分别锯取一个圆盘测定含水量;并分别称取枝条、叶片和花果的鲜质量;根的生物量采用全挖法,并分根颈、根桩、大根 ( $D \geq 2$  cm)、小根 ( $0.5$  cm  $\leq D < 2$  cm) 和细根 ( $D < 0.5$  cm) 等不同级别分别进行称量。然后对各部分器官分别取样带回实验室,叶在 75 °C 下,其他器官在 105 °C 下烘干至恒量,求出各器官干鲜质量之比,由此换算出样木各器官的干质量及总干质量。

表 1 西双版纳橡胶林样地基本特征

Tab 1 Site description of rubber plantation in Xishuangbanna

林龄 (a)	坡度 (°)	坡向	坡位	海拔 (m)	株行距 (m)	地理位置	
						E	N
7	25~ 30	西南	下	580	2.5 × 6	101° 14' 45.7"	21° 56' 46.8"
7	30~ 35	西南	中	595	2.5 × 6	101° 14' 45.3"	21° 56' 48.8"
7	30	西南	上	610	2.5 × 6	101° 14' 44.4"	21° 56' 50.6"
13	30	东南	中下	580~ 600	2.5 × 6	101° 14' 42.1"	21° 56' 47.0"
13	25~ 30	东南	中上	600~ 620	2.5 × 6	101° 14' 40.1"	21° 56' 49.6"
13	30~ 35	东	上	620~ 640	2.5 × 8	101° 14' 36.3"	21° 56' 52.0"
19	30	东南	整坡	560~ 570	2.5 × 8	101° 14' 42.8"	21° 56' 33.1"
19	30	东南	整坡	560~ 570	2.5 × 8	101° 14' 43.5"	21° 56' 34.8"
19	25	西南	中上	570~ 585	2.5 × 8	101° 14' 41.0"	21° 56' 36.7"
25	15	西	中	570~ 580	2.5 × 8	101° 16' 27.0"	21° 54' 37"
25	15~ 20	东南	下	570~ 580	2.5 × 8	101° 16' 28.9"	21° 54' 36.8"
25	15~ 20	东北	中下	570~ 580	2.5 × 8	101° 16' 28.2"	21° 54' 39"
47	0~ 5	东北	中上	565	2.5 × 8	101° 16' 04"	21° 55' 24"
47	0~ 5	东北	中下	565	2.5 × 8	101° 16' 04.2"	21° 55' 23.4"
47	0~ 5	西南	中	565	2.5 × 8	101° 16' 03.5"	21° 55' 22.9"

## 2 结果与分析

### 2.1 生物量回归模型的建立

研究表明,生物体各部分器官与测树因子之间普遍存在着相关关系,这种相关关系可以用数学模型进行拟合,其表达式为:  $W = ax^b$ , 式中,  $W$  为各个器官的生物量,自变量  $x$  可选用树高 ( $H$ )、胸径 ( $D$ ) 或胸径平方乘以树高 ( $D^2H$ ) 等测树因子,  $a$ 、 $b$  为方程中的待估参数。该方程能较真实地反应树木生物量随胸径 ( $D$ ) 和树高 ( $H$ ) 的变化趋势 (李意德, 1993 Overman *et al.*, 1994 任海等, 2000 Chave *et al.*, 2001; 樊后保等, 2006; 徐雯佳等, 2008)。

本文根据橡胶的生长情况选择不同林龄和径阶的橡胶树样木,利用其胸径 ( $D$ ) 和胸径平方乘以树高 ( $D^2H$ ) 2 种常用测树因子作为自变量建立橡胶树各器官 (树干、枝、叶、根) 生物量和总生物量的幂指数回归模型 (表 2)。以  $D$  或  $D^2H$  为自变量建立起来的橡胶树各器官生物量和总生物量数学模型的相关系数在 0.928~ 0.990,  $t$  检验均达到极显著水平 ( $P < 0.001$ )。表明利用  $W = aD^b$  和  $W = a(D^2H)^b$  两个模型均可对橡胶林的生物量进行估测。

### 2.2 橡胶林生物量随林龄的动态变化

根据不同林龄橡胶林的样地调查资料,分别运用 2 个模型对各林龄橡胶林不同器官的生物量进行推算 (表 3), 结果表明,除 13 年生林分外,以  $D^2$  为参数的模型估测结果均略高于以  $D^2H$  为参数的模型。二者对各器官生物量估计的差异在 0.11~

23.34  $t \cdot \text{hm}^{-2}$ , 总生物量的估计差异在 4.14~ 33.07  $t \cdot \text{hm}^{-2}$ 。单因素方差分析 (ANOVA, Turkey-test) 表明, 2 个模型对生物量的估计结果并没有显著差异 ( $P > 0.05$ ), 均可用来对橡胶林生物量进行估测。但由于树高估计会带来一定误差, 故在本研究选用以树木胸径 ( $D$ ) 为自变量的生物量数学模型 ( $W = aD^b$ ) 对不同林龄橡胶林的生物量进行分析。

橡胶林生物量与其林龄密切相关, 生物量随林龄的增加而迅速增长 (表 3)。7、13、19、25 和 47 年生橡胶林生物量分别为 23.98、66.90、150.37、171.12 和 250.21  $t \cdot \text{hm}^{-2}$ 。但各不同年龄阶段生物量的增加幅度不同, 其中以 13~ 19 年生林分生物量增加最为迅速, 6 年间生物量增加了 83.47  $t \cdot \text{hm}^{-2}$ , 平均年增长量达到 13.91  $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 7~

表 2 西双版纳橡胶林生物量回归模型

Tab 2 Regression models for rubber biomass in Xishuangbanna

参数	器官	回归模型	相关系数 ( $R^2$ )
$D$	干	$W_S = 0.050D^{2.596}$	0.987
	枝	$W_B = 0.015D^{2.563}$	0.941
	叶	$W_L = 0.007D^{2.215}$	0.955
	根	$W_R = 0.108D^{1.948}$	0.971
	总计	$W_T = 0.136D^{2.437}$	0.989
$D^2H$	干	$W_S = 0.0203(D^2H)^{0.9959}$	0.990
	枝	$W_B = 0.0067(D^2H)^{0.9748}$	0.928
	叶	$W_L = 0.0034(D^2H)^{0.8445}$	0.946
	根	$W_R = 0.0563(D^2H)^{0.7439}$	0.965
	总计	$W_T = 0.0592(D^2H)^{0.9324}$	0.987

\*.  $P < 0.001$ .

表 3 西双版纳不同林龄橡胶林生物量及其器官分配 ( $t \cdot hm^{-2}$ )

Tab 3 Biomass allocation among various plant organs in rubber plantation with different stand ages in Xishuangbanna

林龄 (a)	模型参数	干	枝	叶	根	总计
7	$D^2$	12.86 ± 2.72 (53.61%)	3.63 ± 0.76 (15.14%)	0.75 ± 0.15 (3.11%)	6.12 ± 1.14 (25.54%)	23.98 ± 4.93 (100%)
	$D\dot{H}$	9.52 ± 2.00 (52.40%)	2.73 ± 0.57 (15.02%)	0.58 ± 0.11 (3.20%)	4.94 ± 0.89 (27.18%)	18.17 ± 3.68 (100%)
13	$D^2$	38.66 ± 3.26 (57.79%)	10.74 ± 0.92 (16.06%)	1.87 ± 0.18 (2.80%)	13.53 ± 1.46 (20.22%)	66.90 ± 6.03 (100%)
	$D\dot{H}$	41.91 ± 7.66 (58.07%)	11.61 ± 2.12 (16.09%)	2.00 ± 0.36 (2.77%)	14.41 ± 2.54 (19.97%)	72.16 ± 13.07 (100%)
19	$D^2$	92.17 ± 11.73 (61.30%)	25.29 ± 3.23 (16.82%)	3.88 ± 0.52 (2.58%)	25.45 ± 3.71 (16.93%)	150.37 ± 19.46 (100%)
	$D\dot{H}$	89.56 ± 13.26 (61.24%)	24.37 ± 3.65 (16.67%)	3.77 ± 0.61 (2.58%)	25.00 ± 4.33 (17.09%)	146.23 ± 22.43 (100%)
25	$D^2$	106.56 ± 16.50 (62.27%)	29.15 ± 4.50 (17.03%)	4.32 ± 0.65 (2.52%)	27.52 ± 4.06 (16.08%)	171.12 ± 26.12 (100%)
	$D\dot{H}$	101.83 ± 13.16 (62.21%)	27.57 ± 3.57 (16.84%)	4.13 ± 0.54 (2.52%)	26.64 ± 3.55 (16.28%)	163.68 ± 21.31 (100%)
47	$D^2$	169.50 ± 28.04 (67.74%)	45.54 ± 7.49 (18.20%)	5.62 ± 0.88 (2.25%)	31.19 ± 4.66 (12.47%)	250.21 ± 40.40 (100%)
	$D\dot{H}$	146.16 ± 19.10 (67.32%)	38.54 ± 5.01 (17.75%)	4.91 ± 0.62 (2.26%)	28.02 ± 3.47 (12.9%)	217.12 ± 27.99 (100%)

括号内为各器官占总生物量的比例。

13年生林分生物量增长也较快, 平均年增长量为  $7.15 t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ ; 而 19~25和 25~47年生林分生物量分别增长了 20.76和 79.09  $t \cdot hm^{-2}$ , 平均年增长量分别为 3.46和 3.60  $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 。说明 19年生以前, 尤其是 13~19年生这一阶段为林分迅速增长期, 此后随着林分成熟, 生物量积累减少, 增长速度也比较稳定。

### 2.3 不同林龄橡胶林生物量的器官分配规律

通过分析不同林龄橡胶各器官生物量数据可知(表 3), 各器官生物量均随着林龄的增加而增大。但各器官生物量的增加幅度不同, 其占总生物量的比例也有所变化。不同林龄橡胶林生物量在各器官中的分配比例大小顺序略有不同, 7、13和 19年生林分为: 干 > 根 > 枝 > 叶; 而 25和 47年生林分为: 干 > 枝 > 根 > 叶。根和枝在不同生长阶段分配比例大小的不同, 表明了橡胶的根和枝在不同发育阶段其生长上的差异, 在 19年生前根的生长要大于枝的生长, 25年后枝的生长则大于根的生长。

随着林龄的增加, 各器官生物量的分配体现出一定的规律性(表 3): 在各个年龄阶段, 均以树干的生物量最大, 占到整个生物量的 50% 以上, 并随着林龄的增加, 树干生物量所占比例逐渐增大, 其中 47年生橡胶林中树干生物量占总生物量的比例达到 67.74%; 枝条生物量占总生物量的比例与树干表现出相似的规律, 从 7年生的 15.14% 增加到 47年生的 18.20%; 而叶片和根的生物量占总生物量

的比例则随着林龄的增加呈现出下降的趋势, 7年生林分叶的生物量占总生物量的 3.11%, 到 47年生林分中其所占比例下降到 2.25%; 根所占的比例也从 7年生的 25.54% 下降到 47年生的 12.47%。树干和枝的比例越来越大, 而根和叶的比例越来越少, 表明随着橡胶年龄的增长, 越来越多的干物质被储存在树干和枝条中。

随着林龄增加, 根生物量和叶片生物量的比例也发生了变化(表 3)。根叶生物量之比从 7年生的 8.21 下降到 47年生的 5.55, 随着林分成熟, 根叶生物量之比也逐渐趋于稳定。这可能是由于在幼龄期较多的生物量被分配到根中有利于养分和水分的吸收。而随着林分生长, 根叶比逐渐减少。相对于根生物量, 有更多的生物量被分配到叶片中, 这有利于植物体争取到更多的光源和空间以利于个体生物量的积累。此后随着林分逐渐成熟, 植物体中根和叶的生物量之比也趋于稳定, 在营养吸收和光合作用的分配中达到效益最大化。

为了解橡胶林各器官和总生物量随林龄增长的动态变化, 根据表 3 中的数据, 以林龄 ( $x$ ) 为横坐标, 以不同林龄阶段各器官的生物量 ( $y$ ) 为纵坐标, 采用多种线性与非线性回归模型对不同器官和总生物量进行模拟, 并选用相关系数最高者作为优化回归模型, 橡胶林各器官和总生物量的增长模型为:

$$\hat{y} = -0.0723x^2 + 7.8964x - 42.018 \quad (R^2 = 0.9851, P < 0.001) \quad (1)$$

$$\text{枝: } y = -0.0205x^2 + 2.1776x - 11.453$$

$$(R^2 = 0.9847, P < 0.001) \quad (2)$$

$$\text{叶: } y = 2.6981 \ln x - 4.5488$$

$$(R^2 = 0.963, P < 0.001) \quad (3)$$

$$\text{根: } y = 14.129 \ln x - 20.276$$

$$(R^2 = 0.914, P < 0.001) \quad (4)$$

$$\text{总: } y = -0.136x^2 + 13.12x - 65.86$$

$$(R^2 = 0.983, P < 0.001) \quad (5)$$

t-检验表明, 上述拟合的橡胶林各器官和总生物量的动态模型 (1) ~ (5) 均达到极显著水平 ( $P < 0.001$ ), 表明拟合的模型能够很好地反映各器官和整个系统的生物量随时间变化的动态过程。

### 3 讨论

#### 3.1 生物量模型的选择

生物量模型是确定森林生物量的主要方法, 根据尺度不同可以分为单木生物量模型和大尺度森林生物量模型, 前者是通过样木观测建立树木的相对生长方程进行生物量的估测, 后者利用多种遥感信息参数进行模拟, 从而实现对陆地植被生物量的估计 (Foody *et al.*, 2003; 王维枫等, 2008)。许多学者 (Nelson *et al.*, 1999; Ketterings *et al.*, 2001) 利用多种生物量模型来估计林木的生物量。目前相对生长方程的拟合多采用对数形式, 常用的模型变量和变量形式有: 胸径 ( $D$ )、 $D^2$ 、树高 ( $H$ )、 $D^2H$ , 也有的模型加上树龄、树冠等变量。但在森林群落调查中, 胸径通常能够较准确的测量, 而树高的测量通常存在较大的误差 (Brown *et al.*, 1989; Chave *et al.*, 2001)。研究表明, 生物量和胸径之间存在着很好的相关关系, 以胸径为单变量的生物量模型在多种森林生物量预测中广泛使用 (Chave *et al.*, 2001; Keller *et al.*, 2001; Segura & Kanninen, 2005)。本研究证明, 以胸径为单变量的生物量数学模型具有较高的精度, 各器官及总生物量数学模型的相关系数均达到极显著水平, 能够对不同林龄橡胶林各组分的生物量进行有效预测。另外, 在本研究中, 由于橡胶人工林林相较为整齐, 同一林龄橡胶林中树高差异不大, 因此对树高的测量相对较为准确。以  $D^2H$  和  $D$  为自变量建立的 2 个数学模型所估测的结果之间并无显著差异, 表明均可用来估测不同林龄橡胶林的生物量。但以单一变量 ( $D$ ) 生物量回归模型更具有实用性。

#### 3.2 西双版纳橡胶林生物量与其他森林类型生物量的比较

森林生物量与许多生物学因素和非生物学因素密切相关, 如区域的水热条件、土壤条件以及森林的类型、年龄、优势种的组成, 活立木密度等 (李高飞和任海, 2004; 王维枫等, 2008), 本研究表明, 橡胶林的生物量与其林龄密切相关。与本地区其他森林类型相比, 橡胶林生物量远小于热带季节雨林的生物量 ( $407 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) (吕晓涛等, 2007) 和石灰山季雨林的生物量 ( $319.16 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) (戚剑飞和唐建维, 2008), 即使与我国热带林的平均生物量 ( $272.96 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 相比也偏低 (李高飞和任海, 2004)。李高飞和任海 (2004) 对中国不同气候带各类型森林的生物量的研究表明, 天然林的生物量大于人工林的生物量。这是由于天然林多为复层结构, 空间利用率高; 人工林树种较为单一, 而森林的物种多样性与森林的生产力在一定程度上成正相关 (Trombis & Mensas, 2000; Balanera & Aguirre, 2006)。同时热带地区的天然林中大树和巨树的存在, 对林分生物量的贡献巨大 (吕晓涛等, 2007)。

与本地区热带次生林的生物量相比 (5、10、14 和 22 年生林分的生物量分别为  $29.717$ 、 $37.727$ 、 $53.716$  和  $100.898 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) (唐建维等, 1998), 除 7 年生橡胶林生物量略低于 5 年生的热带次生林生物量外, 此后各林龄的橡胶林生物量均远大于林龄相近的次生林的生物量。表明人工经营的橡胶林除幼龄期的生物量积累稍低于次生林外, 此后橡胶林生物量的积累速率要大于次生林。

与我国其他热带地区不同的人工林生态系统的生物量相比, 周再知等 (1995) 对广东雷州半岛地区 25 年生更新橡胶林生物量的估测结果为  $104 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; 周光益等 (1997) 对海南 30 年生的木莲 (*Manglietia hainanensis*) 人工林的研究表明, 其生物量为  $144.07 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; 温远光等 (2000) 测定的尾叶桉 (*Eucalyptus urophylla*) 人工林的生物量为  $144.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 均小于本研究结果。马明东等 (2008) 对 32 年生楠木 (*Phoebe boumei*) 人工林生物量、碳含量、碳贮量及其空间分布的测定结果表明: 楠木林的平均生物量为  $174.33 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 其中乔木层为  $166.73 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 与本研究中 25 年生林分的生物量相近; 而广东省鹤山 15 龄的马占相思 (*Acacia mangium*) 人工林群落乔木层生物量为  $196.94 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  (任海和彭少麟, 2000), 高于本研究中 25 年生的橡胶林的生

物量, 这主要是其造林密度高达  $1600 \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 远大于本研究的橡胶林的种植密度所致。

西双版纳地区橡胶林的生物量高于其他地区的人工林, 这主要是因为西双版纳位于东南亚的热带北缘, 相对我国其他地区而言其年平均温度和降水量均较高, 为植物的生长发育提供了较为适宜的水热条件。但相对于当地的热带季节雨林、石灰山地雨林等自然植被, 其生物量明显偏低, 这主要是由于天然林和人工林在物种组成、结构特点等许多方面存在较大的差异所致。另一方面, 大面积物种丰富、群落结构复杂的热带雨林被单一的橡胶林替代后, 不仅造成了本地区生物多样性的流失, 也减少了该区域的森林生物量及碳贮量, 从而影响该区域的碳循环过程。

## 参考文献

樊后保, 李燕燕, 苏兵强, 等. 2006 马尾松-阔叶树混交异龄林生物量与生产力分配格局. 生态学报, **26**(8): 2463-2473

方精云, 陈安平, 赵淑清, 等. 2002 中国森林生物量的估算: 对 Fang等 Science一文(Science, 2001, 291: 2320-2322)的若干说明. 植物生态学报, **26**(2): 243-249

冯志立, 郑征, 唐建维, 等. 2005 西双版纳白背桐群落生物量研究. 生态学杂志, **24**(3): 238-242

冯仲科, 罗旭, 石丽萍. 2005 森林生物量研究的若干问题及完善途径. 世界林业研究, **18**(3): 25-28

冯宗炜, 陈楚莹, 张家武. 1982 湖南会同地区马尾松林生物量的测定. 林业科学, **18**(2): 127-134

黄玫, 季劲钧, 曹明奎, 等. 2006 中国区域植被地上与地下生物量模拟. 生态学报, **26**(12): 4156-4163

贾开心, 郑征, 张一平. 2006 西双版纳橡胶林生物量随海拔梯度的变化. 生态学杂志, **25**(9): 1028-1032

江洪, 朱家骏. 1986 云杉天然林分生物量和生产力的研究. 四川林业科教, **7**(2): 6-13

李高飞, 任海. 2004 中国不同气候带各类型森林的生物量和净第一性生产力. 热带地理, **24**(4): 306-310

李轩然, 刘琪璟, 陈永瑞, 等. 2006 千烟洲人工林主要树种地上生物量的估算. 应用生态学报, **17**(8): 1382-1388

李意德, 张振才. 1992 尖峰岭热带山地雨林生物量的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, **16**(4): 293-300

李意德. 1993 海南岛热带山地雨林林分生物量估测方法比较分析. 生态学报, **13**(4): 313-320

吕晓涛, 唐建维, 何有才, 等. 2007 西双版纳热带季节雨林的生物量及其分配特征. 植物生态学报, **31**(1): 11-22

马明东, 江洪, 刘跃建. 2008 楠木人工林生态系统生物量, 碳含量, 碳贮量及其分布. 林业科学, **44**(3): 34-39

马钦彦. 1989 中国油松生物量的研究. 北京林业大学学

报, **11**(4): 1-10

彭少麟, 张祝平. 1990 鼎湖山森林植被主要优势种黄果厚壳桂、厚壳桂生物量及第一性生产力研究. 植物生态学与地植物学学报, **14**(1): 23-32

戚剑飞, 唐建维. 2008 西双版纳石灰山季雨林的生物量及其分配规律. 生态学杂志, **27**(2): 167-177

任海, 彭少麟, 向言词. 2000 鹤山马占相思人工林的生物量和净初级生产力. 植物生态学报, **24**(1): 18-21

施济普, 唐建维, 张光明, 等. 2001 西双版纳刀耕火种轮歇地植物群落生物量的初步研究. 生态学杂志, **20**(5): 12-15

唐建维, 张建侯, 宋启示, 等. 1998 西双版纳热带次生林生物量的初步研究. 植物生态学报, **22**(6): 489-498

唐建维, 张建侯, 宋启示, 等. 2003 西双版纳热带人工雨林生物量及净第一性生产力的研究. 应用生态学报, **14**(1): 1-6

王维枫, 雷渊才, 王雪峰, 等. 2008 森林生物量模型综述. 西北林学院学报, **23**(2): 58-63

温远光, 梁宏温, 招礼军, 等. 2000 尾叶桉人工林生物量和生产力的研究. 热带亚热带植物学报, **8**(2): 123-127

谢寿昌, 刘文耀, 李寿昌. 1996 云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林生物量的初步研究. 植物生态学报, **20**(2): 167-176

徐雯佳, 刘琪璟, 马泽清, 等. 2008 江西千烟洲不同恢复途径下白栎种群生物量. 应用生态学报, **19**(3): 459-466

杨景成, 黄建辉, 唐建维, 等. 2005 西双版纳农田弃耕后橡胶园的建立对碳的固存作用. 植物生态学报, **29**(2): 296-303

郑征, 冯志立, 曹敏, 等. 2000 西双版纳原始热带湿性季节雨林生物量及净初级生产. 植物生态学报, **24**(2): 197-203

周光益, 曾庆波, 林明献. 1997 海南木莲人工林生物量及养分分配. 林业科学研究, **10**(5): 453-457

周再知, 郑海水, 尹光天. 1995 橡胶树生物量估测的数学模型. 林业科学研究, **8**(6): 624-629

Balvanera P, Aguirre E. 2006 Tree diversity, environmental heterogeneity and productivity in a Mexican tropical dry forest *Biotropica*, **38**: 479-491

Bond-Lamberty B, Wang C, Gower ST. 2002 Aboveground and belowground biomass and sapwood area allometric equations for six boreal tree species of northern Manitoba *Canadian Journal of Forest Research*, **32**: 1441-1450

Brown S, Gillespie A, Lugo AE. 1989 Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data *Forest Science*, **35**: 881-902

Brown S, Lugo AE. 1984 Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes *Science*, **223**: 1290-1293

Chave J, Riera B, Dubois MA. 2001 Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: Spatial and temporal variability *Journal of Tropical Ecology*, **17**: 79-96

Fang JY, Chen AP, Peng CH, et al. 2001 Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998

- Science*, **292**: 2320–2322.
- Foody GM, Boyd DS, Cutler MEJ. 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment*, **85**: 463–474.
- Garkoti SC. 2008. Estimates of biomass and primary productivity in a high-altitude maple forest of the west central Himalayas. *Ecological Research*, **23**: 41–49.
- Houghton RA, Lawrence KT, Hacker JL, et al. 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: A comparison of estimates. *Global Change Biology*, **7**: 731–746.
- Houghton RA. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology*, **11**: 945–958.
- Keller M, Palace M, Hurtt G. 2001. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil: Examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management*, **154**: 371–382.
- Ketterings QM, Coe R, van Noordwijk M, et al. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, **146**: 199–209.
- Li HM, Aide TM, Ma YX, et al. 2007. Demand for rubber is causing the loss of high diversity rain forest in SW China. *Biodiversity and Conservation*, **16**: 1731–1745.
- Mahli Y, Baldocchi DD, Jarvis PG. 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment*, **22**: 715–740.
- Nelson BW, Mesquita R, Pereira JLG, et al. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*, **117**: 149–167.
- Oveman JP, Witte HJL, Sakharriaga JG. 1994. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, **10**: 207–218.
- Segura M, Kanninen M. 2005. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica*, **37**: 2–8.
- Troumbis AY, Menzies D. 2000. Observational evidence that diversity may increase productivity in Mediterranean shrublands. *Oecologia*, **125**: 101–108.
- Wemer C, Zheng X, Tang J, et al. 2006. N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions from seasonal tropical rainforests and a rubber plantation in Southwest China. *Plant and Soil*, **289**: 335–353.
- Zhang H, Zhang GL, Zhao YG, et al. 2007. Chemical degradation of a Ferrasol (Oxisol) under intensive rubber (*Hevea brasiliensis*) farming in tropical China. *Soil & Tillage Research*, **93**: 109–116.

---

作者简介 唐建维,男,硕士,副研究员。主要从事森林生态学研究,发表论文 50 余篇。E-mail tangjw@xtbg.org.cn  
责任编辑 王伟

---