

网络出版时间:2017-05-10 13:36

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.06.009

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170510.1336.018.html

不同林龄尾巨桉人工林的生物量分配格局

张利丽,王志超,陈少雄,竹万宽,杜阿朋

(中国林业科学研究院 国家林业局桉树研究开发中心,广东 湛江 524000)

[摘 要] 【目的】对雷州半岛 5 个不同林龄(1,2,3,5,7 年生)尾巨桉(*E. urophylla* × *E. grandis*)人工林及林下植被的生物量进行研究,分析各林分生物量组成、分配特征及不同林龄间生物量的变化趋势,为分析桉树林碳汇功能随林龄的变化规律提供依据。【方法】采用解析木分析法测定乔木层生物量,利用 15 株不同年龄和径阶的样木数据,建立以胸径(*D*)为自变量的叶、枝、干、根、皮等各器官生物量方程,然后估算各林分乔木层及各器官生物量;灌木层、草本层和枯落物层生物量采用样方收集法测定。【结果】尾巨桉林分总生物量随林龄的增加而增大,总生物量变化于 15.11~301.80 t/hm²。各林龄中乔木层生物量占总生物量比例均最大,为 36.07%~90.49%,且随着林龄的增加而增大;林下灌木层、草本层和枯落物层生物量所占比例基本随林龄增加而减小,分别占 4.62%~18.73%,1.55%~24.09%和 2.83%~21.11%。乔木层中树干生物量所占比例最大,为 24.91%~66.79%,在 1~3 年生尾巨桉林分中其比例呈增长趋势,在 3~5 年生林分中呈下降趋势,在 5~7 年生林分中又逐渐增加;叶、枝、根、皮生物量分别占乔木层总生物量的 2.37%~23.63%,8.90%~20.70%,17.34%~30.49%和 4.55%~8.08%。【结论】1~7 年生的 5 个林龄尾巨桉林分生物量随林龄的增加表现各异;5~7 年生尾巨桉林分生物量较其他树种人工林林分高,是生长较快、碳汇潜力巨大的优良造林树种。

[关键词] 尾巨桉;人工林;生物量;林龄;雷州半岛

[中图分类号] S718.5

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2017)06-0061-08

Biomass allocation pattern of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* plantation at different ages

ZHANG Lili, WANG Zhichao, CHEN Shaoxiong, ZHU Wankuan, DU Apeng

(China Eucalypt Research Centre, Chinese Academy of Forestry Science, Zhanjiang, Guangdong 524000, China)

Abstract: 【Objective】This paper measured the biomass in each *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* plantation at different ages to provide basis for change of carbon sinks in *Eucalyptus* forests. 【Method】The biomasses of plantation and undergrowth vegetation of *E. urophylla* × *E. grandis* at five ages (1,2,3,5, and 7 years) in Leizhou Peninsula were investigated, and the composition, distribution pattern, and variation trend in each forest were analyzed. Parsing wood analysis was used to determine biomass in arbor layer, and data of 15 sample trees of *E. urophylla* × *E. grandis* with different ages and diameters were used to establish biomass equations for leaf, ranch, steam, root and skin using diameter at breast height as independent variable. The biomasses of shrubs, herbs and litter fall layers were determined by quadrat method. 【Result】The total forest biomass of *E. urophylla* × *E. grandis* plantation increased with stand age and the total biomasses were 15.11—301.80 t/hm². Arbor layer had the largest contributions of

[收稿日期] 2016-05-13

[基金项目] 国家自然科学基金青年基金项目“不同林龄桉树人工林水文过程及水量平衡研究”(31300383);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项;广东湛江桉树林生态系统国家定位观测研究站项目

[作者简介] 张利丽(1988—),女,河北邯郸人,硕士,主要从事桉树可持续经营研究。E-mail:zhanglili3223@163.com

[通信作者] 杜阿朋(1979—),男,河北定州人,副研究员,博士,主要从事桉树林生态研究。E-mail:dapzj@163.com

36.07%—90.49% and increased with stand age. The ratios of shrub layer, herbs layer and litterfall layer substantially decreased with the increase of stand age and accounted for 4.62%—18.72%, 1.55%—24.09%, and 2.83%—21.11% respectively. The trunk biomass in the wooden arbor accounted the largest ratio of 24.91%—66.79%. There was a growing trend in 1—3 years old forests and a declining trend in 3—5 years old. The forest stand gradually increased again in 5—7 years old. The biomasses of leaf, ranch, root and skin contributed 2.37%—23.63%, 8.90%—20.70%, 17.34%—30.49% and 4.55%—8.08% to the total arbor biomass. 【Conclusion】 Five *E. urophylla* × *E. grandis* plantations with different ages of 1—7 years showed different trends with the increase of forest age. The biomass of 5—7 years old forests were higher than that of other stands, and it is a good afforestation tree species with fast-growing and carbon sequestration capacity.

Key words: *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*; plantation; biomass; forest age; Leizhou Peninsula

森林是世界上除海洋之外最大的碳库^[1],对缓解温室效应和调节气候有重要作用。生物量作为森林生态系统最基本的数量特征^[2-3],是整个系统运行的营养物质来源和能量基础,也是度量植被碳库、研究森林生态系统包括碳在内的物质循环的重要参数^[4],准确获取森林生物量及其分配特征将成为森林碳循环研究中的关键问题^[5],在理论上和生产上都有重要意义^[6]。开展碳汇造林是当前推进碳汇林业发展的主要途径^[7],营造人工林作为新增的重要固碳手段之一,具有收获木材和固碳的双重功能,其固碳功能被认为是减缓全球气候变化的一种最有希望的选择^[8-9],其中速生丰产林以其巨大的生产力和固碳速率成为固定 CO₂ 的最重要途径,在全球碳循环中发挥着越来越重要的作用。

桉树是我国华南地区重要的战略树种之一,截止到 2015 年全国种植面积已达 450 万 hm²,接近全国人工林总面积的 6%^[10],年木材产量超过 3 000 万 m³。目前国内学者已就桉树人工林碳储量分配格局^[10-12]、桉树与其他树种碳汇功能比较^[13]、桉树林地土壤碳储量^[14-17]以及桉树固碳成本核算^[18]等进行了研究,可见桉树碳汇功能受到业内重视,相关研究也成为颇具活力的研究方向。但桉树一直作为商品林来经营,林下植被多样性也有所下降^[19],桉树林生物量作为分析桉树人工林生态系统碳循环和碳动态的基础,虽有部分研究^[4,20-22]却不系统,对于在连片且立地相近条件下不同林龄桉树林生物量分配的研究尚鲜见报道。本研究基于对桉树传统种植区——雷州半岛 5 个不同林龄(1,2,3,5 和 7 年生)尾巨桉(*E. urophylla* × *E. grandis*)人工林林分生物量的实地测定,分析其林分生物量及分配特征,为

深入分析桉树林碳汇功能随林龄的变化规律、生态系统碳循环及其结构功能的动态变化提供基础数据和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究区位于广东湛江桉树林生态系统国家定位观测研究站(21°30′N,111°38′E)内,最高海拔 220.8 m,最低海拔 80 m,为海洋性季风气候,年平均气温 23.1℃,极端最低温 1.4℃,极端最高温 38.1℃,年降雨量 1 500 mm 以上;土壤类型主要为浅海沉积物砖红壤和玄武岩砖红壤,其次为砂页岩红壤、花岗岩砖红壤,有机质含量在 10 g/kg 以上,pH 4.5~5.3。土壤肥力中等,符合桉树的生长条件要求。

试验地选择在低山丘陵地带,土壤以红壤为主,土层中厚,质地紧密。试验林包括 1,2,3,5 和 7 年生共 5 个不同林龄的尾巨桉人工林,林地均设置在国家级林木种苗示范基地,5 块林地自螺冈岭南坡下部连片设置,最陡处坡度也只有 12°,立地条件基本相同,5 个林分的造林密度相同(2 m×3 m),造林措施均为挖穴不炼山,同时 1~3 年生林分均在雨季来临前(4 月份左右)施肥除杂 1 次,5 年生林分全年未进行相应的抚育措施,7 年生林分经历 2014 年台风后于 2015 年初进行过卫生伐,最终保留密度为 840 株/hm²。试验选取样地的大小为 1 000 m²(50 m×20 m),每个林龄设置 3 个重复,共计 15 块样地,将每块样地划分为 10 个 10 m×10 m 的样方,对样方内胸径(*D*)≥2 cm 尾巨桉的胸径、树高、冠幅和坐标进行每木调查,并挂牌标记,以便后期进行复查。各样地的基本信息见表 1。

表 1 不同林龄尾巨桉人工林样地的基本特征

Table 1 Sites description of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantations with different ages

林龄/a Stand age	密度/(株·hm ⁻²) Density	坡度/(°) Slope	坡向 Aspect	坡位 Position	海拔/m Altitude	纬度 Latitude	经度 Longitude
1	1 275	10	南坡 South slope	下坡 Downgrade	122	21°15.700′	110°06.110′
2	1 245	0	—	平地 Flat	127	21°15.713′	110°06.110′
3	1 200	0	—	平地 Flat	88	21°15.840′	110°05.839′
5	1 110	12	南坡 South slope	下坡 Downgrade	128	21°15.713′	110°06.085′
7	840	12	东南坡 Southeast slope	下坡 Downgrade	144	21°15.561′	110°06.359′

1.2 研究方法

1.2.1 乔木层生物量的测定 根据每木检尺的结果,在每块样地中选取 3 株标准木,共 15 株,对其进行生物量的测定。每株标准木以 2 cm 为区分段进行树干解析,在树干基部、胸径处、中部和顶端取圆盘测定其含水率。根采用全挖法,分为小根(<2 cm)、中根(≥2~≤5 cm)和大根(>5 cm)3 部分。对尾巨桉根、干、枝、叶、皮 5 部分分别称取其总鲜质量,然后再分别称取约 300 g,先在 105 ℃下杀青 30 min,然后在 65~75 ℃下烘干 24 h 至恒质量^[23],称其干质量,求出各器官干鲜质量比,由此推算出样本各器官的干质量及总干质量。利用标准木根、干、叶、枝的干质量和总干质量建立各器官生物量及总生物量与标准木胸径(*D*)的幂函数回归方程($W=aD^b$,*W* 为生物量;*a*、*b* 为参数)。根据样地每木调查结果及各样地的生物量回归方程,计算尾巨桉乔木层各器官的生物量,并由此计算乔木层的总生物量。

1.2.2 灌木层、草本层和枯落物层生物量的测定 灌木层、草本层和枯落物层生物量的测定均在雨季结束(11 月份)后进行,按照“品”字形在每个样地中设置 3 个 2 m×2 m 的灌木层样方,同法设置 3 个 1 m×1 m 的草本层、枯落物层样方^[24]。调查记录灌木样方内灌木的优势种名、株数、高度、盖度和地径等因子,将样方内的灌木挖出分为干、枝、叶(花、果)、根,称其总鲜质量,取部分样品约 300 g 带回实

验室。采用同样的方法获取草本层和枯落物层样方内植物的各器官生物量,并取草本层和枯落物层样品各约 300 g 带回实验室。所有样品在 65~75 ℃下烘干至恒质量,测定其含水量及干质量。

1.2.3 数据处理 所有数据的多重比较分析和回归方程模型的建立均在 Excel 2003 和 SPSS 19.0 中进行。

2 结果与分析

2.1 乔木层生物量估算模型

有研究表明,尾巨桉各部分器官的生物量与测树因子间存在某种相关关系,这种相关关系可以用数学模型来表达,即建立以胸径或胸径平方乘以树高(D^2H)为自变量,总生物量为因变量的生物量估算模型^[25-26],其表达式为: $W=ax^b$,其中 *W* 表示各器官的生物量;*x* 为自变量,可选用树高(*H*)、胸径(*D*)或 D^2H (在自变量中加入 *H*,能消除同一树种不同林分间的差异);*a* 和 *b* 表示方程中的待估参数,本研究采用以胸径(*D*)为自变量的非线性幂函数,回归模型为 $W=aD^b$ 。表 2 表明,尾巨桉各器官干、枝、叶、根、皮和总生物量数学模型的决定系数(R^2) 在 0.847 0~0.988 8,残差平方和为 0.718 5~10.198 8,数值较小,并且 *P* 值均小于 0.01,*t* 检验均达到极显著水平,这说明可以用所建立的模型对尾巨桉生物量进行估算。

表 2 尾巨桉人工林各器官生物量估算模型

Table 2 Regression models of biomass for each organ of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*

器官 Organ	拟合方程 Fitting equation	<i>R</i> ²	残差平方和 Sum of squared residuals	<i>P</i>	样本数量/株 Number of samples
树叶 Leaf	$W=0.178\ 5D^{1.175\ 3}$	0.870 5	0.718 5	0.007 0	15
树枝 Ranch	$W=0.026\ 3D^{2.247\ 1}$	0.886 6	3.233 0	0.002 3	15
树干 Steam	$W=0.025\ 9D^{2.876\ 2}$	0.978 2	9.263 4	0.003 3	15
树根 Root	$W=0.192\ 0D^{1.843\ 1}$	0.847 0	8.081 0	0.009 0	15
树皮 Skin	$W=0.053\ 9D^{1.780\ 2}$	0.948 5	0.994 0	0.005 0	15
全株 Total single-tree	$W=0.192\ 5D^{2.365\ 8}$	0.988 8	10.198 8	0.001 3	15

2.2 乔木层生物量及其分配

尾巨桉林分乔木层各器官生物量和总生物量基本上均随林龄的增加而增大(表 3)。5 年生和 7 年

生尾巨桉林分乔木层各器官的生物量和总生物量均极显著大于其余 3 个林龄,7 年生的总生物量又极显著大于 5 年生。对于尾巨桉林分乔木层叶和枝的

生物量而言,1,2,3 年生尾巨桉之间差异不显著;对于树干、树根、树皮和总生物量而言,2 年生和 3 年生生物量均显著大于 1 年生(2 年生根除外)。就各林龄尾巨桉生物量增幅来看,3~5 年生增长最为迅速(117.98 t/hm²),5~7 年生次之(102.54 t/hm²),再次为 1~2 年生(27.82 t/hm²),2~3 年生增长最缓,仅为 19.31 t/hm²,这主要是由于林分保存率和抚育施肥时间节点差异造成的。

表 3 不同林龄尾巨桉人工林乔木层各器官生物量分配

Table 3 Biomass allocation in arbor layer of *E. urophylla*×*E. grandis* plantations with different stand ages

林龄/a Stand age	叶 Leaf		枝 Branch		干 Steam	
	生物量/ (t·hm ⁻²) Biomass	比例/% Proportion	生物量/ (t·hm ⁻²) Biomass	比例/% Proportion	生物量/ (t·hm ⁻²) Biomass	比例/% Proportion
1	1.29±0.23 Bb	23.63	1.13±0.24 Bb	20.70	1.36±0.21 De	24.91
2	2.50±0.26 Bb	7.51	3.23±0.37 Bb	9.71	17.38±1.44 Cd	52.24
3	2.20±0.29 Bb	4.18	4.68±1.06 Bb	8.90	28.20±2.66 Cc	53.63
5	5.32±0.86 Aa	3.12	19.00±3.40 Aa	11.14	85.04±3.07 Bb	49.86
7	6.48±0.50 Aa	2.37	24.43±4.75 Aa	8.95	182.41±4.92 Aa	66.79

林龄/a Stand age	根 Root		皮 Skin		总计 Total	
	生物量/ (t·hm ⁻²) Biomass	比例/% Proportion	生物量/ (t·hm ⁻²) Biomass	比例/% Proportion	生物量/ (t·hm ⁻²) Biomass	比例/% Proportion
1	1.33±0.17 Cc	24.36	0.35±0.05 De	6.41	5.45±0.85 De	100
2	7.75±0.94 BbCc	23.29	2.41±0.28 CDd	7.24	33.27±3.11 Cd	100
3	13.25±0.72 Bb	25.20	4.25±0.41 Cc	8.08	52.58±4.20 Cc	100
5	52.01±5.50 Aa	30.49	9.19±1.00 Bb	5.39	170.56±9.61 Bb	100
7	47.35±1.29 Aa	17.34	12.43±1.13 Aa	4.55	273.10±8.44 Aa	100

注:不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different capital letters mean extremely significant difference($P<0.01$); while different lowercase letters mean significant difference ($P<0.05$). The same below.

由于尾巨桉各器官生物量在林龄增加过程中的增幅存在差异,各林龄尾巨桉各器官生物量的分配比例也存在些许差异,1 年生尾巨桉林分为树干>树根>树叶>树枝>树皮,2 年生为树干>树根>树枝>树叶>树皮,3~7 年生均为树干>树根>树枝>树皮>树叶。在尾巨桉生物量分配中,树干的生物量在 5 个林龄中均最大,其变化于 24.91%~66.79%,基本随林龄的增加而增大;树叶和树枝生物量所占比例随林龄增加呈下降趋势;树根生物量所占比例先从 1 年生的 24.36% 上升至 5 年生的 30.49%,随后又下降至 7 年生的 17.34%;树皮生物量所占比例在 1~3 年生呈上升趋势,但在 3~7 年生又呈下降趋势。

2.3 灌木层、草本层和枯落物层生物量及其分配

不同林龄尾巨桉灌木层、草本层和枯落物层生物量分配见表 4。

表 4 不同林龄尾巨桉灌木层、草本层和枯落物层生物量分配

Table 4 Biomass allocation in shrub, herb and litter layers *Eucalyptus urophylla*×*E. grands* plantations with different stand ages

林龄/a Stand age	灌木层 Shrub layer		草本层 Herb layer		枯落物层 Litter layer		总计 Total	
	生物量/(t·hm ⁻²) Biomass	比例/% Proportion	生物量/(t·hm ⁻²) Biomass	比例/% Proportion	生物量/(t·hm ⁻²) Biomass	比例/% Proportion	生物量/(t·hm ⁻²) Biomass	比例/% Proportion
1	2.83±0.28 Cc	29.30	3.64±0.35 Aa	37.68	3.19±0.05 Cc	33.02	9.66±0.13 Bb	100
2	2.34±0.07 Cc	22.52	2.59±0.41 Aa	24.93	5.46±0.54 Cbc	52.55	10.39±0.57 Bb	100
3	3.57±0.40 Cc	28.79	2.53±0.12 Aa	20.40	6.30±0.69 BCbc	50.81	12.40±0.17 Bb	100
5	9.01±0.60 Bb	36.66	5.05±1.26 Aa	20.55	10.52±0.10 Aa	42.80	24.58±1.95 Aa	100
7	15.49±3.24 Aa	53.97	4.68±0.77 Aa	16.31	8.53±0.88 ABab	29.72	28.70±3.35 Aa	100

由表 4 可知,本研究中 5 个林龄尾巨桉林的林下地被物生物量存在一定差异。灌木层生物量基本随林龄的增大而增加,7 年生极显著大于 5 年生,二者又均极显著大于 1,2 和 3 年生,1~3 年生灌木层的生物量彼此差异不显著。草本层生物量在 1~3 年生尾巨桉林下大致随林龄增加而减少,随后又有所增加,但彼此差异不显著,随着桉树林冠密度越来越大,加上前 3 年的人工抚育强度最大,故 1~3 年生尾巨桉林林下草本层呈逐渐减少趋势,随后人工抚育强度下降,林分保留密度也降低,给林下草本层

的扩张提供了一定的空间,故此后的草本层生物量略有增加。5 个林龄尾巨桉林分枯落物层生物量差异明显,表现为 5 年生>7 年生>3 年生>2 年生>1 年生,基本随林龄增大林地呈累积增加的趋势,但本研究中由于 5 年生尾巨桉林分的保存密度(1 110 株/hm²)远大于 7 年生林分(840 株/hm²),故导致 5 年生林地枯落物层生物量高于 7 年生。1~7 年生林地林下地被生物总量随林龄增加而增大:7 年生(28.70 t/hm²)>5 年生(24.58 t/hm²)>3 年生(12.40 t/hm²)>2 年生(10.39 t/hm²)>1 年生(9.66 t/hm²)。

2.4 不同林龄尾巨桉总生物量组成及其分配

由表 5 可见,5 个林龄尾巨桉人工林总生物量呈现随林龄增大而增加的趋势,除 2 年生与 3 年生差异不显著外,其余均达极显著差异。从各林层生物量所占比例来看,5 个林分均为乔木层所占比例

最大(36.07%~90.49%),除 7 年生外,其比例随着林龄增加而增大,这是由于本研究中 7 年生尾巨桉林分的保存密度低于 5 年生,因此导致其乔木层组分比例略微下降。草本层和枯落物层生物量所占比例均随林龄增加而减小,灌木层生物量所占比例在各林龄排序为:1 年生>3 年生>2 年生>7 年生>5 年生,这主要是人为抚育措施和林分保留密度差异共同作用的结果。各林层生物量所占比例在 1 年生尾巨桉林的排序为乔木层>草本层>枯落物层>灌木层,在 2 年生尾巨桉林的排序为乔木层>枯落物层>草本层>灌木层,在 3 年生和 5 年生尾巨桉林的排序为乔木层>枯落物层>灌木层>草本层,在 7 年生尾巨桉林的排序则为乔木层>灌木层>枯落物层>草本层。总体而言,5 个林分的活地被物层生物量比例变化于 78.89%~97.17%,地上枯落物层总量所占比例变化于 2.83%~21.11%。

表 5 不同林龄尾巨桉人工林各林层生物量分配

Table 5 Biomass allocation in different layers of <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>E. grandis</i> plantations with different stand ages																			
林龄/a Stand age	乔木层 Tree layer		灌木层 Shrub layer		草本层 Herb layer		枯落物层 Litter layer		总计 Total										
	生物量/ (t · hm ⁻²)	比例/%	生物量/ (t · hm ⁻²)	比例/%	生物量/ (t · hm ⁻²)	比例/%	生物量/ (t · hm ⁻²)	比例/%	生物量/ (t · hm ⁻²)	比例/%									
	Biomass	Proportion	Biomass	Proportion	Biomass	Proportion	Biomass	Proportion	Biomass	Proportion									
1	5.45±0.85	De	36.07		2.83±0.28	Cc	18.73		3.64±0.35	Aa	24.09		3.19±0.05	Cc	21.11		15.11±1.84	Dd	100
2	33.26±3.11	Cd	76.20		2.34±0.07	Cc	5.36		2.59±0.41	Aa	5.93		5.46±0.54	Cbc	12.51		43.66±1.14	Cc	100
3	52.57±4.20	Cc	80.92		3.57±0.40	Cc	5.49		2.53±0.12	Aa	3.89		6.30±0.69	aBbCc	9.70		64.98±7.21	Cc	100
5	170.54±9.61	Bb	87.40		9.01±0.60	Bb	4.62		5.05±1.26	Aa	2.59		10.52±0.10	Aa	5.39		195.14±6.68	Bb	100
7	272.90±8.44	Aa	90.49		15.49±3.24	Aa	5.13		4.68±0.77	Aa	1.55		8.53±0.88	AaBb	2.83		301.80±10.41	Aa	100

3 讨论与结论

本研究中 5 个林龄尾巨桉林分乔木层生物总量为 5.45~273.10 t/hm²,随林龄增加而增大。树干占乔木生物量比例(24.91%~66.79%)随林龄增加而增大,除 7 年生尾巨桉林分外,其余 4 个林龄树干生物量所占比例均低于中国森林生态系统乔木层中平均树干生物量占比(58.2%)^[27],5 个林分树干所占乔木生物量比例也均低于付威波等^[4]在广西东南部测得的 1~8 年生尾巨桉林(51.07%~98.48%),这主要是由于本研究将树干部分的树皮单列出来计算比例所导致的。树叶占乔木生物量比例(2.37%~23.63%)随林龄增大而减小;树皮所占比例在 4.55%~8.08%变化,在 1~3 年随林龄增加而增大,3~7 年生又逐渐减小;树枝所占比例变化于 8.90%~20.70%,在 1~3 年生随林龄增加而减小,而 3~7 年生变化规律不明显。树根所占比例(17.34%~30.49%)随林龄变化无一定规律性。从乔木层各器官生物量占总生物量比例来看,雷州半

岛桉树林树枝和树根比例相对较大。这主要是由于桉树萌芽能力强,在雷州半岛多台风的情况下,树体受到风害后会萌生诸多枝条,导致树枝生物量所占比例增加;同时人为抚育措施尤其是施肥对根系发育有重要影响,而施肥时间的不固定性也会导致树根所占比例出现起伏。因此,在雷州半岛这一桉树传统种植区如何提高桉树树干生物量比例,是未来经营技术需要研究的一个难点问题。

本研究中相同林型不同林龄尾巨桉林分生物量增幅有一定差异。1,2,3,5 和 7 年生尾巨桉林分总生物量分别为 15.11,43.66,64.98,195.14 和 301.80 t/hm²,从 1 年生幼林到可采伐的 7 年生林总生物量增加了 18.97 倍,其中 1 年生到 2 年生总生物量的年增幅最大,增加了 1.89 倍。5 个林龄中 3~7 年生的尾巨桉林分总生物量均远大于时忠杰等^[28]在海南测得的 1~7 年生尾细桉(*Eucalyptus urophylla* × *E. tereticornis*)林分总生物量(49.72 t/hm²);5~7 年生的林分总生物量较付威波等^[4]在广西测得的 8 年生尾巨桉林分(137.51 t/hm²)和温

远光等^[20]测得的 10 年生尾叶桉(*Eucalyptus urophylla*)林分(144.85 t/hm²)高,究其原因这是由于桉树品种、立地、栽植密度及人为经营管理的差异导致的。本研究中 7 年生尾巨桉林分总生物量较李高飞等^[29]算得的亚热带常绿阔叶林生物量均值(221.94 t/hm²)和热带林生物量均值(272.96 t/hm²)都要高,但均低于西双版纳的热带山地雨林(312.6 t/hm²)^[30]和热带人工雨林(390.4 t/hm²)^[31]。与其他人工林树种相比,本研究中 5~7 年生尾巨桉林分总生物量高于 12 年生马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)林(89.94 t/hm²)^[32]、6~40 年生的湿地松(*Pinus elliotii*)林(42.19~165.40 t/hm²)^[33]、18 年生的樟树(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl.)林(111.08 t/hm²)^[34]、23 年生杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)林(141.65 t/hm²)^[35]、11 年生杨树(*Populus* L.)林(90.2 t/hm²)^[36]和 4.5 年生的厚荚相思(*Acacia crassicarpa*)林(75.45 t/hm²)^[37]。可见,尾巨桉是一个生长较快、碳汇潜力巨大的速生丰产林树种。

5 个林龄尾巨桉林分各林层生物量分配方面,乔木层生物总量所占比例最大(36.07%~90.49%),且随林龄增加呈上升趋势;草本层和枯落物层分别占林分总生物量的 1.55%~24.09%和 2.83%~21.11%,所占比例均随林龄增加而减小,这是由于随着林龄的增大,尾巨桉林郁闭度增大,导致草本层生物量减小,到 7 年生时尾巨桉林因枝和叶脱落导致更新换代能力下降,因此枯落物生物量也随之减少;灌木层生物量在 1 年生时所占比例最大,为 18.73%,这可能是由于 1 年生时林分空间较大,光照充足,因此灌木层生物量较大,5 年生时灌木层生物量所占比例最小,为 4.62%。这是因为,随着林龄的增加,生长至成熟林以后郁闭度下降,导致灌木层种类和数量较少,生长不良,从而导致灌木层生物量下降,这同史山丹等^[38]对山杨天然次生林下灌木层随林龄增加生物量下降的研究结果相似。

[参考文献]

[1] 汪珍川,杜 虎,宋同清,等. 广西主要树种(组)异速生长模型及森林生物量特征 [J]. 生态学报,2015,35(13):4462-4472.
Wang Z C,Du H,Song T Q,et al. Allometric models of major tree species and forest biomass in Guangxi [J]. Acta Ecologica Sinica,2015,35(13):4462-4472.

[2] 林 力. 马尾松人工林生物量模型的研究 [D]. 福州:福建农林大学,2011:1-60.
Lin L. Studies on the biomass model of *Pinus massoniana* plan-

tations [D]. Fuzhou:Fujian Agriculture and Forestry University,2011:1-60.

[3] Zakrzewski W T,Duchesne I. Stem biomass model for jack pine (*Pine banksiana* Lamb.) in Ontario [J]. Forest Ecology and Management,2012,279(6):112-120.

[4] 付威波,彭晚霞,宋同清,等. 不同林龄尾巨桉人工林生物量及其分配特征 [J]. 生态学报,2014,34(18):5234-5241.
Fu W B,Peng W X,Song T Q,et al. Biomass and its allocation characteristics of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantations at different stand ages [J]. Acta Ecologica Sinica,2014,34(18):5234-5241.

[5] 张 浩,宋同清,王克林,等. 桂西地区不同林龄栎类群落的生物量及其分配格局 [J]. 农业现代化研究,2013,34(6):758-762.
Zhang H,Song T Q,Wang K L,et al. Oak biomass and its allocation at different stand ages in west of Guangxi,China [J]. Research of Agricultural Modernization,2013,34(6):758-762.

[6] 王邵军,阮宏华. 全球变化背景下森林生态系统碳循环及其管理 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(2):113-116.
Wang S J,Ruan H H. Review on carbon cycle of forestry ecosystem and its management under the global changes [J]. Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition),2011,35(2):113-116.

[7] 魏晓华,郑 吉,刘国华,等. 人工林碳汇潜力新概念及应用 [J]. 生态学报,2015,35(12):3881-3885.
Wei X H,Zheng J,Liu G H,et al. The concept and application of carbon sequestration potentials in plantation forests [J]. Acta Ecologica Sinica,2015,35(12):3881-3885.

[8] 史 军,刘纪远,高志强,等. 造林对陆地碳汇影响的研究进展 [J]. 地理科学进展,2004,23(2):50-54.
Shi J,Liu J Y,Gao Z Q,et al. Research advances of the influence of afforestation on terrestrial carbon sink [J]. Progress in Geography,2004,23(2):58-67.

[9] 林德荣,李智勇. 中国 CDM 造林再造林碳汇项目的政策选择 [J]. 世界林业研究,2006,19(4):52-56.
Lin D R,Li Z Y. Policy study of CDM forestry carbon-sink projects in China [J]. World Forestry Research,2006,19(4):52-56.

[10] 王楚彪,刘丽婷,莫晓勇. 30 个桉树无性系人工林碳储量分析 [J]. 林业科学研究,2013,26(5):661-667.
Wang C B,Liu L T,Mo X Y. Carbon storage analysis of 30 *Eucalyptus* clonal plantation [J]. Forest Research,2013,26(5):661-667.

[11] 刘文飞,吴建平,樊后保,等. 连续年龄序列桉树人工林碳库 [J]. 生态环境学报,2013,22(1):12-17.
Liu W F,Wu J P,Fan H B,et al. Carbon pools in an sequence of *Eucalyptus* plantation forests [J]. Ecology and Environmental Sciences,2013,22(1):12-17.

[12] 文 丽,王克林,曾馥平,等. 不同林龄尾巨桉人工林碳储量及分配格局 [J]. 西北植物学报,2014,34(8):1676-1684.
Wen L,Wang K L,Zeng F P,et al. Carbon storage and its dis-

- tribution in *Eucalyptus urophylla* $\times$ *E. grandis* plantations at different stand ages [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2014, 34(8): 1676-1684.
- [13] 梁宏温, 罗宏, 温远光, 等. 桉树取代马尾松林对森林生态系统碳贮量的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(6): 1168-1174.
- Liang H W, Luo H, Wen Y G, et al. Effects of *Eucalyptus* plantation replacing masson pine nature forest on the carbon accumulation of forest ecosystems [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2010, 32(6): 1168-1174.
- [14] 刘姝媛, 刘月秀, 叶金盛, 等. 广东省桉树人工林土壤有机碳密度及其影响因子 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 1981-1985.
- Liu S Y, Liu Y X, Ye J S, et al. Soil organic carbon density of *Eucalyptus* plantations in Guangdong Province of China and related affecting factors [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(8): 1981-1985.
- [15] 梁关锋. 桉树人工林土壤碳库特征研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- Liang G F. Analysis of soil organic carbon of *Eucalyptus* plantation [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011.
- [16] 黄雪蔓. 南亚热带桉树人工林不同经营模式土壤碳动态变化及其调控机制 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2013.
- Huang X M. The dynamic and regulation mechanisms of soil carbon in *Eucalyptus* plantations in southern China [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2013.
- [17] 肖斌. 不同连栽代次桉树人工林土壤有机碳演变特征 [D]. 南宁: 广西大学, 2014.
- Xiao B. Evolution characteristics of soil organic carbon in different generation of continuous *Eucalyptus* plantations [D]. Nanning: Guangxi University, 2014.
- [18] 张治军, 张小全, 朱建华, 等. 广西主要人工林类型固碳成本核算 [J]. 林业科学, 2010, 46(3): 16-22.
- Zhang Z J, Zhang X Q, Zhu J H, et al. Cost of carbon sequestration of main plantation types in Guangxi [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(3): 16-22.
- [19] Edgard C. Sustainable plantations of high-yield *Eucalyptus* trees for protection of fiber: the Aracruz case [J]. New Forests, 1999, 17(1/2/3): 129-143.
- [20] 温远光, 梁宏温, 招礼军, 等. 尾叶桉人工林生物量和生产力的研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(2): 123-127.
- Wen Y G, Liang H W, Zhao L J, et al. Biomass production and productivity of *Eucalyptus urophylla* [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2000, 8(2): 123-127.
- [21] 温远光, 陈放, 刘世荣, 等. 广西桉树人工林物种多样性与生物量关系 [J]. 林业科学, 2008, 44(4): 14-19.
- Wen Y G, Chen F, Liu S R, et al. Relationship between species diversity and biomass of *Eucalyptus* plantation in Guangxi [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(4): 14-19.
- [22] 周群英, 陈少雄, 韩斐扬, 等. 不同林龄尾桉人工林的生物量和能量分配 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 16-22.
- Zhou Q Y, Chen S X, Han F Y, et al. Biomass and energy allocation in *Eucalyptus urophylla* $\times$ *Eucalyptus tereticornis* plantations at different stand ages [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(1): 16-22.
- [23] 毛培利, 成文连, 刘玉虹, 等. 滨海不同生境下盐地碱蓬生物量分配特征研究 [J]. 生态环境学报, 2011, 20(8/9): 1214-1220.
- Mao P L, Cheng W L, Liu Y H, et al. Biomass allocation in *suaeda salsa* population in different habitats of coastal zone [J]. Journal of Ecological Environment, 2011, 20(8/9): 1214-1220.
- [24] 太立坤, 余雪标, 杨曾奖, 等. 三种类型森林林下植被多样性及生物量比较 [J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 229-234.
- Tai L K, Yu X B, Yang Z J, et al. The comparison of the understory vegetation diversity and biomass of three types of forest [J]. Ecology and Environment Sciences, 2009, 18(1): 229-234.
- [25] 杜虎, 宋同清, 曾馥平, 等. 桂东不同林龄马尾松人工林的生物量及其分配特征 [J]. 西北植物学报, 2013, 33(2): 394-400.
- Du H, Song T Q, Zeng F P, et al. Biomass and its allocation in *Pinus massoniana* plantation at different stand ages in east Guangxi [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2013, 33(2): 394-400.
- [26] 黄月琼, 陈士银, 吴小凤. 尾叶桉各器官生物量估测模型的研究 [J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28(1): 44-48.
- Huang Y Q, Chen S Y, Wu X F. Estimate model for biomass of each organ of *Eucalyptus urophylla* [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2001, 28(1): 44-48.
- [27] 罗云建. 中国森林生态系统生物量及其分配研究 [D]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2012.
- Luo Y J. Biomass and allocation of China forest ecosystems [D]. Beijing: Research Center for Eco-Environmental Sciences Chinese Academy of Sciences, 2012.
- [28] 时忠杰, 徐大平, 高吉喜, 等. 海南岛尾桉人工林碳贮量及其分布 [J]. 林业科学, 2011, 47(10): 21-28.
- Shi Z J, Xu D P, Gao J X, et al. Carbon storage and its distribution of *Eucalyptus urophylla* $\times$ *E. tereticornis* plantations in Hainan Island, Southern China [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(10): 21-28.
- [29] 李高飞, 任海. 中国不同气候带各类型森林的生物量和净第一性生产力 [J]. 热带地理, 2004, 24(4): 306-310.
- Li G F, Ren H. Biomass and net primary productivity of the forests in different climatic zones of China [J]. Tropical Geography, 2004, 24(4): 306-310.
- [30] 郑征, 刘宏茂, 冯志立. 西双版纳热带山地雨林生物量研究 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(4): 347-353.
- Zheng Z, Liu H M, Feng Z L. Biomass of tropical montane rain forest in Xishuangbanna of Southwest China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(4): 347-353.
- [31] 唐建维, 张建候, 宋启示, 等. 西双版纳热带人工雨林生物量及净第一性生产力的研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 1-6.
- Tang J W, Zhang J H, Song Q S, et al. Biomass and net primary productivity of artificial tropical rainforest in Xishuangbanna [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(1): 1-6.
- [32] 丁贵杰, 王鹏程. 马尾松人工林生物量及生产力变化规律研

究:Ⅱ.不同林龄生物量及生产力[J].林业科学研究,2002,15(1):54-60.

Ding G J, Wang P C. Study on change laws of biomass and productivity of Masson Pine forest plantation: Ⅱ. Biomass and productivity of stand at different ages [J]. Forest Research,2002,15(1):54-60.

[33] 汪企明,石有光.江苏省湿地松人工林生物量的初步研究[J].植物生态学与地植物学学报,1990,14(1):1-12.

Wang Q M, Shi Y G. A preliminary study on the biomass and production of slash pine plantation in Jiangsu Province [J]. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica,1990,14(1):1-12.

[34] 姚迎九,康文星,田大伦.18年生樟树人工林生物量的结构与分布[J].中南林学院学报,2003,23(1):1-5.

Yao Y J, Kang W X, Tian D L. Study of the biomass and productivity of *Cinnamomum camphora* plantation [J]. Journal of Central South Forestry University,2003,23(1):1-5.

[35] 俞月凤,宋同清,曾馥平,等.杉木人工林生物量及其分配的动态变化[J].生态学杂志,2013,32(7):1660-1666.

Yu Y F, Song T Q, Zeng F P, et al. Dynamic changes of biomass and its allocation in *Cunninghamia lanceolata* plantations of different stand ages [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013,32(7):1660-1666.

[36] 吴泽民,孙启祥,陈美工.安徽长江滩地杨树人工林生物量和养分积累[J].应用生态学报,2001,12(6):806-810.

Wu Z M, Sun Q X, Chen M G. Biomass and nutrient accumulation of poplar plantation on beach land in Yangtze River in Anhui province [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2001,12(6):806-810.

[37] 秦武明,何斌,覃世赢.厚荚相思人工林生物量和生产力的研究[J].西北林学院学报,2008,23(2):17-20.

Qin W M, He B, Qin S Y. Biomass and productivity in *Acacia crassicarpa* plantation [J]. Journal of Northwest Forest University,2008,23(2):17-20.

[38] 史山丹,赵鹏武,周梅,等.大兴安岭南部温带山杨天然次生林不同生长阶段生物量及碳储量[J].生态环境学报,2012,21(3):428-433.

Shi S D, Zhao P W, Zhou M, et al. Biomass and carbon storage of the secondary forest (*Populus davidiana*) at different stand growing stages in southern Daxinganling temperature zone [J]. Ecology and Environmental Sciences,2012,21(3):428-433.