

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.01.021

南亚热带 4 个树种人工林生物量及其分配格局

郭 耆¹, 赵厚本^{2*}, 周光益², 隆卫革¹, 甘谷列¹,
吴尚勇¹, 蒙敏燕¹, 陈金兰¹

(1. 广西生态工程职业技术学院, 广西 柳州 545004; 2. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520)

摘要: [目的] 对比南亚热带 4 个树种间生物量及其分配格局的差异, 为评估人工林生产能力和碳汇潜力提供基础数据, 为区域人工林提质增效改造和建设高效碳汇林的树种选择提供科学依据。[方法] 通过标准地调查和生物量实测结合的方法, 研究了广西柳州市在马尾松采伐迹地上同期营造的 33 年生木荷、米老排、蓝果树和杉木人工林的生物量及其分配格局。[结果] 在立地条件、经营措施和林龄相同的条件下, 不同树种人工林乔木层和林分生物量存在显著差异, 林分生物量排序为木荷林 ($376.37 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 米老排林 ($284.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 杉木林 ($200.02 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 蓝果树林 ($175.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)。乔木层生物量占林分总生物量的 93.0%~98.3%, 处于绝对优势地位; 灌木层和草本层生物量占比较低 (平均 0.9%) 且空间分布不均匀, 不同林分间差异不显著; 枯落物层生物量占比 (平均 2.3%) 高于灌木层和草本层, 木荷林枯落物现存量显著高于其他 3 种林分。乔木层生物量在各器官的分配格局均为树干所占比例最大, 根或枝次之, 叶最低, 灌木和草本层生物量分配格局在不同林分间差异较大。[结论] 在南亚热带人工林经营和林分改造中, 选择速生阔叶树种造林可获得比针叶林更高的林分生产力和碳汇效益, 在人工林经营中建议采取适当调控措施增加林下植被以增加系统稳定性和可持续发展潜力。

关键词: 南亚热带; 生产力; 生物量模型; 成熟林; 林下植被

中图分类号: S718.55

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2022)01-0182-08

森林碳汇功能在调节全球碳平衡和应对气候变化方面的作用不可替代^[1]。森林生物量可反映森林生态系统功能的高低、结构优劣及生产力大小, 也是评估森林固碳能力和碳收支的重要指标。准确估算森林碳储量及增长潜力是森林评价的重要内容, 也是预测大气 CO₂ 浓度变化和全球气候变化的重要依据^[2-3]。因此, 森林生物量的监测与评估十分重要, 也是现今林学与生态研究的热点之一。我国研究人员自 20 世纪 70 年代后期开始陆续测定了一些主要用材树种如杉木 (*Cunninghamia lanceolata*

(Lamb.) Hook)、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)、马占相思 (*Acacia mangium* Willd.) 等的生物量^[4-7], 90 年代后, 人工林生物量研究日益增多, 涉及树种也越来越多^[8-10]。森林生物量估算一般分为直接测量和间接估算 2 种途径, 直接测量法包括皆伐法、平均木法和相对生长法; 间接估算法包括生物量转换因子法、生物量模型模拟法和遥感技术手段。目前, 随着遥感等新兴技术发展, 对区域生物量开展测定成为可能; 但地面实测仍应用最广泛, 也是校准新兴技术和新估算方法的基础^[11]。

收稿日期: 2021-06-30 修回日期: 2021-08-10

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (CAFYBB2019SZ003); 国家自然科学基金面上项目 (31770664)

作者简介: 郭耆 (1963—), 男, 工程师, 主要从事森林培育研究。

* 通讯作者: 赵厚本 (1981—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事恢复生态研究。E-mail: zhaohouben@163.com

科学地发展、利用和保护人工林并提高其生产力,对促进区域经济可持续发展和生态环境保护都具有重要意义。我国自20世纪70代开始加快了人工林营造步伐,目前我国人工林面积约占森林总面积的33.17%,居世界首位。我国南亚热带地区水热条件优越,树木材质优良,生长迅速,是理想的人工林培育区域,也是我国最重要的商品林区与木材战略储备基地。由于研究与发展的滞后,该区域人工林仍以松、杉、桉等树种为主^[12],存在着林分质量和生产力下降、生态服务功能低下、稳定性差等问题^[13]。当前,对低效人工林进行提质增效改造是林业发展的重点方向,当务之急是筛选出一批适应性强、生长迅速、材质优良的阔叶用材树种。目前,在南亚热带地区已开展了这方面的一些研究^[14-17],但对一些有发展潜力的常绿阔叶树种生长特性的了解还不够深入,不同树种间的对比研究也较匮乏。为此,本研究在广西柳州沙塘林场选取相同立地条件下同一时期造林且造林后经营措施相同的4个树种人工林,开展生物量及分配格局的研究,旨在了解和对比阔叶树种与针叶树种及不同阔叶树种间生物量及其分配格局的差异,为评估南亚热带人工林生产能力和碳汇潜力提供基础数据,为区域人工林提质增效改造和建设高效碳汇林的树种选择提供科学依据与技术支撑。

1 研究区概况

试验地位于广西东南部柳州市沙塘镇的广西沙塘林场(108°17′~108°24′ E, 24°27′~24°30′ N)。该地区属南亚热带季风型半湿润—湿润气候,年均气温20.1℃,≥10℃的活动积温7 500℃,无霜期357 d;年均降水量1 200~1 500 mm,干湿季节明显,4—9月的雨季集中了年降水量的85%左右,

10月至翌年3月的旱季降水仅占年降水量的15%左右。该地为丘陵地貌,海拔150~230 m;土壤为砂岩发育成的红壤,土层深厚且层次不明显,肥力中上,呈酸性。

试验地林分为1986年在立地条件一致(表1)的马尾松采伐迹地上营造的木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)林、米老排(*Mytilaria laosensis* Lec.)林、蓝果树(*Nyssa sinensis* Oliv.)林和杉木林。初植密度均为1 666株·hm⁻²,栽植后的最初3年人工铲草抚育,10年生时进行透光伐,清除杂灌及生长不良树木,20年生时进行间伐,伐除生长不良、干形差、有损伤等树木,控制间伐后的林分郁闭度为0.6~0.65,之后自然生长。调查时的林冠郁闭度较高,林下植被稀疏且分布不均匀,灌木以粗叶榕(*Ficus hirta* Vahl)、罗伞树(*Ardisia quinquegona* Blume)、三桠苦(*Melicope pteleifolia* (Champion ex Bentham) T. G. Hartley)为主;草本以淡竹叶(*Lophatherum gracile* Brongn.)、半边旗(*Pteris semipinnata* L. Sp.)、狗脊(*Woodwardia japonica* (L. F.) Sm.)为主。

2 研究方法

2.1 乔木层生物量测定

2019年11月,在上述4种林分中,选择代表性的地段,分别设置3个20 m×20 m的乔木调查样地,其概况见表1。对样地内所有胸径大于5 cm的乔木每木检尺,记录种名、胸径和树高。

通过采伐少量样本,将胸径、树高等易测指标与生物量构建回归模型是估算生物量的最常用方法^[18-19]。不同树种或同一树种不同地点的生物量相对生长模型也存在较大差异^[20]。因此,本文构建本区域4个树种的生物量模型,以减少估算误差。根

表1 不同树种人工林基本特征

Table 1 Basic characteristics of different tree species plantations

树种 Species	海拔 Altitude/ m	坡度 Slope/ (°)	坡向 Aspect	坡位 Position	密度 Density/ (株·hm ⁻²)	平均胸径 Average DBH/cm	平均树高 Average high/m	郁闭度 Canopy density
木荷 <i>Schima superba</i>	162~170	8~15	东北NE	中M	458.3±54.6 b	29.6±1.4 a	22.2±1.5 a	0.94±0.009 a
米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	126~149	10~20	东南SE	中M	1 133.3±44.1 a	18.6±1.5 b	18.5±1.7 b	0.95±0.007 a
蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i>	127~140	10~15	东南SE	中M	691.7±104.4 b	19.7±2.2 b	21.1±0.8 ab	0.85±0.015 c
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	135~162	15~25	南S	中M	1 300.0±38.2 a	18.2±0.4 b	18.7±0.7 ab	0.90±0.009 b

注:“±”号为标准误,数值后具有相同字母表示差异不显著($P>0.05$),下同。

Notes: The data followed “±” is standard error, and the same letter after the value indicates that there is no significant difference ($P>0.05$), the same below.

据样地每木调查数据,按2 cm一个径级进行分级统计径级分布特征,以此为依据结合中央多两端少的原则在样地外选择样木测定生物量。木荷共选择19株样木,胸径范围为7.0~35.8 cm;米老排共选择13株样木,胸径范围为6.9~37.7 cm;蓝果树共选择15株样木,胸径范围为12.6~38.7 cm;杉木共选择12株样木,胸径范围为13.5~38.9 cm。生物量测定采用收获法,用油锯在样木地上10 cm处伐倒,将树枝和树叶分离出来,将树干从1.3 m处截断,然后每隔2 m截一段直至树冠。将树根尽可能的全部挖出,并分成根头、大根(>5 cm)、中根(2~5 cm)、小根(0.5~2 cm)、细根(<0.5 cm)5个部分。将分离好的干、枝、叶、根称鲜质量后取样。取样方法为:树干在基部、胸径、中部和顶端分别取1个厚度5 cm的圆盘;树枝选有代表性的枝条从基部开始每隔1 m截取一段3~5 cm长的样品;树叶取300 g样品;树根每个部分取100~300 g样品。所有样品称鲜质量后装入已知质量的信封带回实验室,65℃烘干至恒质量,称干质量计算干鲜质量比,并由此换算出各器官的干质量。

选用幂函数形式的一元生物量方程($B=aD^b$),式中, B 为生物量(kg), D 为胸径(cm), a 和 b 为常数),利用非线性回归法建立4个树种单株各器官干质量和胸径间的回归方程(表2)。样地内自然萌生的其他树种生物量则采用已发表的南亚热带常绿阔叶林混合树种生物量模型^[21]。将样地每木调查结果代入模型计算乔木层每株树的各器官生物量,并由此获得单位面积的各器官生物量和乔木层生物量。

2.2 灌木层、草本层和地表枯落物层生物量的测定

在每个乔木样方内均匀设置3个2 m×2 m的灌木样方,记录样方内高度>50 cm且胸径<5 cm的灌木和乔木幼苗的种类、株数、基径和高度,每个灌木样方内设置1个1 m×1 m的草本样方,记录样方内所有草本植物(高度<50 cm的乔木幼苗和灌木计入草本层),记录完成后分别收获样方内灌木和草本植物,分成地上、地下2部分称鲜质量,同时收集草本样方内所有地表枯落物。以上每部分取约200 g样品称质量后装入已知质量的信封带回实验室65℃烘干至恒质量,称干质量计算含水率,根据鲜质量和含水率计算各层的干质量,并换算得到各层单位面积生物量。

表2 不同树种各器官生物量估算模型

Table 2 Biomass estimation models of different tree species and organs

树种 Species	器官 Organs	模型参数 Model parameter		R^2
		a	b	
木荷 <i>Schima superba</i>	干 Trunk	0.163 3	2.364 4	0.988
	枝 Branch	0.030 8	2.502 9	0.828
	叶 Leaf	0.012 9	2.101 2	0.493
	根 Root	0.002 2	3.145 6	0.899
米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	干 Trunk	0.475 5	1.970 7	0.941
	枝 Branch	0.032 6	2.204 7	0.825
	叶 Leaf	0.362 7	1.111 6	0.517
	根 Root	0.087 9	2.076 1	0.948
蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i>	干 Trunk	0.245 0	2.158 1	0.974
	枝 Branch	0.23E-5	5.165 3	0.926
	叶 Leaf	0.002 0	2.508 2	0.801
	根 Root	0.006 7	2.723 3	0.916
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	干 Trunk	0.524 3	1.788 7	0.974
	枝 Branch	0.001 0	3.149 8	0.941
	叶 Leaf	0.093 3	1.680 1	0.740
	根 Root	0.214 8	1.533 8	0.911

2.3 数据分析

数据整理、统计和制图在Excel 2013中完成,非线性回归分析、单因素方差分析(One-way ANOVA)和Duncan多重比较在SPSS 21.0中完成。

3 结果与分析

3.1 乔木层生物量及其分配

在相同立地、林龄及经营条件下,4个树种人工林乔木层生物量差异较大(表3),其中,木荷显著高于其他3个树种人工林,分别比米老排、杉木和蓝果树人工林高了29.8%、88.6%和121.9%。杉木和蓝果树人工林较低,且这2个树种间差异不显著。各树种的生物量在各器官的分配格局均表现为干占比最大(65.1%~73.3%),其次为枝和根(8.8%~19.8%),叶占比最低(1.8%~8.9%)(表3)。生物量在不同器官的分配存在树种差异,杉木的叶占比显著高于3个阔叶树种,蓝果树的干占比最高而叶和根的占比较低,木荷的干占比最低而枝占比最高,米老排的根占比最高。

3.2 林下植被和枯落物生物量及其分配

4种林分的灌木层生物量为0.78~4.22 t·hm⁻²,

表 3 不同树种人工林乔木层各器官生物量及所占比例

Table 3 Biomass and proportion of organs in tree layer of different tree species plantations

树种 Species	干 Trunk		枝 Branch		叶 Leaf		根 Root		总生物量 Total biomass/ (t·hm ⁻²)
	生物量 Biomass/ (t·hm ⁻²)	占比 Proportion/ %	生物量 Biomass/ (t·hm ⁻²)	占比 Proportion/ %	生物量 Biomass/ (t·hm ⁻²)	占比 Proportion/ %	生物量 Biomass/ (t·hm ⁻²)	占比 Proportion/ %	
木荷 <i>Schima superba</i>	236.07±12.49 a	65.1±0.4 c	71.91±3.87 a	19.8±0.0 a	7.50±0.40 c	2.1±0.0 c	47.47±3.20 a	13.1±0.4 b	362.95±19.56 a
米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	192.44±18.59 b	68.8±0.0 b	27.29±2.94 b	9.7±0.1 c	10.64±0.54 b	3.8±0.2 b	49.35±5.01 a	17.6±0.1 a	279.72±27.07 b
蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i>	119.38±10.95 c	73.3±1.5 a	21.39±4.75 b	12.8±1.4 b	2.97±0.32 d	1.8±0.0 c	19.85±2.37 b	12.1±0.1 c	163.59±18.32 c
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	133.26±4.81 c	69.3±0.0 b	16.93±0.80 b	8.8±0.1 c	17.04±0.60 a	8.9±0.0 a	25.17±0.85 b	13.1±0.1 b	192.40±7.02 c

蓝果树林最高而杉木林最低。草本层生物量为 0.43~2.96 t·hm⁻², 蓝果树林和杉木林较高而米老排林和木荷林较低 (表 4)。虽然各树种林下植被层生物量存在较大差异, 但差异不显著, 这是由于林下植被分布空间异质性较大。不同林分灌木层生物量的分配, 除木荷林外, 均表现为地上部分高于

地下部分; 草本层生物量的分配除米老排林外, 均表现为地上部分低于地下部分 (表 4)。4 种林分的枯落物现存量为 3.26~11.15 t·hm⁻², 其中, 米老排林、蓝果树林和杉木林间差异不显著, 而木荷林则显著高于其他 3 个林分。

表 4 不同树种人工林下层和枯落物层生物量及所占比例

Table 4 Biomass and proportion of understory and humus layer of different tree species plantations

树种 Species	灌木层生物量 Shrub biomass/(t·hm ⁻²)		灌木层总生物量 Shrub total biomass/ (t·hm ⁻²)	草本层生物量 Herb biomass/(t·hm ⁻²)		草本层总生物量 Herb total biomass/ (t·hm ⁻²)	枯落物层生物量 Humus layer biomass/ (t·hm ⁻²)
	地上 Aboveground	地下 Underground		地上 Aboveground	地下 Underground		
	木荷 <i>Schima superba</i>	0.60±0.14 a	0.70±0.05 ab	1.30±0.17 a	0.38±0.07 ab	0.58±0.13 a	0.96±0.08 a
米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	0.62±0.09 a	0.47±0.05 ab	1.09±0.09 a	0.23±0.19 b	0.20±0.18 a	0.43±0.37 a	3.26±0.35 b
蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i>	2.83±1.63 a	1.38±0.64 a	4.22±2.26 a	1.18±0.44 a	1.78±1.34 a	2.96±1.76 a	4.80±0.63 b
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.53±0.22 a	0.26±0.04 b	0.78±0.25 a	0.76±0.14 ab	1.71±0.04 a	2.47±0.17 a	4.35±0.54 b

3.3 林分总生物量及其分配格局

4 种林分的总生物量以木荷林最高, 显著高于其他 3 种林分, 分别比米老排林、杉木林和蓝果树林高了 32.3%、88.2%、114.4%; 其次为米老排林, 显著高于其他 2 种林分, 分别比杉木林和蓝果树林高了 42.2% 和 62.1%; 蓝果树林最低, 且和杉木林间差异不显著 (表 5)。

4 种林分的林分生物量分配格局基本一致, 均表现为乔木层最高, 占林分生物量的 93.0%~98.3%, 不同林分间差异不显著; 其次为枯落物层, 占林分生物量的 1.2%~3.0%, 木荷林和蓝果树林显著高于米老排林; 灌木层占林分总生物量的 0.3%~2.5%, 草本层占林分总生物量的 0.1%~1.7%, 不同林分间差异不显著, 其数值差异较大是灌木和草本分布的空间异质造成的。

4 讨论

4.1 乔木层生物量及其分配

人工林生物量与所在地的水热条件、土壤肥力、林龄、林分密度、树种组成、经营措施等多种因素相关^[15, 22]。本研究中, 4 种人工林为相同立地、相同管理下的同龄纯林, 乔木层生物量差异较大, 最高的木荷林是最低的蓝果树林的 2.22 倍, 表明不同树种森林生物量差异较大, 这在以往不同树种人工林生物量研究中有类似报道^[15, 17, 23]。树种自身的生物学特征是造成这种差异的主要原因。木荷是一种良好的用材、景观、防火树种^[24], 广泛用于防火林带建设、造林绿化和储备林建设等方面^[25], 以往研究中报道有很好的速生性, 如在马泽清等^[26]推算的江西千烟洲 11 种林分 19 a 林龄时的生物量中, 木荷林名列第二, 仅次于杉木林。本研

表5 不同树种人工林林分生物量及在各层的分配

Table 5 Stand biomass and its distribution in each layer of plantation with different tree species

树种 Species	乔木层 Tree layer		灌木层 Shrub layer		草本层 Herb layer		枯落物层 Humus layer		林分生物量 Forest biomass/ (t·hm ⁻²)
	生物量 Biomass/ (t·hm ⁻²)	占比 Proportion/ %	生物量 Biomass (t·hm ⁻²)	占比 Proportion/ %	生物量 Biomass/ (t·hm ⁻²)	占比 Proportion/ %	生物量 Biomass/ (t·hm ⁻²)	占比 Proportion/ %	
木荷 <i>Schima superba</i>	362.95±19.56 a	96.4±0.4 a	1.30±0.17 a	0.3±0.0 a	0.96±0.08 a	0.3±0.0 a	11.15±1.05 a	3.0±0.4 a	376.37±19.03 a
米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	279.72±27.07 b	98.3±0.3 a	1.09±0.09 a	0.4±0.0 a	0.43±0.37 a	0.1±0.1 a	3.26±0.35 b	1.2±0.2 b	284.51±26.95 b
蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i>	163.59±18.32 c	93.0±2.9 a	4.22±2.26 a	2.5±1.4 a	2.96±1.76 a	1.7±1.1 a	4.80±0.63 b	2.8±0.5 a	175.56±16.44 c
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	192.40±7.02 c	96.2±0.2 a	0.78±0.25 a	0.4±0.1 a	2.47±0.17 a	1.2±0.1 a	4.35±0.54 b	2.2±0.2 ab	200.02±7.39 c

究中,木荷林乔木层生物量显著高于其他3个树种,表现出很好的速生性。米老排是我国南亚热带地区的一个速生优良用材树种,具有生长快、成材早、适应性较广、抗性强等优点^[27],其早期具有较好的速生性,生长速度在种植后3~4 a最快,年均生长量在15~17 a达最高峰^[28]。本研究中,林龄33 a超过了米老排的快速生长期,可能是该树种人工林乔木层生物量小于木荷林的主要原因。蓝果树为园林绿化中优秀的季节性彩叶树种^[29],未见有关该树种生物量的研究报道,在本研究中,该树种森林生产力略低于杉木林,但差异不显著,表明生长特性较好。杉木是我国亚热带地区特有的优良速生用材树种,也是南方主要造林树种和重要针叶用材树种,其生物量累积速率在17 a达到最大^[30]。本研究中,杉木林乔木生物量最低,这可能是由于林龄33 a的杉木林进入了过熟期。有报道表明,杉木林生产力在林龄较高时低于阔叶林^[31]。

为更好适应生存环境,不同植物种类往往有不同的生物量分配策略,且随年龄和环境发生调整^[32-33]。对乔木来说,分配更多生物量给树干利于占据林冠上层空间,分配更多生物量给枝叶则利于有更大树冠。在本研究的4个树种中,木荷树干生物量占比最低而树枝最高,表明该树种倾向于增加树冠从而获取更多光照;米老排的根生物量占比最高,与之前研究相符^[34],表明该树种具有发达的根系,有利于养分竞争;蓝果树的树干生物量占比最高,表明该树种倾向于增加树高以占据林冠上层空间;杉木的叶生物量占比最高,是由其形态特征所决定的,即杉木通常在树干上产生大量的小枝。

4.2 林下植被层生物量及其分配

林下植被的物种组成和生长状况受森林类型、林龄、林分密度、立地条件等多个因素影响^[35]。光照是影响因素中最主要的因素^[36]。本研究的4个林

分中,林下植被生物量和林冠郁闭度存在明显负相关。木荷林和米老排林的郁闭度最高,其林下植被生物量最低;蓝果树林的郁闭度最低,其林下植被生物量最高,且显著高于其他3种林分,主要原因是部分树木生长不良形成了林斑,造成整体林冠郁闭度低,林内光照与林下植被分布不均匀,林下植被生物量从而升高。

灌木和草本层生物量的分配主要由植物自身生物学特征决定,此外,也受光照和养分等环境因素影响,一般地下生物量随林龄及郁闭度增加而逐渐变大^[37]。在本研究中,木荷林灌木层地上生物量小于地下生物量,和其他3种林分不同,主要原因可能是木荷林灌木层优势物种为粗叶榕,而该种根系较发达。同理,各林分草本层生物量分配差异的主要原因也是各林分草本层物种组成不同所致。

4.3 枯落物层生物量

枯落物层在森林地上和地下间起到了桥接作用,其分解释放的养分能够促进植物的生长^[38],而其物理遮挡却阻碍植物幼苗的生长^[39]。本研究中,木荷林的枯落物层生物量(11.15 t·hm⁻²)显著高于其他3种林分,也高于文献报道的广西国有高峰林场48年生(8.42 t·hm⁻²)^[40]和广州市27年生木荷人工林(5.30 t·hm⁻²)^[41],表明木荷的凋落物产生量大且相对难分解。地表枯落物量过大会影响种子萌发,可能是木荷林下植物较少的原因之一。米老排林的枯落物量较大,如广西凭祥市20年生和28年生人工林枯落物层生物量分别为5.24、5.25 t·hm⁻²^[9,42],广西南明县34年生人工林为10.50 t·hm⁻²^[43],本研究中33年生米老排林枯落物层生物量(3.26 t·hm⁻²)低于上述报道,其原因有待进一步研究。

4.4 林分生物量及其分配

人工林生物量一般高于相同立地和林龄的天然林,本研究中,4种林分的生物量(175.56~376.37

$\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) 高于我国森林平均值 ($84.08 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) [44] 和西南地区森林平均值 ($148.66 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) [45]。木荷林生物量高于其他3种林分, 表明木荷既具有速生性又具有较晚的成熟期, 是营造碳汇林和培育优质大径材的理想树种。米老排林生物量 ($284.51 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) 低于文献报道的广西凭祥27年生林 ($404.95 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) [17] 和广东云浮35年生林 ($364.87 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) [46], 表明本研究针对米老排林的培育措施还有很大提升空间。本研究中的杉木林生物量 ($200.02 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) 接近文献报道的福建三明市27年生林 (乔木层 $194.12 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) [47], 高于福建将乐县28年生林 (乔木层 $167.86 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) [48] 和湖南会同31年生林 ($186.97 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) [49], 表明杉木在边缘产区也能生长较好。

乔木层生物量在不同类型林分中均占林分生物量的绝大部分, 且在人工林中所占比例常大于天然林 [50]。人工林郁闭后, 培育树种占据了绝对优势, 林下灌草一般较稀少。本研究中, 4种林分的乔木层生物量在林分生物量中占绝对优势, 和之前研究结果相符 [15, 17]。虽然林下灌木和草本层生物量较低, 但也是森林生态系统的重要层次, 在维护森林健康和可持续发展方面有重要作用, 因此, 在人工林经营中如何调控乔、灌、草比例达到林业生产和系统健康的平衡是需进一步研究的问题。

5 结论

林龄和立地条件相同情况下, 木荷林生物量高于其他3种林分, 表明木荷既具有速生性又具有较晚的成熟期, 是营造碳汇林和培育优质大径材的理想树种。米老排林生物量低于木荷但高于蓝果树林和杉木林, 表明该树种早期具有优良的速生性, 后期生长速度也能超过杉木, 是一个优良的速生用材树种。蓝果树为园林绿化中优秀的季节性彩叶树种, 同时具有和杉木相当的生长速度。在南亚热带人工林经营和林分改造中, 选择速生阔叶树种造林可获得比针叶林更高的林分生产力和生态效益。4种林分的生物量绝大部分均集中在乔木层, 林下灌木和草本稀少且分布不均, 这不利于人工林的健康和稳定。在人工林近自然化经营中建议采取适当调控措施增加林下植被物种的种类和数量。

南亚热带地区植物种类极为丰富, 有大量适合造林的优秀阔叶树种, 受试验点条件所限, 本研究只对比了3种阔叶树和1种针叶树在相同林龄、立

地、经营条件下的生物量和分配差异, 尚有更多有潜力的树种有待研究。此外, 本研究只对比了单一经营方案和林龄下的各树种差异, 不能完整反映各树种在不同生长期和经营措施下的生长潜力差异, 还有待未来进一步研究。

参考文献:

- [1] Luo Y, Cadotte M W, Burgess K S, *et al.* Greater than the sum of the parts: how the species composition in different forest strata influence ecosystem function[J]. *Ecology Letters*, 2019, 22(9): 1449-1461.
- [2] Houghton R A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance[J]. *Global Change Biology*, 2005, 11(6): 945-958.
- [3] Yu G, Chen Z, Piao S, *et al.* High carbon dioxide uptake by subtropical forest ecosystems in the East Asian monsoon region[J]. *Proceedings of the National Academy of Science*, 2014, 111(13): 4910-4915.
- [4] 冯宗炜, 陈楚莹, 张家武, 等. 湖南会同地区马尾松林生物量的测定[J]. *林业科学*, 1982, 18(2): 127-134.
- [5] 任海, 彭少麟, 向言词. 鹤山马占相思人工林的生物量和净初级生产力[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 19-22.
- [6] 李意德, 曾庆波, 吴仲民, 等. 尖峰岭热带山地雨林生物量的初步研究[J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, 16(4): 293-300.
- [7] 潘维涛, 李利村, 高正衡, 等. 杉木人工林生态系统中的生物产量及其生产力的研究[J]. *湖南林业科技*, 1978(5): 1-12.
- [8] 陈辉, 何方. 锥栗人工林生物量与生产力的研究 I. 生物量的研究[J]. *中南林学院学报*, 2000, 20(2): 11-14.
- [9] 明安刚, 贾宏炎, 陶怡, 等. 桂西南28年生米老排人工林生物量及其分配特征[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(5): 1050-1056.
- [10] 吴庆锥. 米老排人工林生物量研究[J]. *福建林业科技*, 2005, 32(3): 125-129.
- [11] Jucker T, Caspersen J, Chave J, *et al.* Allometric equations for integrating remote sensing imagery into forest monitoring programmes[J]. *Global Change Biology*, 2017, 23(1): 177-190.
- [12] 蔡道雄, 郭文福, 贾宏炎, 等. 南亚热带优良珍贵阔叶人工林的经营模式[J]. *林业资源管理*, 2007(2): 11-14, 65.
- [13] 彭舜磊, 王得祥, 赵辉, 等. 我国人工林现状与近自然经营途径探讨[J]. *西北林学院学报*, 2008, 23(2): 184-188.
- [14] 郑威, 申文辉, 谭一波, 等. 桂东南红锥人工林生物量及分布特征[J]. *中南林业科技大学学报*, 2016, 36(5): 85-87.
- [15] 卢立华, 李华, 农友, 等. 南亚热带4种人工林生物量及其分配格局[J]. *中南林业科技大学学报*, 2020, 40(8): 91-98.
- [16] 杨玉盛, 陈光水, 王义祥, 等. 格氏栲人工林和杉木人工林碳吸存与碳平衡[J]. *林业科学*, 2007, 43(3): 113-117.
- [17] 郑路, 蔡道雄, 卢立华, 等. 南亚热带不同树种人工林生物量及其分配格局[J]. *林业科学研究*, 2014, 27(4): 454-458.
- [18] Zhao H B, Li Z J, Zhou G Y, *et al.* Site-specific allometric models for prediction of above- and belowground biomass of subtropical forests in Guangzhou, southern China[J]. *Forests*, 2019, 10(10): 862.
- [19] 曾伟生, 唐守正. 立木生物量方程的优度评价和精度分析[J]. *林业*

- 科学, 2011, 47 (11): 106-113.
- [20] Roxburgh S H, Paul K I, Clifford D, *et al.* Guidelines for constructing allometric models for the prediction of woody biomass: How many individuals to harvest? [J]. *Ecosphere*, 2016, 6(3): 1-27.
- [21] 林开森. 亚热带常绿阔叶林生物量模型及其分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37 (11): 115-120.
- [22] 刘延惠, 王彦辉, 于澎涛, 等. 六盘山主要植被类型的生物量及其分配[J]. 林业科学研究, 2011, 24 (4): 443-452.
- [23] 程彩芳, 李正才, 周君刚, 等. 树种组成对北亚热带11年生常绿阔叶林人工林碳储量的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35 (5): 1037-1043.
- [24] 倪 健. 中国木荷及木荷林的地理分布与气候的关系[J]. 植物资源与环境, 1996, 5 (3): 29-35.
- [25] 陈 芳, 华国栋. 木荷在广东省林业建设中的应用[J]. 林业与环境科学, 2017, 33 (4): 119-122.
- [26] 马泽清, 刘琪璠, 徐雯佳, 等. 江西千烟洲人工林生态系统的碳蓄积特征[J]. 林业科学, 2007, 43 (11): 1-7.
- [27] 徐 良. 南方优良速生树种——米老排[J]. 热带林业科技, 1984 (2): 53-60.
- [28] 郭文福, 蔡道雄, 贾宏炎, 等. 米老排人工林生长规律的研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19 (5): 585-589.
- [29] 黄云鹏, 范繁荣, 苏松锦, 等. 乡土彩叶树种蓝果树研究进展[J]. 福建林业科技, 2015, 42 (3): 240-244.
- [30] 杨 明, 汪思龙, 张伟东, 等. 杉木人工林生物量与养分积累动态[J]. 应用生态学报, 2010, 21 (7): 1674-1680.
- [31] 曾小平, 蔡锡安, 赵 平, 等. 南亚热带丘陵3种人工林群落的生物量及净初级生产力[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30 (6): 148-152.
- [32] 谢建文. 不同造林密度下杉木人工林的生物量与分配特征[J]. 亚热带农业研究, 2020, 16 (2): 84-88.
- [33] 程 煜, 洪 伟, 吴承祯, 等. 木荷地上部分生物量分布特征与生产力[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15 (3): 318-322.
- [34] 明安刚, 贾宏炎, 陶 怡, 等. 米老排人工林碳素积累特征及其分配格局[J]. 生态学杂志, 2012, 31 (11): 2730-2735.
- [35] 李 静, 王玲红, 程栋梁, 等. 不同龄组天然常绿阔叶林与杉木人工林林下草本层生物量分配特征[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2016, 40 (5): 170-176.
- [36] Tinya F, Márialigeti S, Király I, *et al.* The effect of light conditions on herbs, bryophytes and seedlings of temperate mixed forests in Őrség, Western Hungary [J]. *Plant Ecology*, 2009, 204(1): 69-81.
- [37] 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.
- [38] Brearley F, Press M C, Scholes J. Nutrients obtained from leaf litter can improve the growth of dipterocarp seedlings [J]. *New Phytologist*, 2003, 160(1): 101-110.
- [39] Denslow J S, Schultz J C, Strain B R. Growth responses of tropical shrubs to treefall gap environments [J]. *Ecology*, 1990, 71(1): 165-179.
- [40] 韦昌幸, 张党权, 王凤琴, 等. 木荷人工林生物量及生产力研究[J]. 广西林业科学, 2019, 48 (4): 509-513.
- [41] 林 雯, 李吉跃, 周 平, 等. 广州市3种典型人工林碳储量及分布特征研究[J]. 广东林业科技, 2014, 30 (2): 1-7.
- [42] 刘 恩, 刘世荣. 南亚热带米老排人工林碳贮量及其分配特征[J]. 生态学报, 2012, 32 (16): 5103-5109.
- [43] 周弘愿, 庞赞松, 何 斌, 等. 南亚热带米老排成熟林碳库及其分布格局[J]. 福建林业科技, 2015, 42 (3): 45-49.
- [44] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996, 16 (5): 497-508.
- [45] 于维莲, 董 丹, 倪 健. 中国西南山地喀斯特与非喀斯特森林的生物量与生产力比较[J]. 亚热带资源与环境学报, 2010, 5 (2): 25-30.
- [46] 徐洪芳, 刘子斐, 陈珍洪, 等. 米老排林分生长规律及生物量分布格局研究[J]. 湖南林业科技, 2016, 43 (6): 51-55.
- [47] 杨 振, 吴 凯, 李 智, 等. 炼山后27年生杉木人工林生长及生物量分配格局[J]. 福建农林大学学报:自然科学版, 2019, 48 (3): 344-349.
- [48] 涂宏涛, 孙玉军, 刘素真, 等. 亚热带杉木人工林生物量及其碳储量分布——以福建将乐县杉木人工林为例[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35 (7): 94-99.
- [49] 赵 坤, 田大伦. 会同杉木人工林成熟阶段生物量的研究[J]. 中南林学院学报, 2000, 20 (1): 7-13.
- [50] 方江平. 西藏南伊沟林芝云杉林生物量与生产力研究[J]. 林业科学研究, 2012, 25 (5): 582-589.

Biomass and Its Distribution Pattern of Four Tree Species Plantation in South Subtropical China

GUO Shi¹, ZHAO Hou-ben², ZHOU Guang-yi², LONG Wei-ge¹, GAN Gu-lie¹,
WU Shang-yong¹, MENG Min-yan¹, CHEN Jin-lan¹

(1. Guangxi Eco-engineering Vocational And Technical College, Liuzhou 545004, Guangxi, China; 2. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: [Objective] To compare the differences of biomass and its distribution pattern among plantations of 4 tree species in south subtropical area, provide data for evaluating the production capacity and carbon sink potential of plantation, and provide support for the selection of tree species for improving quality and efficiency of regional plantation and building high-efficiency carbon sink forest. [Method] The biomass and its distribution pattern of 33-years-old *Schima superba*, *Mytilaria laosensis*, *Nyssa sinensis* and *Cunninghamia lanceolata* plantations planted in the same period on *Pinus massoniana* clear-cutting site in Liuzhou City, Guangxi, were studied by the method of standard plot investigation combined with biomass measurement. [Result] Under the same site conditions, management measures and forest age, there were significant differences in tree layer and stand biomass among different tree species plantations, the order of stand biomass was *S. superba* plantation ($376.37 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) > *M. laosensis* plantation ($284.51 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) > *C. lanceolata* plantation ($200.02 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$) > *N. sinensis* plantation ($175.56 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$). The biomass of tree layer accounted for 93.0%-98.3% of the stand biomass, which was in an absolute dominant position. The biomass of shrub and herb layers accounted for a relatively low proportion (0.9% in average) and had a large spatial heterogeneity but no significant difference among different plantations. The biomass proportion of humus layer (2.3% in average) was higher than that of shrub and herb layers, and the humus pool of *S. superba* plantation was significantly higher than that of the other three plantations. The distribution pattern of biomass in tree layer was the largest in trunk, followed by root or branch, and the lowest in leaf. The distribution pattern of biomass in shrub and herb layers was different among different plantations. [Conclusion] In south subtropical plantation management and stand transformation, the selection of fast-growing broad-leaved tree species for afforestation can obtain higher stand productivity and carbon sequestration benefits than coniferous forest. It is suggested to take appropriate control measures to increase understory vegetation and to increase the system stability and sustainable development potential.

Keywords: south subtropical; productivity; biomass model; mature forest; understory vegetation

(责任编辑: 徐玉秀)