

亚热带甜槠天然林生物量研究

沈欣承^{1,2}, 刘益君^{1,2}, 任晓军^{1,2}

(1. 中南林业科技大学, 湖南长沙 410004; 2. 南方林业生态应用技术国家工程实验室, 湖南长沙 410004)

摘要:甜槠是亚热带典型的地被性植物, 群落类型多, 分布广, 在混交林中常形成上层的优势种, 或形成纯林, 本文通过对湖南平江县国有芦头林场天然甜槠林的生物量进行测定和分析, 建立了甜槠各器官生物量估测模型, 揭示了天然甜槠林不同径阶的生物量的分配规律。结果表明: 甜槠单株生物量与胸径存在正相关, 不同径阶之间存在较大差异, 其生物量在各器官生物量的分配均呈现出一致规律: 树干 > 树枝 > 粗根 > 树皮 > 大根 > 树叶 > 中根 > 小根 > 细根。甜槠林林分总生物量为 384.32 t·hm⁻², 其中乔木层的生物量为 373.86 t·hm⁻², 林下层的生物量为 10.46 t·hm⁻², 分别占生物量总量的 97.28% 和 2.72%。而天然甜槠林生物量在垂直结构的分配规律为: 乔木层 > 凋落物层 > 灌木层 > 草本层。研究结果可以为芦头林场天然甜槠林的管理及经营提供基础数据。

关键词:甜槠; 天然林; 生物量

中图分类号: S 718.55+6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-5710 (2017) 01-0047-06

doi: 10.3969/j.issn.1003-5710.2017.01.009

Natural forest biomass in subtropical *Castanopsis eyrei*

SHEN Xincheng^{1,2}, LIU Yijun^{1,2}, REN Xiaojun^{1,2}

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;
2. National Engineering Lab for Applied Technology of Forestry and Ecology in Southern China, Changsha 410004, China)

Abstract: *Castanopsis eyrei* is a typical sub-tropical ground-cover plant, with many types and widely distributed species. In the mixed forest, the dominant species in the upper layer or the pure forest are formed. In this paper, the biomass estimation model of *Castanopsis eyrei* was established, and the distribution rules of biomass of different natural forest diameters were revealed. The results showed that the biomass of individual plants increased with the DBH growth, and the biomass of the individual plant of different diameters was different, and the biomass of each plant showed the same rule: trunk > branch > coarse root > bark > big root > leaf > middle root > small root > fine root. The total biomass of the stand was 384.32 t·hm⁻², the biomass of the tree layer was 373.86 t·hm⁻², and the biomass of the understory layer was 10.46 t·hm⁻², which accounted for the total biomass 97.28% and 2.72% respectively. The distribution of biomass in the vertical structure of natural *Castanopsis eyrei* was: tree layer > litter layer > shrub layer > herb layer. The results provide a scientific basis and reference for *Castanopsis eyrei* forest management and long-term location monitoring.

Key words: *Castanopsis eyrei*; natural forest; biomass

近年来, 随着全球气候变化以及对地球碳循环的研究, 森林作为陆地生态系统中面积最多、最重要的自然生态系统, 它不仅对维护区域环境起着

重要的作用, 而且在全球碳平衡中扮演无可取代的角色^[1]。森林生物量是森林生态系统长期生产与代谢积累的有机物质总量, 是评价森林生态系统结

收稿日期: 2017-01-19

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项 (201404316); 湖南省自然科学创新研究群体基金 (湘基金委字 [2013] 7号); 国家林业局软科学研究项目 (2013-R09); 湖南省教育厅一般项目 (15C1431) 和城市森林生态湖南省重点实验室资助。

作者简介: 沈欣承 (1991-), 男, 湖南省娄底市人, 硕士研究生, 主要从事森林生态研究。E-mail: 370463487@qq.com。

构和功能的重要指标,代表着森林区域经营能力和解决其他林业与生态问题的根基^[2-4]。

甜槠是亚热带最典型的地带性植被,生长于海拔 300~1 700 m 丘陵或山地疏、密林中。在常绿阔叶或针阔混交林中常为主要树种,有时成小片纯林。其群落学特征、物种多样性、生产力特点及生态功能在亚热带常绿阔叶林中具有较强的代表性。甜槠一般生长于潮湿山地,在干燥山坡也能生长。基岩为粗粒黑云母岩及凝灰炼岩、流纹岩等。土壤为坡积山地黄壤、黄红壤, pH 值 4.5~5.5,呈酸性。枯枝落叶层厚度大概为 6 cm,一般分解良好,有机质含量丰富。在我国分布广泛,长江以南,除了云南和台湾的丘陵地区均有分布^[5-6]。

国内对甜槠林的研究大多集中在福建,安徽,浙江等地,主要对群落结构、生物量、生产力、土壤养分特征等方面进行了大量研究^[7-9],在湖南地区研究较少。甜槠作为湖南常绿阔叶林的顶级群落之一,在该地区生态系统中发挥着不可替代的作用。本文以亚热带甜槠天然林群落为研究对象,对其生物量进行研究,以期对甜槠森林生态系统功能、林场的生产建设和管理提供科学依据。

1 研究区概况

湖南平江县国有芦头林场(以下简称芦头林场)位于湖南省平江县的东南部,与浏阳接壤,地理坐标为 E 113°51'52"~113°58'24", N 28°31'17"~28°38'00",地处连云山东部,属罗霄山脉,呈西南-东北走向。芦头林场隶属中亚热带典型常绿阔叶林带北部植被亚地带—湘中湘东植被区—幕阜山、连云山地丘陵植被小区。西北有幕阜山挡住寒潮,东南面的暖湿气流在此抬升,使得该地水热条件优越,为众多植物提供了良好的栖息地。芦头林场年平均气温为 9.6~15.8℃,夏季极端最高气温海拔每升高 100 m 降低 0.75℃,冬季极端最低气温海拔每升高 100 m 降低 0.34℃。无霜期随海拔升高而缩短,变动在 245~186 d 之间。年平均降水量为 1 968.8 mm,多雨季节在 3~7 月,降水占全年的 66.8%。土壤以红壤、山地黄壤、山地黄棕壤等为主。其地带性植被结构完整、植被垂直带谱明显,林分类型多样,保存完好。

甜槠在芦头林场内分布广泛,最低海拔至 140 m,而在海拔 400 m~800 m 的狮子岩、桐木

洞、河下、芦头等地连片分布,约有 300 hm²左右。群落外貌深绿色,林相整齐、林冠波状起伏,郁闭度均在 0.8 以上。甜槠群落乔木层以甜槠为主,伴生树种有青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、苦枥木(*Fraxinus insularis*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、野漆(*Toxicodendron succedaneum*)等。灌木层物种丰富,有杜鹃(*Rhododendron simsii*)、台湾冬青(*Ilex formosana*)、虎皮楠(*Daphniphyllum oldhami*)、漆树(*Toxicodendron vernicifluum*)、青冈幼苗(*Cyclobalanopsis glauca*)、四角柃(*Eurya tetragonoclada*)、山矾(*Symplocos sumuntia*)、猴头杜鹃(*Rhododendron simiarum*)、乌药(*Lindera aggregata*)、格药柃(*Eurya muricata*)、树参(*Dendropanax dentiger*)、杨梅(*Myrica rubra*)等。草本层种类相对少,有黑鳞鳞毛蕨(*Athyrium nigripes*)、铁芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、苔草(*Carex tristachya*)、高粱泡(*Rubus lambertianus*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置

在芦头林场狮子岩和上山坪设置了 3 个 30×30 m 样地,在每个样地内设置 5 个 5×5 m 的灌木样方和 5 个 1×1 m 的草本样方。

乔木层测定所有胸径 > 5 cm 的木本植物名称、株数、胸径、高度和郁闭度;灌木层统计 < 3 m 的所有植株,包括乔木的幼苗幼树、灌木,记录种名、个体数、高度、盖度等。草本层记录种名、株数(丛数)以及高度、基径和盖度。

2.2 生物量测定

2.2.1 乔木层 对样地范围内的乔木进行每木检尺,根据标准样地调查结果,将林木胸径分为 5 个径阶,每个径阶选择 1-2 株标准木。采用收获法对各标准木进行生物量测定。将标准木从根基部伐倒,地上部分采取分层收获法,2 m 为一段,测定各段鲜重并采集干、枝、叶等小样本各 1 kg,地下部分采取全收获法,并将根系分为根头、粗根、中根、小根、细根进行称重,每部分采取样品 1 kg。带回实验室内在 80℃ 恒温下烘至恒重。计算各样品的含水率及干重,分别计算出标准木不同器官(树干、树枝、树叶和根系)的生物量。最后,通过建立回归方程计算乔木层林分的总生物量。

2.2.2 灌木层、草本层 灌木层和草本层的生物量采用全收获法, 随机选取 15 个灌木小样方中的 5 个, 对灌木按叶、枝干、根三部分分别测定其鲜重并取样; 草本层也随机选取 5 个, 分为地上部分和地下部分, 测定鲜重并取样。取样量均为 1 kg。将样品带回实验室, 叶在 85 °C 烘干至恒重, 枝、干和根在 105 °C 下烘干至恒重, 进行称重并求得含水率, 并且计算灌木层和草本的生物量。

2.2.3 凋落物 在样地内设置 5 个 1 × 1 m 的小样方, 按照未分解层、半分解层和已分解层收集凋落物, 收集完成后, 称重并取样, 取鲜样 1 kg。将凋落物样品带回实验室, 80 °C 下烘干至恒重后称重并计算生物量。

3 数据分析

林木各器官之间普遍存在着相对生长关系或称协同生长关系, 回归式法为当前生物量测定中较为精确合理的方法^[10-12]。由于林木器官生物量与胸径和树高存在函数关系, 根据林木相对生长法则, 利用各径级伐倒木各部分器官的生物量 (W) 与胸径 (D)、树高 (H) 之间的相互关系, 本文选择生物量与材积相关的经验模型 $W=a \times (D^2H)^b$ 和生物量与胸径相关的经验模型 $W=a \times D^b$ 进行分析比较, 并选择最佳拟合的数学回归模型。

由表 1 比较两种模型, 虽然用模型 $W=a \times (D^2H)^b$ 和 $W=a \times D^b$ 都能较好地估算甜槠林的生物量, 但由于地形和道路等因素, 在本次实验测定树高时, 主要运用的是目测法, 树高误差较大, 而胸径的测定十分方便。因此, 在本次试验中运用模型 $W=a \times D^b$ 来估算天然甜槠林的生物量。

4 结果与分析

4.1 不同径阶生物量及其分配

对甜槠林不同径阶单株生物量测定 (见表 2) 结果表明: 甜槠单株总生物量与径阶成正相关关系, 随着径阶的增长, 单株生物量增长十分显著, 最小径阶 (9.5 cm) 单株生物量 (41.43 kg·株⁻¹) 仅为最大径阶 (47 cm) 单株生物量 (1 990.32 kg·株⁻¹) 的 2.08%; 不同径阶甜槠单株各器官生物量的分配差异较大, 树干为生物量积累增加最多的部位, 最小径阶生物量 (20.06 kg·株⁻¹) 为最大径阶生物量 (1 233.90 kg·株⁻¹) 的 1.63%, 生物量在各器官分

表 1 甜槠相对生长模型的回归分析
Tab. 1 Regression analysis of relative growth model of *Castanopsis eyrei*

对象	模型	R ²
树干	$W=0.0161(D^2H)^{1.0818}$	0.9456
	$W=0.0225D^{2.8878}$	0.9768
树皮	$W=0.0057(D^2H)^{0.9477}$	0.9220
	$W=0.0075D^{2.5373}$	0.9579
树枝	$W=0.0107(D^2H)^{0.9540}$	0.9158
	$W=0.0141D^{2.5536}$	0.9511
树叶	$W=0.0042(D^2H)^{0.9262}$	0.9480
	$W=0.0056D^{2.4716}$	0.9786
粗根	$W=0.0067(D^2H)^{0.9729}$	0.9104
	$W=0.0087D^{2.6099}$	0.9497
大根	$W=0.0039(D^2H)^{0.9699}$	0.9526
	$W=0.0054D^{2.5828}$	0.9793
中根	$W=0.0044(D^2H)^{0.9007}$	0.9350
	$W=0.0058D^{2.4051}$	0.9662
小根	$W=0.0026(D^2H)^{0.9262}$	0.9284
	$W=0.0035D^{2.4765}$	0.9621
细根	$W=0.0008(D^2H)^{0.9883}$	0.9568
	$W=0.0013D^{2.6118}$	0.9686

配具有统一规律, 为树干 > 树枝 > 粗根 > 树皮 > 大根 > 树叶 > 中根 > 小根 > 细根。

对比甜槠林地上和地下部分生物量可知, 甜槠林与其它常绿阔叶林相似, 单株地下部分生物量仅占单株生物量的 15% ~ 25%, 其中粗根、大根和中根的生物量占地下部分生物量的绝大部分, 小根与细根的生物量较少。这说明甜槠主根系明显, 根系分布较深, 侧根不发达。甜槠根系生物量和单株生物量一样, 均随着径阶的增长而增加。

4.2 林分生物量

由表 3 可知, 天然甜槠林生物量在垂直方向的分布规律为: 乔木层 > 凋落物层 > 灌木层 > 草本层。其中乔木层的生物量为 373.86 t·hm⁻², 占甜槠林总生物量的 97.28%; 由此得出林分生物量主要集中在乔木层。而林下的灌木层、草本层和凋落物层仅占到林分总生物量的 2.72%, 其中凋落物层占林分总生物量的 1.99%。这可能是由于天然甜槠林林分郁闭度大, 透光性差, 抑制了林下植被的生长发育和凋落物的分解。

芦头林场天然甜槠林林分的总生物量为 384.32 t·hm⁻²。与我国其它地区同类型生态系统的生物量相比, 低于武夷山先锋岭甜槠林生物量

表2 不同径阶标准木各器官生物量
Tab. 2 Biomass of organs of different diameter (kg·株⁻¹)

胸径 (cm)	地上部分				小计	采集地点					小计	合计
	树干	树皮	树枝	树叶		粗根	大根	中根	小根	细根		
9.5	20.06	3.17	6.23	1.85	31.31	4.48	2.28	1.67	1.21	0.48	10.12	41.43
比例 (%)	48.42	7.65	15.04	4.47	75.58	10.81	5.50	4.03	2.92	1.16	24.42	100.00
14.5	34.90	4.02	7.59	3.05	49.56	5.36	3.96	2.52	1.72	1.15	14.71	64.27
比例 (%)	54.30	6.25	11.81	4.75	77.11	8.34	6.16	3.92	2.68	1.79	22.89	100.00
23	230.15	28.36	59.54	14.86	332.91	41.72	21.84	13.74	10.42	6.23	93.95	426.86
比例 (%)	53.92	6.64	13.95	3.48	77.99	9.77	5.12	3.22	2.44	1.46	22.01	100.00
33	708.12	63.91	125.59	39.42	937.04	102.35	54.61	33.74	25.87	15.68	232.25	1169.29
比例 (%)	60.56	5.47	10.74	3.37	80.14	8.75	4.67	2.89	2.21	1.34	19.86	100.00
47	1233.90	110.08	217.89	63.47	1625.34	162.94	93.81	48.99	38.42	20.82	364.98	1990.32
比例 (%)	62.00	5.53	10.95	3.19	81.67	8.19	4.71	2.46	1.93	1.04	18.33	100.00

表3 天然甜槠林各层生物量及其分布规律
Tab. 3 The biomass and distribution of various levels of natural *Castanopsis eyrei* forest (t·hm⁻²)

项目	生物量	比例 (%)
乔木层	373.86	97.28
凋落物层	7.66	1.99
灌木层	1.93	0.50
草本层	0.87	0.23
总计	384.32	100.00

(407.281 t·hm⁻²)^[13], 与武夷山黄溪洲甜槠林生物量 (390.65 t·hm⁻²)^[14]相近, 这主要与气候条件、海拔高低以及土壤肥力有关。与我国其他陆生森林相比, 低于广东鼎湖山格木林生物量 (568.17 t·hm⁻²)^[15]和湖南会同红栲-青冈-刨花楠林生物量 (446.3 t·hm⁻²)^[16], 与福建建清青冈林生物量 (387.6 t·hm⁻²)^[17]相近, 这主要与物种类型的差异有关。与其他国家的常绿阔叶林生物量比较, 虽然远低于新西兰假山毛榉林生物量 (446.3 t·hm⁻²)^[18], 但高于美国南卡罗莱纳州的月桂叶栎生物量 (217.6 t·hm⁻²)^[19]。这是因为在国外多采用相对生长法 (所有林木树种), 中国在常绿阔叶林群落生物量测定方法划分了不同林层, 乔木层采用相对生长法, 而灌木、草本层则多采用直接收获法。

4.2.1 乔木层 由表4可知, 甜槠林乔木层各器官生物量的分配规律与单株标准木规律基本一致, 其中树干的生物量占绝大部分的比例, 为61.71%。乔木层不同器官生物量大小排列为: 树干 > 树枝 > 粗根 > 树皮 > 大根 > 树叶 > 中根 >

小根 > 细根。甜槠林地下部分的生物量为 70.25 t·hm⁻², 与地上部分生物量 303.61 t·hm⁻² 的比例为 1:4.32, 与广西 46 年生灰木莲人工林生物量比例 (1:6.40)^[20]和四川红杉人工林生物量比例 (1:5.20)^[21]相比, 芦头林场甜槠林乔木层的根系更为发达。

表4 天然甜槠林林分乔木层生物量分配
Tab. 4 The tree layer biomass distribution of natural *Castanopsis eyrei* forest (t·hm⁻²)

项目	生物量	比例 (%)
树干	230.70	61.71
树皮	20.35	5.44
树枝	40.68	10.88
树叶	11.88	3.18
地上部分	303.61	81.21
粗根	31.03	8.30
大根	17.39	4.65
中根	9.60	2.57
小根	7.56	2.02
细根	4.67	1.25
地下部分	70.25	18.79
总计	373.86	100.00

4.2.2 灌木层 与乔木层生物量相比, 灌木层生物量的数值偏小 (见表5), 天然甜槠林灌木层生物量仅为 1926.75 kg·hm⁻²。天然甜槠林灌木层植物种类较多, 共 12 种。不同植物生物量之间差别较大, 其中杜鹃、青冈和台湾冬青的生物量分别为 411.54 kg·hm⁻²、341.91 kg·hm⁻² 和 294.22 kg·hm⁻², 三者共占该林分灌木层生物量总量的 54.37%。生物量最小的是树参, 仅为 45.77

kg·hm⁻², 是杜鹃生物量的 1/9。

与乔木层相似, 枝干的生物量占灌木层生物量的绝大部分。灌木层生物量在地上部分的分配大于地下部分。

表5 天然甜槠林灌木层生物量

Tab. 5 Natural *Castanopsis eyrei* forest shrub biomass (kg·hm⁻²)

种类	枝干	叶	根	合计
杜鹃	234.98	67.99	108.57	411.54
台湾冬青	171.07	42.51	80.64	294.22
虎皮楠	72.52	25.27	32.44	130.23
漆树	46.52	13.21	32.36	92.09
青冈	198.89	48.81	94.21	341.91
四角柃	49.53	24.59	32.49	106.61
山矾	35.77	14.05	21.36	71.18
猴头杜鹃	64.80	22.62	43.53	130.95
乌药	59.40	15.42	29.88	104.70
格药柃	52.99	23.86	27.30	104.15
树参	24.64	9.61	11.52	45.77
杨梅	53.63	12.55	27.22	93.40
合计	1 064.74	320.49	541.52	1 926.75

4.2.3 草本层 由表 6 可知, 草本层生物量最大的是黑鳞鳞毛蕨 (384.66 kg·hm⁻²), 占甜槠林草本层生物量总量的 44.34%; 生物量最小的是高粱泡, 仅为 110.46 kg·hm⁻²。

天然甜槠林林分郁闭度大, 林内湿度大, 适合蕨类及苔草类植物的生长繁殖, 故这两类植物占了草本层生物量的绝大部分, 为 87.27%。不同植物类型其生物量分配也不同, 蕨类植物的特点是根系发达, 地下部分生物量 (455.18 kg·hm⁻²) 为地上部分 (119.18 kg·hm⁻²) 的 3.9 倍。而高粱泡地下部分生物量 (21.24 kg·hm⁻²) 仅为地上部分 (89.22 kg·hm⁻²) 的 1/4。

4.2.4 凋落物 甜槠群落夹杂生长着一些落叶

表6 天然甜槠林草本层生物量

Tab. 6 Natural *Castanopsis eyrei* forest herb layer biomass (kg·hm⁻²)

种类	地上部分	地下部分	合计
黑鳞鳞毛蕨	76.84	307.82	384.66
铁芒萁	42.34	147.36	189.70
苔草	123.91	58.74	182.65
高粱泡	89.22	21.24	110.46
合计	332.31	535.16	867.47

乔木, 凋落物较厚, 因而其生物量较大, 为 7.66 t·hm⁻², 占林分生物量的 1.99%。甜槠林凋落物生物量分布为: 已分解凋落物 (2.86 t·hm⁻²) > 半分解凋落物 (2.74 t·hm⁻²) > 未分解凋落物 (2.06 t·hm⁻²) (见图 1)。

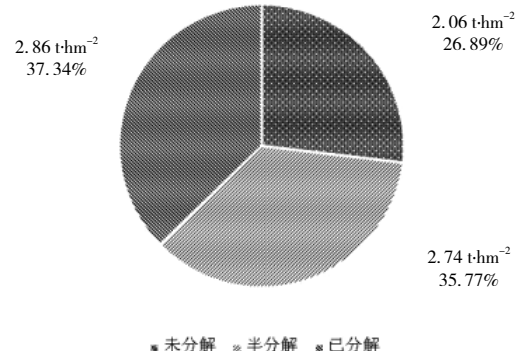


图 1 天然甜槠林凋落物生物量

Fig. 1 The litter biomass of natural *Castanopsis eyrei* forest

5 结论与讨论

天然甜槠林单株各器官生物量所占比例大小依次为: 树干 > 树枝 > 粗根 > 树皮 > 大根 > 树叶 > 中根 > 小根 > 细根, 各器官生物量与径阶之间存在正相关, 不同径阶的标准木单株生物量之间差距明显。天然甜槠林群落生物量主要集中在乔木层, 占林分生物量总量的 97.28%, 其中树干占绝对优势, 生物量占林分生物量总量的 61.71%, 而且随着林龄增加, 生物量累计得越明显, 这一分配格局也与其他许多树种一样, 符合用材树种分配规律。但是甜槠天然林林内郁闭度大, 不利于林下植物发育生长和凋落物的分解, 林下灌木层、草本层和凋落物的生物量仅占 2.72%。在天然甜槠林经营管理中, 应进行抚育间伐, 提高林内透光度, 促进林下植物生长发育和凋落物的分解, 加速林内养分循环。

本文构建生物量相对生长模型时, 自变量只考虑了常用的胸径和树高, 可增加林龄以提升模型的估算精度。但本文研究对象是甜槠天然林, 其林龄的确定较为困难, 如果将林龄纳入生物量模型中, 反而降低了模型的实用性。因此, 生物量相对生长模型的选择应根据实际情况, 综合考虑准确性与实际需求之间的平衡。在以后的研究中, 为了提高生物量估算的准确性, 还是应当选用更多测量指标, 比如林龄与材积, 引入较多变

量可以提高模型预测精度。目前森林生物量的研究方法主要有两种,第一种是本文运用的利用实测资料进行推算,另一种是利用气候数据、遥感手段等结合广义生态模型进行估算。期望今后能用第二种方法对森林生物量进行估算,与现有的研究成果进行比较分析。

参考文献:

- [1] 项文化, 田大伦, 闫文德. 森林生物量与生产力研究综述 [J]. 中南林业调查规划, 2003 (3): 57-60, 64.
- [2] 郭屹, 项文化, 刘聪, 等. 湖南省马尾松林生物量动态特征及其对龄组结构变化的响应 [J]. 中南林业科技大学学报, 2015 (7): 81-87.
- [3] 王海风, 肖兴翠, 付洁, 等. 洞庭湖区短轮伐期杨树人工林生物量调查 [J]. 湖南林业科技, 2016, 43 (2): 87-91.
- [4] 吴晓丽, 徐天蜀. 森林生态系统生物量的定量评价 [J]. 内蒙古林业调查设计, 2008 (4): 4-5, 43.
- [5] 郎飞, 叶功富, 黄义雄, 等. 武夷山甜槠天然林含碳率与碳贮量研究 [J]. 亚热带资源与环境学报, 2012 (4): 71-77.
- [6] 江国华, 吴泽民. 安徽查湾自然保护区甜槠群落结构特征研究 [J]. 安徽农业大学学报, 2011 (4): 517-521.
- [7] 胡正华, 钱海源, 于明坚. 古田山国家级自然保护区甜槠林优势种群生态位 [J]. 生态学报, 2009 (7): 3670-3677.
- [8] 李凌浩, 林鹏, 邢雪荣. 武夷山甜槠林细根生物量和生长量研究 [J]. 应用生态学报, 1998 (4): 2-5.
- [9] 王甜. 甜槠种群结构与动态规律的研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [10] 杜虎, 曾馥平, 王克林, 等. 中国南方 3 种主要人工林生物量和生产力的动态变化 [J]. 生态学报, 2014 (10): 2712-2724.
- [11] 罗佳, 戴成栋, 田育新, 等. 湖南碳汇项目林主要建群种生物量模型构建 [J]. 湖南林业科技, 2016, 43 (5): 12-16, 21.
- [12] 左舒翟, 任引, 翁闲, 等. 亚热带常绿阔叶林 9 个常见树种的生物量相对生长模型 [J]. 应用生态学报, 2015 (2): 356-362.
- [13] 林益明, 林鹏, 李振基, 等. 武夷山甜槠群落的生物量 and 生产力 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 1996 (2): 269-275.
- [14] 郎飞. 武夷山甜槠天然林群落结构及碳贮量研究 [D]. 福州: 福建师范大学, 2013.
- [15] 蚁伟民, 张祝平, 等. 鼎湖山格木群落的生物量和光能利用效率 [J]. 生态学报, 2000 (3): 397-403.
- [16] 邓仕坚, 廖利平, 汪思龙, 等. 湖南会同红栲-青冈-刨花楠群落生物生产力的研究 [J]. 应用生态学报, 2000 (5): 651-654.
- [17] 黄典忠. 闽江下游福建青冈次生林群落的生物量特征 [J]. 防护林科技, 2006 (1): 16-18.
- [18] Laura A B G, Aust W M, Randall K K, et al. Biomass and carbon pools of disturbed riparian forests [J]. Forest Ecol Manage, 2003, 180: 493-508.
- [19] Hart B P S, Clinton P W, Allen, et al. Biomass and macro-nutrients (above-and below-ground) in a New Zealand beech (Nothofagus) forest ecosystem: implications for carbon storage and sustainable forest management [J]. Forest Ecol Manage, 2003, 174: 281-294.
- [20] 李俊贞, 秦武明, 覃毓, 等. 灰木莲人工林生物量和生产力的研究 [J]. 福建林业科技, 2011 (1): 1-5.
- [21] 周世强, 黄金燕. 四川红杉人工林分生物量和生产力的研究 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991 (1): 9-16.

(文字编校: 龚玉子)