

滨海沙地主要造林树种的热值和营养元素及其相关性

朱美琴¹, 叶功富², 游水生¹, 尤龙辉¹, 白永会¹, 高伟²

(1. 福建农林大学 林学院, 福建 福州 350001; 2. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012)

摘要: 对滨海沙地 3 种造林树种的热值、灰分质量分数和营养元素质量分数及三者之间的相关关系进行了研究。结果表明: 3 种造林树种的平均干质量热值和平均去灰分热值, 湿地松 *Pinus elliottii* (20.96 kJ·g⁻¹, 21.41 kJ·g⁻¹) 与厚荚相思 *Acacia crassicaarpa* (20.97 kJ·g⁻¹, 21.35 kJ·g⁻¹) 接近, 但均高于木麻黄 *Casuarina equisetifolia* (20.18 kJ·g⁻¹, 20.69 kJ·g⁻¹)。具体数值因树种和器官不同而异。植物碳质量分数在器官间分布没有规律性, 总体上, 湿地松的平均碳质量分数(491.548 g·kg⁻¹)高于厚荚相思(471.773 g·kg⁻¹)和木麻黄(460.042 g·kg⁻¹)。氮、磷、钾、钙和镁等在 3 树种不同器官中的分布规律为叶最高, 枝、皮和根次之, 干最低。干质量热值与镁质量分数呈显著正相关关系($P < 0.05$), 与氮、磷、钾质量分数呈极显著正相关关系($P < 0.01$)。灰分质量分数与磷质量分数呈极显著正相关($P < 0.01$), 与钾、钙、镁等质量分数显著正相关($P < 0.05$)。氮、磷、钾、镁等质量分数两两之间均呈极显著正相关关系($P < 0.05$)。

表 4 参 15

关键词: 植物学; 滨海沙地; 树种; 热值; 营养元素; 相关性

中图分类号: S718.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2012)06-0829-06

Caloric values and correlations of nutrient elements in three forestation species of a coastal sandy land

ZHU Mei-qin¹, YE Gong-fu², YOU Shui-sheng¹, YOU Long-hui¹, BAI Yong-hui¹, GAO Wei²

(1. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350001, Fujian, China; 2. Fujian Academy of Forestry Sciences, Fuzhou 350012, Fujian, China)

Abstract: The objective is to examine and compare the allocation patterns of caloric and elemental contents for three forestation species on coastal sandy land, and to summarize correlations between caloric values and elemental contents. In July of 2010, three forestation species (*Pinus elliottii*, *Acacia crassicaarpa* and *Casuarina equisetifolia*) were sampled from a coastal sandy land in Dongshan County, Fujian Province. All organs of each tree species were harvested. The gross caloric values (GCV) were measured by oxygen bomb calorimeter. Ash, and the contents of C, N, P, K, Ca and Mg were analyzed. The results showed that the mean gross caloric values and the mean ash free caloric values decreased in the following order: *P. elliottii* (20.96 kJ·g⁻¹, 21.41 kJ·g⁻¹) $\approx$ *A. crassicaarpa* (20.97 kJ·g⁻¹, 21.35 kJ·g⁻¹) $>$ *C. equisetifolia* (20.18 kJ·g⁻¹, 20.69 kJ·g⁻¹). The mean C content in *P. elliottii* (491.548 g·kg⁻¹) was higher than in *A. crassicaarpa* (471.773 g·kg⁻¹) and *C. equisetifolia* (460.042 g·kg⁻¹). The N, P, K, Ca, and Mg content in different organs of these three species were as follows: leaves $>$ branches $>$ barks $>$ roots $>$ stems. The mean content of N, P, K, Ca, and Mg of *A. crassicaarpa* were the highest, then was *C. equisetifolia*, *P. elliottii* was the lowest. Gross caloric value was significantly correlated with Mg content ($r = 0.600$, $P < 0.05$) and with content of N ($r = 0.641$, $P < 0.01$), P ($r = 0.879$, $P < 0.01$), and K ($r = 0.726$, $P < 0.01$). Ash content was significantly correlated with P content ($r = 0.673$, $P < 0.01$) and was significantly correlated with content of K ($r = 0.524$, $P < 0.05$), Ca ($r =$

收稿日期: 2011-12-06; 修回日期: 2012-04-08

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2009BADB2B0302); 国家自然科学基金资助项目(41176092)

作者简介: 朱美琴, 从事森林生态学研究。E-mail: zhumeiqin666@126.com。通信作者: 叶功富, 教授级高级工程师, 博士, 从事沿海防护林研究。E-mail: yegongfu@126.com

0.523, $P < 0.05$), and Mg ($r = 0.639$, $P < 0.05$). Compare to *C. equisetifolia*, *P. elliottii* had the highest carbon content and the lowest elemental content, meanwhile, *A. crassicaarpa* could fixed nitrogen through rhizobium to produce fertilizers and improve soil. So *P. elliottii* and *A. crassicaarpa* can be used as alternative tree species in coastal sandy land. [Ch, 4 tab. 15 ref.]

Key words: botany; coastal sandy land; tree species; caloric value; nutrient element; correlation

沿海防护林在抵御自然灾害, 改善生态环境, 促进沿海经济发展等方面起着重要作用。木麻黄 *Casuarina equisetifolia* 是沿海防护林的当家树种, 但由于长期单一树种经营, 木麻黄防护林出现了地力衰退、病虫害加剧、生产力下降、稳定性差等一系列问题。由于木麻黄是引入树种, 因此在更新方面存在困难^[1]。为保证沿海防护林的可持续经营, 引入耐干旱贫瘠的湿地松 *Pinus elliottii* 和具有固氮作用的厚荚相思 *Acacia crassicaarpa* 作为木麻黄防护林更新改造的替代树种^[2]。能量循环和物质流动是生态系统的两大基本功能。能量为物质循环提供动力, 物质为能量流动提供载体, 两者相辅相成, 不可分割^[3]。热值是能量的尺度, 植物光合作用过程中对太阳能的固定能力和转化效率可通过热值高低表现出来^[4-5]。张清海等^[6]对滨海沙地主要造林树种的生物量和能量进行了研究, 但关于造林树种热值与营养元素之间的相关性研究尚未见报道。本研究分析了 3 种造林树种各器官的热值和营养元素质量分数, 并探讨了两者之间的相关性, 以便为深入了解造林树种的生长特性及营养元素的分布特点以及沿海防护林的更新改造和可持续经营提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于福建省东山岛赤山国有防护林场附近, 地理坐标为 23°40'N, 117°18'E。气候属于亚热带海洋性季风气候, 雨水充沛, 年平均降水量为 956 mm, 全年干湿季节明显, 11 月至翌年 2 月为旱季, 雨季集中在 5-9 月, 全年无积雪, 无霜期 330 d 以上, 年平均气温为 20.9 °C, 极端最高气温为 36.6 °C, 最低为 1.5 °C。主要自然灾害为干旱和台风, 年均干旱 3.2 次, 年均台风 5.2 次。母质类型以风积物和海积物为主, 土壤以滨海沙土为主, 主要是均一性风积沙土、红壤性风积沙土、泥炭性风积沙土等, 土壤 pH 4~5, 全氮 0.34 g·kg⁻¹, 全钾 11.42 g·kg⁻¹, 全磷 0.13 g·kg⁻¹, 速效钾 19.58 mg·kg⁻¹, 有效磷 0.26 mg·kg⁻¹, 有机质 10.00 g·kg⁻¹。试验林位于基干林带后沿, 林下没有灌木, 仅有少量草本稀疏分布。样地基本概况见表 1。

表 1 供试样地的基本情况

Table 1 Basic status of sampled plots used in the experiment

林分	造林年份	造林密度/(株·hm ⁻²)	现有密度/(株·hm ⁻²)	郁闭度 /%	平均胸径 /cm	平均树高 /m
木麻黄林	1992	2 500	1 342	0.90	15.0	13.36
厚荚相思林	1992	2 500	1 023	0.91	20.4	14.15
湿地松林	1992	2 500	1 635	0.90	12.9	10.79

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 各个林区分别设置 20 m × 20 m 样地 3 块, 并对样地内的林木进行每木测量。根据测量结果, 每个树种各选取样本 3 株。样品采集于 2010 年 7 月初, 树叶和树枝按不同层次和方位采集并混合, 树干和树皮在距地面 1.3 m 处从东、南、西、北 4 个方向取样, 其中树干用生长锥取至心材, 树皮用砍刀取主干的皮, 根部按粗细比例取样。所有样品经 105 °C 杀青 15 min, 后置于 80 °C 的烘箱中烘干至恒量, 粉碎过筛后储存备用。

1.2.2 热值测定 采用 XRY-1A 数显氧弹式热量计仪器测定干质量热值(gross caloric value, GCV), 各个样品重复测定多次, 保证样品充分燃烧后的误差在±0.20 kJ, 空调控制室温在 20 °C 左右。灰分质量分数(ash content, AC)采用干灰化法测定, 即将样品置于马福炉中 550 °C 下灰化 5 h 后测定。去灰分热值(ash free caloric value, AFCV)=干质量热值/(1-灰分质量分数)。

1.2.3 营养元素的测定 采用硝酸-高氯酸混合消煮制取待测液，供磷、钾、钙和镁的测定，其中磷采用钼蓝比色法(UV2802PC 紫外分光光度计)测定，钾采用 FP-640 火焰光度计测定，钙和镁采用日本 Z-2000 原子吸收分光光度计测定。全碳和全氮采用德国 Elementar Vario Max CNS 自动分析仪测定。

1.2.4 数据处理 数据采用 SPSS 13.0 软件进行方差分析，Duncan 法多重比较及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 3 树种各器官的灰分质量分数

植物在充分燃烧后，余下的残烬称为灰分，其主要成分为矿质元素氧化物，因此，灰分的高低，体现了植物对矿质元素的吸收和富集能力^[7]。由表 2 可知，厚荚相思和湿地松的器官中除枝的灰分质量分数高于木麻黄外，其他器官的灰分均低于木麻黄。3 树种各器官的灰分质量分数变动范围及排序分别为：厚荚相思 7.5~35.4 g·kg⁻¹，叶>根>枝>皮>干；湿地松 7.7~22.6 g·kg⁻¹，叶>根>皮>枝>干；木麻黄 6.1~40.6 g·kg⁻¹，叶>皮>根>枝>干。结果表明：灰分质量分数在各器官分布规律为叶最大，皮、枝、根居中，干最小。叶片的灰分质量分数最高可能因其生理活动旺盛，在代谢过程中富集了较多的矿质元素。由方差分析可知：木麻黄的灰分质量分数显著高于厚荚相思和湿地松($P<0.05$)。同一树种不同器官间灰分质量分数存在一定差异，但差异不显著($P>0.05$)。

2.2 3 树种各器官的热值

由表 2 可知：3 树种不同器官干质量热值分布存在差异。厚荚相思、湿地松、木麻黄叶的干质量热值均高于其他器官，其中厚荚相思枝的干质量热值最低，湿地松干最低，木麻黄根最低。厚荚相思和湿地松的干质量热值总体高于木麻黄，且在叶片上表现最明显。3 树种去灰分热值在不同器官的分配与干质量热值总体上相似，仅在少数器官中不同，厚荚相思的干质量热值和去灰分热值由大到小的排序分别为叶>干>根>皮>枝和叶>根>干>皮>枝，湿地松的干质量热值为叶>枝>根>皮>干，去灰分热值为叶>根>枝>皮>干，木麻黄的干质量热值为叶>皮>干>枝>根，去灰分热值为叶>干>皮>枝>根。3 树种的平均干质量热值和去灰分热值大小排序为湿地松≈厚荚相思>木麻黄。由方差分析可知：厚荚相思叶的干质量热值和去灰分热值显著高于其他器官($P<0.05$)，湿地松器官间的干质量热值和去灰分热值差异不明显，没有达到显著水平($P>0.05$)，木麻黄器官间的干质量热值差异不显著($P>0.05$)，去灰分热值叶片显著高于其他器官($P<0.05$)。

叶片是植物进行光合作用的主要场所，叶片热值的高低直接反映了植物对太阳能的利用率。3 树种中，厚荚相思叶片的干质量热值和去灰分热值明显高于湿地松和木麻黄，并达显著差异水平($P<0.05$)，表明厚荚相思具有最高的太阳能利用率。

表 2 3 树种各器官的灰分、干质量热值及去灰分热值

Table 2 Ash contents, gross caloric values, and ash free caloric values in different organs of three tree species

器官	干质量热值/(kJ·g ⁻¹)			灰分含量/(g·kg ⁻¹)			去灰分热值/(kJ·g ⁻¹)		
	厚荚相思	湿地松	木麻黄	厚荚相思	湿地松	木麻黄	厚荚相思	湿地松	木麻黄
叶	23.63 a	21.47 a	21.06 a	35.4 a	22.6 a	40.6 a	24.49 a	21.97 a	21.96 a
皮	20.27 b	20.78 a	20.18 ab	12.9 b	20.1 b	28.8 ab	20.51 b	21.31 ab	20.77 b
枝	20.17 b	21.02 a	19.96 ab	13.9 b	13.9 c	21.9 b	20.45 b	21.47 ab	20.40 b
干	20.43 b	20.55 a	20.06 ab	7.5 c	7.7 d	6.1 c	20.58 b	20.70 b	20.19 b
根	20.35 b	20.95 a	19.67 b	18.4 d	22.0 ab	22.2 b	20.71 b	21.59 ab	20.11 b
平均	20.97	20.96	20.18	17.6	17.2	23.9	21.35	21.41	20.69

说明：数值后不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

2.3 3 树种各器官的营养元素质量分数

从表 3 可以看出：3 树种的营养元素质量分数及分布规律。其中碳元素是各种有机物的构成骨架^[8]，质量分数较高。碳在同一树种不同器官中的质量分数由高到低的顺序为厚荚相思：叶>根>皮>干>枝，湿地松：枝>叶>皮>根>干，木麻黄：根>干>枝>叶>皮。总体上，湿地松各器官的碳质量分

数高于厚荚相思和木麻黄,且树种的平均碳质量分数为湿地松最高,厚荚相思次之,木麻黄最低。由方差分析可知:3 树种的叶、枝、皮、根的碳质量分数均呈极显著差异水平($P<0.01$),同一树种各器官间呈显著差异水平($P<0.05$)。

对于氮、磷、钾、钙、镁等矿质元素而言,3 树种各器官间矿质元素质量分数具有明显的差异性,基本符合叶最高(厚荚相思和木麻黄皮的钙高于叶),干最低,皮、根、枝以不同排序介于两者之间的规律。同一器官中,厚荚相思的矿质元素质量分数明显高于木麻黄和湿地松,呈极显著水平($P<0.01$),其中,氮质量分数差异表现最为明显,厚荚相思的平均氮质量分数分别是湿地松的 3.64 倍,木麻黄的 2.81 倍。湿地松的各器官的矿质元素质量分数总体低于木麻黄。厚荚相思和湿地松的矿质元素的平均质量分数由高到低的顺序为氮>钾>钙>镁>磷,木麻黄的顺序为氮>钙>钾>镁>磷。

表 3 3 树种各器官的营养元素

Table 3 Nutrient element contents in different organs of three tree species

器官	树种	碳/(g·kg ⁻¹)	氮/(g·kg ⁻¹)	磷/(g·kg ⁻¹)	钾/(g·kg ⁻¹)	钙/(g·kg ⁻¹)	镁/(g·kg ⁻¹)
叶	厚荚相思	486.303 A	42.204 A	1.475 A	16.583 A	4.071 A	1.403 A
	湿地松	492.364 B	10.606 B	0.645 B	4.142 B	2.002 B	0.807 B
	木麻黄	459.177 C	15.817 C	0.624 B	4.877 B	4.777 C	1.539 A
皮	厚荚相思	478.409 A	20.801 A	0.169 A	5.429 A	4.609 A	0.877 A
	湿地松	487.806 B	3.365 B	0.128 B	1.512 B	0.570 B	0.314 B
	木麻黄	433.352 C	5.820 C	0.135 B	3.512 C	6.487 C	0.314 B
枝	厚荚相思	454.931 A	14.344 A	0.381 A	7.562 A	3.640 A	0.945 A
	湿地松	507.499 B	4.439 B	0.128 B	1.372 B	1.137 B	0.336 B
	木麻黄	463.377 C	5.874 C	0.260 C	3.044 C	3.675 A	0.208 C
干	厚荚相思	464.686 A	5.762 A	0.075 A	1.695 A	2.506 A	0.343 A
	湿地松	484.558 B	2.361 B	0.022 B	0.681 B	0.170 B	0.191 B
	木麻黄	465.495 A	2.309 B	0.019 B	1.138 C	0.179 B	0.126 B
根	厚荚相思	474.536 A	16.972 A	0.207 A	5.180 A	2.584 A	0.716 A
	湿地松	485.511 B	6.720 B	0.178 A	2.119 B	0.522 B	0.391 B
	木麻黄	478.812 C	5.747 B	0.106 B	2.955 B	0.762 C	0.323 B
平均	厚荚相思	471.773	20.016	0.461	7.292	3.482	0.857
	湿地松	491.548	5.498	0.202	1.965	0.880	0.408
	木麻黄	460.042	7.113	0.229	2.955	3.177	0.502

说明:数值后不同大写字母表示处理间差异达 0.01 显著水平。

2.4 热值与营养元素质量分数的相关性分析

由表 4 可知:干质量热值与氮、磷和钾质量分数呈极显著正相关关系;与镁呈显著正相关关系;与碳和灰分相关性较高,但不显著;与钙无相关性。去灰分热值不仅与氮、磷、钾及镁质量分数呈极显著正相关关系;与灰分质量分数和干质量热值也呈极显著正相关关系。说明热值不仅与有机物的组成元素碳、氮、磷质量分数相关,还与金属元素的种类及质量分数相关。

灰分质量分数与磷质量分数呈极显著正相关关系,与钾、钙和镁质量分数呈显著正相关关系。刘灿等^[9]研究指出,灰分由植物体各种矿质元素氧化物组成。本研究灰分与矿质元素的相关性支持这一结论。

营养元素质量分数之间也存在相关性,碳质量分数与钙质量分数呈显著负相关关系。氮、磷、钾、钙及镁之间,除钙与氮、磷、钾的正相关关系不显著外,其他两两元素之间均呈显著正相关关系,有的

呈极显著正相关关系。这既说明营养元素对植物生长的重要性，又说明植物对营养元素吸收和积累的均衡性^[10]。

表 4 热值与营养元素之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between caloric values and elemental contents

项目	碳	氮	磷	钾	钙	镁	灰分	干质量热值	去灰分热值
碳	1								
氮	0.070	1							
磷	0.126	0.867**	1						
钾	-0.026	0.960**	0.902**	1					
钙	-0.639*	0.488	0.381	0.496	1				
镁	-0.037	0.818**	0.789**	0.762**	0.536*	1			
灰分	-0.169	0.493	0.673**	0.524*	0.523*	0.639*	1		
干质量热值	0.410	0.641**	0.879**	0.726**	0.119	0.600*	0.504	1	
去灰分热值	0.328	0.717**	0.912**	0.748**	0.209	0.660**	0.644**	0.985**	1

说明：** $P<0.01$ ，* $P<0.05$ ， $n=15$ 。

3 讨论

湿地松和厚荚相思的平均灰分质量分数明显低于木麻黄，与亚热带其他树种的灰分相比，低于广州鼎湖山常绿阔叶林 11 种优势树种的平均灰分质量分数(22.1~65.4 g·kg⁻¹)^[11]和广东樟木头 5 种桉树 *Eucalyptus* spp.的平均灰分质量分数(17.5~39.6 g·kg⁻¹)^[12]。林益明等^[7]研究指出，灰分的高低反映出植物对元素的富集量，而植物对元素的富集量实际上与植物对元素的需求量及土壤中元素的含量及存在形态有关。厚荚相思和湿地松的灰分质量分数不仅低于同纬度的其他树种，而且低于木麻黄，表明其对土壤的养分需求不高，表现出耐贫瘠的特性。

3 树种平均去灰分热值由高到低的排序为湿地松>厚荚相思>木麻黄，其中厚荚相思叶的干质量热值和去灰分热值明显高于木麻黄和湿地松，呈显著差异水平。与亚热带其他乔木树种相比，3 树种的平均去灰分热值均高于浙江天童栲树 *Castanopsis fargesii*(19.19 kJ·g⁻¹)和米楮 *Castanopsis carlesii*(19.41 kJ·g⁻¹)^[13]，广东巨尾桉 *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*(19.50 kJ·g⁻¹)^[14]及广东鹤山人工林的平均值(19.55 kJ·g⁻¹)^[15]，说明厚荚相思、湿地松和木麻黄具有较高的太阳能利用率及固定和转化能力，且湿地松和厚荚相思对太阳能的利用率高于木麻黄。

湿地松的平均碳质量分数最高，厚荚相思次之，木麻黄最低，表明湿地松具有较强的固碳能力，是很好的生物能源树种。此外，湿地松还具有较高的松脂和木材收益率，又是很好的经济树种。厚荚相思的矿质元素明显高于木麻黄和湿地松，且氮的质量分数表现最为明显，这与厚荚相思根部含有固氮作用的根瘤菌，能固定空气中的游离氮，增加土壤肥力有关。湿地松的矿质元素质量分数低于木麻黄，表明其在生长过程中对养分的需求低于木麻黄。碳、氮、磷均是有机物的组成元素，但碳与干质量热值和去灰分热值呈不显著的正相关关系，而氮、磷与干质量热值和去灰分热值呈极显著正相关关系，可能因为氮、磷是合成高能有机物的必须元素，而高能有机物的含量对热值的影响较大，这也可能是厚荚相思叶片干质量热值和去灰分热值明显高于湿地松和木麻黄的原因所在。

湿地松具有最高的碳质量分数，最低的营养元素质量分数，表现出更耐贫瘠的特性；厚荚相思可通过根瘤菌固定空气中的氮，自己制造肥料，从而改良土壤；此外，厚荚相思和湿地松的干质量热值和去灰分热值高于木麻黄，表现出更高的太阳能利用率，能很好的固定和储存能量。以上表明，厚荚相思和湿地松在热值和营养元素方面具有各自的优势，证实了其作为沿海防护林替代树种的可行性。

参考文献：

[1] 叶功富，吴锡麟，张清海. 海岸带不同立地木麻黄群落能量研究[J]. 林业科学，2003：39 (专刊)：1 - 7.

- YE Gongfu, WU Xiling, ZHANG Qinghai. Energy of *Casuarina equisetifolia* community on different site along the coast [J]. *Sci Sil Sin*, 2003; **39** (supp): 1 – 7.
- [2] 张清海, 叶功富, 林益明, 等. 福建东山县赤山滨海沙地厚荚相思林与湿地松林生物量和能量的研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2005, **44** (1): 123 – 127.
- ZHANG Qinghai, YE Gongfu, LIN Yiming, *et al.* Study on biomass and energy of *Acacia crassiorpa* forest and *Pinus elliotti* forest on the coast sandy soil site [J]. *J Xiamen Univ Nat Sci*, 2005, **44** (1): 123 – 127.
- [3] 李博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 208 – 243.
- [4] 官丽莉, 周小勇, 罗燕. 我国植物热值研究综述[J]. 生态学杂志, 2005, **24** (4): 452 – 457.
- GUAN Lili, ZHOU Xiaoyong, LUO Yan. A review on the study of plant caloric value in China [J]. *Chin J Ecol*, 2005, **24** (4): 452 – 457.
- [5] LIN Hua, CAO Min. Plant energy storage strategy and caloric value [J]. *Ecol Model*, 2008, **217**: 132 – 138.
- [6] 张清海, 叶功富, 林益明. 东南滨海沙地主要造林树种的生物量与能量 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, **31** (3): 143 – 146.
- ZHANG Qinghai, YE Gongfu, LIN Yiming. Study on biomass and energy of main species plantation on the coast [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2007, **31** (3): 143 – 146.
- [7] 林益明, 林鹏, 王通. 几种红树植物木材热值和灰分含量的研究[J]. 应用生态学报, 2000, **12** (2): 181 – 184.
- LIN Yiming, LIN Peng, WANG Tong. Caloric values and ash contents of some mangrove woods [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2000, **12** (2): 181 – 184.
- [8] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 56 – 57.
- [9] 刘灿, 李宏. 4 种杨属植物的热值及灰分含量的比较[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, **30** (10): 24 – 28.
- LIU Can, LI Hong. Comparison of caloric values and ash contents in the four *Populus* L. species [J]. *J Cent South Univ For Technol*, 2010, **30** (10): 24 – 28.
- [10] KNECHT M R, GORANSSON A. Terrestrial plants require nutrients in similar proportions [J]. *Tree Physiol*, 2004, **24** (4): 447 – 460.
- [11] 旷远文, 温达志, 周国逸, 等. 鼎湖山季风常绿阔叶林各层次优势种热值研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, **27** (2): 6 – 11.
- KUANG Yuanwen, WEN Dazhi, ZHOU Guoyi, *et al.* Caloric values of dominant species in the different layers of lower subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest at Dinghushan Mountain [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, **27** (2): 6 – 11.
- [12] 周群英, 陈少雄, 吴志华, 等. 广东樟木头 5 种桉树的能量特征研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2009, **17** (6): 549 – 555.
- ZHOU Qunying, CHEN Shaoxiong, WU Zhihua, *et al.* Energy characteristics of five *Eucalyptus* species in Zhangmutou forest farm, Guangdong Province [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2009, **17** (6): 549 – 555.
- [13] 陈波, 杨永川, 周莹, 等. 浙江天童常绿阔叶林内 7 种优势植物的热值研究[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2006 (2): 105 – 111.
- CHEN Bo, YANG Yongchuan, ZHOU Ying, *et al.* Caloric values of seven dominant species in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province, China [J]. *J East Chin Norm Univ Nat Sci*, 2006 (2): 105 – 111.
- [14] 周群英, 陈少雄, 韩裴扬, 等. 不同林龄巨尾桉的灰分含量和热值[J]. 广西植物, 2011, **31** (1): 75 – 80.
- ZHOU Qunying, CHEN Shaoxiong, HAN Peiyang, *et al.* Ash contents and caloric values of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* in different stand ages [J]. *Guihaia*, 2011, **31** (1): 75 – 80.
- [15] 曾小平, 蔡锡安, 赵平, 等. 广东鹤山人工林群落主要优势植物的热值和灰分含量[J]. 应用生态学报, 2009, **20** (3): 485 – 492.
- ZENG Xiaoping, CAI Xi'an, ZHAO Ping, *et al.* Caloric value and ash content of dominant plants in plantation communities in Heshan of Guangdong, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2009, **20** (3): 485 – 492.