

鼎湖山季风常绿阔叶林各层次优势种热值研究

旷远文 温达志 周国逸 刘世忠 张德强
(中国科学院华南植物园)

摘要:探讨鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林不同层次优势植物热值一般规律,可为该群落能量特征和生态效率研究提供基础资料和科学依据。2002 年用 PARR 1281 型氧弹热值仪测定了该群落不同层次 21 种优势植物不同器官(部位)热值。结果表明,季风常绿阔叶林各优势种的平均干重热值在 15.92 ~ 19.66 kJ/g 间,乔木 1 层干重热值以厚壳桂最高,乌榄最低;乔木 2 层华润楠最高,云南银柴最低;层间藤本植物白背瓜馥木和杖枝省藤分别为 19.73 和 18.19 kJ/g;灌木层干重热值最高仍为厚壳桂,最低为云南银柴;草本层植物干重热值在 15.92 ~ 17.52 kJ/g 之间。各层优势种平均干重热值和去灰分热值都表现为:层间藤本 > 乔木 1 层 > 乔木 2 层 > 灌木层 > 草本层。植物器官去灰分热值存在差异,乔木 1 层中锥栗、荷木树皮及厚壳桂、乌榄树叶最高,乔木 2 层中云南银柴根最高,层间植物叶 > 干 > 根,草本植物是地上部分 > 地下部分;同种植物(厚壳桂或云南银柴)在不同层次中的去灰分热值没有明显差别,器官生长的年龄(或直径)对去灰分热值有影响,随年龄增大,去灰分热值有减少趋势。

关键词: 鼎湖山, 季风常绿阔叶林, 干重热值, 去灰分热值, 灰分含量

中图分类号: S718.55⁺4.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1522(2005)02-0006-07

KUANG Yuan-wen; WEN Da-zhi; ZHOU Guo-yi; LIU Shi-zhong; ZHANG De-qiang. **Caloric values of dominant species in the different layers of lower subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest at Dinghushan Mountain.** *Journal of Beijing Forestry University* (2005) 27 (2) 6-12 [Ch, 28 ref.] South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510650, P. R. China.

Investigation of the caloric values of the dominant species from different layers in lower subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest in the Dinghushan Mountain may provide scientific fundamental data for studying energy flow and ecological efficiency. The values were measured by the PARR 1281 oxygenic bomb caloric-meter. The mean gross caloric values (GCV) of the 21 dominant species were in the range of 15.92 ~ 19.80 kJ/g. *Cryptocarya chinensis* was the highest and *Canarium pimela* was the lowest GCV species in tree layer 1, while the corresponding species were *Machilus chinensis* and *Aporosa yunnanensis* in tree layer 2. The lianas, *Fissistigma glaucescens* and *Calamus rhabdocladus* had the values of 19.73 kJ/g and 18.19 kJ/g, respectively. In the shrub layer, the highest GCV species was *Cryptocarya chinensis* and *Aporosa yunnanensis* the lowest. The mean GCV of the three herbaceous species was 15.92 ~ 17.52 kJ/g. The GCV and ash-free caloric value (AFCV) decreased in the following order: lianas, tree layer 1, tree layer 2, shrub layer and herb layer. The AFCV differed among various components. In tree layer 1, *Castanopsis chinensis* and *Schima superba* showed the highest values in barks, whereas *Cryptocarya chinensis*, and *Canarium pimela* had their highest values in the leaves. In tree layer 2, however, *Aporosa yunnanensis* showed the highest value in roots. For lianas, the AFCV decreased from the leaves, stems to roots. In the herb species, the AFCV aboveground was higher than the belowground. Minor differences in AFCV were observed for the same species (*Cryptocarya chinensis* or *Aporosa yunnanensis*) in different layers. The AFCV of the woody components tended to decrease with age and diameter increment.

Key words Dinghushan, monsoon evergreen broad-leaved forest, gross caloric value, ash-free caloric value, ash content

收稿日期:2004-03-22

http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-SW-120)、CERN 监测项目。

第一作者: 旷远文, 博士生。主要研究方向: 森林生态学和环境生态学。电话: 020-37252784 Email: kuangyw@scbg.ac.cn 地址: 510650 广州乐意居中国科学院华南植物园。

责任作者: 周国逸, 博士, 研究员。主要研究方向: 生态系统生态学。电话: 020-37252708 Email: gyzhou@scbg.ac.cn 地址: 同上。

植物光合作用固定的太阳能除被呼吸作用消耗外,其余部分以有机物形式积累后为植物生长提供生物潜能。该潜能可以热值来表示,即单位干物质所含的能量(kJ/g)。它比植物有机物更能直观反映植物对太阳能的固定和转化效率,是评价植物太阳能累积和化学能转化效率高低的指标之一^[1,2]。早在20世纪30年代Long率先对植物热值进行了系统研究^[3],此后生态学家对其给予极大关注,中外学者借助热值指标研究生态系统物质循环和能量转化规律日趋广泛^[1,4-11]。在研究森林生态系统结构与功能方面,热值研究价值甚至优于群落生物量。将热值与干物质产量相结合可以有效地评价森林生态系统的初级生产力,研究者认为热值已成为评价森林生态系统能量流及其对太阳能固定和累积效率的重要参数^[4,12]。我国对植物热值的研究始于20世纪80年代^[10],研究对象涉及农作物如水稻(*Oryza sativa*)^[1,11,13]、大豆(*Glycine max*)^[14]、苜蓿属(*Medicago*)植物^[6]和森林木本植物,如人工针叶林^[15]、桉树(*Eucalyptus* spp.)和相思(*Acacia auriculiformis*)混交林^[16]。关于热带亚热带森林植物热值的专题研究也有不少报道,如李意德等^[17]报道了海南岛尖峰岭热带山地雨林主要树种、灌木和大型木质藤本各器官的热值,同时测定了枯立、腐朽木及1 m³土柱根系热值,为山地雨林植物热值研究提供了能量背景值;林承超^[18]通过对亚热带季风常绿阔叶林及其林缘不同层次13种植物叶片热值的研究,发现群落植物干重热值和去灰分热值都表现为乔木层大于灌木层大于草本层的特征,并分析了叶片营养成分,讨论了影响植物叶片热值的原因及其与营养成分的关系;林鹏等^[19]对福建和溪亚热带雨林优势植物叶片热值的研究结果也揭示出乔木层大于灌木层大于草本层的特征,同时发现落叶热值均高于各层成熟新鲜叶平均热值;任海等人^[20]则从群落演替的角度研究了鼎湖山亚热带主要植物群落优势植物的热值,发现同种植物在演替早期各群落内的热值存在较大差异,而在演替后期各群落内的热值差异较小,得出随着生境趋同性的增加,同种植物热值越来越接近的结论。本研究通过对鼎湖山季风常绿阔叶林不同生活型的21个优势种(乔木11种,灌木5种,层间木质藤本2种,草本3种)分叶、枝(大枝和小枝)、干、皮和根(粗根和细根)进行热值测定,以阐明鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林不同层次植物热值的一般规律,为探讨鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林的能量特征和生态效率提供基础资料和科学依据,也为我国亚热带季风常绿阔叶林保护提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

鼎湖山自然保护区位于广东省中部,东经112°30'39"~112°33'41",北纬23°09'21"~23°11'30",面积约1 155 hm²,属于低山丘陵地貌。保护区地处南亚热带,受湿润季风性气候影响,水热丰富,年平均气温20.9℃,最冷月(1月)平均气温12.0℃,最热月(7月)平均气温28.0℃,年平均降雨量955 mm,且主要集中在4~9月^[21]。土壤发育于砂页岩母质上的赤红壤,厚度一般为60~90 cm,表层有机质含量2.94%~4.27%^[22]。地带性植被类型为南亚热带季风常绿阔叶林,主要分布在以庆云寺为中心的海拔75~500 m山坡,是该区典型植被类型。群落组成种类复杂多样,群落内大型木质藤本丰富,按层次大致可分为乔木层、灌木层和草本层^[23]。乔木1层树高20~30 m,平均胸径大于20 cm,主要种类有锥栗、荷木、厚壳桂等;乔木2层树高11~19 m,平均胸径10~16 cm,主要种类有肖蒲桃和华润楠等;灌木层植株高1.2~9 m,平均胸径3~8 cm,优势种有云南银柴、柏拉木、九节和罗伞等;最下层为草本层,株高0.3~0.5 m,盖度10%~15%,优势种有沙皮蕨等;层间代表性植物主要为大型藤本,如杖枝省藤、白背瓜馥木等。

1.2 采样

在乔木1层和乔木2层对植物分叶、大枝(直径大于5 cm)、细枝(直径1~5 cm)、干、皮、粗根(直径大于5 mm)、细根(直径小于5 mm)分别采样;灌木和藤本植物则分叶、干和根分别均匀采样,草本植物分地上和地下部分进行采样。各层次所选优势种见表1。采样在2002年6月(湿季)和12月(干季)进行。乔木层树种每种选3株,树干和树皮用砍刀在距地面1.3 m处取,为做到树干采样的代表性,在最小破坏范围内尽量采集到树干心材部位;叶片和树枝按冠幅不同层次和方位混合取样;树根采集时在树基周围小心清除土层,沿侧根方向采集两个径级根系分别混合;灌木、草本和藤本植物以全株收获方式采样。样品采后分别装入纸带封好,清洗根系部分,100℃杀青后在65℃下烘干至恒重,用植物粉碎机将样品粉碎,两次采样均匀混合装入玻璃瓶中备用分析。

1.3 测定方法

所有样品测定前在65℃烘12 h,另称取小样在105℃烘干至恒重,并换算成干物质重量。称取1.000 0 g粉末用压片机压成药片状。热值测定仪器为美国PARR仪器公司生产的1281型氧弹热值仪。

表 1 各层供热值测定的优势种
TABLE 1 Dominant species for measuring the caloric values from different layers

乔木 1 层		藤本	
1 锥栗 <i>Castanopsis chinensis</i>		12 白背瓜馥木 <i>Fissistigma glaucescens</i>	
2 荷木 <i>Schima superba</i>		13 杖枝省藤 <i>Calamus rhabdocladus</i>	
3 厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>		灌木层	
4 黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i>		14 九节 <i>Psychotria rubra</i>	
5 乌榄 <i>Canarium pimela</i>		15 罗伞 <i>Ardisia punctata</i>	
乔木 2 层		16 云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i>	
6 肖蒲桃 <i>Acmena acuminatissima</i>		17 柏拉木 <i>Blastus cochinchinensis</i>	
7 云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i>		18 厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	
8 红车 <i>Syzygium rehderianum</i>		草本层	
9 华润楠 <i>Machilus chinensis</i>		19 金粟兰 <i>Chloranthaceae spicatus</i>	
10 白颜树 <i>Gironniera subaequalis</i>		20 沙皮蕨 <i>Hemigramma decurrens</i>	
11 光叶山黄麻 <i>Aidia canthioides</i>		21 山姜 <i>Alpinia japonica</i>	

注:表中 1~21 为树号。

每个样品重复 3 次,保证充分燃烧的样品热值重复误差在 ±250 J 的范围(变异系数在 0.002~0.110)内,否则重新称样测定,取 3 次平均值,共测定样品 312 个,所得测定值为样品干重热值(gross caloric value,GCV)。每次测定时用仪器配备苯甲酸对热值仪进行标定,测定环境用空调控温在 20℃左右。植物灰分含量用干灰化法进行测定,并通过以下公式求算样品去灰分热值(ash-free caloric value,AFCV):

$$\text{去灰分热值 (kJ/g)} = \frac{\text{干重热值}}{(1 - \text{灰分含量})}^{[24]}$$

2 结果与分析

2.1 各层优势种热值比较

从表 2 发现,南亚热带季风常绿阔叶林各层优势种的加权平均 GCV 介于 16.04~19.66 kJ/g 间,乔木 1 层各优势种 GCV 从高到低的顺序为:厚壳桂(19.66 kJ/g)>荷木(19.22 kJ/g)>锥栗(18.78 kJ/g)>黄杞(18.18 kJ/g)>乌榄(17.74 kJ/g),最高种是最低种的 1.1 倍;乔木 2 层中各优势种平均 GCV 最高者是华润楠(19.38 kJ/g),最低者是云南银柴(16.75 kJ/g),前者是后者的 1.2 倍,肖蒲桃、光叶山黄麻、红车和白颜树 GCV 居于其中。乔木层中平均 GCV 最高种厚壳桂是最低种云南银柴的 1.2 倍;层间植物白背瓜馥木的 GCV 为 19.60 kJ/g,明显高于杖枝省藤平均 GCV(18.19 kJ/g);在灌木层中,平均 GCV 最高者和最低者仍分别是厚壳桂(19.37 kJ/g)和云南银柴(16.56 kJ/g),二者相差的倍数也为 1.2 倍;罗伞、柏拉木、九节分居其中,但平均 GCV 都相差不大,处于 18.00 kJ/g 左右的水平;草本层优势种平均 GCV 最高的是金粟兰(17.50 kJ/g),最低的是沙皮蕨(16.04 kJ/g),山姜为 17.40 kJ/g,3 种植物的 GCV 均低于 18.00 kJ/g。从总体上看,21 种优势植物平均 GCV 呈现出乔木 1 层(5 种优势种平均 18.72 kJ/g)

>乔木 2 层(6 个优势种加权平均 18.38 kJ/g)>灌木层(6 种加权平均 18.13 kJ/g)>草本层(3 种平均 17.02 kJ/g)的特征,但是层间植物的平均 GCV(2 种平均 18.96 kJ/g)竟出现了高于乔木层的特征,值得探讨。无论在乔木层还是在灌木层,厚壳桂的平均 GCV 都是最大,而云南银柴的平均 GCV 值始终最低。从植物 AFCV 而言,情况同样相似,乔木 1 层 5 种优势种平均值为 19.37 kJ/g,乔木 2 层 6 个优势种的平均值为 19.19 kJ/g,灌木层平均值为 19.04 kJ/g,草本层平均值为 18.87 kJ/g,层间藤本平均值为 19.59 kJ/g,层间藤本仍为最高。

2.2 不同层次植物叶片去灰分热值特征

叶片是绿色植物进行光合作用的最主要器官,因此本文将叶片的 AFCV 单列探讨。由于草本层植物仅分地上和地下两部分采样,故在比较叶片去灰分热值时未考虑草本层 3 种植物。在乔木 1 层中,厚壳桂叶片的 AFCV 最高(22.28 kJ/g),荷木(20.50 kJ/g)与黄杞(20.38 kJ/g)AFCV 相近,锥栗(19.95 kJ/g)居中,最低是乌榄(19.55 kJ/g),厚壳桂叶片去灰分热值是乌榄叶片去灰分热值的 1.1 倍。从图 1 叶片去灰分热值可以看出,乔木 1 层中各优势种间叶片所固定(或转化)太阳能的差异程度比乔木 2 层各优势种叶片要小。乔木 2 层中 6 个优势种除云南银柴叶片的 AFCV 最低外(17.03 kJ/g),肖蒲桃、红车、华润楠、白颜树和光叶山黄皮叶片 AFCV 都比较接近,处在 20.00 kJ/g 以上水平;层间植物的两种优势种叶片 AFCV 相差较小;灌木层 5 个优势种叶片 AFCV 波动比较大,反映出种间的差异性,最高者是厚壳桂(22.26 kJ/g),最低者是云南银柴(17.17 kJ/g),居中的是罗伞(20.55 kJ/g)、九节(19.27 kJ/g)、柏拉木(18.60 kJ/g),最高值是最低值的 1.3 倍。除厚壳桂外,其余树种叶片去灰分热值都低于 20.00 kJ/g。

2.3 各层次植物器官去灰分热值差异

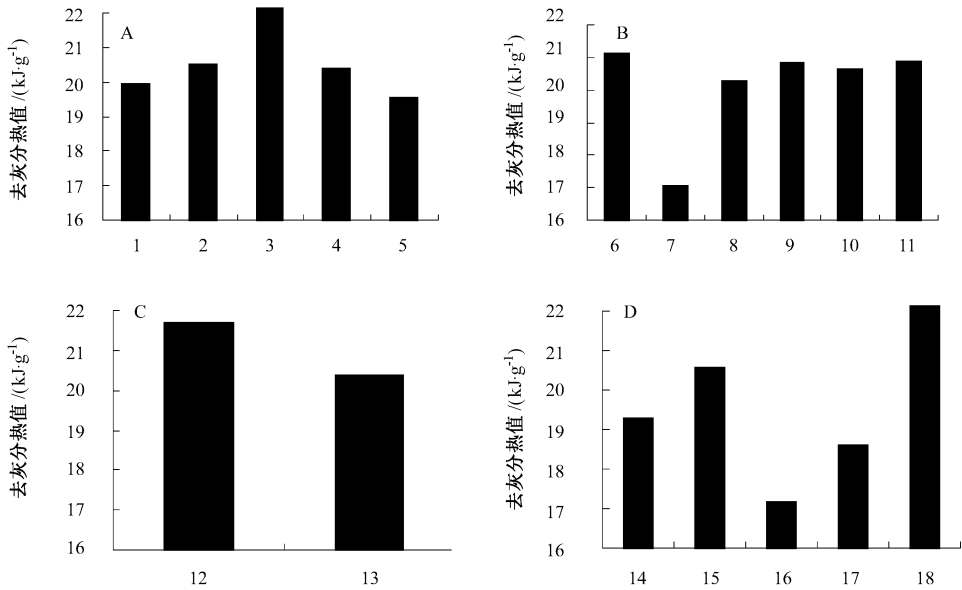
从表 2 中可以发现,乔木 1 层中不同植物各器官 AFCV 出现了不同格局,出现了两种情况,一种是树皮最高,如锥栗(21.11 kJ/g)和荷木(21.32 kJ/g);另一种是以树叶最高,如厚壳桂(22.28 kJ/g)、黄杞(20.38 kJ/g)和乌榄(19.55 kJ/g),锥栗、荷木和厚壳桂树干的去灰分热值比较低。乔木 2 层,不同植物各器官 AFCV 仅出现两种格局:第一种是树叶最高,树干最低,树枝、树皮和树根居于其中,如肖蒲桃、红车、华润楠、白颜树和光叶山黄皮,白颜树树皮灰分含量高达 16.54%,出现了异常,可能是在测定过程中混入了尘埃,导致树皮去灰分热值偏高;第二种是树皮的 AFCV 居于最低,最高器官是树根,如云南银

表 2 鼎湖山南亚热带季风常绿阔叶林优势种器官热值及其灰分含量

TABLE 2 The caloric values and ash content of organs of dominant species in the subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest									
树号	器官	干重热值/ (kJ g ⁻¹)	灰分含量/%	去灰分热 值/(kJ g ⁻¹)	树号	器官	干重热值/ (kJ g ⁻¹)	灰分含量/%	去灰分热 值/(kJ g ⁻¹)
1	根	18.30	2.38	18.74	10	叶	20.19	3.10	20.83
	枝	18.49	2.48	18.96		加权平均	19.38	2.21	19.83
	干	17.93	1.66	18.24		根	18.16	4.61	19.04
	皮	20.48	2.98	21.11		枝	18.36	3.68	19.06
	叶	19.45	2.47	19.95		干	18.43	2.94	18.99
	加权平均	18.78	2.40	19.24		皮	16.84	16.54	20.33
2	根	18.87	2.17	19.29	11	叶	18.63	9.75	20.64
	枝	18.68	2.70	19.20		加权平均	18.13	6.54	19.46
	干	18.97	1.13	19.19		根	18.77	3.34	19.42
	皮	20.57	3.53	21.32		枝	18.62	1.99	19.00
	叶	19.92	2.84	20.50		干	18.47	1.19	18.69
	加权平均	19.22	2.46	19.71		皮	18.19	5.03	19.16
3	根	19.37	1.61	19.68	12	叶	19.39	7.15	20.89
	枝	19.35	1.14	19.57		加权平均	18.69	3.43	19.37
	干	18.68	0.47	18.77		叶	21.01	3.21	21.70
	皮	19.75	1.47	20.05		干	19.02	2.57	19.52
	叶	21.75	2.37	22.28		根	18.93	2.47	19.41
	加权平均	19.66	1.40	19.94		加权平均	19.60	2.80	20.30
4	根	18.01	3.61	18.69	13	叶	18.73	8.09	20.38
	枝	18.01	5.08	18.97		干	18.13	5.20	19.13
	干	18.38	5.70	19.48		根	17.53	7.14	18.88
	皮	17.53	8.10	19.11		加权平均	18.19	6.94	19.55
	叶	19.34	5.12	20.38		叶	17.69	8.16	19.27
	加权平均	18.18	4.70	19.18		干	17.85	4.67	18.73
5	根	17.99	5.13	18.96	14	根	17.99	5.77	19.09
	枝	17.18	5.92	18.25		加权平均	17.83	6.40	19.05
	干	18.38	5.70	19.48		叶	19.37	5.73	20.55
	皮	17.44	5.67	18.48		干	18.49	1.59	18.79
	叶	18.08	7.58	19.55		根	18.89	2.20	19.32
	加权平均	17.74	5.44	18.76		加权平均	18.96	3.42	19.65
6	根	18.64	3.22	19.26	15	叶	14.69	14.41	17.17
	枝	18.93	1.57	19.23		干	17.94	3.13	18.52
	干	18.57	1.34	18.83		根	17.70	6.42	18.91
	皮	19.42	2.77	19.97		加权平均	16.56	8.63	18.10
	叶	20.33	3.70	21.11		干	18.11	1.18	18.32
	加权平均	19.06	2.48	19.56		根	18.15	3.39	18.79
7	根	18.24	4.37	19.08	16	叶	17.54	5.69	18.60
	枝	17.46	5.01	18.36		加权平均	17.95	3.20	18.54
	干	17.33	3.82	18.02		干	18.38	1.41	18.64
	皮	14.25	3.86	16.53		根	18.75	1.80	19.09
	叶	14.30	6.03	17.03		叶	21.32	4.21	22.26
	加权平均	16.75	4.63	18.07		加权平均	19.37	2.37	19.86
8	根	18.25	2.25	18.67	17	地上	17.45	9.00	19.18
	枝	18.34	2.36	18.79		地下	17.58	4.98	18.51
	干	17.98	0.78	18.12		加权平均	17.50	7.39	18.91
	皮	17.30	7.04	18.62		地上	16.53	11.97	18.78
	叶	19.45	4.10	20.28		地下	15.31	16.39	18.31
	加权平均	18.27	3.02	18.84		加权平均	16.04	13.74	18.59
9	根	19.43	2.52	19.93	18	地上	18.26	6.01	19.42
	枝	19.37	1.90	19.74		地下	16.42	11.96	18.65
	干	18.49	0.87	18.65		加权平均	17.40	8.39	19.12
	皮	19.40	2.61	19.92					

柴. 层间附生的两种藤本植物各器官去灰分热值格局相同,都表现为叶 > 干 > 根. 灌木层植物器官

AFCV 也有两种特征:九节、罗伞和厚壳桂各部位是叶片 AFCV 最高,干最低;另一种是云南银柴,表现



A 为乔木 1 层,B 为乔木 2 层,C 为层间植物,D 为灌木层,横坐标数字为表 1 中各优势种序号.

图 1 季风常绿阔叶林不同层次优势种叶片去灰分热值

FIGURE 1 The ash-free caloric values of leaves from dominant species at different layers in the monsoon evergreen broad-leaved forest

为根最高,叶最低. 不论哪种情况,有一点可以确定:植物树叶去灰分热值在所测各部位中是比较高的. 草本层 3 个优势种去灰分热值格局相同,都是地上部分 > 地下部分.

2.4 同种植物在不同层次中相应部位去灰分热值特征

由于本研究有两种植物(厚壳桂和云南银柴)同时出现在相同群落的不同层次中,比较这两种植物各部位在相同群落不同层次去灰分热值发现,同种植物相应部位去灰分热值相差甚微,整个植株各部位平均热值也处于非常近似的水平,即同一群落的不同种植物相应部位及其整体平均去灰分热值不会随着植物所处分布层次不同出现较大的波动(表 3).

表 3 同种植物在不同层次中各部位去灰分热值

TABLE 3 The ash-free caloric values of organs from the same species in different layers kJ g⁻¹

树种	层次	根	枝	干	皮	叶	各器官平均
厚壳桂	乔木层	19.68	19.57	18.77	20.05	22.28	19.94
	灌木层	19.09		18.64		22.26	19.86
云南银柴	乔木层	19.08	18.36	18.02	16.53	17.03	18.07
	灌木层	18.91		18.52		17.17	18.10

2.5 器官生长年龄(直径)对去灰分热值的影响

本研究对乔木层优势种的根和枝两器官分粗细大小进行了采样,以期了解同种器官在不同生长年龄时段(或直径)去灰分热值的变化趋势. 从表 4 发现,除云南银柴外,乔木层中的 10 个优势种器官的去灰分热值均表现出细枝 > 粗枝,细根 > 粗根的特征,也即在根和枝条中,去灰分热值随着器官年龄的

增大而呈现下降趋势.

表 4 不同生长时段器官去灰分热值变化 kJ g⁻¹

TABLE 4 The ash-free caloric values of organs in different diameters

树种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
粗枝	18.80	18.82	19.17	18.94	17.76	19.08	18.83	18.73	19.30	19.05	18.72
细枝	19.15	19.52	19.98	19.00	19.52	19.42	18.92	18.83	19.95	19.18	19.34
粗根	18.33	19.39	19.46	18.92	18.50	18.50	18.92	18.67	19.91	19.08	19.32
细根	19.19	19.49	19.87	19.45	19.34	19.05	19.21	18.72	19.97	18.95	19.58

3 讨 论

在比较不同生境中植物器官的能量时,由于灰分在热值测定中不起作用,去灰分热值比干重热值能更好地反映植物的能量属性^[12,25].

本研究出现去灰分热值加权平均值乔木层 > 灌木层 > 草本层的特征是与群落中各层次太阳辐射强度的分布紧密相关. 季风常绿阔叶林太阳辐射能遵循从上到下指数递减规律^[26],植物热值在群落从高到低层次所表现的递减特征应该是植物种类、光照强度的差异等综合作用引起的^[4,12,27]. 在本研究我们首次发现南亚热带季风常绿阔叶林中的大型藤本植物的基础干重热值和去灰分热值都较高,其加权平均值甚至高于乔木层,这与林鹏等人^[19]发现热带雨林木质藤本热值接近乔木层热值的结论是一致的. 其原因可能是因为层间大型藤本植物能迅速生长以伸达到光照较好的林冠上层,其叶层可以更加有效地利用充足的光能进行光合作用,固定太阳能,因而热值与乔木层接近. 鼎湖山南亚热带大型藤本

的生物量,占群落的 0.12%^[28],如果将藤本植物生物量和其热值综合起来加以考察,可以推论,在南亚热带季风常绿阔叶林中大型藤本植物在光能利用、物质及能量生产和储存方面的潜力是巨大的。

在比较植物的叶片热值时,无论是乔木层还是灌木层,樟科厚壳桂的 GCV 和 AFCV 都最高,其原因在于厚壳桂含有较多油脂,使叶片出现了最高热值^[20]。此结果与林承超^[18]在研究福州鼓山季风常绿阔叶林 13 种植物叶片热值特征相同。林鹏等^[19]研究也发现,福建和溪亚热带季风常绿阔叶林乔木层叶片干重热值最高的也为厚壳桂,表现了种的特异性。

同时我们也发现,南亚热带季风常绿阔叶林锥栗、荷木基础干重热值和去灰分热值不是以叶片最高,而是以树皮或树干最高,这与李意德等^[17]在热带山地雨林研究的主要树种各器官热值特征相同。云南银柴的根去灰分热值最大,其原因是与该类植物树皮和根部含有某些特异性物质有关,还是这类植物本身的能量分配特性所决定的,有待于深入探讨。对同一树种而言,热值与植株所处的层次差异不明显,表明热值又与植物本身的生物学特性相关,在相同的生长环境下,其对光能的捕获特性相对其他植物而言是不变的,因此才会出现不论在乔木层还是在灌木层中,厚壳桂和云南银柴的热值都分别相差极小。同种植物不同生长时段器官热值出现差异,与器官生命活力密切相关,植物生命活动旺盛的器官由于所含生命物质较多,出现热值升高的趋势。

总体看,南亚热带季风常绿阔叶林不同层次 21 个优势种的去灰分热值均远高于世界陆生植物的平均去灰分热值(11.77 kJ/g)^[6],说明鼎湖山南亚热带季风常绿阔叶林优势种均属于高能植物,在贮存和累积太阳能方面存在优势,从另一个方面证明了南亚热带季风常绿阔叶林结构的稳定性,应该加以保护。

今后的研究重点是进一步探讨各植物热值随季节变化的规律及其与水热条件(气象因素)、植物各器官营养成分的关系,以便揭示环境条件的变化和植物生长状况是否对植物本身能量的分配规律和流动过程产生影响。这方面的研究目前开展不多,尚需要在大量积累资料的基础上深入进行。

参 考 文 献

- [1] 孙国夫,郑志明,王兆骞. 水稻热值的动态变化研究[J]. 生态学杂志, 1993, 12(1): 1-4.
SUN G F, ZHENG Z M, WANG Z Q. Dynamic of caloric values of rice[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1993, 12(1): 1-4.

- [2] 林光辉,林鹏. 红树植物秋茄热值及其变化的研究[J]. 生态学报, 1991, 11(1): 44-48.
LIN G H, LIN P. The change of caloric values of a mangrove species *Kandelia candel* in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(1): 44-48.
- [3] LONG F L. Application of calorimetric methods to ecological research[J]. *Plant Physiology*, 1934, 9(2): 323-327.
- [4] BLISS L C. Caloric value and lipid content in alpine tundra plants[J]. *Ecology*, 1962, 43: 753-757.
- [5] HADLEY E B, BLISS L C. Energy relationships of alpine plants in Mt. Washington[J]. *New Hampshire Ecological Monographs*, 1964, 134(34): 331-357.
- [6] 杨福国,何海菊. 高寒草甸地区常见植物热值的初步研究[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1983, 7(4): 280-287.
YANG F T, HE H J. A preliminary study on caloric values of common plants in alpine meadow. *Acta Phytocologica Geobot Sinica*, 1983, 7(4): 280-287.
- [7] 林鹏,林光辉. 几种红树植物的热值和灰分含量的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(2): 185-189.
LIN P, LIN G H. Study on the caloric value and ash content of some mangrove species in China. *Acta Phytocologica Geobot Sinica*, 1991, 15(2): 114-120.
- [8] 刘世荣,王文章,王明启. 落叶松人工林生态系统净初级生产力形成过程中的能量特征[J]. 植物生态学和地植物学报, 1992, 16(3): 209-219.
LIU S R, WANG W Z, WANG M Q. The characteristics of energy in the formative process of net primary productivity of larch artificial forest ecosystem. *Acta Phytocologica Geobot Sinica*, 1992, 16(3): 209-219.
- [9] SMITH D R. Gross energy value of above-ground parts of alpine plants[J]. *J Rangement*, 1967, 120(3): 179.
- [10] 闻大中. 我国东北地区农业生态系统的力能研究(): 东北平原地区主要农作物系统的能量利用[J]. 生态学杂志, 1986, 5(5): 6-12.
WEN D Z. Study of energetics of agroecosystems in Northeastern China, : Energy utilization in major crop system in northeastern plain of China. *Chinese Journal of Ecology*, 1986, 5(5): 6-12.
- [11] 王方桃. 平原稻区农业生态系统能流计量的折能系数的初步研究[J]. 生态学杂志, 1984, 3(6): 44-46.
WANG F T. Primary study on the energy coefficient flow accounting in the agroecosystem of plain area[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1984, 3(6): 6-12.
- [12] GOLLEY F B. Energy values of ecological materials[J]. *Ecology*, 1961, 42: 581-584.
- [13] 杨京平,博尼菲斯,姜宁,等. 稻田施氮水平对两种水稻热值变化特征的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 240-246.
YANG J P, WEKESA B, JIANG N, et al. The quantitative analysis of the caloric value dynamics of two rice varieties under different nitrogen application levels[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 240-246.
- [14] XIE F D, DONG Z, ZHAO Y X. The relationship between the drought-resistant and energy status in Soybean varieties [C]. Chinese Agronomy Association ed. *Proceedings of Second National Youth Agronomist Conferences*. Beijing: China Agriculture Press, 1995.

- [15] 刘世荣, 蔡体久, 柴一新, 等. 落叶松人工林群落能量积累、分配、固定和转化的研究[J]. 生态学杂志, 1990, 9(6): 7-10.
LIU S R, CAI T J, CHAI Y X, *et al.* Energy accumulation, distribution, fixation and transformation in man-made larch forest communities[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1990, 9(6): 7-10.
- [16] 黄世能, 郑海水, 何克军. 桉树薪炭林混交试验() : 林分生物量和能量分配的研究[J]. 林业科学研究, 1991, 4(5): 545-549.
HUANG S N, ZHENG H S, HE K J. Studies on the mixed fuelwood of Eucalyptus : the Allocation of biomass and energy in the stands [J]. *Forest Research*, 1991, 4(5): 545-549.
- [17] 李意德, 吴仲民, 曾庆波, 等. 尖峰岭热带山地雨林主要种类能量背景值测定分析[J]. 植物生态学报, 1996, 20(1): 1-10.
LI Y D, WU Z M, ZENG Q B, *et al.* Caloric values of main species in a tropical mountain rain forest at Jianfengling, Hainan Island[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(1): 1-10.
- [18] 林承超. 福州鼓山季风常绿阔叶林及其林缘几种植物叶热值和营养成分[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 832-836.
LIN C C. Caloric values and nutrient composition of the leaves of monsoon evergreen broad-leaved forest and some forest-edge plants on Gushan Mountain in Fuzhou[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999(6): 832-836.
- [19] 林鹏, 邵成, 郑文教. 福建和溪亚热带雨林优势植物叶的热值研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(4): 303-309.
LIN P, SHAO C, ZHENG W J. Study on the caloric values on dominating plants in a subtropical rain forest in Hexi of Fujian[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(4): 303-309.
- [20] 任海, 彭少麟, 刘鹏先, 等. 鼎湖山植物群落及其主要植物的热值研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 148-154.
REN H, PENG S L, LIU P X, *et al.* The caloric values of main plant species at Dinghushan, Guangdong, China [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(2): 148-154.
- [21] 黄忠良, 蒙满林, 张佑昌. 鼎湖山生物圈保护区的气候[M] 鼎湖山森林生态系统研究站编. 热带亚热带森林生态系统研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 134-139.
HUANG Z L, MENG M L, ZHANG Y C. Climate of Dinghushan biosphere Reserve [M] Dinghushan Forest Ecosystem Research Station ed. *Tropical and sub-tropical forest ecosystem*. Beijing: China Environmental Science Press, 1998: 134-139.
- [22] 何金海, 陈兆其, 梁永柔. 鼎湖山自然保护区之土壤[M] 鼎湖山森林生态系统研究站编. 热带亚热带森林生态系统研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1982: 25-37.
HE J H, CHEN Z Q, LIANG Y E. Soils of Dinghushan biosphere reverse [M]//Dinghushan Forest Ecosystem Research Station ed. *Tropical and sub-tropical forest ecosystem*. Beijing: China Environmental Science Press, 1982: 25-37.
- [23] 王铸毫, 何道泉, 宋邵敦, 等. 鼎湖山自然保护区的植被[M] 鼎湖山森林生态系统研究站编. 热带亚热带森林生态系统研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1982: 77-141.
WANG Z H, HE D Q, SONG S D, *et al.* Vegetation of Dinghushan biosphere reverse [M]//Dinghushan Forest Ecosystem Research Station ed. *Tropical and sub-tropical forest ecosystem*. Beijing: China Environmental Science Press, 1982: 77-141.
- [24] 林益明, 柯莉娜, 王湛昌, 等. 深圳福田红树林区7种红树植物叶片热值的季节变化[J]. 海洋学报, 2002, 24(3): 112-118.
LIN Y M, KE L N, WANG Z C, *et al.* Seasonal changes in the caloric values of the leaves of seven mangrove species at Futian, Shenzhen[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2002, 24(3): 112-118.
- [25] REINERS W A. Comparison of oxygen-bomb combustion with standard ignition techniques for determining total ash[J]. *Ecology*, 1972, 53: 132-136.
- [26] 任海, 彭少麟, 张祝平, 等. 鼎湖山季风常绿阔叶林林冠结构与辐射研究[J]. 生态学报, 1996, 16(2): 174-179.
REN H, PENG S L, ZHANG Z P, *et al.* Study on canopy structure and canopy radiation of monsoon evergreen broad leaf forest in Dinghushan biosphere reserve, Guangdong [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(2): 174-179.
- [27] 祖元刚. 能量生态系统引论. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990.
ZU Y G. *An introduction to energy ecology* [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1990.
- [28] 温达志, 魏平, 孔国辉, 等. 鼎湖山锥栗+黄果厚壳桂+荷木群落生物量及其特征[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 497-504.
WEN D Z, WEI P, KONG G H, *et al.* Biomass study of the community of *Castanopsis chinensis* + *Cryptocarya concinna* + *Schima superba* in a southern China reserve [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(5): 497-504.

(责任编辑 赵 勃)