

四种灌木状与四种乔木状棕榈植物热值的月变化

林益明¹, 王湛昌¹, 柯莉娜¹, 林 鹏¹, 谭忠奇², 丁印龙²

(1. 厦门大学生命科学学院, 厦门 361005; 2. 厦门市园林植物园, 厦门 361003)

摘要:对 4 种灌木状棕榈植物(香棕、袖珍椰子、棕竹、江边刺葵)与 4 种乔木状棕榈植物(假槟榔、董棕、国王椰子、大王椰子)叶的热值和灰分含量的月变化进行了研究。结果表明:(1)8 种植物叶的灰分含量存在差异且具有不同的月变化;从灰分含量的比较看,乔木类的 4 种植物叶平均灰分含量分别为:假槟榔 $13.64\% \pm 2.94\%$ 、董棕 $9.74\% \pm 1.90\%$ 、国王椰子 $9.12\% \pm 1.18\%$ 、大王椰子 $8.69\% \pm 3.55\%$;灌木类的 4 种植物叶平均灰分含量分别为:棕竹 $8.73\% \pm 2.52\%$ 、袖珍椰子 $8.67\% \pm 1.19\%$ 、香棕 $8.63\% \pm 1.20\%$ 、江边刺葵 $7.60\% \pm 0.98\%$,乔木类植物(除大王椰子外)叶平均灰分含量高于灌木类的植物;(2)从干重热值的月变化来看,分 3 种类型:江边刺葵与棕竹有相反的变化趋势;假槟榔、董棕、袖珍椰子的月变化趋势相同;国王椰子、香棕、大王椰子具有各自的变化趋势;在 8 种棕榈植物中,除香棕外,灌木类的植物平均干重热值大于乔木类;灌木类中,茎单生的江边刺葵干重热值高于茎丛生的棕竹、香棕和袖珍椰子;(3)假槟榔、袖珍椰子、大王椰子的干重热值与灰分含量具有极显著的线性相关($P < 0.01$),棕竹的干重热值与灰分含量有显著的线性相关($P < 0.05$);而香棕、董棕、江边刺葵、国王椰子的干重热值与灰分含量无相关($P > 0.05$);(4)灌木状种类平均去灰分热值分别为:江边刺葵($22.65 \pm 0.59 \text{ kJ/g}$)、袖珍椰子($22.19 \pm 0.48 \text{ kJ/g}$)、棕竹($21.94 \pm 0.76 \text{ kJ/g}$)、香棕($21.35 \pm 0.75 \text{ kJ/g}$);乔木状种类分别为:国王椰子($21.76 \pm 0.55 \text{ kJ/g}$)、董棕($21.20 \pm 0.72 \text{ kJ/g}$)、假槟榔($21.12 \pm 0.52 \text{ kJ/g}$)、大王椰子($20.98 \pm 0.55 \text{ kJ/g}$);灌木类(除香棕外)平均去灰分热值大于乔木类;去灰分热值与干重热值的月变化趋势不同,灰分含量的不同是导致差异的原因。

关键词:棕榈植物;灰分含量;干重热值;去灰分热值;月变化

Monthly changes in the caloric values of the leaves of four shrubby and four tree-dwelling palmae species

LIN Yi-Ming¹, WANG Zhan-Chang¹, KE Li-Na¹, LIN Peng¹, TAN Zhong-Qi², DING Yin-Long² (1. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Botanical Garden of Xiamen City, Xiamen 361003, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1117~1124.

Abstract: Monthly changes in the ash contents and caloric values of the leaves of 8 Palmae species (four shrubby species: *Arenga engleri*, *Chamaedorea elegans*, *Rhapis excelsa* and *Phoenix roebelenii*; four tree-

基金项目:国家建设部资助项目;厦门市园林局资助项目

收稿日期:2002-01-23; **修订日期:**2002-08-30

作者简介:林益明(1967~),男,福建省福清市人,博士,教授。主要从事植物生态学与红树林湿地生态学研究。E-mail: linym@xmu.edu.cn

Foundation item: The Construction Department of China and The Administrative Bureau of Xiamen Landscape Architecture

Received date: 2002-01-23; **Accepted date:** 2002-08-30

Biography: LIN Yi-Ming, Ph. D., Professor, main research areas include plant ecology and mangrove wetland ecology.

dwelling species; *Archontophoenix alexandrae*, *Caryota urens*, *Ravenea rivularis* and *Roystonea regia*) were discussed in this paper, and the results showed as follows: (1) The ash contents of the 8 *Palmae* species were different and varied with season; the annual average ash contents of the four tree-dwelling species were $13.64\% \pm 2.94\%$ for *Archontophoenix alexandrae*, $9.74\% \pm 1.90\%$ for *Caryota urens*, $9.12\% \pm 1.18\%$ for *Ravenea rivularis*, and $8.69\% \pm 3.55\%$ for *Roystonea regia*; those of the four shrubby species were $8.73\% \pm 2.52\%$ for *Rhapis excelsa*, $8.67\% \pm 1.19\%$ for *Chamaedorea elegans*, $8.63\% \pm 1.20\%$ for *Arenga engleri*, and $7.60\% \pm 0.98\%$ for *Phoenix roebelenii*, respectively; the average ash contents of the four tree-dwelling species (except for *Roystonea regia*) were higher than those of the four shrubby species; (2) The 8 species had three types of monthly gross caloric value change trends; *Archontophoenix alexandrae*, *Caryota urens* and *Chamaedorea elegans* had similar monthly change trend, while *Phoenix roebelenii* and *Rhapis excelsa* had the opposite trends of monthly changes; the other three species (*Ravenea rivularis*, *Arenga engleri* and *Roystonea regia*) each had its own changing trend. The shrubby species had higher gross caloric value than the tree-dwelling species except for *Arenga engleri*, of the shrubby species, *Phoenix roebelenii* (monaxial stem) had the highest gross caloric value (than *Arenga engleri*, *Chamaedorea elegans* and *Rhapis excelsa* (clumpy stem)); Seasonal changes in gross caloric values varied with various species; (3) Gross caloric values were correlated remarkably with ash contents for *Archontophoenix alexandrae*, *Chamaedorea elegans* and *Roystonea regia* ($P < 0.01$), they were correlated for *Rhapis excelsa* ($P < 0.05$), too, whereas there was no significant correlation between gross caloric values and ash contents for other species; (4) the average ash free caloric values of the shrubby species were 22.65 ± 0.59 kJ/g for *Phoenix roebelenii*, 22.19 ± 0.48 kJ/g for *Chamaedorea elegans*, 21.94 ± 0.76 kJ/g for *Rhapis excelsa* and 21.35 ± 0.75 kJ/g for *Arenga engleri*, respectively; those of the tree-dwelling species were 21.76 ± 0.55 kJ/g for *Ravenea rivularis*, 21.20 ± 0.72 kJ/g for *Caryota urens*, 21.12 ± 0.52 kJ/g for *Archontophoenix alexandrae* and 20.98 ± 0.55 kJ/g for *Roystonea regia* respectively; the shrubby species had higher ash free caloric value than the tree-dwelling species except for *Arenga engleri*. The seasonal changes in ash free caloric values were different from those in gross caloric values due to various ash contents in the leaves of the 8 *Palmae* species.

Key words: palmae species; ash content; gross caloric value; ash free caloric value; monthly change

文章编号:1000-0933(2003)06-1117-08 中图分类号:Q948,Q949.7 文献标识码:A

能量是生态学功能研究中的基本概念之一,植物热值是植物含能产品能量水平的一种度量,可反映植物对太阳辐射能的利用状况,也是评价植物营养成分的标志之一。孙国夫等对水稻叶片热值的研究表明,植物热值研究最重要意义在于热值能反映组织各种生理活动的变化和植物生长状况的差异;各种环境因子对植物生长的影响,可以从热值的变化上反映出来,热值可作为植物生长状况的一个有效指标^[1]。

棕榈科(*Palmae*)是单子叶植物纲中少有的具有乔木性状、宽阔的大型叶和发达的维管系统的一个科,主要分布于热带^[2]。棕榈科植物种类繁多,习性多样,为我国南方城市绿化的主要树种之一。本文对 8 种棕榈植物叶的灰分含量、热值的大小及其月变化进行研究,从能量角度探讨 8 种植物的生态适应性,为引种、保护和发展提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集

样品采自厦门园林植物园内棕榈植物区的栽培棕榈植物,采集时间为 2000 年 7 月至 2001 年 6 月,每月采集 1 次。据厦门气象台资料,该地年平均气温 21.1℃,最低月均温 12.3℃,年较差 16.0℃,年降雨量 1036 mm。气候为亚热带季风气候,气候温和,雨量充沛。土壤为砂质壤土,表层腐殖质较少。采集的 8 种棕榈植物分两类,乔木类:假槟榔(*Archontophoenix alexandrae*)、董棕(*Caryota urens*)、国王椰子(*Ravenea*

rivularis)、大王椰子(*Roystonea regia*)4种;灌木类:香棕(*Arenga engleri*)、袖珍椰子(*Chamaedorea elegans*)、棕竹(*Rhapis excelsa*)、江边刺葵(*Phoenix roebelenii*)4种。8种植物叶片均采自林冠外侧,按东西南北方向混合采样。

1.2 测定方法

所有样品采集后经 80℃烘干,磨粉处理后过筛贮存备用;另取小样 105℃烘干至恒重,求含水量。而后用热量计法测定其热值含量,仪器采用长沙仪器厂生产的 GR-3500 型微电脑氧弹式热量计。样品热值以干重热值(每克干物质在完全燃烧条件下所释放的总热量,简称 GCV)和去灰分热值(AFCV)来表示。测定环境是空调控温 20℃左右;每份样品多次重复,重复间误差控制在±0.2 kJ/g,每次实验前用苯甲酸标定。

灰分含量的测定用干灰化法,即样品在马福炉 550℃下灰化 5 h 后测定其灰分含量。之后用以计算样品的去灰分热值,计算方法为:去灰分热值=干重热值/(1-灰分含量)。去灰分热值能比较正确反映单位有机物中所含的热量,免受灰分含量不同的干扰。因而,以两种热值求算进行比较。

2 结果与讨论

2.1 8种植物叶的灰分含量及月变化

灰分是指植物体矿物元素氧化物的总和,不同植物以及不同生长发育时期其含量不同^[3]。8种植物叶的灰分含量存在差异且月变化趋势各不相同(图 1)。从灰分含量的月变化来看,假槟榔的灰分含量在 7 月份最高,8 月份最低,在 2000 年 7~12 月份波动较大,在 2001 年 1~6 月份波动较缓;董棕的灰分含量在 9 月份最高,8 月份最低;国王椰子在 12 月份最高,3 月份最低;大王椰子在 5 月份最高,3 月份最低;香棕的灰分含量在 6 月份最高,10 月份最低,一年中秋季最低;袖珍椰子在 5 月份最高,11 月份最低;江边刺葵在 9 月份最高,8 月份最低;棕竹在 8 月份最高,9 月份最低,除 8 月份外,其余月份变化平缓。说明灰分含量的月变化趋势因种而异。

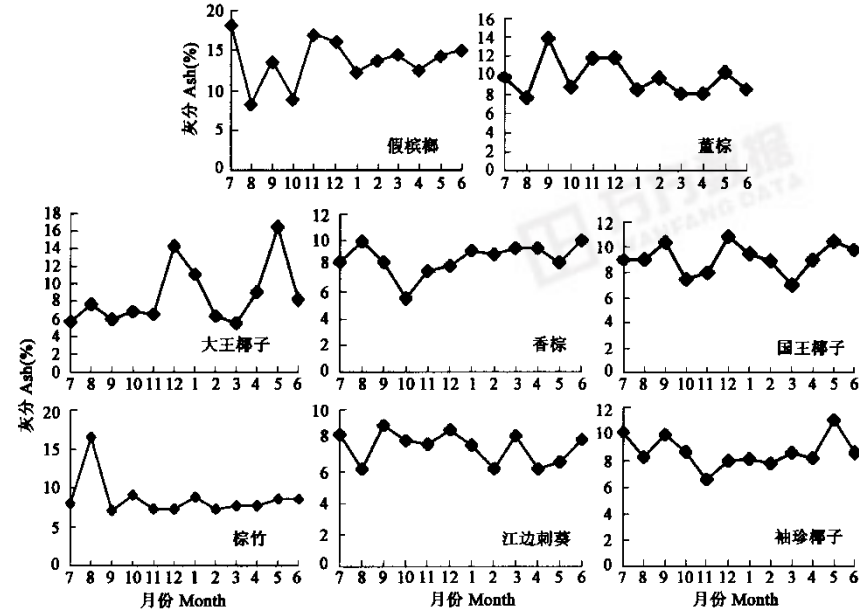


图 1 8 种棕榈植物叶灰分含量的月变化

Fig. 1 Monthly changes in the ash contents of the leaves of 8 Palmae species

假槟榔 *Archontophoenix alexandrae*; 董棕 *Caryota urens*; 大王椰子 *Roystonea regia*; 香棕 *Arenga engleri*; 国王椰子 *Ravenea rivularis*; 棕竹 *Rhapis excelsa*; 江边刺葵 *Phoenix roebelenii*; 袖珍椰子 *Chamaedorea elegans*

从灰分含量的比较看,乔木类的 4 种植物叶平均灰分含量分别为:假槟榔 $13.64\% \pm 2.94\%$ 、董棕 $9.74\% \pm 1.90\%$ 、国王椰子 $9.12\% \pm 1.18\%$ 、大王椰子 $8.69\% \pm 3.55\%$;灌木类的 4 种植物叶平均灰分含量分别为:棕竹 $8.73\% \pm 2.52\%$ 、袖珍椰子 $8.67\% \pm 1.19\%$ 、香棕 $8.63\% \pm 1.20\%$ 、江边刺葵 $7.60\% \pm 0.98\%$;可以看出,乔木类植物(除大王椰子外)叶平均灰分含量高于灌木类的植物。与热带亚热带地区其它植物叶的灰分含量相比,海南东寨港 7 种红树植物叶的灰分含量在 $7.11\% \sim 9.80\%$ 之间^[4];广东鼎湖山季风常绿阔叶林植物叶的灰分含量在 $2.6\% \sim 5.2\%$ 之间,针阔混交林植物叶的灰分含量在 $1.5\% \sim 3.8\%$ 之间,针叶林植物叶的灰分含量在 $1.9\% \sim 3.8\%$ 之间^[5]。由此可见,8 种棕榈植物叶与红树植物叶一样具有较高的灰分含量。灰分含量的高低与植物吸收的元素量有关。灰分含量高低可指示植物富集元素的作用,如红树植物白骨壤(*Avicennia marina*)的叶被广西沿海群众用作绿肥就是因为其灰分含量高(12.27%),特别是 N、P 含量高的缘故^[6]。植物各组分对土壤元素的富集量本质上与植物各组分对元素的需求量和土壤中元素的含量及存在形态等有关,而元素的存在形态因不同因素而不同,因此灰分含量与生长的土壤条件有关,不是固定不变的,灰分含量的高低可反映不同植物对矿质元素选择吸收与积累的特点。

2.2 8 种植物叶的干重热值及月变化

从干重热值的月变化来看(图 2),分 3 种类型:(1)江边刺葵与棕竹有相反的变化趋势;江边刺葵的干重热值在 8、12、4 月份 3 个高峰,其中 12 月份的最高;而棕竹在 8、12 月份正好相反,干重热值处于低值。(2)假槟榔、董棕、袖珍椰子的月变化趋势相同;干重热值均在 10 月份最高,而最低值的月份却不同,假槟榔在 12 月份,董棕在 9 月份,袖珍椰子在 7 月份最低。(3)国王椰子、香棕、大王椰子具有各自的变化趋势;国王椰子在春、夏季节干重热值呈波动变化,秋季至冬季(2000 年 9 月至 2001 年 1 月)干重热值逐渐升高,在 1 月份最高;香棕在 2000 年 10 月份的干重热值最高,而后逐渐减低,在第 2 年的 3 月份降至最低;大王椰子的干重热值在全年呈现波动变化,说明了植物叶干重热值的月变化趋势因不同种类而不同或相似。

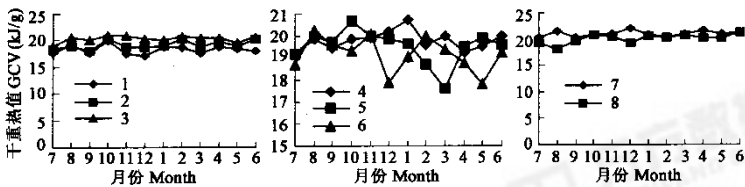


图 2 8 种棕榈植物叶干重热值的月变化(kJ/g)

Fig. 2 Monthly changes in the gross calorific values of the leaves of 8 *Palmae* species

假槟榔 *Archontophoenix alexandrae*;董棕 *Caryota urens*;袖珍椰子 *Chamaedorea elegans*;国王椰子 *Ravenea rivularis*;香棕 *Arenga engleri*;大王椰子 *Roystonea regia*;江边刺葵 *Phoenix roebelenii*;棕竹 *Rhapis excelsa*

同一植物在生长季节内的不同时期,其热值含量是不同的。日本学者福山正隆等研究发现,在日本的放牧草地上,大多数的优势牧草表现出春季干重热值含量高,夏季干重热值急剧下降,而秋季又维持在一个较高水平的特点^[7]。林益明和林鹏对绿竹叶的研究结果是干重热值在春季最高,冬季最低^[8];James and Smith^[9]和 Huges^[10]研究都发现叶在生长季节的春季干重热值最高。他根据 Morrison 的观点认为粗蛋白含量在绿叶中降低,粗纤维和无氮浸出液增加,而醚类(部分为脂肪)在生长季节保持恒定,因而叶子的干重热值春季比秋季高。Wielgolaski and Kjolvik 研究认为,干重热值随季节变化与植物的物候节律及对环境因子变化的反应有关^[11]。8 种棕榈植物叶的干重热值有 4 种(假槟榔、董棕、袖珍椰子、香棕)在秋季的 10 月份最高;2 个种在冬季最高(江边刺葵在 12 月份,国王椰子在 1 月份);2 个种在夏季最高(棕竹在 6 月份,大王椰子在 8 月份);而最高值均不出现在生长季节的春季。

在 8 种棕榈植物中,除香棕外,灌木类的植物平均干重热值大于乔木类。灌木类中,茎单生的江边刺葵干重热值($20.24 \sim 21.93$ kJ/g,平均为 20.93 ± 0.53 kJ/g)高于茎丛生的棕竹($18.04 \sim 21.22$ kJ/g,平均为

20.03±0.86 kJ/g)[经*t*检验,达显著水平($P<0.05$)],香棕(17.57~20.63kJ/g,平均为19.51±0.78 kJ/g)[经*t*检验,达极显著水平($P<0.0005$)]和袖珍椰子(18.88~20.92kJ/g,平均为20.27±0.60 kJ/g)[经*t*检验,达极显著水平($P<0.005$)];而茎丛生的袖珍椰子、棕竹、香棕的干重热值接近,经*t*检验,无显著差异($P>0.05$);林益明等对福建华安园竹类植物的研究表明,茎单轴散生的竹种干重热值高于茎丛生的竹种,单轴散生的竹种较抗寒,丛生的竹种较喜热,具有一定的规律性^[12]。植物的小型化或灌木化比乔木化对不良生境具有更强的适应性。如红树植物秋茄(*Kandelia candel*)在纬度较低的地带到纬度较高地带,形态由乔木状转变为低矮的灌丛状^[13]。

许多研究表明,干重热值的高低与植物的抗寒性有一定的关系,抗寒的种类比喜热的种类干重热值相对较高^[4,12]。本研究中,灌木状的种类比乔木状的种类有更高的干重热值,对生境有更强的生态适应性。4种乔木状种类,国王椰子的干重热值(19.16~20.75 kJ/g,平均为19.78±0.45 kJ/g)高于假槟榔(17.11~19.96 kJ/g,平均为18.24±0.83 kJ/g)[经*t*检验,达极显著水平($P<0.0005$)],董棕(18.00~20.37 kJ/g,平均为19.14±0.78 kJ/g)[经*t*检验,达显著水平($P<0.05$)],大王椰子(17.81~20.26 kJ/g,平均为19.15±0.78 kJ/g)[经*t*检验,达显著水平($P<0.05$)],这与它们的特性相符。国王椰子较耐阴和更强的低温适应性,假槟榔、董棕、大王椰子均为喜热的种类,对光和热量有很大的需求。

8种棕榈植物中,江边刺葵具有高的干重热值,各月的干重热值都在20.0 kJ/g以上。Howard-Williams^[14]、Franken^[15]在研究亚马逊地区的热带雨林时发现有些植物叶的高热值现象。Howard-Williams指出,亚马逊地区植物叶的高热值现象是与亚马逊地区非常贫瘠的土壤条件下,植物适应环境的结果,在植物叶子中进行了高能化合物的积累。由于土壤贫瘠,养份的有效性较低限制了植物的生长,导致光合作用进入另一渠道生产高能的化合物如蜡、树脂和脂肪,这些化合物保护叶子免受食草动物的啃食,避免了植物体的能量损失。这种植物对环境的特殊适应也反映植物主动适应环境的能力,是植物自身的高能量对物质的一种补偿作用。

与热带亚热带地区不同植被类型叶片的平均干重热值相比(表1),南亚热带福建厦门8种棕榈植物叶片的平均干重热值19.63kJ/g,低于广东鼎湖山针阔混交林21.34 kJ/g,广东鼎湖山季风常绿阔叶林20.63 kJ/g,福建南靖和溪南亚热带雨林20.97 kJ/g,高于福建华安竹类植物叶17.67 kJ/g,而与海南东寨港红树林19.51 kJ/g相近。

表 1 不同植被类型叶片的平均干重热值

Table 1 Average gross caloric values in leaves of various vegetation types				
植被类型 Vegetation type	取样地区 Sampling site	种数 Num. of species	叶片平均干重热值 Average gross caloric values in leaves(kJ/g)	资料来源 Cited from
热带湿润森林 Tropical moist forest	巴拿马 Panama	4	15.61	[7]
热带草原 Tropical grassland	美国明尼苏达州 Minnesota, USA	复合 Compound	20.28	[7]
红树林 Mangroves	中国海南东寨港 Dongzhai Harbor, Hainan	7	19.51	[4]
季风常绿阔叶林 Monsoon evergreen broadleaved forest	中国广东鼎湖山 Dinghushan, Guangdong	8	20.63	[5]
针阔混交林 Coniferous broadleaved mixed forest	中国广东鼎湖山 Dinghushan, Guangdong	8	21.34	[5]
南亚热带雨林 South subtropical rain forest	中国福建南靖和溪 Hexi, Nanjing County, Fujian	5	20.97	*
竹类植物 Bamboo	中国福建华安 Huaan County, Fujian	46	17.67	[12]
棕榈植物 Palmae species	中国福建厦门 Xiamen, Fujian	8	19.63	本文 This paper

* 邵成, 福建和溪亚热带雨林凋落物的物质和能量动态及优势植物热值的研究. 厦门, 厦门大学硕士学位论文, 1988

2.3 8种植物叶的干重热值与灰分含量的相关

植物组分或器官干重热值的差异主要是受自身组成(所含的营养物质)、结构和功能的影响;其次,还受光照强度、日照长短及土壤类型和植物年龄影响^[10,16~18]。此外,灰分含量的高低对植物的干重热值也有一定的影响。

假槟榔、袖珍椰子、大王椰子在 2000 年 7 月至 2001 年 6 月一年中干重热值与灰分含量具有极显著的线性相关,棕竹的干重热值与灰分含量有显著的线性相关;而香棕、董棕、江边刺葵、国王椰子的干重热值与灰分含量无相关(表 2)。把 8 个种综合一起进行干重热值与灰分含量的相关分析,得到 $y = -0.274x + 22.192$ ($r = 0.711^{**}$, $n = 96$),干重热值与灰分含量具有极显著的线性相关(图 3)。林益明等(2001)对福建华安竹园竹类植物叶的研究也有相似的结果^[12]。

表 2 8 种棕榈植物叶的干重热值与灰分含量的关系

种类 Species	方程 Regress equation	相关系数 Relation coefficient(r)	样本数 Sample number (n)
假槟榔 <i>Archontophoenix alexandrae</i>	$y = -0.2406x + 21.52$	0.850**	12
香棕 <i>Arenga engleri</i>	$y = -0.3279x + 22.344$	0.508	12
董棕 <i>Caryota urens</i>	$y = -0.2247x + 21.327$	0.546	12
袖珍椰子 <i>Chamaedorea elegans</i>	$y = -0.386x + 23.616$	0.767**	12
江边刺葵 <i>Phoenix roebelenii</i>	$y = -0.0704x + 21.46$	0.131	12
棕竹 <i>Rhapis excelsa</i>	$y = -0.2039x + 21.804$	0.594*	12
国王椰子 <i>Ravenea rivularis</i>	$y = -0.0238x + 19.992$	0.06	12
大王椰子 <i>Roystonea regia</i>	$y = -0.1707x + 20.637$	0.773**	12

* y 为干重热值 gross caloric value (kJ/g), x 为灰分含量 ash content (%); $r_{0.05(10)} = 0.576$, $r_{0.01(10)} = 0.708$

2.4 8种植物叶的去灰分热值及月变化

从去灰分热值的月变化来看,8种植物叶的月变化趋势各不相同(图 4)。杨福国和何海菊探讨了植物去灰分热值随着植物生长发育节律而变化的规律。他们将我国高寒草甸地区常见的 4 种优势植物—珍珠蓼、垂穗披碱草、矮蒿草、金露梅在不同时期的去灰分热值变化曲线归纳成“V”型(珍珠蓼和金露梅)、“L”型(垂穗披碱草)和无明显变化(矮蒿草)3 种类型^[19]。8 种棕榈植物的去灰分热值的变化曲线有较大差异,与杨福国和何海菊对高寒草甸地区常见的 4 种优势植物的研究结果有很大不同。

从去灰分热值的月变化看,假槟榔、袖珍椰子在 10 月份最高;棕竹在 6 月份,香棕、大王椰子在 8 月份,江边刺葵在 12 月份,国王椰子在 1 月份,董棕在 2 月份;同样,去灰分热值的最高值也不出现在生长季节的春季。结合干重热值月变化趋势看,去灰分热值与干重热值的月变化趋势不同,灰分含量的不同是导致差异的原因。

从灌木状种类去灰分热值比较来看,江边刺葵的去灰分热值(21.60~24.10kJ/g,平均为 22.65±0.59kJ/g)高于袖珍椰子(21.01~22.91 kJ/g,平均为 22.19±0.48kJ/g),经 t 检验,达显著水平($P < 0.05$);袖珍椰子与棕竹的去灰分热值(20.77~23.24 kJ/g,平均为 21.94±0.76kJ/g)接近,经 t 检验,无显著差异($P > 0.20$);袖珍椰子与棕竹的去灰分热值高于香棕(19.40~22.20kJ/g,平均为 21.35±0.75kJ/g),经 t 检验,分别达极显著水平($P < 0.005$)与显著水平($P < 0.05$);从乔木状种类的去灰分热值比较看,国王椰子(21.19~22.20kJ/g,平均为 21.76±0.55kJ/g)高于董棕(20.28~22.34 kJ/g,平均为 21.20±0.72kJ/g),经 t 检验,达显著水平($P < 0.05$);而董棕、假槟榔(20.35~21.90 kJ/g,平均为 21.12±0.52kJ/g),

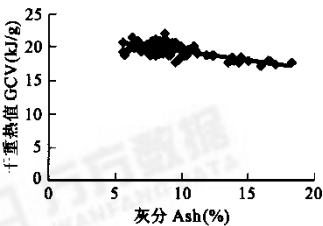


图 3 8 种棕榈植物叶干重热值与灰分含量的相关
Fig. 3 Relationship between gross caloric values and ash contents of 8 *Palmae* species

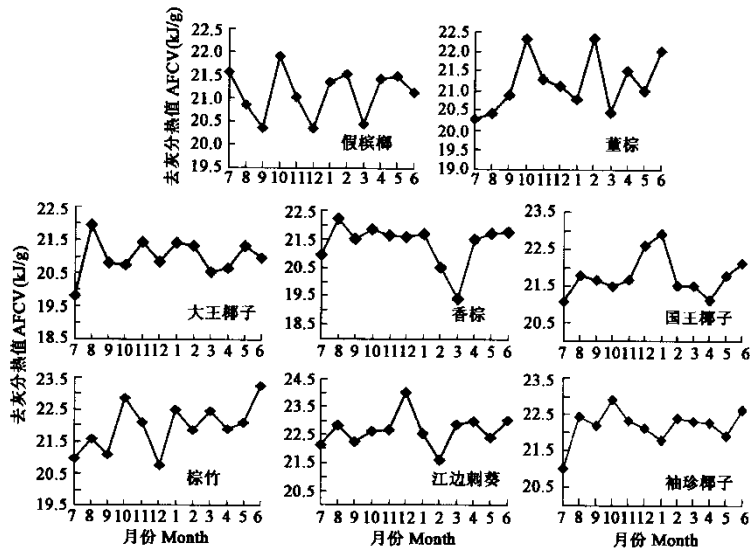


图 4 8 种棕榈植物叶的去灰分热值月变化(kJ/g)

Fig. 4 Monthly changes in the ash free calorific values of the leaves of 8 Palmae species

假槟榔 *Archontophoenix alexandreae*; 董棕 *Caryota urens*; 大王椰子 *Roystonea regia*; 香棕 *Arenga engleri*; 国王椰子 *Ravenea rivularis*; 棕竹 *Rhapis excelsa*; 江边刺葵 *Phoenix roebelenii*; 袖珍椰子 *Chamaedorea elegans*
大王椰子(19.80~21.94 kJ/g, 平均为 20.98±0.55 kJ/g)的去灰分热值接近, 经 *t* 检验, 无显著差异($P>0.10$)。

通过比较可以看出, 灌木状种类(除香棕外)比乔木状种类有更高的去灰分热值, 这与干重热值的结果一致; 乔木状种类中, 仍以国王椰子的去灰分热值最高。

与邻近地区不同植被类型叶片的平均去灰分热值相比, 8 种棕榈植物叶的平均去灰分热值为 21.65 kJ/g, 低于南亚热带广东鼎湖山针阔混交林乔木层的 22.43kJ/g(8 种植物叶平均), 高于福建华安竹类植物叶的 20.85 kJ/g(46 种平均), 而与广东鼎湖山季风常绿阔叶林乔木层的 21.63 kJ/g(8 种植物叶平均)相近。

3 结论

(1)8 种棕榈植物叶的灰分含量存在差异且月变化趋势各不相同, 乔木类植物(除大王椰子外)叶平均灰分含量高于灌木类的植物;(2)在 8 种棕榈植物中, 除香棕外, 灌木类植物的平均干重热值大于乔木类; 灌木类中, 茎单生的江边刺葵干重热值高于茎丛生的棕竹、香棕和袖珍椰子; 植物叶干重热值的月变化趋势因不同种类而不同或相似;(3)假槟榔、袖珍椰子、大王椰子的干重热值与灰分含量具有极显著的线性相关($P<0.01$), 棕竹的干重热值与灰分含量有显著的线性相关($P<0.05$); 而香棕、董棕、江边刺葵、国王椰子的干重热值与灰分含量无相关($P>0.05$);(4)灌木类(除香棕外)平均去灰分热值大于乔木类; 去灰分热值与干重热值的月变化趋势不同, 灰分含量的不同是导致差异的原因。

References:

[1] Sun G F, Zheng Z M, Wang Z Q. Dynamics of calorific values of rice. *Chinese Journal of Ecology*, 1993, 12(1): 1~4. 万方数据
[2] Ma W L, ed. *Higher plants and diversities*. Beijing: Higher Education Press, 1998. 127.

[3] Lin Y M, Yang Z W, Li Z J. *Research on Evergreen Forests in the Wuyi Mountains*. Xiamen: Xiamen University Press, 2001.

[4] Lin P, Lin G H. Study on the caloric value and ash content of some mangrove species in China. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1991, **15**(2):114~120.

[5] Ren H, Peng S L, Liu H X, *et al.* The caloric value of main plant species at Dinghushan, Guangdong, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, **23**(2): 148~154.

[6] Lin P. *Mangrove vegetation*. Beijing: China Ocean Press,1984. 38~48.

[7] Zu Y G. *Introduction to energy ecology*. Changchun: Jilin Science and Technology Press,1990.

[8] Lin Y M, Lin P. Energy of *Dendrocalamopsis oldhami* forest in Hua'an County. *Journal of Xiamen University (Nature Science)*, 1998, **37**(6):908~914.

[9] James T D W and Smith D W. Seasonal changes in the caloric values of the leaves and twigs of *Populus tremuloides*. *Can. J. Bot.*, 1978, **56**:1804~1805.

[10] Hughes M K. Seasonal calorific values from a deciduous woodland in England. *Ecology*, 1971, **52**:923~926.

[11] Wielgolaski F E and Kjelson S. Energy content and use of solar radiation of Fennoscandian Tundra plants. In: Wielgolaski F E ed. *Fennoscandian Tundra Ecosystem, Part I: Plants and Microorganisms*. Berlin: Springer-Verlag, 1975. 201~207.

[12] Lin Y M, Li Z B, Chen Y Y, *et al.* Caloric values in leaves of some bamboo species in the Bamboo Garden of Hua'an county. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, **18**(3):356~362.

[13] Lin P, Fu Q. *Environmental Ecology and Economic Utilization of Mangrove in China*. Beijing: Higher Education Press,1995. 23~27.

[14] Howards-Williams C. Nutrient quality and caloric value of Amazonian forest litter. *Amazonisana*, 1974, **1**:67~75.

[15] Franken M. Major nutrient and energy contents of the litterfall of a riverine forest of central Amazonia. *Trop. Ecol.*, 1979, **20**(2):211~224.

[16] Wahi P. Pattern of energy accumulation in *Andrographis paniculata* as influenced by various levels of light intensity. *Indian J. Ecol.*, 1980, **7**(1):105~113.

[17] Golley F B. Energy values of ecological materials. *Ecology*,1961,**42**(3):581~584.

[18] Lin Y M, Lin P, Li Z J, *et al.* Study on energy of *Castanopsis eyrei* community in Wuyi mountains of Fujian Province. *Acta Bot. Sin.*, 1996, **38**(12):989~994.

[19] Yang F T, He H J. A preliminary study on caloric of common plants in alpine meadow. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1983,**7**(4):280~287.

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. 生态学杂志, 1993, **12**(1):1~4.

[2] 马炜梁主编. 高等植物及其多样性. 北京: 高等教育出版社; 海德堡: 施普林格出版社, 1998. 127.

[3] 林益明, 杨志伟, 李振基. 武夷山常绿林研究. 厦门: 厦门大学出版社,2001.

[4] 林鹏, 林光辉. 几种红树植物的热值和灰分含量的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, **15**(2):114~120.

[5] 任海, 彭少麟, 刘鸿先, 等. 鼎湖山植物群落及其主要植物的热值研究. 植物生态学报, 1999, **23**(2): 148~154.

[6] 林 鹏. 红树林. 北京: 海洋出版社,1984. 38~48.

[7] 祖元刚. 能量生态学引论. 长春: 吉林科学技术出版社,1990.

[8] 林益明, 林鹏. 华安县绿竹林能量的研究. 厦门大学学报(自然科学版), 1998, **37**(6):908~914.

[12] 林益明, 黎中宝, 陈奕源, 等. 福建华安竹园一些竹类植物叶的热值研究. 植物学通报, 2001, **18**(3):356~362.

[13] 林鹏, 傅勤. 中国红树林环境生态及经济利用. 北京: 高等教育出版社,1995.23~27.

[18] 林益明, 林鹏, 李振基, 等. 福建武夷山甜槠群落能量的研究. 植物学报, 1996, **38**(12):989~994.

[19] 杨福国,何海菊. 高寒草甸地区常见植物热值的初步研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1983,**7**(4):280~287.