

文章编号: 1000-5692(2003)03-0264-04

5种榕属植物不同发育阶段叶片的热值与灰分含量动态

谭忠奇^{1,2}, 林益明¹, 向平¹, 卯龙^{1,2}, 彭在清¹

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

摘要: 对厦门园林植物园的5种榕属植物不同发育阶段叶片的灰分含量、干质量热值与去灰分热值的变化动态进行了初步研究。结果表明: ①随着叶片的发育(从幼叶→成熟叶→老叶), 灰分含量有升高的趋势, 5种植物中老叶灰分含量均不是最低, 说明叶片可能具有维持自身营养元素平衡的机制; ②5种榕属植物不同发育阶段的叶片中, 幼叶含有较高的干质量热值, 不同发育阶段的榕属植物叶片干质量热值变化趋势因种而异; ③5种榕属植物不同发育阶段叶片的干质量热值与灰分含量具有显著的线性相关($P < 0.05$); ④不同发育阶段叶片去灰分热值的变化趋势因种而异, 也不是固定不变的。表4参16

关键词: 植物学; 榕属; 不同发育阶段叶片; 热值; 灰分

中图分类号: S718.55; Q949.7 **文献标识码:** A

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^[1]对水稻 *Oryza sativa* 叶片热值的研究表明, 植物热值研究最重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。我国对能量生态学的研究始于20世纪70年代末。对于植物群落能量生态学的研究目前主要集中在植物群落的能量贮量、固定量和分布状况^[2-4], 植物叶片热值的季节变化规律^[5], 植物叶片或繁殖体热值的种间差异^[6,7], 植物繁殖体发育过程的能量变化^[8]。而对植物叶片发育及衰老过程中的热值变化还未见报道。本文对福建厦门的5种榕属 *Ficus* 植物不同发育阶段叶片的热值和灰分含量的动态变化进行研究, 从能量的角度认识榕属植物的特性, 为榕属植物的保护、管理和引种驯化提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 样品采集

样品采自厦门园林植物园的栽培榕属植物, 采集时间为2002年9月。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℃, 年降水量1036mm。气候为南亚热带季风气候, 气候温和, 雨量充沛。5种榕属植物生长的土壤条件一致, 为砂质壤土, pH值6, 表层腐殖质较少, 氮、磷、钾含量分别为1.5 g·kg⁻¹, 0.5 g·kg⁻¹和1.3 g·kg⁻¹。采集的榕属植物有: 菩提树 *Ficus religiosa*、橡皮树 *F. elastica*、大叶榕 *F. laco*、黄金榕 *F. microcarpa* cv. Golden-leaves 和榕树 *F.*

收稿日期: 2003-01-14; 修回日期: 2003-05-12

基金项目: 福建省建设厅及厦门市市政园林局资助项目(YK-2000-14)

作者简介: 谭忠奇(1967-), 男, 湖南攸县人, 高级农艺师, 从事植物生态学研究。E-mail: tll123@public.xm.fj.cn; 通讯作者林益明(1967-), 男, 福建福清人, 教授, 博士, 从事植物生态学与红树林湿地生态学研究。E-mail: linyim@xmu.edu.cn

microcapa。选择生长状况较为一致的植株 5 株, 林冠外围随机选取幼叶、成熟叶及老叶 (这里指落叶) 各 15 片。老叶系轻轻一碰即掉落者 (而非落至地面的凋落叶), 而成熟叶是指已充分展开且无衰老症状, 其下面的叶片已呈衰老态的叶片。

1.2 测定方法

所有样品采集后 80 °C 烘干, 磨粉处理后过筛贮存备用。另取小样 105 °C 烘干至恒重, 求含水量。用长沙仪器厂生产的 GR-3500 型微电脑氧弹式热量计测定其热值含量。样品热值以干质量热值 (每克干物质在完全燃烧条件下所释放的总热量) 和去灰分热值来表示。测定环境是空调控温 20 °C 左右。每份样品 3 次重复, 重复间误差控制在 $\pm 0.2 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 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 °C 下灰化 5 h 后测定其灰分含量。后用以计算样品的去灰分热值。计算方法为: 去灰分热值 = 干质量热值 / (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 2 种热值求算进行比较。

2 结果与讨论

2.1 5 种榕属植物不同发育阶段叶片的灰分含量

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灰分含量不同, 不同器官的凋落物灰分含量也不同^[9]。5 种榕属植物不同发育阶段叶片的灰分含量见表 1。可以看出, 随着叶片的发育 (从幼叶 → 成熟叶 → 老叶), 榕树、大叶榕和橡皮树的灰分含量是老叶 > 成熟叶 > 幼叶, 菩提树是成熟叶 > 老叶 > 幼叶, 黄金榕是老叶 > 幼叶 > 成熟叶。可见, 不同发育阶段叶片的灰分含量变化趋势因种而异, 但有逐步升高的趋势。

一般认为叶片衰老过程中由于呼吸消耗及碳水化合物、核酸、脂类和蛋白质等降解后小分子物质的外运, 使叶片的质量及氮、磷、钾等元素的浓度随之下降, 老叶的灰分含量低于幼叶和成熟叶。5 种榕属植物的研究表明, 榕树、大叶榕、橡皮树和菩提树的灰分含量幼叶最低, 黄金榕的灰分含量成熟叶最低, 5 种植物中老叶灰分含量均不是最低; 老叶灰分含量没有出现预期下降的趋势, 说明叶片可能具有维持自身营养元素平衡的机制。Wang 等^[10] 研究表明: 红树植物木榄叶片衰老过程中, 叶片中大约 60% 的氮、48% 的磷和 46% 的钾转移至多年生的器官和新叶中, 而钙和镁等在叶片衰老过程中含量却增加。对常绿树种, 钙和镁表现出负的内吸收率, 也就是说它们没有随叶片的衰老而向树体其他部分内吸收, 相反却有在老叶中逐步积累的倾向。

5 种榕属植物不同发育阶段叶片的灰分含量菩提树为 131.0 ~ 156.3 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、黄金榕 118.2 ~ 120.6 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、大叶榕 91.1 ~ 99.8 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、榕树 90.4 ~ 156.9 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、橡皮树 53.8 ~ 110.6 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 幼叶到成熟叶, 灰分含量变化较大 (除黄金榕外), 而成熟叶到老叶, 灰分含量变化较缓, 且种类之间的灰分含量存在差异。灰分含量的高低与植物吸收元素量有关, 任海等^[11] 研究广东鼎湖山季风常绿阔叶林植物叶的灰分含量为

表 1 不同发育阶段叶片的灰分含量

Table 1 Ash contents of leaves at the different development stages

树种	幼叶 / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	成熟叶 / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	老叶 / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
菩提树	131.0	156.3	152.2
榕树	90.4	146.4	156.9
黄金榕	118.9	118.2	120.6
大叶榕	91.1	98.5	99.8
橡皮树	53.8	92.7	110.6

26.0 ~ 52.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 针阔混交林植物叶的灰分含量为 15.0 ~ 38.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 针叶林植物叶的灰分含量在 19.0 ~ 38.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。林益明等^[6] 研究福建华安竹园竹类植物叶的灰分含量在 80.5 ~ 281.4 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。通过比较可以看出, 5 种榕属植物不同发育阶段叶片的灰分含量均较高。灰分含量高低可指示植物富集元素的作用, 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 干质量热值

5 种榕属植物不同发育阶段叶片的干质量热值见表 2。可以看出, 菩提树: 幼叶 > 成熟叶 > 老叶; 榕树: 幼叶 > 老叶 > 成熟叶; 黄金榕、大叶榕: 成熟叶 > 幼叶 > 老叶; 橡皮树: 老叶 > 幼叶 > 成熟

叶。Hughes^[12]在研究英国落叶林植物热值的季节变化时注意到,并称之为“叶脱落时的热值增值(leaf caloric value increment at abscission)”,但未对这种现象加以解释。林鹏等^[13]认为这种热值增值主要是由于落叶中含有较多的幼芽和嫩叶,因为幼叶含有较高的热值。研究表明,5种榕属植物中,菩提树、黄金榕和大叶榕的干质量热值以老叶最低,榕树和橡皮树成熟叶最低,幼叶含有相对较高的干质量热值,这与他们的结论一致。不同发育阶段的榕属植物叶片干质量热值变化趋势没有一定的规律性,因种而异。从种间不同发育阶段叶片干质量热值的比较看,橡皮树的干质量热值(21.49~23.17 kJ·g⁻¹)最高,

菩提树的干质量热值(17.15~18.88 kJ·g⁻¹)最低,其余种类居中,即榕树为18.33~20.79 kJ·g⁻¹、黄金榕19.08~21.04 kJ·g⁻¹、大叶榕18.46~19.48 kJ·g⁻¹。橡皮树的干质量热值高于其余4种榕属植物。经*t*检验,分别达极显著水平($P < 0.01$)。

Howard-Williams^[14]和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在亚马逊地区非常贫瘠的土壤条件下,植物适应环境的结果。它们在植物叶中进行了高能化合物的积累。由于土壤贫瘠,养分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能力,是植物自身的高能量对物质的一种补偿作用。本研究存在相似的结果。

与热带亚热带地区不同植被类型叶片的平均干质量热值(表3)相比,5种榕属植物叶片(成熟叶)的平均干质量热值19.71 kJ·g⁻¹,低于广东鼎湖山针阔混交林的21.34 kJ·g⁻¹和季风常绿阔叶林的20.63 kJ·g⁻¹,高于福建华安竹类植物叶17.67 kJ·g⁻¹,而与海南东寨港红树林19.51 kJ·g⁻¹相近。

2.3 干质量热值与灰分含量相关

植物组分或器官干质量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。还受光照强度、日照长短及土壤类型和植物年龄影响。灰分含量的高低对植物的干质量热值也有一定的影响。

5种榕属植物不同发育阶段叶片的干质量热值与灰分含量具有显著的线性相关,相关方程为 $y = 0.3557x + 23.763$,其中 $r = 0.633^*$, $n = 15$, $P < 0.05$ 。本研究进一步证明了灰分含量对干质量热值有一定的影响。

2.4 去灰分热值

从不同发育阶段叶片去灰分热值来看(表4),菩提树:幼叶>成熟叶>老叶;榕树:幼叶>老叶>成熟叶;黄金榕、大叶榕:成熟叶>幼叶>老叶;橡皮树:老叶>成熟叶>幼叶。可以看出,不同发育阶段叶片去灰分热值的变化趋势因种而异,也不是固定不变的。

从种间不同发育阶段叶片去灰分热值的比较看,橡皮树的去灰分热值(23.07~26.05 kJ·g⁻¹)最高,大叶榕(20.51~21.61 kJ·g⁻¹)与菩提树(20.23~21.73 kJ·g⁻¹)较低,榕树(21.47~22.86 kJ·g⁻¹)与黄金榕(21.70~23.86 kJ·g⁻¹)居中。橡皮树的去灰分热值高于其余4种榕属植物。经*t*检验,分别达极显著水平($P < 0.01$)。而大叶榕与菩提树的去灰分热值接近,经*t*检验,无显著差异($P > 0.05$)。

热值的高低与植物的抗寒性有一定的关系^[6,13]。橡皮树不同发育阶段叶片的干质量热值与去灰分

表2 不同发育阶段叶片的干质量热值

Table 2 Gross caloric values of leaves at the different development stages

树种	幼叶/(kJ·g ⁻¹)	成熟叶/(kJ·g ⁻¹)	老叶/(kJ·g ⁻¹)
菩提树	18.88	18.22	17.15
榕树	20.79	18.33	18.55
黄金榕	19.34	21.04	19.08
大叶榕	18.84	19.48	18.46
橡皮树	21.83	21.49	23.17

表3 不同植被类型叶片的平均干质量热值

Table 3 Average gross caloric values in leaves of various vegetation types

植被类型	取样地区	种数	平均干质量热值/(kJ·g ⁻¹)
热带湿润森林 ^[16]	巴拿马	4	15.61
荒漠 ^[16]	美国犹他州	24	17.07
红树林 ^[13]	海南东寨港	7	19.51
季风常绿阔叶林 ^[11]	广东鼎湖山	8	20.63
针阔混交林 ^[11]	广东鼎湖山	8	21.34

热值均明显高于其他 4 种榕属植物, 说明了橡皮树比其余 4 种榕属植物有更强的低温适应性。这对其引种具有一定的指导意义。与邻近亚热带地区不同植被类型叶片的平均去灰分热值相比, 南亚热带福建厦门 5 种榕属植物叶片(成熟叶)的平均去灰分热值为 $22.45 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 与广东鼎湖山针阔混交林乔木层的 $22.43 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ (8 种植物叶平均) 相近, 高于福建华安竹类植物叶 $20.85 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ (46 种平均), 广东鼎湖山季风常绿阔叶林 $21.63 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ (8 种植物叶平均)。

表 4 不同发育阶段叶片去灰分热值

Table 4 Ash free caloric values of leaves

树种	幼叶/ ($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)	成熟叶/ ($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)	老叶/ ($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)
菩提树	21.73	21.60	20.23
榕树	22.86	21.47	22.00
黄金榕	21.95	23.86	21.70
大叶榕	20.73	21.61	20.51
橡皮树	23.07	23.69	26.05

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.
- [2] Lin P. *Mangrove Ecosystem in China* [M]. Beijing: Science Press, 1999. 182-196.
- [3] 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, 11(2): 181-184.
- [4] 郭继勋, 王若丹, 王妮. 松嫩草原拂子茅种群热值、生物量和能量动态的研究[J]. 植物学报, 2001, 43(8): 852-856.
- [5] 林益明, 柯莉娜, 王湛昌, 等. 深圳福田红树林区 7 种红树植物叶热值的季节变化[J]. 海洋学报, 2002, 24(3): 112-118.
- [6] 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[J]. 植物学通报, 2004, 18(3): 356-362.
- [7] 林益明, 郭启荣, 黎中宝, 等. 福建省牛姆林自然保护区植物繁殖体的热值研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(1): 117-119.
- [8] 林鹏, 吴世军, 林益明. 红树植物繁殖体发育过程的能量变化[J]. 海洋科学, 2000, 24(9): 46-50.
- [9] 林益明, 杨志伟, 李振基. 武夷山常绿林研究[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2001.
- [10] Wang W Q, Lin P. Transfer of salt and nutrients in *Bruguiera gymnorhiza* leaves during development and senescence [J]. *Mangroves and Salt Marshes*, 1999, 3(1): 1-7.
- [11] 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[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 148-154.
- [12] Hughes M K. Seasonal calorific values from a deciduous woodland in England [J]. *Ecology* 1971, 52: 923-926.
- [13] 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, 1991, 15(2): 114-120.
- [14] Howards-Williams C. Nutritional quality and caloric value of Amazonian forest litter [J]. *Amazonians*, 1974, 1: 67-75.
- [15] Franken M. Major nutrient and energy contents of the litterfall of a riverine forest of central Amazonia [J]. *Trop Ecol*, 1979, 20(2): 211-224.
- [16] 祖元刚. 能量生态学引论[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990.

Caloric value and ash content in the leaves at the different development stages of five *Ficus* species

TAN Zhong-qi^{1,2}, LIN Yi-ming¹, XIANG Ping¹, DING Yin-long^{1,2}, PENG Zai-qing¹

(1. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China; 2. Xiamen Botanical Garden, Xiamen 361003, Fujian, China)

Abstract: Caloric values and ash contents in the leaves at the different growth stages of five *Ficus* species (*Ficus religiosa*, *F. elastica*, *F. laco*, *F. microcarpa* cv. Golden-leaves, *F. microcarpa*) are studied. The results are as follows: (1) ash contents increase with the growth of leaves; the relatively high ash contents of old leaves are not the lowest, which indicates that the leaves have a mechanism to maintain the balance of nutritious elements; (2) young leaves have relatively higher gross caloric value than mature and old leaves, gross caloric value in the leaves at the different development stages vary with species; (3) gross caloric values in the leaves at the different development stages have distinct linear correlation with ash contents ($P < 0.05$); (4) ash-free caloric values in the leaves at the different development stages also vary with species. [Ch, 4 tab. 16 ref.]

Key words: botany; *Ficus*; leaves at the different development stages; caloric value; ash content