

深圳福田几种红树植物繁殖体与不同发育阶段叶片热值研究

林益明, 向平, 林鹏

(厦门大学 生命科学学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 对深圳福田红树林区的秋茄 (*Kandelia candel*)、木榄 (*Bruguiera gymnorrhiza*)、桐花树 (*Aegiceras corniculatum*)、无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*)、海漆 (*Excoecaria agallocha*)、银叶树 (*Heritiera littoralis*) 不同发育阶段叶片以及秋茄、木榄、桐花树、无瓣海桑、海漆繁殖体的灰分含量和热值进行研究。结果表明: (1) 不同发育阶段叶片的灰分含量变化趋势没有一定的规律性, 6 种红树植物中老叶灰分含量均不是最低; 植物繁殖体的灰分含量低于成熟叶; (2) 秋茄、无瓣海桑、木榄、桐花树繁殖体的干质量热值和去灰分热值基本上低于不同发育阶段叶片, 而海漆繁殖体的干质量热值和去灰分热值高于不同发育阶段叶片; (3) 6 种红树植物不同发育阶段叶片的干质量热值与灰分含量具有极显著的线性负相关 ($P < 0.01$), 不同发育阶段叶片和繁殖体的干质量热值与灰分含量具有显著线性负相关 ($P < 0.05$)。

关键词: 繁殖体; 不同发育阶段叶片; 热值; 红树植物; 深圳

中图分类号: Q949.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2004)02-0043-06

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。我国对能量生态学研究开始于 20 世纪 80 年代初, 对于红树植物能量生态学的研究目前主要集中在红树群落的能量贮量、固定量、分布状况^[1, 2], 红树植物叶片热值的季节变化规律^[3], 繁殖体发育过程的能量变化^[4]以及盐胁迫条件下红树植物热值的变化^[5], 而对红树植物叶片发育及衰老过程中的热值变化还未见报道。Lin^[6]对红树植物木榄叶片发育过程中的叶面积、叶重量和营养元素含量的动态变化进行过研究。开展对红树植物叶片发育过程的能量动态研究具有重要的意义。作者对广东深圳福田红树林自然保护区的 6 种红树植物叶片发育过程的热值和灰分含量的动态变化以及繁殖体的热值进行研究, 从能量角度认识红树植物的特性, 对红树林的保护、开发利用都具有重要的理论意义。

1 深圳福田红树林自然保护区的自然条件概况

深圳福田红树林自然保护区位于深圳湾的东北部, 东经 114°05', 北纬 22°30', 红树林沿海岸线呈带状分布, 长达 11 km, 林带宽 20 ~ 400 m 不等, 该地区与

香港米埔红树林保护区相对岸, 属亚热带海洋性季风气候, 年平均温度 22.4 °C, 1 月份平均温度 14.1 °C, 7 月份平均温度 28.1 °C, 年平均降雨量 1 950.5 mm, 雨量各月分配不均, 干湿季交替明显, 年平均相对湿度 79%。

深圳福田红树林保护区的土壤, 淤泥深厚, 红树林内枯枝落叶多, 林内各种植物生长茂密, 物质积累丰富, 腐殖质含量较高, 一般为 3% ~ 5%, 表土一般呈弱酸性反应, 海水 pH 值为 7.23 ~ 8.05, 平均为 7.66, 海水盐度平均为 20。

2 材料与方法

2.1 样品采集

于 2002 年 7 月从广东深圳福田红树林自然保护区采样。采集的种类有红树科 (Rhizophoraceae) 的秋茄 (*Kandelia candel*)、木榄 (*Bruguiera gymnorrhiza*); 紫金

收稿日期: 2002-11-20, 修回日期: 2003-04-05

作者简介: 林益明 (1967-), 男, 福清人, 博士, 厦门大学生命科学学院教授, 主要从事植物生态学及红树林湿地生态学研究, E-mail: linyim@xmu.edu.cn

牛科 (Myrsinaceae) 的桐花树 (*Aegiceras corniculatum*) ; 海桑科 (Sonneratiaceae) 的无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) ; 大戟科 (Euphorbiaceae) 的海漆 (*Excoecaria agallocha*) ; 梧桐科 (Sterculiaceae) 的银叶树 (*Heritiera littoralis*)。选择生长状况较为一致的植株 20 株 (银叶树因种类数量有限, 故只取 3 株采样) 林冠外围随机选取幼叶、成熟叶及老叶 (这里指落叶) 各 50 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。除银叶树外, 还分别采集 5 种红树植物的繁殖体 (胚轴或果实、花)。

2.2 测定方法

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。尔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。样品热值以干质量热值 (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 = 干质量热值 \times (1 - 灰分含量)。

3 结果与讨论

3.1 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其含量不同, 不同器官的凋落物灰分含量也不同^[7]。深圳福田 6 种红树植物不同发育阶段叶片与繁殖体的灰分含量见图 1。可以看出, 随着叶片的发育过程 (从幼叶 \rightarrow 成熟叶 \rightarrow 老叶), 秋茄、无瓣海桑的灰分含量是老叶 $>$ 成熟叶 $>$ 幼叶, 海漆是成熟叶 $>$ 老叶 $>$ 幼叶, 木榄、银叶树是老叶 $>$ 幼叶 $>$ 成熟叶, 桐花树是幼叶 $>$ 老叶 $>$ 成熟叶。从本研究看出, 不同发育阶段叶片的灰分含量变化趋势没有一定的规律性。

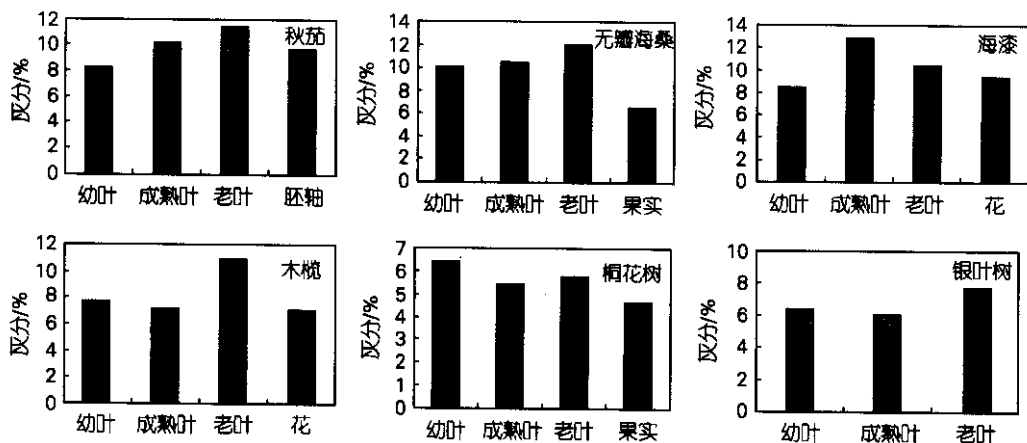


图 1 不同发育阶段叶片与繁殖体的灰分含量

Fig. 1 Ash contents of propagules and leaves at the different development stages

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、蛋白质等降解后小分子物质的外运, 使叶片的质量及 N, P, K 等元素的浓度随之下降, 老叶的灰分含量低于幼叶、成熟叶。深圳红树林区 6 种红树植物的研究表明, 秋茄、无瓣海桑、海漆的灰分含量幼叶最低, 木榄、银叶树、桐花树的灰分含量成熟叶最低, 6 种红树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, 说明了叶片可能具有维持自身营养元素平衡的机制;

Wang^[8] 研究表明, 红树植物木榄叶片衰老过程中, 叶片中大约 60% 的 N、48% 的 P 和 46% 的 K 转移至多年生的器官和新叶中, 而 Ca、Mg 等在叶片衰老过程中含量却增加^[8]。对常绿树种, Ca、Mg 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它部分内吸收, 相反却有在老叶中逐步积累的倾向。

无瓣海桑果实、木榄花、桐花树果实的灰分含量均低于不同发育阶段的叶片; 而秋茄胚轴、海漆花的灰分含量高于幼叶, 低于成熟叶、老叶; 比较来看, 植

物繁殖体的灰分含量低于成熟叶(图1)。虽然繁殖体对营养元素的需求量大,但同叶一样主要靠蒸腾作用产生动力的从根部向上吸收运输,叶是代谢最活跃的器官,植物根系从土壤中吸收了矿质元素,直接输送到叶中,因此叶的灰分含量较高。

对深圳福田6种红树植物不同发育阶段叶片的灰分含量进行比较,桐花树(5.40%~6.42%)、银叶树(6.06%~7.72%)的灰分含量较低,而秋茄(8.17%~11.31%)、无瓣海桑(10.10%~12.07%)、海漆(8.46%~12.76%)、木榄(7.14%~10.90%)的灰分含量较高,种类之间的灰分含量存在差异。一般说来,叶片质地与灰分含量有一定关系,纸质(如白骨壤)、肉质或薄革质(无瓣海桑、海漆)的叶灰分含量高于革质(桐花树)或厚革质(银叶树)。白骨壤的叶被广西沿海人民用作绿肥就是因为其灰分含量高(12.27%)特别是N、P含量高,并且质地轻(纸质)易于分解的缘故。从本研究的结果看,无瓣海桑的叶也是做绿肥的好材料。

灰分含量的高低与植物吸收的元素量有关。灰分含量高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。

3.2 干质量热值

深圳福田6种红树植物不同发育阶段叶片与繁殖体的干质量热值见图2。从图2可以看出,除海漆(幼叶>成熟叶>老叶)外,其余5种红树植物成熟叶的干质量热值均高于幼叶、老叶,即秋茄、银叶树:成熟叶>幼叶>老叶;无瓣海桑、木榄、桐花树:成熟叶>老叶>幼叶;成熟叶的生命活动最旺盛,光合能力最强,光合作用积累的有机物最多,而幼叶代谢能力弱、老叶则处于衰退之中,故成熟叶的干质量热值高于幼叶和老叶。

Huges 1971年在研究英国落叶林植物热值的季

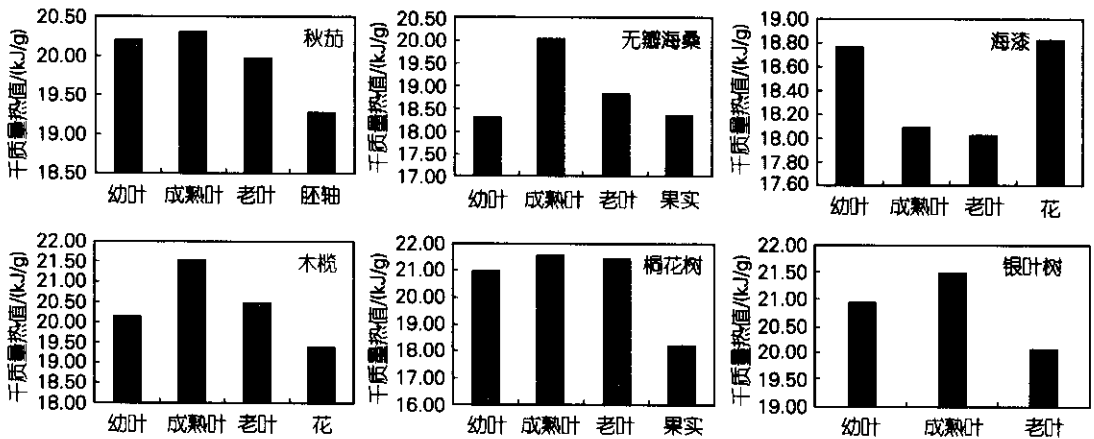


图2 不同发育阶段叶片与繁殖体的干质量热值

Fig. 2 Gross caloric values of propagules and leaves at the different development stages

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。林光辉和林鹏1991年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。作者研究表明,除海漆幼叶>成熟叶>老叶外,无瓣海桑、木榄、桐花树的幼叶干质量热值都低于成熟叶和老叶。幼叶并不含有较高的干质量热值。干质量热值的高低主要与植物体内所含的内含物有关,并不存在叶脱落时干质量热值增加的现象。

现象。

在6种红树植物中,秋茄与桐花树不同发育阶段叶片的干质量热值变化平缓,木榄次之,海漆变化较大。说明了不同发育阶段叶片干质量热值的变化趋势因种而异,不是固定不变的。从种间不同发育阶段叶片干质量热值的比较看,无瓣海桑、海漆的干质量热值较低,桐花树、银叶树、秋茄、木榄的干质量热值较高。桐花树不同发育阶段叶片的干质量热值显著高于海漆,经t检验,达显著水平($P < 0.05$)。

梧桐科的银叶树、紫金牛科的桐花树、红树科的秋茄和木榄不同发育阶段叶片干质量热值均较高,干质量热值在 20.0 kJ/g 以上(除了秋茄老叶的干质量热值为 19.96 kJ/g 外);而海桑科的无瓣海桑、大戟科的海漆干质量热值较低,在 19.0 kJ/g 以下(除了无瓣海桑成熟叶的干质量热值为 20.02 kJ/g 外);这与种类的特性有关。嗜热广布种海漆、嗜热窄布种无瓣海桑干质量热值较低,抗低温广布种秋茄、桐花树干质量热值较高,这与前人研究的抗寒种类干质量热值相对较高的结果一致;嗜热广布种银叶树干质量热值较高可能是叶背密被银白色的小鳞秕的缘故。Howard-Williams 1974 年、Franken 1979 年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,在植物叶子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的能力,是植物自身的高能量对物质的一种补偿作用。银叶树存在与此相类似的结果。

不同发育阶段叶片与繁殖体结合起来看(图 2),秋茄、木榄、桐花树繁殖体的干质量热值低于不同发育阶段叶片(无瓣海桑也基本如此),而海漆繁殖体的干质量热值高于不同发育阶段叶片。通常认为繁殖体比植物体其他组分具有更高的干质量热值,实际上并非如此,作者对福建戴云山自然保护区 31 种植物成熟叶与繁殖体的干质量热值比较后发现,成熟叶与繁殖体的干质量热值相比或高或低,经 t 检验,无显著差异 ($P > 0.05$)^①。

3.3 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;其次,还受光照强度、日照长短及土壤类型和植物年龄影响。此外,灰分含量的高低对植物的干质量热值也有一定的影响^①。

6 种红树植物不同发育阶段叶片的干质量热值与灰分含量具有极显著的线性负相关,相关方程为 $y = -0.3938x + 23.499$, 其中 $r = 0.760$, $n = 18$, $P < 0.01$;而将不同发育阶段叶片和繁殖体的干质量热值与灰分含量进行相关分析,得出 $y = -0.23x + 21.726$, 其中 $r = 0.437$, $n = 23$, $P < 0.05$ (图 3)。本研究进一步证明了灰分含量对干重热值有一定的影响。

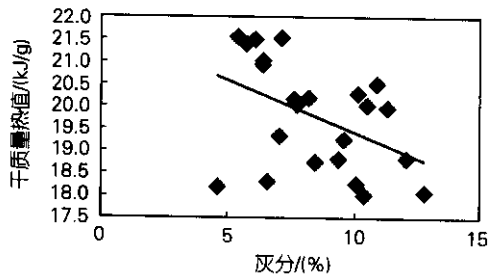
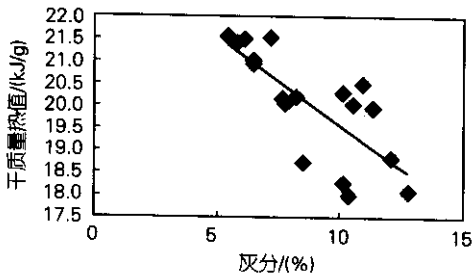


图 3 干质量热值与灰分含量的相关

Fig. 3 Relationships between gross calorific values and ash contents for leaves at the different development stages (left), and for propagules and leaves at the different development stages (right)

左图为不同发育阶段叶片的干质量热值与灰分含量相关,右图为不同发育阶段叶片和繁殖体的干质量热值与灰分含量相关

3.4 去灰分热值

从不同发育阶段叶片去灰分热值来看(图 4),秋茄、无瓣海桑、木榄、桐花树为成熟叶 $>$ (或 \approx) 老叶 $>$ 幼叶,海漆、银叶树为成熟叶 $>$ 幼叶 $>$ 老叶。其中秋茄、木榄、桐花树从成熟叶至老叶去灰分热值变化差异不明显 ($P > 0.05$),但总的来看,不同发育阶段叶片去灰分热值以成熟叶最高。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。

不同发育阶段叶片与繁殖体结合起来看(图 4),秋茄、无瓣海桑、木榄、桐花树繁殖体的去灰分热值低于不同发育阶段的叶片,而海漆繁殖体的去灰分热值高于不同发育阶段的叶片。这个结果与干质量热值的结论相同。

4 结论

(1) 不同发育阶段叶片的灰分含量变化趋势没

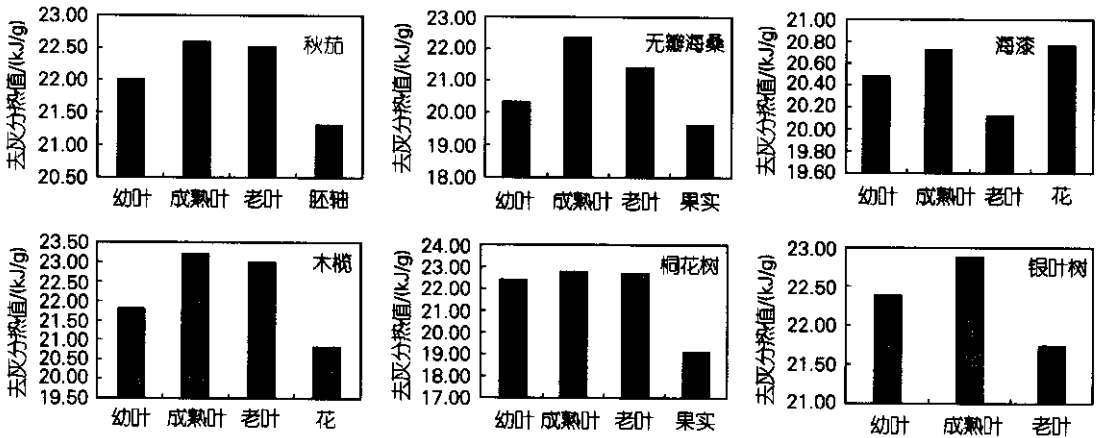


图 4 不同发育阶段叶片与繁殖体的去灰分热值

Fig. 4 Ash free caloric values of propagules and leaves at the different development stages

有一定的规律性；随着叶片的发育过程（从幼叶→成熟叶→老叶）秋茄、无瓣海桑的灰分含量是老叶 > 成熟叶 > 幼叶，海漆是成熟叶 > 老叶 > 幼叶，木榄、银叶树是老叶 > 幼叶 > 成熟叶，桐花树是幼叶 > 老叶 > 成熟叶，无瓣海桑果实、木榄花、桐花树果实的灰分含量均低于不同发育阶段的叶片；而秋茄胚轴、海漆花的灰分含量高于幼叶，低于成熟叶、老叶；比较来看，植物繁殖体的灰分含量低于成熟叶。

(2) 不同发育阶段叶片干质量热值的变化趋势因种而异，不是固定不变的，除海漆（幼叶 > 成熟叶 > 老叶）外，其余 5 种红树植物成熟叶的干质量热值均高于幼叶、老叶，即，秋茄、银叶树：成熟叶 > 幼叶 > 老叶；无瓣海桑、木榄、桐花树：成熟叶 > 老叶 > 幼叶；秋茄、木榄、桐花树繁殖体的干质量热值低于不同发育阶段叶片（无瓣海桑也基本如此），而海漆繁殖体的干质量热值高于不同发育阶段叶片。

(3) 6 种红树植物不同发育阶段叶片的干质量热值与灰分含量具有极显著的线性负相关，相关方程为 $y = -0.3938x + 23.499$ ，其中 $r = 0.760$ ， $n = 18$ ， $P < 0.01$ ；而将不同发育阶段叶片和繁殖体的干重热值与灰分含量进行相关分析，得出 $y = -0.23x + 21.726$ ，其中 $r = 0.437$ ， $n = 23$ ， $P < 0.05$ ；本研究进一步证明了灰分含量对干重热值有一定的影响。

(4) 从不同发育阶段叶片的去灰分热值来看，秋茄、无瓣海桑、木榄、桐花树为成熟叶 > (或 ≈) 老叶 > 幼叶；海漆、银叶树为成熟叶 > 幼叶 > 老叶。其中秋茄、木榄、桐花树从成熟叶至老叶去灰分热值变化差

异不明显，但总的来看，不同发育阶段叶片的去灰分热值以成熟叶最高。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。秋茄、无瓣海桑、木榄、桐花树繁殖体的去灰分热值低于不同发育阶段的叶片，而海漆繁殖体的去灰分热值高于不同发育阶段的叶片。

参考文献：

- [1] Lin P. Mangrove Ecosystem In China[M]. Beijing, New York: Science Press, 1999. 182 - 196.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 林鹏, 王文卿. 盐胁迫下红树植物秋茄 (*Kandelia candel*) 热值变化的研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 466 - 470.
- [6] Lin P, Wang W Q. Changes in the leaf composition, leaf mass and leaf area during leaf senescence in three species of mangroves[J]. *Ecological Engineering*, 2001, 16(3): 415 - 424.
- [7] 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.
- [8] Wang W Q, Lin P. Transfer of salt and nutrients in *Bruguiera gymnorrhiza* leaves during development and

senescence[J]. *Mangroves and Salt Marshes*, 1999,
3(1):1-7.

类植物叶的热值研究[J]. *植物学通报*, 2001, 18(3):
356-362.

[9] 林益明, 黎中宝, 陈奕源, 等. 福建华安竹园一些竹

Caloric values of propagules and leaves at the different development stages of mangrove species at Futian, Shenzhen

LIN Yi-ming, XIANG Ping, LIN Peng

(School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Received: Nov., 20, 2002

Key words: propagule; leaves at the different development stages; caloric value; mangrove species; Shenzhen

Abstract : This paper discusses the caloric value and ash content found in the leaves of the mangrove species (*Kandelia candel*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Aegiceras corniculatum*, *Sonneratia apetala*, *Excoecaria agallocha*, *Heritiera littoralis*) and the propagules of *Kandelia candel* during different development stages. The results showed: (1) During different development stages no general trends were found in ash content. Ash content in mature leaves was not the lowest and the content of ash in the propagules were lower than in the mature leaves. (2) The propagules of *Kandelia candel*, *Sonneratia apetala*, *Bruguiera gymnorrhiza* and *Aegiceras corniculatum* had the lowest gross caloric and ash free caloric values than those of any other development stage. This was not the case with *Excoecaria agallocha* which showed the opposite trend. (3) Gross caloric values were correlated remarkably with ash contents ($P < 0.01$) in the leaves during different development stages also, correlated remarkably with ash contents ($P < 0.05$) for propagules and the leaves during the different development stages.