

DOI:10.3969/j.issn.1000-3142.2011.01.016

不同林龄巨尾桉的灰分含量和热值

周群英¹, 陈少雄¹, 韩斐扬¹, 陈文平²(1. 国家林业局 桉树研究开发中心, 广东 湛江 524022; 2. 中国国营
林场开发总公司 国营雷州林业局, 广东 遂溪 524348)

摘要: 采用热量仪和马福炉对1~4年生4个不同林龄阶段巨尾桉的叶、枝、根、干、皮5个部位进行灰分含量和热值测定, 结果表明: 不同林龄巨尾桉其5个部位的平均灰分含量在 $(0.42 \pm 0.14)\%$ ~ $(4.43 \pm 1.35)\%$ 之间, 以皮的最高、干的最低, 各部位灰分含量的大小排列顺序无一相同且无明显的规律可循, 除根外, 叶、枝、干、皮在林分4个林龄阶段的灰分含量差异均显著($P < 0.05$); 部位平均干重热值与去灰分热值在 (17.24 ± 0.31) ~ (20.58 ± 0.34) kJ·g⁻¹与 (18.04 ± 0.22) ~ (21.44 ± 0.37) kJ·g⁻¹之间; 在巨尾桉不同林龄阶段, 各部位干重热值和去灰分热值的分布规律不明显, 但均以叶的值最高、皮的最低, 叶、枝、根的干重热值及叶、根、皮的去灰分热值无显著差异($P > 0.05$), 而干、皮的干重热值及枝、干的去灰分热值差异显著($P < 0.05$)。就植株个体而言, 4年生巨尾桉灰分含量最高, 为2.79%, 干重热值与去灰分热值均以2年生最高, 分别为19.06 kJ·g⁻¹和19.53 kJ·g⁻¹, 但不同林龄植株的灰分含量和热值均无显著差异($P > 0.05$)。

关键词: 林龄; 巨尾桉; 灰分含量; 热值

中图分类号: S792.39 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2011)01-0075-06

Ash contents and caloric values of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* in different stand ages

ZHOU Qun-Ying¹, CHEN Shao-Xiong¹, HAN Fei-Yang¹, CHEN Wen-Ping²(1. China Eucalypt Research Centre, Zhanjiang 524022, China; 2. Leizhou Forestry Bureau of Chinese
General Development Corporation of State-owned Forest Farm, Suixi 524248, China)

Abstract: Ash contents and caloric values of leaves, branches, roots, stem-wood and bark of 1-4 years old *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* were determined by using calorimeter and muffle furnace. The results showed that the ash contents of five parts ranged from $(0.42 \pm 0.14)\%$ to $(4.43 \pm 1.35)\%$ with the highest in bark and the lowest in stem-wood, the decreasing orders of them at different stand ages were not in the same way and were irregular, there were significant different in ash contents of leaves, branches, stem-wood and bark except roots at four stand ages ($P < 0.05$). Mean gross caloric values (GCV) and ash free caloric values (AFCV) of different parts ranged from (17.24 ± 0.31) to (20.58 ± 0.34) kJ·g⁻¹ and (18.04 ± 0.22) to (21.44 ± 0.37) kJ·g⁻¹ respectively, the distribution law of them at different stand ages were quite different from component to component with leaves having the highest GCV and AFCV and bark the lowest. The differences among stand ages in GCV of leaves, branches, roots and AFCV of leaves, roots, bark were not significant ($P > 0.05$), but making obvious differences in stem-wood and bark's GCV, branches and stem-wood's AFCV ($P < 0.05$). As to the whole tree, 4-year-old *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* had the highest ash content which was 2.76%, while the 2-year-old tree had the highest GCV and AFCV which was 19.06 kJ·g⁻¹ and 19.53 kJ·g⁻¹. To whole tree, the differences in ash content and colaric value were not obvious ($P > 0.05$).

Key words: stand age; *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*; ash content; colaric value

收稿日期: 2010-05-04 修回日期: 2010-12-08

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CAFINT2008C13)[Supported by Special Funds of Basic Scientific Research Operating Expenses of Central Public Welfare for Research Institutes(CAFINT2008C13)]

作者简介: 周群英(1978-), 女, 广东罗定人, 工程师, 主要从事桉树培育研究和科研管理工作, (E-mail) qyzhou999@sina.com.

植物热值是植物产品能量水平的一种度量,是指单位重量的干物质在完全燃烧后所释放出的能量,它能反映植物对太阳辐射能的利用状况(祖元刚,1990;任海等,1999;Jordan,1971),并能直观地反映不同组织的生理活动变化和植物生长状况的差异(孙国夫等,1993)。Long(1934)于20世纪30年代率先对植物热值开展较系统的研究,此后研究生态系统各种物质热值及其变化机制日趋广泛。我国对植物热值的研究始于20世纪80年代,研究对象有水稻(*Oryza sativa*) (孙国夫等,1993;王方桃,1984)、苜蓿属(*Medicago*)植物(毕玉芬等,2002)和森林木本植物如人工针叶林(刘世荣等,1990)、热带及亚热带天然林和常绿阔叶林等(任海等,1999;林承超,1999;林鹏等,1996;林益明等,1996)。目前我国有关桉树(*Eucalyptus* spp.)热值的研究,主要有杨成源等(1996)对滇中高原及干热河谷包括巨桉(*E. grandis*)、蓝桉(*E. globulus*)、赤桉(*E. camaldulensis*)等9种桉树在内的薪材树种开展热值测定和研究,比较不同品种及其不同器官的热值差异并确定了巨桉、直干桉(*E. maidenii*)和赤桉为优质薪材树种;周群英等(2009)研究了广东樟木头巨桉等5种桉树的热值,通过比较分析,得出巨桉选作能源树种栽培最为理想的结论;周群英等(2010)还研究了广东廉江石岭林场尾细桉(*E. urophylla* × *E. tereticornis*)等5种桉树无性系的热值,比较其林分的能量分配,结果表明尾细桉的林分能量现存量最高。

桉树引入我国已有110多年的历史,具有生长迅速、总生物量大、轮伐期短、经济效益好等优点,已成为我国南方重要的工业原料林树种。此外,桉树嫩枝富含挥发性油,树叶富含桉叶油,可全树利用,是一种很好的能源原材料(林小珠等,2006),能直接作为薪材使用、用于生物质发电及生产生物柴油等(陈少雄等,2006)。热值的高低是判断桉属树种是否具备作为优良能源原材料利用的基本依据之一,研究桉树热值在开发桉树生物质能源中具有重要作用。由于植物热值的差异不仅与自身营养物质组成密切相关,还受光照、日照长短、土壤理化性质、植物年龄及采样时间等外界因素影响(祖元刚,1990;任海等,1999),因此植物热值的高低虽有一定规律但不是恒定的。目前热值的相关研究主要集中在植物种类、植物器官、植物群落等,而研究植物年龄对热值的影响则较少。本文以我国华南地区广泛栽植的巨尾桉(*E. grandis* × *E. urophylla*)无性系为对象,

测定在巨尾桉不同林龄阶段其叶、枝、根、干、皮5个部位的灰分含量和热值,以探讨林龄与桉树热值的关系,为适时采收桉树能源林提供理论依据。

1 试验地和林分概况

试验地位于广东省遂溪县国营雷州林业局北坡林场,地理位置为109°59' E,21°15' N,属南亚热带海洋性季风气候。年均气温23.5℃,极端最低气温1.4~3.6℃,极端最高气温38.1℃。年降雨量1600~1900 mm,5~9月降雨量占全年的85.5%,年相对湿度80.4%。林地地势平坦,土层深厚在80 cm以上,为浅海沉积沙质砖红壤,肥力低,0~40 cm土壤的有机质含量10.7 g·kg⁻¹,全氮含量0.3 g·kg⁻¹,速效磷2.0 mg·kg⁻¹,速效钾27.0 mg·kg⁻¹。土壤呈酸性,pH值5.3。林下主要物种有白背叶(*Mallotus apelta*)、三叉苦(*Evodia lepta*)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)、野牡丹(*Melastoma candidum*)、五节芒(*Oplismenus compositus*)、酸藤子(*Embelia laeta*)等。

试验林于2004~2007年采用巨尾桉无性系营造,采用沟犁方式进行整地,种植穴的规格为50 cm × 50 cm × 40 cm,造林前每穴用复合肥0.5 kg作基肥,定植后3个月追施复合肥每株0.5 kg,其林分生长概况见表1。

表1 1~4年生巨尾桉林分生长概况
Table 1 Growth survey of 1-4 years old *E. grandis* × *E. urophylla* plantations

林龄(a) Stand age	平均树高(m) Average height	平均胸径 Average diameter at breast height (cm)
1	5.4	4.4
2	14.0	10.0
3	16.0	11.3
4	17.5	12.2

2 材料和方法

2.1 样品采集

于2008年11月对1~4年生巨尾桉其树体上的叶、枝、根、干、皮5个部位进行采样,每林龄各伐样木3株,每植株取5个部位样品各1份,即每个样品共有3次重复,其中树枝和叶片(健康的成熟叶)按冠幅不同层次和方位采集,树干(不含皮)和树皮取自胸径1.3 m处,采集树根时沿侧根方向将不同

径级的根系按同等比例混合。

2.2 测定方法

参考周群英等(2009)的方法。

2.3 数据分析

用 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析,其中单因素方差分析用 one-way ANOVA,多重比较采用邓肯检验法,对研究指标进行 Pearson 相关分析。

3 结果与分析

3.1 不同林龄巨尾桉各部位的灰分含量

如表 2,叶的平均灰分为 4.06%,在巨尾桉 2 年

生时,其叶的灰分含量最高并与另 3 个林龄的灰分含量差异显著($P < 0.05$),而在林分 1、3、4 年生时,叶之间的灰分含量相差不大且无显著差异,以林分林龄为序其大小按 2 年生 > 1 年生 > 3 年生 > 4 年生排列。枝的平均灰分含量为 1.92%,以 1 年生高于平均值 1.32% 为最高,顺序为 1 年生 > 3 年生 > 4 年生 > 2 年生。根的平均灰分含量为 1.98%,在林分 2 年生时最高,在林分不同林龄间虽有差距但差异不显著,排列顺序为 2 年生 > 4 年生 > 3 年生 > 1 年生。干的灰分含量在所有部位中是最低的,平均值仅为 0.42%,按顺序 1 年生 > 2 年生 > 4 年生 > 3 年生依次排列。皮的平均灰分含量在 5 个部位中是

表 2 不同林龄部位的灰分含量与热值

Table 2 Average ash contents and caloric values of five parts at different stand ages

部位 Part	林龄 Stand age (a)	灰分含量 AC (%)	干重热值 GCV ($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)	去灰分热值 AFCV ($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)
叶 Leaf	1	4.04±0.09 b	20.47±0.19 a	21.33±0.18 a
	2	4.21±0.06 a	20.76±0.19 a	21.67±0.19 a
	3	4.01±0.12 b	20.31±0.54 a	21.16±0.58 a
	4	3.99±0.13 b	20.78±0.10 a	21.64±0.13 a
	平均 Average	4.06±0.13	20.58±0.34	21.45±0.37
枝 Branch	1	3.24±2.07 a	19.28±0.44 a	19.93±0.49 a
	2	1.33±0.09 b	19.33±0.05 a	19.59±0.07 ab
	3	1.64±0.16 ab	19.11±0.14 a	19.43±0.14 b
	4	1.47±0.15 b	19.26±0.15 a	19.54±0.14 ab
	平均 Average	1.92±1.23	19.24±0.23	19.62±0.31
根 Root	1	1.82±0.72 a	18.72±0.72 a	19.06±0.61 a
	2	2.28±0.52 a	19.05±0.10 a	19.50±0.10 a
	3	1.87±0.89 a	19.00±0.21 a	19.37±0.09 a
	4	1.94±1.33 a	18.94±0.25 a	19.31±0.05 a
	平均 Average	1.98±0.84	18.93±0.38	19.31±0.32
干 Stem-wood	1	0.59±0.15 a	18.98±0.08 b	19.09±0.08 ab
	2	0.43±0.03 b	18.82±0.13 b	18.90±0.13 b
	3	0.29±0.08 b	19.28±0.19 a	19.34±0.17 a
	4	0.37±0.03 b	19.01±0.27 ab	19.08±0.28 ab
	平均 Average	0.42±0.14	19.02±0.24	19.10±0.23
皮 Bark	1	4.13±0.18 b	17.25±0.09 b	18.00±0.09 a
	2	3.82±1.31 b	17.34±0.11 b	18.03±0.36 a
	3	3.55±0.82 b	17.57±0.14 a	18.22±0.15 a
	4	6.20±0.94 a	16.79±0.13 c	17.91±0.06 a
	平均 Average	4.43±1.35	17.24±0.31	18.04±0.22

注: 不同小写字母表示林龄间差异达 0.05 显著水平。下同。

Note: Different small letters meant significant difference within the stand ages at 0.05 level. The same below.

最高的,达 4.43%,分别是叶、枝、根、干的 1.09、2.31、2.24 和 10.55 倍,其变化规律为 4 年生 > 1 年生 > 2 年生 > 3 年生。除根外,叶、枝、干、皮在林分不同林龄阶段的灰分含量均差异显著($P < 0.05$)。从分析可见,部位的灰分含量按林龄大小排序均无一相同,无明显的分布规律,未出现随林龄增长灰分含量随之上升或下降的趋势。

3.2 不同林龄巨尾桉各部位的热值

3.2.1 不同林龄巨尾桉各部位的干重热值比较 从表 2 可知,无论在巨尾桉哪个林龄阶段,叶均具有最高的干重热值且明显高于枝等 4 个部位,平均值达 20.58 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,以林分林龄为序,其大小排列为 4 年生 > 2 年生 > 1 年生 > 3 年生,林龄间叶的干重热值无显著差异,最高值 4 年生仅比 1、2、3 年生的分别

多了 $0.31 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.02 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $0.47 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。枝的平均干重热值仅次于叶,不同林龄的干重热值差异不显著,顺序为 2 年生 > 1 年生 > 4 年生 > 3 年生。不同林龄根的干重热值差异亦不显著,顺序为 2 年生 > 3 年生 > 4 年生 > 1 年生。干的平均干重热值略高于 $19.00 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,顺序为 3 年生 > 4 年生 > 1 年生 > 2 年生。皮的干重热值是所有部位中最低

的,介于 $16.79 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 与 $17.57 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间,其顺序为 3 年生 > 2 年生 > 1 年生 > 4 年生。与灰分含量相似,4 个林龄阶段巨尾桉各部位的干重热值大小排列顺序均无一相同,规律性不明显。不同林龄巨尾桉其叶、枝、根的干重热值虽有差距但差异不显著 ($P > 0.05$),但干、皮的干重热值差异显著 ($P < 0.05$)。同一林龄不同部位干重热值的排序见表 3。

表 3 1~4 年生巨尾桉不同部位的热值排序

Table 3 Sequences of caloric value among different parts of 1-4 years old *E. grandis* × *E. urophylla*

林龄(a) Stand age	干重热值 GCV					去灰分热值 AFCV				
	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root	干 Stem-wood	皮 Bark	叶 Leaf	枝 Branch	根 Root	干 Stem-wood	皮 Bark
1	1	2	4	3	5	1	2	4	3	5
2	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
3	1	3	4	2	5	1	2	3	4	5
4	1	2	4	3	5	1	2	3	4	5

表 4 不同林龄巨尾桉灰分含量和热值方差分析

Table 4 Variance analysis on ash contents and caloric values of *E. grandis* × *E. urophylla* at different stand ages

项目 Item	变异源 Variation source	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F	P
灰分含量 AC	组间 Between groups	6.693	5	1.339	0.434	0.729
	组内 Within groups	351.415	114	3.083		
	总计 Total	358.108	119			
干重热值 GCV	组间 Between groups	0.408	5	0.082	0.064	0.979
	组内 Within groups	145.916	114	1.280		
	总计 Total	146.324	119			
去灰分热值 AFCV	组间 Between groups	0.058	5	0.012	0.009	0.999
	组内 Within groups	157.204	114	1.379		
	总计 Total	157.262	119			

3.2.2 不同林龄巨尾桉各部位的去灰分热值差异
不同林龄巨尾桉各部位的去灰分热值仍以叶最高(表 2),不同林龄其值均高于 $21.00 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,去除灰分后其排列顺序发生了变化,为 2 年生 > 4 年生 > 1 年生 > 3 年生。枝的去灰分热值仍排第 2,排序格局也与干重热值有所不同,为 1 年生 > 2 年生 > 4 年生 > 3 年生。根的去灰分热值达 $19.00 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 以上,大小顺序与干重热值一致。干的去灰分热值略高于干重热值,仅多出 $0.08 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,但排序格局发生改变,为 3 年生 > 1 年生 > 4 年生 > 2 年生。皮的去灰分热值除 4 年生外,1~3 年生的已达 $18.00 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 或以上,但仍是各部位中最低,其大小顺序亦与干重热值的一致。同一林龄不同部位的去灰分热值排序除 1 年生外,其余一致为叶 > 枝 > 根 > 干 > 皮(表 3)。

3.3 不同林龄巨尾桉的灰分和热值

由表 4 的方差分析可见,不同林龄巨尾桉单株的灰分含量、干重热值和去灰分热值差异均不显著

($P > 0.05$)。由图 1 可知,1~4 年生巨尾桉单株的平均灰分含量在 $2.27\% \sim 2.79\%$ 之间,平均值为 2.56% ,高低顺序为 4 年生 > 1 年生 > 2 年生 > 3 年生,最高值 4 年生的灰分含量比 1 年生、2 年生、3 年生分别高出 0.03% 、 0.38% 和 0.52% 。平均干重热值和去灰分热值分别介于 $18.94 \sim 19.06 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 与 $19.48 \sim 19.53 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间,平均值分别为 $19.00 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $19.50 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,排列顺序一致为 2 年生 > 3 年生 > 4 年生 > 1 年生(图 2)。4 个林龄巨尾桉单株的干重热值差异很小,最高值 2 年生仅比 3 年生、4 年生和 1 年生分别高出 $0.01 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.11 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $0.12 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,而 2 年生与 3 年生、4 年生与 1 年生的干重热值十分接近,各仅相差 $0.01 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。去灰分热值与干重热值相似,林龄间的差距亦较小。

3.4 林龄与灰分含量和热值的相关关系

将 1~4 年生巨尾桉的灰分含量和热值进行 Pearson 相关分析(表 5),结果表明林龄与灰分含

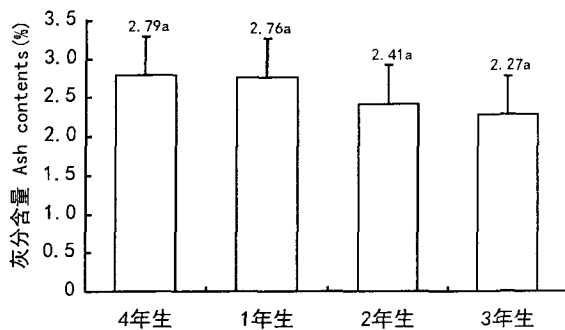


图 1 不同林龄巨尾桉的灰分含量

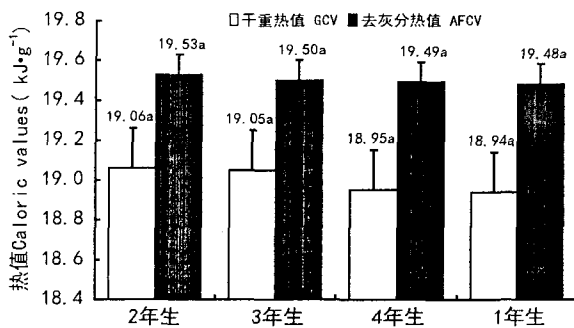
Fig. 1 Ash contents of *E. grandis* × *E. urophylla* at different stand ages

图 2 不同林龄巨尾桉的热值

Fig. 2 Caloric values of *E. grandis* × *E. urophylla* at different stand ages

量、干重热值和去灰分热值的相关性不显著,灰分含量与干重热值、去灰分热值亦无显著相关,但干重热值与去灰分热值呈显著的正相关关系,达极显著水平($P < 0.01$)。

表 5 林龄、灰分含量和热值的相关关系

Table 5 Correlation coefficients among stand age, ash content and caloric value

项目 Item	林龄 Stand age	灰分含量 AC	干重热值 GCV	去灰分热值 AFCV
林龄 Stand age	1.000			
灰分含量 AC	0.003	1.000		
干重热值 GCV	-0.003	-0.167	1.000	
去灰分热值 AFCV	0.000	0.131	0.955**	1.000

** $P < 0.01$

4 结论与讨论

巨尾桉 5 个部位的平均灰分含量以皮的最高、干的最低,各部位不同林龄的灰分含量大小顺序无

一相同,无明显的规律性可循。总体来看,叶和皮的灰分含量较高,而枝、根、干的灰分含量较低,这是由于叶和树皮在生长过程中不断更新而积累较多矿质元素的缘故,而枝、根、干是植物体的支持器官,组成以纤维素为主,在高度木质化的组织中 N、P、K、Na、Mg 等元素含量较低因而灰分含量较少(林益明等,2000),因此灰分含量的高低可指示植物或器官富集元素的能力。

不同林龄巨尾桉各部位的干重热值与去灰分热值大小排列顺序均无一相同且无明显的分布规律,两热值均遵循叶最高、皮最低的规律。植物解剖学和植物生理学的研究表明,叶片是进行光合作用的器官,是有机物合成的最主要场所,含有较多的高能化合物如蛋白质、脂肪等,所以叶的热值高于其它组分或器官(Bidwell,1982)。枝、根、干主要起贮存、支持和运输的功能,它们所含的纤维素为低热值有机物质,其热值相应要比叶的低。树皮亦属于生理活性较为活跃的器官,但本研究树皮的干重热值在各林龄阶段中均为最低,与植物生理学结论不符,这可能与巨尾桉的生长特性有关。巨尾桉具有树皮年年脱落的特性,进入冬季后树皮的生理活动由旺盛期转入缓慢期直至干枯,于翌年春季脱落,由此巨尾桉开始新一轮的生长。本研究中巨尾桉树皮的样品于 11 月底采集,此时正是其生理活动的缓慢期。由于生理活性较弱的器官合成高能化合物的能力相应较差,而只有储藏高能物质的器官才会拥有较高的热值,因此巨尾桉树皮的热值较低。

就单株而言,4 年生巨尾桉灰分含量最高,干重热值与去灰分热值均以 2 年生最高。不同林龄阶段的巨尾桉其灰分含量和热值差距很小($P > 0.05$),可见林龄对巨尾桉灰分和热值影响不大,这与乔秀娟等(2007)、曾小平等(2009)的研究结论“热值随着植物年龄的增加而增加”不符。本研究 1~4 年生巨尾桉的平均灰分含量为 2.56%,与旷远文等(2005)研究广东鼎湖山 11 种优势常绿阔叶林的灰分含量相比,高于厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)等 5 种常绿阔叶林的灰分含量 1.4%~2.48%,低于木荷(*Schima superba*)等 6 种常绿阔叶林的平均灰分含量 3.02%~7.15%。灰分含量的高低与植物吸收元素量有关,与上述常绿阔叶林相比,巨尾桉富集元素的能力居中。植物对土壤元素的富集多少本质上与植物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,对于不同林龄阶段的巨尾桉而言其灰分含量不是固定不变的。与其它乔木的热值相比,1~4年生巨尾桉单株的平均去灰分热值($19.50 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)高于浙江天童常绿阔叶林米槠(*Castanopsis carlesii*)的 $19.41 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 和栲树(*Castanopsis fargesii*)的 $19.19 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ (陈波等,2006),广东鼎湖山锥栗(*Castanopsis chinensis*)、木荷、厚桂壳等 11 种优势种的平均值 $19.28 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ (旷远文等,2005),广东樟木头巨桉等 5 种桉树的 $18.34 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ (周群英等,2009),而与广东鹤山人工林群落 10 种主要优势乔木如杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等的平均值 $19.55 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 接近(曾小平等,2009),表明巨尾桉属于高热能植物,在贮存和利用太阳能方面存在优势,具有较高的能量固定、转化和利用效率及生产力,这对在生产中合理栽培优良能源桉树具有实际指导意义。对于其它桉树品种,林龄与它们的灰分含量与热值是否有显著相关,或者是否与巨尾桉的研究结论一致,有待进一步加强研究论证,从而得到有力的理论支持。

参考文献:

- Bidwell RGS(刘富林译). 1982. 植物生理学(下册)[M]. 北京: 高等教育出版社:173—181
- 祖元刚. 1990. 能量生态学引论[M]. 吉林: 科学技术出版社:1—17
- Bi YF(毕玉芬),Che WG(车伟光). 2002. Studies on the caloric value of *Medicago* populations(几种苜蓿属植物植株热值研究)[J]. *Acta Agrest Sin*(草地学报),**10**(4):265—269
- Chen B(陈波),Yang YC(杨永川),Zhou Y(周莹). 2006. Caloric values of seven dominant species in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province, China(浙江天童常绿阔叶林内七种优势植物的热值研究)[J]. *J E China Norm Univ; Nat Sci Edi* (华东师范大学学报·自然科学版),**2**:105—111
- Chen SX(陈少雄),Liu JF(刘杰锋),Sun ZJ(孙正军), et al. 2006. Superiority, situation and potential of *Eucalyptus* for bioenergy(桉树生物质能源的优势、现状和潜力)[J]. *Biol Chem Eng*(生物质化学工程),**40**(Suppl. 1):119—128
- Jordan DF. 1971. Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage[J]. *J Ecol*,**59**:127—142
- Kuang YW(旷远文),Wen DZ(温达志),Zhou GY(周国逸), et al. 2005. Caloric values of dominant species in the different layers of lower subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest at Dinghushan Mountain(鼎湖山季风常绿阔叶林各层次优势种热值研究)[J]. *J Beijing Fore Univ*(北京林业大学学报),**27**(2):6—12
- Lin CC(林承超). 1999. Caloric values and nutrient composition of the leaves of monsoon evergreen broad-leaved forest and some forest-edge plants on Gushan Mountain in Fuzhou(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]. *Acta Ecol Sin*(生态学报),**19**(6):832—836
- Lin P(林鹏),Shao C(邵成),Zheng WJ(郑文教). 1996. Study on the caloric values of dominating plants in a subtropical rain forest in Hexi of Fuzhou(福建和溪亚热带雨林优势植物叶的热值研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报),**20**(4):303—309
- Lin XZ(林小珠),Lin CH(林成辉). 2006. Consideration of developing eucalypts as bioenergy resource(开发桉树作为生物质能源的思考)[J]. *Ener Environ*(能源与环境),**4**:106—107
- Lin YM(林益明),Lin P(林鹏),Li ZJ(李振基). 1996. Study on energy of *Castanopsis eyrie* community in Wuyi Mountains of Fujian Province(福建武夷山甜槠群落能量的研究)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报),**38**(12):989—994
- Lin YM(林益明),Lin P(林鹏),Wang T(王通). 2000. Caloric values and ash contents of some mangrove woods(几种红树植物木材热值和灰分含量的研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报),**11**(2):181—184
- Liu SR(刘世荣),Cai TJ(蔡体久),Chai YX(柴一新), et al. 1990. Energy accumulation, distribution, fixation and transformation in man-made larch forest communities(落叶松人工林群落能量积累、分配、固定和转化的研究)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志),**9**(6):7—10
- Long FL. 1934. Application of calorimetric methods to ecological research[J]. *Plant Physiol*,**9**(2):323—327
- Qiao XJ(乔秀娟),Cao M(曹敏),Lin H(林华). 2009. Caloric values allocation of dominant species in four secondary forests at different ages in Xishuangbanna, Southwest China(西双版纳不同林龄次生植物群落优势树种的热值)[J]. *Chin J Plant Ecol*(植物生态学报),**31**(2):326—332
- Ren H(任海),Peng SL(彭少麟),Liu HX(刘鸿先), et al. 1999. The caloric values of main plant species at Dinghushan, Guangdong, China(鼎湖山植物群落及其主要植物的热值研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报),**23**(2):148—154
- Sun GF(孙国夫),Zheng ZM(郑志明),Wang ZQ(王兆寿). 1993. Dynamics of caloric values of rice(水稻热值的动态变化研究)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志),**12**(1):1—4
- Wang FT(王方桃). 1984. Primary study on the energy coefficient of energy flow accounting in the agroecosystems of plain area(平原稻区农业生态系统能流计量的折能系数初步研究)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志),**3**(6):44—46
- Yang CY(杨成源),Zhang JY(张加研),Li WZ(李文政), et al. 1996. A study on calorific value of fuelwood species in the xerothermic valley and in the central Yunnan Plateau(滇中高原及干热河谷薪材树种热值研究)[J]. *J SW Coll*(西南林学院学报),**16**(4):294—302
- Zeng XP(曾小平),Cai XA(蔡锡安),Zhao P(赵平), et al. 2009. Caloric value and ash content of dominant plants in plantation communities in Heshan of Guangdong, China(广东鹤山人工林群落主要优势植物的热值和灰分含量)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报),**20**(3):485—492
- Zhou QY(周群英),Chen SX(陈少雄),Han FY(韩斐扬), et al. 2010. Comparison study on biomass and energy of five eucalypt clones(尾细桉等 5 种桉树无性系生物量和能量的比较研究. 林业科学研究)[J]. *Fore Res*(林业科学研究),**23**(1):18—24
- Zhou QY(周群英),Chen SX(陈少雄),Wu ZH(吴志华), et al. 2009. Ash contents and caloric values of five eucalypt species(巨桉等 5 种桉树的热值和灰分含量研究)[J]. *Chin J Trop Crops*(热带作物学报),**30**(2):161—166