

尾巨桉不同器官热值影响因素研究

韩斐扬¹, 陈少雄², 周群英²

(1.广西壮族自治区林业勘测设计院, 广西 南宁 530011; 2.国家林业局桉树研究开发中心, 广东 湛江 524022)

摘要:对广东廉江石岭林场5年生尾巨桉不同器官的燃烧特性因子、物质组成成分和营养元素等指标进行了研究,并做了相关性分析。结果表明:5种器官去灰分热值在18.57~21.09 kJ g⁻¹间,排序为叶片>树枝>树根>树干>树皮;去灰分热值和干质量热值、灰分相关显著,和粗纤维、粗蛋白、粗脂肪、全氮都显著相关,尾巨桉不同器官的热值受其物质成分及营养元素的影响。

关键词:尾巨桉;热值;影响因素

中图分类号:Q947.5

文献标识码:A

Study on Factors the Influencing Calorific Value of Component Tissues of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*

HAN Fei-yang¹, CHEN Shao-xiong², ZHOU Qun-ying²

(1. Forestry Inventory and Planning Institute of Guangxi, Nanning 530011, Guangxi, China;

2. China Eucalypt Research Centre, Zhanjiang 524022, Guangdong, China)

Abstract: We studied combustion characteristics, material composition and nutrient elements in different component tissues of 5 years old *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* at Shiling forest farm in Lianjiang, Guangdong, and examined associations among component tissue characteristics. Ash free calorific values (AFCV) of the 5 different component tissues ranged from 18.57 to 21.09 kJ g⁻¹, with their rank order by AFCVs being: leaves>branches>roots>stem-wood>bark. AFCV, gross caloric value and ash content were significantly correlated with each other, as were crude fiber, crude protein, crude fat and total nitrogen. AFCV of *E. urophylla* × *E. grandis*'s component tissues were found to be associated with their material composition and levels of key nutrient elements.

Key words: *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*; calorific values; influence factor

植物热值反映着植物组织各种生命活动的变化和植物生长状况的差异^[1],是衡量植物体生命活动及组成成分的指标^[2],也是评价植物营养成分及木材的燃烧性能的指标^[3-5]。自1934年Long^[6]测定了向日葵(*Helianthus annuus*)不同部位叶片热值后,Golley^[7]、Bliss^[8]和Olson^[9]也进行了相关的能值研究,此后生物个体、种群和群落热值测定普遍开展^[7-8,10-11]。我国在这方面的研究起步较晚,开展较早的是杨福国等^[12]于1978年对高寒草甸地区常见植物热值的测定,之后祖元刚等^[13]、陈佐忠等^[14]、龙瑞军等^[15]、刘世荣等^[16]、孙雪峰^[17]、任海等^[18]、李意德等^[19]相继开展了各种森林群落的热值研究。

桉树(*Eucalyptus*)是我国南方重要的速生商品林树种,也是优良的能源树种。桉树因为有高效的

光合作用机制,因此其人工林是世界上生长最快、生物量最大的一种人工林生态体系^[20]。周群英等^[21]、韩斐扬等^[22]曾对我国南方常见的几种桉树的热值进行了测定,研究分析了桉树不同林龄和不同器官的热值变化。本文对尾巨桉不同器官的热值变化原因进行进一步研究,试图从影响其变化的内在机理出发,找出影响其变化的物质成分或营养元素,为进一步寻找热值变化的内在因素及更好地开展植物热值的研究提供参考。

1 试验地概况

试验地位于广东省廉江市的国营雷州林业局石岭林场(21°25' ~ 21°55'N, 109°45' ~

110°30'E)。属南亚热带季风气候,年平均温度22.9℃,最热月平均气温28℃(7月),最冷月平均气温14℃(1月),年平均日照1884h。4—9月为雨季,年平均降雨量1600~1900mm。地势平坦,成土母质为浅海沉积物,土层较深,但土壤肥力低下、酸度大。

2 材料和方法

2.1 试验材料

试验林为4.5年生尾巨桉(*E.urophylla* × *E.grandis*)纯林,林分平均树高16.2m,平均胸径10.4cm,种植密度为2500株 hm^{-2} ,林分保存率87%,现存密度2175株 hm^{-2} 。采用无性系苗造林,种植穴的规格为50cm × 50cm × 40cm,造林前施复合肥0.5kg·穴 $^{-1}$,定植后3个月追施复合肥0.5kg·株 $^{-1}$,此后第2、3年的4月份各追肥1次,肥料为复合肥0.3kg·株 $^{-1}$ +尿素0.2kg·株 $^{-1}$ 。林下灌木、草本稀少,主要物种有桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、马樱丹(*Lantana camara*)、铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)等。样品采集方法见韩斐扬等^[22]的文献。

2.2 热值、物质成分和元素等测定

热值和灰分含量的测定见韩斐扬等^[22]的文献,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);挥发份测定:称取1.000g样品,放入坩埚中,加盖隔绝空气,在马弗炉中加热到400℃保持10min,称重样品测定挥发份;固定碳: $W_{\text{固}}$

定碳=100%-($W_{\text{H}_2\text{O}}$ + $W_{\text{灰分}}$ + $W_{\text{挥发份}}$)。

粗脂肪:石油醚索氏提取法;粗纤维测定:重量法;木质素测定:采用Foss Fibertech2010系统测定,木质素代指酸性洗涤木质素,标准差由3次独立实验结果计算获得,3次实验结果偏差木质素≤1%;粗蛋白:含量为6.25×N%。

全氮和全磷:纳氏试剂比色法,植物样品经浓 H_2SO_4 - H_2O_2 溶液消煮后,用连续流动分析仪AA3测定全氮和全磷含量;植物有机碳(C)测定采用外加热、重铬酸钾容量法。

2.3 统计分析

数据采用Excel图表和SPSS13.0软件对各试验数据进行方差分析、邓肯多重比较、相关性分析。

3 结果与分析

3.1 燃烧特性

由表1可知,尾巨桉5种器官间灰分含量、干质量热值、去灰分热值、挥发份和固定碳等均差异极显著($P<0.05$)。5种器官灰分含量为0.29%~4.08%,排序为叶片>树皮>树枝>树根>树干;干质量热值为17.94~20.23 kJ g^{-1} ,排序为叶片>树根>树枝>树干>树皮;去灰分热值为18.57~21.09 kJ g^{-1} ,排序为叶片>树枝>树根>树干>树皮;挥发份为72.36%~83.97%,排序为树干>树根>树枝>叶片>树皮;固定碳为15.74%~24.27%,排序为树皮>叶片>树枝>树根>树干。

表1 燃烧特性各指标状况

器官	灰分含量/%	干质量热值/(kJ g^{-1})	去灰分热值/(kJ g^{-1})	挥发份/%	固定碳/%
叶片	4.08±0.36 a	20.23±0.07 a	21.09±0.01 a	73.27±1.08 d	22.66±0.74 b
树枝	2.99±0.52 b	19.13±0.02 b	19.72±0.11 b	76.03±0.33 c	20.99±0.78 c
树根	1.21±0.66 c	19.25±0.25 b	19.48±0.24 b	78.86±0.95 b	19.93±0.40 c
树干	0.29±0.19 d	18.54±0.12 c	18.59±0.09 c	83.97±1.20 a	15.74±1.01 d
树皮	3.38±0.07 b	17.94±0.23 d	18.57±0.22 c	72.36±0.83 d	24.27±0.90 a

注:同列数字后不同小写字母表示 $P<0.05$,下同。

3.2 主要物质成分

对尾巨桉5种器官主要物质成分指标做方差分析(表2),结果表明尾巨桉5种器官间粗脂肪、粗纤

维、木质素、蛋白质等差异显著($P<0.05$)。5种器官粗脂肪含量为9.13%~16.30%,以叶片的最高;粗纤维为10.73%~68.47%,排序为树干>树根>树枝>

树皮>叶片,且两两间差异极显著;木质素为 23.64% 蛋白含量为 4.84% ~ 17.56%,排序为叶片>树枝>树
~ 26.01%,排序为树皮>树根>树干>树枝>叶片;粗 皮>树根>树干。

表 2 主要物质成分各指标状况 %

器官	粗脂肪	粗纤维	木质素	粗蛋白
叶片	16.30±0.56 a	10.73±1.31 e	23.64±0.07 b	17.56±2.03 a
树枝	9.22±0.01 b	46.21±0.61 c	23.86±0.67 b	15.92±3.05 a
树根	9.13±0.57 b	56.42±2.34 b	25.30±0.21 a	8.25±0.96 c
树干	9.41±1.58 b	68.47±0.95 a	25.12±0.33 a	4.84±0.42 d
树皮	11.29±0.53 b	38.61±2.54 d	26.01±0.17 a	12.29±2.96 b

3.3 主要元素含量

对尾巨桉 5 种器官主要元素含量做方差分析(表 3),5 种器官全氮和全磷含量差异显著($P<0.01$),有机碳差异不显著($P>0.05$)。5 种器官全氮含量为 0.77 ~ 2.81 mg g⁻¹,排序为叶片>树枝>树皮>树根>树干,以叶片最高;全磷含量为 0.11 ~ 0.93 mg g⁻¹,排序为叶片>树皮>树枝>树根>树干;有机碳含量为 37.74% ~ 42.18%。

表 3 主要元素各指标状况

器官	全氮/(mg g ⁻¹)	全磷/(mg g ⁻¹)	有机碳/%
叶片	2.81±0.32 a	0.93±0.08 a	42.18±0.78 a
树枝	2.55±0.49 a	0.45±0.13 b	41.39±0.86 a
树根	1.32±0.15 c	0.12±0.02 c	40.03±0.28 a
树干	0.77±0.07 d	0.11±0.03 c	41.20±0.37 a
树皮	1.97±0.48 b	0.91±0.25 a	37.74±0.71 a

3.4 相关性分析

对尾巨桉 5 种器官的燃烧特性、主要物质成分

和元素指标做相关性分析,结果见表 4,从中可知去灰分热值和灰分含量相关显著,和干质量热值相关极显著,和挥发份、固定碳相关不显著(相关系数分别为-0.568 和 0.512, $P>0.05$),说明灰分含量和干质量热值越大,去灰分热值越大;而灰分含量和挥发份、固定碳相关极显著(相关系数分别为-0.986 和-0.989, $P<0.01$)。

去灰分热值和粗蛋白、粗纤维相关极显著(相关系数分别为 0.772 和-0.884, $P<0.01$),和粗脂肪相关显著(相关系数为 0.752, $P<0.05$),而和木质素相关不显著(相关系数为-0.585, $P>0.05$),说明粗蛋白和粗脂肪含量越高,去灰分热值越大,粗纤维含量越高,去灰分热值就越小;灰分含量也和粗蛋白、粗纤维相关极显著(相关系数分别为0.972 和-0.932, $P<0.01$),和粗脂肪相关显著(相关系数为 0.718, $P<0.05$)。

表 4 燃烧特性、主要物质组成成分和元素的相关系数表

相关系数	干质量热值	挥发份	灰分含量	去灰分热值	固定碳	全氮	全磷	粗蛋白	木质素	粗脂肪	粗纤维
挥发份	-0.235										
灰分含量	0.385	-0.986**									
去灰分热值	0.948**	-0.568	0.695*								
固定碳	0.178	-0.989**	0.928**	0.512							
全氮	0.542	-0.933**	0.983**	0.814**	0.871**						
全磷	0.312	-0.994**	0.918**	0.537	0.848**	0.889**					
粗蛋白	0.433	-0.935**	0.972**	0.772**	0.878**	1.000**	0.879**				
木质素	-0.454	0.458	-0.462	-0.585	-0.419	-0.576	-0.383	-0.543			
粗脂肪	0.611	-0.524	0.718*	0.752*	0.576	0.711*	0.815**	0.674*	-0.356		
粗纤维	-0.587	0.912**	-0.932**	-0.884**	-0.837**	-0.941**	-0.925**	-0.927**	0.544	-0.887**	
有机碳	0.652	0.438	-0.341	0.365	-0.559	-0.147	-0.318	-0.115	-0.412	0.112	0.115

注: *表示 $P<0.05$, **表示 $P<0.01$ 。

去灰分热值和主要元素各指标的相关性分析

中,和全氮相关极显著(相关系数为 0.814, $P<0.01$),

和全磷、有机碳相关不显著(相关系数分别为 0.537 和 0.365, $P>0.05$), 说明全氮含量越高, 去灰分热值越大; 而灰分含量和全氮、全磷相关极显著(相关系数分别为 0.983 和 0.918, $P<0.01$), 和有机碳相关不显著(相关系数为-0.341, $P>0.05$)。

综上所述, 去灰分热值除和干质量热值、灰分相关显著外, 和粗纤维、粗蛋白、粗脂肪和全氮都有显著相关。而灰分含量和水分含量、挥发份及固定碳相关显著, 和粗脂肪、粗蛋白、粗纤维、全氮和全磷也都相关显著。

4 结论与讨论

植物热值是植物含能产品能量水平的一种度量, 反映了绿色植物在光合作用中转化日光能的能力, 热值高低体现了植物的能量代谢水平, 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, 热值是衡量植物体生命活动及组成成分指标之一, 可作为植物生长状况的一个有效指标^[2]。植物热值首先受植物种自身生物生态学特征的制约, 不同植物种有其本身的遗传特性, 具有不同生长发育节律和对环境的同化能力, 反映在热值含量也有差异。Whittaker^[23]研究认为世界陆生植物的平均去灰分热值为 17.79 kJ g^{-1} 。本研究尾巨桉 5 种器官去灰分热值为 $18.57 \sim 21.09 \text{ kJ g}^{-1}$, 高于世界陆生植物的平均去灰分热值。

植物不同部位和器官的热值有所不同, 对于同种植物来说, 以地上部分热值高于地下部分^[24-25]为多, 叶片的热值高于茎的热值^[26]。郭继勋等^[27]对羊草草原 55 种植物热值研究显示, 同一植物不同器官的热值存在着差异, 各器官的平均热值花 19.40 kJ g^{-1} >茎 18.02 kJ g^{-1} >叶 17.89 kJ g^{-1} >根 17.21 kJ g^{-1} 。刘世荣等^[16]对落叶松(*Larix gmelinii*)人工林测定, 林光辉等^[28]对海莲(*Bruguiera sexangula*)、秋茄(*Kandelia candel*)两种红树的测定, Ovington 等^[29]研究欧洲赤松(*Pinus densiflora*)林的测定均是树根的热值最低。张清海等^[30]在对东南滨海沙地主要造林树种的研究中指出, 在木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)和厚荚相思(*Acacia crassicarpa*)林各组

分中, 树根干质量热值均最低; 湿地松(*P.elliottii*)各组分中, 叶片干质量热值最高, 果实干质量热值最低。倪穗等^[31]对青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)种群的热值研究表明, 青冈各径级器官的热值大小顺序均为: 叶片>树枝>树干, 并且实生青冈各器官的热值均大于萌生青冈。本研究尾巨桉 5 种器官去灰分热值排序为叶片>树枝>树根>树干>树皮, 与前人的研究结论相符。

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^[1]。本研究对尾巨桉 5 种器官的燃烧特性、主要物质成分和元素各指标的相关性研究结果表明, 去灰分热值除了和干质量热值、灰分相关显著外, 和粗纤维、粗蛋白、粗脂肪和全氮均有显著相关。说明植物各器官去灰分热值的不同, 与各器官所含粗纤维、粗蛋白、粗脂肪和营养元素氮的数量有关。各器官粗纤维、粗蛋白、粗脂肪和营养元素氮的含量分布不均的原因, 与营养物质的运输过程关系密切。光合器官合成有机物, 沿枝送入茎干中, 最后才流入根中。在营养物质的输送过程中, 高能产品, 如脂类和蛋白质的输送速率要低于低能产品, 如碳水化合物; 而积累速率却要高于低能产品。因此, 高能产品在输送过程中的积累浓度由叶片→树枝→树干→树根逐渐降低, 故热值也相应逐渐减小, 形成叶片>树枝>树干>树根的顺序^[17]。另外, 叶片、树枝养分含量高, 特别是氮、磷、钾高, 热值高; 而树干营养元素含量低, 故热值较低^[31]。

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] 林鹏, 林光辉. 几种红树植物的热值和灰分含量研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(1): 114-120.
- [3] 陈存及, 何宗明. 37 种针阔树种抗火性及其综合评价的研究[J]. 火灾科学, 1994, 3(1): 42-51.
- [4] 杨成源, 张加研, 李文政, 等. 滇中高原及干热河谷薪材树种热值研究[J]. 西南林学院学报, 1996, 16(4): 294-302.
- [5] 白明良, 华利民, 张晓继, 等. 不同储藏年限大米的热值和

- 营养素变化相关性研究[J].中国公共卫生,1997,13(4):228-229.
- [6] Long F L. Application of calorimetric methods to ecological research[J]. Plant Physiology, 1934, 9(2): 323-327.
- [7] Golley F G. Energy values of ecological materials[J]. Ecology, 1961, 42(3): 581-584.
- [8] Bliss L C. Caloric and lipid content in Alpine Tundra plants[J]. Ecology, 1962, 43(4): 753-757.
- [9] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems[J]. Ecology, 1963, 44(2): 322-331.
- [10] James T D W, Smith D W. Seasonal changes in the caloric value of the leaves and twigs of *Papulus remuloides*[J]. Canadian Journal of Botany, 1978, 56(15): 1804-1805.
- [11] Singh A K, Misra R N, Ambasht R S. Energy dynamics in a savanna ecosystem in India[J]. Japanese Journal of Ecology 1980, 30(4): 295-305.
- [12] 杨福囤, 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): 280-288.
- [13] 祖元刚, 张宏一. 植物热值测定的若干技术问题[J]. 生态学杂志, 1986, 5(4): 53-56.
- [14] 陈佐忠, 张鸿芳. 内蒙古典型草原地带 118 种植物的热值[J]. 草原生态系统研究, 1992, 4(S1): 41-48.
- [15] 龙瑞军, 徐长林, 胡自治, 等. 天祝高山草原 15 种饲用灌木的热值及季节动态[J]. 生态学杂志, 1993, 12(5): 13-16.
- [16] 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]. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(3): 209-218.
- [17] 孙雪峰, 陈灵芝, 徐瑞成. 暖温带落叶阔叶林林内能量的分配组合特征[C]//陈灵芝, 黄建辉. 暖温带生态系统结构与功能的研究. 北京: 科学出版社, 1997.
- [18] 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.
- [19] 李意德, 吴仲民, 曾庆波, 等. 尖峰山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.
- [20] 康树珍, 贾黎明, 彭祚登, 等. 燃料能源林树种选育及培育技术研究进展[J]. 世界林业研究, 2007, 20(3): 27-33.
- [21] 周群英, 陈少雄, 吴志华, 等. 广东樟木头 5 种桉树的能量特征研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17(6): 549-555.
- [22] 韩斐扬, 周群英, 陈少雄, 等. 2 种桉树不同林龄生物量与能量的研究[J]. 林业科学研究, 2010, 23(5): 690-696.
- [23] Whittaker R H (姚璧君等译). 群落与生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 1977.
- [24] 任海, 彭少麟. 鼎湖山森林生态系统演替过程中的能量生态特征[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 817-822.
- [25] 鲍雅静, 李政海. 内蒙古羊草草原群落主要植物的热值动态[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 606-613.
- [26] 鲍雅静, 李政海, 韩兴国, 等. 植物热值及其生物生态学属性[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1095-1103.
- [27] 郭继勋, 王若丹, 包国章. 东北羊草草原主要植物热值[J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 746-750.
- [28] 林光辉, 林鹏. 海莲、秋茄两种红树群落能量的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(1): 31-38.
- [29] Ovington J D, Lawrence D B. Comparative chlorophyll and energy studies of prairie, savanna, oakwood and maize field e-cosystem[J]. Ecology, 1967, 48(4): 515-524.
- [30] 张清海, 叶功富, 林益明. 东南滨海沙地主要造林树种的生物量与能量[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2007, 31(3): 143-146.
- [31] 倪穗, 陈启瑞. 青冈种群的热值研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, 27(4): 390-392.