

# 格氏栲天然林与人工林枯枝落叶层能量现存量

郭剑芬<sup>1</sup>, 林 鹏<sup>1</sup>, 杨玉盛<sup>2</sup>

(1. 厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005; 2. 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘要: 通过对福建三明格氏栲天然林及其采伐迹地上营造的 33 年生格氏栲人工林和杉木人工林枯枝落叶层各组分热值及能量现存量的研究表明, 格氏栲天然林、格氏栲人工林和杉木人工林枯枝落叶层的干重热值和去灰分热值从未分解层(L层)到半分解层(F层)均不断下降。格氏栲天然林枯枝落叶层能量现存量达  $16\ 125.72\ \text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , 分别比格氏栲人工林和杉木人工林枯枝落叶层能量现存量高 24.29% 和 81.63%。在枯枝落叶层组成中, 枯叶能量现存量所占比例最大, 3 种林分枯枝落叶层枯叶分别占 63.76%、56.32% 和 43.64%; 枯枝的能量现存量次之。

关键词: 枯枝落叶层; 热值; 能量; 格氏栲; 杉木; 天然林; 人工林

中图分类号: S718.54 文献标识码: A 文章编号: 1001-389X(2006)01-0041-04

## Energy of forest floor in natural and monoculture plantation forests of *Castanopsis kawakamii*

GUO Jian-fen<sup>1</sup>, L N Peng<sup>1</sup>, YANG Yu-sheng<sup>2</sup>

(1. College of Life Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China;  
2. College of Geography Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** Caloric value and the standing crop of energy of forest floor were studied in a natural forest of *Castanopsis kawakamii* (NF) and adjacent monoculture plantations of *C. kawakamii* (CK) and Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*, CF) in Saming, Fujian, China. The results showed that gross caloric values of leaf litter in the NF, CK and CF were higher in the L layer than those in the F layer, which was the same for ash free caloric values. The standing crop of energy in forest floor of the NF was  $16\ 125.72\ \text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , being 24.29% and 81.63% higher than those in forest floors of the CK and CF respectively. Of the total standing crop of energy in forest floor, leaf litter represented the greatest proportion followed by branch litter. The standing crop of energy in leaf litter constituted 63.76%, 56.32% and 43.64% respectively.

**Key words:** forest floor; caloric value; energy; *Castanopsis kawakamii*; *Cunninghamia lanceolata*; natural forest; plantation

我国亚热带天然林经皆伐、炼山和整地后改为人工林, 群落结构简单与树种单一且由于幼林郁闭前水土肥流失较为严重, 维持人工林长期生产力日益引起人们关注<sup>[1]</sup>。位于福建三明莘口的格氏栲 (*Castanopsis kawakamii*) 保护区内格氏栲天然林是目前世界上独一无二的、树龄 (约 150 a) 和面积 (700  $\text{hm}^2$ ) 较大, 保存较为完整的中亚热带天然常绿阔叶林<sup>[2]</sup>。20 世纪 60 年代, 部分的格氏栲天然林曾被皆伐后营造诸如杉木、福建柏、格氏栲、木荚红豆树等人工纯林, 这些人工林与现存格氏栲天然林毗邻、本底条件 (母岩、土层厚度、土壤层次) 相似, 从而为天然林和不同人工林的生态学比较提供良好的试验地条件。本课题组已对格氏栲天然林与人工林凋落物、细根、枯枝落叶层 C 库和养分库、土壤非保护性有机 C、土壤呼吸对干湿交替的响应、土壤生物学活性进行过报道<sup>[3-7]</sup>, 本文仅从枯枝落叶层能量角度, 比较格氏栲天然林、格氏栲人工林和杉木人工林的生态学差异。

### 1 试验地概况

试验地位于福建三明市莘口教学林场小湖工区 (26°11'30"N, 117°26'00"E), 地处武夷山脉东南, 戴云山山脉西北, 海拔 300 m 左右; 属中亚热带季风气候, 年均气温 19.1℃, 年均降水量 1 749 mm (主

\* 基金项目: 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目。

作者简介: 郭剑芬 (1977-), 女, 福建龙岩人, 博士研究生, 从事森林 C 循环研究; 通讯作者: 杨玉盛 (1964-), 男, 福建仙游人, 教授, 从事亚热带常绿阔叶林 C、N 等元素循环的研究。

收稿日期: 2005-06-03; 修回日期: 2005-09-03。

要集中于 3- 8 月), 年均蒸发量 1 585 mm, 相对湿度 81%, 全年无雾天为 300 d; 土壤为沙质页岩发育的红壤, 土层厚度超过 1 m.

1966 年, 部分格氏栲天然林经皆伐、炼山, 并于 1967 年经穴状整地后用 1 年生格氏栲和杉木实生苗造林, 造林密度均为  $3\ 000\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$ . 1999 年, 分别在 3 种林分中坡位置各建立 5 个  $20\ \text{m} \times 20\ \text{m}$  的标准地, 概况如下.

格氏栲天然林坡向东北, 坡度  $31^\circ$ ; 植物种类丰富, 群落结构复杂<sup>[1-2]</sup>. 乔木层可按高度明显分为 3 个亚层 ( $>18\ \text{m}$ ,  $12-18\ \text{m}$  和  $6-12\ \text{m}$ ), 主要有格氏栲、马尾松 (*Pinus massoniana*)、木荷 (*Schinus superba*)、石栎 (*Lithocarpus glaber*)、山矾 (*Symplocos caudata*)、刨花楠 (*Machilus pauhoi*)、山黄皮 (*Randia cochinchinensis*), 以格氏栲占优势 (重要值达 0.80 左右). 灌木层按高度可分为两层 ( $<6\ \text{m}$  和  $<2\ \text{m}$ ), 以百两金 (*Ardisia crispa*)、卡氏乌饭 (*Vaccinium carlesii*)、狗骨柴 (*Tricalysia dubia*) 和毛冬青 (*Ilex pubescens*) 为主, 盖度 45%. 草本层为零星分布, 以狗脊 (*Woodwardia japonica*), 芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 为主.

格氏栲人工林为东北坡向, 坡度  $30^\circ$ ; 林冠单层, 林下植被种类简单、数量少, 灌木层以杜茎山 (*Maesa japonica*), 百两金, 玉叶金花 (*Mussaenda pubescens*) 和鸡血藤 (*Millettia reticulata*) 为主. 草本层以狗脊和芒萁为主.

杉木林为东北坡向, 坡度  $35^\circ$ ; 林冠单层, 灌木层以粗叶榕 (*Ficus hirta*), 悬钩子 (*Rubus palmatus*) 和毛冬青为主. 草本层以芒萁、观音座莲 (*Angiopteris fokiensis*) 和乌毛蕨 (*Blachnum orientale*) 为主.

不同林分的林分特征及土壤性质见表 1.

表 1 不同林分特征和土壤性质

Table 1 Stand characteristics and soil properties in three forests

林分特征	林分特征			土壤性质 (0- 20 cm)	土壤性质		
	格氏栲 天然林	格氏栲 人工林	杉木 人工林		格氏栲 天然林	格氏栲 人工林	杉木 人工林
郁闭度 /%	0.95	0.95	0.85	容重 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	0.93	1.10	1.20
$H_{\text{平均}} / \text{m}$	24.3	18.9	21.9	有机质 / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	46.0	29.8	29.5
$D_{\text{平均}} / \text{cm}$	42.2	23.4	23.3	全 N / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.88	1.12	1.12
株 $\cdot \text{hm}^{-2}$	255	875	1 117	全 P / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.36	0.31	0.29
$V / \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	398.31	412.43	425.91	全 K / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	21.61	15.17	12.43
灌木层生物量 / $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$	10.12	0.78	1.99	水解 N / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	135.6	115.2	110.3
草本层生物量 / $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$	0.87	0.29	2.48	速效 P / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	7.63	5.92	4.69
枯枝落叶层厚度 /cm	$5 \pm 3$	$4 \pm 2$	$2 \pm 1$	速效 K / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	117.8	96.7	61.8

注: 天然林中仅包括格氏栲.

## 2 研究方法

### 2.1 枯枝落叶层现存量调查

2001 年的 1 月 (冬)、4 月 (春)、7 月 (夏)、10 月 (秋) 在格氏栲天然林、格氏栲人工林与杉木人工林上、中、下坡分别设一条平行于等高线的样线, 在每条样线上每隔 5 m 设 1 个  $25\ \text{cm} \times 25\ \text{cm}$  小样方, 每条样线共设 5 个, 每种林分每次调查共设 15 个小样方. 调查每个样方内枯枝落叶层的厚度, 分别未分解层 (L 层) 中叶、枝和半分解层 (F 层) 中叶、枝、花、果和其它等组分称重, 并分别取 L 层和 F 层中叶、枝、花、果和其它组分等样品带回室内. 每种样品中小部分用于测定自然含水率 (105 $^\circ\text{C}$ ), 据此推算单位面积干重, 其余样品烘干粉碎, 过 60 目筛后贮存于广口瓶中备用.

### 2.2 枯枝落叶层各组分热值的测定

用上海市检测技术所检测仪器厂生产的 HWR-15 恒温式微机热量计, 测定枯落物各组分热值, 测定在 22- 30 $^\circ\text{C}$  之间进行, 每个样品作 2- 3 次重复, 重复间的相对误差控制在  $\pm 1\%$  以内; 同时取小样测定其含水率. 灰分含量用干灰化法测定. 去灰分热值 = 干重热值 / (1 - 灰分含量)<sup>[8]</sup>.

### 2.3 统计分析

统计分析用 SPSS (11.0) 软件进行. 用配对 t 检验法检验不同林分间枯枝落叶层能量现存量的差异 ( $P < 0.05$ ).

### 3 结果与分析

#### 3.1 枯枝落叶层各组分的灰分含量及热值

热值是指单位重量植物所含有的热量, 反映了植物不同样品的能量属性<sup>[9]</sup>. 格氏栲天然林、格氏栲人工林和杉木人工林枯枝落叶层各组分的灰分含量及相应热值列于表 2 中. 格氏栲天然林枯枝落叶层各组分的干重热值介于 15.69- 20.35  $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  之间, 去灰分热值介于 16.83- 21.14  $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  之间; 格氏栲人工林枯枝落叶层各组分干重热值介于 14.12- 20.44  $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  之间, 去灰分热值介于 15.70- 22.36  $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ; 杉木人工林枯枝落叶层各组分干重热值介于 15.16- 22.53  $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  之间, 去灰分热值介于 16.24- 23.71  $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$  之间. 由各部分的干重热值与去灰分热值之间的差异可看出灰分含量对计算干重热值有直接影响. 例如, 尽管格氏栲天然林枯枝落叶未分解层中枯叶去灰分热值比枯枝高, 但由于其灰分含量较高, 使其干重热值却比枯枝低. 由此可见, 去灰分热值更能反映出植物样品的能量属性, 因而进行比较不同种类、不同地区植物热值差异时一般采用去灰分热值作为标准<sup>[10]</sup>.

3 种林分枯叶的干重热值和去灰分热值从 L 层到 F 层均不断下降 (表 2), 这可能由于分解过程中蛋白质和脂肪等高能物质快速淋失和降解, 而木质素、纤维等难分解物质不断累积有关<sup>[11]</sup>. 而 3 种林分枯枝落叶层的灰分含量从 L 层到 F 层逐渐升高, 表明枯枝落叶在分解过程中灰分发生了相对积累. 大量的矿质养分储存在森林枯枝落叶层中, 是森林土壤天然肥料的来源, 对土壤发育起着重要的作用.

表 2 不同林分枯枝落叶层各组分热值

Table 2 Caloric values of various components in forest floors in three forests

林分类型	层次	组分	灰分含量 /%	干重热值 / $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$	去灰分热值 / $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$	林分类型	层次	组分	灰分含量 /%	干重热值 / $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$	去灰分热值 / $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$	
格氏栲天然林	L	叶	6.37 $\pm$ 0.31	19.09 $\pm$ 1.01	20.39 $\pm$ 1.23	格氏栲人工林	F	花	-	-	-	
		枝	2.82 $\pm$ 0.14	19.52 $\pm$ 1.24	20.09 $\pm$ 1.18			果	9.61 $\pm$ 0.51	19.70 $\pm$ 1.26	21.79 $\pm$ 1.35	
	F	叶	9.32 $\pm$ 0.49	16.55 $\pm$ 1.05	18.25 $\pm$ 1.15		其它	8.60 $\pm$ 0.45	20.44 $\pm$ 1.31	22.36 $\pm$ 1.18		
		枝	9.10 $\pm$ 0.48	18.42 $\pm$ 1.15	20.26 $\pm$ 1.29		杉木人工林	L	叶	4.99 $\pm$ 0.27	22.53 $\pm$ 1.41	23.71 $\pm$ 1.53
		花	8.05 $\pm$ 0.37	20.35 $\pm$ 1.25	21.14 $\pm$ 1.34				枝	3.83 $\pm$ 0.24	20.27 $\pm$ 1.32	21.08 $\pm$ 1.33
	果	6.79 $\pm$ 0.40	15.69 $\pm$ 0.82	16.83 $\pm$ 1.15	F			叶	6.14 $\pm$ 0.33	20.73 $\pm$ 1.35	22.08 $\pm$ 1.39	
	其它	7.21 $\pm$ 0.37	18.26 $\pm$ 1.16	19.69 $\pm$ 1.15	枝		6.63 $\pm$ 0.41	15.16 $\pm$ 0.93	16.24 $\pm$ 1.00			
格氏栲人工林	L	叶	9.56 $\pm$ 0.53	19.09 $\pm$ 1.18	21.11 $\pm$ 1.16	花	9.76 $\pm$ 0.48	17.70 $\pm$ 1.02	19.61 $\pm$ 1.04			
		枝	-	-	-	果	8.13 $\pm$ 0.51	18.88 $\pm$ 1.21	20.55 $\pm$ 1.17			
	F	叶	10.08 $\pm$ 0.64	14.12 $\pm$ 0.88	15.70 $\pm$ 0.85	其它	8.65 $\pm$ 0.45	16.06 $\pm$ 0.88	17.58 $\pm$ 1.08			
		枝	7.21 $\pm$ 0.43	19.39 $\pm$ 1.12	20.90 $\pm$ 1.34							

#### 3.2 枯枝落叶层各组分的能量现存量

格氏栲天然林枯枝落叶层能量现存量达 16 125.72  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , 分别比格氏栲人工林和杉木人工林枯枝落叶层能量现存量高 24.29% 和 81.63% (表 3). 在枯枝落叶层组成中, 枯叶能量现存量所占比例最大, 3 种林分枯枝落叶层枯叶分别占 63.76%、56.32% 和 43.64%; 枯枝的能量现存量次之.

枯枝落叶层作为森林生态系统能量流动的主要中转站, 在向土壤归还大量养分的同时, 亦为土壤输入大量的能量. 本研究中格氏栲天然林、格氏栲人工林和杉木人工林枯枝落叶层能量现存量 (表 3) 高于同一气候带甜槠 (*Castanopsis eyrei*)<sup>[9]</sup>、黄山松 (*Pinus taiwanensis*)<sup>[8]</sup>, 但低于海莲 (*B. nuguera sexangula*)、秋茄 (*Kandelia candel*) 2 种红树林<sup>[10]</sup>. 在枯枝落叶层各组分中枯叶的能量贮量占绝对优势 (表 3), 这与国内外研究结果相似<sup>[13-15]</sup>.

天然林皆伐、炼山后, 在幼林郁闭前 3-5 a 内, 土壤由于彻底失去植被和枯枝落叶层 (或采伐剩余物层) 覆盖, 对太阳能截获能力差, 大部分太阳辐射直接照射地表, 使得白天地表温度过高 (最高时可高达 76.6 °C), 昼夜温差过大, 地表水分蒸发强烈, 土壤过度干旱, 系统趋向干热化. 同时长时期地表裸露, 土温高, 又加速了土壤矿质化过程, 易遭受水土流失. 幼林郁闭后, 枯枝落叶层贮量不断增加, 土壤温度的变幅大为降低, 土壤水分含量提高, 为植被的生长创造了较好的热辐射和能量环境. 长汀河田严重侵蚀地经过土壤环境改良后栽植先锋树种, 地表因有了枯枝落叶层这一保护膜, 夏季地表温度比裸地低 11-21.7 °C, 冬季地表最高温则比裸地高<sup>[16]</sup>. 因而增加枯枝落叶层覆盖可降低太阳光向地表土壤输入过多的能量 (无效能), 并为土壤中生物体创造适宜的生存环境.

表3 不同林分枯枝落叶层能量现存量

Table 3 Standing crop of energy of forest floor in three forests

层次	组分	枯枝落叶层能量现存量 /kJ·m <sup>-2</sup>		
		格氏栲天然林	格氏栲人工林	杉木人工林
L	叶	4 638.87 ±475.48	2 901.68 ±342.40	1 013.85 ±116.60
	枝	1 015.04 ±113.68	-	1 479.71 ±158.18
F	叶	5 643.55 ±641.11	4 405.44 ±549.80	2 860.74 ±345.58
	枝	4 273.44 ±538.45	5 545.54 ±670.45	2 001.12 ±260.14
	花	40.70 ±5.55	-	70.80 ±8.14
	果	94.14 ±11.19	39.40 ±4.29	151.04 ±19.03
	其它	419.98 ±50.73	81.76 ±9.84	1 300.86 ±143.61
	总计	16 125.72 ±1 836.72a	12 973.82 ±1 360.95a	8 878.12 ±1 007.66b

注：同一行中标有不同字母的数值表示存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

#### 4 结论

格氏栲天然林、格氏栲人工林和杉木人工林枯枝落叶层各组分的灰分含量及热值有一定的差异。3种林分枯叶的干重热值和去灰分热值从L层到F层均不断下降，而枯枝落叶层的灰分含量从L层到F层逐渐升高。格氏栲天然林枯枝落叶层能量现存量达16 125.72 kJ·m<sup>-2</sup>，分别是格氏栲人工林和杉木人工林的1.24和1.82倍。在枯枝落叶层组成中，枯叶能量现存量所占比例最大，枯枝的能量现存量次之。

格氏栲天然林枯枝落叶层能量现存量高于格氏栲和杉木人工林，说明天然林可为土壤亚系统提供更多的能量输入，这对推动土壤中的生态过程有着重要的意义，并对维持和提高地力较为有利。因此，应对现有天然林采取保护措施以维持其枯枝落叶层长期稳定地覆盖林地；而经营人工林时，应采用不炼山、穴状整地办法尽量减少对林地枯枝落叶层的扰动，以维护林地长期土壤生产力。

#### 参考文献：

- [1] 杨玉盛. 杉木林可持续经营的研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998: 72 - 74.
- [2] 林 鹏, 丘喜昭. 三明瓦坑格氏栲林的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1986, 10(4): 241 - 252.
- [3] 杨玉盛, 林 鹏, 郭剑芬, 等. 格氏栲天然林与人工林凋落物数量、养分归还及凋落叶分解(英文)[J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1 278 - 1 289.
- [4] 杨玉盛, 陈光水, 林 鹏, 等. 格氏栲天然林与人工林细根生物量、季节动态及净生产力[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1 278 - 1 289.
- [5] 杨玉盛, 郭剑芬, 林 鹏, 等. 格氏栲天然林与人工林枯枝落叶层碳库及养分库[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 359 - 367.
- [6] 杨玉盛, 刘艳丽, 陈光水, 等. 格氏栲天然林与人工林土壤非保护性有机C研究[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 1 - 8.
- [7] 杨玉盛, 陈光水, 董 彬, 等. 格氏栲天然林和人工林土壤呼吸对干湿交替的响应[J]. 生态学报, 2004, 24(5): 953 - 958.
- [8] 林 鹏, 林益明, 陈显顺, 等. 武夷山黄山松群落能量的研究. 武夷山研究, 森林生态系统(D)[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1998: 117 - 122.
- [9] 林益明, 林 鹏, 李振基, 等. 福建武夷山甜槠群落能量的研究[J]. 植物学报, 1996, 38(12): 989 - 994.
- [10] 林 鹏, 林光辉. 海莲、秋茄两种红树群落掉落物能流的研究[J]. 海洋学报, 1990, 12(4): 523 - 528.
- [11] Xu X N, Hirata E, Enoki T, et al. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical forest after typhoon disturbance[J]. Plant Ecology, 2004, 173: 161 - 170.
- [12] 杨玉盛, 陈光水, 林瑞余, 等. 杉木观光木混交林群落的能量生态[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(6): 536 - 542.
- [13] 郭继勋, 祝廷成. 羊草草地枯枝落叶与分解者之间能量流动的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(2): 143 - 148.
- [14] Wang K Y, Kellomäki S, Zha T, et al. Seasonal variation in energy and water fluxes in a pine forest: an analysis based on eddy covariance and an integrated model[J]. Ecological Modelling, 2004, 179: 259 - 279.
- [15] Neitzke M. Changes in energy fixation and efficiency of energy capture in above-ground biomass along an environmental gradient in calcareous grasslands[J]. Flora, 2002, 197: 103 - 117.
- [16] 谢锦升, 林瑞余, 江森华, 等. 严重侵蚀红壤不同治理模式群落能量的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 66 - 69.

(责任编辑: 卢凤美)