

## 亚热带山地突脉青冈群落能量的研究

郑郁善 陈礼光

(福建林学院, 南平 353001)

**摘要** 对突脉青冈 (*Cyclobalanopsis elevaticostata*) 群落植物体各组分的热值、群落能量现存量、能量年净固定量和太阳能转化效率的研究结果表明: 该群落植物体各组分样品的干重热值具有一定差异, 树皮热值最高, 细根热值最低。突脉青冈群落的能量现存量  $852\,058\text{ kJ m}^{-2}$ , 其中地上部分  $741\,416\text{ kJ m}^{-2}$ , 占总量的 87.01%; 地下部分  $110\,642\text{ kJ m}^{-2}$ , 占 12.99%。突脉青冈 1996 年群落能量净固定量为  $28\,273\text{ kJ m}^{-2}$ , 林地太阳光有效辐射能转化效率 1.35%。

**关键词** 突脉青冈群落; 热值; 能量; 亚热带

**中图分类号** Q948.15

## THE ENERGY OF *CYCLOBALANOPSIS ELEVATICOSTATA* COMMUNITY IN SUBTROPICAL ZONE

Zheng Yushan Chen Liguang

(Forestry College of Fujian, Nanping 353001)

**Abstract** Based on the measurement of biomass and the rate of its increase, caloric value of respective plant organs, energy of standing crop, annual net energy fixation and energy conversion efficiency in *Cyclobalanopsis elevaticostata* community in subtropical zone at 950 m altitude in Fujian Province were determined in 1996. The results showed that the caloric value of the bark was the highest and the microroot being the lowest among dry weight of plant organs in the community. Total energy of standing crop in the community was  $852\,058\text{ kJ m}^{-2}$ , of which the aboveground part comprising 87.01%, and the underground part 12.99%. Yearly net energy fixation was  $28\,273\text{ kJ m}^{-2}$ , and energy conversion efficiency was 1.35% for the community.

**Key words** *Cyclobalanopsis elevaticostata* community; Caloric value; Energy; Subtropical zone

自 80 年代初我国对陆地森林群落生物量和生产力进行了大量研究, 但这些研究多集中于物质的测定。Gupta<sup>[1]</sup>、Jordan<sup>[2]</sup> 等研究表明, 应用能量研究植物群落更能反映出群落对自然资源 (特别是太阳能) 的利用情况。林光辉等在国内较早地将干物质测定和热值测定相结合, 系统地研究了海洋高等植物红树林的群落性质<sup>[3]</sup>。对于高海拔森林群落研究较少。因此对亚热带

高海拔山区生长良好的常绿阔叶林即突脉青冈群落的能量现存量、能量固定量等进行研究, 以便从能量的角度认识突脉青冈群落特性和群落的功能特征。突脉青冈是郑清芳教授于1979年在福建省宁德新发现并命名的壳斗科青冈属速生丰产优质树种<sup>[4]</sup>。研究该树种能量可为我国亚热带高海拔地区突脉青冈造林和经营管理提供参考。

## 1 自然概况

突脉青冈 (*Cyclobalanopsis elevaticostata*) 群落的试验地设在福建省宁德市霍童镇支提寺, 位于鹫峰山脉东南面, 北纬  $26^{\circ}30'$ , 东经  $118^{\circ}52'$ , 海拔高度 950 m 左右。气候为典型的亚热带季风湿润气候。林下土壤为山地黄壤, 土层厚度 80 cm, 表层多细根, 腐殖层褐黑色, 有团粒结构, 上覆盖枯枝落叶层 3–5 cm, 含有机质  $28.4 \text{ g kg}^{-1}$ 、全 N  $1.39 \text{ g kg}^{-1}$ 、全 P  $1.02 \text{ g kg}^{-1}$ 、水解 N  $85.67 \text{ mg kg}^{-1}$ 、速效 K  $67 \text{ mg kg}^{-1}$ 、pH 值 5.8–7.0。气温较高, 降水丰富, 夏长冬短, 霜雪偶见, 年均降雨量 1634.9 mm, 降雨日 165 d, 3–6 月为雨季, 年平均蒸发量 1413.4 mm, 7–9 月份蒸发量最大, 年相对湿度 79%, 年日照时数 1890 mm, 年平均温度  $19^{\circ}\text{C}$ , 极端最高气温  $38.2^{\circ}\text{C}$ , 极端最低气温  $-6^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 263 d, 日均温  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的活动积温为  $5653^{\circ}\text{C}$ , 持续 259 d。乔木层林冠一般高 20–30 m, 最高植株 35 m, 林内乔木层主要为突脉青冈, 并有少量细柄阿丁枫 (*Altingia gracilipes*) 和钩栲 (*Castanopsis tibetana*); 林下灌木有肿节少穗竹 (*Oligostachyum oedegonatum*)、细齿柃木 (*Eurya loquiana*)、冬青 (*Ilex purpurea*)、乌药 (*Lindera aggregata*)、石斑木 (*Rhaphiolepis indica*)、油茶 (*Camellia oleifera*)、毛天仙果 (*Ficus erecta*)、杜鹃 (*Rhododendron latoucheae*); 草本有中华里白 (*Hicriopteris glauca*)、菝葜 (*Smilax china*)、狗脊 (*Woodwardia japonica*) 等。林冠层郁闭度 0.8, 突脉青冈密度  $206 \text{ 株 hm}^{-2}$ , 平均胸径 26.87 cm, 叶面积指数 3.3。

## 2 研究方法

### 2.1 标准地设置与生物量测定

在天然突脉青冈林分中设置标准地 6 块, 每块面积为  $25.8 \text{ m} \times 25.8 \text{ m}$ , 对标准地内林木进行每木检尺 (胸高、树高、枝下高和冠幅, 并对标准地立地条件进行详细记录)。

乔木层群落生物量和生长量采用间接收获法即平均标准木法测定。根据每木调查, 求得林分平均树高和胸径, 在每块标准地中选择平均标准木 2 株, 按照 Monsi 分段切割法, 以 2 m 为区分段分别测定每个区分段树干、树皮、幼枝、多年生枝、枯枝和叶鲜重, 并取各区分段各器官样品, 测定含水率, 并供热值测定。根桩、粗根 (直径大于 8 mm)、中根 (直径为 2–8 mm) 和枯根采用壕沟全挖法, 并分别直接称重; 细根 (直径小于 2 mm) 采用土柱法测定, 抽取根桩、粗根、中根、枯根和细根样品测定含水率, 并供热值测定。求算各器官干重<sup>[5,6]</sup>。

用“样方直接收获法”测定林下灌木层和草本层生物量, 即在每个标准地设置  $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$  小样方 3 个分别测定灌木和草本生物量, 取样品测定含水率, 并供热值测定<sup>[5,6]</sup>。

生物量测定于 1996 年 12 月进行。由现存各组分的生物量分别推算出突脉青冈群落该年年全年的茎、枝、根等的增长量, 加上当年的凋落物量即得出突脉青冈群落的年生产量<sup>[5]</sup>。

## 2.2 群落凋落物的测定

凋落物的测定采用收集框法, 林下随机设置 24 个收集框, 面积为 1 m × 1 m, 下铺收集网的孔径为 2 mm 的塑料纤维网。为便于通风和漏水, 离地 20 cm 水平置放。每 15 d 收集 1 次凋落物, 分出叶、大枝、小枝、花、果, 用 80 °C 烘干, 分别称重、贮存。然后将各组分中的样品置于 105 °C 烘干至恒重, 计算每月凋落物各组分干重和总重<sup>[5]</sup>。

## 2.3 植物体各器官样品热值的测定

将 6 个标准地收集的乔木层各器官样品, 各样方收集的灌木层和草本层样品, 按照相应器官或组织混合并称重, 在 80 °C 烘箱中烘干至恒重, 经粉碎机磨成粉末, 用 GR-3500 型微电脑氧弹式热量计测定其热值, 混合样品热值以含灰分的干重热值表示, 每个混合样品重复 5 次, 重复间误差控制在 ± 100 J g<sup>-1</sup> 之内。当 5 个重复中某一重复测定结果超过 100 J g<sup>-1</sup> 时, 重新取样补测, 以确保结果的可靠性。

# 3 结果分析

## 3.1 群落中植物体各组分的热值

群落植物体各组分样品的热值测定分析是群落能量研究的基础。突脉青冈群落植物体各分组的干重值介于 17.66–20.63 kJ g<sup>-1</sup> 之间(表 1), 加权平均为 19.33 kJ g<sup>-1</sup>; 树皮的热值最高, 细根的热值最低。从各层的热值大小看, 乔木层 > 灌木层 > 草本层。各层热值的高低是与植物所处生境的光照强度有关, 从乔木层到灌木层、草本层, 光照强度减弱, 热值下降。突脉青冈细根的热值最低, 这与 Ovington 研究欧洲赤松林的结果相似<sup>[7]</sup>, 与刘世荣等对落叶松人工林<sup>[8]</sup>、林光辉和林鹏对海莲、秋茄两种红树<sup>[3]</sup>的测定, 认为根热值最低的结果一致。

表 1 突脉青冈群落植物体各组分的热值

Table 1 Caloric values of various fractions in *Cyclobalanopsis elevaticostata* community

组分 Fraction	热值 Caloric value (kJ g <sup>-1</sup> )						平均 Average	标准差 Standard deviation
	标 I	标 II	标 III	标 IV	标 V	标 VI		
地上部分 Aboveground								
叶 Leaf	19.73	19.71	19.68	19.58	19.55	19.53	19.67	0.0869
树干 Trunk	19.11	19.05	19.03	18.99	18.98	18.96	19.02	0.0551
树皮 Bark	20.70	20.68	20.65	20.63	20.59	20.53	20.63	0.0623
幼枝 Twig	19.84	19.80	19.75	19.74	19.71	19.66	19.75	0.0639
多年生枝 Perennial branch	20.02	19.98	19.92	19.91	19.88	19.87	19.93	0.0587
枯枝 Dead branch	20.01	19.99	19.90	19.89	19.88	19.85	19.92	0.0674
果实 Fruit	19.10	19.08	19.03	19.01	18.98	18.92	19.02	0.0660
花 Flower	17.81	17.79	17.72	17.70	17.69	17.67	17.73	0.0569
灌木 Shrub	19.06	19.00	18.98	18.95	18.90	18.87	18.96	0.0690
草本 Herb	18.82	18.76	18.74	18.72	18.66	18.62	18.72	0.0716
地下部分 Underground								
粗根 Macro-root	19.11	19.08	19.02	18.99	18.95	18.91	19.01	0.0762
细根 Micro-root	17.75	17.70	17.67	17.66	17.62	17.56	17.66	0.0654
枯根 Dead-root	18.41	18.38	18.33	18.32	18.26	18.22	18.32	0.0713
中根 Mid-root	18.52	18.50	18.43	18.40	18.36	18.35	18.43	0.0709

植物组分及其器官热值差异主要受自身组成和结构的影响; 还受到光照强度和植物年龄的影响。Ovington 研究不同年龄的欧洲赤松林各组分的热值发现, 不同年龄的各组间的热值大小顺序有所不同, 11 年生的枯枝热值大于活枝, 而 23 年生和 31 年生的活枝则大于枯枝<sup>[8]</sup>。30 年生突脉青冈群落的幼枝热值低于多年生枝和枯枝, 而寒温带 21 年生的落叶松人工林的则是幼枝热值大于多年生枝<sup>[8]</sup>。

### 3.2 群落的能量现存量

能量现存量是指一定时间内群落所积累的总能量。它包括群落中活植物体与死植物体所积累的总能量。能量现存量是根据群落植物体各组分样品的热值和对应生物量或尚未脱离植物体的枯死物量推算。

突脉青冈群落的能量现存量达 852 058 kJ m<sup>2</sup>, 其中地上部分为 741 416 kJ m<sup>2</sup> (占总量的 87.01%), 地下部分为 110 642 kJ m<sup>2</sup> (占 12.99%); 生物量直接影响到能量现存量, 生物量愈大, 能量现存量越大, 突脉青冈群落中乔木层能量现存量占据了整个生态系统绝大部分 (99.38%), 乔木层生物量积累最大, 反映出乔木层是生态系统的主要功能层。而灌木层和草本层的能量贮量较小, 生物能量积累为 5 325 kJ m<sup>2</sup>, 仅为突脉青冈群落能量现存量 0.58%。在突脉青冈群落中各组分能量现存量的大小顺序是: 树干材 > 多年生枝 > 粗根 > 树皮 > 叶 > 细根 > 中根 > 枯枝 > 枯根 > 灌木 > 幼枝 > 草本 (表 2)。

表 2 突脉青冈群落的能量现存量

Table 2 Standing crop of energy in *Cyclobalanopsis elevaticostata* community

组分 Fraction	生物量 Biomass (g m <sup>-2</sup> DW)	能量现存量 Standing crop of energy (kJ m <sup>-2</sup> )							平均 Average	*
		标I	标II	标III	标IV	标V	标VI			
地上部分 Aboveground										
叶 Leaf	1357.2	29576	28143	26932	26725	24313	24157	26641	3.13	
幼枝 Twig	193.1	4572	4135	3906	3743	3425	3103	3814	0.45	
多年生枝 Perennial branch	4257.3	88413	87603	84157	82032	82001	84882	84848	9.95	
枯枝 Dead branch	452.7	9317	9006	8643	9517	8632	8993	9018	1.06	
树皮 Bark	2644.2	58441	53215	52176	57631	56043	49794	54550	6.40	
树干 Trunk	17833.2	590331	520432	537457	581563	554172	559365	557220	25.40	
灌木 Shrub	243.7	4835	4763	4603	4913	4205	4407	4621	0.54	
草本 Herb	37.5	753	672	683	732	671	713	704	0.08	
合计 Total	37018.9	786238	707969	718557	766856	733462	725414	741416	87.01	
地下部分 Underground										
粗根 Macro-root	3456.7	68722	62357	67571	64143	63965	67514	65712	7.71	
中根 Mid-root	882.6	18235	14963	17157	16031	15142	16068	16266	1.91	
细根 Micro-root	1355.2	25143	22157	23031	24176	22156	24817	23580	2.77	
枯根 Dead-root	277.5	5321	5142	4832	4625	4913	5671	5084	0.60	
合计 Total	5952.0	117421	104619	112591	108975	106176	114070	110642	12.99	
总和 Sum	42970.9	903659	812588	831148	875831	839638	849484	852058	100	

\* 为占能量现存总量的百分数。Percentage of the total.

### 3.3 群落中凋落物能量归还量

凋落物的能量归还量是根据凋落物量与其相应的热值乘积推算。突脉青冈群落 1996 年凋落物的能量归还量为  $8102 \text{ J m}^{-2}$ ，其中以落叶能流量最大为  $6136 \text{ kJ m}^{-2}$ ，占总能量归还量的 75.7%，其次为枝、果、花，分别为 1582、350、34  $\text{kJ m}^{-2}$ ，分别占 19.6%、4.3%、0.4%。这说明了凋落叶在生态系统能量归还中占主导地位。同时，通过凋落叶能流量具有明显的季节变化，主要集中在秋季，而春季、夏季通过凋落叶的能流较小(图 1)。

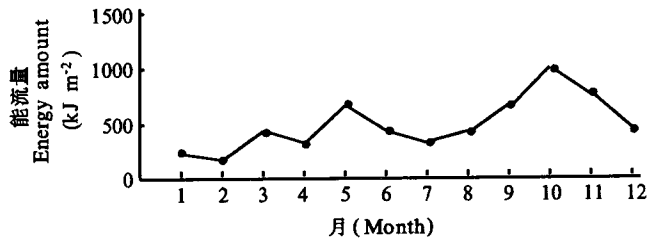


图 1 凋落叶能流量的月变化

Fig. 1 Monthly changes of energy amount from leaf-fall

### 3.4 林地残留物(即凋落物层)的能量库存量

突脉青冈群落中林地残留物的能量库存量为  $6957 \text{ kJ m}^{-2}$ ，其中林地残留叶  $1488 \text{ kJ m}^{-2}$ ，林地残留枝  $5470 \text{ kJ m}^{-2}$ 。林地残留物热值即包括林地残留叶的热值( $19.40 \text{ kJ g}^{-1}$ )和林地残留枝的热值( $19.39 \text{ kJ g}^{-1}$ )，与年自然凋落物的热值相比，它们的热值均比凋落叶的热值( $19.60 \text{ kJ g}^{-1}$ )和凋落枝的热值( $19.80 \text{ kJ g}^{-1}$ )低，凋落物落地后有机物质分解，高能物质流失而纤维量比例增加，残留物的热值下降。

### 3.5 群落的能量年净固定量

群落能量总固定量是指单位时间、单位面积的某一群落，通过光合作用所固定的总能量。群落因自身呼吸以及被动物啃食等消耗的能量尚难以测定，因而本文仅讨论突脉青冈群落 1996 年的能量净固定量(表 3)。其计算方法是以群落植物体各组分(含当年更迭的凋落物各组分)的年干物质生产量和相应的热值相乘而得<sup>[8]</sup>。突脉青冈群落 1996 年能量净固定量为  $28273 \text{ kJ m}^{-2}$ ，其中用于群落自身增长的能量即年能量存留量为  $20170 \text{ kJ m}^{-2}$ ，占总能量的 71.30%；而释放到其它部分的能量为  $8102 \text{ kJ m}^{-2}$ ，占 28.60%，它主要以凋落物的形式向土壤输送来维持生态系统的正常运行(表 3)。

与其它森林群落相比，突脉青冈群落 1996 年的能量净固定量( $28273 \text{ kJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ，单位下同)低于热带雨林( $34276$ )，与雨绿林( $26334$ )、落叶松人工林( $26435$ )、武夷山甜槠林( $26856$ )相近，而高于夏绿林( $19228$ )、暖温带混交林( $19646$ )、北方针叶林( $10032$ )等其它森林群落<sup>[9-11]</sup>。突脉青冈群落的能量净固定量低于热带雨林而高于暖温带混交林，其结果反映了中亚热带常绿阔叶林在植被地带分布中处于中间过渡的位置。

表 3 突脉青冈群落的能量年净固定量  
Table 3 Yearly net energy fixation in *Cyclobalanopsis elevaticostata* community

组分 Fraction	净能量固定量 Net energy fixation (kJ m <sup>-2</sup> )							平均 Average	*
	标I	标II	标III	标IV	标V	标VI			
幼枝 Twig	4019	3925	3845	3265	3679	3657	3814	13.49	
多年生枝 Perennial branch	1932	1891	1763	1709	1691	1720	1784	6.31	
树干 Trunk	13250	12176	11315	10096	10031	9690	11093	39.24	
树皮 Bark	1325	1265	1139	1103	1001	893	1121	3.96	
灌木 Shrub	112	110	98	87	89	122	103	0.36	
草本 Herb	25	20	18	14	13	12	17	0.06	
根 Root	2495	2317	2259	2198	2095	2070	2239	7.92	
落叶 Leaf-fall	6325	6217	6106	6096	6032	9040	6136	21.70	
落枝 Branch-fall	1731	1653	1592	1571	1403	1544	1582	5.60	
落花 Flower-fall	41	37	35	32	30	29	34	0.12	
落果 Fruit-fall	372	365	352	348	342	321	350	1.24	
总和 Total	31627	29976	28520	27019	26406	26092	28273	100	

\* 占总能量固定量的百分数。Percentage of the total.

### 3.6 净初级生产力形成过程中的能量特征

突脉青冈群落净初级能量生产的格局与过程(图 2)。群落的太阳能转化效率(energy conversion efficiency, ECE)是指群落每年净固定能量(NEP)占当年林地太阳辐射能(solar radiation energy, SRE)的百分比。并非所有的太阳辐射能都可以被植物光合作用所利用,一般用光合有效辐射能(photosynthetic active radiation, PhAR)代表群落接受到的总能量计算群落的太阳可见光能转化效率  $ECE(\%) = (NEP / PhAR) \times 100\%$ <sup>[2,9]</sup>。光合有效辐射能和太阳总辐射能的换算系数为 0.47, 即  $PhAR = SRE \times 0.47$ <sup>[2]</sup>。30 年平均太阳总辐射量为 4443 340 kJ m<sup>-2</sup>a<sup>-1</sup>, 经计算, 突脉青冈群落的太阳转化效率为 1.35%。

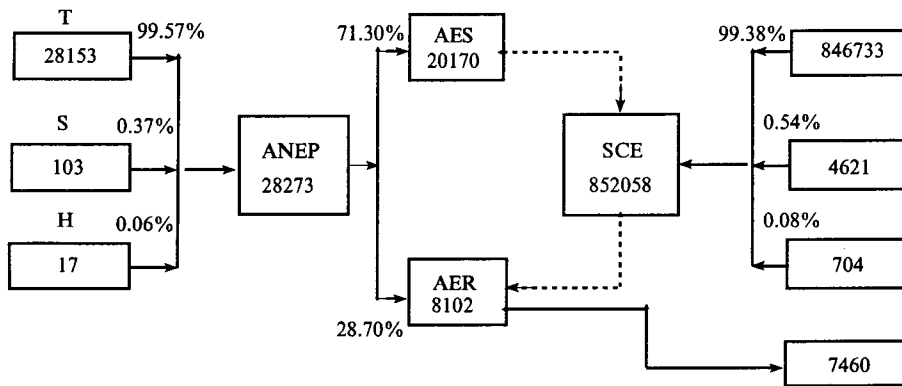


图 2 突脉青冈群落净初级生产力(kJ m<sup>-2</sup>)形成过程

Fig. 2 Processes of net primary productivity (kJ m<sup>-2</sup>) in *Cyclobalanopsis elevaticostata* community  
AES: 年能量存留量 Annual energy storage; AER: 年能量归还量(土壤) Annual energy return (soil); ANEP: 能量年净固定量 Annual net energy fixation; SCE: 群落能量现存量 Standing crop of energy; H: 草本层 Herb layer; S: 灌木层 Shrub layer; T: 乔木层 Tree layer; RF: 林地残留物 Residues in floor

与其它植物群落相比, 突脉青冈群落的太阳能转化率(1.35%) 低于热带人工林(2.35%—5.07%)<sup>[12]</sup>, 高于栎林(0.73%)<sup>[13]</sup>, 而与松林(1.0%—1.3%)<sup>[13]</sup>相近。这说明成长植物群落太阳能转化效率, 主要取决于乔木层的树木种类、郁闭度和叶面积指数, 而与草本层关系甚少。

### 参考文献

- 1 Gupta S K. Energy structure of standing crop in certain grasslands at Gyanpur. *Trop Ecol*, 1972, 13:147—155
- 2 Jordan C F. Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage. *J Ecol*, 1971, 59:127—142
- 3 林光辉, 林鹏. 海莲、秋茄两种红树群落能量的研究. *植物生态学与地植物学学报*, 1988, 12:31—39
- 4 郑清芳. 福建壳斗科新植物. *植物分类学报*, 1979, 17(3):118—120
- 5 林益明, 林鹏, 李振基等. 武夷山甜槠群落的生物量和生产力. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1996, 35:269—275
- 6 Monsi M. 植物群落的数学模型. *植物生长学译丛*, 1974, (1):123—144
- 7 Ovington J D. Some aspects of energy flow in plantation of *Pinus sylvestris* L. *Ann Bot*, 1961, 25:12—20
- 8 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的能量特征. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, 16:209—219
- 9 Joshi A P. Energy distribution, net energy conversing rate and energy conversing efficiency of *Cassia obtusifolia*. *Geobios*, 1981, 8:266—270
- 10 Lieth H, Whittaker R H. 王业遵译. 生物圈的第一性生产力. 北京: 科学出版社, 1985, 1—354
- 11 尹毅, 林鹏. 广西红海榄红树群落的能量的研究. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1993, 32:100—103
- 12 邓瑞文, 陈天杏, 冯泳梅. 热带人工林的光能利用与生产量的研究. *生态学报*, 1985, 5:231—240
- 13 Reiners W A. Structure and energy of three Minnesota forests. *Ecol Mon*, 1971, 42:71—94