

植物学报 1996, 38(12): 989 ~ 994

Acta Botanica Sinica

福建武夷山甜槠群落能量的研究*

林益明 林 鹏 李振基 杨志伟

(厦门大学生物学系, 厦门 361005)

刘初钿 何建源

(武夷山自然保护区管理局, 武夷山 354315)

摘要 在生物量、生产力研究基础上,对武夷山甜槠(*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutch.)群落各组分的热值、群落能量现存量、能量年净固定量以及太阳能转化效率进行了研究。结果表明:(1)甜槠群落各组分样品的干重热值具有一定的差异,树皮热值最高,细根热值最低。(2)甜槠群落的能量现存量达780584.1 kJ·m⁻²,其中地上部分为678913.8 kJ·m⁻²,占总量的86.98%;地下部分为101670.3 kJ·m⁻²,占13.02%。(3)甜槠群落的能量年净固定量(1992年)为26856.2 kJ·m⁻²·a⁻¹,林地太阳光合有效辐射能的转化效率为1.296%。

关键词 甜槠群落; 热值; 能量; 武夷山

STUDY ON ENERGY OF *CASTANOPSIS EYREI* COMMUNITY IN WUYI MOUNTAINS

Lin Yi-ming, Lin Peng, Li Zhen-ji and Yang Zhi-wei

(Department of Biology, Xiamen University, Xiamen 361005)

Liu Chu-dian and He Jian-yuan

(The Administrative Bureau of the Wuyishan National Nature Reserve, Wuyishan 354315)

Abstract Based on the measurement of biomass and productivity, the caloric value of plant samples, the standing crop of energy, net energy production and energy conversing efficiency of *Castanopsis eyrei* community were determined. There were some differences in caloric values among the fractions of *C. eyrei* community being highest in that of bark and lowest in that of the microroots. The standing crop of energy in *C. eyrei* community was 780584.1 kJ·m⁻², in which the standing crop of energy accumulated in the aboveground biomass was 678913.8 kJ·m⁻², accounting 86.98% of the total; that of underground was 101670.3 kJ·m⁻², i. e. 13.02%. Net energy production was 26856.2 kJ·m⁻²·a⁻¹ for this community in 1992. To the photosynthetic active radiation on the stand, the energy conversing efficiency was 1.296%.

Key words *Castanopsis eyrei* community; Caloric value; Energy; Wuyi mountains

我国自70年代末开始对陆地森林群落生物量和生产力进行了研究,但这些研究多是基于物质的测定。Gupta^[1]、Jordan^[2]等的研究结果表明,应用能量概念研究植物群落更能

收稿日期: 1995-04-10 接受日期: 1995-06-15

* 福建省自然科学基金和武夷山自然保护区的资助项目。

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^[3]。对于陆地森林群落来说,这方面的研究还比较少。因此,本文在对中亚热带武夷山常绿阔叶林的代表类型甜槠群落生物量和生产力研究的基础上,应用热值测定,对甜槠群落的能量现存量、能量固定量等进行研究,从能量的角度认识甜槠群落特性,更充分反映该群落的功能特征,为保护区的生产建设和管理提供科学的理论依据。

1 自然条件和样地概况

甜槠(*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutch.) 群落的实验地设在距武夷山自然保护区管理局所在地三港10 km 处的先峰岭,纬度27°42' N, 经度117°41' E, 海拔1270 m 左右;气候为典型的亚热带季风气候。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。乔木层林冠一般高13 m,最高植株15 m,林内乔木层主要是甜槠,并有少量的木荷(*Schima superba*)、石栎(*Lithocarpus glabra*)、交让木(*Daphniphyllum macropodum*);林下灌木层有肿节少穗竹(*Oligostachyum oedegonatum*)、细齿柃木(*Eurya loquiana*)、鹿角杜鹃(*Rhododendron latoucheae*);草本层有里白(*Hicriopteris glauca*)、菝葜(*Smilax china*)、狗脊(*Woodwardia japonica*)等。林冠郁闭度达90%,平均密度11.4 株/100 m²,平均胸径20.88 cm,叶面积指数3.5。

2 材料和方法

2.1 生物量与生产力测定^[4]

乔木层的生物量和生长量是按平均标准木法测定^[5],灌木层、草本层及凋落物层现存生物量是按小样方直接收获法测定。生物量、生产力的测定于1992年12月进行。根据1992年的年生产力比值(当年的年生产力比值=当年的材积增长量/总材积),由现存生物量各组分的生物量分别推算出甜槠群落1992年全年的茎、枝、根等的增长量,再加上当年的凋落物量即得出甜槠群落的年生产力。

2.2 群落凋落物的测定^[4]

凋落物的测定采用收集框法,林下各随机设置20个收集框,口径面积为1 m × 1 m,下铺收集网的孔径为2 mm 的玻璃纤维网。为便于通风和漏水,斜坡上架设时离地20 cm 水平置放。每10 d 收集1次凋落物(即每月收集3次),分出叶、大枝、小枝、花、果,及时于80 烘干,分别称重、贮存。全部凋落物每月集中1次,然后在各组分中各抽取部分样品在105 烘干至恒重,推算每月凋落物各组分干重及总干重。

2.3 植物热值的测定

供作热值测定的样品为测定生物量、生产力收集的样品。收集的样品分类称重,然后在烘箱中80 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,样品热值以含灰分的干重热值表示,每个样品重复2~3次,重复间误差控制在±200 J/g 之内。

3 结果和讨论

3.1 甜槠群落各组分的热值

群落各组分样品的热值(植物热值是指单位重量植物所含有的热量)测定分析是群落

能量生产研究的基础。甜槠群落不同组分的热值见表1。

表1 甜槠群落各组分的热值^{*}
Table 1 Caloric values of various fractions of *Catansop sis eyrei* community

组分 Fraction	叶 Leaf	幼枝 Twig	多年生枝 Perennial branch	枯枝 Dead branch	树皮 Bark of trunk	树材 Wood of trunk
热值 Caloric value (kJ·g ⁻¹)	19.52	19.03	19.53	19.51	20.28	19.23
组分 Fraction	灌木 Shrub	草本 Herb	粗根 Macroroot	中根 Midroot	细根 Microroot	枯根 Dead root
热值 Caloric value (kJ·g ⁻¹)	19.17	18.78	18.37	18.16	17.06	17.53

* 全部活根的加权平均热值为18.03 kJ·g⁻¹。The weighted average caloric value of all living roots was 18.03 kJ·g⁻¹。

甜槠群落各组分的干重热值介于17.06 ~ 20.28 kJ·g⁻¹之间, 加权平均为19.17 kJ·g⁻¹; 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> 草本。这与落叶松人工林的研究结果一致^[6]; 总的来看, 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。

从甜槠群落各组分的干重热值大小看, 细根的热值最低, 这与 Ovington 研究欧洲赤松林的结果一致^[7]。刘世荣等对落叶松人工林^[6]、林光辉和林鹏对海莲、秋茄两种红树^[3]的测定结果均是根的热值最低, 这与本文结果一致。

植物组分及其器官热值差异主要受自身组成、结构和功能的影响; 此外, 还受到光照强度、日照长短及土壤类型和植物年龄的影响。Ovington 研究不同年龄的欧洲赤松林各组分的干重热值发现, 不同年龄的各组间的干重热值大小顺序有所不同, 11年生的欧洲赤松枯枝热值大于活枝, 而23年生、31年生的欧洲赤松活枝大于枯枝^[7]。武夷山51龄的甜槠群落的幼枝热值低于多年生枝和枯枝, 这与寒温带21龄的落叶松人工林的幼枝热值大于多年生枝不同。

3.2 甜槠群落的能量现存量

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各组分样品的热值和对对应生物量或尚未脱离植物体的枯死生物量所推算。甜槠群落的能量现存量见表2。

从表2可看出, 甜槠群落的能量现存量达780584.1 kJ·m⁻², 其中地上部分为678913.8 kJ·m⁻² (占总量的86.98%), 地下部分为101670.3 kJ·m⁻² (占13.02%); 由于能量现存量与生物量呈正相关, 生物量愈大, 能量现存量也愈大。所以甜槠群落中乔木层能量现存量占据了整个生态系统的绝大部分, 为99.32%, 它不仅说明了乔木层的生物量积累最大, 而且反映出乔木层是生态系统的重要功能层次。相比之下, 灌木层和草本层的能量贮量较小, 它们的生物能积累量为5318.8 kJ·m⁻², 仅为甜槠群落能量现存量的0.68%。

在甜槠群落中, 各组分的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> 灌木> 枯根> 幼枝> 草本。

表2 甜槠群落的能量现存量*

Table 2 Standing crop of energy in *Castanopsis eyrei* community*

组分 Fraction	生物量 Biomass ($g \cdot m^{-2} DW$)	能量现存量 Standing crop of energy ($kJ \cdot m^{-2}$)
叶 Leaf	1291.6	25212.0 (3.23)
幼枝 Twig	190.6	3627.1 (0.47)
多年生枝 Perennial branch	4142.3	80899.1 (10.36)
枯枝 Dead branch	427.1	8332.7 (1.07)
树皮 Bark of trunk	2494.5	50588.5 (6.48)
树材 Wood of trunk	26257.7	504935.6 (64.69)
灌木 Shrub	241.6	4631.5 (0.59)
草本 Herb	36.6	687.3 (0.09)
地上部合计 Total of aboveground	35082.0	678913.8 (86.98)
粗根 Macroroot	3288.4	60407.9 (7.74)
中根 Midroot	834.5	15154.5 (1.94)
细根 Microroot	1263.3	21551.9 (2.76)
枯根 Deadroot	259.9	4556.0 (0.58)
地下部合计 Total of underground	5646.1	101670.3 (13.02)
总和 Total	40728.1	780584.1 (100.00)

* 括号内的数值为各组分的能量现存量占总量的百分数。The number in the brackets is the percentage of standing crop of energy in various fraction accounting for total standing crop.

为 $7070.56 kJ \cdot m^{-2}$, 其中林地残留叶为 $1298.46 kJ \cdot m^{-2}$, 林地残留枝为 $5772.10 kJ \cdot m^{-2}$ 。林地残留物的热值与年自然凋落物的热值相比, 林地残留叶的热值为 $19.38 kJ \cdot g^{-1}$ 、林地残留枝的热值为 $19.70 kJ \cdot g^{-1}$; 它们的热值均比凋落叶的热值 ($20.30 kJ \cdot g^{-1}$) 和凋落枝的热值 ($20.29 kJ \cdot g^{-1}$) 低, 说明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, 因此, 残留物的热值下降。

3.5 甜槠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。由于整个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, 因而本文仅讨论甜槠群落1992年的能量净固定量(表3)。其计算方法是以群落各组分(包括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^[8]。

从表3看出, 甜槠群落1992年能量净固定量为 $26856.2 kJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 其中用于群落自身增长的能量即年能量存留量为 $19176.4 kJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 占总净能量固定量的71.40%; 而释放到其它子系统的能量为 $7679.7 kJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 占28.60%, 则主要以凋落物的形式向土壤子系统输送, 以维持生态系统的正常运行。

与一些陆生森林群落相比, 甜槠群落的年能量净固定量为 $26856.2 kJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 低于热带雨林的 $34276 kJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 与雨绿林的 $26334 kJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ ^[9]、落叶松人工林的 $26435 kJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ ^[6] 相近, 而高于其它森林群落(表4)。

3.3 群落中凋落物的能量归还量

凋落物的能量归还量是根据凋落物的产量及其相应的热值相乘而推算的。由凋落物收集框收集得到甜槠群落全年的凋落物产量为 $379.20 g \cdot m^{-2}$, 其中叶为 $289.92 g \cdot m^{-2}$ 、大枝 $24.68 g \cdot m^{-2}$ 、小枝 $51.11 g \cdot m^{-2}$ 、花 $1.34 g \cdot m^{-2}$ 和果 $12.15 g \cdot m^{-2}$ 。经计算, 甜槠群落中凋落物的能量归还量为 $7679.71 kJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 其中以落叶的能量最大, 为 $5887.67 kJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 占总能量归还量的76.67%, 其次为枝、果、花, 分别为 1537.98 、 226.66 、 $27.40 kJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, 分别占20.03%、2.95%、0.36%。说明了凋落叶在生态系统能量归还中的主导地位。同时, 通过凋落叶的能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量较小(图1)。

3.4 林地残留物(即凋落物层)的能量库存量

甜槠群落中林地残留物的能量库存量

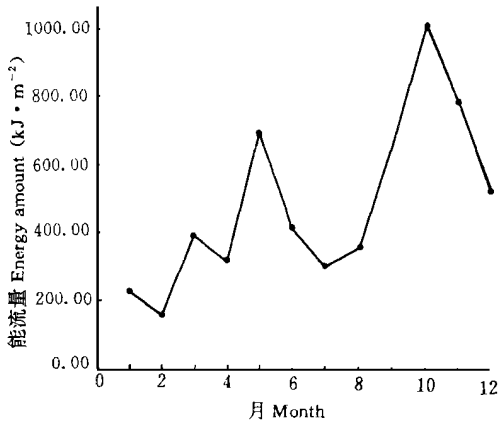


图1 凋落叶能流量的月变化

Fig. 1 Monthly changes of energy amount through litter leaf

表3 甜槠群落的年净能量固定量(1992年)

Table 3 Yearly net energy production in *Castanopsis eyrei* community (1992)

组分 Fraction	净能量固定量 Net energy production (kJ·m ⁻² ·a ⁻¹)
幼枝 Twig	3627.1
多年生枝 Perennial branch	1691.3
树材 Wood of trunk	10557.3
树皮 Bark of trunk	1058.6
灌木 Shrub	97.8
草本 Herb	15.0
根 Root	2129.3
落叶 Litter leaf	5887.7
落枝 Litter branch	1538.0
落花 Litter flower	27.4
落果 Litter fruit	226.7
总和 Total	26856.2

与海滩红树林比较, 甜槠群落的能量年净固定量 $26856.2 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 与70龄的红海榄的 $27306.7 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1[10]}$ 相近, 而低于20龄秋茄群落的 $43706 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和55龄海莲的 $65927 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1[3]}$ 。从这里可以看出, 红树林具有较高的能量固定量, 是生产力高的群落类型。

表4 几种森林群落的净能量固定量*

Table 4 Net energy production (NEP) of various forest communities*

森林类型 Forest type	净能量固定量 NEP (kJ·m ⁻² ·a ⁻¹)
热带雨林 Tropical rain forest	34276
雨绿林 Rain-green forest	26334
夏绿林 Summer green forest	19228
暖温带混交林 Warm-temperate mixed forest	19646
北方针叶林 Boreal coniferous forest	10032
疏林地 Woodland	11704
硬叶常绿灌丛 Sclerophyllous scrub	16302
荒漠灌丛 Desert scrub	1254
落叶松人工林 Larch plantation	26435
武夷山甜槠林 <i>Castanopsis eyrei</i> forest	26856.2

* 除落叶松人工林和本文甜槠林外, 其它数据引自 Lieth and Whittaker[8]。

* All data come from Lieth and Whittaker, except the data of larch plantation and *Castanopsis eyrei* community.

从表4可以看出, 甜槠群落(中亚热带常绿阔叶林)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连续变化的位置。

3.6 净初级生产力形成过程中的能量特征

甜槠群落净初级能量生产的格局与过程见图2。

群落的太阳能转化效率(energy conversing 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。由于并非所有的太阳辐射能都可以被植物光合作用所利用, 现在一般用太阳光合有效辐射能(photosynthetic active radiation, PhAR)代

表群落接受到的总能量来计算群落的太阳能转化效率, 即 $ECE(\%) = (NEP/PhAR) \times 100\%$ [2, 8, 11]。光合有效辐射能和太阳总辐射能的换算系数采用0.47, 即 $PhAR = SRE \times$

0.47^[2]。崇安(武夷山市)的20年平均太阳总辐射量为 $105.5 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^①, 即 $4409900 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 经计算甜槠群落的太阳能转化效率为1.296%。

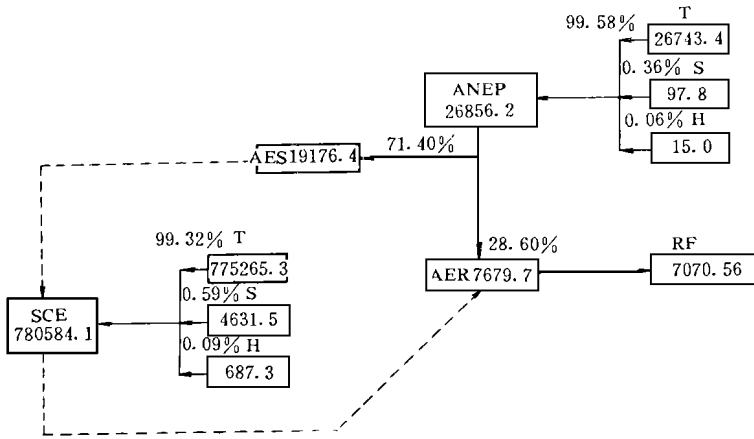


图2 甜槠群落净初级生产力形成过程的能量特征

AES. 年能量存量; AER. 年能量归还量; ANEP. 能量年净固定量; SCE. 群落能量现存量; H. 草本层; S. 灌木层; T. 乔木层; RF. 林地残留物

Fig. 2 Characteristics of energy in formative process of net primary productivity in *Castanopsis eyrei* community ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)

AES. Annual energy storage; AER. Annual energy return; ANEP. Annual net energy production; SCE. Standing crop of energy; H. Herb layer; S. Shrub layer; T. Tree layer; RF. Residues in floor

与其它植物群落相比, 甜槠群落的太阳能转化效率为1.296%, 低于热带人工林(2.35% ~ 5.07%)^[12], 高于栎林(0.73%)^[13], 而与松林(1.0% ~ 1.3%)^[14]相近。说明植物群落要获得较高的太阳能转化效率, 一定要有合理的乔木、灌木和草本植物的结构。

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 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
- 5 大隅真一. 于璞和译. *森林计测学*. 北京: 中国林业出版社, 1984. 35 ~ 333
- 6 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
- 7 Ovington J D. Some aspects of energy flow in plantation of *Pinus sylvestris* L. *Ann Bot*, 1961. **25**: 12 ~ 20
- 8 Joshi A P. Energy distribution, net energy converting rate and energy converting efficiency of *Gassia obtusifolia*. *Geobios*, 1981. **8**: 266 ~ 270
- 9 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
- 10 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
- 11 Larcher W. *Physiological Plant Ecology*. Berlin: Springer-Verlag, 1983. 150 ~ 157
- 12 邓瑞文, 陈天杏, 冯咏梅. 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 energetics of three Minnesota forest. *Ecol Mongor*, 1971. **42**: 71 ~ 94
- 14 Ovington J D, Heitkamp D. The accumulation of energy in forest plantation in Berlin. *J Ecol*, 1960. **48**: 639 ~ 646