



817-823

第19卷第6期  
1999年11月生态学报  
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 19, No. 6  
Nov., 1999

# 鼎湖山森林生态系统演替过程中的能量生态特征

S 718.541

任海, 彭少麟

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

**摘要:**以时空替代的方法,将灌草丛、针叶林、针阔叶混交林和季风常绿阔叶林等4个处于同一空间下的群落当作同一群落演替进程中的4个阶段,研究了鼎湖山亚热带森林演替过程中的能量生态特征。结果表明,鼎湖山亚热带森林群落演替过程中,其垂直层次、叶面积指数、冠层对太阳辐射能的截获量、叶生物量、总生物量、总初级生产力、总呼吸量、净初级生产力、枯倒木现存量及年输入量、昆虫啃食量、群落的能量现存量等随演替的进程而增加,但其速度并不均衡,前期增长迅速,而后期增长缓慢,趋于稳定与饱和。在这些能量学指标中,叶面积指数是基础,而能量现存量和生物量年增量则是森林生态系统生长、发育和演替的结果。

**关键词:**能量生态特征;演替;森林生态系统;鼎湖山

## The characteristics of ecological energetics of the forest ecosystem in the successional process in Dinghushan, Guangdong, China

REN Hai, PENG Shao-Lin (South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** Based on the spatial series of the shrubby grassland, coniferous forest, coniferous broad-leaved mixed forest and monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan forest, the characteristics of ecological energetics in successional processes of Monsoon evergreen broadleaved forest have been studied. The layers, leaf area index, the acceptance of radiation energy, gross primary productivity, net primary productivity, leaf biomass, biomass, the amount of litterfall, the standing crop of fallen tree and stand pole, the annual biomass of tree mortality, annual herbivory, annual growth and the standing crop of energy are increasing continuously during the process of succession with an uneven rate. All the indexes of ecological energetics grow faster in the early stage and they are slower in the late stage. A detailed biomass accumulating curve in the monsoon evergreen broad-leaved forest succession process is proposed by spatial-replacing-temporal method.

**Key words:** characteristics; ecological energetics; succession; forest ecosystem

文章编号: 1000-0933(1999)06-0817-06 中图分类号: Q948 文献标识码: A

能量的运动与转化是生命存在的基础,也是生态系统存在和发展的驱动力;演替是生态系统利用能量发展结构和功能的自组织过程。因而对森林生态系统演替过程中的能量特征进行研究,是生态学功能研究中的重要领域之一,对阐明森林生态系统演替的机理具有重要的意义<sup>[1~4]</sup>。

鼎湖山被誉为“北回归线上的绿洲”,分布着灌草丛、针叶林、针阔叶混交林和季风常绿阔叶林等植被,其中季风常绿阔叶林为亚热带地带性植被的典型代表。有关森林演替过程的研究已有相当多的积累,但

**基金项目:**国家自然科学基金重大项目二级课题“全球变化对中国东部农业生态系统生产力的影响及其反馈”;华南生物中心课题和中国科学院鹤山丘陵综合试验站开放课题资助项目

鼎湖山站和鹤山站十多位同志参加野外实验并给予帮助,特此致谢!

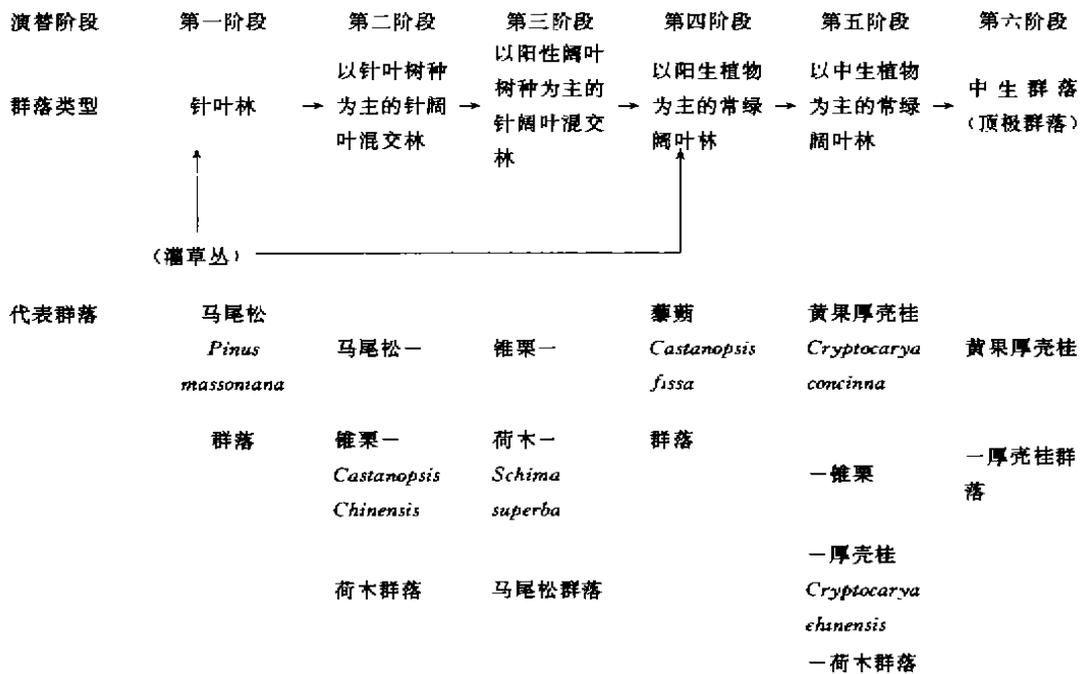
收稿日期: 1997-05-18; 修订日期: 1998-05-14

关于能量过程的研究较少<sup>[3]</sup>。本文通过时空互代的方法(即把这 4 个在同一空间上分布着的植被类型看作同一森林群落演替过程中的 4 个阶段)对鼎湖山森林演替过程中的能量特征进行研究,在理论上探讨南亚热带森林生态系统演替过程中的能量生态机理,在实践中为当地的森林管理和利用提供参考。

1 自然概况

鼎湖山是我国的第一个自然保护区,1979 年被联合国教科文组织“人与生物圈”(MAB)列为自然保护区,位于广东省肇庆市,约北纬 23°10',东经 112°32',年平均气温 20.9℃,年降雨量约 1900mm,干湿季明显。鼎湖山分布有季风常绿阔叶林等 16 种植被类型。

彭少麟等发现,鼎湖山森林群落在自然状况下是遵循一定客观规律趋向更优化的气候顶极群落演替的<sup>[4]</sup>,其模式如下:



本文通过把同一空间上处于不同演替系列的群落当作同一群落不同演替阶段的原理选取研究对象,包括灌草丛、针叶林、针阔叶混交林和季风常绿阔叶林等 4 种植被类型的 4 个典型群落。这 4 个群落的基本情况如表 1。

2 研究方法

2.1 群落调查 分别于 1953、1982、1989、1996 年对鼎湖山这 4 个群落进行植被调查。调查时在各群落典型地带设立 20m×20m 大样方,再将每个大样方分为 16 个 5m×5m 的小样方,采用相邻格子法调查乔木层(>1.5m)的每木种类、高度、胸径和冠幅;在大样方内套设 4 个 5m×5m 的灌木层调查样方,调查高 0.5~1.5m 的植物种类、高度和冠幅;在每个灌木层样方内套设 4 个 1m×1m 的草本层调查样方,调查低于 0.5m 的所有植物种类、高度和冠幅。季风常绿阔叶林设 3 个大样方,针阔叶混交林设 3 个大样方,针叶林设 2 个大样方,灌草丛仅设一个 5m×5m 的小样方,各群落的总样方面积是足够大的<sup>[9,7]</sup>。

2.2 各能量学指标的测定 在植被调查时数出各群落的层次;叶面积指数采用分层收割法测定<sup>[5,8]</sup>;辐射能环境采用美国产 LI-Cor 188B 量子积分辐射仪及系列探头测定并用有关公式计算<sup>[8~10]</sup>;总初级生产力、总呼吸量和净初级生产力采用红外气体分析仪和同化箱连用的方法测定并用有关公式计算<sup>[11,12]</sup>;生物量采用优势种生长式与野外调查数据相结合的方法求算<sup>[13,14]</sup>;凋落量采用收集器法测定<sup>[15]</sup>;枯倒木现存量和

年死亡量以及地被物现存量采用野外调查和称重法测定<sup>[16]</sup>;虫食量采用美国产 LI-Cor 3000 叶面积仪按昆虫啃食叶片痕迹法测定<sup>[17,18]</sup>;能量现存量采用生物量与热值相乘的方法求算<sup>[19,20]</sup>。

表 1 鼎湖山主要植物群落概况

Table 1 The general description of the communities in Dinghusan

| 植被类型<br>Vegetation      | 灌草丛<br>Shrubby<br>grassland                            | 针叶林<br>Coniferous<br>forest | 针阔叶混交林<br>Coniferous-broad<br>leaf mixed forest | 季风常绿阔叶林<br>Monsoon evergreen<br>broad-leaved forest    |
|-------------------------|--|-----------------------------|---|--|
| 主要种类<br>Main<br>species | 岗松 <sup>①</sup><br>桃金娘 <sup>②</sup><br>芒萁 <sup>③</sup> | 马尾松 <sup>④</sup><br>桃金娘     | 马尾松<br>荷木 榿栗<br>红皮紫藤 <sup>⑤</sup>               | 榿栗 <sup>⑥</sup><br>荷木 <sup>⑦</sup><br>厚壳桂 <sup>⑧</sup> |
| 分层情况 Layer              |  |                             |   |  |
| 第 I 层 Layer I           |  |                             |   |  |
| 种类 Species              |  |                             |   | 榿栗 荷木 厚壳桂  |
| 高度 Height(m)            |  |                             |   | 20~30  |
| 胸径 DBH(cm)              |  |                             |   | >20  |
| 第 II 层 Layer II         |  |                             |   |  |
| 种类 Species              |  |                             | 马尾松 荷木 厚壳桂 华南楠                                  |  |
| 高度 Height(m)            |  |                             | 榿栗 红皮紫藤   | 肖楠 桃   |
| 胸径 DBH(cm)              |  |                             | 8~12  | 10~17  |
| 第 III 层 Layer III       |  |                             |   |  |
| 种类 Species              |  | 马尾松/荷木                      | 红皮紫藤 山竹棒等                                       | 云南银柴 厚壳桂<br>红车 水石梓                                     |
| 高度 Height(m)            |  | 7/2.5~3.5                   | 4~6   | 3~9  |
| 胸径 DBH(cm)              |  | 20~40/-                     | 4~8   | 3~8  |
| 第 IV 层 Layer IV         |  |                             |   |  |
| 种类 Species              | 岗松 桃金娘   | 桃金娘                         | 柏拉木 九节  |  |
| 高度 Height(m)            | 1~1.5  | 0.6~1.0                     | 0.6~1.2   | 1.2~1.5  |
| 盖度 Coverage(%)          | 50   | -                           | 20~55   | 30~40  |
| 第 V 层 Layer V           |  |                             |   |  |
| 种类 Species              | 芒萁   | 芒萁                          | 芒萁黑莎草   | 沙皮藤苗木  |
| 高度 Height(m)            | 0.6~1.3  | 0.2~0.5                     | 0.2~0.8   | 0.4~0.5  |
| 盖度 Coverage(%)          | 50   | 40~90                       | 30~40   | 10~15  |
| 土壤有机质(%) <sup>⑨</sup>   | 1.20   | 1.50                        | 2.73  | 5.01   |
| 土壤 pH 值                 | 4.5  | 4.5                         | 4.3   | 3.9  |
| 海拔(m)                   | 280~460  | 270                         | 280   | 300  |
| Elevation               |  |                             |   |  |
| 坡向 Aspect               | E  | ES10°                       | WS30°   | EN60°  |
| 坡度(°)Slope              | 30   | 30                          | 30  | 30   |

① *Baeckea frutescens* ② *Pinus massoniana* ③ *Castanopsis chinensis* ④ *Rhodomyrtus tomentosa* ⑤ *Schinus superba* ⑥ *Dacrydium linearis* ⑦ *Cratogeomys kwangtungense* ⑧ *Cryptocarya chinensis* ⑨ Soil organic matter

### 3 结果与分析

#### 3.1 群落演替过程中生产结构的变化

鼎湖山森林群落在演替过程中其垂直层次从 1 层逐渐增加到 5 层,其中演替初始阶段的灌草丛仅有 1 个层次,演替的先锋阶段针叶林具有 3 个层次,演替的中期阶段针阔叶混交林有 4 个层次,演替的顶极群落季风常绿阔叶林有 5 个层次。

叶面积指数是指每单位土地面积上的叶片总面积。鼎湖山这些森林群落的叶面积指数分别为:灌草丛 2.48<针叶林 6.63<针阔叶混交林 11.28<季风林 17.76。由此可见,鼎湖山森林群落向顶极演替过程中,其总叶面积指数逐渐增大。

#### 3.2 群落演替过程中辐射能环境的变化

通过测定可知,到达季风常绿阔叶林上方的总辐射能为 3727.8MJ/m<sup>2</sup>·a,反射了 111.8MJ/m<sup>2</sup>·a(反射率为 3.0%),5 个冠层总共截获能量 3575.0MJ/m<sup>2</sup>·a(截获率 95.9%),漏到地面能量 41.0MJ/m<sup>2</sup>·a(漏射率 1.1%);到达针阔叶混交林上方的总辐射为 4745.8MJ/m<sup>2</sup>·a,反射了 370.2MJ/m<sup>2</sup>·a(反射率为 7.8%),4 个冠层总共截获能量 4219.0MJ/m<sup>2</sup>·a(截获率 88.9%),漏到地面能量 156.6MJ/m<sup>2</sup>·a(漏射率 3.3%);到达针叶林上方的总辐射为 4493.6MJ/m<sup>2</sup>·a,反射了 584.2MJ/m<sup>2</sup>·a(反射率为 13.0%),3 个冠层总共截获能量 1900.8MJ/m<sup>2</sup>·a(截获率 42.3%),漏到地面能量 2008.6MJ/m<sup>2</sup>·a(漏射率 44.7%);到达灌草丛上方总辐射为 4267.6MJ/m<sup>2</sup>·a,反射了 746.8MJ/m<sup>2</sup>·a(反射率为 17.5%),1 个冠层共截获能量 866.3MJ/m<sup>2</sup>·a(截获率 20.3%),漏到地面能量 2616.0MJ/m<sup>2</sup>·a(漏射率 62.2%)。

由此可见,鼎湖山森林群落在正向演替过程中,其林冠反射率和漏射率逐渐减小,而林冠层截获率越来越大。出现这种辐射能环境的变化主要原因是:在森林演替过程中,其冠层越来越厚,对到达林冠层的太阳辐射能截获量也就越来越大,而截获的太阳辐射能是森林生态系统发育(演替)的能量基础<sup>[21,22]</sup>。

#### 3.3 群落演替过程中生产力的变化

如表 2,鼎湖山各群落的总初级生产力、总呼吸量、净初级生产力为:灌草丛的分别为 17.43、15.93、1.50,针叶林的分别为 55.50、40.98、14.52,针阔叶混交林的分别为 116.61、92.73、23.88,季风常绿阔叶林的分别为 150.81、124.81、26.00t/hm<sup>2</sup>·a。这表明,鼎湖山森林群落在演替过程中,其总初级生产力、总呼

吸量和净初级生产力逐渐增加,但是从灌草丛向针叶要演替这一早期阶段增长速率大,而从针阔叶混交林向顶极演替阶段增长速率小。这是因为演替早期阶段植物种类及各种群数量较少,物种更替快且数量变化大,空间层次少,而后期阶段植物种类及数量变化相对较少,而层次又多,使群落能更多地利用太阳能,总之,森林生态系统在正向演替中其生产力是逐渐增加的,但速率不同。

### 3.4 群落演替过程中生物量和损耗量的变化

**3.4.1 群落演替过程中叶生物量和总生物量的变化** 植物生物量是指单位面积上生活着的植物量。这些群落叶片生物量分别为:灌草丛  $0.99\text{t}/\text{hm}^2$ , 针叶林  $6.66\text{t}/\text{hm}^2$ , 针阔叶混交林  $22.60\text{t}/\text{hm}^2$ , 季风常绿阔叶林  $25.92\text{t}/\text{hm}^2$ , 这意味着鼎湖山森林群落在演替过程中叶片的生物量是逐渐增加,而且其变化的速率与总生产力和总呼吸由于量是相应的。叶片是进行光合作用和呼吸作用的场所,其量的大小决定这两个值。

比较这些群落总生物量可知,灌草丛的生物量最少,仅  $6.65\text{t}/\text{hm}^2$ , 针叶林的生物量为  $184.74\text{t}/\text{hm}^2$ , 针阔叶混交林的生物量为  $377.52\text{t}/\text{hm}^2$ , 季风常绿阔叶林的为  $398.57\text{t}/\text{hm}^2$ 。上述结果表明灌草丛仅固定了其林冠上太阳辐射能中的一小部分,马尾松林的太阳能固定量有了大幅度的提高,针阔叶混交林则进一步提高,天然林的最多。这些结果表明,当生态系统通过正向演替发展时,其生物量不断增加,从而使较多的干物质被保存在群落中。

图1是应用时空替代方法,将张宏达等、王铸豪等、王伯荪等研究群落结构的数据按有关生长式折算成生物量<sup>[6,7]</sup>,并引用彭少麟、张祝平等生物量数据<sup>[8]</sup>及本文的数据组合在一起绘制的生物量累积曲线。

若忽略时空异质性(本文研究中这方面的影响不大),灌草丛的生物量10a仅  $6.65\text{t}/\text{hm}^2$ ,而50年代初种植马尾松后,到1955年群落的生物量就达  $17.91\text{t}/\text{hm}^2$ ,该针叶林自然发展到1982、1989和1996年的生物量分别为  $64.006$ 、 $81.21$ 、 $184.737\text{t}/\text{hm}^2$ ,混交林1955年的生物量约  $190.71\text{t}/\text{hm}^2$ ,可见现在的针叶林已与当年的混交林生物量相差不大,混交林经过封山育林,其生物量在1982、1989、1996年分别达到  $245.14$ 、 $261.13$ 、 $377.523\text{t}/\text{hm}^2$ ,季风常绿阔叶林自1955~1996年的变化不大,1955、1982、1989、1996年的生物量分别为  $575.6$ 、 $405.32$ 、 $380.661$ 、 $398.566\text{t}/\text{hm}^2$ 。

图1表明鼎湖山多年的研究结果经过时空替代法和数据同化处理,可以形成一个比较连续的生物量积累曲线,该曲线的规律是:群落正向演替过程中,生物量是逐渐增加的,在早期的灌草丛、针叶林阶段生物量积累比较慢,在针叶林末期和混交林阶段生物量积累是非常快的,在季风常绿阔叶林初始阶段生物量达到最高,然后减少至某一水平波动,这表明该群落达到其生物量积累的阈值后开始波动。

**3.4.2 群落演替过程中能量现存量的变化** 能量现存量是指某一给定时刻,单位面积上群落所积累的总能量,根据各器官热值和相应的生物量或枯死植物量推算而来。这些群落植物活体的能量现存量分别为:灌草丛  $11.74$ , 针叶林  $591.55$ , 针阔叶混交林  $739.96$ , 季风常绿阔叶林  $762.51\text{MJ}/\text{m}^2$ 。这表明鼎湖山森林群落在演替过程中能量现存量是逐渐增加的,而这些增加的能量通过增加并维持顶极群落复杂的结构,从而提高生态系统的稳定性。

**3.4.3 鼎湖山森林群落演替过程中凋落物量的变化** 鼎湖山季风常绿阔叶林从1981~1990年各年年凋落物总量分别为:  $9.2$ 、 $7.1$ 、 $11.0$ 、 $9.2$ 、 $10.3$ 、 $8.0$ 、 $9.1$ 、 $8.0$ 、 $9.3$ 、 $7.6\text{t}/\text{hm}^2$ ,年平均为  $9.2\text{t}/\text{hm}^2$ 。针叶林从1983~1990年年凋落物总量分别为:  $3.1$ 、 $3.1$ 、 $2.7$ 、 $2.7$ 、 $1.8$ 、 $2.5$ 、 $3.0$ 、 $2.7$ 、 $2.7\text{t}/\text{hm}^2$ ,年平均为  $2.7\text{t}/\text{hm}^2$ 。呈现针叶林远小于季风常绿阔叶林的格局<sup>[15]</sup>。

**3.4.4 鼎湖山森林群落演替过程中枯倒木现存量 and 年输入量的变化** 枯倒木分为站杆和倒木两类,站杆

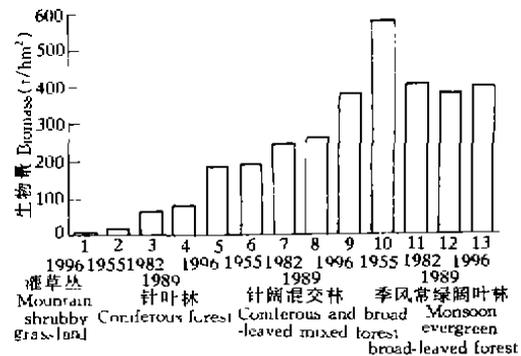


图1 鼎湖山植物群落演替过程中生物量的变化( $\text{t}/\text{hm}^2$ )

Fig. 1 The changes in phyto-biomass of the communities during the succession in Dinghushan

是指因各种原因死亡但仍站立于林地上树木;倒木是指林地上由于风倒、折干、砍伐或死亡后倒下的树木。它们是森林生态系统结构的重要组成部分,起着重要的功能作用。鼎湖山各群落的枯倒木的现存量分别为:草坡 1.05, 针叶林 1.12, 针阔叶混交林 54.54, 季风常绿阔叶林 115.71t/hm<sup>2</sup>。呈现逐步的增加趋势。若将各群落枯倒木现存量除以相应的时间则可估算出各群落枯倒木年输入量(如表 2), 这些群落枯倒木年输入量从小到大为草坡 0.35, 针叶林 0.42, 针阔叶混交林 1.36, 季风常绿阔叶林 4.14t/hm<sup>2</sup>。这表明森林群落在演替过程中其枯倒木年输入量也是逐渐增大的, 这是因为随群落的生长和演替, 由于竞争等引起群落的自然稀疏所致。

表 2 鼎湖山森林群落演替过程中的能量特征比较  
Table 2 The characteristics of ecological energetics of the forest ecosystem during its succession in Dinghushan Mountain, China

| 能量特征<br>Characteristics<br>of energy | 灌草丛<br>Shrubby<br>grassland | 针叶林<br>Coniferous<br>forest | 针阔叶混交林<br>Coniferous-broad<br>leaf mixed forest | 季风常绿阔叶林<br>Monsoon evergreen<br>broad-leaved forest |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|
| 生产结构①                                |                             |                             |   |   |
| 垂直层②                                 | 1                           | 3                           | 4   | 5   |
| 叶面积指数③                               | 2.48                        | 6.61                        | 11.23   | 17.76   |
| 辐射能环境④                               |                             |                             |   |   |
| 反射率⑤(%)                              | 17.5                        | 13.0                        | 7.5   | 3.0   |
| 截获率⑥(%)                              | 20.3                        | 42.3                        | 88.9  | 95.9  |
| 透射率⑦(%)                              | 62.2                        | 44.7                        | 3.3   | 1.1   |
| 生产力⑧                                 |                             |                             |   |   |
| 总初级生产力⑨                              | 17.43                       | 55.50                       | 116.61  | 150.51  |
| 总呼吸量⑩(t/hm <sup>2</sup> ·a)          | 15.53                       | 40.98                       | 42.73   | 124.51  |
| 总生产力/总呼吸量⑪                           | 1.09                        | 1.35                        | 1.26  | 1.21  |
| 净初级生产力⑫(t/hm <sup>2</sup> ·a)        | 1.50                        | 14.52                       | 23.88   | 26.00   |
| 生物量⑬                                 |                             |                             |   |   |
| 叶生物量⑭(t/hm <sup>2</sup> )            | 0.39                        | 6.66                        | 22.60   | 25.32   |
| 总生物量⑮(t/hm <sup>2</sup> )            | 6.65                        | 184.74                      | 377.52  | 398.57  |
| 凋落量⑯(t/hm <sup>2</sup> ·a)           | —                           | 2.70                        | —   | 3.29  |
| 枯倒木现存量⑰(t/hm <sup>2</sup> )          | 1.05                        | 1.12                        | 54.54   | 115.71  |
| 枯倒木年输入量⑱(t/hm <sup>2</sup> ·a)       | 0.15                        | 0.42                        | 1.36  | 4.14  |
| 虫食量⑲(t/hm <sup>2</sup> )             | 0.02                        | 0.17                        | 1.20  | 1.50  |
| 生物量年增量⑳(t/hm <sup>2</sup> ·a)        | —                           | 11.23                       | 15.37   | 11.07   |
| 总生产量/生物量㉑                            | 2.62                        | 0.10                        | 0.31  | 0.38  |
| 生物量/净初级生产力㉒                          | 4.43                        | 12.72                       | 15.51   | 15.32   |
| 其它㉓                                  |                             |                             |   |   |
| 群落的能量现存量(MJ/m <sup>2</sup> )㉔        | 11.74                       | 591.55                      | 739.96  | 762.51  |
| 地被物能量现存量㉕(t/hm <sup>2</sup> )        | 0.85                        | 4.85                        | 10.62   | 6.50  |

①Production structure ②Layer ③Leaf area index ④Radiation energy environment ⑤Albedo ⑥Absorbed ration ⑦Transmissibility ⑧Productivity ⑨Gross primary productivity ⑩Total respiration loss ⑪Primary productivity/Total respiration loss ⑫Net primary productivity ⑬Biomass ⑭Leaf biomass ⑮Total biomass ⑯Litterfall ⑰Standing crop of tree mortality ⑱Biomass of annual tree mortality ⑲Herbivory ⑳Annual growth of biomass ㉑Production/biomass ㉒Biomass/net productivity ㉓Other ㉔The standing crop of energy of community ㉕The standing crop of energy of ground

3.4.5 鼎湖山森林群落演替过程中昆虫啃食量的变化 鼎湖山季风林、混交林、针叶林和草坡的年均虫食叶面积百分比分别为 6.07%、5.28%、2.55% 和 2.21%。根据叶生物量、被食面积百分比等可计算出鼎湖山灌草丛、针叶林、混交林和季风林叶子的被食量, 其值分别为: 0.022、0.170、1.193 和 1.573t/hm<sup>2</sup>。考虑到鼎湖山森林演替的顺序是草坡→针叶林→混交林→季风林, 因而可认为森林演替的进展, 其虫食量逐渐增加, 直至稳定在某一个值附近波动。这也说明群落在正向演替中, 从植物等初级生产者流向昆虫等次级生产者的能流增加了, 这就为生态系统能养活更多的次级生物提供了可能, 同时能量流动的渠道也增加了。出现这种格局的原因可能是: 随着演替的进行, 群落的垂直空间增大, 林内的植物生物多样性增大, 林内小气候波动也越来越小, 因而昆虫的栖息空间越来越大, 昆虫喜食的种类可能越来越多, 其适宜性越来越好, 因而虫食量越来越大, 而虫食量波动性越来越小。

3.4.6 鼎湖山森林群落演替过程中生物量年增量的变化 生物量增量是指群落中一定时间内单位面积上植物总初级生产力中用于增加生物量的部分。本文采用的公式为: 生物量增量 = 净初级生产力 - 凋落量 - 枯倒量 - 虫食量。鼎湖山各群落的生物量年增量分别为: 针叶林 11.23、针阔叶混交林 15.37(由于该群落的凋落量无实测数据, 本处计算时将针叶林与季风林的凋落量平均当作其凋落量)、季风常绿阔叶林 11.07t/hm<sup>2</sup>·a, 呈现从灌草丛向针阔叶混交林逐渐增大, 到季风常绿阔叶林又回落的曲线。此外, 在群落演替过程中, 其总生产量/生物量, 生物量/净初级生产力这两个指标的变化规律性不明显。

3.5 鼎湖山群落演替过程中地被物贮存能量的变化 灌草丛、针叶林、针阔混交林和季风常绿阔叶林地被物贮能量分别为: 0.85、4.85、10.62、6.5MJ/m<sup>2</sup>, 这说明从灌草丛向针叶林、针阔混交林

演替过程中土壤表层能量贮量是逐渐增加的,这利于林下土壤动物和微生物群落的发展,并可支持更多的种类和数量,到达近顶极的季风常绿阔叶林时,虽然生产力高,但其地表层贮能量反而低,这意味着该群落正处于能量循环周转快的动态过程中。

#### 4 结论

森林生态系统演替过程中的能量特征在顶极群落形成过程中起了重要的作用。因而有很多生态学家对这一问题进行过研究,Leith、Rodin、Westlake、Reichle、Major 和 Odum 曾研究过一些植被演替各阶段的初级生产力和生物量等两方面指标变化的情况<sup>[1,4,22]</sup>,他们的结论与本文以时空替代的方法,将鼎湖山灌草丛、针叶林、针阔叶混交林和季风常绿阔叶林等4个处于同一空间下的群落当作同一群落演替进程中的4个阶段的生产力和生物量的研究结果相似。

上述通过对鼎湖山南亚热带森林在从初级向顶极演替过程中生产结构、辐射能环境、生产力、生物量和能量现存量等方面的研究可知,群落的垂直层次、叶面积指数、冠层对太阳辐射能的截获量、叶生物量、总生物量、总初级生产力、总呼吸量、净初级生产力、枯倒木现存量和年输入量、昆虫啃食量、群落的能量现存量等随演替的进程而增加,但速度并不均衡,前期增长迅速,而后增长缓慢,趋于稳定与饱和。

森林群落在演替过程中,这些能量生态指标的变化与其组成结构、外界环境等方面的变化是密切相关的。在这些能量生态指标中,群落的生产结构(主要是叶面积指数)与太阳辐射能的截获量、总初级生产力、总呼吸量、净初级生产力、生物量的形成等均有密切的关系;能量现存量的积累和生物量年增量的积累是森林生态系统生长、发育和演替的结果,只有能量现存量 and 生物量年增量达到一定水平,形成较多的能量贮存和较强的能流,才会形成较多的空间结构,群落才具有更大的抗逆性,才能维持群落愈来愈复杂的结构。

#### 参考文献

- [1] 克纳普著. 宋永昌,等译. 植被动态. 北京:科学出版社,1986. 1~5.
- [2] H T Odum 著. 蒋有绪,等译. 系统生态学. 北京:科学出版社,1993. 1~10.
- [3] 祖元刚. 能量生态学引论. 长春:吉林科学技术出版社,1990. 1~25.
- [4] Gates D M. Energy, plants and Ecology. *Ecology*. 1965, 46: 1~13.
- [5] 彭少麟. 南亚热带森林动态学. 北京:科学出版社,1996, 157~189.
- [6] 张宏达,等. 广东高要鼎湖山植物群落之研究. 中山大学学报, 1955, (3): 159~225.
- [7] 中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站编. 热带亚热带森林生态系统研究, 第一集. 广州:科学普及出版社广州分社, 1982. 100~127.
- [8] 任海,等. 鹤山豆科植物混交林的能量特征和光能利用效率. 生态学报, 1995, 15(增刊A辑): 49~57.
- [9] Anderson M C. Stand structure and light penetration. *J. Appl. Ecol.* 1966, 3: 41~54.
- [10] Ashton P S, et al. Light intensity measurements in rain forest near Santarem. *Brazil. Jour. of Ecol.* 1957, 45: 65~70.
- [11] J. 库姆斯主编. 邱国雄,等译. 生物生产力和合光作用测定技术. 北京:科学出版社, 1986. 30~80.
- [12] W. 拉夏埃尔著. 李博,等译. 植物生理生态学. 北京:科学出版社, 1980. 40~60.
- [13] 木村允著. 姜恕,等译. 陆地植物群落的生物量测定方法. 北京:科学出版社, 1981. 35~80.
- [14] 任海,等. 广东主要人工林群落生物量与生产力的比较研究. 资源生态环境网络研究动态, 1996, 7(3): 22~25.
- [15] 翁豪,等. 鼎湖山森林凋落物量及营养元素含量研究. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(4): 299~304.
- [16] 赵秀海. 长白山红松针阔叶混交林中倒木的分布格局. 吉林林学院学报, 1995, 11(4): 200~204.
- [17] 陈章和,等. 黑石顶自然保护区南亚热带常绿阔叶林生物量与生产力研究 V. 昆虫食叶量. 应用生态学报, 1993, 4(4): 450~453.
- [18] Bray J R. Primary consumption in three forest canopies. *Ecology*. 1964, 45: 165~167.
- [19] 林鹏,等. 福建和滇亚热带雨林优势植物叶的热值研究. 植物生态学报, 1996, 20(4): 303~309.
- [20] 刘世荣,等. 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. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(1): 20~28.
- [21] Alderfer R G, et al. Energy exchange in plant canopies. *Ecology*, 1971, 52: 855~861.
- [22] Kimmins J P. *Forest Ecology*. Macmillan Publishing Company, 1992. 200~245.