

# 鼎湖山季风常绿阔叶林生产潜力的模拟研究<sup>①</sup>

任海 彭少麟

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

**摘要** 应用参数模型、Miami 模型、Thorntwaite memorial 模型和 Chikugo 模型对鼎湖山季风常绿阔叶林的生产潜力进行了模拟,各模型的模拟值分别为 28.297, 23.16(以年平均气温为基础), 20.91(以年降雨量为基础), 19.27 和 17.10 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>。而鼎湖山季风常绿阔叶林的实测年产量为 23.2 t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>。这 4 个模型模拟值均与实测值基本接近,尤其是参数模型、Miami 模型、Thorntwaite memorial 模型更精确。文中还分析了各模型产生误差的原因,并指出鼎湖山季风常绿阔叶林的生产力虽较高,但仍有提高的可能性。

**关键词** 参数模型, Miami 模型, Thorntwaite memorial 模型, Chikugo 模型, 生产潜力, 鼎湖山季风常绿阔叶林。

随着全球变化研究的兴起,模拟陆地生物圈初级生产力逐渐成为国内外生态学工作者关注的问题,先后涌现了许多生长分析模型、参数模型、统计模型和过程模型,这些模型基于植被生产力受植物的生物学特性和环境因子的双重影响的原因,均把植物生长看作环境因子的函数来预测生态系统的生产力,取得了较准确的结果<sup>[1,2]</sup>。鼎湖山季风常绿阔叶林是世界顶极植被中的一员,本文试图根据鼎湖山多年小气候观测资料和相关生态学观测数据,采用参数模型和统计模型估算季风常绿阔叶林的生产潜力,为鼎湖山的森林生产力和全球变化研究提供资料,并为合理开发利用当地森林资源提供依据。

## 1 自然概况

鼎湖山位于广东省中部(23°09' ~ 23°11' N, 112°30' ~ 112°33' E),属亚热带湿润季风型气候,年平均气温 21℃,平均年降雨量 1900mm 左右,年蒸发量约 1700mm,年平均相对湿度 80%,土壤为发育于砂岩母质上的赤红壤,土层薄。季风常绿阔叶林——锥栗、荷木、厚壳桂群落已有 400 年林龄,已接近地带性顶极群落,是南亚热带森林的典型代表类型。在面积为 125hm<sup>-2</sup>的群落内,物种丰富,结构复杂,成层现象较明显,乔木已分化出 3 个亚层。乔木第 I 亚层植物主要有锥栗(*Castanopsis chinensis*)、黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)、荷木(*Schima superba*)和华润楠(*Machilus chinensis*)等,高度为 16~27m,冠层不连续;第 II 亚层植物有厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)、黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)、翅子树(*Pterospermum lanceaefolium*)等,高度为 8~15m,冠层连续;第 III 亚层植物有云南银柴(*Aporosa yunnanensis*)、鼎湖钓樟(*Lindera chunii*)、水石梓(*Sarcosperma laurinum*)等,高度为 3~7m,冠层也不连续。灌木为第 IV 亚层,有柏拉木(*Blastus cochinchinensis*)、罗伞树(*Ardisia quin-*

<sup>①</sup> 国家自然科学基金和华南生物中心资助项目。本工作先后得到华南植物所和华南植物所鼎湖山自然保护区多位同志的帮助,特此致谢!

quegona)等,密度较大,但多为乔木幼树,真正灌木种类不多。草本及苗木为第V亚层,有双盖蕨(*Diplazium donianum*)、黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)、山姜(*Alpinia chinensis*)等。此外层间植物有附生植物石蒲藤(*Pothos chinensis*)等,木质藤本植物有杖枝省藤(*Calamus rhabdocladius*)等。

## 2 理论与方法

### 2.1 参数模型

这类模型是建立在理论分析的基础上的。本文所用的模型实质上是光温生产潜力模型。该模型的前提是环境因子和遗传因子均处于最佳,在光温条件允许范围内,根据光温资源及群落光能利用效率进行估算<sup>[3]</sup>。即鼎湖山季风常绿阔叶林的生产潜力与遗传( $H$ )、光( $Q$ )、温( $T$ )、水( $W$ )、土壤肥力( $F$ )和生物( $B$ )等因素密切相关,即:

$$P=f(H) \cdot f(Q) \cdot f(T) \cdot f(W) \cdot f(F) \cdot f(B)$$

2.1.1 遗传因素 由于鼎湖山季风常绿阔叶林是多年形成的顶极植被,群落内各树种的组成及生态生物学特性是多年形成的,适于本地的生境,因此在研究其生产潜力时不考虑遗传因子的限制作用,即  $f(H)=1$ 。

2.1.2 生物因素 影响鼎湖山季风常绿阔叶林生产力的主要生物因素是人类干扰和病虫害。作为自然保护区主要保护对象,该群落的人类干扰较少,可忽略。据任海等 1995~1996 年进行的昆虫啃食量研究可知,1,4,7,10 月份昆虫对该群落叶片的采食面积占总叶面积的 7.71%, 6.05%, 5.44%和 5.08%,年平均为 6.07%<sup>[4]</sup>。因此  $f(B)=1-0.06=0.94$ 。

2.1.3 土壤肥力因素 鼎湖山季风常绿阔叶林土壤主要为水化赤红壤,这种土壤主要由富铝化作用和生物累积与分解相互作用形成的。在 3~14cm 土层中,含有机质 4.27%,全 N 0.20%,C/N 为 12,全 P 0.08%,全 K 3.7%,这些成分基本可满足植物大的生长量<sup>[5]</sup>,故取  $f(F)=1$ 。

2.1.4 水分因素 本处所指的水分因素含降水、大气相对湿度和土壤含水量。鼎湖山季风常绿阔叶林年均林冠降水量约 1472.4mm,月均 122.70mm,空气相对湿度约 87%,土壤层(0~50cm)含水量年总 2051.70mm,月均 171.0mm<sup>[6]</sup>。因此可认为该群落中水分比较充足,水分因子亦可不作为限制因子,即  $f(W)=1$ 。

2.1.5 太阳辐射能因素 太阳辐射能是森林生态系统生产力的直接来源,也是影响其生产力的间接因素之一。因此,很早就有人进行光合生产潜力的研究,提出了很多模型,金昌杰等(1995)根据能量转换原理考虑了多个相关因子后认为下式可用于估算森林生态系统生产潜力。

$$f(Q)=\eta(1-\alpha-\beta)(1-\gamma)(1-\rho)(1-\omega)\varphi(1-\chi)^{-1}K^{-1}Q$$

式中  $f(Q)$  为光合生产潜力; $Q$  为太阳总辐射; $\eta$  为光合有效辐射系数; $\alpha$  为森林的光合有效辐射的反射率; $\beta$  为森林林冠层的漏光率; $\gamma$  为光饱和限制; $\rho$  为植物体非光合器官的无效吸收率; $\omega$  为消耗于呼吸作用的光合产物; $\varphi$  为量子效率; $\chi$  为植物机体中的无机盐分; $K$  为植物热值<sup>[3]</sup>。

据吴厚水(1982)、张祝平等(1990)、任海等(1996)和侯庸等(1995)先后以鼎湖山为对象进行的太阳总辐射、光合有效辐射的观测或理论推算可知,鼎湖山季风常绿阔叶林林冠所接受的太阳总辐射为  $3727.8 \text{ MJ m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,光合有效辐射为  $1799.8 \text{ MJ m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,光合有效辐射系数为 0.483,反射率为 0.032,漏光率为 0.037<sup>[7~10]</sup>。

鼎湖山季风常绿阔叶林有乔木 I 层、II 层、III 层、灌木层和草本苗木层共 5 个层次,太阳光从群落上部到下部呈指数递减规律,因此乔木 II 层及以下树种不受光饱和点的限制,又由于乔木 I 层主要由锥栗等阳生性树种组成,其光饱和点高,据张祝平等(1989)进行的研究表明,仅小部分树种存在“午睡”现象,因此该群落的光饱和限制为 0%<sup>[11]</sup>。

太阳光照射在枝干等非光合器官,植物不能利用其进行光合生产,这部分辐射所占总辐射比例为植物体非光合器官的无效吸收率。金昌杰等(1995)发现叶面积指数为 10 时森林无效吸收率约为 25%<sup>[3]</sup>。由于缺乏这方面的研究,考虑到该群落的叶面积指数为 17.79,因而近似地认为  $\rho=15\%$ 。另据张祝平等(1989)的研究可知,该群落消耗于呼吸作用的光合产物约为年产量的 42%<sup>[11]</sup>,即  $\omega=42\%$ 。

按前人研究成果,量子效率取 0.211<sup>[3]</sup>;由于该群落无机盐随树种、部位不同而不同,但一般植物的无机盐分为 3%~10%,本计算中取 5%;另据任海等对该群落 5 个层次 10 余个优势种器官热值研究可知<sup>[4]</sup>,其平均热值为 20718.4J·g<sup>-1</sup>。

2.1.6 温度因素 环境温度对植物的光合作用有重要影响,植物只有生活在适生温度范围内光合产物才有增加。当林木在低温时因酶促反应下降而限制了光合作用的进行,日均温大于 5℃是林木开始生长的生物学温度,一般植物可在 10~35℃下正常地进行光合作用,其中以 25~30℃最适宜,在 35℃以上时光合作用开始下降,40~50℃时即完全停止<sup>[12,13]</sup>。

根据李世奎(1988)研究中国农业气候资源时提出的温度订正函数形式<sup>[12]</sup>,结合张祝平等(1989)的生理生态学研究资料<sup>[11]</sup>得出温度订正函数为:

$$f(T) = -0.0055 t^2 + 0.1800 t - 1.0000$$

式中  $t$  为鼎湖山的年均气温(取多年平均值 21.3℃)。

## 2.2 统计模型

这类模型是完全建立在实验和观测数据的基础上的。本文选用 Miami 模型、Thorntwaite memorial 模型和 Chikugo 模型估算南亚热带森林的气候生产力。这三个模型均是在全球水平上通过各种生态因子与生物产量的大量统计得出的一些经验公式或半经验半理论公式<sup>[14]</sup>。

植物的气候生产力是指在一定气候条件下,每年在单位土地上可能生产的有机干物质,它相当于植被的净第一性生产力。其理论基础是:植物群落与环境间的关系是极其密切的,土壤—植被—大气系统中植被的产量决定于植物生理学特性(如光合作用、蒸腾作用、植物养分移动与吸收、根—土作用、叶—大气作用等)、气候(光、热、水、气等)、土壤(理化性质、肥力等)和人为影响等,若排除人为影响,考虑到植物的生物学特性、大气中的气体成分含量、土壤肥力等是比较稳定的因子,因而随时空变化大的气候因子是决定某地区植物产量的主导因素。

2.2.1 Miami 模型 该模型是 Lieth 于 1972 年根据世界各地植物产量与年平均气温、年降水量之间的关系分别得到估算植物气候生产力<sup>[15]</sup>。该模型的形式为:

$$NPP_t = \frac{300}{1 + e^{(1.315 - 0.119t)}}$$

$$NPP_N = 3000[1 - e^{-0.000664N}]$$

式中  $NPP_t$  系以年均温度算得的植物干物质产量; $NPP_N$  系以年均降水量算得的植物干物质产量; $t$  为年平均气温; $N$  为年平均降水量。

2.2.2 Thorntwaite memorial 模型 本模型也是 Leith(1974)提出<sup>[14]</sup>,其以实际蒸散量估算植物产量,其公式为:

$$NPP_V = 3000[1 - e^{-0.0009696(V-20)}]$$

式中  $NPP_v$  系以年蒸散量算得的植物干物质产量;  $V$  为年蒸散量。

2.2.3 Chikugo 模型 本模型是根据 M. I. Budyko 的辐射平衡公式及 IBP 研究计划对世界植被潜在净第一性生产力(NPP)的研究而编制的<sup>[14,16]</sup>。其公式为:

$$NPP_c = 0.29[\exp(-0.216 RDI^2)] \cdot R_n$$

式中  $NPP_c$  为潜在净第一性生产力;  $RDI$  为辐射干燥度 [ $RDI = R_n / (L \times N)$ ],  $N$  为年均降水量;  $R_n$  为年净辐射量;  $L$  为蒸发潜热 ( $L = 597 - 0.6t$ );  $P$  为年降水量;  $t$  为年平均气温;  $\exp(x)$  表示  $e$  的  $x$  次幂。

### 3 结果与分析

将以上讨论的各参数及其数值代入参数模型总计算公式可知,鼎湖山季风常绿阔叶林的生产潜力为  $28.297t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 。将鼎湖山的年均温、年蒸发量和年净辐射量等气候因子数值分别代入有关气候生产力模型可求出各模型的模拟值(表 1):Miami 模型为  $23.16$  和  $20.91t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ ,Chikugo 模型为  $17.10t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ ,Thorntwaite memorial 模型为  $19.27t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 。

表 1 四种模型模拟鼎湖山季风常绿阔叶林的情况( $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ )

Table 1 The simulated results from the models

模型	Parameter m.	Miami(t) m.	Miami(n) m.	Thorn. m m	Chikugo m.
模拟值	28.297	23.16	20.91	19.27	17.10

彭少麟等(1994)曾根据样木法、年轮分析法和气体交换法测定过鼎湖山季风常绿阔叶林的实际产量<sup>[17]</sup>,其值为  $23.2t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 。另据陈章和(1991)研究<sup>[18]</sup>,同一地带的黑石顶南亚热带常绿阔叶林的年产量为  $18.932$ (按根的产量占总产量的 20%左右计)或  $29.612t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ (按根的产量占总产量的 44.5%计)。可见,这些模型的模拟值均与本地带顶极群落的生产力相接近,其中以年均气温为基础的 Miami 模型较准确地预测了本地带近顶极群落的生产力;以年降雨量为基础的 Miami 模型、Thorntwaite memorial 模型和参数模型的估算值与季风林的实际生产力比较吻合;而 Chikugo 模型的预测值与实际相差较大。因此在估算本地带植被生产潜力时可以采用前三个模型。

至于模型与实测值存在差距的原因可能是:植物的产量除受温度和降水量的影响外,还与其它气候因子有关,因而用 Miami 模型计算的结果可靠程度仅 70%左右;而 Thorntwaite memorial 模型是以蒸散量估算植物产量,因蒸散量受太阳辐射、温度、空气饱和差、风速和气压等因子综合影响,所以能把水热平衡状况联系在一起,同时,蒸散量包括了土壤蒸发和植物的蒸腾,而蒸腾又与植物的光合作用、营养元素的吸收和转移等生理因子密切相关,因而这一模型比较客观地表征某一地区的生产潜力;Chikugo 模型是多因子模型,但目前并不清楚每个因子的对植物产量的影响,尤其当几个因子发生相互作用时,不清楚究竟是模型本身还是模型的数学连接产生的;本地带气候的变异也会影响模型模拟的准确性。例如,本地的最低气温(1月)仅为  $11.3^{\circ}C$ ,最高气温(7月)为  $27.8^{\circ}C$ ,4~9月的雨季降雨量占全年总量的 64.3%,有时 10月竟不下雨,蒸散量在较冷的 1、2、3月均小于  $100mm$ <sup>[4]</sup>。虽然这些水热因子不匹配或水热因子间的相互作用不甚清楚,但可以肯定其对植物的产量有较大的影响;由于参数模型公式中的参数没有全部实测,有时多因子的相互作用可能有促进作用,而本模型一律以限制计,从而导致误差偏大。

## 4 结论

通过比较发现,三个统计模型的模拟值均低于本地带顶极群落的实际生产力,而参数模型的值偏大。事实上,由于参数模型是基于鼎湖山所有观测数据的前提下经修正而成的,因而其可能是更准确的,从这个角度看,鼎湖山季风常绿阔叶林生产力虽已较高,但仍有提高生产力的潜力,当然这也可能预示着该群落处于衰退期。

模拟值与实测值产生差距的原因可能是:一方面植物的产量受温度、降水量、太阳辐射、空气饱和差、风速、气压等气候因子和光合作用、营养元素的吸收和转移等生理因子的影响,另一方面还不清楚当几个因子发生相互作用时,究竟是模型本身还是模型的数学连接所导致。因此在预测本地带其它森林类型的生产潜力时可采用 Miami 模型、Thorntwaite memorial 模型和参数模型。

### 参 考 文 献

- 1 李博主编.当代生态学讲座.北京:科学出版社,1995,129~139
- 2 Mellilo, J M. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature*,1993,363:234~240
- 3 金昌杰等.长白山阔叶红松林生产潜力和评价研究.生态学报,1995,15(Suppl B):86~92
- 4 任海,鼎湖山森林生态系统的能量生态学研究.中国科学院华南植物研究所博士论文,1997
- 5 何金海等.鼎湖山自然保护区之土壤.热带亚热带森林生态系统研究,1982,1:25~37.
- 6 张秉刚等.鼎湖山自然保护区不同林型下土壤的贮水量.热带亚热带森林生态系统研究,1989,5:1~6
- 7 吴厚水等.鼎湖山自然地理特征及其动态分析.热带亚热带森林生态系统研究,1982,1:1~10
- 8 张祝平.鼎湖山森林群落的光能利用效率.植物生态学与地植物学学报,1990,14(2):139~150
- 9 任海等.鼎湖山季风常绿阔叶林冠层结构与辐射研究.生态学报,1996,16(2):57~63
- 10 侯庸等.粤西及相邻地区太阳总辐射射、光合有效辐射和光量子通量时空分布,生态科学,1995,10~14
- 11 张祝平.鼎湖山厚壳桂群落光合特性的研究.热带亚热带森林生态系统研究,1989,5:37~44
- 12 李世奎.中国农业气候资源和农业气候区划.北京:科学出版社,1988,30~35
- 13 潘瑞炽等.植物生理学.北京:高等教育出版社,1983,100~150
- 14 任海等.中国科学院鹤山丘陵综合试验站的能量生态研究.资源生态环境网络研究动态,1993,20~25
- 15 Leith, H F H. Modeling the primary productivity of the world. *Nature and resources*,1972,8(2):5~10
- 16 Uchijma, Z. Chikugo model for evaluating primary productivity. *Jour. of Agri. Meteo.* 1985,40:343~352
- 17 彭少麟等.鼎湖山地带性植被生物量、生产力和光能利用效率.中国科学(B辑),1994,24(5):497~502
- 18 陈章和.黑石顶自然保护区南亚热带常绿阔叶林生物量与生产量研究.中山大学博士论文,1991

# An Estimation of Potential Productivity of the Monsoon Evergreen Broad-leaved Forest in Dinghushan Biosphere Reserve

*Ren Hai Peng Shaolin*

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650)

**ABSTRACT** The values of potential productivity of the monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan are calculated by Parameter model, Miami model, Thornthwaite memorial model and Chikugo model. The values of the models are 28.297, 23.16 (Miami model, on the basis of air temperature), 20.91 (Miami model, on the basis of precipitation), 19.27 and  $17.10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , respectively. The real productivity of the forest is  $23.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . All above results show that the calculating values are close to the real productivity. Especially, the estimated values of Parameter model, Miami model and Thornthwaite memorial model are basically in keeping with the real productivity of the forest. In addition, the error of models are discussed. It is possible to increase the productivity by proper management and measures.

**Key words** Parameter model, Miami model, Thornthwaite memorial model, Chikugo model, Potential productivity, Monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan.