

# 广东鼎湖山自然保护区森林景观的动态模拟研究

彭月, 魏虹\*, 朱韦, 王永健

(西南大学 生命科学学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

**摘要:** 在遥感和 GIS 系统支持下, 以 1991 年和 1999 年两个时期的 Landsat-TM 合成影像为基础, 利用马尔科夫模型, 模拟鼎湖山自然保护区森林景观的动态演变。结果表明: 常绿阔叶林面积增加, 除水域外, 其它面积相应减少, 到达稳定期, 区域内大多为常绿阔叶林, 少量的混交林, 其它类型几乎消失。这个趋势是和该地区森林的演替规律相符的, 但是这种结果对维持保护区内的景观多样性是不利的。

**关键词:** 马尔科夫模型; 鼎湖山自然保护区; 森林景观; 动态演变

**中图分类号:** Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2007)02-0186-05

## The application of the Markov model on the dynamic change of landscape pattern in Dinghu Mountain Biosphere Reserve Area

PENG Yue, WEI Hong\*, ZHU Wei, WANG Yong-Jian

(Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, School of Life Sciences, Southwest China University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Based on remote sensing data in 1991 and 1999, forest landscape dynamics of Dinghu Natural Reserve has been simulated in Markov process. The results show that: broad-leaved forest area increases and other landscapes decrease except water area, the whole natural reserve is ultimately covered by broad-leaved forests when coming to stable state, which reflects the trend of community succession but adverse to maintain the landscape diversity.

**Key words:** Markov process; Dinghu Mountain Biosphere Reserve Area; forest landscape; dynamic evolvement

森林是地球上最重要的生态系统之一, 对自然生态系统和人类社会有巨大贡献。进入 20 世纪以来, 由于科技的发展、生产力的提高、人口的增长以及人们对自然资源近乎于疯狂的开发掠夺, 全球的森林景观发生了根本的变化。鼎湖山自然保护区是中国最早建立的国家级自然保护区, 是中国华南地区仅存的一片低地常绿阔叶林的活标本。但是随着自身的演替以及区域经济的发展(林植芳等, 1997), 森林景观发生了一定的变化。本文利用马尔科夫模型对鼎湖山自然保护区森林景观进行动态模拟和预测, 定量地分析其变化特点, 检验自然保护区的保护

成果, 以期更好地对保护区进行长远规划。

### 1 研究区概况

鼎湖山(112°34' E, 23°10' N)位于广东省肇庆市境内, 自然保护区面积 1 100 多  $\text{hm}^2$ 。本区大部分面积是丘陵和低山, 海拔 100~700 m, 最高峰鸡笼山海拔 1 000.3 m。保护区地处亚热带湿润季风型气候区, 年均气温 21 °C, 年均降雨量 1 927 mm, 年蒸发量 1 695 mm, 年均相对湿度 80%。土壤为发育于砂岩母质上的赤红壤, 土层薄。1956 年, 中

收稿日期: 2005-12-09 修回日期: 2006-05-14

基金项目: 中国博士后科学基金(2003033483)[Supported by China Postdoctoral Science Foundation(2003033483)]

作者简介: 彭月(1978-), 男(土家族), 湖南人, 硕士研究生, 从事应用生态学研究。

\* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: mail: weihong@swu.edu.cn)

国政府把鼎湖山林地划为天然森林禁伐区。保护区内有植物 2 400 多种,其中包括 1 843 种野生高等植物。本文研究的 4 种植被类型为常绿阔叶林、针阔叶混交林、针叶林和灌丛。

## 2 研究方法

### 2.1 研究区遥感影像分类及森林景观类型图的制作

本研究利用了研究区 1991 年、1999 年两期 Landsat-TM 影像数据对森林景观的变化进行模拟和预测。首先对遥感影像进行了大气校正和地理校正。利用遥感图像处理软件 Erdas 进行优化叠代非监督式分类,并将影像数据从图像空间转换到投影空间(UTM/Clarke 1866)完成几何纠正。为了提高分类的精度,结合已校正的影像数据以及前人和当地科研工作者的研究成果。研究区景观分为 7 类:常绿阔叶林、针叶林、针阔混交林、灌丛、林地、非林地和水域。

通过 Arcview 后期处理,得到 1991 年和 1999 年两个时期的鼎湖山自然保护区森林景观类型图(图 1),并利用统计模块,得到两个时期森林景观面积和转化情况,用于构置转移矩阵。

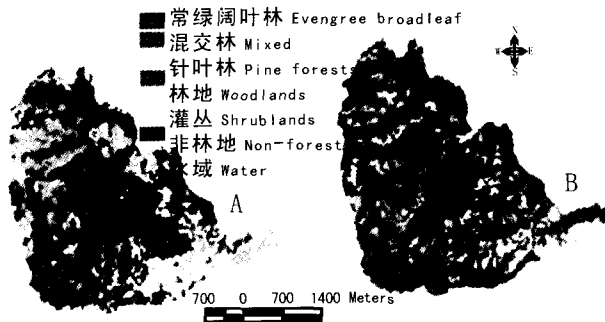


图1 1991年和1999年鼎湖山自然保护区森林景观类型图  
Fig. 1 Forest landscape types of Dinghu Mountain Reserve in 1991 (A) and 1999 (B)

### 2.2 马尔科夫模型

马尔科夫过程是一种特殊的随机运动过程。它将研究对象看作是一个独立的系统,一个运动系统在 T+1 时刻的状态和 T 时刻的状态有关,而和以前的状态无关。这对研究自然保护区森林景观动态演变较为合适,因为在一定条件下,动态演变具有马尔科夫过程的性质:(1)一定区域内,不同景观类型具有相互转化的可能。(2)各类型之间的转化过程有一些难以用函数关系准确描述的事件(李德成等,1995)。

## 3 结果与分析

### 3.1 森林景观类型的分布

图 1 为 1991 年和 1999 年两个时期的鼎湖山自然保护区森林景观类型图。利用 Arcview 统计模块,得到了两个时期森林景观面积和转化情况(图 2、表 1)。

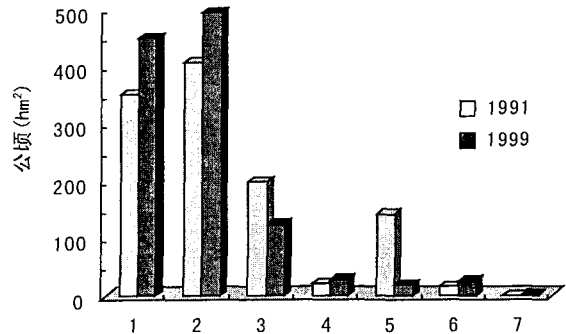


图 2 1991 年与 1999 年景观类型数量  
Fig. 2 The landscape types number of 1991 and 1999  
1. 常绿阔叶林 Evergreen broadleaf; 2. 混交林 Mixed; 3. 针叶林 Pine forests; 4. 林地 Woodlands; 5. 灌丛 Shrublands; 6. 非林地 Non-forests; 7. 水域 Water。(下同)

### 3.2 转移概率矩阵的确定

利用马尔科夫模型模拟和预测的关键是要确定初始转移概率矩阵。在本研究中,因为年际间的转化并不很明显,所以本研究中以 9 年(1991~1999 年)为一个步长,把景观变化分成了一系列离散过程。首先计算单位平均转化率。1991 年到 1999 年各景观类型平均单位转化面积占原来该景观类型面积的百分比。如:首行为常绿阔叶林景观转移率,第二行为针叶混交林景观转移概率,以此类推,建立初始转移概率矩阵。数学表达式为:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{pmatrix}$$

在鼎湖山保护区里,道路、居民点等不是很多,为了便于计算,在分类时,将道路、房屋等统一到非林地里,其它水体分到水域类中。最后以 1991 年到 1999 年为时间段,确定初始转移矩阵(表 2)。

### 3.3 景观动态的模拟和预测

根据马尔科夫模型理论,可以利用已知的初始状态矩阵,模拟出初始年后若干年后的景观类型面

积,或者是该景观类型占原总面积的百分比。因本研究选择以每9年作为一个单位,可模拟出初始年后9的倍数年份的值。又根据公式:

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=0}^{n-1} P_{ik} P_{kj}^{(n-1)} = \sum_{k=0}^{n-1} P_{ik}^{(n-1)} P_{kj}$$

计算得到第n期的转移概率。在本研究中,以面积

百分比作为初始状态矩阵A0,以1991年各景观类型占总面积的百分比来表示(图3);另又有等式: $P^t = P * P^{t-1}$ 。其中, $P^t$ 为t时期的状态矩阵,P为由t-1期向t时期转化的转化概率, $P^{t-1}$ 为t-1时期的状态转移矩阵。

表1 1991~1999年鼎湖山风景区森林景观类型转化情况 (hm<sup>2</sup>/9年)

Table 1 The area change of forest landscape types in Dinghu Mountain Biosphere Reserve Area from 1991 to 1999

1991	1999							
	常绿阔叶林 Evergreen broadleaf	混交林 Mixed	针叶林 Pine forests	林地 Woodlands	灌丛 Shrublands	非林地 Non- forests	水域 Water	合计 Total
常绿阔叶林 Evergreen broadleaf	329.220 0	20.002 5	1.732 5	0.270 0	0.180 0	0.000 0	0.000 0	351.405 0
混交林 Mixed	66.645 0	287.347 5	45.135 0	1.620 0	3.330 0	1.710 0	0.450 0	406.237 5
针叶林 Pine forests	35.775 0	100.282 5	35.370 0	9.585 0	5.715 0	11.655 0	0.090 0	198.472 5
林地 Woodlands	1.192 5	11.385 0	7.267 5	0.000 0	0.000 0	0.360 0	0.000 0	20.205 0
灌丛 Shrublands	14.017 5	67.162 5	31.320 0	14.895 0	6.952 5	7.200 0	0.900 0	142.447 5
非林地 Non-forests	0.900 0	5.220 0	3.555 0	0.990 0	1.732 5	4.072 5	0.000 0	16.470 0
水域 Water	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
合计 Total	447.750 0	491.400 0	124.380 0	27.360 0	17.910 0	24.997 5	1.440 0	1135.237 5

表2 初始状态下森林景观类型转移概率矩阵 (A<sub>t=0</sub>)

Table 2 The transferred rates of forest landscape types in the beginning state

1991	1999						
	常绿阔叶林 Evergreen broadleaf	混交林 Mixed	针叶林 Pine forests	林地 Woodlands	灌丛 Shrublands	非林地 Non-forests	水域 Water
常绿阔叶林 Evergreen broadleaf	0.936 9	0.056 9	0.004 9	0.000 8	0.000 5	0.000 0	0.000 0
混交林 Mixed	0.164 1	0.707 3	0.111 1	0.004 0	0.008 2	0.004 2	0.001 1
针叶林 Pine forests	0.180 3	0.505 3	0.178 2	0.048 3	0.028 8	0.058 7	0.000 4
林地 Woodlands	0.059 0	0.563 5	0.359 7	0.000 0	0.000 0	0.017 8	0.000 0
灌丛 Shrublands	0.098 4	0.471 5	0.219 9	0.104 6	0.048 8	0.050 5	0.006 3
非林地 Non-forests	0.054 6	0.316 9	0.215 8	0.060 1	0.105 2	0.247 3	0.000 0
水域 Water	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

A <sub>t=0</sub> =	30.95	=	常绿阔叶林 Evergreen broadleaf
	35.78		混交林 Mixed
	17.48		针叶林 Pine forests
	1.78		林地 Woodlands
	12.55		灌丛 Shrublands
	1.45		非林地 Non-forests
	0.00		水域 Water

用初始状态矩阵,与第9n(n=1,2,3...)年的转移概率相乘,得到第9n年末的状态矩阵。在本研究中可以算出第9n年末的面积百分比。在实际中利用C语言编程得出1999到2047年间的景观类型所占面积百分比(表3)。

对于正则马尔科夫链模型,随着时间参数的延续,不管初始状态如何,最终会达到一个稳定状态(徐克学,2001)。LimPrsn = as = 0,1,...,(n-1)。

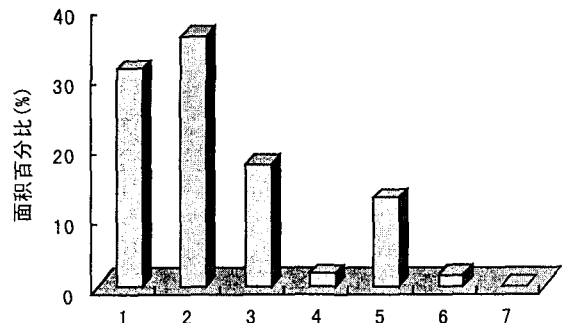


图3 初始状态矩阵

Fig. 3 The area proportion of forest landscape types at 1991

又根据向量随机性条件  $1 = \sum_{s=0}^{n-1} a_s$ , 根据初始概率矩阵得到稳定时期的概率矩阵(宁龙梅等,2004)。再

将初始状态矩阵与之结合,可以得到稳定状态下的状态矩阵(面积百分比)(表 3)。

#### 4 结论与讨论

比较 1991 年和 1999 年两期的数据,可以看到:在 9 年间,常绿阔叶林增加 96.345 hm<sup>2</sup>,针阔混交林增加 85.162 5 hm<sup>2</sup>,针叶林减少 74.092 5 hm<sup>2</sup>,林地增加 7.155 hm<sup>2</sup>,灌丛则减少 124.537 5 hm<sup>2</sup>,非林地增加 8.527 5 hm<sup>2</sup>,水域增加 1.44 hm<sup>2</sup>。在这期间,常绿阔叶林和混交林增加较明显,而灌丛则急剧减少。大面积灌草丛演变成常绿灌丛或常绿阔叶林,不仅发生在低海拔的亚热带常绿阔叶林区域,

海拔 600~900 m 的植被类型也发生着变化,原以桃金娘 (*Rhodomy rtustomentosa*)、岗松 (*Baechea frutescens*)、和芒萁 (*Dicranoperis dichotome*) 等为主的灌草丛,大部分已演变成以密花树 (*Rapanea neriifolia*)、大头茶 (*Gordonia axillaris*)、罗浮杜鹃 (*Rh. henryi*) 等为主的常绿灌丛,谷地及阴坡水湿条件较好的地段甚至已演变成以少叶黄杞 (*Engelhardtia fenzelii*)、短序润楠 (*Machilus breviflora*)、鸭脚木 (*Schefflera octophylla*)、密花树 (*Rapanea neriifolia*) 等为主的常绿阔叶林,说明随着时间推移,该地段将逐渐演变成山地常绿阔叶林(曹洪麟等,2001)。

从表 3 看出,未来景观类型的变化趋势,到

表 3 模拟和预测的各期景观类型比例  
Table 3 The area proportion of forest landscape types at the stable state

项目 Items	1999	2007	2015	2023	2031	2039	2047	A <sub>t=N</sub> (2350)
常绿阔叶林 Evergreen broadleaf	39.44	46.46	52.08	56.47	59.93	62.53	64.59	71.72
混交林 Mixed	43.29	41.19	37.67	34.46	31.86	29.81	28.20	22.68
针叶林 Pine forests	10.96	8.65	7.25	6.45	5.86	5.42	5.07	3.91
林地 Woodlands	2.41	1.03	0.82	0.70	0.63	0.56	0.53	0.40
灌丛 Shrublands	1.58	0.99	0.82	0.70	0.63	0.56	0.53	0.41
非林地 Non-forests	2.2	1.49	1.11	0.91	0.79	0.73	0.67	0.53
水域 Water	0.12	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.03

2047 年为止,常绿阔叶林增长了 63.77%,混交林、针叶林、灌丛、林地和非林地都表现为下降趋势,其中林地下降幅度最大,达到 78%,由于基数较大,所以针叶林下降的数量最大。这个趋势与彭少麟等(2002)研究 14 年间鼎湖山群落演替的结果相符。研究发现,自然保护区内的水域面积变化不大,主要以天湖水库和鼎湖为主。这种趋势反映了森林群落演替基本的规律,主要反映在研究区域的低海拔处,演替方向为:针叶林(马尾松林)——针阔混交林——季风常绿阔叶林(王伯荪等,1982)。大多数学者所认同的演替发展的变化趋势相同(黄建辉,1994)。这也从另一方面反映出研究区内的保护管理工作较有成效。

实际工作中发现,研究区内存在一些干扰。随着保护区内鼎湖山游客总量年变化(欧阳学军等,2002),保护区特别是开发区的大气硫酸盐化速率接近工业区水平,旅游区内一些植物叶片硫含量(荷木 1.84)达到工业区水平,水质也有超标和恶化趋势,与人类活动联系密切的指标更加突出。旅游区内公路沿线植物受到汽车尾气影响,重金属含量比非旅

游区高 20%~200%(张德强等,1998)。同时自然事件的干扰(主要指昆虫的影响)能引起环境的改变,从而改变森林群落的结构和组成(黄忠良等,1998)。可以发现干扰严重的区域集中在非核心区,所以并不会影响到整个区域的森林景观演替的大方向,但在一定程度上会延缓演替的进程。

如果按这样的趋势发展下去,到相对稳定时,自然保护区内绝大部分为常绿阔叶林,及少部分混交林,其它类型几乎消失。如:黄忠良等(2000)发现鼎湖山森林群落物种丰富度和多样性指数主要受灌木层和草本层的影响,灌木层和草本层的大量减少势必会影响到物种的多样性。也有研究表明,人类的干扰将降低植物的物种多样性,而保护将使物种多样性得到恢复和提高(黄忠良等,2000)。同时森林景观类型的减少,区内物种趋于单一,对开展生态旅游本身也是不利的。因此,为有效地保护生物多样性和景观从样性,可进一步通过科学管理(如严禁游人和附近居民采撷植物花果及捕猎野生动物)、合理开发(如停止发展超过生态环境容量的旅游规模和对环境影响较大的旅游项目)、生态环境保护等

措施达到保护生物资源的目的(李寒娥,1996)。

最后,马尔科夫链模型本身具有局限性(徐克学,2001)。(1)景观空间动态不是一个真正的马尔科夫过程,首先,斑块的变化不仅受其前一时间点上状态的影响,而且还同时受其相邻斑块性质和变化的影响。其次,斑块的转移概率通常随时间而变化。(2)这种简单的转移概率模型,没有包括人类经济活动因素。(3)忽略了景观动态的机制,而把复杂的变化和控制机制简化为一种概率,不能体现驱动景观变换的生态机理过程。所以我们进行研究的前提是不考虑其它一些人为,自然灾害等因素的影响,在随机条件下进行转化,最终出现上述的变化结果。

### 参考文献:

- 王伯荪,马曼杰. 1982. 鼎湖山自然保护区森林群落的演变 [C]//中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站. 热带亚热带森林生态系统研究(第1集). 广州:科学普及出版社广州分社:142-154
- 张德强,余清发,孔国辉,等. 1998. 旅游活动对鼎湖山生物圈保护区生态环境质量影响的研究[C]//热带亚热带森林生态系统研究(第8集). 北京:气象出版社:191-197
- 徐克学. 2001. 生物数学[M]. 北京:科学出版社:174
- 黄建辉. 1994. 生态系统内的物种多样性对稳定性的影响 [C]//钱迎倩,马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京:中国科学技术出版社:178-191
- 曹洪麟,黄忠良,张林艳,等. 2002. 鼎湖山自然保护区植被类型 [C]//中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站. 热带亚热带森林生态系统研究(第9集). 北京:中国环境科学出版社:1-9
- Huang ZL(黄忠良),Kong GH(孔国辉),Wei P(魏平). 1998. Plant species diversity dynamics in Dinghu Mountain forests(鼎湖山植物物种多样性动态)[J]. *Chinese Biodiversity*(生物多样性),6(2):116-121
- Huang ZL(黄忠良),Kong GH(孔国辉),He DQ(何道泉). 2000. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve(鼎湖山植物群落多样性的研究)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报),20(2):193-198
- Li DC(李德成),Xu BB(徐彬彬),Shi XZ(石晓日). 1995. Simulation and forecast of soil erosion development with Markov process—A case study in Yuexi, Anhui Province(利用马氏过程模拟和预测土壤侵蚀的动态演变——以安徽省岳西县为例)[J]. *J Remote Sensing*(遥感学报),10(2):89-96
- Li HE(李寒娥). 1996. Countermeasure of ecological environment problem caused by Tourism in Dinghu Mountain(鼎湖山旅游业生态环境问题的对策)[J]. *J Foshan Univ*(佛山大学学报),14(6):77-81
- Lin ZF(林植芳),liang C(梁春),Peng CL(彭长连),et al. 1997. Effect of human activity on  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios in tree rings of *Pinus assamiana* on Dinghushan. (鼎湖山地区人类活动对马尾松年轮 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 的影响)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报),17(2):124-132
- Ning LM(宁龙梅),Wang XL(王学雷),Hu WB(胡望斌). 2004. Simulation and forecast of wetland landscapes development with Markov process in Wuhan City(利用马尔科夫过程模拟和预测武汉市湿地景观的动态演变)[J]. *J Central China Normal Univ(Nat Sci)*(华中师范大学学报(自然科学版)),38(2):255-258
- Ouyang XJ(欧阳学军),Huang ZL(黄忠良),Zhou GY(周国逸),et al. 2002. An analysis on the characteristics of the ecotourism visitor flow to Dinhushan Biosphere Reserve(鼎湖山生物保护区生态旅游客流特征分析)[J]. *Trop Geography*(热带地理),22(2):142-146
- Peng SL(彭少麟),Li YL(李跃林),Yu H(余华),et al. 2002. Ecoanatomical study on leaf characteristics of dominant species in different succession stages of forest communities in Dinghushan(鼎湖山森林群落不同演替阶段优势种叶生态特征解剖)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报),10(1):1-8