

文章编号: 1000-5692(2004)03-0309-04

利用 Markov 过程预测安吉土地利用格局的变化

蒋文伟¹, 管宇², 刘彤³, 周国模², 沈振明⁴

(1. 浙江林学院 园林与艺术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 理学院, 浙江 临安 311300; 3. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 4. 浙江省临安市林业技术服务总站, 浙江 临安 311300)

摘要: 根据浙江安吉山区 2 个时期山地资源清查资料获得的土地利用类型数据, 成功地确定了土地利用类型的转移矩阵, 并用 Markov 链模型预测了该山区土地利用类型变化趋势。结果表明, 当前该区的土地利用格局正处在一种荒山、农田、居民点及水域逐渐减少, 林地、果园用地逐渐增加的变化状态, 而且这种变化将持续很长时间, 最后达到以山区林地 78.4% 为主体, 同时湿地在不断减少的新的土地利用格局。表 3 参 11

关键词: Markov 过程; 土地利用格局; 转移概率

中图分类号: S11⁺3; O211 **文献标识码:** A

人类对土地不同的利用方式的结果形成了不同的土地利用格局, 而土地利用格局能影响许多生态现象, 如动物的迁徙、地表水径流、土壤侵蚀、物种的多样性以及干扰的传播或边缘效应等^[1]。因此, 土地利用格局变化的研究是目前生态学研究的热点之一。人类土地的利用不仅反映了自然因素, 也反映了经济因素和社会因素。因此, 预测土地利用格局变化比预测自然植被变化要复杂得多^[2]。Markov 链模型已用于预测植被的演替^[3~5]和土地利用变化^[6~8], 但国内用它预测土地利用变化的研究尚少。为此, 文章利用 1985 年和 1998 年 2 个时期的资源调查资料, 分析了安吉山区土地利用格局变化, 并试图把转移矩阵^[9]和 Markov 过程用于土地利用格局的动态分析。

1 研究方法

1.1 研究地点及资料的收集

浙江安吉位于 30°52'~30°23'N, 119°53'~119°14'E, 面积 1 886 km², 地处浙江省北部, 地貌多样, 岩性复杂, 山地主要分布于西南部, 丘陵分布于中部和东部, 岗地分布于西北部, 平原为西苕溪干流和支流冲击而成的连片河谷地带。安吉属于北亚热带季风区, 气候温和, 雨水充沛, 光照充足, 中亚热带常绿阔叶林为典型的地带性植被。区内有红壤、黄壤、岩性土、潮土及水稻土等 5 种类型, 土壤肥力差异较大。由于人类活动的长期干扰, 土地利用发生了巨大变化。根据 1985 年和 1998 年山地资源调查的有关规定和所要研究的对象, 本文应用实例中划分为林地、果园、农田、荒山、水域和居民地等 6 种状态, 在样地选择上完全包含正常人为干扰的样地, 然后统计 2 次调查的各状态分布。

1.2 建立状态转移矩阵^[10]

收稿日期: 2004-02-09; 修回日期: 2004-05-27

基金项目: “十五”浙江省重点资助项目(011037); 浙江省教育厅高等学校青年教师基金资助项目(2003)

作者简介: 蒋文伟(1963-), 男, 浙江宁波人, 副教授, 博士, 从事景观生态学和植物生理生态学研究。E-mail: jiangwengwei@sohu.com

将2次调查的各状态分布除以第1次调查的样地总数, 即得状态转移概率矩阵, 可表示为(状态: $i \rightarrow j$ 的转移概率记为 p_{ij}):

$$P = \begin{matrix} & \text{状态} & 0 & 1 & 2 & \cdots & m-1 \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ \cdots \\ m-1 \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} p_{00} & p_{01} & p_{02} & \cdots & p_{0(m-1)} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1(m-1)} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2(m-1)} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{(m-1)0} & p_{(m-1)1} & p_{(m-1)2} & \cdots & p_{(m-1)(m-1)} \end{array} \right] & \end{matrix} .$$

1.3 预测模型的建立^[11]

根据 Markov 随机过程理论, 第 n 分期的转移概率为:

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

其中: $p_{ij}^{(n)}$ 为第 n 分期状态: $i \rightarrow j$ 的转移概率, $p_{ij}^{(0)} = p_{ij}$, $i = 0, 1, 2, \dots, m-1, j = 0, 1, 2, \dots, m-1, n = 0, 1, 2, \dots$.

设第 n 分期的转移概率矩阵形式: $P^{(n)} = [p_{ij}^{(n)}]_{(m-1)(m-1)}$, 则 $P^{(n)} = P^{(n-1)} P = P^n$.

记 $A^{(n)}$ 为第 n 分期 ($n = 0, 1, 2, \dots$) 面积占有率矩阵, 其中 $A^{(0)}$ 表示初始面积占有率矩阵。第 n 分期 ($n = 0, 1, 2, L$) 面积占有率矩阵公式:

$$A^{(n)} = A^{(n-1)} P^{(1)} = A^{(0)} P^{(n)} = A^{(0)} P^n.$$

1.4 稳定状态预测

如果随机过程的概率分布及数字特征均与时间无关, 随机过程就成为平稳过程, 其状态就为稳定状态, 这时的转移概率称稳定(或恒定)状态概率, 也是各状态的最终占有率。根据 Markov 链的极限性质, 即当 $n \rightarrow \infty$, $P^{(n)}$ 趋近于惟一的极限矩阵 A , 其中所有各行均为 $a_s = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{m-1})$, 即 $\lim_{n \rightarrow \infty} p_{is}^{(n)} = a_s$ 。式中 a_s 同时满足下列条件:

$$a_s = \sum_{r=0}^{m-1} a_r p_{rs}, \quad \sum_{r=0}^{m-1} a_r = 1, \quad a_s \geq 0.$$

因此可求解下列方程组得到稳定状态时各状态的占有率:

$$\left\{ \begin{array}{l} (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{m-1}) \left[\begin{array}{cccccc} p_{00} & p_{01} & p_{02} & \cdots & p_{0(m-1)} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1(m-1)} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2(m-1)} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{(m-1)0} & p_{(m-1)1} & p_{(m-1)2} & \cdots & p_{(m-1)(m-1)} \end{array} \right] = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{m-1}). \\ a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_{m-1} = 1 \end{array} \right.$$

2 应用实例

根据 1985 年安吉县山区 775 块固定样地山地资源清查资料(表 1), 以 1985~1998 年时间段为例

来确定预测模型, 按目前的发展趋势预测各土地类型在稳定状态时的面积占有率。

表 1 1985 年安吉山区景观要素面积

Table 1 Area of landscape elements in Anji district in 1985

景观要素	面积/hm ²	占地比例/%	景观要素	面积/hm ²	占地比例/%
林地	107 148.00	56.60	水域	9 448.97	5.00
果园	5 231.42	2.80	居民地	10 570.90	5.60
农田	36 232.30	19.10	合计	189 378.20	100
荒山	20 714.27	10.90			

2.1 转移概率矩阵的构建及预测结果计算

Markov 过程是一种特殊的随机运动过程。一个运动系统在 $t+1$ 时刻的状态和 t 时刻的状态有关, 而与以前的状态无关。这点用于土地利用格局变化是合适的。成功地应用 Markov 链模型的关键在于转移概率的确定。把安吉山区 2 个历史时期分成几个时间段, 再以年为单位, 把土地利用变化分成一系列的离散演化状态, 从一个状态到另一个状态的转化速率, 即为转移概率。转移概率矩阵 $P^{(1)}$ 是由表 2 中各栏地类变动数除以 1985 年调查时各状态的样地总数得出的结果。由此可知, 发生转换的样地总数达到 166 个, 景观要素类型变化率达 39.50%。

从 1985 年至 1998 年近 15 a 时间, 安吉山区景观格局发生了较大的变化, 表现最为明显的是荒山景观类型, 15 a 中共有 53 块样地转化为其他景观类型。其中 2 块被开垦为农田, 平均转化速率为 0.26%; 有 43 块荒山变为林地, 平均转化速率为 5.55%; 有 7 块荒山变为果园, 平均转化速率为 0.90%; 有 1 块变为居民地, 平均转化速率为 0.13%。值得注意的是, 农田和居民地相互之间转化速率较高并几乎相等, 分别为 1.03% 和 1.29%,

表 2 安吉地区景观要素类型转移个数及所占比例

Table 2 Transitional numbers and proportion of landscape elements in Anji district

项目	林地	果园	农田	荒山	水域	居民地	合计
林地	399 (95.00)	8 (1.90)	10 (2.40)	0 (0.00)	0 (0.70)	3 (0.70)	420 (100)
果园	18 (36.00)	27 (54.00)	3 (6.00)	0 (0.00)	1 (2.00)	1 (2.00)	50 (100)
农田	23 (12.30)	9 (4.8)	143 (76.50)	0 (0.00)	4 (2.14)	8 (4.26)	187 (100)
荒山	43 (69.40)	7 (11.30)	2 (3.20)	9 (14.50)	0 (0.00)	1 (1.60)	62 (100)
水域	2 (8.30)	1 (4.20)	4 (16.70)	0 (0.00)	17 (70.80)	0 (0.00)	24 (100)
居民地	7 (21.90)	0 (0.00)	10 (31.20)	0 (0.00)	1 (3.10)	14 (43.80)	32 (100)

说明: 括号内为所占百分率

说明人类对山区景观结构的干扰是频繁和持续性的。因此, 要积极制定林业产业方向, 保持本地区经济的可持续发展。

2.2 稳定状态预测

以 1985 年安吉地区景观要素面积中各山区景观类型的面积比例 (表 1) 作为初始状态, 分别为 1985 ~ 1998 年 (表 2) 的山区景观类型转移矩阵为原始数据, 求算当 $t \rightarrow \infty$ 时, 各山区景观类型的稳定概率。Markov 模型模拟的结果见表 3。

表 3 安吉地区景观要素类型分步转移状态

Table 3 Transitional state in step of landscape element types in Anji district

状态	1	2	3	4	5	6
0	0.566 000	0.028 000	0.191 000	0.109 000	0.050 000	0.056 000
1	0.663 333	0.052 005	0.184 395	0.002 292	0.025 859	0.031 060
2	0.694 389	0.052 005	0.184 395	0.002 292	0.035 859	0.031 060
3	0.712 441	0.051 892	0.176 600	0.000 332	0.031 337	0.027 397
4	0.726 053	0.051 389	0.169 103	0.000 048	0.027 853	0.025 553
5	0.736 992	0.050 837	0.162 498	0.000 007	0.025 159	0.024 507
6	0.745 891	0.050 312	0.156 897	0.000 001	0.023 066	0.023 832
7	0.753 142	0.049 841	0.152 234	0	0.021 434	0.023 350
...
35	0.784 350	0.047 690	0.131 450	0	0.015 080	0.021 430

最终平衡转移概率及所占占地面积: 状态 1 为 0.784

35, 林地占地面积 148 538.9 hm²; 状态 2 为 0.047 69, 果园占地面积 9 031.5 hm²; 状态 3 为 0.131 45, 农田占地面积 24 893.8 hm²; 状态 4 为 0, 荒山占地面积 0 hm²; 状态 5 为 0.015 08, 水域占地面积 2 855.8 hm²; 状态 6 为 0.021 43, 居民地占地面积 4 058.4 hm²。

3 结论与建议

研究结果可知, 安吉地区的土地利用格局正处在一种变化状态, 荒山、农田、居民地及水域在逐渐减少, 而林地、果园用地逐渐增加, 而且这种变化将持续很长时间, 但最后达到一个相对稳定的状态。这预示着安吉地区最终将形成以山区林地为主体, 境域湿地减少的新的土地利用格局。

利用 Markov 模型拟合受自然力和人类活动下的森林景观类型转移, 可以预测未来安吉山区景观格局的变化趋势, 这将为今后境域湿地保护, 山区土地资源合理利用、管理和使用提供有力工具, 同时也为宏观决策提供科学依据。

参考文献:

- [1] 蒋文伟, 姜志林, 周国模. 浙江山区景观格局的应用研究[J]. 南京林业大学学报, 2002, 26(2): 59-62.
- [2] 蒋文伟, 姜志林, 刘安兴, 等. 浙江安吉山区森林景观空间格局动态分析[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(2): 150-153.
- [3] 陈建忠, 周世勇, 徐福余. Markov 过程在森林资源结构动态预测中的应用[J]. 应用生态学报, 1994, 5(3): 232-236.
- [4] 余树全. 浙江淳安天然次生林演替的定量研究[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 17-22.
- [5] Houghton D, Lefkowitz S, Skole D L. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985: progressive loss of forests [J]. *For Ecol Manage*, 1991, 38: 143-172.
- [6] 毛显强, 杨居荣. 模糊向量—Markov 转移矩阵法在生态影响评价中的应用[J]. 生态学杂志, 1995, 14(5): 70-74.
- [7] 李锋, 孙司衡. 景观生态学在荒漠化监测与评价中应用的初步研究[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 481-485.
- [8] Turner M G. A spatial simulation model of land use change in a Piedmont County in Georgia [J]. *App Math Comput*, 1988, 27: 39-51.
- [9] 管宇. 条件概率矩阵和信道理论及 Markov 链[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(4): 430-435.
- [10] Lippe E J, De Smidt T, Glenn-Lewin D C. Markov models and succession: A test from a heathland in the Netherlands [J]. *J Ecol*, 73: 775-791.
- [11] Van Hulst R. On the dynamics of vegetation: Markov chains as models of succession [J]. *Vegetation*, 40: 3-14.

Forecast of land use pattern change in Anji County of Zhejiang: an application of Markov process

JIANG Wen-wei¹, GUAN Yu², LIU Tong³, ZHOU Guo-mo², SHEN Zhen-ming⁴

(1. School of Landscape Architecture and Art, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Science, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 4. General Station of Forest Science and Technology, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Based on the data obtained from fixed plots for continuously surveying mountainous resources during two different periods, the transition probability of land use pattern in Anji district of Zhejiang was defined, and the tendency of its change was forecasted with application of Markov process. The results show that over a long period of time, the barren mountain area, the arable land area, water area and the area occupied by residence will be decreased gradually and forest land area and orchard area will be increased day by day. Finally, the land use pattern will be lied in a stable state. At that time, a new land pattern will be formed by dominance of forest land area of 78.4% while wet land areas decrease more than ever. [Ch, 3 tab. 11 ref.]

Key words: Markov process; land use pattern; transition probability