

利用马尔柯夫模型预测成都平原土地利用格局变化

——以成都市龙泉驿区为例

王佑汉, 何毓成, 赵宏达, 任茜

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川成都610041; 2. 成都科地国土资源与环境研究所, 四川成都610041)

摘要 以龙泉驿区为例, 基于GIS软件建立1996和2004年土地利用现状数据, 在分析1996~2004土地利用变化状况的基础上, 运用马尔柯夫模型预测龙泉驿区未来50年土地利用变化。研究表明: 园地、林地、其他农用地、居民点及工矿用地、水利设施用地的面积比例将持续增大; 园地、其他农用地、居民点及工矿用地在变化过程中会出现极大值, 极大值以后面积比例开始下降, 最终达到稳定状态; 耕地的面积比例会逐步减少, 交通用地的集约化程度会进一步加强, 未来相当长的时间内对未利用地的开发复垦力度也会加大; 运用马尔柯夫模型对区域土地利用变化的预测, 在对模型进行独立假设检验的基础上, 发现区域土地利用变化符合马尔柯夫链。

关键词 马尔柯夫模型; 土地利用变化; 预测趋势; 成都平原

中图分类号 F301.24 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)15-04580-03

Prediction of the Land-using Pattern Change in Chengdu Plain with Markov's Model

WANG You-han et al. (Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, Sichuan 610041)

Abstract With Longquanyi district as an example, data base of land using from 1996 and 2004 was established based on the software GIS. Through the analysis on the characteristics of land-using change based on the data base, the land-using change of Longquanyi district in the forthcoming 50 years was predicted with Markov's Models, and we found that the acreages of garden plot, woodland, agro-land, residential and industrial land, irrigation-land would increase continuously. And what's more, the acreages of garden plot, agro-land, residential and industrial land would gain its peak and then decrease to stable state. The acreage of plantation would be diminishing and the degree of intensification in traffic-land would be enhanced. The extent of exploitation towards non-utilized land would be intensified as well in a long run. Using the Markov's Models to predict the land-using change, we found that it fitted the Markov's Models by terms of independent hypothesis testing to the model.

Key words Markov's Model; Land-using change; Trend of prediction; Chengdu plain

土地利用是人类根据土地的特点, 按一定的经济和社会目的, 采取一系列生物和技术手段, 对土地进行长期性或周期性的经营活动^[1]。综合分析区域土地利用变化, 其呈现出无序的特点, 对区域土地利用变化的预测难以实现。马尔柯夫链是一种重要的随机过程, 他研究的是某一事件的状态及状态之间转移规律理论的随机过程^[2]。土地利用格局变化适合马尔柯夫过程^[3]。运用马尔柯夫模型预测区域土地利用变化, 不仅可以揭示区域土地利用的数量变化, 而且可以用于区域土地利用变化预测研究, 有利于推动马尔柯夫模型在土地利用景观格局变化研究中的运用。

1 研究区概况

龙泉驿区属于成都市辖区, 地处成都中心城市与市域东部的龙泉山之间, 平原和丘陵、低山各半。2004年全区总人口52.51万人。其中, 农业人口37.62万人, 集中分布在平坝和低丘地区, 平均人口密度941人/km²。全区物产丰富、农业发达, 2004年第一产业贡献GDP 14.41亿元, 是“天府之国”的重要组成部分, 全国著名的水果之乡。近年来, 龙泉驿区工业化与城市化发展迅速, 2004年第二、三产业GDP分别达到40.62亿和34.92亿元, 人均GDP已达17130元。

2 研究方法及数据处理

数据源于龙泉驿区土地利用现状数据库, 土地利用数据库是1996和2004年末的土地利用现状数据。1996年土地利用现状库以1996年土地利用详查图作为工作底图, 经过内业的图形扫描、图形影像处理、影像分格网纠正、影像坐标定位、影像要素矢量化、数据节点检查及拓扑关系构建、图形结构分层、对图形要素赋属性值等步骤建立1996年土地利用现状

数据库(建库流程见图1)。龙泉驿区2004年土地利用现状库是在2003年土地利用现状库的基础上变更得到的。在此过程中主要是经过实地调绘后, 在科地(KD)土地详查信息系统软件支撑下完成。龙泉驿区2003年土地利用现状库由美国“快鸟”卫星影像人工目视解译后, 经实地调绘纠正, 依据建库标准在相关软件支撑下建立。

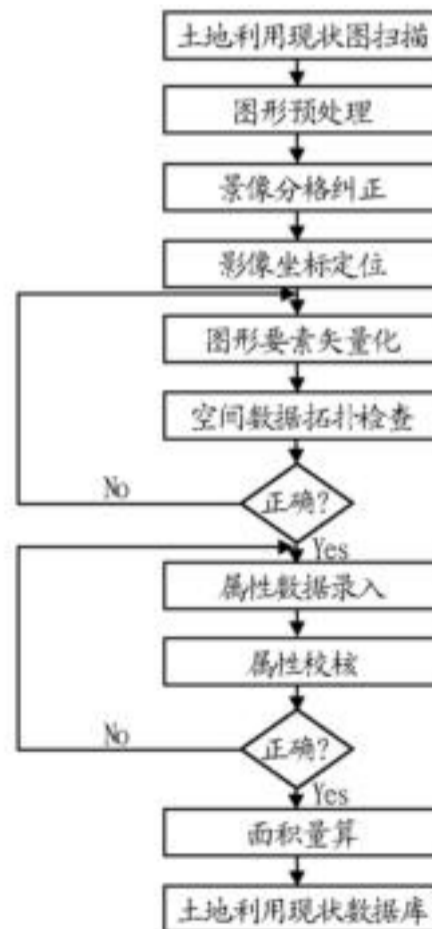


图1 土地利用现状库建库流程

上述现状库采用 Mapinfo 6.5 进行拓扑分析检查, 运算结果符合建库要求。具体见土地利用现状图2、3。

在上述土地利用现状库的基础上, 利用 ArcGIS 软件中的 ArcMap 模块, 对1996和2004年土地利用图进行空间叠加分析, 获取土地利用变化的数据(结果见表1)。

基金项目 国家自然科学基金项目(30470297)。
 作者简介 王佑汉(1982-), 男, 四川仪陇人, 硕士研究生, 研究方向: 城市地理、区域可持续发展和土地利用。
 收稿日期 2007-02-10

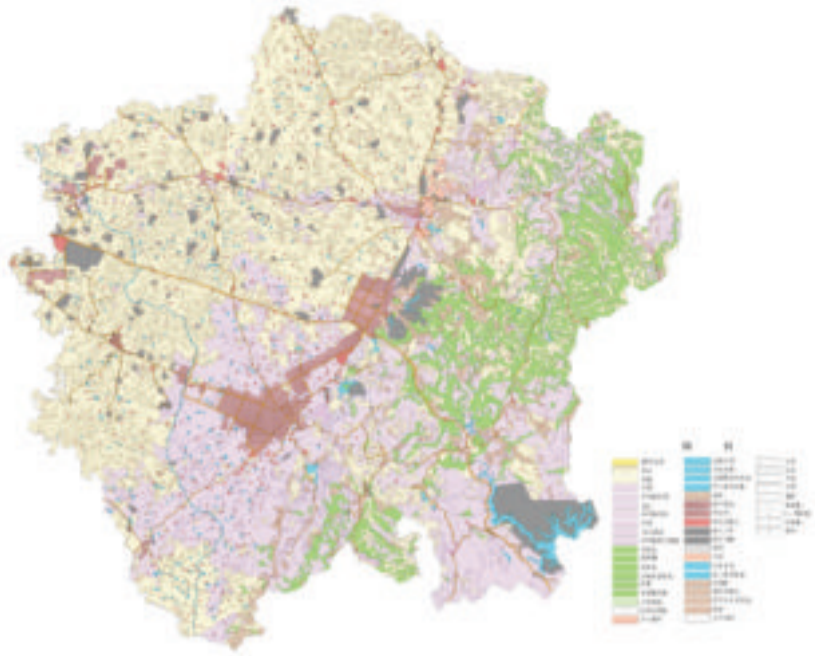


图2 1996 年土地利用现状图



图3 2004 年土地利用现状图

3 马尔柯夫过程

马尔柯夫过程是指具有“无后效性”的特殊随机过程,即

某随机过程在 $t + 1$ 时刻的状态只与 t 时刻的状态有关,而

表1

1996、2004 年龙泉驿区土地利用转移频数

hm²

项目	耕地	园地	林地	其他农用地	居民点及工矿用地	交通用地	水利设施用地	未利用地	1996 年
耕地	7 224.82	11 158.82	1 185.10	2 343.40	3 448.81	524.3	111.88	213.26	26 210.48
园地	625.62	10 438.47	1 594.76	624.55	1 795.92	152.67	58.81	105.69	15 396.49
林地	359.51	1 992.90	3 464.93	131.61	140.57	24.31	1.88	64.42	6 180.13
其他农用地	24.93	102.22	1.42	177.76	36.26	6.26	9.62	0.03	358.50
居民点及工矿用地	246.67	1 314.60	466.00	132.53	2 732.26	68.70	70.09	32.30	5 063.15
交通用地	101.11	193.88	0	61.02	459.07	124.84	4.02	1.70	945.63
水利设施用地	20.09	59.11	12.23	3.42	17.66	2.71	230.12	14.60	359.93
未利用地	69.44	726.65	950.66	33.38	27.83	4.36	2.57	29.48	1 844.38
2004 年	8 672.18	25 986.65	7 675.10	3 507.68	8 658.36	908.24	489.00	461.47	56 358.68

与以前各时刻的状态无关的性质^[4]。这一点用于土地利用变化格局研究是合适的。其表达式为:

$$A(t+1) = A(t) P_{ij}^n \quad (1)$$

式中, $A(t+1)$ 为景观在 $t+1$ 时刻的状态,称为期末状态向量; $A(t)$ 为土地利用类型在 t 时刻状态,称为期初状态向量; P_{ij} 为转移概率矩阵。设 t 到 $t+1$ 时刻土地利用类型 i 转变为土地利用类型 j 的转移概率矩阵为^[5]:

$$P_{ij} = \begin{matrix} P_{11} & \dots & P_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & \dots & P_{mm} \end{matrix} \quad (2)$$

系统从 t 时刻到 $t+1$ 时刻,状态 E_i 转移为 E_j 的频数 N_{ij} 与 E_i 状态频数的和 N_i 之比,则为其转移概率:

$$P_{ij} = N_{ij} / \sum_{j=1}^m N_{ij} \quad (3)$$

式中, m, n 为景观类型个数,假定在动态过程中保持不变,且: $0 \leq P_{ij} \leq 1 (i, j = 1, 2, \dots, m); \sum_{j=1}^m P_{ij} = 1$ 。

4 马尔柯夫稳定状态预测

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,这时的转移概率称为稳定状态转移概率,也是各状态的最终占有率。根据马尔柯夫链的极限性质,当 $n \rightarrow \infty$ 时, P_n 趋于唯一的极限矩阵 A ,即^[6]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{rs}^{(n)} = a_s, a_s \geq 0, s = (0, 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$a_s = \sum_{r=0}^{m-1} a_r P_{rs} \quad (5)$$

稳定状态下的转移矩阵概率 a_s 之值,也可附加条件:

$\sum_{s=0}^{n-1} a_s = 1$, 直接由初始状态下的转移概率矩阵求出,马尔柯夫过程稳定状态方程组如下:

$$\begin{matrix} a_s = \sum_{r=0}^{m-1} a_r P_{rs} \\ \sum_{s=0}^{n-1} a_s = 1 \end{matrix} \quad (6)$$

5 马尔柯夫独立假设检验

运用马尔柯夫理论,首先要判定转移概率矩阵是否具有马尔柯夫链性质,需要从统计上进行假设检验。通常用统计量来检验这种假设^[7]:

$$-2 \ln L = 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n n_{ij} \ln(P_{ij}/P_j) \quad (7)$$

$$P_j = \sum_{i=1}^n n_{ij} / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n n_{ij} \quad (8)$$

$-2 \ln L$ 近似于 $(m-1)^2$ 自由度的 χ^2 分布; n_{ij} 为注意频数; P_j 为转移概率。若 $-2 \ln L$ 所计算出的数值大于根据自由度 $(m-1)^2$ 适当选取置信度下 χ^2 分布表中所列数值,则该假设不成立,说明所研究的事物状态具有马尔柯夫链性质。

6 基于马尔柯夫模型的土地利用变化预测

在上述马尔柯夫模型理论的指导下,由1996、2004 年龙泉驿区土地利用转移频数表(表1),根据公式(2)和(3)计算1996、2004 年土地利用变化的初始状态转移概率矩阵(表2)。

表2 1996-2004年龙泉驿区土地利用格局变化转移概率矩阵(n=1)

土地利用类型	耕地	园地	林地	其他农用地	居民点及工矿用地	交通用地	水利设施用地	未利用地
耕地	0.275 6	0.425 7	0.045 2	0.089 4	0.131 6	0.020 0	0.004 3	0.008 1
园地	0.040 6	0.678 0	0.103 6	0.040 6	0.116 6	0.009 9	0.003 8	0.006 9
林地	0.058 2	0.322 5	0.560 7	0.021 3	0.022 7	0.003 9	0.000 3	0.010 4
其他农用地	0.069 5	0.285 1	0.004 0	0.495 9	0.101 1	0.017 5	0.026 8	0.000 1
居民点及工矿用地	0.048 7	0.259 6	0.092 0	0.026 2	0.539 6	0.013 6	0.013 8	0.006 4
交通用地	0.106 9	0.205 0	0.000 0	0.064 5	0.485 5	0.132 0	0.004 3	0.001 8
水利设施用地	0.055 8	0.164 2	0.034 0	0.009 5	0.049 1	0.007 5	0.639 4	0.040 6
未利用地	0.037 7	0.394 0	0.515 4	0.018 1	0.015 1	0.002 4	0.001 4	0.016 0

6.1 龙泉驿区土地利用变化预测分析 由表1 计算龙泉驿区1996年各种土地利用类型的面积百分比,得到初始状态概率向量 $A(0)$ 。根据马尔柯夫预测计算公式(1)和表2,计算

每隔一定时期后(即研究时期8年)的土地利用概率矩阵。当 $n=1$ 时,预测年份为2004年; $n=2$ 时,为2个研究期后,即2012年的预测结果,如此类推,预测结果见表3。

表3 龙泉驿区土地利用变化预测 hmf

年份	耕地	园地	林地	其他农用地	居民点及工矿用地	交通用地	水利设施用地	未利用地
1996	26 210.48	15 396.49	6 180.13	358.50	5 063.15	945.63	359.93	1 844.38
2004	8 672.18	25 986.65	7 675.10	3 507.68	8 658.36	908.24	489.00	461.47
2012	4 700.36	27 481.98	8 452.16	4 030.47	9 845.86	764.82	669.75	413.29
2020	3 798.65	27 494.08	8 955.80	4 034.46	10 147.54	710.80	804.10	413.26
2028	3 596.58	27 371.24	9 230.98	3 972.72	10 185.32	692.90	890.41	418.53
2036	3 552.54	27 295.46	9 372.28	3 925.67	10 160.44	686.46	943.14	422.70
2044	3 543.47	27 260.00	9 443.12	3 897.84	10 130.35	683.78	974.79	425.32
2052	3 541.83	27 244.88	9 478.31	3 882.69	10 107.87	682.52	993.70	426.87
...
稳定态	3 541.81	27 232.90	9 512.37	3 865.96	10 073.06	681.18	1022.40	429.01

6.2 龙泉驿区土地利用变化预测的稳定状态计算 由龙泉驿区土地利用格局变化初始转移概率矩阵(表2),根据马尔柯夫稳定状态预测计算公式(6),可知当 n 时,龙泉驿区土地利用变化达到稳定状态(表3)。

6.3 龙泉驿区土地利用变化的马尔柯夫模型检验 根据马尔柯夫的独立假设检验公式(7)、(8),计算 $-2ln$,并对假设进行检验,计算结果得到 $-2ln = 60 494.79$ 。1996、2004年龙泉驿区土地利用类型为8种,序列自由度为49,选择置信水平 $R = 0.005$ 时,查分布表得 $x^2 = 79.49$,显然 $79.49 < 60 494.79$,可以拒绝独立假设,表明不同年份土地利用类型之间存在一定的相关性,即状态之间有关联,龙泉驿区土地利用变化各状态之间具有马尔柯夫链性质。

7 结论

(1) 龙泉驿区1996~2004年间,各地类间相互转换的现象较为频繁。园地、林地、其他农用地、居民点及工矿用地、水利设施用地的面积比例增大,是以牺牲大量耕地、交通用地和未利用地为代价的。面积比例增加最大的是园地,其次分别为其他农用地和居民点及工矿用地,面积比例减少最大的是耕地。究其原因,一方面,由于近年来水果种植业的经济效益高于传统农产品种植业,在市场经济驱动下龙泉驿区凭借其传统水果种植的特色经济,进一步加大了水果的种植,成功地转变了农业生产方式,实现了农业产业结构的调整;另一方面,由于龙泉驿区紧邻西部最大城市——成都,其

作为成都工矿企业的扩散地,城市化进程加快,占用了大量土地进行城市基础设施建设。

(2) 根据马尔柯夫模型的预测,发现未来龙泉驿区土地利用格局变化将依然保持1996~2004年的变化趋势,耕地的面积比例会逐步减少,交通用地的集约化程度会进一步加强,未来相当长的时间内对未利用地的开发复垦力度也会加大。其他土地利用类型的面积比例继续增加,增大的比例随着时间的推移逐步缩小。园地、其他农用地、居民点及工矿用地在变化过程中会出现极大值,极大值以后面积比例开始下降,最终达到稳定状态。

(3) 在龙泉驿区的土地利用变化研究中,运用马尔柯夫模型对区域土地利用变化进行预测,在对模型进行独立假设检验的基础上,发现区域土地利用变化适合马尔柯夫链。

参考文献

- [1] 史培军,宫鹏,李晓兵,等.土地利用覆盖变化研究的方法和实践[M].北京:科学出版社,2000.
- [2] 闵华玲.随机过程[M].上海:同济大学出版社,1987.
- [3] 塔西甫拉提·特依拜,赵睿,丁建丽,等.干旱区绿洲LUCC马尔柯夫过程分析——以新疆于田绿洲为例[J].干旱区地理,2006,4(29):548-556.
- [4] 盛聚,谢式干,潘承毅.概率论与数理统计[M].北京:高等教育出版社,2001:316-324.
- [5] 张秋菊,傅伯杰,陈利项.关于景观格局演变研究的几个问题[J].地理科学,2003,23(3):264-270.
- [6] 徐岚赵.利用马尔柯夫模型预测东陵区土地利用格局的变化[J].应用生态学报,1993,4(3):272-277.
- [7] 沙晋明,李小梅,杨武年,等.利用马尔柯夫模型预测福州市植被动态变化[J].水土保持通报,2004,24(5):5-9.