

# Markov 和灰色模型在土地利用预测中的应用

赵小汎<sup>1,2</sup>,陈文波<sup>3</sup>,代力民<sup>1</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所,沈阳 110016;

2. 中国科学院研究生院,北京 100039;

3. 江西农业大学国土资源与环境学院,南昌 330045)

**摘 要:**马尔柯夫和灰色模型都适用于土地利用变化预测,根据同一套土地利用数据分别用两种模型预测,将所得结果相互验证、对比分析,提高预测可信度。以江西省新建县为例,两种预测方法的预测结果都表明,若继续保持 1996~2000 年的变化速度,耕地和未利用地将持续减少,林地和建设用地呈增长趋势,而草地和水域相对较稳定,草地有下降趋势,水域呈缓慢上升趋势。预测结果可为土地利用规划管理及政策的制定提供科学依据,研究方法为土地利用变化预测研究提供一种思路。

**关键词:**马尔柯夫模型;灰色模型;土地利用变化预测;新建县

**中图分类号:**F301.24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2007)02-0019-03

## The Application of Markov and Gray Model in Land Use Prediction

ZHAO Xiao-fan<sup>1,2</sup>,CHEN Wen-bo<sup>3</sup>,DAI Li-min<sup>1</sup>

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Science, Shenyang 110016, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China;

3. College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** Both Markov and Gray models can be used in the prediction of land use change. Verification and comparison between two kinds of model predicted results based on the same set land use data can improve prediction credence. As a case study in Xinjian county of Jiangxi province, the results both indicated that if continuing to keep up the change velocity, arable land and unused land will decrease all along; forest land and built-up area shows a tendency to increase, however, grassland and water area will be relatively stabilized, grassland showing a tendency to decrease, water area showing a tendency to increase slowly. The predicted results can provide scientific basis for planning land use and constituting land use policy, and point out a way for land use change prediction research.

**Key words:** Markov model; Gray model; land use change prediction; Xinjian county

## 1 引 言

马尔柯夫理论根据状态之间的转移概率预测系统的发展趋势,适合于随机性数据序列的预测问题。灰色模型 GM(1,1)适用于预测时间短,数据资料少,波动不大的系统对象,对于随机波动性较大的数据序列拟合较差,预测精度较低。为此,我们可以充分应用马尔柯夫与灰色 GM(1,1)模型的优点,用马尔柯夫随机过程确定状态的转移规律,用 GM(1,1)预测模型揭示预测数列的发展趋势。马尔柯夫和灰色模型用于土地利用变化预测已有不少案例<sup>[1~8]</sup>,有学者将其两种模型同时应用于灾害预测<sup>[9]</sup>,但同时应用于土地利用变化预测尚未见成果报道。本文使用同一套土地利用数

据,分别采用马尔柯夫和灰色模型 GM(1,1)对江西省新建县土地利用变化趋势进行模拟和预测,利用所得结果相互验证、补充,从而提高预测可信度。研究结果可为研究区土地利用管理提供借鉴意义;并就预测效果做出对比分析,以期土地利用变化预测研究指出一种方向。

## 2 模型原理和实证研究数据

### 2.1 马尔柯夫模型

马尔科夫过程具有“无后效性”,即指每次状态的转移都只与前一刻的状态有关。运用马尔柯夫过程需确定土地利用类型之间相互转化的转移概率矩阵  $P$ ,其数学表达式一般

\* 收稿日期:2006-06-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30470302);辽宁省科学技术计划项目(KJ TGG0402);辽宁省院校合作工程项目(KJ TSY-HZ0501-02)资助

作者简介:赵小汎(1977-),男,江西临川人,博士生,主要从事土地科学和城市生态研究;通讯作者:代力民。

为：
$$P = (p_{ij}) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{N1} & p_{N2} & \dots & p_{NN} \end{bmatrix}$$

式中： $N$ ——研究区土地利用类型的数目， $p_{ij}$ ——初始到末期时由类型  $i$  转移到类型  $j$  的概率（表 1 中“百分比”），满足以下两个条件： $0 \leq p_{ij} \leq 1, \sum_{j=1}^N p_{ij} = 1$ 。根据马尔柯夫性质和条件概率的定义，可以推导出马尔柯夫过程的基本方程：

$$P(n) = P(n-1) \cdot P_{ij} \tag{1}$$

式中： $P(n)$ ——经过  $n-1$  次状态转移到达  $n$  次转移后的状态概率向量； $P(n-1)$  经过  $n-2$  次状态转移到达  $n-1$  次转移后的状态概率向量，也即相对  $P(n)$  前一次状态概率向量； $P_{ij}$ ——转移概率矩阵。

2.2 灰色模型 GM(1,1)

灰色模型 GM(1,1) 预测方程为：

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = (x^{(1)}(0) - \frac{\mu}{\alpha})e^{-\alpha t} + \frac{\mu}{\alpha} \tag{2}$$

式中： $\alpha$ ——发展灰数， $\mu$ ——内生控制灰数

由此可以算出所要计算的预测指标值：

$$\hat{x}^{(0)}(n) = \hat{x}^{(1)}(n) - \hat{x}^{(1)}(n-1) \tag{3}$$

为分析模型的可靠性，须对模型进行诊断。目前通用的诊断方法是对模型进行后验差检验<sup>[8]</sup>。

即先计算观察数据离差  $s_1: s_1^2 = \sum_{i=1}^m (x^{(0)}(t) - \hat{x}^{(0)}(t))^2$

及离差的离差  $s_2: s_2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^{m-1} (q^{(0)}(t) - \hat{q}^{(0)}(t))^2$

后验比：
$$c = \frac{s_1}{s_2} \tag{4}$$

及小误差概率：
$$p = \{q^{(0)}(t) - \hat{q}^{(0)}(t) < 0.6745s_1\} \tag{5}$$

根据后验比  $c$  和小误差概率  $p$  对模型进行诊断。当  $p > 0.95$  和  $c < 0.35$  时，认为模型可靠，可用于预测。

2.3 数据来源和处理

两种模型使用同一套数据，都源自于新建县国土管理部门提供的土地利用调查数据。马尔柯夫模型涉及应用新建县 1996 年土地利用现状图和 2000 年土地利用变更调查图。

将新建县 1996、2000 年土地利用图扫描输入计算机，采用高斯克列格投影、北京 1954 年坐标系配准图形。在 Arc GIS 软件的 Arc Map 模块中矢量化，然后对矢量化后的两期土地利用现状图层叠加，再通过对 Arc Catalog 属性数据库操作得出新建县 1996~2000 年土地利用变化转移概率矩阵（表 1）。

表 1 新建县 1996~2000 年土地利用变化转移概率矩阵

	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
1996\2000 年						
耕 地	100092.6	57.36	0	0	876.382	0
%	99.076	0.057	0	0	0.867	0
林 地	0	35256.03	0	0	28.36	0
%	0	99.920	0	0	0.080	0
草 地	97.839	0	25712.68	342.786	0	0
%	0.374	0	98.315	1.311	0	0
水 域	0	0	129.362	52554.31	0	173.576
%	0	0	0.245	99.427	0	0.328
建设用地	0	37.912	0	0	10453.29	0
%	0	0.361	0	0	99.639	0
未利用地	0	790.651	159.864	32.341	62.316	14544.41
%	0	5.075	1.025	0.207	0.4	93.3

灰色 GM(1,1) 模型预测的原始数据应用 1996~2000 年历年土地利用现状调查数据。

表 2 灰色 GM(1,1) 模型预测原始数据

年 份	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
序 号	1	2	3	4	5
耕 地	101026.3	100817.3	100608.3	100399.4	100190.4
林 地	35284.39	35498.78	35703.17	35927.56	36141.95
草 地	26153.3	26115.45	26067.6	26039.75	26001.9
水 域	52857.25	52875.3	52883.34	52911.39	52929.44
建设用地	10491.2	10723.49	10955.77	11188.06	11420.35
未利用地	15589.58	15371.68	15143.78	14935.89	14717.99

3 结果与分析

3.1 马尔柯夫模型应用

本研究以前一时期各种土地利用类型面积为初始状态向量，即 2004 年预测值以 2000 年各土地利用类型面积为初始状态向量，2008 年预测值以 2004 年各土地利用类型预测面积为初始向量，余类推，这样可直接计算出预测年份各土地利用类型面积值。根据马尔科夫链方程（1），每隔一定时期（即所用研究期 4 年）为一步，当  $n=1$  时，预测年份为 2004 年； $n=2$  时，预测年份为 2008 年； $n=3$  时，预测年份为 2012 年，结果如下表（表 3）：

表 3 新建县土地利用变化马尔柯夫预测值

土地利用类型	2004 年			2008 年		2012 年	
	实际值	预测值	预测误差	预测值	与 2000 年比较	预测值	与 2000 年比较
耕 地	99258.65	99361.65	0.10 %	98539.98	- 1650.42	97725.29	- 2465.11
林 地	37012.51	36957.51	- 0.15 %	37734.01	1592.06	38474.24	2332.29
草 地	25791.29	25844.29	0.21 %	25681.17	- 320.73	25513.17	- 488.73
水 域	52860.42	52997.42	0.26 %	53061.26	131.82	53121.03	191.59
建设用地	12414.09	12336.09	- 0.63 %	13238.74	1818.39	14128.59	2708.24
未利用地	13863.06	13905.06	0.30 %	13146.86	- 1571.13	12439.7	- 2278.29

将新建县 2004 年土地利用实际调查值与预测值比较，预测误差不是很大，大多在 0.10 % 至 0.30 % 之间，预测结果具一定可信度。从该预测表可看出，新建县土地利用变化趋势是：若继续保持 1996~2000 年的变化速度，耕地和未利用地将一直减少，到 2012 年，新建县耕地面积将降至 9.77 万  $\text{hm}^2$  左右，比 2000 年减少 0.25 万  $\text{hm}^2$ ；未利用地面积将降至 1.24 万  $\text{hm}^2$ ，比 2000 年减少 0.23 万  $\text{hm}^2$ 。林地和建设用地呈增长趋势，林地 2008 年和 2012 年分别比 2000 年增加 0.16 万  $\text{hm}^2$  和 0.23 万  $\text{hm}^2$ ；建设用地 2008 年和 2012 年分别比 2000 年增加 0.18 万  $\text{hm}^2$  和 0.27 万  $\text{hm}^2$ 。草地和水域相对较稳定，草地有下降趋势，水域呈缓慢上升趋势，草地减少幅度稍比水域增加幅度大。

3.2 灰色模型 GM(1,1) 应用

根据表 2 数据，分别代入 GM(1,1) 公式（2）、（3）、（4）、（5），结果有：

由 GM(1,1) 模型表达式，可看出各土地利用变化趋势：耕地、草地、未利用地将减少，而林地、水域、建设用地呈增加趋势。由模型对新建县各种土地利用预测结果的诊断检验  $c$ 、 $p$  值显示，模型预测较好地描述了新建县土地利用变化情况。为了方便与马尔柯夫预测值进行比较，也分别计算出 2004、2008 和 2012 年三个时点的预测值。

3.3 结果对比

将对应年份的马尔柯夫模型预测和灰色模型预测值进行对比，结果如下：

表 4 灰色模型表达式、预测值及检验

土地类型	GM(1,1) 模型表达式	时刻预测值			后验差检验
		2004	2008	2012	
耕 地	$x(t+1) = -48216151.54 * e^{-0.002093t} + 48317172.94$	99351.978	98523.614	97702.156	$c = 0.005, p = 1.0000$
林 地	$x(t+1) = 5901808.44 * e^{0.005996t} - 5866529.27$	37017.352	37915.964	38836.391	$c = 0.0126, p = 1.0000$
草 地	$x(t+1) = -17662103.06 * e^{-0.00148t} + 17688251.48$	25843.559	25691.064	25539.468	$c = 0.0765, p = 1.0000$
水 域	$x(t+1) = 150703393.35 * e^{0.000351t} - 150650534.05$	53001.607	53076.025	53150.547	$c = 0.1656, p = 1.0000$
建设用地	$x(t+1) = 507057.43 * e^{0.020933t} - 496569.62$	12418.555	13503.141	14682.45	$c = 0.0087, p = 1.0000$
未利用地	$x(t+1) = -1070146.08 * e^{-0.014466t} + 1085733.48$	13889.303	13108.415	12371.43	$c = 0.0118, p = 1.0000$

表 5 马尔柯夫模型和灰色模型预测值对比

土地类型	2004 年		偏差率 / %	2008 年		偏差率 / %	2012 年		偏差率 / %
	马尔柯夫 预测值	灰色模型 预测值		马尔柯夫 预测值	灰色模型 预测值		马尔柯夫 预测值	灰色模型 预测值	
耕 地	99361.65	99351.98	- 0.01	98539.98	98523.61	0.017	97725.29	97702.16	0.024
林 地	36957.51	37017.35	0.162	37734.01	37915.96	- 0.482	38474.24	38836.39	- 0.941
草 地	25844.29	25843.56	- 0.003	25681.17	25691.06	- 0.039	25513.17	25539.47	- 0.103
水 域	52997.42	53001.61	0.008	53061.26	53076.03	- 0.028	53121.03	53150.55	- 0.056
建设用地	12336.09	12418.56	0.668	13238.74	13503.14	- 1.997	14128.59	14682.45	- 3.92
未利用地	13905.06	13889.3	- 0.113	13146.86	13108.42	0.292	12439.7	12371.43	0.549

对比灰色模型 GM(1,1)的预测值与用马尔柯夫模型预测的结果,最大偏差率绝对值为 3.92%,绝大多数偏差率绝对值在 1%以下。从表中可看出两种预测方法各地类变化趋势基本一致,相应年份预测值吻合度也较高。两种预测方法的结果都表明,如果现有土地利用变化趋势继续,到 2012 年,新建县耕地面积将降至 9.7 万 hm<sup>2</sup> 左右,比 2000 年下降了 0.3 万 hm<sup>2</sup>。林地面积呈增加趋势,将由 2000 年 3.6 万 hm<sup>2</sup> 左右增长到 2012 年 3.8 万 hm<sup>2</sup> 左右。同时建设用地的面积将增长到 1.4 万 hm<sup>2</sup> 左右,作为耕地开发后备资源的未利用地面积也将降至 1.2 万 hm<sup>2</sup>。草地和水域变化幅度较小,草地呈缓慢减少趋势,水域有上升趋势。

4 结论与讨论

采用不同模型预测提高预测可信度,不失为土地利用变化预测研究的一种方法。马尔柯夫模型更依赖于空间数据,不仅能探讨土地利用类型的数量变化,而且可理解土地利用变化的空间转移特征;而灰色模型分析是基于数理统计理论的时间数列预测,依赖于数据的逐年数量变化特征。灰色模

参考文献:

[1] Brown D G, Pijanowski B C, Duh J D. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA[J]. Journal of Environmental Management, 2000, 59(4): 247 - 263.

[2] Lopez E, Bocco G, Mendoza M, et al. Predicting land cover and land use change in the urban fringe: a case in Morelia city, Mexico[J]. Landscape and Urban Planning, 2001, 55(4): 271 - 285.

[3] 徐岚,赵羿. 利用马尔柯夫过程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

[4] 陈浮,陈刚,包浩生,等. 城市边缘区土地利用变化及人文驱动力机制研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3): 204 - 210.

[5] 王良健,包浩生,彭补拙. 基于遥感与 GIS 的区域土地利用变化的动态监测与预测研究[J]. 经济地理, 2000, 20(2): 47 - 51.

[6] 陈江龙,曲福田,王启仿. 经济发达地区土地利用结构变化预测——以江苏省江阴市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(4): 317 - 321.

[7] 王波,唐志刚,濮励杰,等. 区域土地利用动态变化及人文驱动力初步研究——以无锡马山区为例[J]. 土壤, 2001, 2: 86 - 91.

[8] 张新长,杨大勇,潘琼,等. 城市边缘区耕地变化的发展预测分析研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2002, 41(3): 104 - 108.

[9] 许建国. GM(1,1)模型和马尔柯夫模型在流域旱涝灾害预测中的应用[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 2002, 25(4): 116 - 119.

型的后验差检验保证了灰色模型预测值的可信度,将其结果与马尔柯夫模型预测值进行对比分析,弥补了马尔柯夫模型预测值自身无法检验的缺陷。通过将 2004 年实际值与预测值比较,且从表 5 中两种科学可行预测方法的偏差对比,根据偏差率很小说明预测值可信度较高。

根据土地利用变化预测结果可得出,新建县未利用地开发速度较快,建设用地呈快速增长趋势,耕地减少的趋势明显,林地增长速度也比较快,而草地、水域面积数量变化不大。伴随着江西在中部地区的逐步崛起,作为南昌市周边地区的新建县一方面要抓住南昌市快速发展的有利时机,加速国民经济发展,加快工业化和城镇化进程;另一方面必须严格执行相关土地法律、法规,在实施土地利用规划管理及政策的制定时可针对存在的问题采取相应措施:县域有限耕地资源需得到有效保护;在发展城镇规模,扩展建设用地的同时,需合理控制建设用地过快增长趋势;林地也要适当控制规模,改善区域生态环境不能单纯依靠增加林地面积;同时减缓开发未利用地的速度。