

马尔柯夫过程预测官司河流域土地利用/覆被格局变化^{*}

李富程¹, 王青¹, 李国蓉¹, 慕长龙²

(1. 西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 2. 四川省林业科学研究院, 成都 610081)

摘要:在 RS 和 GIS 的支持下, 利用官司河流域 1995 年和 2005 年的遥感图像作为信息源, 分析土地利用类型变化的初始状态矩阵和转移概率矩阵, 基于马尔柯夫过程模型对官司河流域未来 15 a 土地利用/覆被格局的变化趋势进行预测和模拟。结果表明: 交通运输用地、城镇建设用地、马尾松有林地、柏树有林地的面积比例将持续增大; 耕地和农村宅基地面积比例将持续减少; 水域及水利设施用地和有林地(栎树)的面积比例变化平缓, 有林地(栎树)变化过程中出现极大值。在此基础上, 提出了土地利用结构优化的建议。

关键词:土地利用/覆被变化; 马尔柯夫过程; 转移概率; 官司河流域

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)05-0031-04

Prediction of Land Use and Land Cover Patterns Using Markov Chain Model in Guansi River Valley

LI Fu-cheng¹, WANG Qing¹, LI Guo-rong¹, MU Chang-long²

(1. College of Resource & Environment, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 2. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China)

Abstract: In the support of the RS and GIS, this article regards remote sensing of Guansi River valley in 1995 and 2005 as an information source to analyze the changes in land-use types of the initial state matrix and transition probability matrix. Based on Markov process model, the land use/cover pattern changing trends of Guansi River valley in the next 15 years are predicted and simulated. The results showed that: land transportation, urban construction land, and woodland and forest whose proportion of the area will continue to increase. Area of arable land and house sites in rural areas will continue to reduce. Waters and water conservancy facilities and woodland sites changes in the ratio of flat area, and there are a maximum value in the course of woodland changes. Basis on the research results, the optimization of land use structure was recommended.

Key words: land use and cover change; Markov Chain Model; transition probability; Guansi River valley

土地利用格局是社会、经济、生态相互作用的一面镜子。社会经济演变的时空不可分离性被转移到作为一切社会经济活动载体的土地上, 造就了十分复杂的土地利用格局, 而该格局的变化又会影响到自然、生态、社会发展的进程^[1-3]。土地利用/覆被(LUCC)格局的变化研究是目前景观生态研究的热点之一^[4-6]。长江上游防护林经过 20 a 的建设在遏制洪涝灾害、保持水土、涵养水源等方面取得了显著的生态、经济和社会效益, 但对山区土地利用格局产生了较大的影响。因此, 探讨长江上游防护林重点建设区的土地利用格局演变趋势, 适时地研究发展

对策对于改善生态环境、发展山区经济具有重要的现实意义。以长江上游防护林重点建设区官司河流域为例, 利用马尔柯夫过程模拟和预测土地利用/覆被格局变化, 在 RS 和 GIS 技术的扶持下, 定量分析土地利用/覆被格局演变趋势, 并提出土地利用优化措施, 为防护林生态建设和土地利用结构优化提供科学依据。

1 研究区概况

官司河流域位于东经 104°46' - 104°49', 北纬 31°23' - 31°37', 流域内共有 6 个村 42 个社, 属长江

* 收稿日期: 2009-04-20

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD03A0204)

作者简介: 李富程(1982-), 男, 吉林蛟河人, 硕士, 研究方向: 环境影响评价与规划。E-mail: lifucheng82@163.com

通信作者: 王青(1967-), 男, 山西阳高人, 博士后, 教授, 主要从事环境影响评价与规划。E-mail: qingw@imde.ac.cn

支流之一的涪江水系,总面积约 2 100 hm²。气候属中亚热带季风气候区,年均温 16.1℃,年均日照 1 306.1 h,年均降水量为 986.5 mm。官司河流域属典型的农林复合生态系统,农村主要以传统种植业为主,粮食作物以大麦、小麦、水稻、豌豆、蚕豆、红薯、玉米为主,经济作物以棉花、油菜、花生为主。

2 研究方法

2.1 马尔柯夫过程

马尔柯夫过程是 20 世纪初创立的一种用数学分析方法研究自然过程的一般模型,80 年代以来,马尔柯夫过程模型在我国得到应用^[7]。近年来已广泛用于经济学^[8]、医学^[9]、自然灾害^[10]、计算机技术^[11]、环境污染^[12]等领域的预测研究,并在土地利用演变预测中得到广泛应用^[13-14]。

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,而与以前各时刻的状态无关^[15]。土地利用/覆被变化受多种自然因素和人为因素驱动,这些因素具有不确定性,使土地利用/覆被变化表现出很强的随机性过程,且通常只与某一状态有关,土地利用类型之间的转移是无后效性的。因此,可以利用马尔柯夫过程预测土地利用/覆被变化趋势。

初始状态转移概率矩阵(步长 1 a)的表达式为

$$P = P_{ij} (n) = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mm} \end{bmatrix}$$

表 1 官司河流域 1995 - 2005 年土地利用/覆被变化转移矩阵

类 型	hm ²							
	耕 地	交通运 输用地	水域及水利 设施用地	城镇建设 用地	马尾松	柏 树	栎 树	农村宅 基地
耕 地	900.92	6.38	72.36	5.18	208.15	155.68	4.94	27.84
交通运输用地	0.03	6.16	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
水域及水利设施用地	26.00	0.23	57.54	0.11	12.66	7.80	0.43	1.51
城镇建设用地	0.01	0.00	0.05	11.64	0.00	0.00	0.00	0.00
有林地(马尾松)	54.61	0.30	5.30	0.00	208.78	5.00	0.07	2.16
有林地(柏树)	35.72	0.00	4.08	0.00	8.22	115.01	0.09	1.32
有林地(栎树)	1.05	0.00	0.48	0.00	0.72	0.46	1.86	0.05
农村宅基地	15.60	0.14	1.54	0.00	15.47	11.99	0.62	12.49
合 计	1033.94	13.21	141.35	16.93	454.00	295.95	8.01	45.37

注:表中行表示的是 1995 年各种土地利用类型,列表示 2005 年各种土地利用类型。表中第 i 行第 j 列数据表示 1995 年的 i 种土地利用类型转化为 2005 年 j 种土地利用类型的面积。行、列的合计分别表示 1995 年和 2005 年各种土地利用类型的面积之和。表中所有面积均为未进行线性地物、细小地物扣除的遥感测量毛面积。

流域土地利用/覆被变化的总体特征为:(1)有林地面积显著增加,主要是耕地、水域及水利设施用

式中: P_{ij} ——土地利用类型 i 经一步转化为 j 的概率; m ——土地利用类型数。其中 P_{ij} 为非负值,且矩阵每行元素之和等于 1。

根据马尔柯夫过程理论,可以利用初始状态转移概率矩阵模拟出某一初始年后任意 n 年的土地利用结构。 n 步的转移概率计算公式为

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

根据初始年土地利用结构矩阵 $A(0)$ 和 n 步转移矩阵,可以计算出经过 n 步变换后的土地利用结构矩阵 $A(n)$, $A(n)$ 满足以下方程:

$$A(n) = A(n-1) \times P^{(1)} = A(0) \times P^{(n)} \quad (2)$$

2.2 土地利用类型分类

参照国家土地利用现状分类标准(GB/ T21010 - 2007),结合研究区的土地利用实际情况,将土地利用现状分为耕地、林地、住宅用地、交通运输用地、水利及水利设施用地 5 个一级类型,然后将林地分为马尾松有林地、柏树有林地、栎树有林地 3 类,住宅用地分为城镇住宅用地和农村宅基地。

2.3 土地利用类型转移矩阵

土地利用图像资料和数据资料来源于四川省林业科学研究所的 1:1 万土地利用数据库,对 1995 年 TM 卫片和 2005 年 IKONOS 卫片采用 GPS 到野外定点采集解译标志、目视解译与计算机自动识别相结合的方法解译获得。在 ArcGIS 9.2 软件的支持下,利用空间分析中的地图代数功能,对 1995 - 2005 年官司河流域土地利用图进行叠合运算及空间统计分析,制成土地利用转移矩阵(表 1)。

地和农村宅基地转移而来;(2)耕地面积显著减小,耕地大量用于交通、水利设施、城镇和农村住宅、防

护林建设;(3)有林地内部相互转移;(4)农村宅基地变化过程复杂,农村住宅异址新建对土地利用空间变化影响较大。

3 预测结果

3.1 初始转移概率矩阵的确定

初始转移概率矩阵是应用马尔柯夫过程进行预

测的关键。以年为时间单位,将土地利用/覆被变化转化为一系列离散的演化状态。根据 1995 - 2005 年土地利用转移矩阵,计算这一时期各类型土地的平均转化率(即 1995 - 2005 年的各土地类型转化面积除以年代间隔 10 得到平均每年的转化面积占原有该土地类型的面积百分比)来确定转移概率矩阵(表 2)。

表 2 初始状态各土地利用/覆被类型的转移概率矩阵(n=1)

类 型	耕地	交通运输用地	水域及水利设施用地	城镇建设 用地	马尾松	柏树	栎树	农村宅 基地
耕 地	0.9509	0.0006	0.0081	0.0005	0.0196	0.0154	0.0006	0.0044
交通运输用地	0.0006	0.9993	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000
水域及水利设施用地	0.0361	0.0002	0.9386	0.0001	0.0137	0.0082	0.0006	0.0025
城镇建设用地	0.0000	0.0000	0.0006	0.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
有林地(马尾松)	0.0274	0.0001	0.0018	0.0000	0.9696	0.0003	0.0000	0.0010
有林地(柏树)	0.0306	0.0000	0.0026	0.0000	0.0036	0.9624	0.0000	0.0010
有林地(栎树)	0.0326	0.0000	0.0187	0.0000	0.0209	0.0135	0.9128	0.0016
农村宅基地	0.0468	0.0003	0.0026	0.0000	0.0506	0.0416	0.0030	0.8552

3.2 初步模拟和检验

以 1995 年的土地利用结构为初始年土地利用结构 A(0), $A(0)=[\text{耕地 交通运输用地 水域及水利设施用地 城镇建设用地 马尾松 柏树 栎树 农村宅基地}] = [68.771\ 0.309\ 5.291\ 0.582\ 13.751\ 8.186\ 0.230\ 2.88]$,按照马尔柯夫过程基本方程

(公式 2),利用 MATLAB 计算 2005 年的土地利用结构 A(10)。将 2005 年模拟值与从 IKONOS 卫片解译的结果进行对比(表 3),模拟值与实测值两者差异很小,模拟值与实际值的偏差都在 0.068%以内,可见,利用马尔柯夫过程模拟官司河流域土地利用结构是可行的。

表 3 利用马尔柯夫过程模拟土地利用/覆被面积比例的检验(2005 年)

项 目	耕地	交通运输用地	水域及水利设施用地	城镇建设 用地	有林地 (马尾松)	有林地 (柏树)	有林地 (栎树)	农村宅 基地
2005 年实测值/ %	51.472	0.657	7.037	0.843	22.601	14.733	0.399	2.258
2005 年模拟值/ %	51.540	0.639	6.985	0.885	22.601	14.734	0.358	2.258
差 值/ %	- 0.068	0.018	0.052	- 0.042	0.000	- 0.001	0.041	0.000

3.3 预测结果

根据以上确定的初始转移概率矩阵,以 2005 年为初始年土地利用结构,利用马尔柯夫过程预测 2010 年、2015 年、2020 年的土地利用结构,预测结果见表 4。将模拟结果转绘成相对于 2005 年的更直观的面积变化曲线图(图 1)。

3.4 结果讨论

从预测和对比的结果来看,未来 15 a 内土地利用/覆被格局变化有以下特点:

(1)有林地面积成为流域的主导土地利用类型。从整个流域各种土地利用类型面积来看,占绝对优势的耕地面积逐渐减少,林地面积逐渐增加。在 2010 - 2015 年的某一年两者持平,之后林地面积优势越来越明显,2010 年耕地面积比林地面积多 95.28 hm²,2015 年林地比耕地多 27.28 hm²。到

2020 年耕地面积仅有 834.18 hm²。

(2)交通运输用地、城镇建设用地、马尾松有林地、柏树有林地面积将持续增长。交通用地增长速度最快,相对于 2005 年,2010 年、2015 年、2020 年分别增长 22.141%,42.443%,61.542%;城镇建设用地面积增长率次之。有林地面积增加与国家和地方政府重视生态环境建设,大规模植树造林有关;交通运输用地、城镇建设用地面积增长较快是由经济发展和城镇化所决定的。

(3)耕地、栎树、农村宅基地面积逐渐减少。耕地减少率最高,相对于 2005 年、2010 年、2015 年、2020 年分别减少 9.061%,16.685%,22.777%,农村宅基地减少率次之。耕地减少是由于生态环境建设占用坡耕地及城镇和交通用地占用耕地;农村宅基地面积减少与人口减少、农村劳动力空心化等有关。

表 4 2010 - 2020 年土地利用/覆被变化预测结果

项 目	耕地	交通运输用地	水域及水利设施用地	城镇建设用地	马尾松有林地	柏树有林地	栎树有林地	农村宅基地
2010 年比例/ %	46.808	0.802	7.316	0.945	25.212	16.438	0.414	2.064
2010 年面积/ hm^2	940.260	16.120	146.950	18.970	506.450	330.210	8.320	41.470
2015 年比例/ %	43.662	0.936	7.411	1.036	27.079	17.539	0.412	1.926
2015 年面积/ hm^2	877.060	18.800	148.870	20.810	543.940	352.320	8.280	38.680
2020 年比例/ %	41.527	1.061	7.407	1.120	28.418	18.236	0.402	1.828
2020 年面积/ hm^2	834.180	21.320	148.790	22.500	570.860	366.310	8.080	36.710

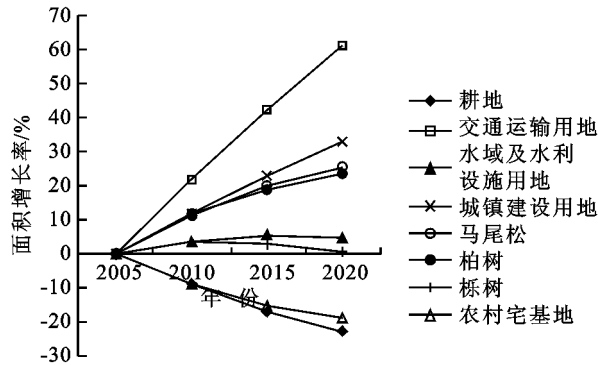


图 1 各类土地类型的变动幅度比较 (相对于 2005 年)

这种土地利用/覆被变化趋势在一定程度上有利于改善生态环境,但农林矛盾将不断加剧,这不仅违背了长江上游防护林体系建设的目标,也违背了国家可持续发展的战略要求。协调生态建设与生产建设、生态保育与民生发展的关系是今后土地利用结构优化的重点。

4 土地利用结构优化的重点

4.1 协调生态建设与生产建设的关系

合理规划各土地利用类型的面积与分布至关重要,将社会经济发展与生态环境建设相结合,才可能创造一个经济发展、环境改善的新景观,而这也是长江上游防护林体系工程建设的根本目标。

生态建设方面,一定要保护好现有的林地,并结合“长防”、“天然林保护”、“退耕还林”等生态工程,采用封山育林、发展人工林等多种方式进行生态环境的恢复与重建。生产建设方面,种植业应改良品种,提高农产品的数量与质量;改良耕作方式,如坡改梯、轮作、间作、套作等,减少对生态环境的破坏;畜牧业方面,改放牧为圈养;林业方面,多发展经济林果。

4.2 协调生态保育与民生发展的关系

从 1995 - 2005 年土地利用转化类型看来,耕地大量用于交通、水利设施、城镇和农村住宅、防护林建设,耕地面积显著减少,而林地面积显著增加,10 a 中林地面积增加了 312.67 hm^2 ,占整个流域面积

的 15.57 %。从马尔柯夫土地利用预测结果来看,耕地面积将不断减小,林地面积将进一步扩大,农林矛盾在不断恶化。因此,协调生态保育与民生发展的关系是目前农村工作中的重要内容。

生态保育方面,不仅要关注防护林的面积,更要关注防护林的健康,挖掘现有防护林的潜力,提升防护林生态服务功能是解决农林矛盾的重要手段。民生发展方面,加强水利建设,水是农业生产与生态环境建设的关键,水利是农业生产的命脉,加强水利建设,加大水库、坑塘、沟渠建设力度,采用水库坑塘与微型集雨节水设施相结合,调节水资源的时空分布,对生产建设与生态环境建设意义重大,改善灌溉条件,扩大灌溉面积;合理规划住宅用地,提高城镇建设地的用地效率,充分挖掘现有潜力,尽可能地垂直方向发展和利用非耕地,农村住宅建设结合城镇化过程,尽量集中紧凑合理布局,积极推进村庄土地整理,盘活存量,节约用地。

5 结论

根据不同时期土地利用/覆被类型面积所确定的转移概率,利用马尔柯夫过程模拟的土地利用/覆被变化结果与实际情况基本吻合,说明在宏观经济发展比较平稳,土地政策没有突然变化的情况下,利用马尔柯夫过程定量地预测短期内的土地利用/土地覆被格局的变化是一种较为实用的方法。

从马尔柯夫过程预测未来 15 a 官司河流域土地利用/覆被变化的结果来看,官司河流域土地利用格局正处于一种动态变化状态,交通运输用地、城镇建设用地、马尾松有林地和柏树有林地的面积比例将持续增加;耕地和农村宅基地面积比例将持续减少;水域及水利设施用地和栎树有林地的面积比例变化平缓。协调好生态建设与生产建设、生态保育与民生发展的关系是取得长江上游防护林体系建设成功的关键。

(下转第 39 页)

且扎根较深,更有利于降水入渗到深层。

(3) 平坡的地表径流量远远小于斜坡,所以在丘陵区坡面处理上建议在不同高度人为把斜坡修整为平坡,这样平坡不仅可以收集上方斜坡的来水,减少雨水径流损失,同时减轻土壤侵蚀。枯枝落叶具有很好的蓄水保水作用,建议不要人为破坏灌木植被地表的枯枝落叶层,使其发挥原有的生态功能。

参考文献:

[1] 魏强,张秋良. 地表径流与土壤侵蚀研究进展[J]. 中国水土保持,2008(9):30-33.

[2] 李恒鹏,黄文钰,杨桂山,等. 太湖上游典型城镇地表径流面源污染特征[J]. 农业环境科学学报,2006,25(6):1598-1602.

[3] 黄河仙,谢小立,王凯荣,等. 不同覆被下红壤坡地地表径流及其养分流失特征[J]. 生态环境,2008,17(4):1645-1649.

[4] 杨国强,何俊仁. 集雨灌溉工程技术研究与应用[J]. 人民黄河,1997(6):27-28.

[5] 陈建锋,杨晓俊. 降雨径流的机制分析[J]. 地下水,2007,29(1):3-4.

[6] Arnaez J, Lasanta T, Ruiz - Flano P, et al. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards[J]. Soil & Tillage Reserch, 2007,93(2):324-334.

[7] 杨晓俊. 降雨产流影响因素分析[J]. 地下水,2007,29(5):50-51.

[8] 魏强,张秋良,代海燕,等. 大青山不同植被下的地表径流和土壤侵蚀[J]. 北京林业大学学报,2008,30(5):111-117.

[9] Vahabi J, Mahdian M H. Rainfall simulation for the study of the effects of efficient factors on run-off rate[J]. Current Science,2008,95(10):1439-1445.

[10] Chen H S, Shao M G, LI Y Y. The characteristics of soil water cycle and water balance on steep grassland under natural and simulated rainfall conditions in the Loess Plateau of China[J]. Journal of Hydrology, 2008,360(14):242-251.

[11] Poulenard J, Podwojewski P, Janeau J L, et al. Run-off and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Paramo: effect of tillage and burning[J]. Catena,2001,45(3):185-207.

[12] Linse S J, Mergen D E, Smith J L, et al. Upland erosion under a simulated most damaging storm[J]. Journal of Range Management,2001,54(4):356-361.

[13] 唐涛,郝明德,单凤霞. 人工降雨条件下秸秆覆盖减少水土流失的效应研究[J]. 水土保持研究,2007,14(4):1-3.

[14] 苏子友,吴文良,张劲松,等. 小浪底库区坡地不同利用方式入渗规律与产流产沙特征研究[J]. 土壤通报,2007,38(2):318-324.

[15] 曹建生,张万军,刘昌明,等. 太行山区坡地暂时饱和区形成机理及渗流补给特性[J]. 农业工程学报,2007,23(5):14-20.

(上接第 34 页)

参考文献:

[1] Sack R D. Geography, geometry and explanation[J]. Annals of the Association of American Geographers, 1972,62:61-78.

[2] 蔡运龙,陆大道,周一星,等. 中国地理科学的国家需求与发展战略[J]. 地理学报,2004,59(6):811-819.

[3] 龙花楼,刘彦随,唐国平,等. 昆山市土地利用变化与新农村建设[J]. 北京大学学报:自然科学版,2007,43(6):790-796.

[4] Wu L X, Sun B, Zhou S L, et al. A new fusion technique of remote sensing images for land Use/Cover[J]. Pedosphere,2004,14(2):187-194.

[5] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报,1996,51(5):523-557.

[6] 朱晓华,蔡运龙. 中国土地利用空间分形结构及其机制[J]. 地理科学,2005,25(6):671-677.

[7] 沙晋明,李小明,杨武年,等. 利用马尔可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.

[8] 严伟,钱育渝. 马尔柯夫预测在房地产市场营销中的应

用研究[J]. 重庆建筑大学学报,2004,26(2):110-115.

[9] 巴剑波,方旭东,徐雄利. 马尔可夫链在海军疟疾疫情预测中的应用[J]. 解放军预防医学杂志,2002,19(2):114-226.

[10] 张汉雄. 用马尔可夫链模型预测宁南山区旱情[J]. 自然灾害学报,1994,3(1):47-54.

[11] Buchholz P. Structure analysis approaches for large Markov chains[J]. Applied Numerical Mathematics, 1999,31(4):375-404.

[12] 郑文瑞,王新代,纪昆,等. 非确定数学方法在水污染状况风险评价中的应用[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2003,33(1):59-62.

[13] 赵小汎,陈文波,代力民. Markov 和灰色模型在土地利用预测中的应用[J]. 水土保持研究,2007,14(2):19-21.

[14] 王佑汉,何毓成,赵宏达,等. 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[J]. 安徽农业科学,2007,35(15):4580-4582.

[15] 盛聚,谢式干. 概率论与数理统计[M]. 北京:高等教育出版社,2001:316-324.