

嘉陵江中下游地区土地利用格局变化的动态监测与预测

仙巍^{1,2}, 邵怀勇^{1,2}, 周万村¹

(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. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 在遥感和GIS技术的支持下, 定量分析研究区1986~2000年的土地利用动态变化过程, 以及土地利用各类型之间的相互转化状况, 并对研究区土地利用动态变化的驱动力进行了分析。运用马尔柯夫原理, 对研究区未来土地利用演变趋势进行模拟与预测。作者认为, 必须在提高全民环保意识、坚决贯彻国家相应法规政策的前提下, 科学规划城镇建设, 严格控制城镇用地, 大力发展生态农业, 加强天然林保护, 搞好退耕还林还草并有规划的植树造林, 建立区域外补偿机制, 以实现研究区国土资源的可持续利用。

关键词: 土地利用格局; 动态监测; 预测; 马尔柯夫模型

中图分类号: F301.24; T P79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)02-0061-04

The Dynamic Monitoring and Prediction of Land Use Pattern in the Area of Middle and Lower Reaches of the Jialingjiang River

XIAN Wei^{1,2}, SHAO Huai-yong^{1,2}, ZHOU Wan-cun¹

(1. Chengdu Institute of Mountain Disaster and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Supported by remote sensing, the dynamic evolution process of land use and the transformation of each other among all types of land use were analyzed quantitatively. And the driving forces about the dynamic change of land use in the study area were discussed. The evolution tendency of land use in the future was simulated and predicted with Markov model in the study area in order to provide some methods for sustainable use of territorial resources.

Key words: land use pattern; dynamic monitoring; prediction; Markov model

人类对土地不同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, 如动物的迁栖, 地表水的径流、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。

嘉陵江中下游地区是长江上游的重要组成部分, 本地区近年来人口增长过快, 人-地关系日趋紧张, 使得区内原本十分脆弱的生态环境更加恶化; 流经该区的嘉陵江含沙量已居长江各支流之首, 已严重威胁长江三峡库区生态安全和沿江人民群众的生活和生产, 如果再不加强其生态保护和治理, 她将成为第二条名符其实的黄河^[2]。由此, 对该区开展土地利用/覆被变化研究, 建立土地利用动态监测系统, 预测土地利用格局的变化趋势, 极具现实意义。本研究通过该区1986年和2000年的TM影像进行解译和GIS空间分析, 揭示该地区15年间土地利用与土地覆被的变化规律, 应用Markov链模型来模拟研究区土地利用格局的动态演变过

程, 定量分析其演变特点, 预测研究区未来土地利用格局趋势, 为调控该地区土地利用结构和方式, 改善其生态环境状况提供依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

嘉陵江是长江水系中流域面积最大的支流。嘉陵江中下游是指自四川省广元市至重庆朝天门之间的河段, 长759 km, 流域面积2.98万km², 2000年流域人口为2078万。研究区包括14个县市区, 其中四川境内包括: 广元市、剑阁县、苍溪县、旺苍县、阆中市、西充县、南部县、南充市、蓬安县、武胜县、岳池县; 重庆境内包括: 江北区、合川市、重庆市区。区内地貌条件差异明显, 南部北部起伏大中部地带相对平缓。本区属典型的亚热带湿润季风气候。紫色土广泛分布, 其成土过程快、土质粗而松散、土层浅薄, 是极易侵蚀的土壤类型。

① 收稿日期: 2004-06-28

基金项目: 中科院知识创新方向性项目“长江上游地表覆被变化及信息系统”(KZCX2-SW-319); 科技部国际合作重点项目“中国西部开发的生态研究综合评价”(2001DFDF0004)资助

作者简介: 仙巍(1979-), 女, 硕士, 主要从事遥感和地理信息系统技术集成与应用研究。

1.2 资料选取与技术路线

本研究选取的资料有: 研究区 14 个县市区 1986 年、2000 年两个时段时相相对一致的 TM 图像、土地利用图、行政区划图、地形图、关于社会经济发展情况的统计数据等。研究的技术路线如下: ①遥感图像处理: 按照信息量最大和有效可分性原则, 选择了 TM 图像的 2、3、4 波段导入 IMAGINE 8. 6, 完成图像融合与纠正。②解译标志的建立和图像解译: 根据已有的资料, 建立解译标志。对有疑问的地方, 组织现场考察。以 2000 年 TM 图像为基准, 采取人机交互方式在 MGE 下完成解译。③精度评价: 在解译过程中, 本着边解译边检验的原则, 组织专家随机检验判读精度, 并结合野外调查和定点检测, 保证判读结果的精度要求。④数据入库: 将在 MGE 下判读获得的数据在 ARC/INFO 下完成数据编辑, 生成研

究区 2000 年 1: 10 万土地利用/ 覆被本底数据库。在此基础上, 利用 1986 年的 TM 图像做出 1986 ~ 2000 年土地利用动态数据库, 再进行数据叠加完成 1986 年本底数据库的建设。⑤数据分析和决策支持: 在 ARC/INFO 下完成每期数据的分析, 得出该区土地利用/ 覆被特征, 以及各期的土地利用/ 覆被动态变化特征, 并为下一步建立数学模型和预测获得相应的属性数据。

2 土地利用动态变化和驱动力分析

2.1 土地利用动态变化

对研究区 1986~ 2000 年土地利用动态变化数据库进行统计, 得到各土地利用类型转移矩阵(表 1)。由表 1 可得出研究区 1986 ~ 2000 年各类型面积的增减情况(表 2)。

表 1 研究区 1986 ~ 2000 年土地利用类型之间转变情况表

hm²

2000 年 1986 年	森林	灌木林	疏林	果园	草地	水域	建设用地	未利用地	耕地
森林	193420. 15	15. 62	82. 66	0. 01	131. 35	0. 00	70. 55	0. 00	420. 41
灌木林	157. 46	165619. 52	128. 69	0. 09	106. 48	0. 00	39. 93	0. 00	390. 36
疏林	3346. 12	868. 53	249875. 04	42. 28	239. 76	0. 00	355. 28	0. 00	1378. 35
果园	0. 01	0. 00	23. 63	13572. 75	9. 22	0. 00	34. 75	0. 00	596. 46
草地	1879. 23	2634. 56	4264. 12	70. 33	199968. 07	0. 00	190. 31	0. 00	1986. 58
水域	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	102. 81	63727. 78	0. 00	0. 00	693. 14
建设用地	0. 07	51. 06	39. 01	0. 07	0. 03	0. 00	34137. 03	0. 00	74. 38
未利用地	0. 00	0. 00	4. 00	0. 00	88. 44	0. 00	0. 00	1056. 98	7. 65
耕地	4357. 32	2855. 88	6941. 70	1560. 03	2829. 17	0. 00	10688. 10	84. 06	2011845. 45

表 2 研究区 1986 ~ 2000 年各类型面积的增减情况

hm²

	森林	灌木林	疏林	果园	草地	水域	建设用地	未利用地	耕地
1986 年	194140. 75	166442. 54	256105. 37	14236. 83	210993. 20	64523. 72	34301. 65	1157. 08	2041161. 71
转入	9740. 21	6425. 65	11483. 80	1672. 81	3507. 28	0. 00	11378. 92	84. 06	5547. 33
转出	720. 60	823. 02	6230. 32	664. 08	11025. 13	795. 95	164. 62	100. 09	29316. 26
2000 年	203160. 36	172045. 17	261358. 85	15245. 57	203475. 35	63727. 78	45515. 94	1141. 05	2017392. 78
增减	+ 9019. 61	+ 5602. 63	+ 5253. 48	+ 1008. 74	- 7517. 85	- 795. 95	+ 11214. 30	- 16. 03	- 23768. 93

综合表 1、表 2 的数据, 15 年间, 森林、灌木林、疏林、果园、建设用地发生了扩张, 耕地、草地、水域、未利用地减少。

①建设用地是该区 15 年来扩张最快的土地利用类型, 建设用地的新增来源主要是耕地, 占建设用地净增量的 95. 31%, 且占用的耕地主要分布在城市建成区周围的优质农田、菜地。大量耕地被占用, 进一步加深了该地区的人地矛盾。②15 年间林地呈现出扩张趋势, 林地的扩张一定程度上说明了该地区的生态环境有所改善。其中森林和灌木林、果园以转入为主, 仅有少量转出, 森林的扩张主要通过耕地、疏林和草地转变而来, 灌木林的新增来源主要是耕地、草地, 果园的增加主要是占用耕地。疏林的转入、转出面积都很大, 分别为 11 483. 80 hm²、6 230. 32 hm², 总体呈扩张趋势。疏林的新增来源主要是耕地、草地。③1986 ~ 2000 年, 草地总体上呈现减少态势, 其内部也存在着明显的减少和增加趋势, 总转出面积为 11 025. 13 hm², 主要向林地、耕地转变, 转入的面

积为 3 507. 28 hm², 主要由耕地转变而来。④耕地呈现明显的减少趋势, 15 年间共转出面积为 29 316. 26 hm², 其转出面积位居各种类型转出面积之首。其中转为建设用地的面积占转出面积的 36. 46%, 占用的多是优质农田, 而耕地的新增来源主要为草地、林地(特别是疏林)、坑塘, 大多散布于较偏远的区域, 质量较差。

2.2 土地利用变化驱动力分析

嘉陵江中下游地区的土地利用变化驱动力中, 自然要素和人文要素兼而有之, 但和气候、土壤等自然要素在 15 年内的变化相比较而言, 人文因素起到了主导作用。①人口压力。据统计资料显示, 该区人口由 1973 年的 1 899 万增加至 2002 年的 2 078 万, 人口增加必然增加对粮食与住房及公共设施的需求, 从而导致建设用地和耕地扩张。一方面, 建设用地的增加造成优质耕地减少; 另一方面, 耕地的增加又导致坡旱地、陡坡旱地增加, 使林地和草地遭到破坏, 而水土流失与旱耕地的地形坡度密切相关, 坡度越大, 水土流失越严重。②

经济发展。目前,我国以约8%的速度向前发展,是世界上发展最快的国家之一^[5]。特别是在西部大开发的影响下,该区也以较快速度的发展,这也直接体现为城市化进程加快,工矿企业增多,建设用地以较高速增加。③国家政策。15年间,林地呈现出增加态势,使嘉陵江中下游地区的覆被状况有所好转,这与一系列法规、政策的制定和执行密切相关,说明国家相继实施的“水保”、“天保”以及“退耕还林、还草”工程在该地区已初见成效。

3 土地利用变化的马尔柯夫过程模拟与预测

近几年来,已有学者运用马尔柯夫模型对土地利用的未来趋势进行预测,其可靠性也得到了验证^[7-9]。

3.1 马尔柯夫模型

马尔柯夫过程是指具有“无后效性”的特殊随机运动过程。所谓“无后效性”即为某随机过程第 $(n+1)$ 步的状态 $x(n+1)$ 的条件概率与 $x(0), x(1), \dots, x(n-1)$ 等 n 步以前的状态无关,仅与 $x(n)$ 状态有关的性质。这对于研究土地利用动态变化较适宜,这是因为,一定区域内不同土地利用类型之

间具有相互转化性;土地利用类型之间的转化过程包含着较多尚难用函数关系准确描述的事件。

运用马尔柯夫过程的关键在于确定土地利用类型之间相互转化的初始转移概率矩阵 P ,其数学表达式一般为:

$$P = (P_{ij}) = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N1} & P_{N2} & \dots & P_{NN} \end{pmatrix}$$

上式中 N 为研究区土地利用类型的数目, P_{ij} 为初期到末期时段内由类型 i 转为类型 j 的概率,满足以下两个条件:①0

$P_{ij} \geq 0$; ② $\sum_{j=1}^N P_{ij} = 1$ 。根据马尔柯夫模型,系统所研究的事物在第 n 个时刻的状态概率向量 $P(n)$,可由它的初始状态概率 $P(n-1)$ 和转移概率矩阵 P_{ij} 来确定: $P(n) = P(n-1) \cdot P_{ij}$

3.2 预测结果

根据表1和表2中的数据,计算出1986~2000年研究区土地利用变化的转移概率矩阵(表3)。

表3 研究区土地利用变化转移概率矩阵(1986-2000年)

	森林	灌木	疏林	果园	草地	水域	建设用地	未利用地	耕地
森林	0.996288	0.000080	0.000426	0.000000	0.000677	0.000000	0.000363	0.000000	0.002165
灌木	0.000946	0.995055	0.000773	0.000001	0.000640	0.000000	0.000240	0.000000	0.002345
疏林	0.013065	0.003391	0.975673	0.000165	0.000936	0.000000	0.001387	0.000000	0.005382
果园	0.000001	0.000000	0.001659	0.953355	0.000648	0.000000	0.002441	0.000000	0.041896
草地	0.008907	0.012486	0.020210	0.000333	0.947747	0.000000	0.000902	0.000000	0.009415
水域	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001593	0.987664	0.000000	0.000000	0.010742
建设用地	0.000002	0.001489	0.001137	0.000002	0.000001	0.000000	0.995201	0.000000	0.002168
未利用地	0.000000	0.000000	0.003458	0.000000	0.076432	0.000000	0.000000	0.913495	0.006614
耕地	0.002135	0.001399	0.003401	0.000764	0.001386	0.000000	0.005236	0.000041	0.985637

根据2000年各种土地利用类型的面积比,得到初始状态概率向量 $P(n-1)$,运用语言编写马尔柯夫过程的具体运算程序进行运算,每经过14年为一歩,当 $n=1$ 时预测年份为2014年; $n=2$ 时预测年份为2028年,以此类推(结果见表4)。由表4的预测结果可知,在未来20多年的时间里,如果保持现有的土地利用政策不变的情况下,耕地、草地、水域的比重还将继续下降,但其下降速度逐渐变缓,建设用地、森林、灌木、疏林、果园的比重将持续上升,但其上升趋势也将减缓并逐渐趋于稳定,未利用地的比重基本稳定。由表4可以看出,建设用地的增长速度居各土地利用类型之首,我们采用土地利用城镇化指数 E 来表达土地利用的城镇化水平: $E = \text{建设用地} / \text{耕地}$ 。经计算,研究区1986年、2000年、2014年、2028年的 E 值分别为0.017, 0.023, 0.028, 0.034,其值随时间而增大,这表明土地利用的城镇化是以耕地的丧失为代价的。加快城市化进程,对于启动农村市场、转移农村剩余劳动力及农业产业化的进一步发展都有十分重要的意义。但另一方面,小城镇的发展与耕地保护之间的矛盾进一步加深,因此,如何解决这一矛盾是当前所面临的问题。

4 建议

通过对嘉陵江中下游地区近15年的土地利用动态变化的监测以及未来二十几年土地利用格局的预测,为保证嘉陵

江中下游地区土地资源的可持续利用,改善生态环境,我们给出以下建议:

表4 研究区土地利用变化的马尔柯夫过程预测量

1986年 / %	2000年			2014年		2028年	
	实际值 / %	与1986年比 较/ km^2	预测值 / %	与2000年比 较/ km^2	预测值 / %	与2014年比 较/ km^2	
森林	6.51	6.81 + 9019.61	7.11	+ 8944.00	7.41	8865.87	
灌木	5.58	5.77 + 5602.63	5.95	+ 5482.45	6.13	5367.66	
疏林	8.59	8.76 + 5253.48	8.93	+ 4915.04	9.08	4594.72	
果园	0.48	0.51 + 1008.74	0.54	+ 942.02	0.57	879.38	
草地	7.07	6.82 - 7517.85	6.58	- 7145.67	6.35	- 6791.09	
水域	2.16	2.14 - 795.95	2.11	- 786.76	2.08	- 777.80	
建设用地	1.15	1.53 + 11214.30	1.90	+ 11042.57	2.26	10875.08	
未利用地	0.04	0.04 - 16.03	0.04	- 14.65	0.04	- 14.58	
耕地	68.43	67.63 - 23768.93	66.84	- 23381.73	66.07	- 22999.12	

(1) 增强全民环保意识,坚决贯彻落实国家的相应法规政策。嘉陵江中下游地区土地利用/覆被变化表现出来的生态环境退化、水土流失严重是人类非可持续性开发和利用引起的,因而提高全民环保意识、贯彻落实国家的相应法规政策是该地区生态恢复和重建的重要前提。

(2) 科学规划城镇建设、严格控制城镇用地。严禁片面追求“高、大、新、全”，导致建设摊子铺得过大，大量浪费土地资源，这就要求要严格按照国家的相关规定，严格控制规划人均建设用地；同时要加强建设用地的管理，大力挖掘城镇内部的潜力，尽量少占耕地；今后应逐步将分散的农村居民点向农村居民小区过渡，这样既可以提高农村城镇化水平，又可以通过土地复垦增加耕地，提高土地的集约利用率。

(3) 大力发展生态农业，提高耕地质量。从该地区土地利用格局的动态变化趋势来看，城镇化进程的加快导致的耕地数量的减少在一定时期内将会加剧，由于该地区土地开发的历史比较悠久，土地后备资源有限，如果为了实施耕地总量平衡政策，必将导致大量边际土地的开发或其他土地利用类型向耕地的转变，这很可能引起生态环境的破坏，因此，大力发展生态农业，提高耕地的质量应是耕地保护政策的重点。

参考文献：

- [1] Turner, M G. A spatial simulation model of land use change in a Piedmont County in Georgis[J]. Applied Mathematics and Computation, 1988, 27: 39- 51.
- [2] 重庆商报. 专家世界环境日前发出警报 嘉陵江将变成第二条黄河[N]. 江淮晨报, 2002- 06- 04.
- [3] 陈月红, 汪岗. 嘉陵江水土保持与区域可持续发展[J]. 水土保持研究, 2001, 8(4): 133- 145.
- [4] 邓良基, 凌静, 等. 四川省旱耕地生产、生态问题及水土流失综合治理研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 8- 11.
- [5] 四川省统计局. 四川统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1985- 1995.
- [6] 杨华. 基于GIS和RS的土地利用变化趋势研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 144- 147.
- [7] 王良健, 包浩生, 等. 基于遥感和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.
- [8] 陈江龙, 曲福田, 等. 经济发达区土地利用结构变化预测[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(4): 317- 321.
- [9] 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.

(上接第60页)

镇、城北镇；交通用地的相对变化率以西郊镇最大为3.65，东郊镇最小为0.25；水利水工用地的相对变化率以东郊镇最大为10.07，未利用地的相对变化率以城北镇最大为3.86。

(6) 全区土地利用/覆盖空间格局具有明显的区域分异特征。土地利用/覆盖的优势度指数高、多样性指数低的区域，主要包括城区各办事处、长沙镇和城北镇；土地利用/覆

参考文献：

- [1] 陈佑启, Verburg P H. 中国土地利用/土地覆盖的多尺度空间分布特征分析[J]. 地理科学, 2000, 20(3): 197- 202.
- [2] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用和土地覆盖变化研究模型综述[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 169- 175.
- [3] 高志强, 刘纪远, 庄大方. 基于遥感和GIS的中国土地资源生态系统环境质量同人口分布的关系研究[J]. 遥感学报, 1999, 3(1): 66- 70.
- [4] 高志强, 刘纪远, 庄大方. 基于遥感和GIS的中国土地利用/土地覆盖的现状研究[J]. 遥感学报, 1999, 3(2): 134- 138.
- [5] 黄福奎. 论遥感技术在土地利用动态监测中的应用[J]. 中国土地科学, 1998, 12(3): 21- 24.
- [6] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 土地科学进展, 1999, 18(1): 81- 87.
- [7] 龙花楼, 李秀彬. 长江沿线样带土地利用格局及其影响因子分析[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 417- 425.
- [8] 朱会义, 李秀彬. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. 地理学报, 2001, 56(5): 253- 260.
- [9] 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 近10年中国土地利用格局及其变化研究[J]. 地理学报, 2002, 57(5): 523- 530.
- [10] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643- 650.
- [11] 金雄兵, 濮励杰, 罗昀, 等. 县市尺度土地利用与土地覆盖变化初步研究[J]. 土壤, 2003, 35(3): 204- 210.
- [12] 李忠锋, 王一谋, 冯毓芬, 等. 基于RS与GIS的榆林地区土地利用变化分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 97- 99.
- [13] 王涛, 吴薇, 薛娴, 等. 近50年来中国北方沙漠化土地的时空变化[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 203- 212.
- [14] 王根绪, 丁永建, 王建, 等. 近15年来长江黄河源区的土地覆被变化[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 163- 173.
- [15] 梅州市统计局. 梅州市统计年鉴(2003)[M].

- [16] 梅州市统计局. 梅州市五十年(1949-1999年)统计年鉴[M]. Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

(4) 加强天然林保护、搞好退耕还林还草并有规划的植树造林。对该区的土地利用结构的调整，要突出生态功能的恢复，重点是恢复森林、草地生态系统。要坚决制止一切乱砍滥伐、盲目毁林开荒的行为，尽快恢复和更新森林植被，治理退化草地，以实现其涵养水源、改善和保护生态环境的功能，使该地区水土流失状况得到控制。

(5) 加强补偿机制的建设。生态恢复和土地利用结构调整，是一个长期艰苦的过程，区域内部的局部利益和短期利益会受到一定的影响。所以，应在大流域范围内，以至全国范围内建立长期的生态补偿或机会补偿机制，以保证嘉陵江中下游地区的生态恢复与土地利用结构调整工作顺利过渡发展转型期，并长期进行下去。

盖的优势度指数低、多样性指数高的区域，主要包括三角镇、东郊镇和西郊镇。从全区来看，10年间其土地利用/覆盖的优势度指数逐渐减小，多样性指数逐渐提高，均匀度指数逐渐增大，人类干扰强度逐渐加强。

(7) 梅江区土地利用/覆盖空间格局的基本构型以大斑块为主体树枝型、散布型斑块镶嵌其中。