

基于马尔柯夫模型的峨庄流域土地利用格局动态预测^{*}

张 荣^{1,2}, 刘 霞^{1,2}, 张光灿^{1,2}, 张荣华^{1,2}, 常 成^{1,2}

(1. 山东农业大学 林学院 水土保持系, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学 农业生态与环境重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘 要:该文以峨庄流域为研究区域,在 GIS 技术支持下,以 2000 年和 2005 年的 TM 影像为原始数据,建立空间信息库,分析 2 个时期土地利用格局特征及变化,并利用马尔柯夫模型对未来土地利用格局趋势进行预测。结果表明:2000 - 2005 年,峨庄流域居优势地位的土地类型始终是林地类型,耕地等其他土地类型镶嵌其中;未来 15 a 流域总体趋势是朝着好的方向发展,耕地、未利用地面积在今后一段时期内仍呈减少趋势,到 2020 年耕地面积比例较 2005 年减少 1.53%,林地、草地、水域及城镇村交用地仍呈增加趋势,其中以林地增长幅度较大,到 2020 年其占比将达到 61.85%。根据模拟结果可调整各类土地利用格局,为峨庄流域宏观决策提供科学依据。

关键词:GIS 技术;土地利用格局;马尔柯夫模型

中图分类号:F301.24;TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)02-0239-04

The Dynamic Analysis on Land Use Pattern in Erzhuang Watershed Based on Markov Model

ZHANG Rong^{1,2}, LIU Xia^{1,2}, ZHANG Guang-can^{1,2}, ZHANG Rong-hua^{1,2}, CHANG Cheng^{1,2}

(1. Department of Soil and Water Conservation, Forestry College, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Ecology and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: This paper took Erzhuang watershed as the study area, in support of GIS technique and through the interpretation of TM imageries in 2000 and 2005, spatial information database was established and characteristics and changes of land-use pattern was analyzed and future land use pattern was predicted based on Markov model. The results showed that the woodland landscape has always been the dominant position in this area during 2000 - 2005, farmland and other types of landscape were embedded in the woodland landscape. The next 15 years the overall trend of watershed toward to the right direction, the farmland and unused land for a period of time in the future is still to be reducing, by 2020 the proportion of farmland will be reduced the 1.53 percent compared with that in 2005; woodland, grassland, water and urban village space are still to be increasing, woodland proportion will reach to 61.85% by 2020. According to simulation results, the land use pattern can be adjusted, which may serve as a scientific basis for land planning and management of Erzhuang watershed.

Key words: GIS technique; land use pattern; Markov model

土地利用研究是目前全球变化研究的前沿和热点,是揭示人类开发建设导致土地利用结构与功能变化趋势的一种有效手段^[1]。土地利用变化是一种复杂系统的演变过程,通过对过去一段时间内各类用地的动态变化情况进行分析,能够从总体上掌握一个区域土地的时空演变规律,从而可以对未来一段时间内区域的土地利用结构做出科学预测,以促

进土地利用结构的调整和优化^[2-3]。关于土地利用动态变化的研究,目前研究的很多,研究的区域多选在发展较快的城市和生态环境脆弱区^[4-6],针对峨庄流域的土地利用动态变化研究较少。峨庄流域为典型的北方石质山区小流域和山东省水土保持小流域综合治理试点,被专家誉为全国最完整的小流域治

^{*} 收稿日期:2009-09-10

基金项目:山东省水利厅生态修复科技探索项目“水土保持生态修复工程效益监测与评价”

作者简介:张荣(1984-),女,在读研究生,研究方向:流域治理与信息技术。E-mail: zrzws251@163.com

通信作者:刘霞(1971-),女,副教授,博士,研究方向:水土保持生态修复和水土保持信息技术。E-mail: shuibaos@sdau.edu.cn

理单元之一。研究通过该区 2000 年和 2005 年的 TM 影像进行解译和分析,揭示该地区土地利用变化规律,应用马尔柯夫模型来预测研究区土地利用格局的动态演变,为调控土地利用结构和实现流域可持续发展提供科学依据与决策支持^[7]。

1 研究区概况

峨庄流域位于淄川区东南部,太河水库上游,隶属小清河水系的淄河支流。包括 31 个行政村。地处 118°07' - 118°14' E, 36°22' - 36°31' N,南北全长 15.3 km,东西宽 6.11 km,面积 9 159.37 hm²。为典型的北方土石山区,海拔高程在 235 ~ 923 m,基岩主要由石灰岩和页岩组成,土壤类型主要为褐土类。属暖温带大陆性湿润季风气候,年平均气温 11.9℃,极端最高气温 40.5℃,极端最低气温 - 20.2℃。流域为独立流域,无外来水源,年均降水量 730 mm,多年平均蒸发量 1 290 mm,实测 24 h 最大降水量 170 mm,年际变化较大,60% ~ 70% 的降水集中在 6 - 9 月。峨庄山林密布,地理位置独特,气候条件优越,蕴藏着众多的生物资源。流域内有天然的灌木林,针、叶混交林及纯林,有高等植物 1 203 种,低等植物 235 种,森林覆盖率达 69%,地带性植被类型为暖温带落叶阔叶林,主要乔木树种有侧柏 (*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco) 刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.) 油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr) 黄栌 (*Cotinus coggyria* Scop) 等,自然灌木与草本植物主要有黄荆 (*Vitex negundo* L.) 胡枝子 (*Lespedeza bicolors* Turcz.) 三裂绣线菊 (*Spiraea trilobata* L.) 等,素有“北方九寨沟”之美称。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

采用峨庄流域 2000 年、2005 年两个典型时期的 TM 影像作为数据源,空间分辨率为 30 m × 30 m,借助 ERDAS 软件进行配准、镶嵌、匀色及增强处理,取 5, 4, 3 波段合成假彩色图像。利用 1:5 万地形图选择 25 ~ 35 个同名地面控制点 (GCP),对影像进行校正,误差控制在 0.5 个像元以内。校正中,采用北京 1954 坐标系,高斯-克吕格投影。根据遥感影像特征,结合野外实地调查,建立解译标志,采用监督分类与非监督分类相结合的方法,把研究区的土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、城镇村及交通用地、未利用地 6 类,把解译后的 2 期土地利用数据转入 ArcGIS 中,构建拓扑关系并建立数据库,得到的 2 期土地利用数据,进而分析土地利用

变化情况。

2.2 土地利用变化分析

土地利用动态度可定量描述区域土地利用变化的速度,它对比较土地利用变化的区域差异和预测未来土地利用变化趋势都具有积极作用^[8]。单一土地利用类型动态度表示某研究区一定时间范围内某种土地利用类型数量变化情况,其表达式如式(1)。

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K ——研究时段内某一土地利用类型动态度; U_a 、 U_b ——研究期初及研究期末某一种土地利用类型的数量; T ——研究时段长,当 T 的时段设定为年时, K 值就是该研究区某种土地利用类型年变化率。

2.3 土地利用格局动态的马尔柯夫预测

马尔柯夫过程是一种特殊的随机运动过程。如果随机过程 $X(n)$ 在时刻 $(t+1)$ 状态的概率分布只与时刻 t 的状态有关,而与 t 以前的状态无关,则称随机过程 $X(n)$ 为一个马尔柯夫链。在 t 时刻它处于状态 X_i ,在 $(t+1)$ 时刻,它将以概率 P_{ij} 处于状态 X_j ,而转移概率 P_{ij} 则反映了各种随机因素的影响。在固定时刻,转移概率矩阵的数学表达式如式(2)。

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: P_{ij} ——土地利用类型 i 转化为土地利用类型 j 的转移概率。并且满足条件 $0 \leq P_{ij} \leq 1$, $(i, j = 0, 1, \dots, N)$,即各元素为非负值, $\sum_{j=1}^N P_{ij} = 1$, $(i, j = 0, 1, \dots, N)$,即每行元素之和为 1。根据马尔柯夫过程性质和条件概率的定义,运用马尔柯夫过程的基本方程如式(3)。

$$X(n) = X(n-1) P_{ij} = X(0) P_{ij}^n \quad (3)$$

3 结果与分析

3.1 土地利用变化

对两个时期土地利用数据进行统计分析,得出 2000 年和 2005 年峨庄流域土地利用结构(表 1)。随着对各种土地资源的开发,土地利用结构发生了很大变化。峨庄流域在 2000 - 2005 年各种土地类型面积尽管发生了十分复杂的变化,但居优势地位的始终是林地(面积比分别为 59.23% 和 60.77%)。与 2000 年相比,各类土地利用方式的变化情况为,耕地和其它土地的面积大幅度减少,林地、草地、城

镇村及工矿用地和水域及水利设施用地等都有不同程度的增加。在减少面积中,耕地减少面积最多,为 194.08 hm²,未利用地面积减少 80.95 hm²;在增加的面积中,林地增加的面积最大,为 141.28 hm²,其次增加草地面积 123.36 hm²,城镇村及交通过用地和水域用地等面积变化相对较小。表明在这一阶段,研究区主要以生态环境建设为主,退耕还林、还草,

疏林补植等生态修复措施的实施,使得研究区耕地和其它土地大幅度减少,林地和草地的面积增加。就单一土地利用动态度来说,水域动态变化最大,达到 - 3.22%,不过这与当地该年份的降雨量和遥感影像拍摄时间有关,其次为耕地和其它用地,减少十分迅速,林地和城镇村及交通过用地变化较小,动态度分别为 0.52%和 0.48%。

表 1 不同时期土地利用变化情况

土地利用类型	2000 年		2005 年		变化情况	
	面积/ hm ²	面积比/ %	面积/ hm ²	面积比/ %	面积/ hm ²	动态度/ %
耕地	1206.05	13.17	1011.97	11.05	- 194.08	- 3.22
林地	5425.26	59.23	5566.55	60.77	141.28	0.52
草地	1805.51	19.71	1928.87	21.06	123.35	1.37
水域	35.99	0.39	42.14	0.46	6.16	3.42
城镇村及交通过用地	177.45	1.94	181.68	1.98	4.23	0.48
未利用地	509.12	5.56	428.17	4.67	- 80.95	- 3.18

3.2 土地利用格局模拟和预测

3.2.1 转移概率矩阵的确定 运用马尔柯夫过程进行预测的关键在于转移概率的确定。在 GIS 技术平台上,利用 ArcView 图层叠加与空间分析功能,将峨庄流域的 2000 年和 2005 年土地利用类型图相叠加,计算出 5 a 间各土地类型的转移矩阵(表 2)。在此基

础上,计算初始状态转移概率矩阵,即每种土地利用类型转移后的各种类型面积分别除以转移前的该类型的面积,再除以年数($n=5$ a),把耕地转化为其他土地利用类型的转移概率作为第 1 行,林地转化为其他土地利用类型的转移概率作为第 2 行,依次类推,构成一个年平均转移概率矩阵(表 3)。

表 2 2000 - 2005 年土地类型面积转移矩阵

项目		2005 年					
		耕地	林地	草地	水域	城镇村及交通过用地	未利用地
2000 年	耕地	538.37	378.93	263.89	9.27	12.96	2.64
	林地	345.58	4465.56	511.77	0	0	102.35
	草地	106.57	550.58	1111.64	0.53	0	36.18
	水域	2.17	0	1.47	32.35	0	0
	城镇村及交通过用地	8.73	0	0	0	168.72	0
	未利用地	10.55	171.47	40.10	0	0	287.00

表 3 初始状态转移概率矩阵($n=0$)

项目		$K+1$ 时期					
		耕地	林地	草地	水域	城镇村及交通过用地	未利用地
K 时期	耕地	0.8893	0.0628	0.0438	0.0015	0.0021	0.0004
	林地	0.0127	0.9646	0.0189	0	0	0.0038
	草地	0.0118	0.0610	0.9231	0.0001	0	0.0040
	水域	0.0121	0	0.0082	0.9798	0	0
	城镇村及交通过用地	0.0098	0	0	0	0.9902	0
	未利用地	0.0041	0.0674	0.0158	0	0	0.9127

表 4 2005 年马氏过程模拟土地利用类型的检验

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	城镇村及交通过用地	未利用地
2005 年模拟值/ hm ²	1055.23	5539.34	1899.89	41.40	180.87	442.64
比例 Y / %	11.05	60.77	21.06	0.46	1.98	4.67
2005 年实际值/ hm ²	1011.97	5566.54	1928.87	42.14	181.68	428.17
比例 Y / %	11.52	60.48	20.74	0.45	1.97	4.83
差值/ %	0.43	- 0.27	- 0.29	- 0.01	- 0.01	0.14

3.2.2 检验马氏过程模拟土地利用变化 采用 2000 年的土地利用结构为初始矩阵 $X(0)$ 和以上转移概率矩阵,运用马尔柯夫的基本方程(1)来模拟 2005 年的土地利用结构 $X(5)$,并与 2005 年从影像数据中提取的实际的土地利用数据进行对比(表 4)。采用 χ^2 检验, $\chi^2 = (Y - Y^1)^2 / Y^1 = 0.44 / 16.67 = 0.02619$,查表得, $\chi_{0.05}^2(5) = 11.0705$ 。结果表明:通过马尔柯夫来预测土地利用格局变化是可行的。

3.2.3 预测结果 根据以上确定的转移概率矩阵,利用基本方程(2)预测 2010—2020 年间土地利用结构,并与 2005 年土地利用结构的比较(表 5)。结果表明:在自然环境和人为因素(如政策、法规等)的干扰作用不发生剧烈变化的情况下,研究区林地所占比例总体上呈明显增长趋势,以 2005 年为参照年份,15 a 后(即 2020 年)林地增加 1.37%,草地、水域和城镇村及交通用地也逐年增加,分别增加 0.89%、0.11%和 0.05%,然而耕地和未利用地在逐年减少,预测耕地将减少 1.53%,未利用地减少 0.88%。随着产业结构的逐步高度化,可以预计峨庄流域未来 15 a 宏观经济将保持稳定增长的趋势。在经济发展的早期,耕地占用是一种代价性的减少,具有一定的合理性。林地仍呈增加趋势,其增长幅度最大,到 2020 年林地面积占比将达到 61.85%,这表明未来水土保持规划中,流域在退耕还林、结构调整、植树造林等改善生态环境方面取得较好的效果。

表 5 2005 年马氏过程模拟土地利用类型的检验 %

土地利用类型	2005	2010	2015	2020	2020 年较 2005 年差值
耕地	11.52	10.44	10.14	9.99	1.53
林地	60.48	61.35	61.67	61.85	1.37
草地	20.74	21.40	21.55	21.63	0.89
水域	0.45	0.50	0.53	0.56	0.11
城镇村及交通用地	1.97	2.00	2.01	2.02	0.05
未利用地	4.83	4.30	4.08	3.95	0.88

4 结 论

峨庄流域在 2000—2005 年,各类土地利用方式的变化情况为,耕地和其它土地的面积大幅度减少,其余 4 种地类的面积均有不同程度的增加。在减少面积中,耕地减少面积最多,为 194.08 hm^2 ,在增加的面积中,林地增加的面积最大,为 141.28 hm^2 。就单一土地利用动态来说,水域动态变化最大,达到 -3.22%,不过这与当地该年份的降雨量和遥

感影像拍摄的时间有关,其次为耕地和其它用地,减少十分迅速,林地和城镇村用地变化较小,动态度分别为 0.52%和 0.48%。从预测结果可以看到,耕地和未利用地面积在今后一段时期内仍呈减少趋势,林地、草地、水域和城镇村用地仍呈增加趋势。林草地所占比重越来越大,其变化主要是由退耕还林政策引起的,开展退耕还林对土地利用格局变化和环境影响研究是今后研究的重点,但是,要确保退耕还林、还草工程持续稳定的开展,必须在退耕还林、还草中走综合治理之路。以市场为导向,以科技为依托,根据不同区域资源比较优势,发展特色经济。对退耕还林的后续产业进行调研,积极发展适宜的经济林产业,借助旅游资源优势,继续开发建设生态旅游等。

土地利用格局变化的模拟是适宜的,从而为土地利用规划、生态环境规划等的管理和决策提供了良好的手段。本研究是由土地利用类型间的转移速率来确定转移概率,进而利用马尔柯夫模型模拟的土地利用格局的变化,结果与实际情况基本吻合,说明在经济发展比较平稳,土地政策没有突然变化的情况下,利用马尔柯夫模型进行定量的预测某一区域的土地利用格局的变化是可行的。

参考文献:

- [1] 摆万奇,张永民,阎建忠,等.大渡河上游地区土地利用动态模拟分析[J].地理研究,2005,24(2):206-211.
- [2] 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.
- [3] 臧淑英,计爽,李雁,等.资源型城市土地利用/土地覆被变化过程的图谱研究[J].北京林业大学学报,2007,29(2):232-237.
- [4] 胡振琪,王金,杨成兵,等.基于 RS 与 GIS 的榆林地区土地动态变化分析[J].水土保持学报,2008,22(4):82-85.
- [5] 李素英,李晓兵,王丹丹.基于马尔柯夫模型的内蒙古锡林浩特典型草原退化格局预测[J].生态学杂志,2007,26(1):523-557.
- [6] 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.
- [7] 仙巍,邵怀勇,周万村.嘉陵江中下游地区土地利用格局变化的动态监测与预测[J].水土保持研究,2005,12(2):61-64.
- [8] 于兵.基于 GIS 的大庆市土地利用动态变化分析与预测[J].东北林业大学学报,2008,36(2):45-48.