

利用马尔柯夫过程预测蒙阴县土地利用/覆被格局变化^①

常成¹, 刘霞^{1*}, 张光灿¹, 姚孝友², 张荣华¹, 张荣¹

(1 山东农业大学林学院水土保持系, 山东农业大学农业生态与环境重点实验室, 山东泰安 271018;

2 水利部淮河水利委员会, 安徽蚌埠 233001)

摘要: 为了解蒙阴县土地利用/覆被的变化规律及其未来变化, 由蒙阴县 1997 年和 2007 年 2 个时期的遥感图像获得的土地利用/覆被数据, 确定土地利用/覆被的初始状态矩阵和转移概率矩阵, 据此用马尔柯夫模型对研究区的土地利用/覆被格局的未来变化趋势进行了预测。结果表明: 蒙阴县土地利用/覆被格局正处在一种变化状态, 耕地、草地、水域及水利设施用地、未利用地面积在今后一段时期内仍呈减少趋势, 到 2017 年耕地面积比例较 2007 年减少 3.22%, 林地、城镇村及工矿交用地仍呈增加趋势, 其中以林地增长幅度较大, 到 2017 年其占比将达到 43.45%。根据模拟结果可调整各类土地利用/覆被格局, 为宏观决策提供科学依据。

关键词: 马尔柯夫过程; 土地利用/覆被格局; 蒙阴县; 预测

中图分类号: F301.2

土地利用/覆被格局是人类在一定的自然及社会经济条件下对土地利用的结果^[1], 能影响许多生态过程, 如动物迁徙、地表水的流动、侵蚀、入渗、地下水 NO₃⁻ 含量、土壤 P 素水平、盐渍状况、物种多样性以及干扰传播或边缘效应等^[2-3]。因此, 土地利用/覆被格局的变化研究是目前景观生态研究的热点之一^[4-6]。研究模拟土地利用/覆被格局变化对于及时而有效地进行土地利用的调整、优化, 合理而高效地利用有限土地具有重要意义。

目前, 马尔柯夫过程较多地用于模拟和预测自然植被的变化^[7-8]。关于模拟土地演化的文章, 国外尚有报道, 而国内相对较少^[9]。本文运用该理论和方法从新的角度对蒙阴县未来土地利用/覆被格局预测, 以期土地利用结构预测的研究补充丰富的应用实例。

1 研究区概况

蒙阴县位于沂蒙山区腹地, 蒙山北麓, 东汶河上游, 地理坐标 117°45' ~ 118°15' E, 35°27' ~ 36°02' N, 南北最大纵距 84.75 km, 东西最大横距 52.1 km, 总面积 1 610.8 km², 为典型的北方土石山区, 海拔标高一般 200 ~ 600 m, 基岩主要由石灰岩和页岩组成, 土壤类型主要为棕壤类。该区属暖温带季风型大陆气

候, 年均日照时数为 2 257 h, 年均温度 12.8℃, 无霜期 200 天。年均降水量 820 mm, 降水分布不均, 有 70% 集中在主要分布在 5—9 月份。河流属淮河流域沂河水系, 均系季节性河流。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.)、辽东栎 (*Quercus liaotungensis* Koidz.)、花椒 (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.)、山楂 (*Crataegus pinnatifida* Bge.)、柿树 (*Diospyros kaki* Linn.F.) 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。

2 材料与方法

2.1 数据来源

采用 Landsat TM 遥感影像作为数据源, 包括 1997 年 7 月、2007 年 7 月 2 个时段影像, 在 ERDAS IMAGINE 软件平台上进行图像的几何辐射校正、坐标转换、图像增强等技术处理^[10-11], 取 5、4、3 波段合成假彩色图像。与 1:10 万地形图配准, 建立解译标志, 应用监督与非监督分类相结合的方法进

①基金项目: 水利部淮河水利委员会项目“淮河流域生态修复机理和评价指标研究”资助。

* 通讯作者 (shuibaos@sdau.edu.cn)

作者简介: 常成 (1986—), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 主要从事流域治理与信息技术的研究。E-mail: yizhitaohuaxiang@163.com

行影像解译, 并通过聚类分析、剔除分析和邻域分析处理后, 得到土地利用状况图。应用 GPS 技术进行野外采样、验证, 利用 GIS 软件对解译有误的图斑进行人工修改, 并利用收集到的相关年份其他资料进行对比验证, 使之达到精度要求; 根据研究区的特点和

分析精度要求, 参照《土地利用现状调查技术规程》^[12]和《中国资源环境遥感宏观调查与动态研究》^[13], 将不同景观类型分耕地、林地、草地、城镇村及工矿交通用地、水域及水利设施用地、未利用土地共 6 种土地利用类型, 分类结果如图 1 所示:

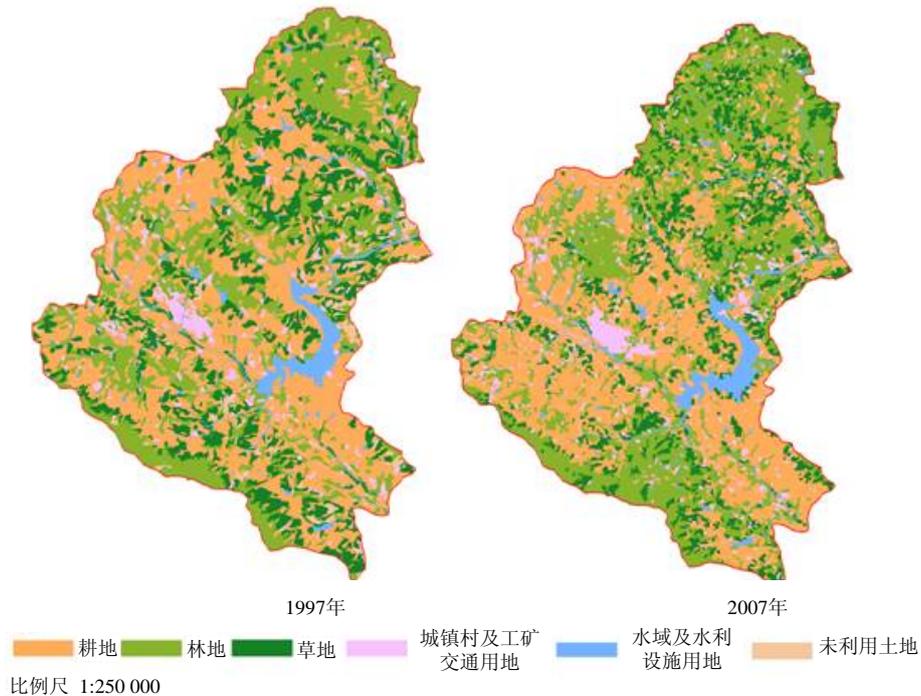


图 1 1997—2007 年蒙阴县土地利用/覆被类型空间格局

Fig. 1 LUCC changes from 1997 to 2007 in Mengyin County

2.2 研究方法步骤

2.2.1 状态划分及初始状态矩阵的确定 将土地利用系统按土地利用类型划分为一系列相互演化的状态, 各状态在系统中所占份额, 即每种土地利用类型面积占全部土地利用类型面积的百分比作为各状态的初始概率。各状态初始概率构成初始状态矩阵。由此, 以 2007 年蒙阴县土地利用现状图获得各地类面积, 并计算初始状态概率, 形成初始状态矩阵, 见表 1。

表 1 初始状态矩阵 (%)

Table 1 Land cover matrix of primitive state

| 土地利用/覆被类型 | A^0 |
|------------|-------|
| 耕地 | 37.71 |
| 林地 | 35.69 |
| 草地 | 15.91 |
| 城镇村及工矿交通用地 | 5.40 |
| 水域及水利设施用地 | 4.42 |
| 未利用土地 | 0.87 |

2.2.2 转移概率矩阵的确定 运用马尔柯夫过程的关键在于确定它在 m 时刻的一步转移概率 P_{ij} 。据此, 将事物 n 个状态的转移概率依次排列, 可以得到一个 n 行 n 列的状态转移概率矩阵 P , 其表达式为:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \Lambda & P_{1i} & \Lambda & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \Lambda & P_{2i} & \Lambda & P_{2n} \\ & & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \\ P_{i1} & P_{i2} & \Lambda & P_{ii} & \Lambda & P_{in} \\ & & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \\ P_{n1} & P_{n2} & \Lambda & P_{ni} & \Lambda & P_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, P_{ij} 为土地利用/覆被类型 i 转化为土地利用/覆被类型 j 的转移概率。转移矩阵的每一项元素需满足以下条件: ① $1 > P_{ij} > 0$, ② $\sum_i P_{ij} = 1$ 。

转移概率矩阵的具体计算方法是将研究区的土地利用/覆被变化按历史时期分成几个阶段, 将 1997 年

和 2007 年蒙阴县土地利用现状图叠加，从而统计得出各期的土地覆盖类型面积转移矩阵（表 1）。再以年为基本时间单位，求出各时间段内某类土地利用/覆被类型的年平均转移概率（表 2），如在 1997 年的土地利用/覆被图上，某样地内的耕地，到 2007 年部分变成林地

和城镇村及工矿交通用地，后者占耕地面积的平均百分比再除以年数（ $n = 10$ ），即为其年平均转移概率。把耕地转化为其他土地利用/覆被类型的转移概率作为第 1 行，林地转化为其他土地利用/覆被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 1 1997—2007 年土地利用/覆被类型面积转移矩阵（ km^2 ）

Table 1 Transition of LUCC change from 1997 to 2007

| 1997年 | 2007年 | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|----------------|---------------|-------|
| | 耕地 | 林地 | 草地 | 城镇村及工 矿交通用地 | 水域及水利 设施用地 | 未利用土地 |
| 耕地 | 498.80 | 135.34 | 2.01 | 8.60 | 5.09 | 2.71 |
| 林地 | 74.11 | 384.04 | 9.11 | 1.23 | 0.32 | 0.99 |
| 草地 | 29.06 | 32.29 | 222.25 | 4.54 | 4.34 | 5.85 |
| 城镇村及工矿交通用地 | 0.18 | 0.05 | 0.00 | 70.95 | 0.09 | 0.09 |
| 水域及水利设施用地 | 1.10 | 6.71 | 3.90 | 0.40 | 61.05 | 0.00 |
| 未利用土地 | 4.16 | 16.28 | 19.08 | 1.70 | 0.12 | 4.40 |

表 2 初始状态土地利用/覆被类型的转移概率矩阵（ $n = 0$ ）

Table 2 Transfer-probability matrix of land use types at original state

| 年代 K | 年代 $K + 1$ | | | | | |
|------------|------------|-----------|-----------|----------------|---------------|-----------|
| | 耕地 | 林地 | 草地 | 城镇村及工 矿交通用地 | 水域及水利 设施用地 | 未利用土地 |
| 耕地 | 0.976 417 | 0.020 759 | 0.000 309 | 0.001 318 | 0.000 781 | 0.000 416 |
| 林地 | 0.015 765 | 0.981 754 | 0.001 939 | 0.000 262 | 6.81E-05 | 0.000 211 |
| 草地 | 0.009 741 | 0.010 822 | 0.9745 | 0.001 520 | 0.001 454 | 0.001 962 |
| 城镇村及工矿交通用地 | 0.00 025 | 6.3E-05 | 4.2E-06 | 0.999 418 | 0.000 132 | 0.000 132 |
| 水域及水利设施用地 | 0.001 508 | 0.009 171 | 0.005 329 | 0.000 541 | 0.983 444 | 6.15E-06 |
| 未利用土地 | 0.009 092 | 0.035 562 | 0.041 683 | 0.003 719 | 0.000 269 | 0.909 674 |

2.2.3 土地利用/覆被格局的模拟 马尔柯夫预测模型是利用概率建立的一种随机型时序预测模型，其表达式为：

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=0}^{n-1} P_{ik} P_{kj}^{(n-1)} = \sum_{k=0}^{n-1} P_{ik}^{(n-1)} P_{kj} \quad (2)$$

通过公式（2）可求出 2007 年后任何一年的土地利用/覆被类型转移概率矩阵 $P^{(n)}$ 及各土地利用/覆被类型所占比例 A^n ，因此可以模拟出各土地利用/覆被类型所占比例的变化情况。

3 结果与分析

本研究以 2007 年的土地利用现状数据为基础，采用 1997—2007 年的地类转移概率矩阵进行马尔柯夫

预测。由此，我们利用 1997—2007 年 10 年间的转移概率，模拟预测了在保持当前人为影响不变的情况下，蒙阴县未来的各地类面积、比例的变化（表 3）。

由表 3 可知，蒙阴县耕地、草地、水域及水利设施用地、未利用地面积在今后一段时期内仍呈减少趋势，耕地减少幅度仍较大，到 2017 年耕地面积比例较 2007 年减少 3.22%，未利用地、水域变化幅度也有所提高；与此同时城镇村及工矿交通用地仍呈增加趋势，占比较 2007 年增加 4.14%。随着产业结构的逐步高度化，可以预计蒙阴县未来 10 年宏观经济将保持稳定增长的趋势，工业化、城市化将是促使该县耕地占用的主要因素。在经济发展的早期，土地作为一种生产要素在发展中起着重要的作用，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

表 3 从 2007 年到 2017 年土地利用/覆被类型预测

Table 3 Predicted land use patterns from 2007 to 2017

| 年份 (年) | 统计类型 | 耕地 | 林地 | 草地 | 城镇村及工 矿交通用地 | 水域及水利 设施用地 | 未利用土地 |
|-----------|-----------------------|--------|--------|--------|----------------|---------------|-------|
| 2007 | 面积 (km ²) | 607.47 | 574.93 | 256.30 | 86.94 | 71.16 | 14.06 |
| | 比例 (%) | 37.71 | 35.69 | 15.91 | 5.40 | 4.42 | 0.87 |
| 2012 | 面积 (km ²) | 579.90 | 626.77 | 203.22 | 106.83 | 83.78 | 10.36 |
| | 比例 (%) | 36.00 | 38.91 | 12.62 | 6.63 | 5.20 | 0.64 |
| 2017 | 面积 (km ²) | 555.58 | 699.89 | 129.56 | 153.57 | 64.63 | 7.63 |
| | 比例 (%) | 34.49 | 43.45 | 8.04 | 9.53 | 4.01 | 0.47 |

增长幅度最大,到 2017 年林地面积占比将达到 43.45%,较 2007 年增加 7.76%,这表明未来水土保持规划中的退耕还林目标,通过退耕还林、结构调整、植树造林等能够提高林地覆盖率、在改善生态环境方面取得较好的效果。

从趋势预测可以清楚看出,在经济、社会快速发展的背景下,土地利用发生了巨大的变化,且以林地的空间扩张、耕地的大量流失为特征,城市化、经济建设和耕地保护、粮食安全的矛盾将更加尖锐,对土地利用规划和宏观调控提出了更大的挑战。

4 结论

从预测结果可以看到,蒙阴县耕地、草地、水域及水利设施用地、未利用地面积在今后一段时期内仍呈减少趋势,林地、城镇村及工矿交通用地仍呈增加趋势。由基本耕地保护与城镇村及工矿交通用地扩张之间的矛盾以及土地利用格局变化引起的生态环境问题将会更加突出,因此,要保护和恢复该区域的生态环境,首先需要从土地利用格局调整开始。

由于土地利用/覆被变化是随经济社会发展而变化,在利用马尔柯夫进行预测时,地类转移概率矩阵在不同时期有差别,1997—2007 年与 2007—2017 年及以后时间段的转移概率必然不同。因此,马尔柯夫预测有其局限性,但它模拟了现在转换概率下的土地利用变化趋势,为今后土地利用规划的决策、调控提供了参考和依据。

参考文献:

- [1] Turner MG. A spatial simulation model of land use change in a Piedmont Count in Georgia. *Applied Mathematics and Computation*, 1988, 27: 39-51
- [2] 郭旭东,陈利顶,傅伯杰. 土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响. *环境科学进展*, 1999, 7(6):66-75
- [3] 金赞芳,王飞儿,陈英旭,小仓纪雄.城市地下水硝酸盐污染及其成因分析. *土壤学报*, 2004, 41(2): 252-258
- [4] 王辉,董元华,李德成,郭宗祥. 基于遥感与GIS 技术的苏州市土地利用动态变化研究. *土壤*, 2004, 36(4): 420-423
- [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. *地理学报*, 1996, 51(5): 523-557
- [6] 华文,丁建小,张燕,彭补拙. 温州市土地利用变化与利用效率分析. *土壤*, 2001, 33(2): 81-85
- [7] 孙宏义. 沙坡头人工植被变化的动态平衡. *生态学杂志*, 1990, 9(4): 53-56
- [8] 阳含熙,潘愉德,伍业钢. 长白山阔叶红松林马氏链模型. *生态学报*, 1988, 8(3): 211-219
- [9] 刘晶,彭补拙. 锡山市土地利用变化的社会驱动力分析. *土壤*, 2001, 33(6): 295-299
- [10] 庄大方,邓祥征,战金艳. 北京市土地利用变化的空间分布特征. *地理研究*, 2002, 21(6): 667-674
- [11] 张树文,张养贞,李颖,常丽萍. 东北地区土地利用/覆被时空特征分析. 北京: 科学出版社, 2006
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国国家标准 GB/T7929-1995: 土地利用现状调查技术规程. 北京: 标准出版社, 2003
- [13] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996:103

Prediction of Land Use and Land Cover Patterns in Mengyin County Using Markov Chain Model

CHANG Cheng¹, LIU Xia¹, ZHANG Guang-can¹, YAO Xiao-you², ZHANG Rong-hua¹, ZHANG Rong¹

(1 *Soil and Water Conservation Department of Forestry College, Key Laboratory of Agricultural Ecology and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China*; 2 *Huaihe River Commission, Ministry of Water Resources, Bengbu, Anhui 233001, China*)

Abstract: In order to know the change pattern of land use in Mengyin County, with the data of land use and land cover obtained from TM images in 1997 and 2007, by using Markov Chain Model, a primitive status matrix and a transition probability matrix of land use and land cover were established and then the future tendency of land use and land cover pattern was predicted. The results indicated that land use and land cover pattern is changing, i.e., cultivated land, grass land, water land and unused land will keep on decreasing, by 2017 cultivated land will reduce by 3.22%; however forest land and construction land will continue to increase, forest land will increase fast and reach to 43.45% of the total land area. Land use and land cover pattern can be adjusted according to the prediction, which may serve as a scientific basis for land planning and management of Mengyin County.

Key words: Markov Chain Model, Land use and land cover pattern, Mengyin County, Prediction