

# 基于 Markov 链的吉林西部土地利用结构优化研究

李秀霞, 马维遥, 徐 龙

(吉林师范大学 旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000)

**摘 要:**土地利用结构优化是编制土地利用总体规划的基础和核心。以吉林省西部为例,在 RS 和 GIS 的支持下,运用 Markov 链对吉林西部土地利用结构进行优化研究。结果表明:到 2020 年,吉林西部的林地、建设用地、水田、旱地的面积持续增加,分别增加了 153.44,227.05,1 479.79,80.29 km<sup>2</sup>;草地、水域、沙地、盐碱地、湿地有所减少,分别减少了 1 569.44,493.35,60.07,1 029.82,389.71 km<sup>2</sup>。建设用地不断扩张,草地、湿地和水域面积不断退化是造成吉林省西部生态环境恶化的主要原因,建议今后要适当增加草地和林地比例,合理保护湿地和水域,限制建设用地盲目扩张,挖潜存量建设用地,提高建设用地的利用率,从而实现土地资源的可持续利用。

**关键词:**GIS; Markov; 土地利用结构优化; 吉林西部

**中图分类号:**F301.24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2013)02-0229-04

## Land Use Structure Optimization Research Based on the Markov Chain in the West of Jilin Province

LI Xiu-xia, MA Wei-yao, XU Long

(College of Tourism and Geoscience, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China)

**Abstract:** Optimization of land use structure is the foundation and core of general land use planning. West of Jilin Province was taken as an example to optimize the land use structure research for the west of Jilin Province under the support of RS and GIS technology, using the Markov chain. The results showed that forest land, construction land, paddy field, dry land area would increase in land use of eastern Jilin by 2020, increase 153.44, 227.05, 1 479.79, 80.29 km<sup>2</sup>, respectively; but grassland, water area, sand, saline and alkaline land, wetland had decrease, partly reduce to 1 569.44, 493.35, 60.07, 1 029.82, 389.71 km<sup>2</sup>, respectively. The conclusion indicated that construction land expanded constantly, the area of grassland, wetland and water area reduced constantly, which was the main reason for a deteriorating ecological environment in the west Jilin Province. It was suggested to increase appropriately grass and forest land scale, to protect wetland and water area reasonably, limit construction land expansion blindly, tap the stock of land for construction purposes, to improve the utilization rate of construction land in order to realize sustainable utilization of land resource in the future.

**Key words:**GIS; Markov; optimization of land use structure; west of Jilin Province

土地是人类社会经济活动的载体,一个地区不同时期土地利用状况及其结构功能在很大程度上反映该地区不同时期的自然资源条件以及社会经济的发展状况<sup>[1]</sup>,合理的土地利用结构有助于土地资源在国民经济各部门之间有效配置并实现其利用效率最大化<sup>[2]</sup>。如果一个地区土地利用结构不合理,则会出现城市土地利用效率低下、土地整体功能失调、土地利用方向失控等问题,严重影响社会经济发展和土地可

持续利用。因此,研究一个地区不同时期的土地利用结构动态变化是研究一个地区自然资源和社会经济发展状况的重要途径<sup>[3]</sup>。国内外诸多学者对于土地利用结构进行了多方面的研究,如崔新蕾<sup>[4]</sup>、陶金<sup>[5]</sup>、文博<sup>[6]</sup>、林珍铭<sup>[7]</sup>等人利用信息熵对不同地区的土地利用结构时空变化进行分析;李超<sup>[8]</sup>、张巧艳<sup>[9]</sup>、申伟等<sup>[10]</sup>、臧丽娟<sup>[11]</sup>、熊德惠<sup>[12]</sup>等人运用系统理论对土地利用结构优化配置进行了研究;王水献<sup>[13]</sup>、朱

懋<sup>[14]</sup>、常成<sup>[15]</sup>、王剑<sup>[16]</sup>等学者利用马尔柯夫预测模型对土地利用结构进行了预测研究。这些研究成果为后续研究奠定了基础。马尔柯夫模型的基本方法就是利用状态之间的转移概率矩阵预测事件的发生状态及其发展变化趋势<sup>[17]</sup>,其状态转移概率矩阵数据的精度和准确性是其科学预测的前提和基础,而以往研究中的数据大多来源于各地国土资源局提供的土地变更数据,为增加数据的准确性和科学性,本文在遥感和 ArcGIS 的支持下,由吉林省西部 2000 年和 2010 年的遥感影像和地形图获得土地利用变化数据,确定土地利用的初始矩阵和转移概率矩阵,据此利用 Markov 模型对吉林西部 2020 年的土地利用状况进行预测,以减少数据误差,增强马尔柯夫模型预测的科学性和准确性。为提高吉林西部土地利用效率,促进吉林省西部土地可持续利用提供参考。

# 1 研究区域概况及数据来源

## 1.1 研究区域概况

吉林省西部位位于 121°38'—126°11'E,44°22'—46°18'N,松嫩平原的中西部,区内包括白城和松原两个地区的白城市、松原市、洮南县、镇赉县、大安县、通榆县、乾安县、扶余县、长岭县、前郭尔罗斯蒙古族自治县 10 个市县,面积 46 879.7 km<sup>2</sup>,约占吉林省总面积的 25.4%,人口 1 433 万。吉林省西部属于半干旱、半湿润气候过渡带,四季变化明显,年降水量 400~500 mm,蒸发量约为 1 600~2 000 mm,区域内水资源分布不均,河流较少,多为松花江水系,地势起伏较小,基本为西北高东南略低,是典型的农牧交错地带,由于人类的不合理利用,农林牧用地不断发生着变化,1958 年为 34:17:49,1980 年变为 45:10:45,1996 年为 54:18:28,因植被覆盖率低,加之气候干旱多风,使本区土地沙化、碱化、贫瘠化和草地退化严重,土地生产力低,成为我国生态环境较为脆弱的地区之一。

## 1.2 数据来源与处理

本研究的数据来源为 Landsat 7 的 TM 遥感影像,其空间分辨率为 30 m×30 m。选择 2000 年和 2010 年两个时期的影像数据,采集时间集中在 6—7 月,云层覆盖度小于 5%。利用高斯克里的格投影和西安 1980 坐

标系统对图像进行辐射定标和几何纠正处理,并以 1:10 万地形图为底图,进行两个图的纠正,将误差控制在 1 个像元以内。参照我国 CB/T21010—2007 的土地利用分类标准,结合本研究目的,将研究区的土地利用类型划分为:林地,草地,水域,建设用地(包括农村集体建设用地和城市建设用地),水田,旱田,沙地,盐碱地和湿地。然后利用 ArcGIS 10.0 软件制作吉林西部矢量图,并对两个时期的遥感图像进行分类提取,生成土地利用类型图附图 19。

# 2 研究方法 with 预测过程

## 2.1 Markov 过程的基本原理

Markov 链是一种离散时间的随机过程,最初由俄国数学家 Markov 创立,主要是研究事物的状态转移。Markov 过程具有“无后效性”,即每次状态的转移都只与前一刻的状态有关<sup>[18-20]</sup>。运用 Markov 过程需要确定土地利用类型之间相互转化的转移概率矩阵  $P$ ,其数学表达式为:

$$P=P_{ij}=\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & P_{n3} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

式中: $n$ ——研究区土地利用类型的数目; $P_{ij}$ ——系统由一种状态  $i$  转变为另一种状态  $j$  的转移概率,在转移概率矩阵中的元素皆非负且小于等于 1(即  $0\leq P_{ij}\leq 1$ ),而且矩阵的每一行之和都等于 1(即  $\sum_{j=1}^N P_{ij}=1$ )。通常研究的 Markov 链都具有无后效性和齐次两个特征,满足以下基本方程:

$$P_{(n)}=P_{(n-1)}P_{ij}$$

式中: $P_{(n)}$ ——经过  $(n-1)$  次状态转移到达  $n$  次转以后的状态概率向量; $P_{(n-1)}$  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  $P_{(n)}$  前一次状态的概率向量; $P_{ij}$ ——转移概率矩阵。

## 2.2 确定转移概率矩阵

(1) 利用 ArcGIS 10.0 软件分类提取吉林省西部 2000 年和 2010 年两个时期的遥感影像,生成 2000 年和 2010 年土地利用类型图,通过分析得出 2000—2010 吉林西部土地利用数据变化(表 1)。

表 1 2000—2010 吉林西部土地利用基础数据

年份	指标	林地	草地	水域	建设用地	水田	旱地	沙地	盐碱地	湿地
2000	面积/km <sup>2</sup>	2438.00	5144.46	2654.44	1611.81	2353.72	22339.50	261.18	7854.05	2229.89
	所占比重/%	5.20	10.97	5.66	3.44	5.02	47.65	0.56	16.75	4.76
2010	面积/km <sup>2</sup>	2579.52	4964.45	2321.46	1824.08	4463.95	22392.57	148.8	6491.97	1700.25
	所占比重/%	5.50	10.59	4.95	3.89	9.52	47.76	0.32	13.85	3.63

(2) 通过对吉林省西部 2000 年与 2010 年土地利用类型图叠加,可以得到 2000—2010 年的土地利用转移情况变化(表 2)。

(3) 利用 SPSS 的统计软件,以吉林西部各个土地利用类型的转移面积据为基础,获得 2000—2010 年吉林西部土地利用结构变化转移矩阵(表 3)。

表 2 吉林西部土地利用类型面积转化情况变化

km<sup>2</sup>

		2010 年								
	土地类型	林地	草地	水域	建设用地	水田	旱地	沙地	盐碱地	湿地
2000 年	林地	1685.69	90.53	30.18	27.05	17.69	548.37	0	27.05	11.45
	草地	40.58	3231.94	45.78	22.89	126.95	1243.45	0	334.02	98.85
	水域	34.34	59.31	1641.98	52.03	133.19	298.64	0	99.89	335.06
	建设用地	6.24	9.36	3.12	1401.62	40.58	126.95	0	18.73	5.2
	水田	20.81	15.61	11.45	10.41	1792.86	468.25	0	13.53	20.81
	旱田	685.72	185.22	109.26	216.43	1901.08	18381.26	0	791.86	68.68
	沙地	0	5.20	5.20	1.04	0	80.12	148.80	19.77	1.04
	盐碱地	61.39	976.03	283.03	92.61	214.35	988.52	0	5068.50	169.61
	湿地	44.74	391.25	191.46	0	237.24	257.02	0	118.62	989.56
	增加	893.82	1732.51	679.48	422.46	2671.08	4011.32	0	1423.47	710.7
	减少	752.32	1912.52	1012.46	210.18	560.87	3958.25	112.37	2785.54	1240.33
	净减少	-141.5	180.01	332.98	-212.28	-2110.21	-53.07	112.37	1362.07	529.63

表 3 2000—2010 年吉林西部年均土地利用转移概率矩阵

土地类型	林地	草地	水域	建设用地	水田	旱地	沙地	盐碱地	湿地
林地	0.6747	0.0360	0.0121	0.0108	0.0071	0.2195	0	0.0108	0.0046
草地	0.0047	0.3750	0.0053	0.0027	0.0147	0.1441	0	0.0387	0.0115
水域	0.0109	0.0190	0.5212	0.0165	0.0423	0.0948	0	0.0317	0.1064
建设用地	0.0040	0.0060	0.002	0.8923	0.0258	0.0808	0	0.0119	0.0033
水田	0.0224	0.0170	0.0123	0.0112	0.7734	0.202	0	0.0058	0.009
旱田	0.0336	0.0090	0.0054	0.0097	0.0848	0.8199	0	0.0353	0.0031
沙地	0	0.0210	0.0208	0.0042	0	0.3211	0.5963	0.0792	0.0042
盐碱地	0.0079	0.1260	0.0364	0.0119	0.0276	0.1271	0	0.6515	0.0218
湿地	0.0196	0.1720	0.084	0	0.1041	0.1127	0	0.052	0.4341

2.3 检验与预测

为了检验马尔柯夫模型在土地利用结构变化预测中的可行性,以 2000 年的土地利用类型面积为初始向量,对吉林西部 2010 年的土地利用结构进行预测,经过 10 步逐步计算得出的结果详见表 4。

表 4 马尔柯夫模型检验精度

2010	林地	草地	水域	建设用地	水田	旱地	沙地	盐碱地	湿地
实际比例%	5.50	10.59	4.95	3.89	9.52	47.76	0.32	13.85	3.63
预测比例%	5.57	10.87	4.92	3.96	9.51	47.46	0.33	13.62	3.69
差值	-0.07	-0.28	0.03	-0.07	0.01	0.30	-0.01	0.23	-0.06

表 4 中的实际值所占比例与预测值所占比例相差最大的为旱地,为 0.3%,最小的为水田,仅为 0.1%,实际值与预测值相差很小,验证了预测方法的可行性,说明马尔科夫链可以用于土地利用结构的预测。由此,利用该土地利用结构平均转移概率矩阵对 2020 年吉林西部土地利用结构进行预测,结果见表 5。

表 5 2020 年吉林西部土地利用类型数据预测

年份	指标	林地	草地	水域	建设用地	水田	旱地	沙地	盐碱地	湿地
2000	面积/hm <sup>2</sup>	2438.00	5144.46	2654.44	1611.81	2353.72	22339.50	261.18	7854.05	2229.89
	比重%	0.0520	0.1097	0.0566	0.0344	0.0502	0.4765	0.0056	0.1675	0.0476
2010	面积/hm <sup>2</sup>	2579.51	4964.45	2321.46	1824.08	4463.94	22392.58	148.80	6491.97	1700.26
	比重%	0.0550	0.1059	0.0495	0.0389	0.0952	0.4776	0.0032	0.1385	0.0363
2020	面积/hm <sup>2</sup>	2732.95	3395.01	1828.11	2051.13	5943.73	22473.87	88.73	5462.15	1310.55
	比重%	0.0610	0.0758	0.0408	0.0458	0.1327	0.4906	0.0020	0.1220	0.0293

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用结构变化分析

由表 1 可见,2000 年吉林西部的林地面积为 2 438 km<sup>2</sup> 占 5.20%,草地为 5 144.46 km<sup>2</sup> 占 10.97%,水域为 2 654.44 km<sup>2</sup> 占 5.66%,建设用地为 1 611.81 km<sup>2</sup> 占 3.44%,水田为 2 353.72 km<sup>2</sup> 占 5.02%,旱地为 22 339.50 km<sup>2</sup> 占 47.65%,沙地为 261.18 km<sup>2</sup> 占 0.56%,盐碱地为 7 854.05 km<sup>2</sup> 占 16.75%,湿地为 2 229.89 km<sup>2</sup> 占 4.76%。2010 年吉林西部:林地为 2 579.52 km<sup>2</sup> 占 5.50%,草地为 4 964.45 km<sup>2</sup> 占 10.59%,水域为 2 321.46 km<sup>2</sup> 占 4.95%,建设用地为 1 824.08 km<sup>2</sup> 占 3.89%,水田为 4 463.95 km<sup>2</sup> 占 9.52%,旱地为 22 392.57 km<sup>2</sup> 占 47.76%,沙地为 148.8 km<sup>2</sup> 占 0.32%,盐碱地为 6 491.97 km<sup>2</sup> 占 13.85%,湿地为 1 700.25 km<sup>2</sup> 占 3.63%。

综上可知,在 2000—2010 年的 10 a 间吉林西部的林地、建设用地、水田、旱地都有所增加,其中,水田增加最多,净增加了 2 110.21 km<sup>2</sup>,这主要是因为这 10 a 中的生产方式发生了转变,导致水田的增加。同时,草地,水域,沙地,盐碱地,湿地都有所减少,其中盐碱地减少最多,净减少了 1 362.07 km<sup>2</sup>,说明吉林省西部地区对盐碱地的治理取得了明显的成效。

#### 3.2 预测结果分析

从预测结果(表 5)来看,到 2020 年,吉林西部的林地、建设用地、水田、旱地的面积持续增加,草地、水域、沙地、盐碱地、湿地有所减少。其中建设用地扩张速度不断增加。吉林西部的建设用地所占比例将从 2010 年的 3.89% 上升到 2020 年的 4.58%,说明在未来的发展中,吉林西部的经济不断发展,城市化程度加快,城市人口逐渐增多,对土地的需求也不断增加;耕地面积不断增加,耕地所占比例将从 2010 年的 57.28% 上升到 2020 年的 62.33%,这是开发未利用土地和耕地占补平衡的结果,虽耕地数量增加,但质量却相对下降;盐碱地、沙地和未利用地的面积逐步减少。其中盐碱地将持续大幅度减少,在 2010 年盐碱地的比例从 2000 年的 16.75% 下降到 13.85%,到 2020 年将下降到 12.2%,说明吉林西部在发展经济的同时也注重对盐碱地的治理,并且取得了成效;林地面积虽稳步增长,但草地、湿地和水域面积却不断减少。草地面积在 2010 年为 2 579.51 km<sup>2</sup>,2020 年为 2 732.95 km<sup>2</sup>,说明今后应在发展经济的同时要注意保护生态环境。

### 4 结论与建议

(1) 利用马尔柯夫预测方法对土地利用结构进行预测是可行的。根据初始向量对现有的土地利用数据进行模拟,结果与实际的数据基本吻合。说明在宏观的政策条件没有剧烈变化的情况下,利用马尔柯夫预测方法对吉林西部未来的土地利用状况的预测数据是有科学依据的,可以为相关决策部门提供参考。

(2) 建设用地不断扩张,草地,湿地和水域面积的不断退化已成为吉林省西部生态环境恶化的突出表现。预测结果显示,2020 年建设用地的增加主要来自对原耕地的侵占,草地、湿地和水域的变化集中在研究区中部的地势低洼地带,其生态景观格局变化剧烈,生态环境遭到严重破坏,将严重制约当地社会经济的可持续发展。建议吉林省西部今后的土地利用过程中适当增加草地和林地的比例,合理调整土地利用结构,限制建设用地的盲目扩张,挖潜存量建设用地,提高建设用地的利用率,从而实现土地资源的可持续利用。

#### 参考文献:

- [1] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究:寻求新的综合途径[J]. 地理研究,2001,20(6):645-652.
- [2] 梁发超,张文开,居凤云. 基于 MARKOV—灰色模型的土地利用结构变化预测[J]. 沈阳师范大学学报,2008,20(6):110-113.
- [3] 张希彪. 黄土丘陵沟壑区土地利用结构的地域分异研究[J]. 农业现代化研究,2005,26(6):435-439.
- [4] 崔新蕾,张安录. 基于信息熵的陵水县土地利用结构时空变化研究[J]. 资源与产业,2009(6):25-29.
- [5] 淘金,付梅臣,田迪,等. 武安市土地利用结构信息熵时空变化分析[J]. 资源开发与市场,2009,25(4):298-300.
- [6] 文博,夏敏. 基于信息熵和灰关联分析的县域土地利用结构时空变化:以江西省赣州市全南县为例[J]. 安徽农业科学,2010,38(15):8119-8121,8196.
- [7] 林珍铭,夏斌,董娟娟. 基于信息熵的广东省土地利用结构时空变化分析[J]. 热带地理,2011,31(3):269-271.
- [8] 李超. 农牧交错区不同土地利用方式下土地利用结构优化配置研究[D]. 北京:中国农业大学,2003.
- [9] 张巧艳. 基于系统方法的土地利用结构优化配置研究[D]. 南宁:广西大学,2006.
- [10] 申伟. 基于精明增长的区域土地利用结构优化配置研究[D]. 济南:山东师范大学,2009.
- [11] 臧丽娟. 吉林西部土地利用结构优化配置研究[D]. 长春:吉林大学,2010.

- 理学报,2005,60(3):392-399.
- [4] Bourne L S. Internal Structure of City: Reading on Urban form, Growth and Policy[M]. Oxford: Oxford University Press,1982.
- [5] Xian G, Crane M. Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data[J]. Remote Sensing of Environment,2005,97(2):203-215.
- [6] Herold M, Goldstein N C, Clarke K C. The spatiotemporal from of urban growth: measurement analysis and modeling[J]. Remote sensing of Environment,2003,86(4):286-302.
- [7] 林目轩,师迎春,陈秧分,等.长沙市区建设用地扩张的时空特征[J].地理研究,2007,26(2):265-274.
- [8] 薛东前,王传胜.无锡城市用地扩展的时空特征与趋势分析[J].资源科学,2003,25(1):9-11.
- [9] 匡文慧,张树文,张养贞,等.1990年以来长春市土地利用空间扩张机理分析[J].地理学报,2005,60(5):841-850.
- [10] 肖捷颖,葛京凤,沈彦俊,等.基于GIS的石家庄市城市土地利用扩展研究[J].地理研究,2003,22(6):789-798.
- [11] 黄粤,包安明,马勇刚,等.近15a乌鲁木齐市城市用地扩展动态及其空间特征研究[J].冰川冻土,2006,28(3):364-370.
- [12] 马玉香,高素芳.乌鲁木齐市城市进程与耕地面积变化的定量研究[J].水土保持研究,2011,18(5):271-274.
- [13] 张晶晶.河南省城镇体系规模结构时空特征分析[J].水土保持研究,2011,18(5):243-246.
- [14] 贾鹏,杨刚桥.城市用地扩张驱动力分析:以湖北省为例[J].水土保持研究,2006,13(2):182-185.
- [15] 朱英明,姚士谋,李玉见.我国城市化进程中的城市空间演化研究[J].地理学与国土研究,2000,16(2):12-16.
- [16] 刘纪远,王新生,庄大方,等.凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别[J].地理学报,2003,59(6):885-892.
- [17] 牟凤云,张增祥.城市空间形态量化研究进展[J].水土保持研究,2009,16(5):273-277.
- [18] 曾辉,蒋峰,李书娟.南昌地区城市建成区景观结构特征对建设用地扩张的影响[J].生态学报,2004,24(9):1931-1937.
- [19] 吴宏安,蒋建军,周杰,等.西安城市扩张及其动机分析[J].地理学报,2005,60(1):143-150.
- [20] 张新焕,杨德刚,陈曦.乌鲁木齐近50年城市用地动态扩张及其机制研究[J].干旱区地理,2005,28(2):263-269.
- [21] 除多,张懿锂,郑度.拉萨地区土地利用变化情景分析[J].地理研究,2005,24(6):869-876.
- [22] 刘纪远,张增祥.20世纪90年代我国土地利用变化的基本时空特征及其成因分析[J].地理研究,2003,22(1):1-12.
- [23] 陈佑启,Peter H verburg.中国土地利用/土地覆被变化的多尺度空间分布特征分析[J].地理科学,2004,(4):31-36.
- [24] 李晓文,仿创琳,黄金川,等.西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应:以甘肃河西地区为例[J].第四纪研究,2003,23(5):280-292.
- [25] 苏维词.贵阳城市土地利用变化及其环境效应[J].地理科学,2000,20(5):462-468.
- [26] 周可法,吴世新.基于RS和GIS技术下城镇空间变化分析及应用研究[J].干旱区地理,2002,25(1):61-64.
- [27] 王爱辉,刘晓燕,杨荣江.干旱区绿洲型城市经济增长与环境污染关系实证分析:以新疆奎屯市为例[J].干旱区资源与环境,2011,25(6):59-65.
- [28] 罗若愚.奎屯城市经济活动的变化发展分析[J].兵团教育学院学报,2002,3(12):4-6.
- [29] 罗春,刘益民,杨荣江,等.奎屯市大气环境质量分析评价[J].兵团教育学院学报,2004,14(1):9-11.
- [30] 王茜,张增祥,易玲,等.南京城市扩展的遥感研究[J].长江流域资源与环境,2007,16(5):554-559.
- [31] 李德一,长树文.基于遥感和GIS的哈大齐城市带建成区扩展特征分析[J].测绘科学,2009,34(2):35-37.
- [32] 王厚军,李小玉,张祖陆,等.1979—2006年沈阳市城市空间扩展过程分析[J].应用生态学报,2008,19(12):2673-2779.

(上接第232页)

- [12] 熊德惠.贵州省黔南州土地利用结构优化配置研究[J].农技服务,2010,27(11):1503-1506,1525.
- [13] 王水献,董新光,寇文.马尔柯夫过程预测焉耆盆地土地利用覆被格局变化[J].干旱区资源与环境,2007,21(10):28-33.
- [14] 朱懋,韦素琼.基于马尔可夫模型的德化县土地利用结构变化预测[J].热带水土保持,2009(3):26-31.
- [15] 常成,刘霞,张光灿,等.利用马尔柯夫过程预测蒙阴县土地利用覆被格局变化[J].土壤,2010,42(2):309-313.
- [16] 王剑,徐美.基于马尔柯夫模型的漾濞江流域土地利用变化预测[J].水土保持研究,2011,18(5):91-95.
- [17] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002:93-98.
- [18] 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.
- [19] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [20] 陈彦光.地理数学方法:基础与应用[M].北京:科学出版社,2011.