

长沙市土地利用结构预测及其驱动力研究

肖志坤¹, 王芳¹, 全斌^{1,2}, 姜良美¹, 王昭生¹, 雷诗¹

(1. 湖南科技大学 地球空间信息科学研究所, 湖南 湘潭 411201;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用 1990、1995、2000 和 2005 年共 4 期 Landsat TM 数据和 Markov 模型, 预测分析了长沙市土地利用及其结构变化, 深入理解和发现导致其变化的驱动力。结果表明, 1990—2020 年长沙市土地利用结构信息熵和均衡度分别从 0.879 3 和 0.490 7 上升至 0.922 5 和 0.514 9, 优势度从 0.509 3 下降至 0.485 1, 土地资源系统的有序程度呈降低趋势; 长沙市土地利用结构变化直接表现在地类变化上, 且与社会经济驱动密切相关。

关键词: 土地利用; 长沙市; Markov 模型; 结构指数; 驱动因素

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0142-05

中图分类号: F301.24

Driving Factors and Predictions of Land Use Structure in Changsha City

XIAO Zhi-kun¹, WANG Fang¹, QUAN Bin^{1,2}, JIANG Liang-mei¹, WANG Zhao-sheng¹, LEI Shi¹

(1. Institute of Geospatial Information Science, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan

411201, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Using four sets of Landsat TM images of 1990, 1995, 2000 and 2005 and the Markov model, the changes of land use and structure index were analyzed and predicted in order to improve the understandings of the driving forces for land use change in Changsha City. The results show that during the 30 years from 1990 to 2020 in Changsha City, the information entropy and equilibrium degree of the land use structure increased from 0.879 3 and 0.490 7 to 0.922 5 and 0.514 9, respectively, while the degree of dominance decreased from 0.5093 to 0.4851, reflecting the degree of order in the land resource system decreased. A significant and close correlation was also indentified between the land use structure changes and social economic driving factors.

Keywords: land use; Changsha City; Markov model; structure index; driving factor

土地利用/土地覆被是地球表层系统最突出的景观标志^[1]。自 20 世纪 90 年代, 土地利用/覆被变化 (land use/cover change, LUCC) 研究就成为全球变化研究的核心领域之一^[2]。

随着全球变化研究的深入和发展, LUCC 研究越来越成为各国科学家研究的热点^[3-5], 并促使和推动了土地利用变化科学 (land change science, LCS) 的产生与兴起^[6]。而土地本身是一个具有耗散结构的自然和历史的综合体, 在结构和功能上具有有序性, 其结构研究是 LUCC 研究的核心内容之一。近年来众多学者对其进行了研究^[7-9], 普遍认为土地利用结构具有时空分异规律, 影响着区域土地资源的可持续利

用, 研究其动态变化对区域土地利用结构的调整有一定的参考价值。

长沙市作为长株潭“两型社会”的核心城市, 是我国中部城市群的典型代表城市。该区属南方红壤地带, 山地丘陵面积和降雨变化率大, 生态相当脆弱, 水土流失和环境污染严重, 阻碍了长沙市社会经济的可持续发展。以往对研究区土地利用结构的研究大多数数据来源和指标单一, 且针对已发生事实, 缺乏对土地利用结构的趋势预测及驱动因素的定量研究^[10-11]。基于以上背景, 研究利用遥感数据和 GIS 技术, 选取 Markov 和土地利用结构指数, 预测分析长沙市土地利用结构时空分异演变规律及其驱动因素,

收稿日期: 2011-06-11

修回日期: 2011-07-26

资助项目: 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室开放基金项目“宁夏南部山区土地利用变化驱动的侵蚀环境演变机理研究”(10501-298); 国土资源公益性行业科研专项(201211039-4); 湖南省自然科学基金项目(10JJ4027); 湖南科技大学研究生创新基金(S100129)

作者简介: 肖志坤(1985—), 男(汉族), 山东省菏泽市人, 硕士研究生, 方向为 3S 技术应用与土地利用。E-mail: xzk_1985@yahoo.com.cn。

通信作者: 王芳(1979—), 女(汉族), 河南省安阳市人, 博士, 讲师, 主要从事微波定量遥感研究。E-mail: fang_wang@263.net。

以期对长沙市及其它城市群的土地资源的可持续利用决策和区域人地关系调控提供科学参考。

1 研究区概况

长沙市位于湖南省东部偏北,湘江下游,南接株洲市和湘潭市。地理位置为东经 $111^{\circ}53'$ — $114^{\circ}5'$, 北纬 $27^{\circ}51'$ — $28^{\circ}40'$, 属亚热带季风气候,四季分明。长沙市辖芙蓉区、天心区、岳麓区、开福区、雨花区及长沙县、望城县、宁乡县、浏阳市,共5区3县1市,面积 $1.18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。土地利用类型多样,全年无霜期约 275 d,年平均气温 $16.8 \sim 17.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均降水量 1422.4 mm,湘江是区内主要河流。2007年11月16日,长株潭城市群被批准为“两型社会”试验区,长沙市为核心城市。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

研究使用的主要数据源包括长沙市 1990、1995、2000 和 2005 年的 Landsat TM/ETM 遥感影像,以及其它地理信息和统计数据。其中,前3期来源于中国资源环境数据库,2005年影像来自美国国土资源部 USGS 网站。采用第5A和3波段组合,利用 ERDAS 9.2 的计算机自动分类和目视解译,最后在 ArcGIS 9.3 中形成 1:10 万土地利用数据,前3期遥感数据的定性精度误差分别被控制在 92.92%、98.40% 和 97.45% 水平上,2005年数据分类的 Kappa 系数达到 0.873,满足研究精度。土地覆被分类体系参照中国环境科学院遥感土地覆被的分类标准,并结合研究区的自然地理特点,分为耕地、林地、草地、城镇建设用地、水域和未利用地共6类。经济数据来源于《湖南省统计年鉴(1991—2010年)》。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用结构信息熵、均衡度和优势度 信息熵是 1948 年美国数学家 Shannon 基于信息论提出的,被用来反映人们对系统内部组态的信息的缺乏程度或一个随机事件的不确定性的一个量度。在土地利用研究中用来表示土地系统内部结构的有序性。土地利用的职能类型越多且各地类的面积越平均,熵值越高,区域土地系统的有序性越弱;熵值越低,有序程度相对较高,系统可以健康发展。在实际应用中,由于不同的城市或同一城市的不同发展阶段土地职能数可能不同,土地利用结构信息熵往往缺乏可比性,由此引入信息熵变化率、均衡度和优势度的概念^[12-13]。均衡度越大,优势度越小,城市土地利用的

均质性就越强。与信息熵相比,由此计算的结果更直观且更具有可比性。表达式分别为:

$$P_i = A_i/A = A_i/\sum_{i=1}^n A_i \quad (P_i \geq 0, \sum_{i=1}^n P_i = 1) \quad (1)$$

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$V_t = (H_t - H_{t-1})/H_{t-1} \times 100\% \quad (3)$$

$$J = H/H_m = (-\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i) / \ln n \quad (4)$$

$$I = 1 - J \quad (0 < I, J < 1) \quad (5)$$

式中: P_i ——某土地利用类型的比例; A ——区域土地总面积; A_i ——某土地利用类型 i 的面积; V_t ——第 t 年土地利用结构信息熵变化率; H_t ——第 t 年土地利用结构信息熵; H_{t-1} ——第 $t-1$ 年土地利用结构信息熵; J ——均衡度; I ——优势度。

2.2.2 土地利用类型综合转移速率 土地利用变化的实质是区域内不同地类间的相互转化,年平均综合转移速率系数^[9]有效地综合了区域内各种地类的变化速度信息,而且考虑了区域内土地面积总量及结构因素,其大小反映了区域生态系统的稳定性。

$$V = \frac{1}{\Delta T} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i^{(t+1)} - A_i^{(t)}}{A_i^{(t)}} \right)^2 \times \frac{A_i^{(t)}}{A}} \quad (6)$$

式中: V ——年平均综合转移速率; $A_i^{(t+1)}$, $A_i^{(t)}$ —— $t+1$ 、 t 时期第 i 类用地面积。

2.2.3 马尔科夫模型 马尔科夫模型预测是俄国数学家马尔科夫(Markov)于 20 世纪初发现的系统状态转移规律,分析随机事件未来发展变化的趋势及可能的结果,为决策者提供决策信息的一种分析方法^[14]。它是一种“无后效性”的随机过程,即为某随机过程第 $n+1$ 步的状态条件概率与第 n 步以前的状态无关,而仅与第 n 步状态有关。土地利用变化具有随机、无后效性的性质,因此可用其模拟变化趋势。在 LUC 研究中运用该模型的关键在于确定它在 t 时刻的一步转移概率 P_{ij} 和初始状态向量。表达式为:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$S^{(k+1)} = S^{(k)} P = S^{(0)} P^{(k+1)} \quad (8)$$

式中: P_{ij} ——研究时段内土地利用类型 i 转移为土地利用类型 j 的转移概率; $S^{(0)}$ ——预测初期土地利用状态; $S^{(k)}$ ——预测地类在 $t=k$ 时刻的状态; P ——一步转移概率矩阵; $S^{(k+1)}$ ——预测地类在 $t=k+1$ 时的状态,即预测结果。

3 结果与分析

3.1 长沙市土地利用结构变化的 Markov 预测与分析
运用 ERDAS 9.2 对遥感影像解译分类,在 ArcGIS 9.3 中建立土地利用变化数据库,统计数据并运用公式(7)得到长沙市 1990—1995 年和 1995—2000 年土地利用类型转移概率矩阵。在此基础上,运用 Markov 模型进行两种预测:(1)利用 1990—1995 年土地利用类型转移概率矩阵,以 1995 年数据

为初始状态,以 5 a 为步长预测;(2)以 1995—2000 年土地利用类型转移概率矩阵和 1995 年数据为初始状态,以 5 a 为步长预测。其中,对预测精度的评价是十分必要的。为弱化预测的随机性,提高预测精度,对两种预测结果进行等权修正,最后将预测结果与 2005 年解译数据进行精度评价(表 1)。经过修正后的预测结果相对误差较小,可以作为研究参考。

表 1 2005 年长沙市 Markov 模型预测精度评价

项目	耕地	林地	草地	水域	城镇建设用地	未利用土地
面积/hm ²	369 423	737 008	14 367	22 532	38 492	221
预测值 1/hm ²	369 316	739 199	13 780	21 146	38 371	216
相对误差	-0.000 29	0.002 97	-0.040 83	-0.061 52	-0.003 15	-0.023 51
预测值 2/hm ²	370 172	733 931	14 719	24 516	38 469	236
相对误差	0.002 03	-0.00417	0.024 53	0.08804	-0.000 61	0.066 91
平均修正后/hm ²	369 744	736 565	14 250	22 831	38 420	226
相对误差	0.000 86	-0.000 60	-0.008 15	0.013 26	-0.001 88	0.021 70

注:相对误差=(预测值-实际值)/实际值。

由表 2 可知:(1)1990—2005 年,长沙市土地利用结构有一定的变化,但总体趋于稳定。在各土地利用类型中,各地类所占面积和比重由大到小依次为:林地>耕地>城镇建设用地>水域>草地>未利用土地。耕地、林地、水域和未利用土地的面积逐年减少,所占比例不持续下降,而城镇建设用地和草地面积不断增加,比例上升。(2)Markov 模型预测结果表明,未来长沙市的土地利用结构变化仍将呈现耕地、林地比例持续下降,城镇建设用地比例持续上升的发展特征。且

城镇建设用地扩展迅速,面积从 1990 年的 26 127 hm² 扩展到 2005 年的 38 492 hm²,到 2020 年可达到 50 052 hm²,面积和比例都增加了近一倍。这种发展特征反映出:一方面随着“两型社会”建设的不断推进,社会经济建设迅猛发展,对城镇建设用地的需求不断增加;另一方面,面对社会经济驱动,用地需求主要是通过占用耕地、林地等来缓解的。在一定程度上反映了农业发展和非农经济发展之间的矛盾,经济建设用地需求与耕地和生态环境保护之间的矛盾。

表 2 长沙市土地利用结构动态变化

年份	项目	耕地	林地	草地	水域	城镇建设用地	未利用土地
1990 年	面积/hm ²	376 866	739 572	141 27	25 041	26 127	310
	比例	0.318 8	0.625 7	0.012 0	0.021 2	0.022 1	0.000 3
1995 年	面积/hm ²	374 373	739 454	14 009	23 650	30 282	275
	比例	0.316 7	0.625 6	0.011 9	0.020 0	0.025 6	0.000 2
2000 年	面积/hm ²	372 252	736 684	14 364	24 084	34 404	255
	比例	0.314 9	0.623 2	0.012 2	0.020 4	0.029 1	0.000 2
2005 年	面积/hm ²	369 423	737 008	14 367	22 532	38 492	221
	比例	0.312 5	0.623 5	0.012 2	0.019 1	0.032 6	0.000 2
2010 年	面积/hm ²	367 449	735 129	14 369	22 484	42 396	205
	比例	0.310 9	0.621 9	0.012 2	0.019 0	0.035 9	0.000 2
2015 年	面积/hm ²	365 167	733 697	14 488	22 175	46 310	187
	比例	0.308 90	0.620 70	0.012 30	0.018 80	0.039 20	0.000 2
2020 年	面积/hm ²	362 902	732 265	14 606	21 902	50 052	170
	比例	0.307 01	0.619 49	0.012 4	0.018 5	0.042 3	0.000 1

3.2 长沙市土地利用结构指数变化分析

根据表1和公式(1)~(5),可计算出长沙市土地利用结构的相关指数(表3)。由表3可以看出,(1)1990—2005—2020年,长沙市土地利用结构信息熵总体呈现出在较高水平上上升的趋势,信息熵变化为0.8793~0.9007~0.9225,且年变化率在1995—2000年表现为最大,为0.0028,2000—2005年期间年变化率最小,为0.0001,此后信息熵年变化速度逐渐减缓。表明长沙市土地利用的职能类型越来越多,各土地类型的面积差逐渐变小,区域土地结构有序性越来越弱。但随着城市化发展,该区对生态环境的重视和一些政策如退耕还林等的制定,这种变化速度不断减缓。因此,长沙市应继续制定一些保护耕地和林地的措施,适当限制城镇建设用地的扩展速度,通过土地的集约化利用,减缓侵占耕地和林地的趋势。(2)区域土地利用结构的均衡度不断上升,优势度不断下降。1990—2005—2020年,均衡度变化为0.4907~0.5027~0.5149,呈上升趋势,而优势度变化正相反,变化为0.5093~0.4970~0.4851,呈下降态势。随着社会的发展进步,人类生活需求不断增加,加之各行业经济发展对建设用地持续增加的需求,长沙市土地利用职能类型不断增加,土地系统结构逐渐均衡,主要用地类型耕地、林地影响其它用地类型的程度减弱,但城镇建设用地的影响度不断增强。

表3 长沙市土地利用结构信息熵、均衡度与优势度变化

年份	信息熵 H	信息熵年 变化率 v_t	均衡度 J	优势度 I
1990	0.8793	—	0.4907	0.5093
1995	0.8841	0.0011	0.4934	0.5066
2000	0.8964	0.0028	0.5003	0.4997
2005	0.9007	0.0001	0.5027	0.4973
2010	0.9086	0.0017	0.5071	0.4929
2015	0.9161	0.0016	0.5113	0.4887
2020	0.9225	0.0014	0.5149	0.4851

由表2和公式(6)得到长沙市土地利用类型综合转移速率。结合该区土地利用转移矩阵,分析表明,1990—2005—2020年,长沙市地类转移主要表现为相当面积的耕地、林地转移为城镇建设用地,但土地利用类型综合转移速率不断下降,从1990—1995年的0.0051下降至2015—2020年的0.0034。这反映了长沙市土地结构对区域生态环境状况稳定性的影响程度下降,同时经济建设不断侵占农用地和生态用地

的必然规律。计算结果与该区土地利用结构信息熵变化趋势相一致。

3.3 土地利用结构变化的驱动因素分析

影响土地利用结构变化的因素主要包括内部因素和外在因素(社会经济因素)^[14],其中社会经济因素是短时期内土地利用结构变化的主导驱动。

3.3.1 土地利用结构的内部动因 区域内部土地利用地类变化是导致结构改变的直接动因。耕地、林地、城镇建设用地与长沙市土地结构信息熵变化的相关系数分别为0.940、0.904、0.960。由此看出,作为人类主要活动地类的土地类型,城镇建设用地、耕地和林地与信息熵高度相关,其面积所占比例的高低是影响长沙市土地利用结构信息熵变化的主要因素;而草地、水域、未利用土地的影响相对较小。

3.3.2 土地利用结构的社会经济驱动 选取GDP(X_1)、固定资产投资(X_2)、工业总产值(X_3)、总人口(X_4)、城市化率(X_5)、农业总产值(X_6)、建成区绿化覆盖率(X_7)这7个社会经济指标,分析它们与土地利用结构的变化关系。由表4可以看出,1990—2010年长沙市社会经济驱动与土地利用结构信息熵呈强正相关关系,与土地转移速率呈强负相关关系。

土地资源是人类赖以生存的物质基础。1990年长沙市人口为550.05万人,到2010年激增到689.50万人。人口的增长,对土地产生了极大压力,加剧了人地矛盾。长沙市社会经济高速发展,GDP从1990年的93.48亿元增加到2010年的4547.06亿元,工业总产值由116.65亿元增加至3045.82亿元,农业总产值由36.52亿元增加至146.58亿元,城市化水平由25.99%提高到62.63%。经济的快速发展带来工业化和城市化的加速发展,也必然促使城市面积规模的扩展和带动人类更多的生活需求,由此需要更多的土地保障,最终导致区域土地利用结构的变化。这在与人类活动联系较紧密的耕地和城镇建设用地的变化上反映的较明显,耕地在1990—2000年间减少了9417 hm²,城镇建设用地增加了16269 hm²,增幅达62.27%。社会固定资产投资是拉动长沙市持续快速增长的主要因素之一。1990年长沙市固定资产投资仅10.05亿元,到2010年已经超过2400亿元。这些投入,一方面可以提高长沙市房地产开发和存量用地的投资密度和强度,另一方面也对增量用地提出了需求。主要表现在建设用地的急剧增加和耕地的减少,同时也加剧了城镇建设扩张与耕地保护之间的矛盾。

表 4 社会经济驱动与土地利用结构的相关性

相关系数	GDP X_1	固定资产 投资 X_2	工业总产值 X_3	总人口 X_4	城市化率 X_5	农业总产值 X_6	建成区绿化 覆盖率 X_7
信息熵 H	0.997	0.999	0.998	0.973	0.979	0.985	0.849
转移速率 V	-0.963	-0.954	-0.936	-0.929	-0.847	-0.936	-0.612

4 结论

本研究基于遥感和 GIS 技术,通过对 Markov 模型的预测与评价,预测分析了长沙市土地利用结构的变化规律,定量化探求其驱动因素,不仅对该区土地资源的合理利用与结构的调整具有一定的指导意义,同时也为我国中部其它地区的土地利用提供借鉴参考。研究表明,1990—2005—2020 年,长沙市土地利用结构整体变化趋于稳定且在时间序列上具有分异规律。各地类面积和比重依次为:林地 > 耕地 > 城镇建设用地 > 水域 > 草地 > 未利用土地,且耕地、林地、水域和未利用土地面积持续减少,比例不断下降,而城镇建设用地和草地面积变化相反。土地利用结构信息熵和均衡度不断增大,而优势度和土地利用类型综合转移速率不断减小。长沙市土地利用结构变化与主要地类(耕地、林地、城镇建设用地)变化和社会经济驱动密切相关。

土地利用结构具有时空分异规律,而 Markov 模型虽然在土地利用数量预测上具有优势,却不能预测空间上的变化转移。因此,将 Markov 与其它地学预测模型(如 CA, CLUE-S 等)相结合使用将极大提高预测的精度,并能深入探讨和发现对区域土地利用变化的空间分异规律。基于本研究结论,长沙市应在“两型社会”建设不断推进的大背景下,紧紧围绕“资源节约、环境友好”的建设要求,制定合理的土地可持续利用政策,调整土地利用结构,合理布局。在保护耕地和生态环境的前提下,适当限制城镇建设用地的扩展规模和速度,通过建立土地集约利用体制,提高土地资源的利用效率,以促进社会经济健康、可持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] Turner B L, Meyer W B. Land use and land cover in global environmental change: Considerations for study[J]. International Social Science Journal, 1991, 43(4): 669-679.

- [2] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-557.
- [3] Lambin E F, Geist H J. Land-use and Land-cover Change: Local Processes and Global Impacts [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2006: 222.
- [4] Deng J S, Wang K, Hong Y et al. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization [J]. Landscape and Urban Planning, 2009, 92(3/4): 187-198.
- [5] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析 [J]. 地理学报, 2009, 26(12): 1411-1420.
- [6] Moran E F. News on the land project [R]. Global Change Newsletter 2003.
- [7] 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分数维 [J]. 地理研究, 2001, 20(2): 146-152.
- [8] 谭永忠, 吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究 [J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 112-117.
- [9] 涂小松, 濮励杰. 苏锡常地区土地利用变化的时空分析及其生态环境响应 [J]. 地理研究, 2008, 27(3): 583-593.
- [10] 谭洁, 朱红梅, 金卫华. 长沙市土地利用结构熵值时序分析 [J]. 经济地理, 2010, 30(1): 118-121.
- [11] 卢波, 金勇章. 长沙市土地利用结构信息熵及驱动力研究 [J]. 资源与产业, 2008, 10(6): 19-21.
- [12] 高永年, 刘友兆. 经济快速发展地区土地利用结构信息熵变化及其动因分析: 以昆山市为例 [J]. 土壤, 2004, 36(5): 527-531.
- [13] 张培学, 姚慧, 郑新奇. 基于信息熵的济南市城乡用地结构及分布动态研究 [J]. 国土资源科技管理, 2006(2): 74-78.
- [14] 全斌. 土地利用与土地覆被变化学导论 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.