

基于 Markov 模型的长沙市和泉州市 土地利用变化预测及对比研究

雷师¹, 全斌^{1,2}, 欧阳鸿¹, 白一君¹, 谢金宁¹

(1. 湖南科技大学 建筑与城乡规划学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 湖南科技大学 地理空间信息湖南省工程实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要:为探索中国中部地区和东部沿海地区典型代表城市的土地利用程度变化特征和未来演变趋势,采用地理比较分析方法,基于地理信息技术(GIS)、遥感技术和 Markov 模型对长沙市和泉州市未来土地利用进行模拟预测,结合土地利用程度指数分析 1990—2020 年期间土地利用的变化情况及其变化趋势异同,试揭示不同时期、不同区域内土地利用程度变化差异性。研究结果表明:1995—2020 年期间,长沙市数量结构变化较泉州市更为稳定,耕地和建设用地所占比例结构变化具有较大差异性;土地利用程度指数的对比研究表明,两市综合程度指数均呈现一定增长,且泉州市土地利用综合程度指数变化趋势较长沙市更为显著,其土地利用程度变化量和变化率均大于长沙市。研究结果可为两市区域土地利用规划提供参考,并将有利于我国东南沿海和中部城市土地利用的可持续发展和生态环境保护。

关键词:土地利用/土地覆盖变化; Markov 模型; 区域比较; 长沙市; 泉州市

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)06-0224-06

Prediction and Comparison of the Land Use Changes in Changsha City and Quanzhou City Based on Markov Model

LEI Shi¹, QUAN Bin^{1,2}, OU YANG Hong¹, BAI Yi-jun¹, XIE Jin-ning¹

(1. School of Architecture and Urban Planning, Hu'nan University of Science and Technology, Xiangtan, Hu'nan 411201, China; 2. Hu'nan Province Engineering Laboratory of Geospatial Information, Hu'nan University of Science and Technology, Xiangtan, Hu'nan 411201, China)

Abstract: Using comparative analysis method of geography, we explored land use change during 1990—2020 based on GIS/RS technology and Markov model in the Changsha City and Quanzhou City. The results show that the quantitative land use structure has the similarity between Changsha and Quanzhou City during 1995 and 2020. However, the structure change of Changsha city is more stable than that of Quanzhou. The cropland and construction land structure change has bigger difference on the whole. And the comprehensive degree index both increased for the two cities, but the change of land use degree of Quanzhou is greater than that of Changsha. The results can provide reference for regional land use planning of the two cities, and will be conducive to the sustainable development of land use and ecological environment protection.

Key words: LUCC; Markov model; regional comparison; Changsha City; Quanzhou City

土地利用/土地覆盖变化(LUCC)越来越被认为是全球环境变化与可持续发展研究的重要内容^[1-3]。区域比较,包括变化过程、格局与驱动力的比较被认为是揭示全球与区域尺度土地利用覆盖时空

变化规律的有效方法^[1,4]。一些学者对中国中部和东部沿海地区土地利用变化过程、驱动力机制、模型预测等内容进行了研究。全斌^[5]、潘爱民^[6]、王昭生^[7]等对长株潭地区土地利用变化进行了相关研究。

收稿日期: 2013-04-02

修回日期: 2013-05-06

资助项目: 湖南省自然科学基金项目(14JJ2098, 14JJ4042); 美国农业部国际合作项目(58-6408-3-001FN); 国土资源部公益性行业科研专项(201211039-4)

作者简介: 雷师(1988—), 女, 湖南郴州人, 硕士研究生, 主要研究方向为土地利用/覆被变化及 3S 技术应用。E-mail: 303285162@qq.com

通信作者: 全斌(1968—), 男, 湖南衡阳人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用/覆被变化及 3S 技术应用研究。E-mail: quanbin308@aliyun.com

陈松林^[8]、陈国强^[9]等对福建厦门市土地利用变化及其驱动力机制和生态环境效应进行了分析。区域对比研究也取得一些进展,郑荣宝等^[10]对海峡两岸典型港口城市—高雄市和泉州市进行了对比研究,探讨了土地利用动态演化规律及空间格局演变。韦素琼等^[11]对闽台地区土地利用耕地数量变化及驱动力机制进行了相关对比研究。何书金等^[12]对中国西部典型区域土地利用变化及驱动力机制进行了比较分析。全斌^[13-14]对中国东、中、西部典型区域与美国代表性区域进行了初步比较分析。但是,目前跨区域城市土地利用变化比较研究因涉及的自然与社会经济因素较多,又存在着阶段性与时序性,因而相对比较薄弱。2007年12月,长株潭城市群“全国资源节约型和环境友好型社会建设综合配套改革试验区”获国家批准。2009年5月,《国务院关于支持福建省加快建设海峡西岸经济区的若干意见》正式颁布实施,标志着海峡西岸经济区正式从区域战略上升为国家战略。而长沙市和泉州市分别作为长株潭城市群的核心城市和海西经济区重要发展城市,政策因素给他们的城市化发展带来了机遇。基于以上背景,跨区域选取中国中部和东部沿海代表性城市长沙市和泉州市作为研究区域。采用地理信息系统(GIS)、遥感与时空模型、Markov链分析其1995—2020年土地利用变化趋势,并比较分析两个城市在数量结构和土地利用程度上的差异性,以期为跨区域城市土地利用变化比较研究作出探索。

1 研究区概况

长沙市位于中国中部的长江以南地区,湖南省的东部偏北,为长株潭城市群“两型社会”试验区核心城市。地处洞庭湖平原的南端向湘中丘陵盆地过渡地带,东西长约230 km,南北宽约88 km。长沙市辖六区二县一市,全市总面积为11 818 km²。地理位置介于111°53′—114°5′E,27°51′—28°40′N,年平均气温16.8~17.2℃,年平均总降水量1 422.4 mm,土壤类型多样,以红壤、水稻土为主,分别占土壤总面积的70%与25%。地貌北、西、南缘为山地,东南以丘陵为主,东北以岗地为主;山地、丘陵、岗地、平原大体各占四分之一。长沙市土地利用类型主要以耕地和林地组成的农用地为主,分别约占总面积的30%和60%。2010年长沙市常住人口约为704万人,较2000年人口调查数据增加近90万人。

泉州市位于中国东部沿海地区,福建省东南部,海西经济区重要发展地带,是福建省三大中心城市之一,全市土地面积约11 015 km²。地理位置介于

117°25′—119°05′E,24°30′—25°56′N,年平均气温18~20℃,年降雨量1 000~1 800 mm,土壤类型多样,分布最广的地带性土壤为红壤,其次为水稻土及赤红壤。地势西北高东南低,山地、丘陵占土地总面积的五分之四,俗称“八山一水一分田”,森林覆盖率达58.45%。泉州市土地利用类型以林地、耕地和建设用地为主,其中林地约占总面积的60%左右,耕地和建设用地变化剧烈,2010年,建设用地面积和耕地面积分别约为12%和15%。2010年泉州市人口为813万人,在福建省九地市中居于首位。

2 数据处理及研究方法

2.1 数据来源

本研究中采用的主要数据源包括长沙市1990年、1995年、2000年、2005年和泉州市1995年、2000年、2005年、2010年四期Landsat TM遥感影像或GIS矢量数据。1990年、1995年、2000年三期土地利用矢量数据均来自于中国资源环境数据库,其一级分类精度均达到90%以上^[15]。2005年、2010年遥感影像来源于美国国土资源部USGS网站(<http://glovis.usgs.gov/>)。其中,长沙市2005年遥感数据采用了2005年7月TM影像,泉州市遥感数据采用了2004年10月、2005年11月、2009年12月和2010年5月四期多时相TM遥感影像,分辨率均为30 m。相关经济统计数据来源于《湖南省/长沙市统计年鉴(1995—2010)》和《福建省/泉州市统计年鉴(1995—2010)》以及相关统计网站、政府公报。

2.2 数据处理及土地利用分类

本研究运用eCognition Developer 8软件对影像进行分类解译,在ArcGIS 9.3软件中形成1:10万矢量土地利用数据。eCognition Developer 8分类方法将计算机自动分类和人工信息提取相结合,充分参考了影像的对象信息和类间信息,大大提高了遥感影像的识别精度。经检验,长沙市2005年和泉州市2005年和2010年遥感数据解译得到的一级地类分类精度均大于90%,符合研究的精度要求。为方便矢量数据的空间叠加分析,将所有矢量数据均统一使用WGS_1984坐标系和Mercator投影。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,先将土地利用类型分为耕地、林地、园地、草地、城镇建设用地、水域和未利用地共7个一级类。结合湘潭市和泉州市的实际自然地理特点,长沙市土地利用分类体系不包含园地,泉州市土地利用分类体系中不包含草地,将这两类归并为林地类别中,最终两个研究区分别形成6个一级分类。

2.3 研究方法

2.3.1 土地利用程度综合指数 土地利用程度综合指数是土地利用广度和深度的反映,是衡量土地利用程度常用的指标^[16]。本研究采用该指数对比分析长沙市和泉州市的土地利用综合程度,计算公式为:

$$L_a = 100 \times \sum_{i=1}^n (A_i \times C_i) \quad (1)$$

式中: L_a ——某区域土地利用程度综合指数; A_i ——某区域第 i 级土地利用程度分级指数; C_i ——某区域第 i 级土地利用的面积百分比; n ——土地利用程度分级数。本研究参考刘纪远^[17]提出的土地利用分级方法,将土地利用类型分为 4 级,未利用土地分级指数赋为 1;林地、草地、园地、水域等生态用地级赋为 3;农业用地级的耕地赋为 5;城镇建设用地赋为 7。

2.3.2 土地利用程度变化 土地利用程度变化是各土地利用类型变化的结果,反映了该区域的土地利用开发程度。一般包括变化量和变化率,模型为:

$$\Delta L_{b-a} = L_b - L_a \quad (2)$$

$$R = \frac{\Delta L_{b-a}}{L_a} \quad (3)$$

式中: ΔL_{b-a} ——土地利用变化程度变化量; R ——土地利用变化程度变化率; L_b 、 L_a —— b 时间和 a 时间的区域土地利用程度综合指数。如果 $\Delta L_{b-a} > 0$ 或 $R > 0$,表示区域土地利用处于发展时期,反之,表示处于调整期或衰退期。

2.3.3 Markov 模型 Markov 过程是指系统由一种状态转移至另一种状态的过程具有无后效性和稳定性的特点。土地利用变化也具有无后效性的特点,满足该模型的使用条件,因此,可用其来预测土地利用的变化趋势。运用 Markov 模型进行土地利用预测的关键在于确定它在 m 时刻的转移概率 P_{ij} 。其转移矩阵 P 的表达式为:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

利用此概率建立土地利用 Markov 模型预测模型:

$$S^{(k+1)} = S^{(k)} P = S^{(0)} P^{(k+1)} \quad (5)$$

式中: $S^{(k+1)}$ ——预测地类在 $t=k+1$ 时的状态向量,即预测结果; $P^{(k+1)}$ ——在 $t=k+1$ 时的转移矩阵; $S^{(0)}$ ——初始状态量,即预测初期各土地利用类型的面积; $S^{(k)}$ ——预测地类在 $t=k$ 时刻的状态向量; P_{ij} ——研究时段内土地利用类型 i 转换为土地利用类型 j 的转移概率,Markov 模型的预测结果由初始状态向量和转移概率矩阵决定^[18]。

3 结果与分析

3.1 泉州市 Markov 模型土地利用预测及精度验证

对 1995—2010 年矢量数据分别进行空间叠加分析,统计得到不同时期土地利用转移矩阵。一般来说,预测土地利用/覆被变化状况时,年份较近的地类变化相关性较强,实际计算过程中,为进一步验证模型预测的精度,本研究选取 2000—2005 年土地利用转移矩阵并生成概率矩阵(表 1),以 2000 年土地利用数据为初始值,以 5 a 为步长对泉州市土地利用进行预测。通过 Markov 模型预测得到未来各地类土地利用面积,然后将 2010 年预测值与 2010 年实际值进行精度比较(表 2),计算其相对误差。由表 2 可知,该模式计算下的预测值与实际值的相对误差较小,误差值最大的为水域 0.19,其它地类相对误差控制在 0.07 以下。预测结果较为准确,可以满足本研究要求。

表 1 2000—2005 年转移概率矩阵

2005 年	2000 年					
	耕地	园地	林地	建设用地	水域	未利用土地
耕地	0.6884	0.0609	0.0527	0.1690	0.0075	0.0214
园地	0.2164	0.5202	0.1509	0.0671	0.0063	0.0392
林地	0.0150	0.0184	0.9483	0.0040	0.0033	0.0110
建设用地	0.1531	0.0386	0.0416	0.7453	0.0094	0.0119
水域	0.0961	0.0092	0.1131	0.2070	0.5674	0.0071
未利用土地	0.0401	0.0312	0.1884	0.0153	0.0051	0.7199

表 2 Markov 模型预测结果精度验证

2010 年	耕地	林地	园地	建设用地	水域	未利用土地
实际值/hm ²	169638	71273	669454	135948	16356	49036
预测值/hm ²	172555	67611	677494	126830	13212	48602
相对误差	0.01720	-0.05138	0.01201	-0.06707	-0.19222	-0.00885

注:相对误差=(预测值-实际值)/实际值。

3.2 1995—2020 年泉州市土地利用变化及特征分析

根据已有四期数据(1995年、2000年、2005年、2010年)以及 Markov 模型预测得到的 2015年、2020年两期数据,得到泉州市 1995—2020 年土地利用数量结构表(表 3)。由表 3 可知,泉州市土地利用结构主要呈现以林地、耕地和建设用地的特征,林地占主导,三者面积之和约占总面积的 90%。1995—2010 年期间,泉州市耕地、林地、园地等农业地类型面积逐年减少,其中耕地的减少最为剧烈,由 1995 年的 216 040 hm² 减少到 2010 年的 169 638 hm²,所占总面积的比例也由 19.45% 减少至 15.33%;相反,建设

用地面积不断增加,所占比例从 5.42% 增加到了 11.83%,上升 6 个百分点左右,建设用地扩展十分显著;水域、未利用地面积略有增加,但并不明显。2010—2020 年未来 10 a,泉州市土地利用变化表现为耕地、林地、园地面积持续减少,建设用地、水域、未利用地持续增加的趋势;其中耕地和建设用地的变化幅度较大,其它地类变化幅度较小。这种变化特征一定程度上反映出建设用地的扩张与耕地的急剧减少有着必然的关系,新增建设用地占用耕地、林地是未来经济发展下土地利用变化的重要特征之一。

表 3 1995—2020 年泉州市土地利用数量结构

年份	项目	耕地	林地	园地	建设用地	水域	未利用土地
1995	面积/hm ²	216040	685485	84532	60193	14130	50102
	比例/%	19.45	61.73	7.61	5.42	1.27	4.51
2000	面积/hm ²	200079	675392	83888	90947	15051	41033
	比例/%	18.08	61.04	7.58	8.22	1.36	3.71
2005	面积/hm ²	183095	677862	72893	113627	15331	46803
	比例/%	1.65	61.09	6.57	10.24	1.38	4.22
2010	面积/hm ²	169638	669454	71273	130948	16356	49036
	比例/%	15.33	60.49	6.44	11.83	1.48	4.43
2015	面积/hm ²	166217	677691	64679	134413	12892	50387
	比例/%	15.02	61.26	5.85	12.15	1.17	4.55
2020	面积/hm ²	162424	677716	63117	138759	12726.00	51512
	比例/%	14.68	61.26	5.71	12.54	1.15	4.66

3.3 长沙市和泉州市土地利用数量结构比较分析

对比分析长株潭城市群中心城市之一的长沙市和闽东南港口城市的泉州市在土地利用数量结构上的变化特征及差异性。整体来说,两个研究区域内数量结构上差异性较大的主要为耕地和建设用地;相似性较大的为林地;园地,草地,水域,未利用地所占比例较小,变化的趋势也不明显,本研究不做详细对比分析。1995—2020 年长沙市林地面积和 1995—2020 年泉州市林地面积所占比例均为 60% 左右,且变化幅度较小,趋于稳定,表明两个研究城市林地数量结构在研究期内变化趋势较为相似。重点对比分析耕地和建设用地数量结构变化,如图 1 所示:(1) 长沙市各个时期耕地面积所占比例均为 30% 左右,远远大于泉州市,到 2020 年,长沙市耕地面积比例约为泉州市;(2) 两个研究区域建设用地均呈现出一定幅度的增长,但泉州市各个时期建设用地比例大于长沙市,2010—2020 年期间,这种差异性将进一步拉大,该变化特征与经济发展具有一致性;(3) 整体趋势反映出长沙市耕地和建设用地面积占总面积的比例在各个时期变化并不明显,较为稳定,而泉州市耕地和

建设用地的变化趋势较为显著,数量结构变化较大。研究结果进一步反映出泉州市人类社会活动对土地利用变化的影响较大,建设用地的扩张十分迅速。然而建设用地的扩张往往是以占用耕地、林地等农用地为主,这将导致泉州市耕地与生态保护与经济矛盾的矛盾。

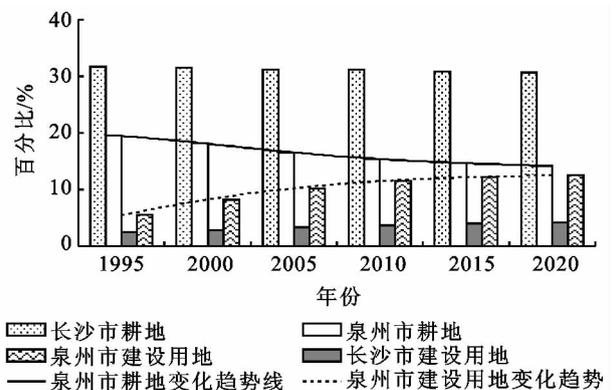


图 1 1995—2020 年长沙市和泉州市数量结构变化^[19]

3.4 长沙市和泉州市土地利用程度指数比较分析

利用公式(1),(2),(3),分别计算长沙市和泉州市土地利用综合程度指数和土地利用程度变化情况

(表 4)。由表 4 可看出,长沙市和泉州市土地利用综合程度在研究时期内均呈现不断增长的趋势,1995—2020 年期间,长沙市土地利用综合指数均大于泉州市,但是,泉州市综合程度指数变化幅度较长沙市更为明显。由表 4 的计算结果可知:(1) 1995—2020 期间,长沙市土地利用程度综合指数由 1995 年 373.54 增加至 2020 年 378.25,增长幅度低于 5,而泉州市变化较大,增长幅度为 20 左右,由 351.51 增加到 370.80。(2) 长沙市和泉州市土地利用程度变化量 ΔL_{b-a} 和土地利用程度变化率 R 均大于 0,表明两个研究区域在各个时期都处于发展时期;(3) 对比分析各个时期土地利用程度变化量,泉州市变化量均远远大于长沙

市,1995—2020 时期,长沙市变化量约为 4.71,而泉州市达到 19.27,差异性显著;(4) 对比分析各个时期土地利用程度变化率,泉州市变化率大于长沙市,1995—2020 时期,长沙市变化率为 0.012 6,远低于泉州市的 0.054 8。研究结果也表明了长沙市土地利用结构在研究期内较为稳定,其土地利用综合指数较大的原因主要是因为耕地、建设用地较高土地利用分级的土地面积所占比例较大。但泉州市土地利用程度指数变化上升趋势较长沙市更为明显,其主要原因是泉州市建设用地面积在不断扩张,导致土地利用综合指数增长较大,并导致土地利用变化量和变化率明显大于长沙市。

表 4 长沙市和泉州市土地利用综合程度指数变化

项目	地区	1995	2000	2005	2010	2015	2020
L_a	长沙市	373.54	374.58	375.53	376.53	377.45	378.25
	泉州市	351.53	361.60	365.52	369.12	369.54	370.80
项目	地区	1995—2000 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2015—2020 年	1995—2020 年
ΔL_{b-a}	长沙市	1.04	0.95	1.00	0.92	0.80	4.71
	泉州市	10.07	3.92	3.60	0.42	1.26	19.27
R	长沙市	0.0028	0.0025	0.0027	0.0024	0.0021	0.0126
	泉州市	0.0286	0.0109	0.0098	0.0011	0.0034	0.0548

4 结论与讨论

本文通过 Markov 模型预测以及区域对比分析了 1990—2020 年长沙市和 1995—2020 年泉州市土地利用数量结构变化和土地利用程度变化的特征,主要得到以下几个结论:

(1) 采用 Markov 模型预测未来泉州市 10 a 土地利用数量,泉州市土地利用表现为耕地、林地、园地面积持续减少,建设用地、水域、未利用地持续增加的趋势;其中耕地和建设用地的变化幅度较大,其它地类变化幅度较小。

(2) 对比分析 1995—2020 年长沙市和泉州市土地利用结构变化的特征,整体来看,长沙市土地利用结构较泉州市更加趋于稳定。耕地和建设用地所占比例结构差异性较大。长沙市耕地面积远大于泉州市,泉州市建设用地面积所占比例大于长沙市,并且,这种差异在未来 2010—2020 年时期将进一步拉大。

(3) 1995—2020 年期间,长沙市和泉州市土地利用程度变化量和变化率均大于 0,表明城市土地利用均处于发展时期。对比分析发现,虽然泉州市土地利用综合程度指数小于长沙市,但其土地利用变化程度指数却大于长沙市,表明泉州市土地利用发展速度较长沙市更为快速。

长沙市和泉州市分别位于我国中部和东部沿海地区,社会经济发展程度和城市扩张规模存在着较大的差异,相对东部,中部地区经济发展及城市扩张较为落后。自然因素、社会经济发展和国家政策引导是长沙市和泉州市建设用地和耕地数量结构和土地利用程度变化差异的主要原因。近年来,随着泉州市社会经济的快速发展,城市化进程迅速加快,泉州市建设用地扩张明显快于长沙市,建设用地所占总面积比例远远大于长沙市,并且导致了土地利用程度综合指数增长较长沙市快。但是,伴随城市化进程的加快和土地开发利用程度的提高,沿海城市出现了大量耕地被建设用地占用的现象,耕地流失严重,质量下降,人多地少矛盾更加激化。并且,沿海城市生态系统受自然和人类活动的压力越来越大,正面临着剧烈的环境问题,如气候变化、海平面上升、海岸侵蚀等^[20]。因此,代表我国中部地区的长沙市理应吸取东部沿海地区过去的教训,坚持走可持续发展以及环境经济和谐发展的道路,不要盲目追求过快城市化,应注重考虑人类居住的生态环境,而这与长株潭城市群“两型社会”建设目标是一致的。

本研究尚存在一些不足之处,Markov 模型对土地利用数量的预测较为有效,但缺乏空间上的预测变化优势,可考虑结合具有空间预测优势的模型加以完

善。另一方面,随着社会经济的快速发展,人类社
会活动对未来土地利用的作用越来越明显,典型区域之
间的驱动力比较将是本研究下一步的工作。

参考文献:

- [1] Liu Jiyuan, Liu Mingliang, Zhuang Dafang, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995—2000[J]. *Science in China; Series D*, 2003, 46(4): 373-384.
- [2] IGBP Secretariat. GLP (2005) Science Plan and Implementation Strategy[R]. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19, 2005, Stockholm: 64pp.
- [3] Turner II B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability[J]. *PNAS*, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [4] 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, 64(12):1411-1420.
- [5] Quan B, Xiao Z K, Römkens M J, et al. Spatiotemporal urban land use changes in the Changzhutan region of huanan province in China[J]. *Journal of Geographical Information System*, 2013, 5(2):136-147.
- [6] 潘爱民,全斌,王昭生. 长株潭城市群土地利用变化与城市化的相互响应研究[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(5): 167-171.
- [7] 王昭生,潘爱民,肖志坤. 基于异速增长模型的土地利用变化驱动因子分析:以湘潭市为例[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(5):40-44.
- [8] 陈松林,刘诗苑. 海湾型城市建设用地扩展的时空动态特征及驱动力研究:以厦门市为例[J]. *地理科学*, 2009, 29(3):342-346.
- [9] 陈国强,陈鹏. 海湾型城市土地利用动态演变及其生态环境效应研究[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(3):26-30.
- [10] 郑荣宝,董玉祥,陈松林. 典型港口城市泉州市和高雄市土地利用比较研究[J]. *世界地理研究*, 2005, 14(4): 70-77.
- [11] 韦素琼,陈健飞. 闽台耕地数量变化及驱动力因子的比较研究[J]. *土壤*, 2004, 36(5):506-515.
- [12] 何书金,王秀红,邓祥征,等. 中国西部典型地区土地利用变化对比分析[J]. *地理研究*, 2006, 25(1):79-86.
- [13] Quan B, Römkens M J, Bingner R L, et al. Changes in spatiotemporal land use patterns in selected hydro geomorphic areas of China and the USA[J]. *International Journal of Geosciences*, 2013, 4(3):537-548.
- [14] 全斌. 中国西北与东南土地利用变化及比较[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2010.
- [15] 刘纪远,战金艳,邓祥征. 经济改革背景下中国城市用地扩展的时空格局及其驱动因素分析[J]. *AMBIO: 人类环境杂志*, 2005, 34(6):444-449.
- [16] 王光谦,王思远,陈志祥. 黄河流域的土地利用和土地覆盖变化[J]. *清华大学学报*, 2004, 44(9):1218-1222.
- [17] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1996.
- [18] 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]. *亚热带水土保持*, 2009, 21(3):26-30.
- [19] 肖志坤,王芳,全斌,等. 长沙市土地利用结构预测及其驱动力研究[J]. *水土保持通报*, 2012, 32(2):142-146.
- [20] 黄静,崔胜辉,李方一,等. 厦门市三个产业土地利用变化的敏感性[J]. *生态学报*, 2011, 31(14):3863-3871.