

# 基于 GlobeLand 30 数据和 CA\_Markov 模型的郑州市 2000—2020 年地表覆盖变化特征及预测分析

刘培<sup>1,2</sup>, 贾守军<sup>1,2</sup>, 马朝阳<sup>1,2</sup>, 卢晓峰<sup>1,2</sup>, 韩瑞梅<sup>1,2</sup>, 贾函<sup>3</sup>

(1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000; 2. 河南理工大学 矿山空间信息  
技术国家测绘与地理信息局重点实验室, 河南 焦作 454000; 3. 北京奥腾岩石科技有限公司, 北京 101102)

**摘要:** [目的] 针对不同分类算法对地物识别结果的差异性导致地表覆盖变化分析难以为城市变化提供  
参考信息和决策依据问题。[方法] 研究以 GlobeLand 30 标准产品为数据源, 结合 CA\_Markov 模型, 对郑  
州地区 2000—2020 年土地利用变化速度、幅度、程度, 以及熵值演变方向等时空变化特征进行分析与模拟  
预测。[结果] (1) 2000—2010 年, 郑州地区人造地表显著增加, 湿地、耕地、草地有一定程度的减少, 其中  
人造地表和湿地的变化速度相对较快; (2) 2000—2010 年, 郑州地区土地利用程度变化量为 8.04, 土地利  
用信息熵和均衡度都有所提升, 优势度相应降低; (3) 预测 2020 年郑州地区地表覆盖状态同 2010 年相  
比, 人造地表和草地分别增加 68.88% 和 49.99%, 水体、湿地增加幅度均在 30% 以上, 耕地、林地有一定程  
度的减少。[结论] 2000—2020 年, 郑州地区土地利用总体分布格局具有显著性差异, 土地利用的复杂性增  
加, 环境问题日益凸显。

**关键词:** GlobeLand 30; CA-Markov 模型; 地表覆盖变化; 预测分析; 郑州市

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)04-0282-06

**中图分类号:** TP79, Q948.1

**文献参数:** 刘培, 贾守军, 马朝阳, 等. 基于 GlobeLand 30 数据和 CA\_Markov 模型的郑州市 2000—2020  
年地表覆盖变化特征及预测分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 282-287. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.  
2017.04.048; Liu Pei, Jia Shoujun, Ma Chaoyang, et al. Land use and land cover feature analyses in  
Zhengzhou City during 2000 to 2020 based on GlobeLand 30 and CA\_Markov model[J]. Bulletin of Soil and  
Water Conservation, 2017, 37(4): 282-287. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.048

## Land Use and Land Cover Feature Analyses in Zhengzhou City During 2000 to 2020 Based on GlobeLand 30 and CA\_Markov Model

LIU Pei<sup>1,2</sup>, JIA Shoujun<sup>1,2</sup>, MA Chaoyang<sup>1,2</sup>, LU Xiaofeng<sup>1,2</sup>, HAN Ruimei<sup>1,2</sup>, JIA Han<sup>3</sup>

(1. School of Surveying and Mapping Land Information Engineering, He'nan Polytechnic

University, Jiaozuo, He'nan 454003, China; 2. Key Laboratory of State Bureau of Surveying

and Mapping of Mine Spatial Information Technology, He'nan Polytechnic University, Jiaozuo,

He'nan 454000, China; 3. Beijing Outsmarting ROCTEC Technology Co., Ltd., Beijing 101102, China)

**Abstract:** [Objective] The common problem in the processing of remote sensing images, that is different clas-  
sification algorithms may lead to different identification results of ground objects, was discussed, to provide  
reference information of urban change and decision making based on LULC analysis. [Methods] In this re-  
search GlobeLand 30 product and CA\_Markov model were selected to monitor and analyze land use degree,  
entropy change of land use, spatial-temporal change of land use in Zhengzhou area from 2000 to 2020.  
[Results] (1) There was a great land use degree change from 2000 to 2010. During this period human-made  
cover type was increasing greatly; on the contrary, wetland, farmland, grassland were in a decreasing trend.

**收稿日期:** 2016-09-25

**修回日期:** 2016-12-20

**资助项目:** 国家自然科学基金项目“基于半监督随机森林的城市地表覆盖主被动遥感数据协同分类研究”(41601450); 河南省高等学校重点  
科研项目(16A420004); 河南省高校基本科研业务费专项(NSFRF140113); 河南理工大学博士基金项目(B2015-20); 河南省基础  
与前沿项目(152300410098)

**第一作者:** 刘培(1985—), 男(汉族), 河南省许昌市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事资源环境遥感、模式识别与数据挖掘方面的研究。  
E-mail: cumtlp@qq.com.

**通讯作者:** 韩瑞梅(1984—), 女(汉族), 河南省洛阳市人, 硕士, 讲师, 主要从事遥感理论教学及环境遥感应用研究。E-mail: hrm@hpu.edu.cn.

Where human-made earth surface and wetland changed significantly. (2) The amount of land use was 8.04, entropy of land use and equilibrium degree were promoted, while dominance index decreased. (3) There were 68.88% and 49.99% increases for human-made earth surface and grass land respectively, and there were more than 30% increases for both of water surface and wetland. [Conclusion] There was a significant difference of landscape from 2000 to 2020. The complexity of land use was increasing, and the proportionality of land use raised.

**Keywords:** GlobeLand 30; CA\_Markov model; land use and land cover change; Zhengzhou City

土地利用动态变化分析一直是国际学术界关于全球问题的研究前沿和热点<sup>[1]</sup>。“全球环境变化人文计划”和“国际地圈与生物圈计划”在 1995 年共同提出土地利用的重要研究项目<sup>[2]</sup>。土地利用变化状况是工农业生产、生态环境评价、地理国情评估、可持续发展战略不可或缺的重要基础信息,随着空间对地观测技术和变化检测技术的长足发展,人们对长时序、多角度的全球/区域地表覆盖分析结果需求迫切<sup>[3]</sup>。目前,国内学者<sup>[4-5]</sup>对土地利用动态变化研究主要集中在经济热点城市和生态脆弱地区,对中西部的内陆城市的研究偏少,特别是针对近年来城市化进程飞速发展的郑州地区研究,由于缺乏高时空分辨率的地表覆盖数据,地表覆盖变化特征一直难以进行深入地、系统地研究。2014 年,中国成功研制出 30 m 分辨率全球地表覆盖数据 GlobeLand 30,在全球范围内处于领先地位。相比美国和欧洲研制的 6 套全球地表覆盖数据,GlobeLand 30 的精度提高了 1~2 个数量级<sup>[6-7]</sup>。以往对 GlobeLand 30 的研究主要在遥感分类方法以及制图总体技术方面<sup>[8]</sup>,在区域土地利用覆盖变化中的研究相对较少<sup>[9-10]</sup>。本研究以 2000,2010 年两期全球地表覆盖产品为基础数据源,结合 CA\_Markov 模型、土地利用程度、变化熵等指标因子,从定量和定性的角度,研究郑州地区的地表覆盖时空变化特征,为郑州地区生态环境变化以及土地利用变化趋势提供参考信息和决策依据。

## 1 研究区和数据源

### 1.1 研究区概况

选取郑州市为研究区域,该市东南方向为辽阔的黄淮平原地带,西靠嵩山,北依黄河,经纬度坐标介于 112°42′—114°14′E,34°15′—34°57′N。气候条件为大陆性季风气候,年平均降雨量 639.1 mm,年平均气温为 14.5 ℃,年平均日照时间约为 2 500 h。作为中西部经济最为发达的地区之一,近年来,郑州市工业化和城市化程度的不断提高使其成为中国土地利用变化最显著的城市之一<sup>[11]</sup>。

### 1.2 数据来源及预处理

研究过程中所用的数据有:① 2000,2010 年 2

期 30 m 分辨率的 GlobeLand 30 全球地表覆盖数据,分类影像主要是 30 m 分辨率多光谱影像,包括中国环境减灾卫星 HJ-1 多光谱影像、北京 1 号 BJ-1 多光谱影像和 Landsat TM5,ETM+ 多光谱影像,能够提供更全面的纹理细节和空间分布信息<sup>[12]</sup>。地表覆盖类别包括耕地、草地、林地、灌木、苔原、人造地表、湿地、裸地、水体、永久积雪和冰川 10 种类型<sup>[13]</sup>;② 中国市级 1:1 00 万的行政区域划分矢量数据。

数据预处理主要包括:① 利用 1:1 00 万比例尺的全国行政边界矢量数据对研究区域进行分割、裁剪和提取,获取郑州地区 2000,2010 年两期的 30 m 分辨率地表覆盖数据;② 根据研究区域实际的土地利用情况,将研究区域的土地类型分为耕地、林地、草地、水体、湿地和人造地表;③ 将研究区 2000,2010 年 2 期地表覆盖数据输入分析模型进行变化特征分析。

## 2 研究方法

### 2.1 变化速度和变化幅度分析

通过分类、计算和统计得出研究区 2000—2010 年 2 期土地类型的面积转移矩阵,从变化速度和幅度 2 个方面定量分析研究区土地利用时空变化特征。幅度变化表现在土地资源类型面积的变化,速度变化主要是通过单一土地利用类型动态度和综合土地利用动态度来表现<sup>[14]</sup>。单一土地利用动态度指的是在一定时间内某一种土地类型面积变化的快慢,其数学模型如公式(1)所示<sup>[15-16]</sup>:

$$V = \frac{u_2 - u_1}{u_1} \times \frac{1}{T} \quad (1)$$

式中: $u_1, u_2$ ——研究期开始和结束时某一种土地利用类型的面积; $T$ ——研究期的时段长。综合土地利用变化动态度指的某研究区在一定时间内土地利用数量整体变化情况,其数学模型如公式(2)所示<sup>[17]</sup>:

$$K = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \Delta u_{ij}}{2 \sum_{i=1}^n u_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $u_i$ ——研究期开始时间第  $i$  类土地利用类型面

积;  $\Delta u_{ij}$ ——研究时段内第  $i$  类土地利用类型转化为其他类土地利用类型面积的变化量。

## 2.2 土地利用程度变化量分析

土地利用变化程度对研究区域土地利用的结构调整、综合水平以及地表覆盖变化预测具有重要的参考作用。按照刘纪远先生等提出的研究土地利用综合程度的整体研究方法,并考虑到研究区域实际的地表覆盖类型,将土地利用程度在人文因素和自然因素共同影响下所形成的自然生态平衡类型划分为 3 个等级<sup>[18]</sup>,不同等级及其包括的土地利用类型详见表 1。

表 1 土地利用类型及分级

土地分级	土地利用类型	分级指数
粗放型	水体、湿地	1
集约型	耕地、草地、林地	2
城镇聚落型	人造地表	3

土地利用程度综合指数表征研究区土地利用真实程度,其数学模型为<sup>[19]</sup>:

$$D_j = 100 \times \sum_{i=1}^n R_i \cdot C_i \quad (3)$$

式中: $D_j$ ——研究区域土地利用综合指数; $R_i$ ——研究区第  $i$  级土地分级指数; $C_i$ ——第级  $i$  级分级指数所代表的土地利用类型面积的百分比。

土地利用程度变化量的定量表达如公式(4)所示<sup>[19]</sup>:

$$\Delta D_{b-a} = D_b - D_a = \left( \sum_{i=1}^n R_i \cdot C_{ib} - \sum_{i=1}^n R_i \cdot C_{ia} \right) \times 100 \quad (4)$$

式中: $D_a, D_b$ —— $a, b$  时期研究区土地利用程度的综合指数; $n$ ——土地利用类型的分级数。土地利用程度研究的是研究区内各种土地类型整体利用程度; $C_{ia}, C_{ib}$ ——研究区  $a, b$  时期第  $i$  级分级指数所代表的土地利用类型面积百分比; $\Delta D_{b-a}$ ——土地利用程度变化量;若  $\Delta D_{b-a} > 0$  则表示研究区在该时间段内处于发展的时期;若  $\Delta D_{b-a} < 0$ ,则表示研究区在该时间段内处于衰退期。

## 2.3 变化熵值分析

土地利用信息熵可以用来表征土地系统的演变方向,衡量土地系统的复杂性。通过分析研究区内土地利用类型总体分布特征,土地利用熵值变化可以整体表示研究区在一段时间内土地利用类型的动态时空演化规律。土地利用熵值的数学模型如公式(5)所示<sup>[20]</sup>:

$$I = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad p_i = \frac{A_i}{A} \quad A = \sum_{i=1}^n A_i \quad (5)$$

式中: $I$ ——土地利用熵值; $P_i$ ——第  $i$  类土地类型

面积占总面积的百分比; $A_i$ ——第  $i$  类土地类型面积; $A$ ——该研究区土地总面积; $n$ ——研究区土地利用类型总数。基于土地利用熵值,引入均衡度和优势度的指标,均衡度表征土地利用类型的平衡程度,优势度表征土地利用类型的集中程度,数学模型如公式(6)所示<sup>[20]</sup>:

$$J = \frac{I}{\ln n}, \quad Y = 1 - J \quad (6)$$

式中: $J$ ——土地利用类型均衡度; $Y$ ——土地利用类型优势度。

## 2.4 CA\_Markov 模型变化趋势分析

土地利用变化预测综合了土地利用变化的幅度、速度、程度以及变化趋势,揭示了社会经济因子与自然环境因素的相互关系,有利于研究区域在不同时间、地域、结构下优化决策机制的建立<sup>[21]</sup>。CA-Markov 模型结合了 Markov 模型对土地利用变化的数量变化预测能力与 CA 模型对复杂空间动态演变的模拟能力,从数量和空间两个角度更加全面地对土地利用变化进行模拟与预测<sup>[22]</sup>。具体实现过程为:(1)首先以预处理后的研究区 GlobeLand 30 产品结果为初始数据;(2)由 GIS 分析方法直接计算获取地表覆盖类型转移概率矩阵和条件概率数据作为转换规则。具体试验中以 2000,2010 年预处理后的研究区 GlobeLand 30 产品结果为起始时刻,元胞循环次数设定为 10,对于 30 m 空间分辨率的 GlobeLand 30 数据,选择  $5 \times 5$  临近滤波器定义邻域,中心元胞周边  $5 \times 5$  个元胞共同对该中心元胞的状态改变发生作用,通过模拟获取研究区 2020 年地表覆盖类型分布状况数据。

# 3 研究结果与分析

## 3.1 时空变化特征分析

在对 2000 和 2010 年 GlobeLand 30 数据预处理的基础上,计算 2000—2010 年研究区土地利用类型面积转移矩阵如表 2 所示,土地利用变化的幅度、速度情况详见表 3。对表 2—3 进行分析可以看出,郑州地区 2000—2010 年各土地利用类型转化关系复杂,单一动态度的变化范围较大,综合土地利用动态度为 7.82%,土地利用类型显著变化。各土地利用类型变化特征为:耕地变化幅度较大,以减少为主,主要转变类型为由耕地转变为建筑用地,主要原因在于随着人口增加和城市化发展,人造地表扩建占据了大量的耕地;人造地表是变化最快的土地利用类别,变化速度为 10.18%,呈大幅度增长趋势,10 a 间研究区人造地表面积扩大 1 倍;林地具有小幅度增长趋

势,流入的土地利用类别为草地和耕地;草地呈微弱减少趋势,研究时段共减少 597.6 hm<sup>2</sup>,变化面积最小;水体增加速度较快,变化幅度为 18.5%,主要因为在研究时段由于河流改道使得流经研究区的水域面积增加;湿地具有快速减少趋势,10 a 间减少 10 439.1 hm<sup>2</sup>,变化速度为 5.16%,主要原因在于研究时段郑州地区降水量较少,而人为活动特别是建筑

用地的扩展造成的影响。赫晓慧等<sup>[23]</sup>基于 1999—2011 年的郑州市黄河湿地 TM 遥感影像,并结合降水数据和实际调研情况,对郑州市黄河湿地进行研究结果表明,郑州市黄河湿地生态环境比较脆弱,研究期内平均植被盖度由 60%下降到 40%,年降水的差异对植被盖度影响明显,同时越来越多的人类活动是导致植被持续减少的重要因子。

表 2 郑州市 2000—2010 年土地利用类型面积转移矩阵

hm<sup>2</sup>

项目	2010 年面积						总计
	耕地	林地	草地	水体	湿地	人造地表	
耕地	5 091 778.0	27 563.4	6 295.5	89 829.0	3 426.3	741 843.9	5 960 736.0
林地	17 824.5	609 297.3	28 310.4	177.3	0	981.0	656 590.5
草地	5 445.0	29 641.5	66 662.1	90.9	0	563.4	102 402.9
水体	59 861.7	320.4	111.6	83 401.2	4 970.7	8 524.8	157 190.4
湿地	7 749.0	42.3	22.5	10 994.4	1 410.3	27.9	20 246.4
人造地表	116 631.8	592.2	403.2	1 755.0	0	482 074.2	611 456.4
总计	5 309 290.0	667 457.1	101 805.3	186 247.8	9 807.3	1 234 015.0	7 508 623.0

表 3 郑州市 2000—2010 年土地利用变化

土地利用类型	面积/hm <sup>2</sup>			变化幅度/ %	变化动态度/ %
	2000 年	2010 年	变化量		
耕地	5 960 736	5 309 290	-651 446.0	-10.93	-1.09
林地	656 591.0	667 457	10 867.0	1.66	0.17
草地	102 402.9	101 805.3	-597.6	-0.58	-0.06
水体	157 190.4	186 247.8	29 084.4	18.5	1.85
湿地	20 246.4	9 807.3	-10 439.1	-51.56	-5.16
人造地表	611 456.4	1 234 015.0	622 558.8	101.82	10.18
总计	7 508 623.0	7 508 623.0	0	0	0

### 3.2 土地利用程度分析

利用土地利用程度综合指数以及土地利用程度变化量公式计算出郑州市 2000—2010 年土地利用程度变化指数详见表 4。根据表 4 数据结果  $\Delta D_{b-a} > 0$  表明,2000—2010 年郑州市处于发展阶段, $\Delta D_{b-a} = 8.04$  较大,表示郑州土地利用程度较大,说明郑州的城市化进程正在逐步加快。

表 4 2000—2010 年郑州土地利用程度变化指数

2000 年 $\Delta D_a$	2010 年 $\Delta D_b$	$\Delta D_{b-a}$
205.76	213.80	8.04

### 3.3 土地利用熵值分析

根据郑州地区 2000—2010 年土地利用类型面积转移矩阵,可以计算出 2000,2010 年土地利用信息熵的数值以及均衡度和优势度,结果详见表 5。由表 5

可以看出,2000—2010 年郑州市土地利用信息熵和均衡度都有所提升,优势度相应降低,表明 10 a 间,郑州土地利用类型复杂程度提升,平衡程度增加,集中程度有所下降。

表 5 郑州市 2000—2010 年土地利用信息熵、均衡度、优势度

指标值	2000 年	2010 年	变化量
信息熵	0.755 8	0.915 7	0.159 9
均衡度	0.412 8	0.511 1	0.098 3
优势度	0.578 2	0.488 9	-0.089 3

### 3.4 地表覆盖 CA\_Markov 预测模型分析

借助于 IDRISI 软件中的 CA-Markov 模块得到 2000—2010 年郑州市土地利用变化概率转移矩阵(表 6);以 10 a 为预测步长,预测郑州市 2020 年土地利用类型(表 7)。预测 2020 年郑州市土地利用分布如图 1 所示。

表 6 研究区 2000—2010 年域土地利用类型转移概率矩阵

项目	2010 年					
	耕地	林地	草地	水体	湿地	人造地表
2000 年 耕地	0.726 1	0.008 7	0.002 0	0.028 3	0.001 1	0.233 8
林地	0.079 6	0.788 8	0.126 4	0.000 8	0	0.004 4
草地	0.086 0	0.370 4	0.553 3	0.001 1	0	0.007 0
水体	0.445 4	0.002 4	0.000 8	0.451 0	0.037 0	0.063 4
湿地	0.387 0	0.002 1	0.001 1	0.549 1	0.059 2	0.001 4
人造地表	0.322 8	0.001 5	0.001 0	0.004 5	0	0.670 1

表 7 2020 年郑州市各种土地利用类型的面积、比例以及变化量

土地类型	耕地	林地	草地	水体	湿地	人造地表	总计
面积/hm <sup>2</sup>	4 400 213.0	612 644.7	152 696.8	245 884.7	13 202.2	2 083 981	7 508 623
比例/%	58.6	8.16	2.03	3.27	0.18	27.75	100
变化量/hm <sup>2</sup>	-909 077	-54 812.4	50 891.5	59 636.9	3 394.9	849 965.7	0

注：“变化量”为 2020 年相对于 2010 年的变化量。

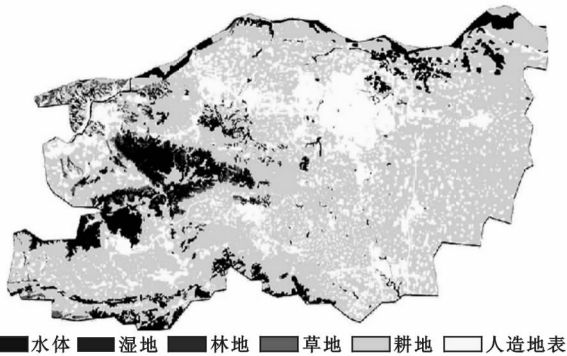


图 1 郑州市 2020 年土地利用分布预测

根据表 7 预测结果,2010—2020 年,以减少为主的耕地依然是的变化量最大的土地利用类型,占土地类型总面积的 58.6%,其次是人造地表,10 a 间增加 849 965.7 hm<sup>2</sup>。林地面积大幅减少,而草地、水体、湿地分别有着不同程度的增加。分别计算 2000—2010 和 2010—2020 年土地动态变化情况,并进行对比分析,结果详见表 8。从动态度变化对比分析结果可以看出,耕地依然是减少趋势,并且前 10 a 间减少速度低于预测得到的后 10 a 减少速度,林地的变化态势由前期的增加转变为减少,满足郑州城市化建设用地需求。草地、湿地是由前期的减少态势转变为较大程度的增加趋势,符合国家生态建设政策要求。同时,水体和人造地表依然是增加趋势,但人造地表的变化速度有所降低,一定程度上缓解了经济发展对环境造成的破坏。根据土地利用类型动态度变化情况分析结果,土地利用类型变化情况与国家经济发展政策和可持续发展战略相一致。因此,运用 CA\_Markov 模型对郑州地区 2020 年的土地利用情况进行预测是科学合理的。

表 8 郑州地区 2000—2010 年和 2010—2020 年土地利用类型动态度变化情况 %

土地利用类型	2000—2010 年	2010—2020 年	变化值
耕地	-1.09	-1.71	-0.62
林地	0.17	-0.82	-0.99
草地	-0.06	5.00	5.06
水体	1.85	3.20	1.35
湿地	-5.16	3.46	8.62
人造地表	10.18	6.89	-3.29

## 4 结论

(1) 通过对郑州地区 10 a 间土地利用数量变化以及土地利用程度统计分析,得出人造地表的变化幅度最大,湿地变化幅度最小。综合土地利用动态度为 7.82%,土地利用程度变化指数为 8.04,表明郑州的经济发展正逐步加快。人造地表、林地和水体不断增加,耕地、草地和湿地不断减少,其中转移量最多的是耕地与人造地表的相互转化。研究将信息熵的概念应用到土地利用研究中,引入了均衡度和优势度的指标,更准确地说明 2000—2010 年郑州市土地利用类型结构有一定程度的调整,土地利用程度增加,同时土地利用类型结构趋于平衡。

(2) 运用 CA\_Markov 模型对郑州地区 2020 年的土地利用情况进行预测,郑州耕地面积大幅度减少,但仍然是最主要的土地利用类型。人造地表面积进一步增加,表明郑州市工业化、城市化的进程加快,但是耕地和林地的减少使环境问题日益尖锐,政府应采取合理措施改善经济发展与生态平衡的关系。针对预测的土地利用变化情况,为实现郑州市土地利用

可持续发展,研究者提出建议要强化城市土地利用规划方案,控制城市土地利用总量的增长,进一步调整土地集约利用、优化城市规划设计,合理分配城市用地数量指标,严控近郊农用地向建设用地的转换条件。同时开发城市地下和地上空间,实现人、车、商业、消费区等立体分流,提高土地利用效率。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Pijanowski B C, Robinson K D. Rates and patterns of land use change in the Upper Great Lakes States, USA: A framework for spatial temporal analysis [J]. *Landscape & Urban Planning*, 2011, 102(2):102-116.
- [2] 柴宏博,杨山. 2001—2008 年无锡市土地利用景观格局变化分析[J]. *人文地理*, 2012(4):94-97.
- [3] Overmars K P, Verburg P H. Analysis of land use drivers at watershed and household level linking two paradigms at the Philippine forest fringe [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2005, 19(2):125-152.
- [4] 韩春健,吕巧灵,吴克宁,等. 郑州市土地利用变化对土壤肥力质量时空变异的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2007, 41(2):160-166.
- [5] 宋轩,石端晓,张雪雷,等. 基于元胞自动机的郑州市区土地利用变化研究[J]. *河南科学*, 2008, 26(8):971-976.
- [6] Brovelli M A, Molinari M E, Hussein E, et al. The first comprehensive accuracy assessment of GlobeLand 30 at a national level: Methodology and results [J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(4):4191-4212.
- [7] 陈军,陈晋,廖安平,等. 全球 30 m 地表覆盖遥感制图的总体技术[J]. *测绘学报*, 2014, 43(6):551-557.
- [8] 陈利军,陈军,廖安平,等. 30 m 全球地表覆盖遥感分类方法初探[J]. *测绘通报*, 2012(S):1-14.
- [9] 杨洋,麻馨月,何春阳. 基于 GlobeLand 30 的耕地资源损失过程研究:以环渤海地区为例[J]. *中国土地科学*, 2016, 30(7):72-81.
- [10] 杨振州,陈利军,韩佳鹏. 基于 GlobeLand 30 的水田提取方法研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2016, 39(8):52-57.
- [11] 李晶辉. 郑州市土地利用变化及驱动力分析[D]. 河南郑州:河南农业大学,2006.
- [12] Giri C, Pengra B, Long J, et al. Next generation of GLC characterization, mapping, and monitoring [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013, 25(1):30-37.
- [13] 张宇硕,陈军,陈利军,等. 2000—2010 年西伯利亚地表覆盖变化特征:基于 GlobeLand 30 的分析[J]. *地理科学进展*, 2015, 34(10):1324-1333.
- [14] 王良建,包浩生,彭补拙. 基于遥感与 GIS 的区域土地利用变化的动态监测与预测研究[J]. *经济地理* 2000, 20(2):47-51.
- [15] 刘纪远,中国资源环境宏观调查与动态研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1996:158-188.
- [16] Ademola K B, Paul L G. Land cover dynamics in an urban area of Ghana[J]. *Earth Interactions*, 2004, 8(1):1-15.
- [17] 庄大方,刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. *自然资源学报*, 1997, 12(2):105-111.
- [18] 刘纪远,中国资源环境宏观调查与动态研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1996:158-188.
- [19] 赛莉莉,王涛,陈坤,等. 2000—2010 年威海城市土地利用变化及马尔科夫预测[J]. *鲁东大学学报:自然科学版*, 2016, 32(2):162-167.
- [20] 郭荣中,杨敏华. 基于信息熵的长株潭区域土地利用结构分析[J]. *农业现代化研究* 2013, 34(1):73-76.
- [21] Lambin E F, Rounsevell M, Geist H. Are current agricultural land use models able to predict change in land use intensity? [J]. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2000, 82(1/3):321-331.
- [22] Abuelaish B, Olmedo M T C. Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2016, 9(4):274.
- [23] 赫晓慧,牛金星,郑东东,等. 基于遥感的郑州市黄河湿地植被覆盖度变化研究[J]. *水土保持通报*, 2014, 34(1):334-336.