

基于 CA-Markov 模型的陕西省植被覆盖模拟及预测

王丽霞¹, 张珈玮², 张双成¹, 隋立春^{1,3}, 杨耘¹, 刘招⁴

(1. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西西安 710054; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西西安 710054; 3. 地理国情监测国家测绘地理信息局工程技术研究中心, 陕西西安 710054; 4. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西西安 710054)

摘要 以陕西省作为研究区域, 首先基于 MODIS NDVI 中国月合成数据计算研究区 2000、2005、2010 和 2015 年度的植被覆盖度并进行等级划分; 而后利用 CA-Markov 模型, 以植被覆盖度等级作为元胞类型, 计算不同时期各植被覆盖度等级的转移矩阵, 由此模拟 2010 和 2015 年的 NDVI 值; 对比模拟 NDVI 结果和原始影像数据, 评价模拟精度, 并预测 2020 年 NDVI 的空间分布状况。结果表明, 利用 CA-Markov 模型进行植被覆盖空间分布的模拟, 得到 2010 和 2015 年模拟结果的 Kappa 系数分别为 0.797 5、0.853 2, 符合精度要求, 可以用于植被覆盖空间分布的预测。陕西省植被覆盖存在明显的空间差异性, 呈现出陕北—关中—陕南地区植被覆盖度逐渐递增的纬度地带性规律。2000—2020 年各级植被覆盖区均有向更高级植被覆盖区变化的趋势。总体上植被覆盖度上升趋势明显, 尤以陕北地区北部变化最为显著, 关中地区和陕南秦巴山区植被覆盖度增幅较小。

关键词 归一化植被指数; 植被覆盖度; CA-Markov 模型; 模拟预测

中图分类号 P 237 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)04-0053-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.04.016



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Simulation and Prediction of Vegetation Coverage in Shaanxi Province Based on CA-Markov Model

WANG Li-xia¹, ZHANG Jia-wei², ZHANG Shuang-cheng¹ et al (1. School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054; 2. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054)

Abstract Taking Shaanxi Province as the research area. Firstly, based on MODIS NDVI China monthly synthetic data, the vegetation coverage in the region of 2000, 2005, 2010 and 2015 was calculated and graded. Then using the CA-Markov model and taking the vegetation coverage level as the cell type, the transfer matrix of various vegetation coverage levels in different periods was calculated, and NDVI in 2010 and 2015 was simulated. Comparing simulated NDVI with the original image data, the accuracy of simulation was evaluated and the spatial distribution of NDVI in 2020 was predicted. The results indicated that using CA-Markov model to simulate the spatial distribution of vegetation coverage, the Kappa coefficient of the simulation results in 2010 was 0.797 5, and in 2015 was 0.853 2, which met the accuracy requirements and could be used to predict the spatial distribution of vegetation coverage. There were obvious spatial differences in vegetation cover of Shaanxi Province, showing the latitudinal zonal law of increasing vegetation coverage from the northern of Shaanxi to Guanzhong to the southern of Shaanxi area. Between 2000 and 2020, vegetation coverage areas at all levels had a tendency to change to higher-level vegetation coverage areas. In general, the vegetation coverage increased obviously, especially in the northern part of northern Shaanxi. The vegetation coverage in Guanzhong and Qinba Mountains in southern Shaanxi increased little.

Key words Normalized difference vegetation index; Vegetation coverage; CA-Markov model; Simulation and prediction

植被是陆地生态系统的主体,起着连接土壤、大气和水分等要素,参与生态系统物质循环的重要作用。植被生长和覆盖状况存在明显的时空差异性,在一定程度上反映了气候变化的趋势,是生态环境研究的核心问题之一^[1]。遥感技术以其信息量大、观测范围广、精度高、速度快以及实时性和动态性等特点为开展植被监测和评估提供了有效的手段^[2]。目前研究主要体现为通过遥感影像提取各类植被指数,在不同空间尺度下对植被覆盖进行长时间序列的动态监测^[3-8]。其中归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)在生态环境评价、旱情预警监测、植被生长力评估和土地利用评价等方面应用最为广泛。CA-Markov 模型综合了马尔科夫模型(Markov)长期预测的优点以及元胞自动机(CA)模拟复杂系统空间变化的能力,在分析和模拟土地利用变化方面取得了良好的效果^[9-15]。

陕西省位于 105°29'~111°15'E、31°42'~39°35'N,地处我国西北地区边缘,与甘肃、宁夏、山西等 8 个省、区、市毗邻,

总面积为 20.58 万 km²。陕西省的地貌形态复杂,中部低、南北高,南北方向分化较为明显,由西向东地势也有明显倾斜。由于地貌和大气环流的影响,陕西省季风气候的性质明显,全省年平均气温 13.7℃,年平均降水量为 676.4 mm,降雨量集中在 7—10 月,从南向北逐渐递减,气候类型从陕南的湿润性气候分别过渡到关中陕北的半湿润性和半干旱性气候。陕西省地貌类型多样,植被覆盖存在明显的地域差异性^[16],由北向南依次为陕北防护林生态区、关中平原农业生态区以及陕南落叶阔叶和常绿阔叶混交林生态区。因此探究该区植被覆盖的时空分布规律,对于陕北黄土高原生态修复、关中平原农业种植标准化建设以及陕南秦巴山区天然林木保护具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 影像数据来源及处理 该研究采用 2000—2015 年 MODIS NDVI 中国月合成数据,由地理空间数据云平台下载(<http://www.gscloud.cn>)。中国 500 m NDVI 月合成产品是由 MODND1D 计算得到,计算方法为取月内每天最大值。空间分辨率为 500 m。除 2015 年 10 月数据缺失外,总共 191 期 NDVI 数据。为研究陕西省植被覆盖变化特征,统计 2000—2015 年 NDVI 月平均值,并对每年 1—12 月的数据进行合

基金项目 国家自然科学基金项目(41471452);中央高校基本科研业务资助项目(300102269201,300102299206,300102269205)。

作者简介 王丽霞(1979—),女,山西大同人,副教授,博士,从事环境遥感与 GIS 研究。

收稿日期 2019-08-20; **修回日期** 2019-09-09

成,得到年际 NDVI 数据。将影像的每一个栅格作为一个元胞进行分析,其大小为 500 m×500 m,使用的滤波器为 5×5 滤波器。

1.2 其他数据来源及处理 中国 1:400 万基础数据、植被覆盖度划分标准、模型计算公式等资料来自其他地理信息网站。中国 1:400 万基础数据为 Krasovsky_1940 坐标,将其更换为 MODIS NDVI 数据所用的 WGS84 坐标系,以进行地理配准。并利用陕西省界 SHP 文件对原数据进行裁剪操作。

1.3 植被覆盖度计算及分级 NDVI 是植物生长、覆盖、生物量和植被种类情况等的综合反映,与植被分布密度呈线性相关^[17]。为详细统计植被覆盖的空间情况,可由 NDVI 提取

植被覆盖度。植被覆盖度的计算方法为:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \times 100\% \quad (1)$$

ArcGIS 的栅格计算器可对数据进行运算,由年 NDVI 数据得出年植被覆盖数据。

根据水利部 1996 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—96),按植被覆盖度大小分为 5 个等级区:≤30%为低度植被覆盖区;>30%~45%为较低植被覆盖区;>45%~60%为中度植被覆盖区;>60%~75%为较高植被覆盖区;>75%为高度植被覆盖区。将陕西省 2000、2005、2010、2015 年 NDVI 数据分为上述 5 个等级,结果如图 1 所示。

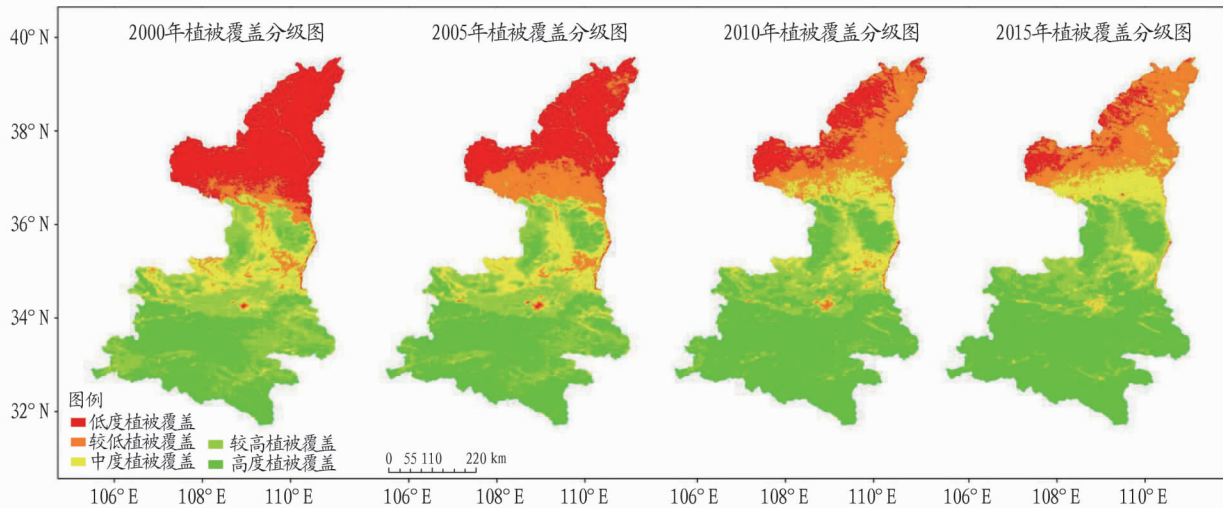


图 1 植被覆盖度分级

Fig.1 Vegetation coverage classification

1.4 研究方法 自然界许多事物都没有固定而精确的变化模式,受多种因素的干扰,常表现出很强的不确定性。为了研究方便,常采用一些随机过程的灰箱模型来研究变化方式,其中 Markov 模型以概率论作为理论基础,对随机事件的变化规律和趋势进行分析,可以较好地分析这个过程,并预测短期的变化结果^[18]。但因为 Markov 模型无后效性,在空间预测上就遇到了较大问题。CA-Markov 模型综合了 Markov 模型对于长时间序列的预测和元胞自动机(CA)模拟复杂系统空间变化的能力,能够更加准确地从时间和空间上模拟和预测植被覆盖的空间分布情况。

此次试验将进行 2010、2015 年植被覆盖的模拟和 2020 年植被覆盖的预测。转移概率矩阵的计算在 IDRISI 软件中进行。IDRISI 支持 ASCII 格式文件的导入,于 ArcGIS 中将 2000、2005、2010、2015 年未进行重分类的植被覆盖数据转换为 ASCII 格式,并导入 IDRISI,即可进行后续操作。重分类步骤于 IDRISI 中进行,按植被覆盖度分级标准进行分级。

首先需要计算 Markov 转移矩阵,以获得 5 年期的转移方向和转移程度。使用 IDRISI 中的 Markov 模块,输入 2000、2005 年数据,将时间间隔与推演间隔均设置为 5 年,比例误差设置为 0.1,获得 2000—2005 年的 Markov 转移矩阵(表 1)。同理可获得 2005—2010 和 2010—2015 年的转移矩阵。

表 1 2000—2005 年概率转移矩阵

Table 1 The probability transfer matrix during 2000—2005 %

植被覆盖等级 Vegetation coverage level	低度 Low	较低 Lower	中度 Moderate	较高 Higher	高度 High
低度 Low	64.94	34.96	0.10	0.00	0.00
较低 Lower	2.15	59.32	38.47	0.06	0.00
中度 Moderate	0.07	5.14	64.81	29.97	0.01
较高 Higher	0.00	0.05	3.05	66.38	30.52
高度 High	0.00	0.00	0.00	15.70	84.30

2 结果与分析

2.1 植被覆盖模拟 基于 2000 和 2005 年区域 NDVI 数据,在 IDRISI 平台下,获得 2000—2005 年各植被覆盖等级概率转移矩阵,运用 CA-Markov 模型,生成适宜性图谱,采用 5×5 滤波器进行运算,分别可以得到 2010 和 2015 年的模拟数据。将 2010 和 2015 年植被覆盖的解译结果和模拟结果进行对比(图 2),模拟结果表明,陕西省植被覆盖存在明显的纬度地带性,呈现陕北—关中—陕南地区植被覆盖度逐渐递增的规律。陕北地区处于风沙区,降水较少,年平均温度低,植被覆盖度较低;关中平原地区以农田作物为主,雨热条件次之,其植被覆盖度属中等水平;陕南地区分布有秦岭山地和大巴山区,降水丰沛、气温较高,其植被覆盖度对应较高。

从各级植被覆盖区空间分布特征来看,低度植被覆盖区主要分布在陕北地区,关中地区城市坐落地及其辐射地区亦有极少分布;较低植被覆盖区分布在陕北地区北部和中部;中度植被覆盖区分布在陕北地区南部和关中地区中部;较高

植被覆盖区主要分布在陕北地区南部,关中地区东部和陕南地区东部;高度植被覆盖区分布在陕北地区南部和陕南地区。

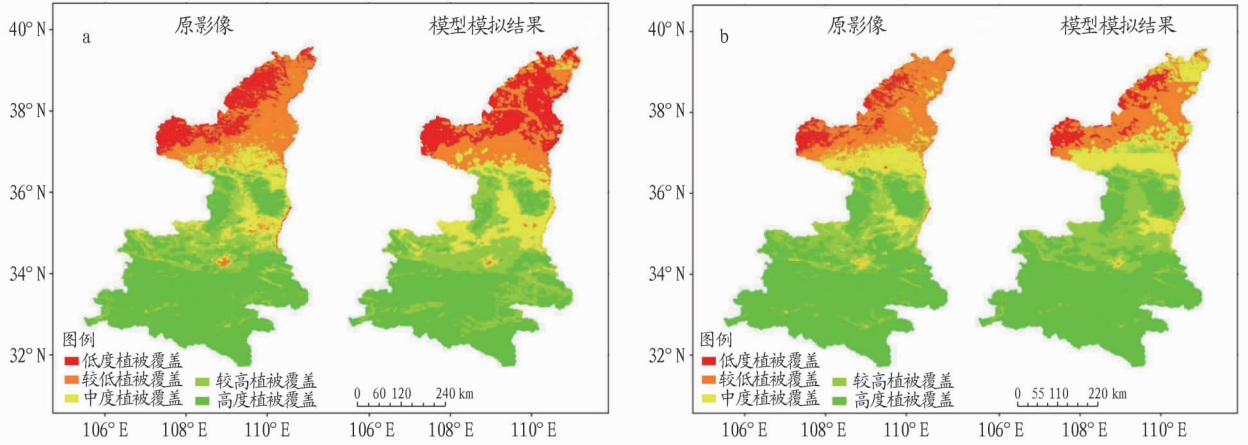


图 2 2010 年 (a) 和 2015 年 (b) 植被覆盖对比

Fig.2 Comparison of vegetation cover in 2010 (a) and 2015 (b)

从时间变化特征来看,2000—2015 年陕西省植被覆盖度整体呈现显著增加的趋势,其中陕北地区变化最为显著:低度植被覆盖区转化为较低植被覆盖区,较低植被覆盖区面积占比增加,由陕北地区中部逐渐扩展到东北部;而低度植被覆盖区域面积逐渐缩减,到 2015 年主要集中在陕北地区西北部长城沿线风沙区—毛乌素沙地;中度植被覆盖区转变为较高植被覆盖区,并由陕北地区南部转移到中部;较高植被覆盖区主要分布在陕北地区南部,逐渐转化为高度植被覆盖区。对于关中和陕南地区来说,中度植被覆盖区和较高植被覆盖区都有向高度植被覆盖区域明显变化的迹象。总体上较低植被覆盖区和高度植被覆盖区的面积占比逐年增加,而低度植被覆盖区、中度植被覆盖区和较高植被覆盖区面积逐渐减少。陕北地区北部植被覆盖度增加非常显著,关中和陕南秦巴山区植被覆盖增幅较小。

2.2 植被覆盖预测 为了评价模型的实用性,对模拟的精度进行了分析,得到 2010 和 2015 年模拟结果的 Kappa 系数分别为 0.797 5、0.853 2,精度较高符合要求。因此基于此参数设置,运用 CA-Markov 模型,利用 2010—2015 年的植被覆盖等级转移矩阵,得到 2020 年预测的结果,如图 3 所示,其植被覆盖度面积分布如表 2 所示。

预测结果表明,陕西省在 2015—2020 年各级植被覆盖区面积发生了较大变化,总体上植被覆盖度上升明显。低度植被覆盖区面积减少了 2.35%,向较低植被覆盖区转变;而大部分较低植被覆盖区转化为中度植被覆盖区,面积减少 2.9%,这 3 级植被覆盖区主要分布在陕北地区北部;陕北地区南部大部分斑块状的中度植被覆盖区向较高植被覆盖区转变,关中地区少数较高植被覆盖区向高度植被覆盖区扩张;而陕南地区基本没有明显变化。因此较高植被覆盖区增幅最大,增加了 3.15%,其次是高度植被覆盖区,增加了 1.2%。

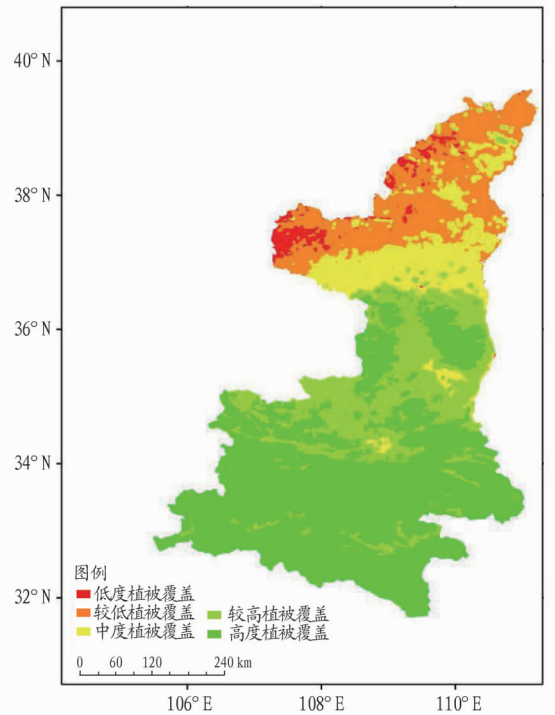


图 3 2020 年植被覆盖预测

Fig.3 Vegetation cover prediction in 2020

表 2 2015 年模拟值与 2020 年预测值对比

Table 2 Comparison of simulated values in 2015 and predicted values in 2020 %

植被覆盖等级 Vegetation coverage level	2015 年模拟值 Simulated values in 2015	2020 年预测值 Predicted values in 2020
低度 Low	4.33	1.98
较低 Lower	18.81	15.91
中度 Moderate	11.85	12.74
较高 Higher	18.46	21.61
高度 High	46.55	47.75

3 结论与讨论

该研究利用 2000—2015 年陕西省 NDVI 月时序数据,合成年度 NDVI 数据,在 IDRISI 软件中采用 CA-Markov 模型对 2000、2005、2010、2015 年 4 期陕西省植被覆盖数据进行了运算分析,模拟结果与原影像分级结果具有较高的一致性,以此预测 2020 年陕西省植被覆盖的空间分布,得出以下结论:

(1) 陕西省植被覆盖存在明显的空间差异性,呈现出陕北—关中—陕南地区植被覆盖度逐渐递增的纬度地带性规律,这与当地的气候条件有着密不可分的关系。陕北地区各级植被覆盖区均有分布,关中地区分布有低度植被覆盖区、中度植被覆盖区和较高植被覆盖区,而陕南地区主要分布有较高植被覆盖区和高度植被覆盖区。

(2) 利用 CA-Markov 模型进行植被覆盖空间分布的模拟,得到 2010 和 2015 年模拟结果的 Kappa 系数分别为 0.797 5、0.853 2,符合精度要求,可以用于植被覆盖空间分布的预测。

(3) 在 2000—2015 年较长时间尺度上,陕西省植被覆盖整体呈现显著增加的趋势。其中陕北地区北部植被覆盖度变化最为明显,各级植被覆盖区均有向更高级植被覆盖区变化的趋势;对于关中地区和陕南地区来说,中度植被覆盖区和较高植被覆盖区都有向高度植被覆盖区域明显转变的迹象,植被覆盖度增幅较小。

(4) 预测到 2020 年,各级植被覆盖区面积将总体呈现上升趋势。陕北地区北部低度植被覆盖区与较低植被覆盖区面积均减少,分别转化为较低植被覆盖区和中度植被覆盖区;陕北地区南部和关中地区同样向更高级的植被覆盖区转化;陕南地区保持稳定。

上述植被覆盖显著增加的地区主要分布在陕北黄土高原和陕南秦巴山区,与退耕还林工程实施区域一致;陕北地区南部、关中地区和秦巴山中低山区植被覆盖稳中有增,与天然林保护工程分布区一致。充分说明退耕还林工程和天然林保护工程在陕西省取得了较好的成效。

传统的空间模拟及预测依据大量数据进行回归分析,以回归方程估算属性特征,其分析过程及模拟结果存在较多不确定性。该研究基于 IDRISI 平台的 CA-Markov 模型,其工作原理是以预测基期的植被覆盖空间分布为初始状态,以基期和之后各级植被覆盖区转移面积及适宜性图集表述的像元适宜植被覆盖度为依据,对植被覆盖空间分布进行重新匹配,从而得到预测的各级植被覆盖区面积,有效地模拟和预测了植被的时空分布特征。

目前 CA-Markov 模型的运用主要在于土地利用格局的模拟预测,对于植被覆盖模拟预测的研究案例较少。植被作为覆盖的一种类型,其动态变化实质上也是土地覆盖的动态变化,并且相对于不同土地利用类型之间的相互转化,单一的植被变化模拟和预测更为简单。由于此次研究首次尝试利用 CA-Markov 模型进行植被覆盖分布的模拟预测,着重模拟了自然演变条件下的时空规律,而植被覆盖变化是一个复杂的过程,受到自然、人类活动以及土地利用发展政策等多种不确定因素的影响。因此,如何在全面分析和综合考虑多种因素作用的基础上调整模型参数也有待进一步深入探究。

参考文献

- [1] 马明国,董立新,王雪梅,过去 21a 中国西北植被覆盖动态监测与模拟[J].冰川冻土,2003,25(2):232-236.
- [2] 顾祝军,曾志远.遥感植被盖度研究[J].水土保持研究,2005(2):18-21.
- [3] SCHUCKNECHT A, MATSCHULLAT J, ERASMI S. Spatial and temporal variability of vegetation status in Paraíba, Northeastern Brazil[C]//IEEE international geoscience and remote sensing symposium. Munich, Germany: IEEE, 2012.
- [4] TESTA S, SOUDANI K, BOSCHETTI L, et al. MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI time series to estimate phenological metrics in French deciduous forests[J]. International journal of applied earth observations and geoinformation, 2018, 64: 132-144.
- [5] 郭广猛,谢高地,甄霖.泾河上游固原地区的 NDVI 变化与降水的相关性研究[J].资源科学,2007,29(2):178-182.
- [6] 马娜,胡云锋,庄大方,等.基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J].地理科学,2012,32(2):251-256.
- [7] 陈京华,贾文雄,赵珍,等.1982—2006 年祁连山植被覆盖的时空变化特征研究[J].地球科学进展,2015,30(7):834-845.
- [8] 王光镇,王静璞,邹学勇,等.基于像元三分模型的锡林郭勒草原光合植被和非光合植被覆盖度估算[J].生态学报,2017,37(17):5722-5731.
- [9] MEMARIAN H, BALASUNDRAM S K, TALIB J B, et al. Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat basin, Malaysia[J]. Journal of geographic information system, 2012, 4: 542-554.
- [10] DEEP S, SAKLANI A. Urban sprawl modeling using cellular automata[J]. The Egyptian journal of remote sensing and space sciences, 2014, 17(2): 179-187.
- [11] MONDAL M S, SHARMA N, GARG P K, et al. Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results[J]. The Egyptian journal of remote sensing and space sciences, 2016, 19: 259-272.
- [12] 杨国清,刘耀林,吴志峰.基于 CA-Markov 模型的土地利用格局变化研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2007,32(5):414-418.
- [13] 郑青华,罗格平,朱磊,等.基于 CA-Markov 模型的伊型河三角洲景观格局预测[J].应用生态学报,2010,21(4):873-882.
- [14] 赵冠伟,陈颖彪,陈健飞,等. CA-Markov 模型的空间尺度敏感性研究[J].地理科学,2011,31(8):897-902.
- [15] 赵建军,张洪岩,乔志和,等.基于 CA-Markov 模型的向海湿地土地覆被变化动态模拟研究[J].自然资源学报,2009,24(12):2178-2186.
- [16] 秦超. 陕西省植被覆盖时空演变及其驱动因子研究[D]. 西安:陕西师范大学,2015.
- [17] 陈云浩,李晓兵,陈晋,等. 1983—1992 年中国陆地植被 NDVI 演变特征的变化矢量分析[J].遥感学报,2002,6(1):12-18.
- [18] 韩文权,常禹.景观动态的 Markov 模型研究:以长白山自然保护区为例[J].生态学报,2004,24(9):1958-1965.