

张家界市景观格局时空演变及未来情景模拟

杨雪青¹, 张雄一^{2,3}, 宁佳², 李悦丰¹

(1.吉首大学 土木工程与建筑学院, 湖南 张家界 427000; 2.中国科学院 地理科学与资源研究所, 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101; 3.中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: [目的] 分析湖南省张家界市 2000—2020 年及 2030 年土地利用及景观格局演变特征, 提出张家界市未来发展的优化策略, 为张家界市国土空间规划和生态旅游发展提供参考。[方法] 基于 2000—2020 年 5 期土地利用数据, 运用 ArcGIS 空间分析、Fragstats 景观格局指数等方法, 分析了 2000—2020 年张家界市土地利用及景观格局时空变化, 并利用 GeoSOS-FLUS 土地利用模拟等软件对张家界市 2030 年土地利用变化及景观格局进行预测。[结果] 2000—2020 年张家界市土地利用变化主要表现为草地面积的大幅减少和建设用地的显著增加; 2000—2020 年张家界市景观格局发生了较明显的改变, 景观的整体异质性和破碎化先增加后降低, 斑块形状趋于规则, 景观类型分布较均匀, 景观聚集程度逐渐趋于稳定状态; 预测结果显示, 2030 年张家界市土地利用主要表现为建设用地的集中扩张和草地的持续减少, 其景观破碎化和异质性呈加剧态势, 优势景观的最大斑块面积增加, 景观形状变得更加不规则, 景观有进一步分散趋势。[结论] 运用 GeoSOS-FLUS 模型模拟未来土地利用状况具有较高的可信度, 未来张家界市应以保护、优化景观格局为主, 加强优良生态系统管控。构建自然保护地体系, 加强生态廊道建设, 完善生态系统完整性和景观连通性。保持林地优势景观, 优化建设用地布局, 降低林地和建设用地的破碎化程度, 保护草地生态系统的完整性。

关键词: 土地利用; 景观格局; 国土空间规划; 生态旅游; 张家界市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)03-0171-09

中图分类号: S771.8, K915

文献参数: 杨雪青, 张雄一, 宁佳, 等. 张家界市景观格局时空演变及未来情景模拟[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 171-179. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.03.023; Yang Xueqing, Zhang Xiongyi, Ning Jia, et al. Spatiotemporal evolution and simulation of future landscape patterns in Zhangjiajie City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 171-179.

Spatiotemporal Evolution and Simulation of Future Landscape Patterns in Zhangjiajie City

Yang Xueqing¹, Zhang Xiongyi^{2,3}, Ning Jia², Li Yuefeng¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Jishou University, Zhangjiajie, Hu'nan 427000, China; 2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: [Objective] The evolution characteristics of land use and landscape patterns from 2000 to 2020 and 2030 at Zhangjiajie City, Hu'nan Province were analyzed in order to propose an optimization strategy for future development of Zhangjiajie City, and to provide references for territorial space planning and eco-tourism development for Zhangjiajie City. [Methods] We analyzed land use change data for Zhangjiajie City from 2000 to 2020 using ArcGIS spatial analysis and Fragstats landscape pattern index. We used GeoSOS-FLUS land use simulation software to predict land use changes and landscape patterns for Zhangjiajie City in 2030. [Results] The land use changes were mainly manifested as a significant decrease in grassland area and a significant increase of construction land from 2000 to 2020. The landscape pattern changed significantly

收稿日期: 2021-10-27

修回日期: 2022-01-09

资助项目: 国家自然科学基金青年项目“黄土高原退耕还林(草)对区域气温的影响及其生物地球物理机制研究”(41601475); 吉首大学研究生科研创新项目(Jdy20044)

第一作者: 杨雪青(1995—), 女(汉族), 河南省济源市人, 硕士研究生, 研究方向为风景园林与景观格局。Email: yangxq2020s@163.com。

通信作者: 李悦丰(1966—), 男(汉族), 河北省张家口市人, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事景观生态学与土地可持续利用研究。Email: zjlyf@126.com。

from 2000 to 2020. The overall heterogeneity and fragmentation of the landscape increased first and then decreased, and the shapes of patches tended to be regular. The distribution of landscape types was relatively uniform, and the degree of landscape aggregation degree gradually tended to be stable. In 2030, the land use of Zhangjiajie City was mainly manifested in the concentrated expansion of construction land and the further reduction of grassland. Landscape fragmentation and heterogeneity in Zhangjiajie City showed an increasing trend. The maximum patch area of the dominant landscape increased. The landscape shape became more irregular, and the landscape had a further dispersion trend. [Conclusion] The use of the GeoSOS-FLUS model to simulate future land use had high reliability. In the future, Zhangjiajie City should focus on protecting and optimizing the landscape pattern, and strengthening the management and control of the excellent ecosystem. We recommend the building of a nature reserve system, strengthening the construction of ecological corridors, and improving the integrity of ecosystem and landscape connectivity. We also recommend maintaining the dominant landscape of forest land, optimizing the layout of construction land, reducing the fragmentation of forest land and construction land, and protecting the integrity of the grassland ecosystem.

Keywords: land use; landscape pattern; territorial space planning; eco-tourism; Zhangjiajie City

景观格局是不同形状、大小的景观要素或景观斑块在空间上的分布状况,是景观生态学中重要的组成部分^[1]。景观格局同时也是一个动态变化的过程,探究景观格局的演变过程有助于把握区域景观的演变特征和规律,是决策者制定合理、科学城市规划的基础和重要支撑^[2]。国外有关景观格局的研究从 20 世纪中后期就已经开始出现,Troll^[3] 1968 年从生物群落落在区域的空间分布方面阐述景观格局的复杂性;Forman 等^[4]通过对不同景观的分析提出景观的结构单元是由“斑块(patch)—廊道(corridor)—基底(matrix)”构成,此后景观格局的研究大多基于“斑块(patch)—廊道(corridor)—基底(matrix)”进行分析,并且研究内容逐渐完善,研究方法更加成熟,研究从早期的简单定性定量分析到利用 3S 技术、数学模型等多学科融合交叉分析^[5]。中国从 20 世纪末期才逐渐开展景观格局的相关研究,并且早期主要分析国外的相关文献。肖笃宁等^[6]首次利用景观格局指数探究了沈阳西郊 1958—1988 年景观格局变化状况;李哈滨等^[7]提出的景观生态学的数量研究方法和傅伯杰^[8-9]的黄土区农业景观空间格局分析、景观多样性分析及其制图研究等成果进一步促进了景观格局研究的发展。景观格局逐渐成为生态学、地理学等多学科的热点,研究成果也越来越丰富。目前,景观格局主要从时空格局动态演变^[10-11]、驱动力分析^[12]、格局优化^[13-14]、作用及影响等^[15-16]方面进行探究,近几年来,对未来景观格局的模拟与优化^[17-18]也成为研究的重要方向。

土地利用作为直接影响景观格局的主要因素,其利用方式的变化直接改变景观格局状况。当前对景观格局的研究大多基于土地利用数据,如杨苗等^[19]探究了白洋淀景观格局的动态变化过程及其主要驱

动因素,并对白洋淀未来景观格局变化及影响进行了预测;刘希朝等^[20]分析了生态脆弱的黄河流域景观格局及生态风险状况;马帅等^[21]分析了 2000—2015 年江淮经济区的景观格局时空演变状况;赵轩等^[22]运用景观格局指数和 FLUS 模型对武汉大都市区城镇边界的划定进行了分析。

随着全国旅游市场的繁荣发展,国内的旅游需求日益激增,作为旅游主导型城市,以自然风貌为主的张家界市迎来了重要的发展机遇,近几年提出了“提质张家界打造升级版”“对标提质,旅游强市”等一系列发展战略,促进了张家界市经济高速发展,张家界市的土地利用状况也因此发生了较大变化。早期在武陵源地质公园内,为了扩大经济效益,将部分生态用地转变为建设用地,联合国教科文组织就此对武陵源发出了“城市化将破坏自然界”的警告。2001—2004 年,张家界市在地质公园内完成了 $3.40 \times 10^5 \text{ m}^2$ 的生态拆迁工程,花费近 1.00×10^9 元。因此,厘清土地利用带来的景观格局变化及影响,最大程度降低对景观格局的负面影响,降低生态安全风险,实现社会、生态、经济协同高质量发展,仍然是当前张家界市面临的重要问题。本研究以 2000—2020 年张家界市土地利用/覆被数据、经济数据为基础,探究其景观格局的时空动态变化,并对 2030 年土地利用空间分布进行模拟,探究其 2030 年景观格局状况,厘定张家界市土地利用变化对景观格局的影响,以期对张家界市国土空间规划及未来发展提供借鉴意义。

1 研究区概况

张家界市地处湖南的西北部,澧水的中上游地带,属于武陵山腹地,位于东经 $109^{\circ}40'—111^{\circ}20'$,北纬 $28^{\circ}52'—29^{\circ}48'$ 之间,拥有中国第一个国家森林公

园——张家界森林公园,以自然景观为主,是典型的自然观光型旅游城市。张家界市总面积为 9 516 km²,常住人口为 1.48 × 10⁶ 人。张家界市属亚热带山原型季风湿润气候,四季分明。全市森林覆盖率达 66.98%,核心景区为 98%。随着 2000 年以来经济的快速发展,城镇化水平的迅速提升,城乡建设用地需求日益增大,侵占了大量的草地,同时给生态环境带来很大的压力。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源及预处理

本研究使用的数据主要包括土地利用/覆被数据、GDP 数据、人口密度数据、道路数据、坡度数据、坡向数据、高程 (DEM) 数据、禁止开发边界数据等。其中土地利用模拟主要应用的驱动因子为人口密度、道路、坡度、坡向、高程,主要限制因子为禁止开发边界数据。其中 GDP 数据来源于张家界市统计年鉴和统计公报数据,土地利用/覆被数据主要选取 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 年 5 期数据,空间分辨率为 30 m,该数据基于遥感数据,采用人工目视交互解译,数据精度高解译精度超过 90%^[23],来源于中国科学院资源环境科学与数据中心 (<http://www.resdc.cn>);高程 (DEM) 数据来源 NASA 的 ASTER GDEM 数据,分辨率为 30 m;人口密度数据来自 WorldPoP 网站,分辨率为 1 km;道路矢量数据数据来源于 OpenStreetMap (OSM)。张家界市矢量数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心 (<http://www.resdc.cn>)。禁止开发边界数据是根据张家界市总体规划《2006—2030 (2017 修编版)》及其他相关政策文件整理而成的矢量数据,再经过面转栅格 (Polygon-ToRaster) 工具将其转化为 30 m 的栅格数据;道路数据是利用 ArcGIS 10.2 的空间分析工具中欧式距离 (Euclidean distance) 计算出到各个主道路的距离。坡度和坡向数据是根据高程 (DEM) 数据利用 ArcGIS 10.2 的坡度 (slope) 坡向 (aspect) 工具计算生成 30 m 栅格数据。人口密度数据利用重采样 (Resample) 工具,将分辨率重采样为 30 m。

2.2 研究方法

2.2.1 ArcGIS 空间分析 利用 ArcGIS 10.2 的空间分析功能,根据中科院 CNLUCC 分类体系^[23],运用重分类 (reclassify) 工具,将 5 期张家界市土地利用覆被数据划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地等 6 大类 (张家界市未利用地面积仅占 6.93 hm²,在 2010 年后未利用地转变为其他地类,因此本研究在景观格局分析方面未考虑未利用地的变化

状况);运用栅格计算器 (spatial analyst) 工具对张家界市各土地利用类型的空间转移进行分析;运用分区统计 (zonal statistics) 工具对变化的区域进行统计分析。

2.2.2 土地利用变化分析 土地利用动态度,不同土地利用类型变化状况用动态度来表示^[24],其计算公式为:

$$K = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:K 为某一评估时间段的变化率;S₂, S₁ 为评估末期和评估基期的某一土地利用类型;T 为评估时长。

土地利用转移矩阵,以矩阵形式呈现不同土地利用类型面积变化,能够相对直观地反映研究期内不同土地利用类型的转变方向^[25],其表达式为:

$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \cdots & S_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中:S_{mn} 为区域内第 m 种和第 n 种土地利用类型之间相互转换的数量,利用 ArcGIS 10.2 栅格计算器 (raster calculator) 工具对张家界市 2000—2020 年 5 期土地利用数据进行空间叠加,生成各地类的转移矩阵。

2.2.3 景观格局指数 景观格局指数主要从斑块、类型和景观 3 个尺度上衡量区域破碎化、异质性、连通性等方面^[26]。本研究从类型水平和景观水平两方面,利用 Fragstats 4.2 软件分析张家界市景观格局状况。在类型水平方面初步选择斑块密度 (PD)、聚集度指数 (CONHESSION)、最大斑块指数 (LPI),在景观水平方面选择香农多样性指数 (SHDI)、聚集指数 (AI)、斑块个数 (NP)、景观形状指数 (LSI),经过计算剔除重叠度较高的指标后保留斑块密度 (PD)、斑块个数 (NP)、最大斑块指数 (LPI)、香农多样性指数 (SHDI) 和聚集指数 (AI) 来分析张家界市景观格局状况。

2.2.4 GeoSOS-FLUS 模型 选取 Liang 等^[27]开发出的 GeoSOS-FLUS 未来土地利用变化情景模拟模型,该模型首先采用神经网络算法 (ANN) 根据土地利用数据及其驱动因子数据获得各类用地在研究区的适宜性范围及概率,其次基于轮盘赌选择的自适应惯性竞争机制,结合各类用地适宜性范围和概率,在限制因子 (条件) 下,模拟出未来土地利用的空间分布状况。

适宜性概率计算公式如下:

$$\sum_k p(p, k, t) = 1 \quad (3)$$

$$p(p, k, t) = \sum_j \omega_{j,k} \times \text{sigmoid}[\text{net}_j(p, t)] \\ = \sum_j \omega_{j,k} \times \frac{1}{1 + e^{-\text{net}_j(p, t)}} \quad (4)$$

式中: $p(p, k, t)$ 为 k 类型土地利用方式在设定时间 t , 栅格 p 下的适宜性概率; $\omega_{j,k}$ 是输出层与隐藏层之间的权重; $\text{sigmoid}(\)$ 是隐藏层到输出层的激励函数; $\text{net}_j(p, t)$ 表示第 j 个隐藏层栅格 p 在时间 t 上所接到的信号。

在 GeoSOS-FLUS 模型中土地利用转化概率不仅取决于神经网络输出的分布概率, 还需要结合邻域密度、惯性系数、转换成本及地类竞争等要素。

第 k 种土地利用方式在时间 t 的自适应惯性系数 Intertia_k^t 为:

$$\text{Intertia}_k^t = \begin{cases} \text{Intertia}_k^{t-1} & (|D_k^{t-2}| \leq |D_k^{t-1}|) \\ \text{Intertia}_k^{t-1} \times \frac{D_k^{t-2}}{D_k^{t-1}} & (0 > D_k^{t-2} > D_k^{t-1}) \\ \text{Intertia}_k^{t-1} \times \frac{D_k^{t-1}}{D_k^{t-2}} & (D_k^{t-1} > D_k^{t-2} > 0) \end{cases} \quad (5)$$

式中: D_k^{t-1}, D_k^{t-2} 分别为 $t-1, t-2$ 时刻需求数量与栅格数量在第 k 种土地利用方式的差值。

在计算出不同栅格的概率后, 采用 CA 模型迭代的方式, 确定各土地利用方式。在时间 t , 栅格 p 转化为 k 土地利用方式的概率 $\text{TP}_{p,k}^t$ 可表示为:

$$\text{TP}_{p,k}^t = p(p, k, t) \times \Omega_{p,t}^t \times \text{Intertia}_k^t \times (1 - sc_{c \rightarrow k}) \quad (6)$$

$$\Omega_{p,t}^t = \frac{\sum_{N \times N} \text{con}(c_p^{t-1} = k)}{N \times N - 1} \times \omega_k \quad (7)$$

式中: $sc_{c \rightarrow k}$ 为 c 土地利用方式改变为 k 土地利用方式的成本; $1 - sc_{c \rightarrow k}$ 为土地利用方式发生变化的难易程度; $\Omega_{p,t}^t$ 为邻域作用; $\sum_{N \times N} \text{con}(c_p^{t-1} = k)$ 表示在 $N \times N$ 的 Moore 邻域窗口, 上一次迭代结束后第 k 种土地利用类型的栅格总数; ω_k 为不同土地利用类型的邻域作用权重。

3 结果与分析

3.1 模拟结果验证

根据张家界市土地利用状况及张家界市城市总体规划 and 国土空间规划要求, 通过 GeoSOS-FLUS 模型中人口密度、道路、坡度、坡向、高程等驱动因子、各地类间转化规则及限制因子设置, 利用 2010 年土地利用数据模拟 2015 年和 2020 年的土地利用数据, 通过对比已有的 2015 年和 2020 年的土地利用数据发现, 模拟 2015 年各地类的 kappa 系数分别为: 耕地 0.984, 林地 0.993, 草地 0.979, 水域 0.996, 建设用地 0.799; 模拟 2020 年土地利用各地类的 kappa 系数分别为: 耕地 0.953, 林地 0.983, 草地 0.924, 水域 0.856, 建设用地 0.701。利用 2015 年土地利用数据模拟

2020 年的土地利用数据, 通过对比已有的 2020 年的土地利用数据发现, 模拟的 2020 年各地类的 kappa 系数分别为: 耕地 0.950, 林地 0.985, 草地 0.927, 水域 0.865, 建设用地 0.770。研究均表明模拟结果具有较高的可信度, GeoSOS-FLUS 模型中驱动因子、各地类转化规则及其他参数的设置均具有科学性和合理性, 对于利用 2020 年土地利用数据模拟 2030 年土地利用空间分布具有较高的可信度。

3.2 土地利用变化分析

由表 1 和附图 5a—5e (见封 3) 得出张家界市主要以林地为主, 其次为耕地和草地。2020 年林地占总面积的 64.58%, 耕地占 23.73%, 草地占 9.76%。2000—2020 年张家界市土地利用变化主要表现为草地面积的大幅减少和建设用地的明显增加。研究期内, 草地面积减少 5 176.98 hm^2 , 耕地面积减少 759.33 hm^2 , 分别减少了 5.28% 和 0.34%; 建设用地增加 3 876.12 hm^2 , 林地增加 1 052.64 hm^2 , 水域增加 1 013.67 hm^2 , 分别增加了 96.44%, 0.17% 和 10.67%; 未利用地占的面积较小, 仅占 6.93 hm^2 , 在研究后期全部转变为其他地类。2000—2010 年受城乡发展和城市扩张的影响, 占用了较多的耕地和林地, 土地利用变化主要表现为耕地的大量减少, 建设用地、草地和水域的增加, 在此阶段, 未利用地逐渐全部转变为林地和草地。2010—2020 年受经济发展需求和退耕还林政策的影响, 耕地转变为林地和建设用地, 草地也大面积转变为建设用地和林地, 土地利用变化主要表现为草地的大面积减少, 建设用地和林地的大面积增加。

2000—2020 年张家界市林地、耕地和草地发生的变化最为明显。草地主要转变为林地, 转变面积为 4 904.01 hm^2 , 其次为耕地和水域, 面积分别为 1 907.55, 306.18 hm^2 。草地转变为林地主要发生在桑植县的人潮溪镇北部, 转变为耕地主要发生在桑植县的西部河口乡, 转变为水域主要发生在慈利县江垭水库周边区域。耕地主要转变为林地 (3 329.55 hm^2) 和建设用地 (2 867.13 hm^2), 其次为草地 (827.10 hm^2) 和水域 (658.98 hm^2)。耕地转变为林地的区域广泛分散在张家界市全域, 转变为建设用地主要集中在永定区主城区, 其次为武陵源区、桑植县和慈利县的主城区, 转变为草地主要分布在慈利县的零溪河下游区域, 转变为水域集中在慈利县的江垭水库周边区域。林地主要转变为耕地, 其次为草地、水域和建设用地, 转变的面积分别为 4 568.04, 1 162.89, 1 034.91, 980.91 hm^2 。其中转变为耕地主要发生在桑植县的西

部和东北部,转变为草地零散分布在永定区中部和慈利县的东部区域,转变为水域主要集中在桑植县的溇

水周边区域,转变为建设用地主要集中在城乡道路建设区域。

表 1 2000—2020 年张家界市土地利用类型面积及变化状况

年份	各土地利用类型面积/hm ²					
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000	226 503.80	613 394.20	98 012.52	9 497.70	4 019.40	6.93
2005	225 639.70	612 997	98 380.80	10 113.39	4 296.33	6.93
2010	224 954.20	613 310.90	98 412.84	10 085.31	4 670.91	0
2015	224 392.80	613 738.20	97 309.17	10 071.45	5 922.27	0
2020	225 744.50	614 446.80	92 835.54	10 511.37	7 895.52	0
2000—2010	-1 549.62	-83.25	400.32	587.61	651.51	-6.93
2010—2020	790.29	1 135.89	-5 577.30	426.06	3 224.61	0
2000—2020	-759.33	1 052.64	-5 176.98	1 013.67	3 876.12	-6.93

3.3 景观格局动态变化分析

3.3.1 景观水平分析 由表 2 可知,研究期内张家界市斑块数量(NP)和斑块密度(PD)经历了 2000—2010 年先增加到 2010—2020 年再减少的变化状况,说明整体上景观异质性和破碎程度先增加后降低。最大斑块指数(LPI)在 2000—2015 年呈稳定状态,但 2015—2020 年降低明显,说明研究区受到外部扰动,

优势景观(林地)最大斑块的面积呈减少态势。景观形状指数(LSI)先增加后降低,说明张家界市景观斑块形状趋于规则状态。香农均匀度指数(SHEI)在 2000—2010 年呈快速上升态势,在 2010—2020 年呈稳定上升态势,说明张家界市景观中没有较明显的优势类型并且各类型分布较为均匀。聚合指数(AI)每年数值基本相同,说明城市景观趋于稳定状态。

表 2 2000—2020 年张家界市景观指数状况

年份	景观指数					
	NP	PD	LPI	LSI	SHEI	AI
2000	8 547	0.898 3	39.584 9	85.994 3	0.517 9	94.830 0
2005	8 770	0.921 8	39.578 4	86.078 5	0.520 1	94.825 0
2010	8 829	0.928 0	39.616 5	86.158 7	0.579 7	94.820 0
2015	8 405	0.883 4	39.450 4	86.122 6	0.581 9	94.822 5
2020	7 653	0.804 4	31.909 4	85.644 5	0.584 3	94.852 2

3.3.2 类型水平分析 由图 1 可知 2000—2020 年张家界市各土地利用类型景观指数及变化表明:耕地的斑块数量(NP)和斑块密度(PD)在 2000—2015 年处于增加状态,在 2015 年均处于峰值,到 2020 年又略有下降,说明耕地的破碎化程度从 2000—2015 年不断增加的状态到 2020 年破碎化程度降低的态势扭转,耕地的保护成效在不断显现。耕地的最大斑块指数(LPI)在 2000—2005 年下降幅度较大,但 2005 年以后保持相对稳定状态,说明虽然前期耕地斑块数在增加,但大的斑块数却在减少,耕地的破碎化在加剧,到 2005 年以后,LPI 保持较稳定的状态,进一步说明耕地的景观稳定性提高。研究期内景观形状指数(LSI)和聚合指数(AI)比较稳定,说明张家界市耕地景观分布的规则性和聚集性保持相对稳定状态。

林地的斑块数量(NP)、斑块密度(PD)和最大斑块指数(LPI)均呈现先小幅度上升再下降的趋势,说明研究期内林地的景观破碎化呈现降低的态势,随着林地的增加,主要表现为小斑块面积增加变为大斑

块,但部分大斑块由于城乡建设被分割开,与邻近的其他小斑块融合,因此导致林地景观变得规则,即景观形状指数(LSI)下降。林地的聚合指数(AI)保持相对稳定且在 2015—2020 年有较小幅度上升,说明张家界市的林地景观变得更加聚集。

草地的斑块数量(NP)和斑块密度(PD)在 2000—2010 年基本保持不变,在 2010—2020 年先增大后减小,说明草地的景观破碎度先保持不变后加剧再到减缓的状态。最大斑块指数(LPI)在 2000—2010 年同样保持不变,在 2010—2020 年先减小后增大,说明草地的最大的斑块面积先保持不变,再受加剧破碎化期的影响,最大面积降低,再到研究期末的最大斑块面积增大,景观优势度得以提升。景观形状指数(LSI)和聚合指数(AI)在 2000—2015 年基本保持不变,在 2015—2020 年呈下降态势,说明草地在 2000—2015 年的景观聚集性和景观规则性基本不变,在 2015—2020 年随着草地面积的大幅度减少,景观的聚集性降低,景观规则性也略有下降。

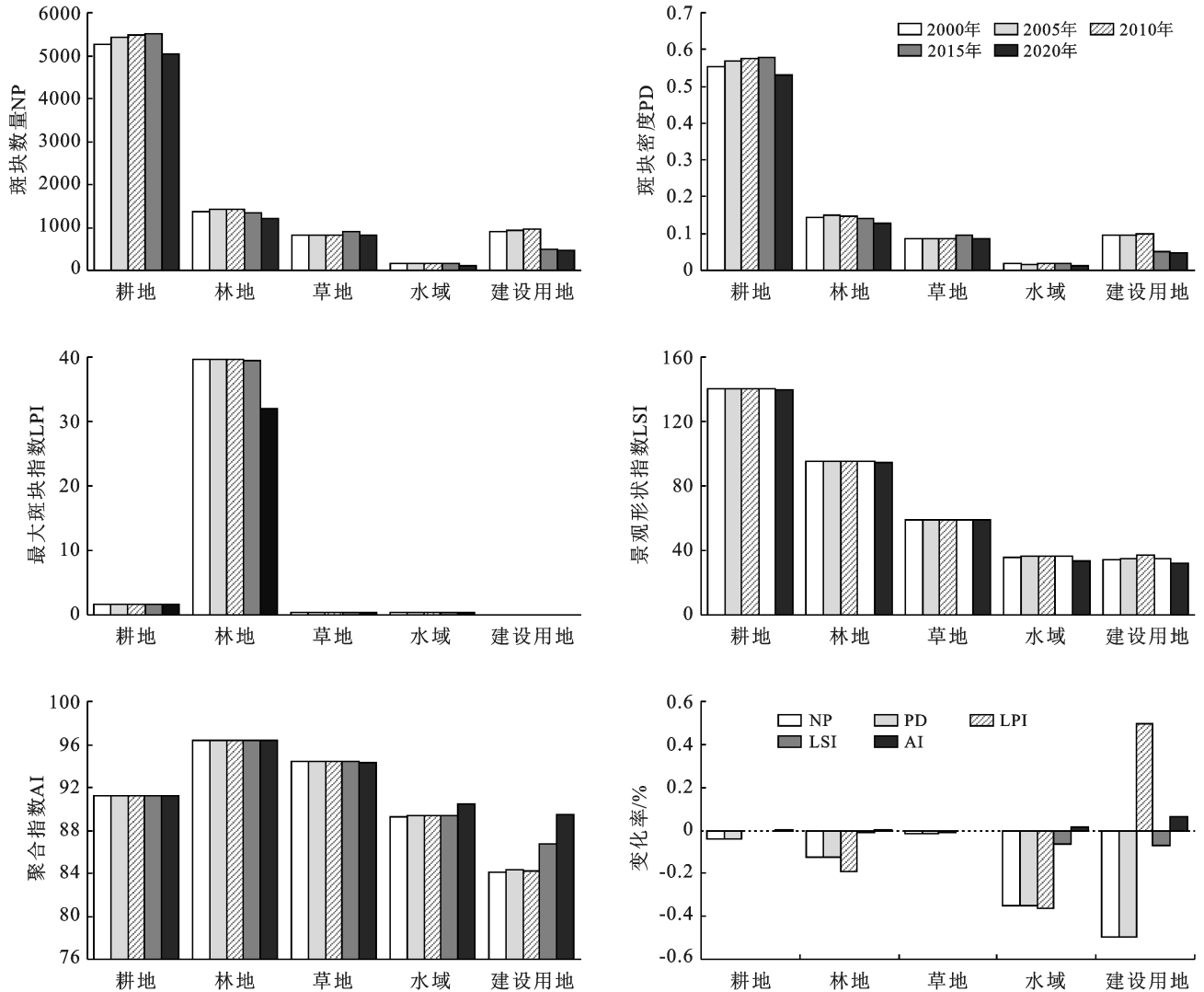


图 1 2000—2020 年张家界市各土地利用类型景观指数及变化

水域的斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)和景观形状指数(LSI)总体呈降低趋势,说明张家界市水域的景观破碎化降低,斑块呈均衡化发展、水域的景观优势略有下降,但聚合指数(AI)指数有上升态势,说明水域景观朝更加聚集方向发展。

建设用地的斑块数量(NP)和斑块密度(PD)在2000—2010年小幅度增加,在2010—2020年大幅降低,说明建设用地的破碎度先略微增加后大幅度降低。最大斑块指数(LPI)在2000—2010年保持不变,在2010—2020年增加比较明显,说明建设用地的景观优势度在早期处于稳定状态,在后期转变为迅速提升状态。景观形状指数(LSI)和聚合指数(AI)有先增加后减少的趋势,说明随着城镇化发展,建设用地的开发越来越合理化、规范化,聚集程度越来越高。

3.4 未来情景模拟分析

3.4.1 土地利用模拟分析 通过 GeoSOS-FLUS 模拟张家界市 2030 年土地利用空间分布,结果见

附图 5f(封 3)。建设用地呈现较明显的集中扩张状态,较 2020 年增加 15.17%,主要集中在永定区、桑植县、慈利县和武陵源区的中心城区;耕地、林地和水域处于较稳定状态,分别增加了 0.22%,0.07%和 0.48%,增加的区域分散在整个市域内;草地的面积进一步减少,较 2000—2020 年减少的幅度有所下降,减少的面积主要集中在城乡发展较为迅速的区域,主要转变为建设用地。

3.4.2 景观格局分析 基于 2030 年土地利用数据,运用 Fragstats4.2 软件,计算 2030 年张家界市景观格局指数,分析景观格局状况,研究结果(图 2)表明:2030 年斑块数量(NP)和斑块密度(PD)较 2020 年均有所增加,说明张家界市景观的破碎度和异质性均呈增长态势;最大斑块指数(LPI)略有增加,说明优势景观的最大斑块面积,从 2015 年以来不断减小的趋势中得到缓解;景观形状指数(LSI)为 2000 年以来的最大值,说明研究区的景观形状变得更加不规则;香农

均匀度指数(SHEI)基本保持不变,说明研究区的斑块分布状态较为稳定;聚合指数(AI)为 2000 年以来的最低值,说明研究区景观聚集性降低,有分散趋势。

2030 年张家界市各土地利用类型景观指数(表 3)〔耕地的斑块数量(NP)、斑块密度(PD)和最大

斑块指数(LPI)〕较 2020 年略有增加,说明张家界市虽然耕地面积增加,但景观的破碎度有进一步上升趋势。景观形状指数(LSI)上升比较明显,且为 2000 年以来的峰值,而聚合指数(AI)降低,说明耕地景观变得分散和不规则。

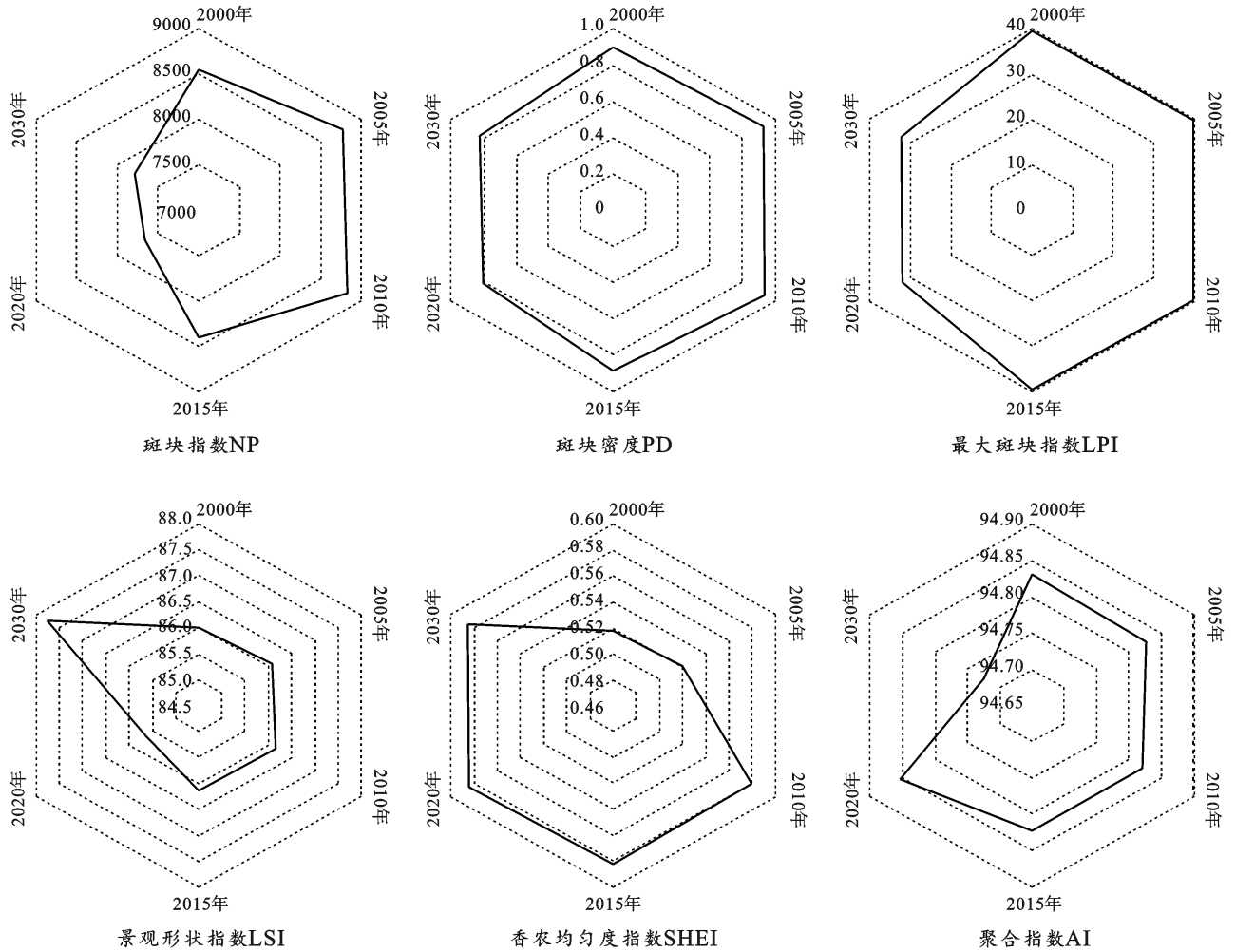


图 2 张家界市 2000—2030 年景观格局指数

表 3 2030 年张家界市土地利用类型景观指数

土地利用类型	斑块指数(NP)	斑块密度(PD)	最大斑块指数(LPI)	景观形状指数(LSI)	聚合指数(AI)
耕地	5 072	0.533 1	1.657 4	143.212 6	91.024 7
林地	1 207	0.126 9	31.944 7	95.716 1	96.374 7
草地	952	0.100 1	0.324 7	62.953 7	93.817 9
水域	118	0.012 4	0.292 2	34.924 2	90.055 6
建设用地	445	0.046 8	0.073 8	33.987 4	89.584 5

林地和水域的斑块数量(NP)、斑块密度(PD)基本保持不变,但最大斑块指数(LPI)较 2020 年均略有小幅度增加,说明林地和水域的景观破碎度基本保持不变,最大的斑块面积有所增加。两种土地利用类型的景观形状指数(LSI)较 2020 年均小幅度增加,聚合指数(AI)均有所降低,说明张家界市林地和水域的景观

形状向不规则趋势发展,景观聚集性有分散趋势。

草地的斑块数量(NP)和斑块密度(PD)增加明显,最大斑块指数(LPI)降低明显,说明草地的斑块被分割较多,景观破碎化进一步加剧。景观形状指数(LSI)为 2000 年以来的最高值,聚合指数(AI)为 2000 年以来的最低值,说明虽然草地的景观聚集程度有所增加,但加剧的破碎化导致了景观形状变得更加不规则。

建设用地的斑块数量(NP)和斑块密度(PD)有所降低,张家界市建设用地景观破碎化有减缓趋势。最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)和聚合指数(AI)较 2020 年有小幅度增加,说明建设用地的面积持续增加,造成了景观不规则程度提高,但景观的聚合程度更高,斑块分布变得更加合理。

4 讨论与结论

4.1 讨论

张家界市作为以山水自然景观为主的旅游城市,土地利用变化带来的景观格局变化影响着城市发展进程。张家界市景观格局主要受到自然因素、社会经济因素和政策因素的影响。在自然因素驱动方面,张家界市景观格局受地形影响最为明显,在地形起伏较大区域,人为干扰较小,土地利用开发强度较小,景观格局的变化不明显;在地形起伏缓和,适宜开发建设区域,如永定城区、武陵源城区、桑植县中心城区和慈利县中心城区,随着建设用地需求激增,开发建设活动的强度明显上升,导致景观格局发生较明显变化;张家界地貌虽然复杂多样,有山地、岩溶、丘陵、岗地和平原,但山地面积占 76%,耕地资源零散分布,随着城镇化建设进程加快,部分开垦难度较大的耕地向其他用地类型流转明显,导致耕地和其他用地类型景观格局发生变化。

在社会经济因素驱动方面,人口持续增长对张家界市土地利用景观格局产生重要影响,2000 年以来张家界市人口增长迅速,在有限的土地资源下,新增的人口带来了住房、就业等新的需求,人地矛盾持续增长,加快了城镇化发展进程的同时也间接影响了土地利用类型的流转,改变了景观格局。2000 年以来张家界市 GDP 由 6.04×10^9 元增长到 5.57×10^{11} 元,跨越式的经济发展带来的城市扩张侵占了周边耕地、林地、草地等,建设用地呈现快速增长状态,交通、水利等基础设施的增加一方面侵占了其他用地,另一方面也导致景观异质性和破碎化呈加剧态势。

在政策因素驱动方面,张家界市在退耕还林(草)、自然保护区体系建设、耕地保护等国家和地方的生态保护政策引导下,草地、耕地、林地的面积减缓速度有所降低,耕地和林地研究后期略有上升趋势,但受城镇化建设影响,依然存在部分区域草地面积萎缩现象,这些都影响着张家界市景观异质性和破碎化的稳定性。

基于对张家界市土地利用和景观指数时空演变分析,未来张家界市应以保护、优化景观格局和山水格局为主要目标,加强林、草、湿地(水域)等优良生态系统管控和保护;提高城乡用地、工业用地等建设用地侵占生态用地的管控能力,优化建设用地布局,控制城镇扩张规模,提高城镇发展质量;以张家界索溪峪、天子山、杨家界、八大公山等自然保护区为主体构建自然保护地体系,解决保护地孤岛化问题,加强生态廊道建设,完善生态系统完整性和景观连通性;保

持林地优势景观,严格保护地质公园的生态环境及原有样貌;进一步降低林地和建设用地的破碎化,提高景观聚集度和规则度,同时注重保护草地生态系统的完整性。

土地利用变化是由经济、社会、政策等多方面共同影响,其本身具有多主体性和复杂性,如何科学合理模拟土地利用的未来变化,是当前学界的重要研究内容。本研究虽然利用土地利用/覆被数据、GDP 数据、人口密度数据、道路数据、坡度数据、坡向数据、高程数据、禁止开发边界等数据,并且参考了张家界市城市总体规划、国土空间规划及相关规划和资料,模拟出 2030 年张家界市土地利用空间分布状况,分析出 2030 年景观格局状况,但受限于人口密度、GDP 等空间数据精度和上位规划的执行情况,研究可能存在一定的误差,未来需要提高数据的精度,并进行“自然保护情景”“生态保护情景”和“快速发展情景”等多情景未来模拟^[28-29]。同时本研究及大部分有关景观格局的研究,仅仅基于土地利用数据在二维的视角进行时空分析,但其实就城市而言,尤其是在城市主城区,用土地利用来涵盖景观格局状况,略有不足。在未来的研究中应考虑三维的景观格局,把城市的垂直景观融入到景观格局分析中。人作为城市的主体,要充分考虑城市景观的人眼可达性(可视性)^[30],考虑城市天际线的景观格局状况。

4.2 结论

本文分析了 2000—2020 年张家界市土地利用和景观格局的时空变化特征,并利用 GeoSOS-FLUS 模型模拟了 2030 年张家界市的土地利用空间分布状况,进而分析其 2030 年景观格局状况。

(1) 2000—2020 年张家界市土地利用以林地为主,其次为耕地和草地;土地利用变化主要表现为草地面积的大幅减少和建设用地的显著增加,其中草地减少主要是转变为林地和耕地导致,建设用地的增多主要来自于耕地和林地的转变。

(2) 2000—2020 年土地利用变化导致张家界市景观格局发生了较明显的改变。张家界市景观的整体异质性和破碎度先增加后降低,斑块形状趋于规则,景观类型分布较均匀,景观聚集程度也逐渐趋于稳定状态。各地类的破碎化程度到 2020 年均有所减缓,建设用地的破碎化程度降低最明显;林地和水域的最大斑块面积减少明显,建设用地增加显著;各地类的斑块形状均变得更加规则,景观聚集性除草地略微下降外,都有不同程度的提升。

(3) 2030 年张家界市土地利用主要表现为建设用地的集中扩张和草地的进一步减少,耕地、林地和

水域基本保持不变。建设用地的增多主要来自永定区、桑植县、慈利县和武陵源区的中心城区,草地减少主要集中在城乡发展迅速区域。2030年张家界市景观破碎化和异质性较2020年呈增长态势,虽然优势景观的最大斑块面积增加,但景观形状变得不规则,景观的聚集性也有所降低,有分散的趋势。耕地和草地的景观破碎化进一步加剧,建设用地的景观破碎化有所改善,且建设用地的布局较其他地类更加合理,景观形状的规则程度和景观的聚合度有进一步提升。

[参 考 文 献]

- [1] Turner M G. Landscape ecology: What is the state of the science? [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2005, 36: 319-344.
- [2] 王效科, 苏跃波, 任玉芬, 等. 城市生态系统: 高度空间异质性[J]. *生态学报*, 2020, 40(15): 5103-5112.
- [3] 贺红土, 肖笃宁. 景观生态: 一种综合整体思想的发展[J]. *应用生态学报*, 1990, 1(3): 264-269.
- [4] Forman R T T, Wilson E O. *Land Mosaics* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [5] Kowe P, Mutanga O, Dube T. Advancements in the remote sensing of landscape pattern of urban green spaces and vegetation fragmentation [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2021, 42(10): 3797-3832.
- [6] 肖笃宁, 赵羿, 孙中伟, 等. 沈阳西郊景观格局变化的研究[J]. *应用生态学报*, 1990, 1(1): 75-84.
- [7] 李哈尔滨, 伍业钢. 景观生态学的数量研究方法[M]//刘建国. 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社: 1992. 209-234.
- [8] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析[J]. *生态学报*, 1995, 15(2): 113-120.
- [9] 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究[J]. *生态学报*, 1995, 15(4): 345-350.
- [10] 唐建军, 杨民安, 周亮, 等. 高原环湖城镇聚落的景观格局及空间形态演变特征: 以滇池为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(10): 2274-2284.
- [11] 高照忠, 魏海霞, 黄铁兰. 粤港澳大湾区土地覆盖及景观格局时空变化分析[J]. *测绘通报*, 2021(5): 25-29.
- [12] 杜会石, 哈斯额尔敦, 李爽, 等. 科尔沁沙地风沙与湖泊景观演变及影响因素分析[J]. *地理科学*, 2018, 38(12): 2109-2117.
- [13] 赵亚琛, 曾坚. 景观格局优化视角下水环境生态空间适应性发展研究: 以大运河沿线台儿庄古镇为例[J]. *中国园林*, 2021, 37(5): 62-67.
- [14] 侯宏冰, 郭红琼, 于强, 等. 鄂尔多斯景观格局演变与景观生态网络优化研究[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(10): 205-212.
- [15] 鲁亚楠, 姚顺波, 邓元杰, 等. 陕北地区土地利用及景观格局变化对生态服务价值的影响: 基于退耕还林(草)背景[J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(11): 180-192.
- [16] 刘祥龙, 张文君, 陈朝亮, 等. 内江市景观格局对地质灾害易发性的影响分析[J]. *测绘科学*, 2021, 46(5): 118-125.
- [17] 苏凯, 王茵然, 孙小婷, 等. 基于GIS与RS的东北森林带景观格局演变与模拟预测[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(12): 195-204.
- [18] 李婷婷, 王一波. 灌木园林景观扩张及空间格局演变模型仿真[J]. *计算机仿真*, 2021, 38(5): 348-352.
- [19] 杨苗, 龚家国, 赵勇, 等. 白洋淀区域景观格局动态变化及趋势分析[J]. *生态学报*, 2020, 40(20): 7165-7174.
- [20] 刘希朝, 李效顺, 蒋冬梅. 基于土地利用变化的黄河流域景观格局及生态风险评估[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(4): 265-274.
- [21] 马帅, 程浩, 林晨, 等. 江淮生态经济区土地利用景观格局时空变化[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(1): 292-299.
- [22] 赵轩, 彭建东, 樊智宇, 等. “双评价”视角下基于FLUS模型的武汉大都市区土地利用模拟和城镇开发边界划定研究[J]. *地球信息科学学报*, 2020, 22(11): 2212-2226.
- [23] Zhou Liang, Dang Xuwei, Mu Haowei, et al. Cities are going uphill: Slope gradient analysis of urban expansion and its driving factors in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2021: 145836.
- [24] 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. *中国科学(地球科学)*, 2002, 32(12): 1031-1040.
- [25] 李辉丹, 叶长盛, 华吉庆. 南昌市土地利用变化对生态系统服务价值影响[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(3): 277-285.
- [26] 张莹莹, 蔡晓斌, 杨超, 等. 1974—2017年洪湖湿地自然保护区景观格局演变及驱动力分析[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(1): 171-182.
- [27] Liang Xun, Liu Xiaoping, Li Dan, et al. Urban growth simulation by incorporating planning policies into a CA-based future land-use simulation model [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2018, 32(11): 2294-2316.
- [28] 孙定钊, 梁友嘉. 基于改进Markov-CA模型的黄土高原土地利用多情景模拟[J]. *地球信息科学学报*, 2021, 23(5): 825-836.
- [29] 陈兵飞, 廖铁军, 张莉坤. 生态红线约束下万州区土地利用情景模拟及生态价值评估[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(5): 349-357.
- [30] 杨俊宴, 孙欣, 潘奕巍, 等. 景与观: 城市眺望体系的空间解析与建构途径[J]. *城市规划*, 2020, 44(12): 103-112.