

基于“三生”空间的重庆市土地利用 演变与城镇化关系研究

师飞云, 周宝同

(西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

摘要: [目的] 分析重庆市土地利用时空演变规律,探究土地利用转型及景观格局响应的演变特征与城镇化的关系,为重庆市“三生”土地规划与城镇化可持续发展提供数据支持。[方法] 基于“三生空间”功能分类的视角构建用地分类标准,利用2000,2010,2020年土地遥感影像和夜间灯光数据,采用转移矩阵、相关性分析及回归分析法进行分析。[结果] ①2000—2020年重庆市生产、生态空间总体减少,生活空间持续扩张。2000—2010年,生产、生态空间减少191.87,252.95 km²,生活空间增大446.03 km²;2010—2020年,生产空间面积减少13.76 km²,生态空间减少324.05 km²,生活空间增大314.87 km²。②重庆市生产功能向生活功能转化较为明显。随着城镇化加强,生态空间转向生产空间显著,功能转变明显聚集于重庆市中心区域。③重庆市空间景观破碎度减小,景观复杂度逐渐提高,林草水生态空间占据主导优势。④2000—2010,2010—2020年土地利用面积变化对夜间灯光值的影响存在差异;2000年,城镇生活空间、农村生活空间变化对夜间灯光变化影响起主导作用,而2020年工业生产空间、城镇生活空间变化对夜间灯光变化影响较强。[结论] 重庆市各类空间发生相互转换,利用不同“三生”空间类型变化和城镇化的关系,推动土地规划与城镇化协调发展。

关键词: “三生”空间; 土地利用; 景观格局; 城镇化; 重庆市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)01-0227-11

中图分类号: F301.2

文献参数: 师飞云, 周宝同. 基于“三生”空间的重庆市土地利用演变与城镇化关系研究[J]. 水土保持通报, 2024, 44(1): 227-237. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.01.023; Shi Feiyun, Zhou Baotong. Relationship between land use evolution and urbanization in Chongqing City based on ecological-production-living spaces [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(1): 227-237.

Relationship Between Land Use Evolution and Urbanization in Chongqing City Based on Ecological-Productional-Living Spaces

Shi Feiyun, Zhou Baotong

(School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: [Objective] The spatial and temporal evolution of land use in Chongqing City were analyzed, and the relationship between the evolution characteristics of land use transformation and landscape pattern response and urbanization was explored in order to provide data support for ecological-production-living spaces land planning and sustainable development of urbanization in Chongqing City. [Methods] A land use classification criteria was constructed based on the perspective of the functional classification of ecological-production-living spaces; utilizing land remote sensing images and nighttime lighting data in 2000, 2010, and 2020; and adopting the transfer matrix, correlation analysis, and regression analysis methods. [Results] ① From 2000 to 2020, the productional and ecological space of Chongqing City generally decreased, and the living space continued to expand. From 2000 to 2010, the productional and ecological space decreased by 191.87 km² and 252.95 km², respectively, and the living space increased by 446.03 km². From 2010 to 2020,

收稿日期: 2023-06-08

修回日期: 2023-08-23

资助项目: 重庆市技术预见与制度创新项目(cstc2020jsyj-zzysbAX0077); 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室开放资助项目(KF2020-01)

第一作者: 师飞云(1997—), 女(汉族), 河南省新乡市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用与空间规划。Email: sfyun97@163.com。

通信作者: 周宝同(1964—), 男(汉族), 重庆市北碚区人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用与土壤环境相关研究。Email: 379485639@qq.com。

the productional space decreased by 13.76 km², ecological space decreased by 324.05 km², and living space increased by 314.87 km². ② The shift of productional functions to living functions was more obvious in Chongqing City. As urbanization intensified, ecological space shifted significantly to productional space, and the shift in function was obviously gathered in the central region of Chongqing City. ③ The spatial landscape fragmentation of Chongqing City decreased, the landscape complexity gradually increased, and the forest, grass, and water ecological space dominated. ④ There were differences in the influence of land use area changes on nighttime light in 2000—2010 and in 2010—2020. In 2000, changes in urban living space and rural living space played a dominant role in influencing changes in nighttime light, while changes in industrial production space and urban living space in 2020 had a stronger influence on changes in nighttime light. [Conclusion] Various types of space in Chongqing City have been transformed into each other, and the relationship between changes in different ecological-productional-living spaces types and urbanization has been utilized to promote the coordinated development of land planning and urbanization.

Keywords: ecologic-productional-living spaces; land use; landscape pattern; urbanization; Chongqing City

城市是社会、经济、人口的集中地,是人类活动强度最大的系统^[1]。近年来,中国城镇化建设取得显著成效,城市化进程不断加快,导致人地关系紧张,深刻改变了城市的地表形态和格局。城镇化进程实质上是用地、人口、空间等的扩展过程,合理布局生产空间、生活空间与生态空间是实现新型城镇化的重要前提。2035 年远景目标也对三生空间协调发展提出了明确要求。通过识别“三生”空间,可成为解决国土空间资源优化的重要工具^[2-4]。当前,“三生”空间已成为土地利用变化领域关注的热点问题。

中国有关“三生”空间的研究主要围绕于内涵框架^[5]、分类与功能识别^[6]、结构演化^[7-8]、探究其驱动机制与影响因素^[9-10]、空间功能冲突^[11-12]、耦合协调^[13-14]以及国土空间可持续发展相关方面^[15]。研究方法上,利用 ArcGIS 软件、土地利用转移矩阵、土地利用动态度分析不同用地面积的变化^[16],景观指数表示相应的景观格局变化^[17]。对于“三生”用地变化的驱动力分析多采用主成分法、多元线性回归模型^[18]、灰色关联度模型^[19]。在研究范围上,多从城市^[17]、区县^[20]、村域^[21]、特殊用地^[22-23]、生态区^[24]等小尺度区域开展研究,而对于较大尺度的省域、直辖市研究较为缺乏。学者就“三生”空间进行了深入的研究,其相关内容、方法及成果颇为丰富,而鲜有“三生”空间演化与城镇化关联起来,探究土地利用转型及景观格局响应的演变特征与城镇化的关系。稳步推进新型城镇化高质量发展,提升城市可持续发展能力,需要有效合理的耕地、建设用地以及生态用地规划^[25]。快速城镇化伴随着人类活动强度的增大,对土地利用类型产生影响,引起景观格局变化。尤其城镇扩展过程中土地利用结构改变,景观格局破碎化程度增加^[26]。

重庆市是中国中西部地区唯一的直辖市,区位优势突出,战略地位重要。当前,成渝地区双城经济圈建设破题起势,“一区两群”协调发展格局初步形成。开展重庆市土地利用转型与城镇化发展水平状况的研究,为完善重庆市土地政策、实现重庆产业结构转型、推进城镇化发展提供理论依据。同时,作为典型山地城市,重庆是中国西南地区自然、经济、社会等诸多特征的缩影,以重庆市为研究对象,对其他地域科学构建空间规划体系、探索可持续发展路径,具有重要的现实参照意义。本文从栅格尺度探讨 2000—2020 年重庆市土地利用转型时空演变特征及其景观格局响应与城镇化的关系。利用 ArcGIS 10.2 中渔网工具生成 5 km×5 km 的网格,借助 SPSS 软件,探究土地利用类型面积变化对城镇化的影响。以 2000,2020 年夜间灯光值为因变量,利用逐步回归法进行多重线性回归分析,最后利用标准化回归系数探讨土地利用类型变化与城镇化变化的关系,旨在促进土地利用与城镇化的良好发展提供数据支撑。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

重庆市地处中国内陆西南部,东经 105°11′—110°11′,北纬 28°10′—32°13′之间,位于青藏高原与长江中下游平原的过渡地带,地形以丘陵、山地为主(图 1),植被类型多样。境内有长江、嘉陵江、乌江等。东邻湖北、湖南,南靠贵州,西连四川,北接陕西。土地面积 8.24×10⁴ km²,辖 38 个区县。重庆市实施以人为核心的新型城镇化战略取得显著成效,城乡融合发展体制机制和政策体系初步建立。现代大都市建设步伐加快,国际化山水都市风貌初步呈现。2020 年地区生产总值为 2.50×10¹² 元,同时城镇化的水平

也在不断提高,2020 年全市常住人口 3.21×10^7 人,城镇化率达到 69.46%,伴随着城镇化的快速发展,土地利用结构不断改变。

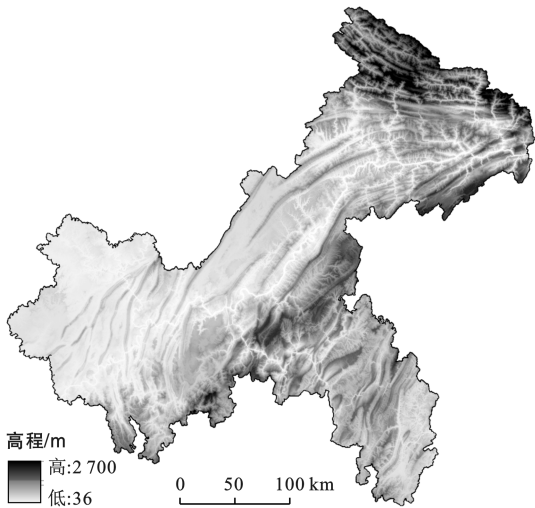


图 1 重庆市地形图

Fig.1 Topographic map of Chongqing City

1.2 数据来源与处理

本文所涉及的重庆市 2000,2010,2020 年 3 期土

地利用数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所(<http://www.resdc.cn>),该数据将土地利用类型归结为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 个一级类和 25 个二级类,通过人工目视解译。其中,2000,2010 年 2 期的遥感解译使用的是 Landsat-TM/ETM 遥感影像数据,2020 年使用的 Landsat8 OLI 遥感影像数据,精度在 90% 以上。参考已有“三生”空间分类^[8],以土地利用的生产、生活、生态功能为依据,将土地利用类型归结为农业生产空间、工业生产空间、城镇生活空间、农村生活空间、林草水生态空间和其他生态空间 6 类,构建重庆市“三生”空间分类体系(见表 1)。

数字高程数据、行政边界矢量数据均来源于中国科学院地理科学与资源研究所的资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>),30 m 分辨率。本文用于分析的夜间灯光数据来源于经矫正后的夜间灯光数据集(<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9828827.v2>),利用 ArcGIS 进行裁剪后选取渔网的夜间灯光值(NTL)作为指标来反映研究区栅格的城镇化水平。

表 1 重庆市“三生”空间用地分类标准

Table 1 Ecologic-productionaliving spaces land use classification standards in Chongqing City

“三生”空间	主导功能	土地利用类型
生产空间	农业生产	水田、旱地
	工业生产	工矿等其他建设用地
生活空间	城镇生活	城镇用地
	农村生活	农村居民点用地
生态空间	林草水生态	林地、灌木丛、疏林地、其他林地;高中低覆盖度草地;河渠、湖泊、水库坑塘、滩地
	其他生态	裸岩石质地

2 研究方法

2.1 土地利用转移矩阵

转移矩阵能够具体刻画土地利用结构与功能变化的方向,是一种将土地利用变化面积按矩阵形式排列的方法,可以清楚地反映研究时段初与研究时段末各类土地内部的动态变化。土地利用转移矩阵数学表达式为:

$$L_{ij} = \begin{bmatrix} L_{11} & \cdots & L_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{m1} & \cdots & L_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: L 为面积; n 为土地利用的类型数; i, j 分别是研究初期与末期的土地利用类型。

2.2 土地利用动态度

土地利用动态度是反映土地利用类型动态变化

的指数,分为单一动态度与综合动态度^[27]。

单一土地利用动态度(K)可表示某一研究区一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况,其表达式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: K 为研究时段内某一种土地的变化幅度; U_a 和 U_b 分别为研究时段初与研究时段末该土地利用类型的面积; T 为研究时段间隔。

综合土地利用动态度(LC)可以反映研究区域内一定时间段土地的变化速度,其表达式为:

$$LC = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \right) \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

式中:LC 为综合土地利用动态度; ΔLU_{i-j} 为研究时

段内第 i 类土地利用类型转变为非 i 类土地面积的绝对值; LU_i 为研究时段初期第 i 类土地的面积; T 为研究时段间隔。

2.3 景观格局指数

景观格局是景观要素在景观空间内的配置和组合形式,是景观结构与景观生态过程相互作用的结果。景观格局指数作为定量化研究指标,是景观格局信息的集合^[28],用以转译和描述景观格局及其变化^[29]。本研究从景观水平上选取 6 个景观指标,利用 Fragstats 4.2 计算景观格局指数,来分析重庆市景观格局。分别为斑块个数(NP)、最大斑块指数(LPI)、香农多样性指数(SHDI)、香农均度指数(SHEI)、散布与并列指数(IJI)和形状指数(LSI)。各景观格局指数的生态学意义和计算公式为:

(1) 斑块个数(NP) 表示景观中某一斑块类型的总数。

(2) 最大斑块指数(LPI) 表示景观中的优势斑块类型面积。

$$LPI = \frac{a_{\max}}{A_i} \times 100 \quad (4)$$

式中: a_{\max} 指斑块类型中最大斑块的面积; A_i 是该景观类型的总面积。

(3) 形状指数(LSI) 表示景观斑块形状的复杂程度。

$$LSI = \frac{0.25E}{\sqrt{A}} \quad (5)$$

式中: E 是所有斑块边界的总长度; A 是景观总面积。

(4) 散布与并列指数(IJI) 表示景观内某种斑块的分布情况。

$$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m u_{ik}} \right] \left[\ln \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m u_{ik}} \right]}{\ln(m-1)} \times 100\% \quad (6)$$

式中: u_{ik} 是斑块类型 i 和毗邻斑块类型 k 之间的邻接总长度; g_{ik} 是斑块类型 i 和斑块类型 k 之间毗邻的数量; m 是斑块类型的总数目。

(5) 香农多样性指(SHDI) 表示景观内各类型斑块的多样性与异质性变化及特征。

$$SHDI = -\sum_{i=1}^k (p_i \ln p_i) \quad (7)$$

式中: k 是景观类型数量; p_i 是斑块类型 i 在景观内所占比例。

(6) 香农均度指数(SHEI) 表示景观内受优势斑块类型支配的程度。

$$SHEI = -\frac{\sum_{i=1}^k p_i \ln p_i}{\ln k} \quad (8)$$

2.4 夜间灯光值

夜间灯光数据与人类活动强度、社会经济发展密切相关,是研究城镇化的重要数据,越来越多地应用于人口、经济、生态等领域^[30-33]。目前已有诸多学者借用夜间灯光数据测度城镇化发展水平^[34]、分析时空演变^[35]。本文城镇化水平选取夜间灯光值(night-time light, NTL)来表征,利用矫正后的灯光数据,通过计算研究地区的栅格数据 DN 值,得到每个网格对应的夜间灯光值。

3 “三生”空间格局分析

3.1 “三生”空间时序演变特征分析

从重庆市“三生”空间空间布局与演变特征可以看出(图 2),生产空间面积所占比例相对较大,其中 2020 年农业生产空间占重庆市国土空间面积的 46.89%。随着城市化进程加快,重庆市第二产业发展迅速,工业生产面积不断增大,从 2000 年占重庆市面积的 0.08% 增加到 2020 年的 1.31%。生活空间则呈现城镇聚集式与农户散点式分布,城镇生活空间主要集中在重庆市主城区,是人口密度大、经济发展水平较高的区域,农村生活空间在生活空间中所占比例较小,且分布较分散。在“三生”空间中生态空间面积最大,占重庆市国土面积的 52% 左右,主要位于渝东北生态涵养发展区与渝东南生态保护发展区,且 20 a 间土地类型变化相对较小,整体生态功能较稳定。从重庆市土地利用“三生”空间分布与各类空间面积占比变化来看,土地利用类型面积占比变化趋势明显,生产和生活空间不断扩张,生态空间总体趋于减少。①农业生产空间主要分布在海拔较低、丘陵区利于耕作的渝西和中北部,面积比例不断减小;工业生产空间所占比例增长,主要沿城镇生活空间过渡带扩张。②城镇生活空间比较集中,分布在中部的都市核心区,沿主城区逐步向外扩张。农村生活空间相对较为分散,多处农业生产空间中,且面积在持续发生轻微的扩张。③生态空间主要分布在渝东北和渝东南地区,面积比例稳定在 50.00% 以上。

重庆市土地利用结构以生产和生态用地为主(表 2),生活用地面积仅占总面积的 1%。“三生”空间结构变化中,生产用地从 2000 年的 38 689.58 km² 下降到 2020 年的 38 483.95 km²,生活用地面积从 2000 年的 541.68 km² 增长到 2020 年的 1 302.58 km²;生态用地面积从 2000 年的 43 137.33 km² 下降到 2020 年的 42 560.33 km²。生产和生态用地面积均有减少,生活用地面积有所上升。2000—2010 年,生产、生态空间分别减少 191.87, 252.95 km²,生活空间增大

446.03 km²;2010—2020 年,生产空间面积减少幅度微小,仅减少 13.76 km²,而生态空间减少程度加剧,减少了 324.05 km²,生活空间面积持续增大 314.87 km²。

主要受重庆市自然地理条件和城镇化发展的影响,生活用地规模小幅度扩大,生产和生态用地面积相应发生较小变化的减少。

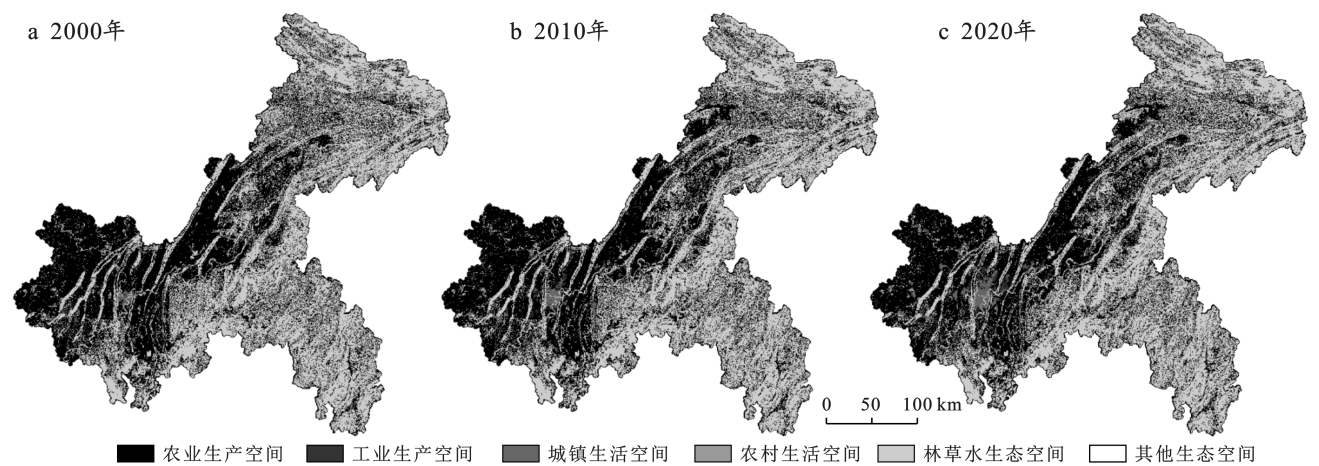


图 2 2000—2020 年重庆市“三生”空间演变格局
Fig.2 Spatial evolution pattern of ecological-production-living spaces in Chongqing City from 2000 to 2020

表 2 重庆市“三生”功能空间面积及其变化						
Table 2 Spatial area of ecological-production-living spaces functions and their changes in Chongqing City						
功能类型	面积			面积变化		
	2000 年	2010 年	2020 年	2000—2010 年	2010—2020 年	2000—2020 年
生产	38 689.58	38 497.71	38 483.95	—191.87	—13.76	—205.63
生活	541.68	987.71	1 302.58	446.03	314.87	760.90
生态	43 137.33	42 884.38	42 560.33	—252.95	—324.05	—577.00

将 2000 与 2020 年重庆市“三生”空间土地利用分类图在 ArcGIS 中进行叠加,得到重庆市“三生”空间土地利用转移矩阵(表 3)与 2000—2020 年土地利用净转移面积(表 4)。

农业生产空间净转入与转出面积分别为 2 431.24, 3 643.81 km²,其中转化为农业生产空间的主要是林草水生态空间,转入面积 2 409.22 km²,占转入总面积 99.00%,同时农业生产空间也向林草水生态空间

转出2 073.61 km²。农业生产空间和林草水生态空间之间的转入与转出面积相对持平,说明重庆农业生产与生态环境保持稳定发展,退耕还林相关政策取得成效。工业生产空间转入面积为 1 029.67 km²,转出面积为 14.63 km²,主要转入的有农业生产空间和林草水生态空间,表明重庆市工业生产空间面积扩大,随着社会经济发展,重庆市第二产业规模增加,不断凸显重要性。

表 3 2000—2020 年重庆市“三生”空间土地利用转移矩阵						
Table 3 Land use transfer matrix of ecological-production-living spaces in Chongqing City from 2000 to 2020						
“三生”空间	2020 年面积					
	农业生产空间	工业生产空间	城镇生活空间	农村生活空间	林草水生态空间	其他生态空间
2000 年面积						
农业生产空间	34 968.49	850.67	566.90	147.91	2 073.61	4.71
工业生产空间	2.51	51.15	8.28	1.80	2.04	0.01
城镇生活空间	3.60	3.39	307.68	2.03	11.77	0.06
农村生活空间	14.44	5.74	22.07	161.33	9.50	0.00
林草水生态空间	2 409.22	169.62	54.36	30.09	40 433.53	5.10
其他生态空间	1.47	0.24	0.24	0.00	6.69	9.12

城镇生活空间转入与转出 651.84,20.86 km²,农村生活空间转入与转出 181.84,51.75 km²,其中农业生产空间和林草水生态空间转入城镇生活空间的面积

最多,反映了 20 a 间,伴随着城镇化速度加快,重庆市城镇人口不断增多,城市面积也随之扩张,进而侵占邻近的农业生产空间,并威胁到部分生态空间,

对重庆市的农业生产和生态环境造成一定程度的影响。农村生活空间主要是与农业生产空间、林草水生态空间之间的相互转换,部分农业生产的耕地和生态用地转变为农村的人居空间。总体来看,生活空间存在对边缘农业生产和生态空间的侵占现象。

林草水生态空间净转入 2 103.61 km²,主要转入

来自城镇生活空间和农村生活空间,净转出面积为 2 668.39 km²,其中转入工业生产空间比例为净转出面积的 6.36%;其他生态空间转入 8.64 km²,转出 9.88 km²,转入与转出基本持平,其他生态空间主要转为林草水生态空间,说明整体生态环境质量可以通过调节得到略微的提高。

表 4 2000—2020 年重庆市“三生”空间土地利用净转移面积

转移类型	农业生产空间	工业生产空间	城镇生活空间	农村生活空间	林草水生态空间	其他生态空间
净转入	2 431.24	1 029.67	651.84	181.84	2 103.61	9.88
净转出	3 643.81	14.63	20.86	51.75	2 668.39	8.64
无变化	34 968.49	51.15	307.68	161.33	40 433.53	9.12

3.2 三生空间功能转变特征分析

借助 ArcGIS 10.2 的空间分析功能,对“三生”空间数据进行相关处理,分析重庆市“三生”空间格局转变趋势,将 2000,2010 和 2020 年“三生”空间功能转变类型用不同的色块进行表达(图 3)。

由图 3 可以看出,2000—2020 年重庆市“三生”空间格局转变较明显的区域主要分布在主城区,其周边区域长寿区、永川区与铜梁区、大足区、荣昌区等也存在部分的功能格局转变。江津区、南川区、涪陵区、开州区,作为重庆市社会经济发展较快的地区,也发生巨大的转变。主要是生态空间向生产空间的转移,以及生产空间向生活空间的转移,林地和草地空间被侵占转化为生产空间,区域的农业生产用地(如耕地)和荒废的工业建设用地转为生活空间,其中南岸、渝北与沙坪坝出现较大程度的生活功能的注

入,主要是耕地等农业生产空间的转入。主城区为重庆市政府单位所在地,人口密度大,经济较为繁荣,表明经济社会的迅速发展驱动城镇化进程,使重庆市“三生”空间格局发生较明显转变,在一定程度上,城镇化导致局部区域生态空间减小,生活空间扩大。开州位于渝东北地区,发生部分生态用地转化为生产用地,生产用地转入较为明显。原因是开州区 2004 年前后大力推进荒地复垦复种,扎实抓好粮食安全和耕地保护工作,推动农业产业化、高效化发展,促使开州区农业生产用地增加。其次煤炭化工领域有了比较成熟的基础,结合区内其他重点产业,已逐步成为重庆工业发展的“黑土地”,扩大了工业生产用地。武隆区东部生产功能向生态功能转移较为显著,原因是围绕文旅产业发展的生态环境保护政策取得成效,促进了武隆区“三生”空间生态功能和旅游产业的协调发展。

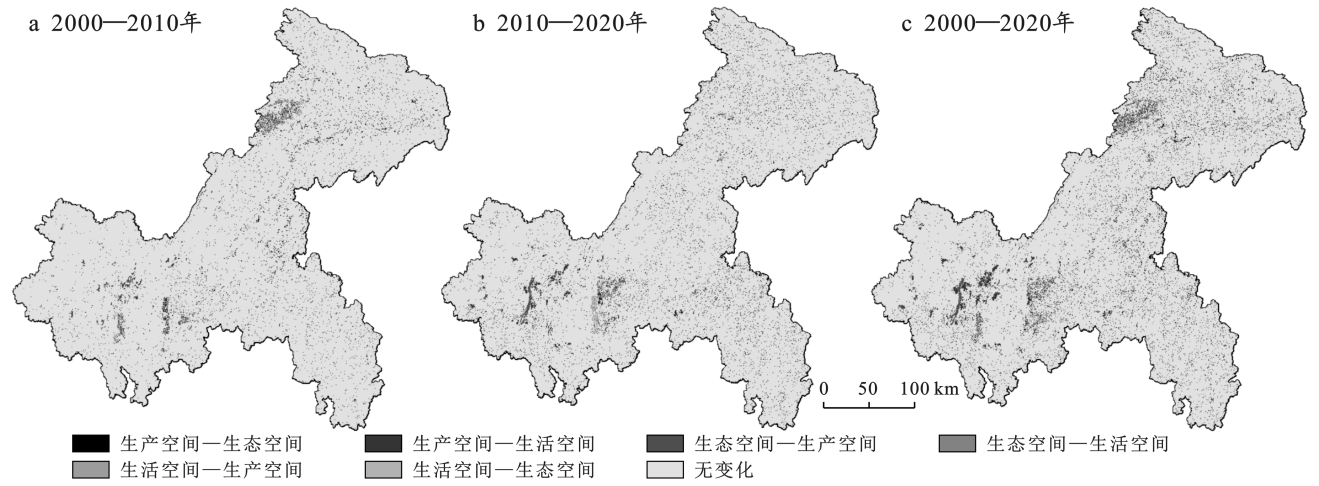


图 3 2000—2020 年重庆市“三生”空间功能转变特征

Fig.3 Functional transformation characteristics of ecological-productionaliving spaces in Chongqing City from 2000 to 2020

如图 3 所示,2000—2020 年均以生态空间转生产功能空间为主,2010—2020 年“三生”功能转变呈现较为明显的空间分异特征。①2000—2010 年生态

转生产功能转换面积为 1392.57 km²,2010—2020 年 1 682.84 km²,空间呈现东北向城中心区域聚拢特征。②2010—2020 年功能转换复杂多样。生态空间

转生产空间的面积占比依旧最大；生产转生态功能空间均匀分散在各区县地区；此阶段出现较为明显的生活转生产功能空间，主要集中在南川区西部。从各县土地功能转变面积分析，渝北区、沙坪坝、九龙坡、大渡口、南岸区、江北区等都市功能核心区以生产转生活功能为主；璧山区、涪陵区以生态转生活功能为主；其余区县呈现生态与生产相互转换的复杂演变趋势，2010—2020 年各区县“三生”功能间的转换较为明显。

3.3 重庆市土地利用景观响应

采用 Fragstats 4.2 软件，计算得到 6 个景观格局指数。由表 5 可知，2000—2020 年，重庆市“三生”空间景观类型层面的斑块个数(NP)和最大斑块指数(LPI)变化一致，先下降再增加，整体减小。散布与并列指数(IJI)、形状指数(LSI)，香浓多样性指数(SHDI)，香浓均度指数(SHEI)呈缓慢上升趋势。

斑块个数(NP)呈现先减少后增加的趋势，表明重庆市的景观破碎度先下降后升高，2000—2020 年整体破碎度相对减小。2000—2010 年最大斑块指数(LPI)呈下降趋势，2010—2020 年呈上升趋势，说明在研究期间景观受到较强的干扰导致最大斑块指数(LPI)波动性变化。2010 年最大斑块指数(LPI)值减小是由于生活空间的迅速扩张，导致林草水生态空间的优势度下降。研究期间最大斑块指数(LPI)波动范围较小，说明研究区内面积最大的土地利用类型林草水生态空间仍较为稳定地占据优势。

表 5 2000—2020 年重庆市景观水平格局指数变化
Table 5 Changes in landscape horizontal pattern index of Chongqing City from 2000 to 2020

年份	NP	LPI	IJI	LSI	SHDI	SHEI
2000	42 548	49,423.6	5,512.9	221,254.6	0.739 0	0.412 5
2010	40 692	44,743.5	9,797.3	226,376.4	0.782 6	0.436 8
2020	41 919	46,275.4	12,045.0	232,784.2	0.833 3	0.465 1

注：NP 为斑块个数，LPI 为最大斑块指数，IJI 为散布与并列指数，LSI 为形状指数，SHDI 为香浓多样性指数，SHEI 为香浓均度指数。

散布与并列指数(IJI)缓慢增长，表明研究区内景观类型整体连通程度提高，各景观之间的分布变得相对复杂。形状指数(LSI)逐年上升表明重庆市“三生”空间景观形状复杂度增加。原因在于随着城镇化发展，人类活动强度变大，更改土地利用类型，影响到土地生态环境、景观整体稳定性。

香浓多样性指数(SHDI)逐渐增加，值在 0.74~0.80，反映出研究区内景观类型趋于均匀分布，说明研究时段内重庆市景观异质性增强，类型更加丰富。香浓均度指数(SHEI)处于 0.40 左右，在研究期间发

生了小幅度增长，表明优势斑块对景观的控制能力相对下降，各种景观类型趋向平衡发展，更有利于改善土地的生态系统。

4 土地利用变化与城镇化的关系研究

4.1 土地利用类型面积变化对夜间灯光值(NTL)变化影响

土地利用类型面积变化情况及夜间灯光变化情况如图 4 所示。2000—2010 年，农业生产空间面积变化最大，面积减小约 498.71 km²，工业生产空间面积增加约 306.69 km²；城镇生活面积增加约 368.80 km²，增幅较大，农村生活面积增加约 77.26 km²；林草水生态空间面积减少 247.80 km²，其他生态空间面积减少 5.03 km²，夜间灯光总量增加约 9 1406。

2010—2020 年，农业生产空间面积的减少幅度增大，约减小 722.49 km²，工业生产空间面积持续增加且增速加快，约增加 708.37 km²；城镇生活空间面积增加 262.19 km²，农村生活面积增加约 52.81 km²；林草水生态空间面积继续减少，减少约 330.08 km²，其他生态空间面积增加 6.26 km²，夜间灯光仍保持增加，增加约 178 121。

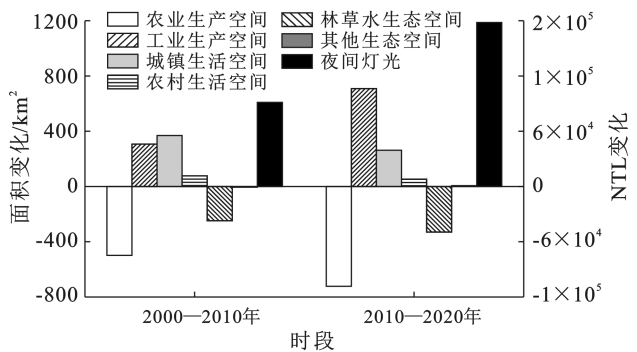


图 4 重庆市土地利用类型面积变化对夜间灯光值(NTL)变化的影响
Fig.4 Influence of land use type area change on night-time light (NTL) change in Chongqing City

4.2 土地利用类型与 NTL 的相关回归分析

将 2000—2020 年夜间灯光分布图与“三生”空间分布图按 5 km×5 km 划分成格网作为样方，计算皮尔逊相关系数(图 5)，分析土地利用类型的面积对夜间灯光的影响。2000 年，农业生产空间、工业生产空间、城镇生活空间、其他生态空间面积与夜间灯光值呈正相关，林草水生态空间与夜间灯光值呈负相关，且相关性均较显著。2020 年相关分析结果得出，农业生产空间、工业生产空间、城镇生活空间、农村生活空间、林草水生态空间与夜间灯光值的相关系数分别为 0.114, 0.675, 0.684, 0.392 和 -0.288，呈现出显著

的相关关系,其他生态空间与夜间灯光不存在相关性显著。工业生产空间面积与夜间灯光值的皮尔逊系数绝对值变大较明显,可见工业生产空间的扩大及人类活动对城镇化影响增强。

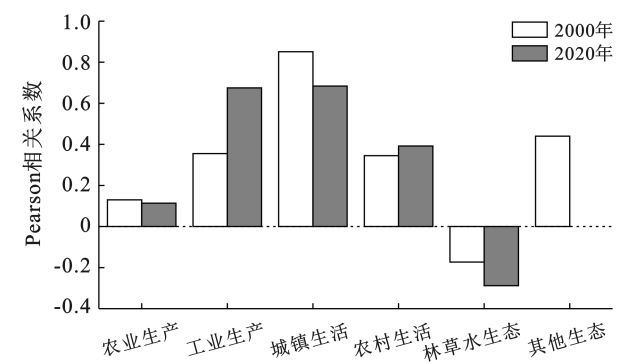


图 5 重庆市夜间灯光值 (NTL) 与土地利用类型面积的 Person 相关性分析

Fig.5 Pearson's Correlation between night-time light (NTL) and land use type area in Chongqing City

为探究土地利用类型面积对城镇化变化的影响,本文以 2000,2020 年的夜间灯光值 NTL 为因变量,将 6 类土地利用类型与夜间灯光值进行回归分析,利用 SPSS 逐步回归法对城镇化影响因素进行分析,结果如表 6 所示。除了生态空间,2000 和 2020 年的农业生产空间、工业生产、城镇生活空间、农村生活空间面积与夜间灯光之间均能建立最优回归方程,达到很好的拟合效果($p<0.001$),且与夜间灯光值 NTL 均呈正相关。2020 年工业生产空间影响程度大于农村生活空间,成为夜间灯光变化主导因素,这与经济社会发展,重庆市的工业生产空间面积持续增加有关。根据上文分析,2000—2020 年农村生活空间比例从 0.26%到 0.42%,而工业生产空间比例从 0.08%剧增到 1.31%,超过农村生活空间,且工业生产空间动态度达 77.16%,发生剧烈程度的变化。

表 6 重庆市夜间灯光值(NTL)与土地利用类型面积的回归关系

Table 6 Regression relationship between night-time light (NTL) and land use type area in Chongqing City

土地类型	2000 年		2020 年	
	标准化回归系数	显著性	标准化回归系数	显著性
农业生产空间	0.085	<0.001	0.091	<0.001
工业生产空间	0.169	<0.001	0.497	<0.001
城镇生活空间	0.763	<0.001	0.554	<0.001
农村生活空间	0.196	<0.001	0.196	<0.001
林草水生态空间	—	—	—	—
其他生态空间	—	—	—	—

5 结 论

(1) “三生”空间演变。2000—2020 年,重庆市土地利用“三生”布局中生产空间面积较大,占据研究区面积约 46.73%。随着城镇化加快,生活空间中的城镇生活空间面积整体呈上升趋势。生态空间面积最大,主要分布于渝东南和渝东北地区,整体空间结构较稳定。生产空间向生活空间、生态空间向生产空间的功能转变较为明显。其中农业生产空间主要转向工业生产空间与林草水生态空间。此外,工业生产空间、城镇生活空间与农村生活空间面积持续增加,而农业生产空间、林草水生态空间面积大幅度减少。

(2) 景观格局响应。2000—2020 年,重庆市景观破碎度整体下降,林草水生态空间仍占据主导地位,重庆市景观类型逐渐复杂,不同景观类型呈现出均匀分布趋势。由于重庆市城镇化迅速,区域的人类活动范围和强度扩大,景观稳定性降低,生态系统健康状况受到威胁。在重庆市未来的发展过程中需要优化城市建设,确保各类景观在区域空间上合理布局,在推进城镇化的同时注重对环境和自然资源的保护。

(3) 土地利用类型面积变化对城镇化变化影响。2000—2010 年农业生产空间、林草水生态空间面积减小,但夜间灯光增加,2010—2020 年,随着工业生产空间、城镇生活空间面积持续增加,夜间灯光相应增长。相关和回归分析结果均表明土地利用类型与新型城镇化密切相关:2000—2020 年,夜间灯光与农业生产空间、工业生产空间、农村生活空间、城镇生活空间变化始终呈正相关,与林草水生态空间呈负相关。2000 年城镇生活空间、农村生活空间变化对夜间灯光变化影响起主导作用,2020 年工业生产空间、城镇生活空间变化对夜间灯光变化影响较强。

[参 考 文 献]

[1] 黄金川,方创琳.城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J].地理研究,2003,22(2):211-220.
Huang Jinchuan, Fang Chuanglin. Analysis of coupling mechanism and rules between urbanization and eco-environment [J]. Geographical Research, 2003,22(2): 211-220.

[2] 江东,林刚,付晶莹.“三生空间”统筹的科学基础与优化途径探析[J].自然资源学报,2021,36(5):1085-1101.
Jiang Dong, Lin Gang, Fu Jingying. Discussion on scientific foundation and approach for the overall optimization of “Production-Living-Ecological” space [J]. Journal of Natural Resources, 2021,36(5):1085-1101.

[3] 黄金川,林浩曦,漆潇潇.面向国土空间优化的三生空间研究进展[J].地理科学进展,2017,36(3):378-391.

- Huang Jinchuan, Lin Haoxi, Qi Xiaoxiao. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space [J]. *Progress in Geography*, 2017, 36(3): 378-391.
- [4] 郑百龙, 翁伯琦, 周琼. 台湾“三生”农业发展历程及其借鉴[J]. *中国农业科技导报*, 2006, 8(4): 67-71.
- Zheng Bailong, Weng Boqi, Zhou Qiong. Development course and revelation of production-life-ecology agriculture in Taiwan [J]. *Review of China Agricultural Science and Technology*, 2006, 8(4): 67-71.
- [5] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. *资源科学*, 2015, 37(7): 1332-1338.
- Zhang Hongqi, Xu Erqi, Zhu Huiyi. An ecological-living-industrial land classification system and its spatial distribution in China [J]. *Resources Science*, 2015, 37(7): 1332-1338.
- [6] 李广东, 方创琳. 城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析[J]. *地理学报*, 2016, 71(1): 49-65.
- Li Guangdong, Fang Chuanglin. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(1): 49-65.
- [7] 戴文远, 江方奇, 黄万里, 等. 基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态服务价值研究: 以福州新区为例[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(12): 2098-2109.
- Dai Wenyuan, Jiang Fangqi, Huang Wanli, et al. Study on transition of land use function and ecosystem service value based on the conception of production, living and ecological space: A case study of the Fuzhou new area [J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(12): 2098-2109.
- [8] 柳冬青, 马学成, 巩杰, 等. 流域“三生空间”功能识别及时空格局分析: 以甘肃白龙江流域为例[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(5): 1490-1497.
- Liu Dongqing, Ma Xuecheng, Gong Jie, et al. Functional identification and spatiotemporal pattern analysis of production-living-ecological space in watershed scale: A case study of Bailongjiang Watershed in Gansu [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(5): 1490-1497.
- [9] 赖国华, 胡宝清, 李敏, 等. 桂西南-北部湾地区“三生”用地演变及其驱动力的地理探测[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(4): 236-243.
- Lai Guohua, Hu Baoqing, Li Min, et al. Dynamic changes of ecological-living-production land and geographical detect of their driving forces in Southwest Guangxi-Beibu Gulf Zone [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, 28(4): 236-243.
- [10] 李睿康, 黄勇, 李阳兵, 等. 三峡库区腹地土地功能演变及其驱动机制分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(3): 594-604.
- Li Ruikang, Huang Yong, Li Yangbing, et al. Analysis of land function evolution and its driving forces in the hinterland of Three Gorges Reservoir area [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(3): 594-604.
- [11] 潘方杰, 万庆, 曾菊新, 等. 城镇化进程中湖北省“生产—生活—生态”空间冲突演化及其影响因素[J]. *经济地理*, 2023, 43(2): 80-92.
- Pan Fangjie, Wan Qing, Zeng Juxin, et al. Evolution characteristics and influence factors of spatial conflicts between production-living-ecological space in the rapid urbanization process of Hubei Province, China [J]. *Economic Geography*, 2023, 43(2): 80-92.
- [12] 赵旭, 汤峰, 张蓬涛, 等. 基于 CLUE-S 模型的县域生产—生活—生态空间冲突动态模拟及特征分析[J]. *生态学报*, 2019, 39(16): 5897-5908.
- Zhao Xu, Tang Feng, Zhang Pengtao, et al. Dynamic simulation and characteristic analysis of county production-living-ecological spatial conflicts based on CLUE-S model [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(16): 5897-5908.
- [13] 单薇, 金晓斌, 冉娜, 等. 江苏省土地利用“生产—生活—生态”功能变化与耦合特征分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(7): 1541-1551.
- Shan Wei, Jin Xiaobin, Ran Na, et al. “production-living-ecological” function evaluation and coupling coordination analysis of land use in Jiangsu Province [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(7): 1541-1551.
- [14] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J]. *地理研究*, 2018, 37(6): 1100-1114.
- Wang Cheng, Tang Ning. Spatio-temporal characteristics and evolution of rural production-living-ecological space function coupling coordination in Chongqing Municipality [J]. *Geographical Research*, 2018, 37(6): 1100-1114.
- [15] 李欣, 殷如梦, 方斌, 等. 基于“三生”功能的江苏省国土空间特征及分区调控[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(8): 1833-1846.
- Li Xin, Yin Rumeng, Fang Bin, et al. Research on the functional zoning and regulation of Jiangsu Province's territorial space based on the “production-living-ecological” function [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(8): 1833-1846.
- [16] 程子朗, 张延军, 王灵芝, 等. 吉林省西部“三生”空间演化特征与驱动力研究[J]. *地域研究与开发*, 2023, 42(2): 33-39.
- Cheng Zilang, Zhang Yanjun, Wang Lingzhi, et al. Spatial-temporal evolution characteristics and driving

- forces of “production-living-ecological” spaces in Western Jilin Province [J]. Areal Research and Development, 2023,42(2):33-39.
- [17] 张芊芊,邵战林,林娟,等.“三生空间”视角下西部绿洲城市土地利用功能转型的时空格局演变分析:以乌鲁木齐为例[J].中国农机化学报,2022,43(1):176-185. Zhang Qianqian, Shao Zhanlin, Lin Juan, et al. Analysis on the temporal and spatial pattern evolution of land use function transformation in western oasis cities from the perspective of “Production-Living-Ecological Space”: A case study of Urumqi [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022,43(1):176-185.
- [18] 朱琳,程久苗,金晶,等.“三生”用地结构的时空格局及影响因素研究:基于 284 个城市面板数据[J].中国农业资源与区划,2018,39(8):105-115. Zhu Lin, Cheng Jiumiao, Jin Jing, et al. Space differentiation patterns and influencing factors of “ecological-living-industrial” land use structure: Based on the panel data of 284 cities [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018,39(8):105-115.
- [19] 王志远,万鼎,廖建军,等.洞庭湖生态经济区“三生空间”转型的生态环境效应及其驱动因素[J].科学技术与工程,2023,23(9):3876-3888. Wang Zhiyuan, Wan Ding, Liao Jianjun, et al. Ecological environment effect and driving factors of transformation of “production-living-ecological space” in Dongting Lake eco-economic zone [J]. Science Technology and Engineering, 2023,23(9):3876-3888.
- [20] 李波,杨朝现,谢德体,等.山地丘陵区“三生”功能时空演变特征分析:以重庆市江津区为例[J].水土保持研究,2021,28(4):316-323. Li Bo, Yang Chaoxian, Xie Deti, et al. Analysis of spatiotemporal evolution characteristics of ‘Sansheng’ function in hilly areas: A case study of Jiangjin district of Chongqing [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(4):316-323.
- [21] 涂雯,马理辉,冯喆.乡村振兴视角下“三生”空间格局演变及优化策略:以陕西省米脂县高西沟村为例[J].水土保持通报,2023,43(2):372-380. Tu Wen, Ma Lihui, Feng Zhe. Evolution and optimization strategy of productive-living-ecological spatial pattern in perspective of rural revitalization: A case study at Gaoxigou Village, Mizhi County, Shaanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023,43(2):372-380.
- [22] 黄晶,薛东前,董朝阳,等.干旱绿洲农业区土地利用转型生态环境效应及分异机制:基于三生空间主导功能判别视角[J].地理科学进展,2022,41(11):2044-2060. Huang Jing, Xue Dongqian, Dong Chaoyang, et al. Eco-environmental effects and spatial differentiation mechanism of land use transition in agricultural areas of arid oasis: A perspective based on the dominant function of production-living-ecological spaces [J]. Progress in Geography, 2022,41(11):2044-2060.
- [23] 翟羽娟,张艳红,姜琦刚,等.吉林省西部农牧交错区“三生空间”时空演变[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(3):1016-1026. Zhai Yujuan, Zhang Yanhong, Jiang Qigang, et al. Spatial-temporal evolution pattern of “production-living-ecological space” in agro-pastoral ecotone of western Jilin Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022,52(3):1016-1026.
- [24] 张予倩,赵振斌,李小永,等.城郊保护地“三生”空间变化对社会生态服务价值的影响:以邛海国家湿地公园为例[J].生态学报,2023,43(16):6772-6784. Zhang Yuqian, Zhao Zhenbin, Li Xiaoyong, et al. Impact of production-living-ecological space change in suburban protected areas on the social values for ecosystem services: A case study on Qionghai National Wetland Park [J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(16):6772-6784.
- [25] 李智礼,匡文慧,赵丹丹.京津冀城市群人口城镇化与土地利用耦合机理[J].经济地理,2020,40(8):67-75. Li Zhili, Kuang Wenhui, Zhao Dandan. Coupled mechanism of population urbanization and land use in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration areas [J]. Economic Geography, 2020,40(8):67-75.
- [26] 刘永婷,杨钊,徐光来,等.基于 MGWR 模型的皖江城市带生境质量对城镇化的响应研究[J].地理科学,2023,43(2):280-290. Liu Yongting, Yang Zhao, Xu Guanglai, et al. Impacts of urbanization on habitat quality using MGWR models in Wanjiang City Belt [J]. Scientia Geographica Sinica, 2023,43(2):280-290.
- [27] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1999(1):83-89. Wang Xiulan, Bao Yuhai. Study on the methods of land use dynamic change research [J]. Progress in Geography, 1999(1):83-89.
- [28] 池源,石洪华,王恩康,等.庙岛群岛北五岛景观格局特征及其生态效应[J].生态学报,2017,37(4):1270-1285. Chi Yuan, Shi Honghua, Wang Enkang, et al. Landscape pattern characteristics and ecological effects on five northern islands of Miaodao Archipelago [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017,37(4):1270-1285.
- [29] 丁金华,吴忻.苏南水网地区景观格局演变分析及其驱动因素探究:以七都镇为例[J].西北林学院学报,2023,38(2):257-264.

Ding Jinhua, Wu Xin. Landscape pattern evolution and the driving factors in Southern Jiangsu water network area: A case study of Qidu township [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2023,38(2):257-264.

[30] 司文涛,张宁慧,叶海鹏,等.基于长时间序列夜间灯光数据的京津冀城市群城市化过程[J].资源科学,2022,44(10):2114-2124.

Si Wentao, Zhang Ninghui, Ye Haipeng, et al. Urbanization in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration in China based on long-term nighttime light data [J]. Resources Science, 2022,44(10):2114-2124.

[31] 王一航,吕彩凤,潘鑫豪,等.青藏高原城镇化水平时空动态及影响因素:基于长时间序列夜间灯光数据的分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),2023,59(1):163-174.

Wang Yihang, Lü Caifeng, Pan Xinhao, et al. Spatial-temporal changes in urbanization level and influencing factors on the Tibetan Plateau: Perspectives from long-term time series nighttime light data [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2023,59(1):163-174.

[32] 李翔,陈振杰,吴洁璇,等.基于夜间灯光数据和空间回归模型的城市常住人口格网化方法研究[J].地球信息科学学报,2017,19(10):1298-1305.

Li Xiang, Chen Zhenjie, Wu Jiexuan, et al. Gridding methods of city permanent population based on night light data and spatial regression models [J]. Journal of Geo-Information Science, 2017,19(10):1298-1305.

[33] 李峰,米晓楠,刘军,等.基于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据的北京市 GDP 空间化方法[J].国土资源遥感,2016,28(3):19-24.

Li Feng, Mi Xiaonan, Liu Jun, et al. Spatialization of GDP in Beijing using NPP-VIIRS data [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2016,28(3):19-24.

[34] 孙阳,刘新,苏亚聪,等.基于夜间灯光数据估算安徽省县级尺度城镇化水平[J].地球信息科学学报,2020,22(9):1837-1847.

Sun Yang, Liu Xin, Su Yacong, et al. County urbanization level estimated from nighttime light data in Anhui Province [J]. Journal of Geo-Information Science, 2020,22(9):1837-1847.

[35] 赵安周,张向蕊,相恺政,等.基于夜间灯光和统计数据的黄土高原城镇化水平时空格局分析[J].自然资源遥感,2023,35(3):253-263.

Zhao Anhou, Zhang Xiangrui, Xiang Kaizheng, et al. Quantifying urbanization levels on the Loess Plateau with nighttime light and statistical data [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023,35(3):253-263.

~~~~~

(上接第 226 页)

[24] 汪宙峰,樊尚杰,汪裕峻,等.基于地理探测器的四川地区冰川面积变化影响因素探究[J].测绘地理信息,2023,48(2):97-101.

Wang Zhoufeng, Fan Shangjie, Wang Yujun, et al. Research on influencing factors of glacier area change in Sichuan based on geographic detectors [J]. Journal of Geomatics, 2023,48(2):97-101.

[25] 罗文斌,楚雪莲.旅游产业发展与土地利用结构耦合协调演化研究:以国际旅游城市张家界为例[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2023,51(2):36-46.

Luo Wenbin, Chu Xuelian. The coupled and coordinated evolution of tourism industry development and land use structure: Taking the international tourism city of Zhangjiajie as an example [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2023,51(2):36-46.

[26] Zhang Jien, Felzer B S, Troy T J. Projected changes of carbon balance in mesic grassland ecosystems in response to warming and elevated CO<sub>2</sub> using CMIP5 GCM results in the Central Great Plains, USA [J]. Ecological Modelling, 2020,434:109247.

[27] 高艳丽,李红波.汉江流域景观格局变化对土壤侵蚀的影响[J].生态学报,2021,41(6):2248-2260.

Gao Yanli, Li Hongbo. Influence of landscape pattern change on soil erosion in Han River basin [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021,41(6):2248-2260.

[28] Esmaeili Gholzom H, Ahmadi H, Moeni A, et al. Soil erosion risk assessment in the natural and planted forests using ICONA model and GIS technique [J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2022,19(5):3947-3962.

[29] 罗辅燕,张泽洪,葛秋伶,等.金沙江流域干旱河谷区坡耕地作物类型对耕作侵蚀的影响[J].水土保持研究,2023,30(2):22-28.

Luo Fuyan, Zhang Zehong, Ge Qiuling, et al. Effects of crop types on tillage erosion in the dry valleys of Jinsha River basin [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(2):22-28.