

多方法支持的重庆市土地利用格局 时空演化及驱动力

王朝阳¹, 张军以^{1,2}, 李海懿¹

(1.重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331;

2.重庆师范大学 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331)

摘要: [目的] 研究重庆市土地利用格局时空演化规律, 为促进该地区土地资源可持续利用及社会经济可持续发展提供科学依据。[方法] 以位于山地高密度区的重庆市为例, 基于 1995—2020 年土地利用遥感监测数据, 从数量结构和空间布局两个方面定量分析重庆市土地利用时空演化特征, 并通过地理探测器分析不同时间尺度下重庆市土地利用变化驱动力。[结果] 研究期内重庆市土地利用变化速度加快, 城乡居民用地、工矿建设用地持续增加, 草地面积大幅缩减并集中向林地转化; 25 a 以来, 重庆市土地利用程度逐年提高, 整体处于发展期, 热点区主要集中在主城及其周围地区; 渝西水田密度降低, 渝东南林地高值密度面积增加, 但草地高值密度区大幅缩减; 城镇及农村居民用地高密度核心位于主城区, 工矿建设用地高密度核心为星点状分布, 增长幅度大; 社会经济因素对重庆市土地利用变化影响显著, 其中人口密度为主导性因子。[结论] 重庆市土地利用变化区域间差异明显, 土地利用变化主要受社会经济因素的影响。

关键词: 土地利用; 时空演化; 重庆市; 地理探测器; 驱动力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)01-0104-13

中图分类号: F301.2

文献参数: 王朝阳, 张军以, 李海懿. 多方法支持的重庆市土地利用格局时空演化及驱动力[J]. 水土保持通报, 2023, 43(1): 104-116. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20221207.002; Wang Zhaoyang, Zhang Junyi, Li Haiyi. Spatio-temporal evolution and driving forces of land use patterns in Chongqing City supported by multiple methods [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(1): 104-116.

Spatio-temporal Evolution and Driving Forces of Land Use Patterns in Chongqing City Supported by Multiple Methods

Wang Zhaoyang¹, Zhang Junyi^{1,2}, Li Haiyi¹

(1. School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing

401331, China; 2. Chongqing Key Laboratory of Surface Processes and Environment Remote

Sensing in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Objective] The spatio-temporal evolution of land use patterns in Chongqing City was analyzed in order to provide a scientific basis for promoting the sustainable use of land resources and sustainable social and economic development in the region. [Methods] Remote sensing monitoring data of land use for Chongqing City (located in a mountainous high-density area) from 1995 to 2020 were quantitatively analyzed to determine the spatio-temporal evolution characteristics of land use in Chongqing City from the aspects of quantitative structure and spatial layout. The driving forces of land use change in Chongqing City under different time scales were analyzed by geographical detectors. [Results] The rate of land use change in Chongqing City accelerated during the study period. The land used by urban and rural residents and the land used for industrial and mining construction continued to increase. The grassland area was greatly reduced and

收稿日期: 2022-06-18

修回日期: 2022-07-23

资助项目: 国家自然科学基金项目“乡村重构背景下三峡库区农户生计转型的耕地利用响应机制研究”(41901214); 重庆英才计划包干制项目(CSTC2021ycjhbzxm0109); 重庆市教委人文社科重点项目(22SKGH090)

第一作者: 王朝阳(1999—), 男(汉族), 河南省洛阳市人, 硕士研究生, 研究方向为区域经济可持续发展。Email: hi_wzy@163.com。

通信作者: 张军以(1985—), 男(汉族), 山东省临沂市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事农户生计与乡村转型发展研究。Email: hellojunyi@cqu.edu.cn。

concentrated by the conversion to forest land. For 25 years, the degree of land use in Chongqing City has increased year by year, with the entire area being in the development period. Hot spots of development were mainly concentrated in the main city and its surrounding areas. The density of paddy fields in Western Yuxi District decreased. The high-value density area of forest in Southeast Chongqing City increased, but the high-value density area of grassland decreased significantly. The high-density core of urban and rural residential land was located in the main urban area, and the high-density core of industrial and mining construction land exhibited a sattered distribution having a large growth rate. Socio-economic factors had a significant impact on land use change in Chongqing City, of which population density was the dominant factor. [Conclusion] Regional differences in land use change in Chongqing City were observed over time, and land use change was mainly affected by socio-economic factors.

Keywords: land use; space-time evolution; Chongqing City; geographic detector; driving force

土地是地表某一地段的综合体,作为人类活动场所和重要的自然资源,其必然受人类活动的影响^[1-3]。土地利用指人类按照一定目的对土地资源进行改造^[4]。伴随着工业化、城市化进程推进以及人类活动的加剧,土地利用空间结构变化显著,土地利用年际变化更加频繁和复杂化^[5-6]。而对土地资源不合理的利用必然会导致土地利用变化过程中产生如自然资源严重破坏、水土流失、土地石漠化以及水资源污染等一系列问题,因此土地利用研究是全球环境领域研究的热点内容之一^[7-9]。土地利用变化不仅对水循环、地表能量和大气循环等有深刻影响,而且对未来气候预测等方面也有着重要作用^[10],厘清土地利用变化驱动机制,则更有助于把握土地利用变化原因及基本过程,对实现区域经济可持续发展至关重要,而综合土地利用空间格局与时间过程的研究则更有利于分析土地利用转变过程及成因^[11]。

目前,国内外对于土地利用的研究成果颇丰,主要研究内容集中在土地利用的空间格局特征^[12-13]、土地利用转型^[14-16]、土地利用变化过程^[17-18]、土地利用的生态系统服务价值变化^[3,9,19]、土地利用变化的驱动力及驱动机制^[20-21]及土地利用格局的模拟^[22-25]等方面。研究方法上,学者们多采用动态度^[10]、转移矩阵^[20]、土地利用程度综合指数^[9]、核密度分析^[26]、热点分析^[27]、标准差椭圆^[22]、重心迁移^[28]以及地学信息图谱^[29]等方法对区域土地利用变化进行研究。整体上,针对土地利用的空间格局演化、驱动力及驱动机制等研究主要是采用不同的单一研究方法对区域土地利用变化过程开展研究,基于多方法支持的区域土地利用变化研究严重不足。土地利用变化对生态环境的影响也引起学者们的重视^[30],其中在土地利用对气候^[31-32]、生态系统^[33]、水资源^[34]以及土壤质量^[35]方面做了有益探索。土地利用的生态效应研究侧重于土地利用对环境某单一要素的影响,土地利用

变化的生态、经济社会的综合影响,以及其基于土地利用综合效应对土地利用反馈驱动研究相对薄弱。土地利用变化驱动力研究,多采用定量和定性^[21]相结合的方法,其中定量方法主要包括空间计量回归分析方法^[16]、多元线性回归模型^[21]、Pearson's 相关分析法^[36]、主成分分析^[37]、地理探测器^[38]等,主要根据区域土地利用变化特征及已有类似研究选取相关研究方法并进行一定改进,其研究结果受选取方法的影响较大。由于不同地区间自然基底以及社会经济发展条件差异较大,所以对于不同尺度和地区间的土地利用变化研究一直都是国内外学者关注的焦点。

重庆市是中国西部直辖市,是西部地区重要的经济、文化核心城市之一。随着社会经济的迅速发展,直辖后重庆市土地利用格局变化显著。重庆市国土面积广大,各区县自然条件、资源优劣、区位条件等差异显著,重庆市是典型的大城市、大农村、大库区综合体,因此研究重庆市直辖以来的土地利用变化具有良好的典型性与代表性。目前,重庆市土地利用变化研究,主要集中在单一区县^[39-40]、主城区^[41-42]、三峡库区重庆段^[43]、三峡草堂溪等部分小流域^[44],但基于多方法验证支持的,针对全市直辖以来的土地利用格局时空演化及驱动力分析尚未见报道。

鉴于此,本文结合重庆市自然、社会经济发展特征,采用多种研究方法刻画重庆直辖以来不同发展阶段的土地利用时空格局,揭示不同土地利用类型演化规律,分析其变化的驱动因素,并对不同发展阶段的驱动因素进行对比。以期为重庆市土地资源的可持续开发利用、社会经济可持续发展提供理论参考,为国土空间规划提供科学依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

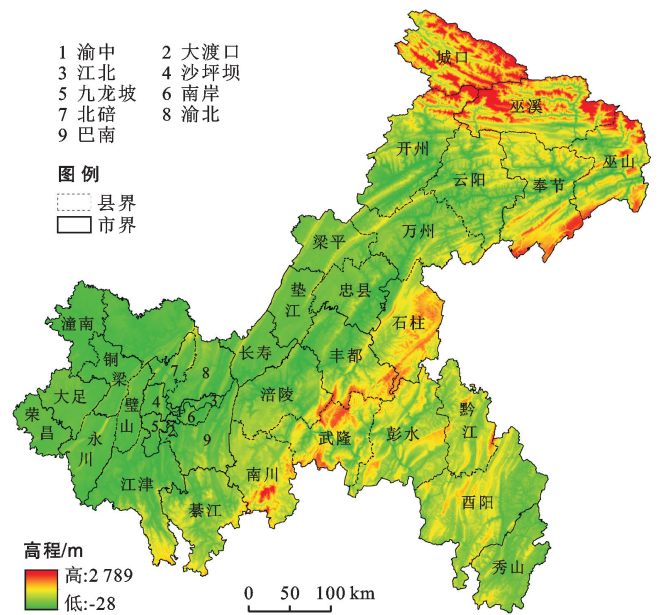
重庆市位于中国西南地区(面积 82 400 km²;

105°11′—110°11′E, 28°10′—32°13′N),地形复杂,以山地丘陵为主,东北部有大巴山,东南部倚靠着大娄山和武陵山脉,西北部和中部以低山丘陵为主,市内海拔高差约为 2 817 m。境内江河纵横,主要有长江、嘉陵江、乌江等(见图 1)。气候属中亚热带湿润季风气候,夏热冬暖,雨量充沛。重庆市作为中国 4 个直辖市之一,是西部大陆腹地重要中心城市,也是西部国际综合交通枢纽和国际门户枢纽,经济发展势头强劲。2021 年重庆市辖 26 个区,8 个县,4 个自治县。2020 年常住人口为 3.41×10^7 人,较 1997 年增加了 3.36×10^6 人;城镇化率为 69.5%,较 1997 年上升了 38.5%;地区生产总值达到 2.50×10^{12} 元,较 1997 年增加 2.35×10^{12} 元;人均生产总值为 78 173 元,较 1997 年增加 72 867 元。城市建成区面积由 1997 年的 282.51 km² 增加至 2020 年的 1 515.41 km²。人口和社会经济发展迅速,生态文明建设和经济社会发展的矛盾日益加剧。

1.2 数据来源

重庆市土地利用数据(1995—2020 年)来自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),空间分辨率为 30 m。按照国家土地利用分类方法以及国内外已有土地利用分类方法,将研究区土地

利用类型分为 9 类(表 1)。DEM 数据来自地理空间数据云,分辨率为 30 m。社会经济数据来自《重庆市统计年鉴(2000—2021)》。



注:底图来源于国家测绘地理信息局,地图审图号为渝 S(2015)022。底图无修改,下同。

图 1 重庆市地势分布

Fig.1 Topographical map of Chongqing City

表 1 重庆市土地利用分类体系

Table 1 Land use classification system of Chongqing City

一级地类	二级地类
水田	山地水田、丘陵水田、平原水田、坡地水田
旱地	山地旱地、丘陵旱地、平原旱地、坡地旱地
林地	有林地、灌木林、疏林地、其他林地
草地	高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地
水域	河渠、湖泊、水库坑塘、冰川和永久积雪地、海涂、滩地
城镇居民用地	大、中、小城市及县镇以上建成区用地
农村居民用地	独立于城镇以外的农村居民点
工矿建设用地	厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等用地以及交通道路、机场及特殊用地
未利用地	沙地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸土地、裸岩石砾地

2 研究方法

本文首先采用土地利用动态模型和转移矩阵分析重庆市直辖以来各用地类型数量结构的变化、类型的转移以及土地利用变化速率的整体差异,具体计算公式参考文献[10,45],但其无法反映各用地类型在空间上的变化。通过核密度分析法反映用地类型在空间上的集聚程度以及在时间上的变化趋势,进而反映其土地利用变化时空特征,具体计算方法参考文献[26],但核密度无法反映出土地利用的综合水平,

所以采用土地利用程度综合指数、土地利用程度变化率以及热点分析等方法对土地利用程度的空间分布模式进行识别,反映出人类活动对于土地变化的影响,定量表达土地利用综合水平及其变化趋势,从整体把握土地利用的格局变化,具体计算方法参考文献[27,46-47]。因此,本文综合多种研究方法可以较为全面的反映重庆市土地利用格局时空演化特征,并采用地理探测器分别对不同时空土地利用变化的驱动因素进行分析,识别不同因子的影响力及驱动因子间交互作用大小,具体计算方法参考文献[38]。

3 结果与分析

3.1 土地利用时空演化

重庆市土地利用类型分布区域差异明显。林地为主导用地类型,旱地次之。林地主要分布在渝东北及渝东南地区;水田以及旱地主要分布在渝西以及渝东北地区;草地主要分布在渝东北及渝东南地区;水域主要分布在长江、嘉陵江等主要河流水面,所占面积变化趋势较小;城镇居民用地主要分布在主城区,其余分布在各区县中心地区,农村居民用地主要分布在各区县,工矿建设用地以主城区分布最为显著,未利用地面积比例较小,主要分布在渝西地区

(图 2)。

6 个时间点上林地所占面积比例分别为 37.77%, 36.99%, 37.53%, 39.84%, 39.80% 和 40.83%, 总体呈现递增趋势;1995—2000 年水田所占面积增加, 2000 年以后呈现出递减趋势,旱地所占面积比例稳定在 32% 左右;草地所占面积由 1995 年的 14.90% 衰减至 2020 年的 9.22%;2020 年水域面积较 1995 年增加 0.52%, 变化幅度较小;2020 年城镇居民用地面积较 1995 年增加 0.87%, 城镇居民用地所占面积现出递增趋势,农村居民用地所占面积上升了 0.22%, 工矿建设用地所占面积上升了 1.26%;研究期内未利用地所占面积比例稳定在 0.02%(表 2)。

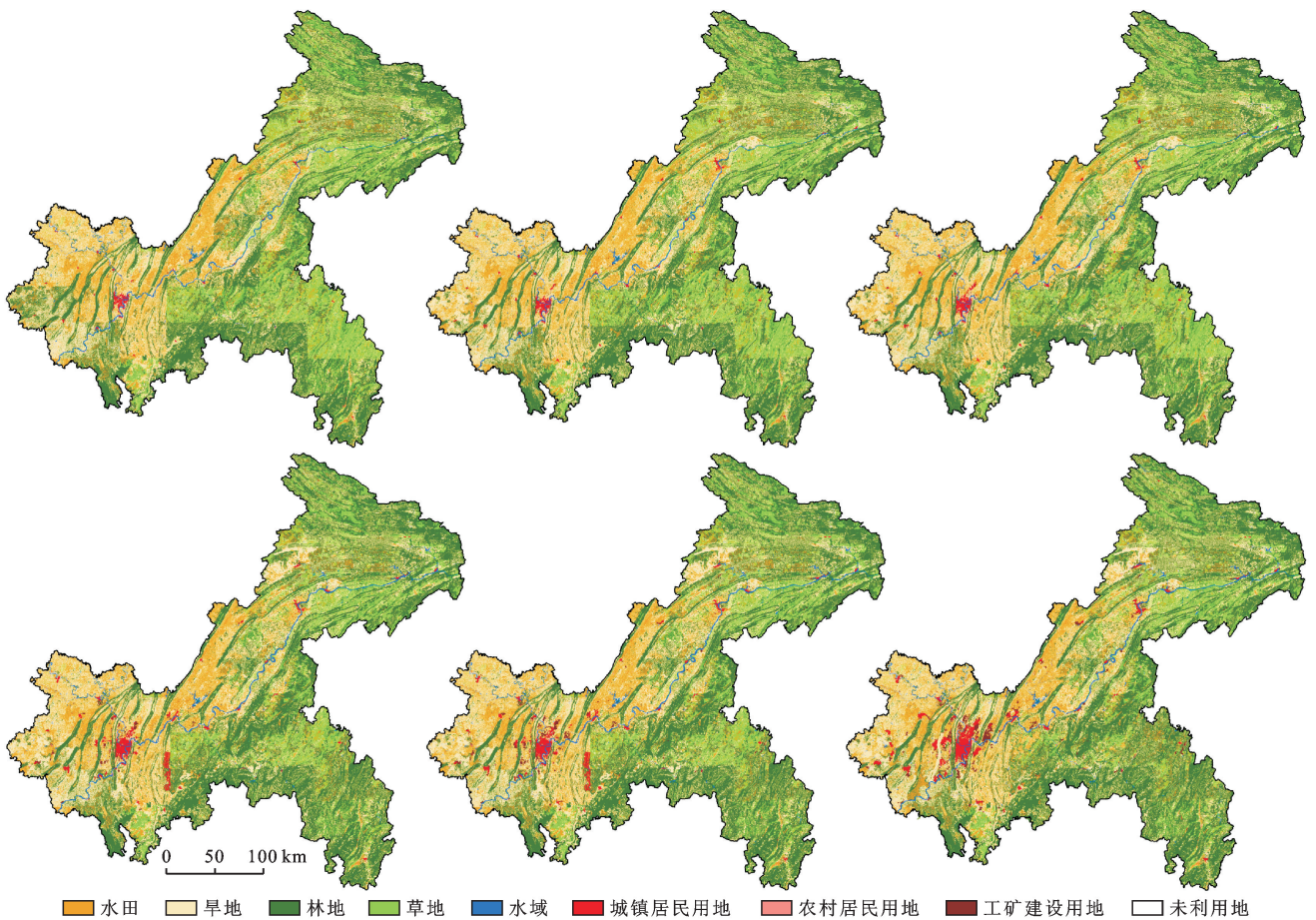


图 2 1995—2020 年重庆市不同土地利用类型时空格局

Fig.2 Spatial and temporal patterns of different land use types in Chongqing City from 1995 to 2020

3.2 土地利用格局演化分析

3.2.1 数量结构演化 通过分析 1995—2020 年重庆市不同土地利用类型动态变化见图 3。由图 3 可知,研究期内水田和旱地面积在 2000 年之前增加,在 2000 年之后出现缩减趋势。水田占用劳动力较多,城镇化进程的推进以及三峡库区移民导致大量农村劳动力流失,水田则向旱地进行一定转化。旱地则向撂荒、粗放耕作等边缘化利用方式转型。

2002 年中国全面启动退耕还林工程,自启动实施退耕还林工程以来,重庆市已累计实施退耕还林 857 333 hm^2 ^[48]。重庆市旱地面积的减少,与该政策的实施有着密不可分的关系;林地面积趋势变化频繁,动态度为负—正—负—正,2005—2010 年林地动态度最大为 0.97%,可见林地在 2005 年以后增长幅度大,变化较为剧烈,得益于退耕还林政策的实施。草地面积流失最多,呈负动态度,2005—2010 年草地

动态度达到了 4.73%，可见草地在 2005 年以后缩减幅度大，草地面积的减少与林地面积增加有关；研究期内水域以年均 1.23% 的速度持续增加，其中 2005—2010 年动态度最大，是 1995—2000 年的 16 倍，三峡大坝的建成形成了面积约 560 km² 的消落带，同时形成了大面积的水域；研究期内城镇居民用地以年均 2.89% 的速度持续增加，农村居民用地动态度则呈现“U 型”增长，在城镇化进程中，大量农村

人口流入城市地区导致 1995—2015 年农村居民用地增长率减小；随着乡—城流动速度放缓，以及乡村振兴战略的提出，农村居民用地增长率又呈现增长趋势^[49]。工矿建设用地面积增加最多，动态度最大，位居第一，2005—2010 年动态度达到 12.82%；2020 年重庆市工业产值为 6 990.77 亿元，直辖以来工业年均增长速度为 13.2%。未利用地面积先较少后增加，总体变化较小。

表 2 1995—2020 年重庆市各土地利用类型面积比例

Table 2 Percentage of area by land use type in Chongqing City from 1995 to 2020

土地利用类型	各土地利用类型面积比例					
	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
水田	13.63	14.18	14.06	14.02	13.83	13.54
旱地	32.03	32.70	32.45	32.25	32.07	31.86
林地	37.77	36.99	37.53	39.84	39.80	40.83
草地	14.90	14.26	13.91	10.83	10.82	9.22
水域	1.10	1.11	1.15	1.40	1.43	1.62
城镇居民用地	0.29	0.40	0.48	0.85	0.89	1.16
农村居民用地	0.20	0.26	0.30	0.35	0.36	0.42
工矿建设用地	0.05	0.08	0.10	0.45	0.78	1.31
未利用地	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

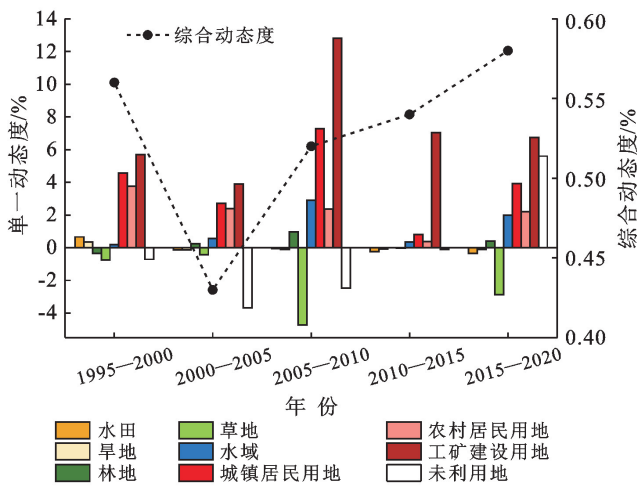


图 3 1995—2020 年重庆市不同土地利用类型动态变化

Fig.3 Dynamics of different land use types in Chongqing City from 1995 to 2020

研究期内 5 个时段的综合动态度分别为 0.56%，0.43%，0.52%，0.54% 和 0.58%，综合动态度先下降而后逐渐上升，显示在 1995—2000 年重庆土地利用变化剧烈，在该阶段各用地类型之间的转换较为频繁，向其他用地类型转出量大，伴随着三峡库区移民搬迁，此阶段土地利用变化剧烈。与此同时，在 1995—2000 年建设用地以史无前例的超常高速向外扩张，年均扩张速度达 52.69 km²/a^[50]；2000—2020 年土地利用变化程度由稳定逐渐向剧烈演变。综上所述，研究期内重庆市城镇化、工业化进程较快，城

镇、工矿建设用地迅速向四周扩张，主要占用耕地及未利用地。三峡大坝建成及三峡水库成库运行后显著增加了研究区水域面积。退耕还林、石漠化治理及长江防护林等生态修复措施的实施则使旱地面积减少而林地面积增加。

3.2.2 土地类型相互转移 土地利用转移矩阵可以体现重庆市 1995—2020 年各用地类型结构及其之间的相互转换关系，通过弦图对土地利用转移情况进行可视化分析(图 4)。

1995—2000 年，土地利用转换面积较多，转移面积占总面积的 6.76%，表明重庆市在该研究时段内人类活动对土地利用强度较高，土地利用变化剧烈。主要转换类型为林地、旱地和草地，分别向外转移 184 340.43, 171 945.99, 102 566.34 hm²，占转移面积的 33.12%，30.90% 和 18.43%。林地主要流向旱地，面积为 126 367.38 hm²，耕地需求迫使林地旱地转移；旱地主要向水田转化，转移面积为 97 474.05 hm²。

2000—2005，2005—2010，2010—2015，2015—2020 年 4 个阶段土地向外转移面积分别占总面积的 5.15%，6.22%，6.44% 和 6.99%，表明在 2000 年以后人类活动对土地利用强度逐渐增强，土地利用变化逐渐剧烈。

2000—2005 年，土地利用转换面积较少，此阶段主要转换类型为旱地和水田，分别向外转移 172 913.13, 94 206.42 hm²，占转移面积的 40.76% 和

22.21%。旱地主要向林地和水田转化,面积分别为 77 556.6,62 136.45 hm²,退耕还林成效初显;水田集中向旱地转化,转移面积为 62 898.66 hm²。

2005—2010 年,此阶段主要转换类型为草地和旱地,分别向外转移 278 506.44,118 763.46 hm²,分别占转移面积的 54.38%和 23.19%。草地集中向林地转化;旱地主要向林地和水田转化,面积分别为 30 434.49,28 779.66 hm²,退耕还林成效明显。

2010—2015 年,此阶段主要转换类型为旱地和林

地,分别向外转移 207 863.01,143 212.23 hm²,分别占转移面积的 39.17%和 26.99%。旱地主要向林地和水田转移,面积分别为 99 856.35,56 718.99 hm²,表明退耕还林成效显著。

2015—2020 年,此阶段主要转换类型为旱地和草地,分别向外转移 166 045.32,156 418.83 hm²,分别占转移面积的 28.86%和 27.19%。旱地集中向林地转移 58 346.82 hm²,草地集中向林地转移 111 001.59 hm²。

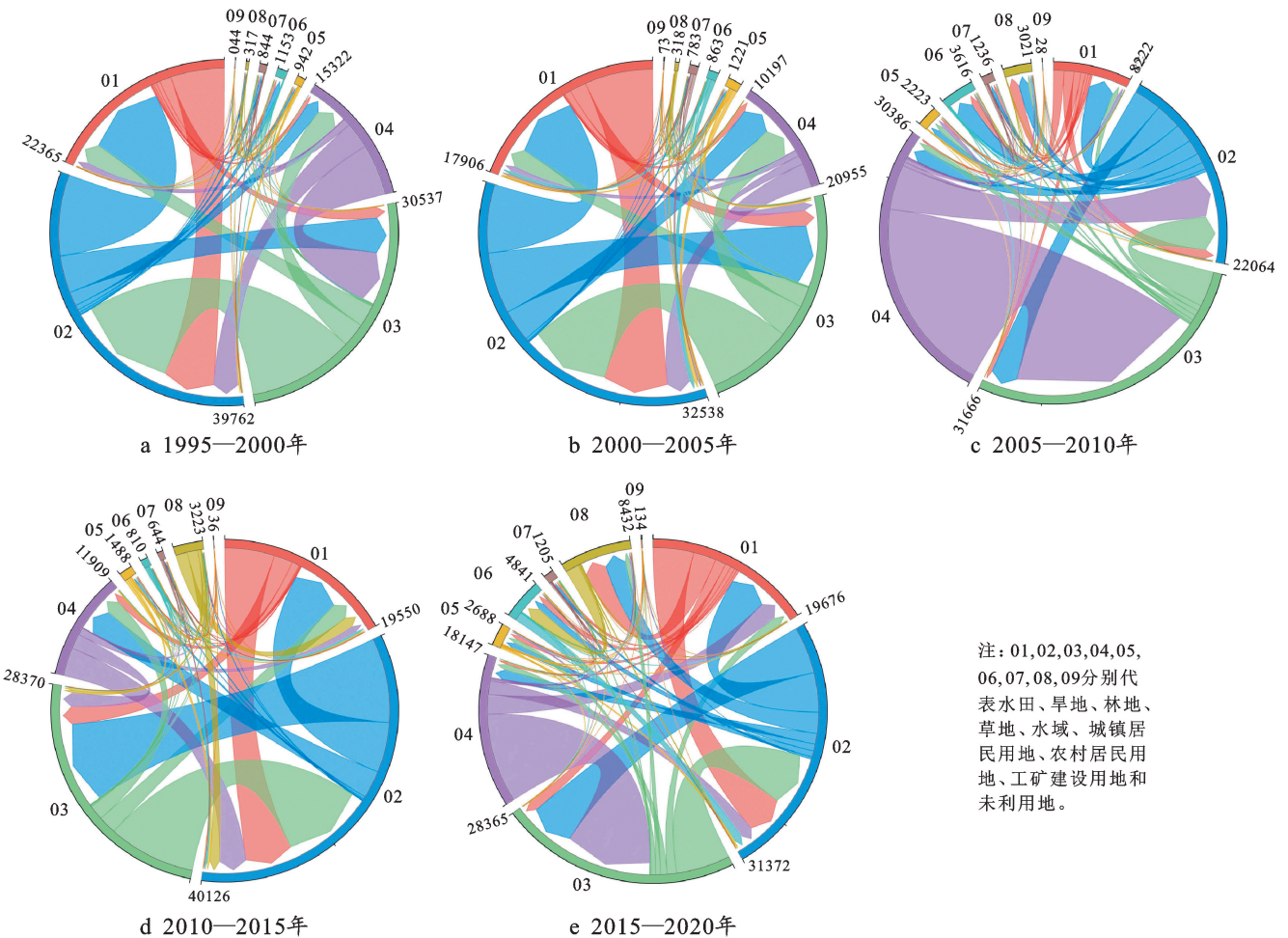


图 4 1995—2020 年重庆市不同土地利用类型变化弦图

Fig.4 Chord diagram of different land use types in Chongqing City from 1995 to 2020

3.3 空间格局演化

3.3.1 土地利用空间格局变化 重庆市土地利用类型核密度分布如图 5—7 所示。

(1) 水田高密度区主要分布在渝西的铜梁区、潼南区、合川区、璧山区等,主城区的沙坪坝区等,渝东的长寿区、垫江县和梁平县等;万州区高密度等级面积减少,水田低密度区主要分布在渝东北及渝东南地区(图 5A)。

(2) 旱地高密度和较高密度区主要分布在渝西的潼南区、合川区、铜梁区等,主城区的北碚区、巴南区、

九龙坡区等,渝东的丰都县、忠县等;2020 年南川区旱地高密度核心完全消失;旱地较低密度和低密度区主要分布在渝东北和渝东南地区,研究期内变化幅度较小(图 5B)。

(3) 研究初期林地高密度区主要分布在渝西的江津区,渝东北的城口县、巫溪县、巫山县等,渝东南的南川区、武隆区、彭水县等,渝东的丰都县等;林地低密度和较低密度区主要分布在綦江—云阳一带以北地区(图 5C)。

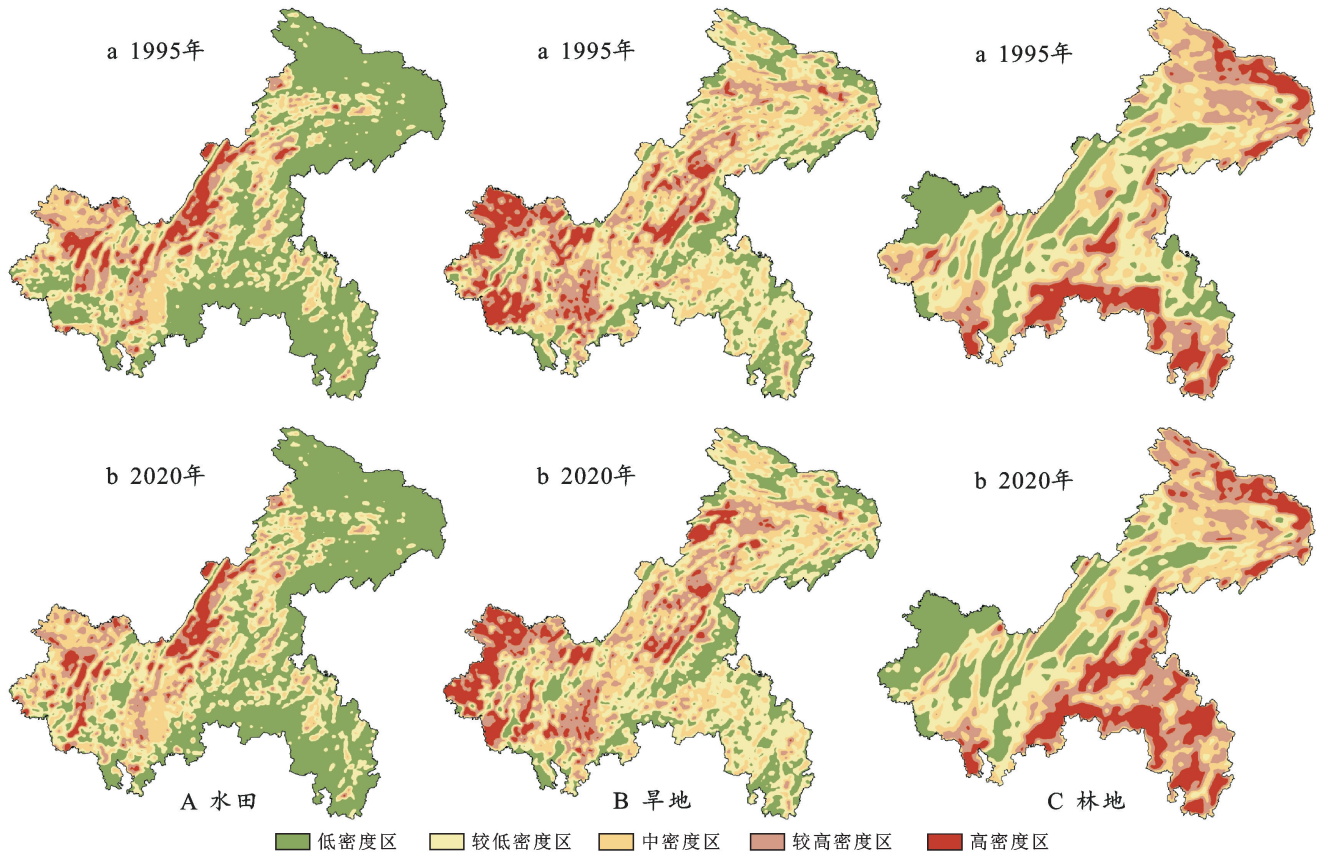


图 5 1995—2020 年重庆市水田、旱地、林地核密度分布

Fig.5 Kernel density distribution of water field, dry land and forest in Chongqing City from 1995 to 2020

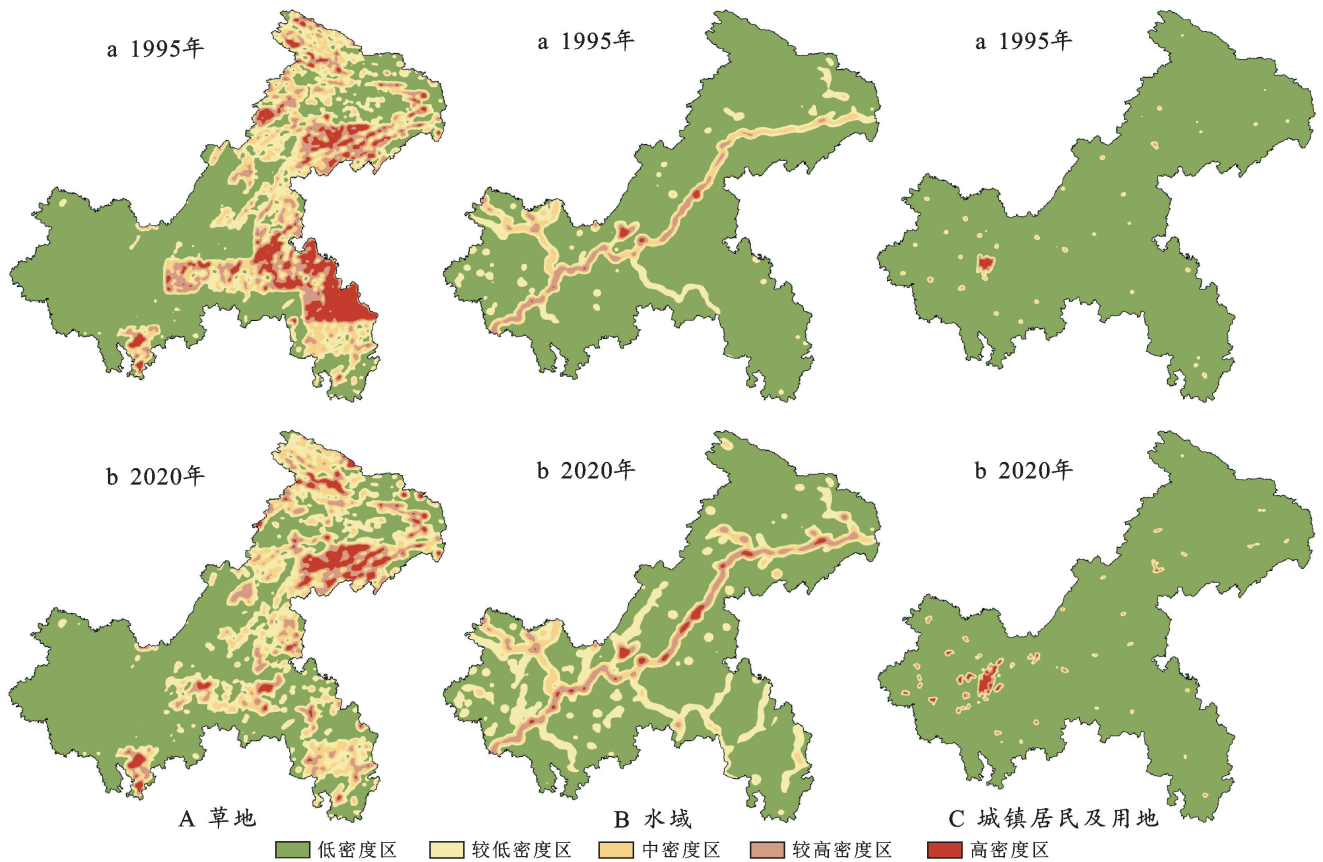


图 6 1995—2020 年重庆市草地、水域、城镇居民用地核密度分布

Fig.6 Kernel density distribution of grassland, water and urban residential land in Chongqing City from 1995 to 2020

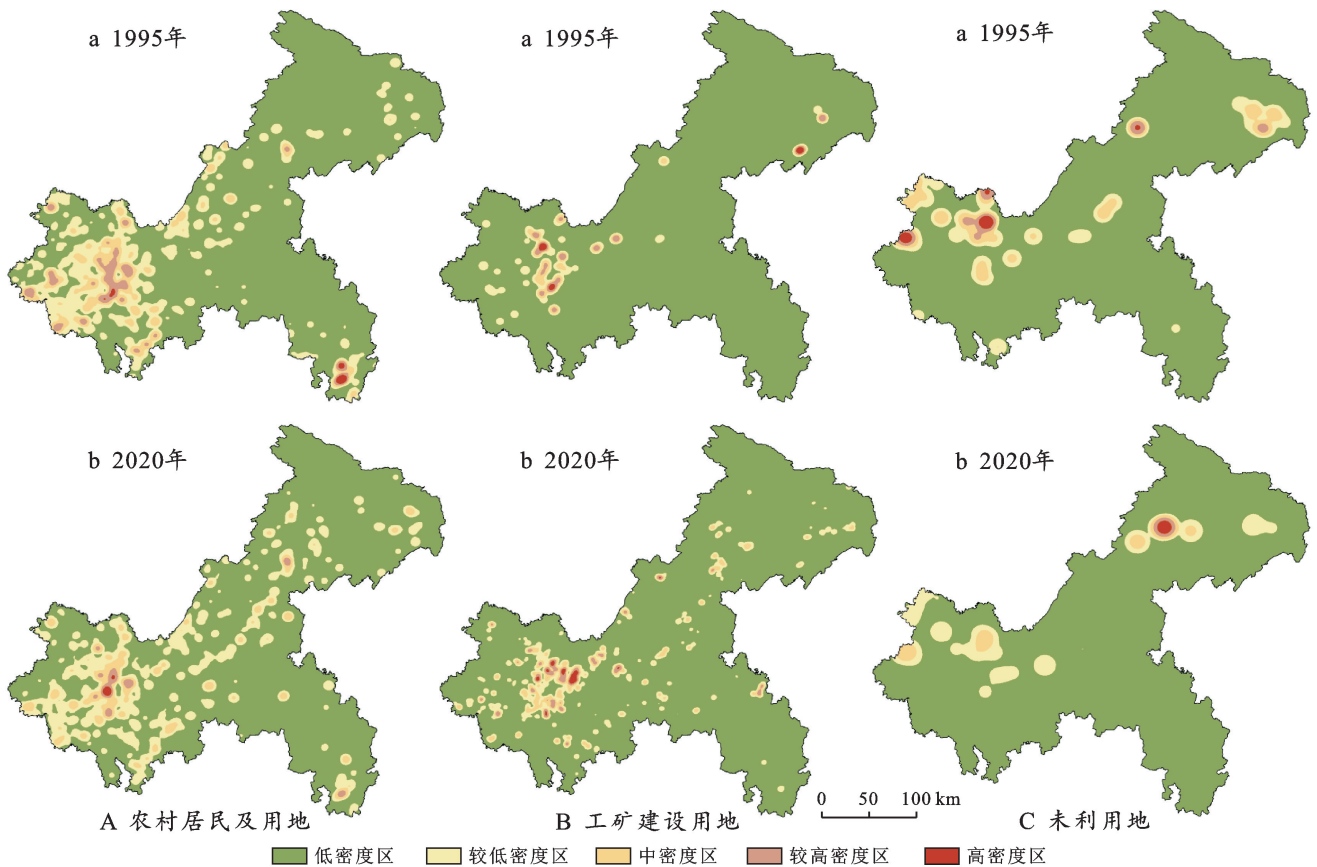


图 7 1995—2020 年重庆市农村居民用地、工矿建设用地、未利用地核密度分布
 Fig.7 Kernel density distribution of rural residential land, industrial and mining construction land and unused land in Chongqing City from 1995 to 2020

(4) 研究初期草地高密度区主要分布在渝东南的黔江区、彭水县、酉阳县和綦江区等,渝东北的云阳县和奉节县等,研究期内黔江区南部和酉阳县北部高值密度向低值密度转化,高密度等级面积显著缩减,这和林地核密度分布变化趋势相反,而草地等级的逆向转化则与旱地面积增加有关,彭水县和黔江区草地高密度和较高等级大量向低密度等级转化;草地低密度区主要分布在渝西地区(图 6A)。

(5) 水域高密度区主要分布在渝东的长寿区、涪陵区、忠县;水域较高密度区主要分布于嘉陵江以及长江等主要河流水面;水域密度核心呈现出“多核心增长”趋势(图 6B)。

(6) 城镇居民用地高密度区主要分布在渝北区,以渝北区核心为主,1995—2020 年渝北区核心向四周扩散,2020 年城镇居民用地高密度核心明显增多,在主城区外呈现星点分布特征;较高密度和中密度区主要分布在各区县行政中心地区(图 6C)。

(7) 农村居民用地高密度区主要分布在主城九区及渝东南的秀山县,高密度等级面积出现先增加后减小的趋势,研究期内年高密度等级面积减少,秀山县的双高密度核心演变为单核心,最后逆向转变为较

高值密度;低密度和较低密度区主要分布在渝东北及渝东南,研究期内变化不显著(图 7A)。

(8) 工矿建设用地高值密度面积经历先减小后增加的趋势,研究初期高密度区主要分布在主城的北碚区、巴南区以及渝东北的奉节县;较高密度区主要分布在高密度区周围地区;低密度和较低密度主要分布在渝东南和渝东北,研究期内变化并不显著(图 7B)。

(9) 未利用地高值密度面积变化趋势和工矿建设用地相似,研究初期高密度核心主要分布在渝西的大足区、合川区,主城的北碚区以及渝东的开州区,2020 年高值密度面积大幅缩减,高值密度向中值和较低值密度逆向转化,2020 年高密度核心仅分布在开州区,为单核心分布(图 7C)。

3.3.2 土地利用程度演化 以重庆市 38 个区县为研究单位,测算并分析研究期内 6 个时间点的土地利用程度综合指数,并结合热点分析法识别重庆市土地利用空间分布模式及热点和冷点地区。

根据土地利用程度综合指数公式计算得到 6 个时间点上重庆市土地利用程度综合指数分别为 246.72, 248.33, 248.26, 249.56, 249.95, 251.18。近

25 a间土地利用程度变化量增加 4.46,表明重庆城镇化进行较快,建设用地等利用程度等级高的用地面积增加。通过土地利用程度变化(图 8)可以看出,研究期内年重庆市各区县土地利用程度综合指数均呈现出递增趋势,反映出重庆市土地利用程度在逐年提高,土地利用程度综合指数高值区域集中分布在渝西及主城区,低值区域集中在渝东北以及渝东南地区。

1995—2020 年大渡口区、江北区、沙坪坝区、南岸区以及渝北区土地利用程度增加最为显著,渝中区土地利用程度始终最高,由于城镇化进程加快,居民用地和建设用地需求也大大增加。通过土地利用程度热点图(图 9)可以看出,重庆市土地利用热点区主要集中在渝西北及主城区,与此同时热点区周围的区县土地利用程度也都较高。

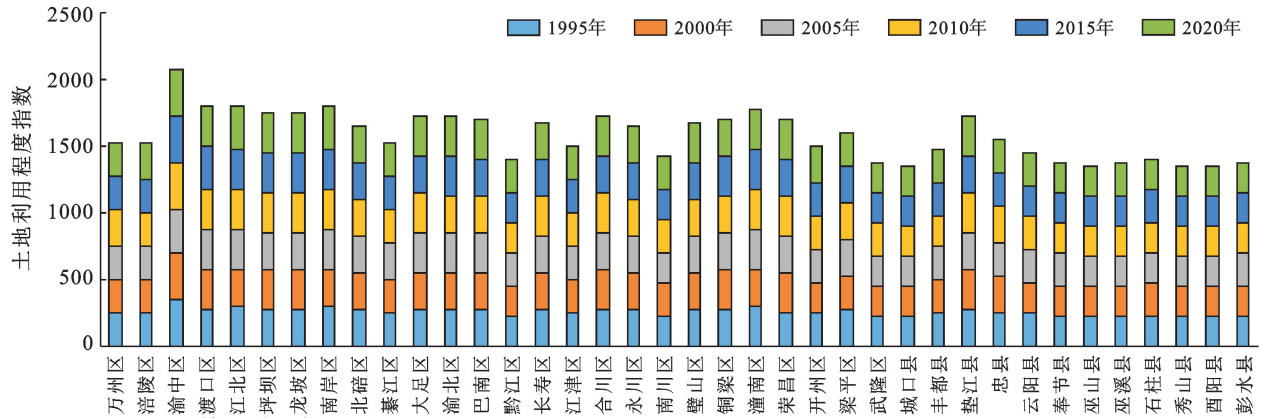


图 8 1995—2020 年重庆市各区县土地利用程度变化

Fig.8 Land use extent changes by districts and counties in Chongqing City from 1995 to 2020

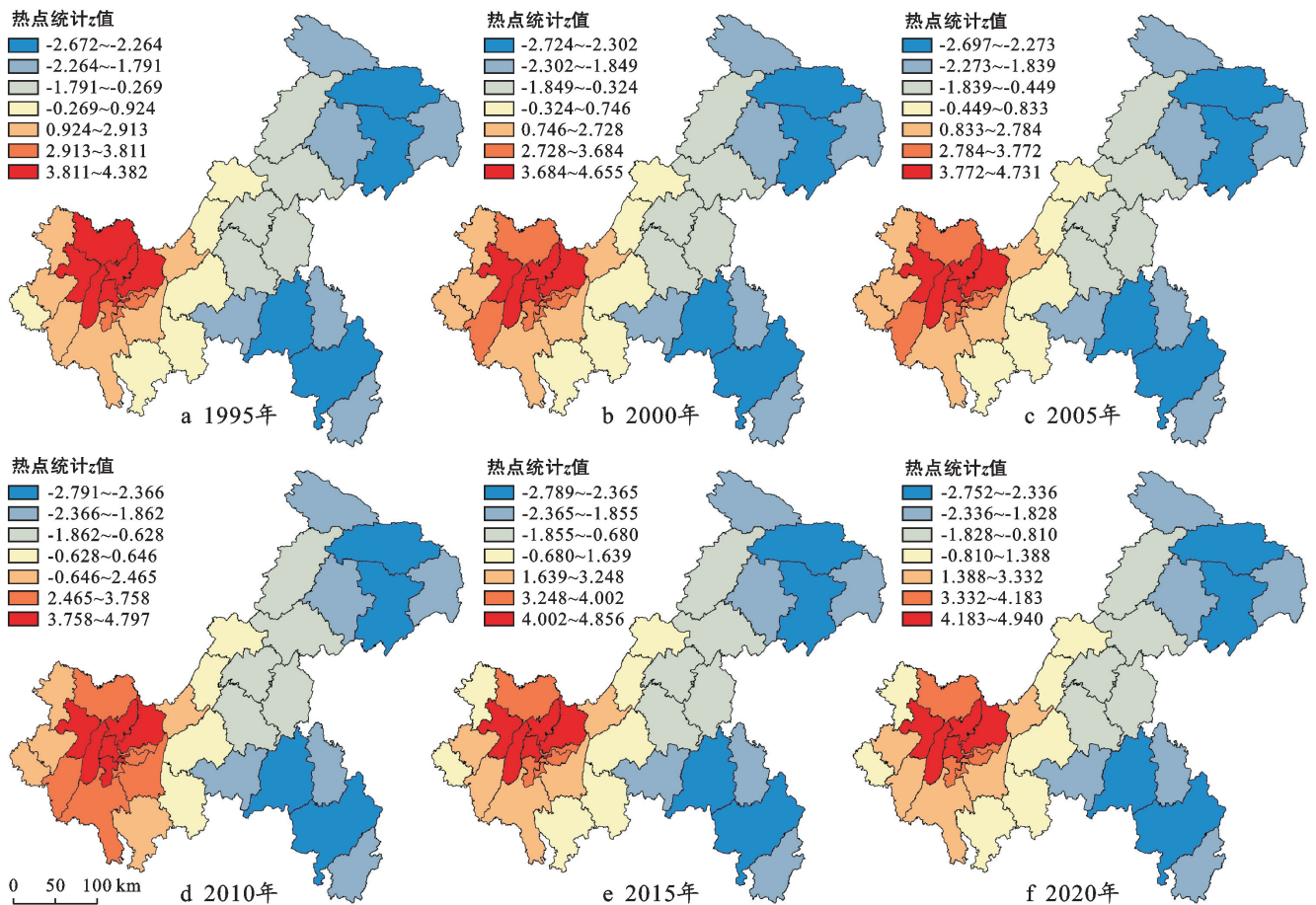


图 9 1995—2020 年重庆市各区县土地利用程度热点(z)分布

Fig.9 Hotspot (z) distribution of land use extent by districts and counties in Chongqing City from 1995 to 2020

土地利用程度变化率如图 10 所示。总的来看,研究期内重庆市土地利用程度变化率为 0.018 1,表明重庆市总体土地利用水平处于发展期,城口县、巫溪县和石柱县 3 个区县的土地利用程度变化率小于 0,表明这 3 个区县土地利用水平处于衰退期。分时段来看,1995—2000 年,重庆市 38 个区县土地利用程度变化率均大于 0,处于发展期;2000—2005 年包括梁平区、万州区等在内的 17 个区县土地利用处于衰退期;2005—2010 年包括城口县、丰都县等在内的 9 个区县土地利用处于衰退期;2010—2015 年处于衰退期的区县共有 3 个;2015—2020 年处于衰退期的

为南川区和垫江区。值得注意的是,1995—2000 年大足区和荣昌区的土地利用程度变化率较大,其原因与该区域大量林地转为旱地有关。

3.4 驱动力分析

3.4.1 因子探测 为了分析土地利用变化的驱动力,本文参考已有相关研究^[38],从社会经济和自然两个层面选取包括人口密度(X_1)、地区生产总值(X_2)、年末总人口(X_3)、第一产业产值(X_4)、第二产业产值(X_5)、高程(X_6)、坡度(X_7)、坡向(X_8)在内的 8 个驱动因子分别对 2000,2005,2010,2015,2020 年土地利用变化影响程度进行分析,结果如表 3 所示。

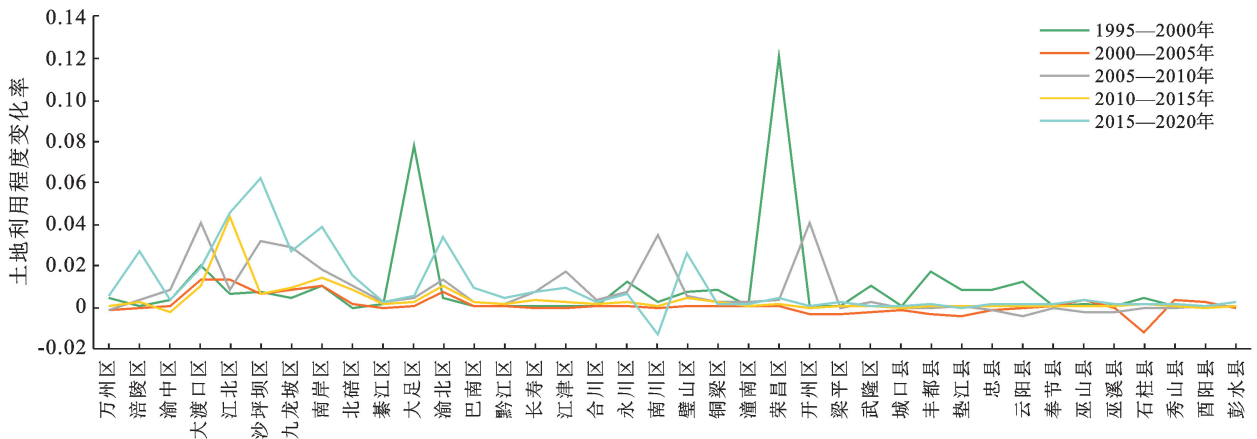


图 10 1995—2020 年重庆市土地利用程度变化率

Fig.10 Rate of change in the extent of land use in Chongqing City from 1995 to 2020

表 3 2000—2020 年重庆市土地利用变化影响因子地理探测结果(q)

Table 3 Geographical detection results of land use change impact factors in Chongqing City from 2000 to 2020

探测因子	影响因素	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年		2020 年	
		q 值	排名	q 值	排名	q 值	排名	q 值	排名	q 值	排名
X_1	人口密度	0.876 3	1	0.911 1	1	0.870 3	1	0.835 2	1	0.891 4	1
X_2	地区生产总值	0.598 6	3	0.475 4	3	0.584 8	2	0.663 1	3	0.650 5	3
X_3	年末总人口	0.345 8	6	0.290 3	6	0.253 2	6	0.332 0	6	0.351 0	6
X_4	第一产业产值	0.517 9	4	0.341 6	5	0.478 9	4	0.568 0	4	0.400 5	4
X_5	第二产业产值	0.664 5	2	0.528 1	2	0.537 9	3	0.753 0	2	0.755 4	2
X_6	高程	0.349 8	5	0.370 7	4	0.404 6	5	0.393 5	5	0.391 6	5
X_7	坡度	0.236 3	7	0.216 8	7	0.242 0	7	0.238 5	7	0.221 3	7
X_8	坡向	0.001 7	8	0.000 8	8	0.001 2	8	0.000 8	8	0.000 8	8

从表 3 中可以看出各因子对重庆市土地利用变化的影响程度各不相同,坡向的影响力大小未通过显著性检验,表明重庆市土地利用变化与坡向无关,不同坡向并未对土地利用变化造成影响。2000—2020 年人口密度对土地利用变化的影响程度最大,位列第一, q 值均大于 0.8,表明人口密度对于土地利用变化程度具有重要影响,原因在于人口密度的大小决定了居住、生产和交通等农用地和建设用地的需求,并且人口是城市发展的主体,在一定程度上也可反映出城

市发展的活力和潜力,重庆市人口密度由 2000 年的 346 人/ km^2 增加至 2020 年的 389 人/ km^2 ,人口密度增加需要扩大建设用地和居住用地,从而改变土地利用格局,影响土地利用变化程度;第二产业比重较大,显著影响土地利用变化,工业成为推动重庆市经济发展的主导性力量;2000—2020 年对土地利用程度变化影响程度最大的 3 个因子均为社会经济因子,分别为人口密度、第二产业产值和地区生产总值,这表明社会经济因子对土地利用程度变化程度影响

更显著,占主导作用;在自然因素层面,高程的影响力较大。

3.4.2 交互探测 由于坡向(X_8)与重庆市土地利用变化无关,故在交互探测中将坡向因子剔除。以 5 个年份的平均 q 值作为驱动力,在交互探测结果中选取 21 组因子进行分析。所选取的 21 组因子交互关系以双因子增强为主(表 4),社会经济因子间交互作用强烈。社会经济因子中的人口密度和年末总人口、第

二产业产值交互作用最强,交互作用值均大于 0.94。社会经济因子与自然因子中的高程交互作用值($q=0.8907$)、坡度交互作用值($q=0.8858$)均较高,也反映出重庆市土地利用变化是社会经济因素和自然因素共同作用下的结果,其中社会经济因素占据主导作用且单一因子影响力较大,社会经济因子间交互作用要强于社会经济因子和自然因子以及自然因子间交互作用。

表 4 2000—2020 年重庆市土地利用变化影响因子交互探测结果

Table 4 Interactive detection results of land use change impact factors in Chongqing City from 2000 to 2020

$q(A \cap B)$	$q(A) + q(B)$	判据	交互关系
$q(X_1 \cap X_3) = 0.9657$	$q(X_1) + q(X_3) = 1.1913$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_5) = 0.9443$	$q(X_1) + q(X_5) = 1.5246$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_4) = 0.9395$	$q(X_1) + q(X_4) = 1.3382$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_2) = 0.9369$	$q(X_1) + q(X_2) = 1.4713$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_6) = 0.8907$	$q(X_1) + q(X_6) = 1.2589$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_7) = 0.8858$	$q(X_1) + q(X_7) = 1.1078$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_3 \cap X_5) = 0.8724$	$q(X_3) + q(X_5) = 1.0232$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_4 \cap X_5) = 0.8559$	$q(X_4) + q(X_5) = 1.2589$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_2 \cap X_4) = 0.7898$	$q(X_2) + q(X_4) = 1.0559$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_3 \cap X_4) = 0.7836$	$q(X_3) + q(X_4) = 0.7758$	$q(A) + q(B) < q(A \cap B)$	非线性增强
$q(X_2 \cap X_3) = 0.7630$	$q(X_2) + q(X_3) = 0.9089$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_5 \cap X_6) = 0.7578$	$q(X_5) + q(X_6) = 1.0298$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_2 \cap X_5) = 0.7384$	$q(X_2) + q(X_5) = 1.2423$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_2 \cap X_6) = 0.7304$	$q(X_2) + q(X_6) = 0.9765$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_5 \cap X_7) = 0.7082$	$q(X_5) + q(X_7) = 0.8788$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_2 \cap X_7) = 0.6836$	$q(X_2) + q(X_7) = 0.8255$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_4 \cap X_6) = 0.6552$	$q(X_4) + q(X_6) = 0.8434$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_3 \cap X_6) = 0.5866$	$q(X_3) + q(X_6) = 0.6965$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_4 \cap X_7) = 0.5865$	$q(X_4) + q(X_7) = 0.6924$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_3 \cap X_7) = 0.4880$	$q(X_3) + q(X_7) = 0.5454$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强
$q(X_6 \cap X_7) = 0.4632$	$q(X_6) + q(X_7) = 0.6130$	$\max[q(A), q(B)] < q(A \cap B)$	双因子增强

4 讨论和结论

4.1 讨论

重庆市水田主要分布在海拔相对较低的渝西和渝东地区,整体面积呈现缩减趋势,且主要转向旱地。水田不同于旱地,其耕作需要更多的劳动力,城镇化进程的推进,促使大量农村劳动力流失,农民为了获取相对较高的综合收益,将水田改为旱地进行耕作。旱地主要分布在渝西地区,其主要向撂荒、粗放耕作等边际化利用方式转型,以及转向经济林等,致使旱地面积有一定程度的缩减。林地主要分布在渝东南及渝东北地区,2002 年中国全面启动退耕还林工程,大量旱地,尤其是坡耕地转为林地,自启动实施退耕还林工程以来,重庆市已累计实施退耕还林 857 333 hm^2 ,林地面积大幅增加。重庆市多为喀斯

特地貌,是石漠化严重发生地区之一,为了治理石漠化,重庆市实行封山育林、人工造林等措施,地区植被得到明显的恢复和增加。石漠化治理以及旱地转向经果林等都是重庆林地面积增加的重要原因。

城镇居民用地动态度较大,其主要分布于主城区以及各区县的行政中心地区,重庆市作为西部地区唯一的直辖市,人口流动呈现向心式发展,城镇化使得重庆市人口密度迅速增加,区域经济正处于高速发展时期,基础设施用地以及人口的扩张态势无法避免,大量水田及旱地转为城镇居民用地。农村居民用地在主城区分布较为集中,水田和旱地是其主要转入源,农村居民用地动态度呈现“U 型”增长特征,大量农村人口流入城市地区导致 1995—2015 年农村居民用地增长率减小,随着乡—城流动速度放缓,以及乡村振兴战略的提出,农村地区人口开始出现回流趋

势,农村居民用地增长率又呈现增长趋势^[49]。工矿建设用地主要分布在主城区及其周边,动态度最大,2000 年以后重庆市产业结构不断优化,经济效益持续提升,工业进程不断加快,有力地支撑了重庆市国民经济发展。十八大以来,重庆市推行工业强市战略,全市工业经济发展迅速,促使工矿建设用地不断扩张。水田和旱地同样也是工矿建设用地的主要转入源,反映出城镇化建设占用耕地(水田和旱地)现象严重,农业或面临一定压力。

4.2 结论

(1) 1995—2020 年重庆市土地利用变化以草地和耕地(水田、旱地)减少、建设用地(城镇及农村居民用地、工矿建设用地)增加为主;受城镇化影响,工矿建设用地和城镇居民用地在各时段均为变化最活跃的用地类型;受退耕还林政策的影响,各用地类型之间的转移以旱地向林地转移为主;受三峡库区的影响,水域面积呈现上升趋势;2000—2020 年综合动态度增加了 0.15%,表明土地利用变化在 2000 年以后愈发频繁和剧烈。

(2) 1995—2020 年水田高密度核心主要分布在渝西地区和渝东地区。旱地密度核心主要集中在渝西地区。林地密度核心以东南部核心为主。城镇居民用地高密度核心位于主城区,2020 年高密度核心分布呈现星点特征。农村居民用地密度核心以主城区为主。工矿建设用地高密度核心呈现星点状分布特征。25 a 来重庆市土地利用程度逐年提高,土地利用程度热点区集中分布在主城区,且热点区周围区县土地利用程度也偏高;1995—2020 年重庆市土地利用总体处于发展期。

(3) 2000—2020 年,重庆市土地利用的影响因素有所差异,人口密度的变化是影响土地利用变化的重要因素,人口密度以及第二产业产值的 q 值均较高;高程等自然因素的影响力低于城镇化、工业化进程等社会经济因素;因子间交互作用类型主要为双因子增强,社会经济因素间交互作用强烈。

[参 考 文 献]

[1] 薛亚东,李佳,李迪强.近 40 年野骆驼历史分布区土地利用变化及生境破碎化驱动因素[J].生态学报,2021,41(20):7965-7973.

[2] 闵义岚,陈艳,李录堂.陕西省 10 市“土地—经济—环境”耦合协调关系[J].水土保持研究,2021,28(6):420-428.

[3] 林媚珍,刘汉仪,周汝波,等.多情景模拟下粤港澳大湾区生态系统服务评估与权衡研究[J].地理研究,2021,40(9):2657-2669.

[4] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方

法与进展[J].地理科学进展,2014,33(4):441-446.

- [5] Chapman M G, Underwood A J, Browne M A. An assessment of the current usage of ecological engineering and reconciliation ecology in managing alterations to habitats in urban estuaries [J]. Ecological Engineering, 2018,120:560-573.
- [6] 舒弥,杜世宏.国土调查遥感 40 年进展与挑战[J].地球信息科学学报,2022,24(4):597-616.
- [7] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J].地理学报,1996,51(6):553-558.
- [8] 宫鹏.拓展与深化中国全境的环境变化遥感应用[J].科学通报,2012,57(16):1379-1387.
- [9] 李辉,张晓媛,国洪磊.基于土地利用的三峡库区近 30 年生态系统服务价值时空变化特征[J].水土保持研究,2021,28(2):309-318.
- [10] 左岍,周勇,李晴,等.鄂西南地区土地利用格局时空变化及轨迹特征分析[J].水土保持学报,2022,36(1):161-169.
- [11] 王福红,赵锐锋,张丽华,等.黑河中游土地利用转型过程及其对区域生态质量的影响[J].应用生态学报,2017,28(12):4057-4066.
- [12] 何玲,贾启建,李超,等.基于生态系统服务价值和生态安全格局的土地利用格局模拟[J].农业工程学报,2016,32(3):275-284.
- [13] 耿润哲,李明涛,王晓燕,等.基于 SWAT 模型的流域土地利用格局变化对面源污染的影响[J].农业工程学报,2015,31(16):241-250.
- [14] 龙花楼,陈坤秋.基于土地系统科学的土地利用转型与城乡融合发展[J].地理学报,2021,76(2):295-309.
- [15] 刘永强,廖柳文,龙花楼,等.土地利用转型的生态系统服务价值效应分析:以湖南省为例[J].地理研究,2015,34(4):691-700.
- [16] 刘永强,龙花楼,黄淮海平原农区土地利用转型及其动力机制[J].地理学报,2016,71(4):666-679.
- [17] 陈雅如,肖文发,滕明君,等.三峡库区景观格局粒度效应及其对土地利用变化过程的响应[J].自然资源学报,2018,33(4):588-599.
- [18] 梁明,聂拼,陆胤昊,等.淮南市土地利用程度变化过程的时空演化特征[J].农业工程学报,2019,35(22):99-106.
- [19] 李佳鸣,冯长春.基于土地利用变化的生态系统服务价值及其改善效果研究:以内蒙古自治区为例[J].生态学报,2019,39(13):4741-4750.
- [20] 韩会然,杨成凤,宋金平.北京市土地利用变化特征及驱动机制[J].经济地理,2015,35(5):148-154.
- [21] 杜国明,匡文慧,孟凡浩,等.巴西土地利用/覆盖变化时空格局及驱动因素[J].地理科学进展,2015,34(1):73-82.

- [22] 周浩,雷国平,杨雪昕,等.RCPs 气候情景下三江平原典型流域耕地动态模拟[J].农业机械学报,2017,48(10):121-133.
- [23] Parker D C, Manson S M, Janssen M A, et al. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003,93(2):314-337.
- [24] Liu Xiaoping, Liang Xun, Li Xia, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017,168:94-116.
- [25] Veldkamp A, Lambin E F. Predicting land-use change [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001,85(1/2/3):1-6.
- [26] 舒瑞,孙鸿睿,邹业斌,等.宁夏沿黄生态经济带耕地的时空演变及驱动力[J].水土保持通报,2021,41(3):267-274.
- [27] 盖兆雪,詹议羲,王洪彦,等.耕地利用转型碳排放时空分异特征与形成机理研究[J/OL].农业机械学报,2022:1-14.(2022-05-19).
- [28] 郭碧云,王光谦,傅旭东,等.黄河中游清涧河流域土地利用空间结构和分形模型[J].农业工程学报,2012,28(14):223-228.
- [29] 丁智强,华红莲,王平,等.哈尼梯田遗产核心区土地利用信息图谱及地形梯度效应[J].农业工程学报,2021,37(23):225-234.
- [30] Zhou Yang, Li Xunhuan, Liu Yansui. Land use change and driving factors in rural China during the period 1995—2015 [J]. *Land Use Policy*, 2020,99:105048.
- [31] 华文剑,陈海山,李兴.中国土地利用/覆盖变化及其气候效应的研究综述[J].地球科学进展,2014,29(9):1025-1036.
- [32] 曹茜,于德永,孙云,等.土地利用/覆盖变化与气候变化定量关系研究进展[J].自然资源学报,2015,30(5):880-890.
- [33] Hostert P, Kuemmerle T, Prishchepov A, et al. Rapid land use change after socio-economic disturbances: The collapse of the Soviet Union versus Chernobyl [J]. *Environmental Research Letters*, 2011,6(4):045201.
- [34] 王云琦,齐实,孙阁,等.气候与土地利用变化对流域水资源的影响:以美国北卡罗来纳州 Trent 流域为例[J].水科学进展,2011,22(1):51-58.
- [35] Borrelli P, Robinson D A, Fleischer L R, et al. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion [J]. *Nature Communications*, 2017,8:2013.
- [36] 李青松,苏维词,吕思思.基于“源—汇”理念的黔中“两湖一库”地区土地利用变化及驱动力分析[J/OL].中国岩溶,2021:1-13.(2021-10-09).
- [37] 孙善良,张小平,张志斌.陕西省 2000—2018 年土地利用时空演变及驱动因素[J].水土保持通报,2021,41(4):339-349.
- [38] 张华玉,秦年秀,汪军能,等.广西海岸带土地利用时空格局及其驱动因子[J].水土保持研究,2022,29(3):367-374.
- [39] 邓永旺,王成,杨庆媛,等.县域土地利用综合分区研究:以重庆云阳县为例[J].水土保持研究,2013,20(6):240-245.
- [40] 谭静,官冬杰,虎帅.重庆三峡库区土地利用时空转型及其生态环境响应研究:以重庆市忠县为例[J].资源开发与市场,2017,33(3):311-315.
- [41] 陈丹,周启刚,何昌华,等.重庆山地都市区 1985—2010 年土地利用变化地形特征分异研究[J].水土保持研究,2013,20(5):210-215.
- [42] 范科红,李阳兵.1986—2007 年重庆主城区土地利用变化及其驱动因素研究[J].水土保持研究,2012,19(1):168-173.
- [43] 官冬杰,陈婷,和秀娟,等.三峡库区(重庆段)土地利用空间冲突类型识别及驱动机制研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(2):65-71.
- [44] 应弘,李阳兵.三峡库区腹地草堂溪小流域土地功能格局变化[J].长江流域资源与环境,2017,26(2):227-237.
- [45] Silva L P E, Xavier A P C, da Silva R M, et al. Modeling land cover change based on an artificial neural network for a semiarid river basin in northeastern Brazil [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020,21:e00811.
- [46] 欧定华,夏建国,姚兴柱.景观生态安全格局规划理论、方法与应用[M].北京:科学出版社,2019.
- [47] 童小容,杨庆媛,毕国华.重庆市 2000—2015 年土地利用变化时空特征分析[J].长江流域资源与环境,2018,27(11):2481-2495.
- [48] 视界网.重庆退耕还林 20 年“退”出一片绿水青山[EB/OL](2020-8-31)[2022-7-4].
- [49] 夏金梅,孔祥利.1921—2021 年:我国农业劳动力城乡流动的嬗变、导向与双向互动[J].经济问题,2021(6):9-15.
- [50] 廖和平,彭征,洪惠坤,等.重庆市直辖以来的城市空间扩展与机制[J].地理研究,2007,26(6):1137-1146.