

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.11.015

黄潞, 谷达华, 刘勇. 重庆市中心城区不透水面扩张及驱动力分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(11): 155-165.

重庆市中心城区不透水面扩张及驱动力分析

黄潞¹, 谷达华¹, 刘勇²

1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆大学 管理科学与房地产学院, 重庆 400044

摘要: 基于 Landsat 遥感影像, 利用生物物理成分指数(Biophysical Composition Index, BCI)对 2001—2020 年重庆市中心城区不透水面进行提取, 分析不透水面扩张时空变化及其扩张驱动力. 结果表明: ① 研究区 2001—2020 年间不透水面扩张显著, 表现为“急速扩张—低速扩张”. ② 空间变化上, 不透水面以中心城区为圆心向城市外延扩张, 呈现多中心组团式发展; 2016 年以前不透水面主要向北、东北方向扩张为主, 2016 年以后则呈现出多方位低速扩张. ③ 不透水面景观格局破碎化增大, 景观异质性增强, 不透水面由聚合式扩张转变为向城市外延分散式扩张. ④ 经济发展、产业结构、人口规模和交通设施与中心城区不透水面扩张变化密切相关.

关键词: 城市扩张; 不透水面; 生物物理成分指数;
驱动力; 重庆市

中图分类号: TP79

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2023)11-0155-11

Spatiotemporal Evolution of Impervious Surface and the Driving Factors in the Central Urban Area of Chongqing

HUANG Lu¹, GU Dahua¹, LIU Yong²

1. College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. School of Management Science and Real Estate, Chongqing University, Chongqing 400044, China

Abstract: The central urban area of Chongqing was taken as the research object, and remote-sensing imagery of Landsat series were used to extract impervious surfaces by means of biophysical composition index (BCI). Then the spatial temporal changes of impervious surfaces during 2001—2020 and the driving forces

收稿日期: 2022-11-21

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41771534).

作者简介: 黄潞, 硕士, 主要从事不透水面提取及其环境效应研究.

通信作者: 谷达华, 教授.

were analyzed. The result indicated: ① The impervious surface of the study area expanded significantly from 2001 to 2020, demonstrating an expansion trend of high rate to low rate. ② In terms of spatial changes, the impervious surface expanded outward of the city with the central city as the center of the circle, showing a polycentric cluster development. Before 2016, the impervious surface mainly expanded in the north and northeast directions, and after 2016, it showed a multi-directional low-speed expansion. ③ The landscape pattern of impervious surface showed a fragmentation trend, with the transformation from the convergent expansion to the dispersed expansion towards the urban extension. The landscape heterogeneity of impervious surface was increasing. ④ Economic development, industrial structure, population size and transportation facilities were closely related to the changes in impervious surface expansion in the central city.

Key words: urban expansion; impervious surface; biophysical composition index; driving force; Chongqing City

不透水面是指由沥青、水泥混凝土等渗透率较小的建筑材料所覆盖的地表,例如屋顶、道路、广场等^[1]。不透水面是衡量城市化发展水平和生态环境状况的重要指标^[2]。随着我国社会经济发展,城市化水平不断提高,不透水面作为城市人口和社会经济的重要载体,逐渐取代植被成为城市地表覆被中最主要的组成成分。然而,大量不透水面的增加不仅对城市资源利用和社会经济发展带来了负面影响^[3-4],也导致了热岛效应^[5]、雨岛效应^[6]等生态环境问题加重。因此,监测分析城市不透水面的时空变化特征,探究城市扩张规律及其驱动机制,对城市发展规划以及生态环境保护都有十分重要的影响。

遥感技术以及多光谱、高光谱遥感平台的建立为及时准确地掌握不透水面时空变化提供了技术支撑,促使不透水面更准确地提取成为可能。近年来,国内外学者在不透水面信息反演的遥感技术与方法上作出了很多探索和研究,提出了很多利用遥感影像提取不透水面的方法,主要包括决策树模型法^[7-8]、回归模型法^[9-10]、常规的遥感分类法^[11-12]、光谱混合分析法和指数法。其中,光谱混合分析法和指数法应用较为广泛。光谱混合分析法是解决中分辨率遥感影像存在混合像元的不透水面反演方法,它通过线性模型分解出每个像元中不同地物端元所占的比例,借此提高中分辨率遥感影像的解译精度^[13]。Wu^[14]基于 Ridd 提出的植被-不透水面-土壤(Vegetation-Imperviousness-Soil, V-I-S)线性模型,将光谱混合分析法应用于 Landsat ETM+ 遥感影像上,成功地实现了对美国哥伦比亚市的城市用地分类。穆亚超等^[15]基于 Landsat 遥感影像数据,采用线性光谱分解模型实现了对兰州市 1994—2015 年城市不透水面的信息提取。然而,光谱混合分析法中的端元选取主观性强,且在基于面向对象法的分类方法应用过程,优化分割参数的难度较大,不利于其在大范围的应用^[16]。

指数法相较于其他不透水面提取方法,计算更简单快捷,便于及时地掌握城市内部不透水面的快速更新。指数法利用遥感指数模型,依据不同地物在不同波段中的光谱特征差异,通过有规律性地增强或者减弱特定地物的光谱特征,实现不透水面与其他地物的有效分离^[17]。国内外学者针对指数法提取不透水面做了诸多探索和研究。查勇等^[18]、徐涵秋^[19]、穆亚超等^[20]分别提出了归一化建筑指数(Normalized Difference Built-up Index, NDBI)、归一化差值不透水面指数(Normalized Difference Impervious Surface Index, NDISI)、增强型不透水面指数(Enhanced Normalized Difference Impervious Surface Index, ENDISI)来实现不透水面的快速提取,提取结果较好。但是,大多数指数法都忽略了裸土与不透水面之间波谱相似的情况,容易产生裸土与不透水面之间提取的混淆问题,进而影响不透水面提取精度。针对这一问题,Deng 等^[21]基于 Ridd 的著名“V-I-S”线性模型提出了生物物理成分指数(Biophysical Composition Index, BCI),

经过研究证明, 相较于归一化植被指数(Normalized Differential Vegetation Index, NDVI), NDBI 和 NDISI 指数, BCI 的可分离性度量值较高, 它在分离不透水表面和裸土方法(BCI, NDVI, NDBI, NDISI)中, 被证明为最有效的方法。

因此, 本研究基于 Landsat 遥感影像, 利用 BCI 指数提取中心城区 2001 年、2006 年、2011 年、2016 年和 2020 年不透水面信息, 并分析研究区 20 年间不透水面扩张时空变化特征及其驱动力因素, 为实现重庆市中心城区动态监测提供数据和技术支撑, 以期为区域城市规划和环境保护提供一定的参考。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

重庆市(105°11′—110°53′E, 29°19′—29°57′N)地处我国西南腹地, 位于长江与嘉陵江交汇处, 地势由南北向长江河谷逐级降低, 西北部和中部以丘陵、低山为主, 东南部背靠大巴山和武陵山两座大山脉, 是中国唯一位于中西部地区的直辖市。重庆市气候属于亚热带湿润季风气候, 气候温和, 但是夏季炎热, 是长江三大“火炉”之一。重庆市中心城区包括渝中区、江北区、南岸区、九龙坡区、沙坪坝区、大渡口区、北碚区、渝北区和巴南区, 俗称主城九区, 面积为 5 473 km²。

1.2 数据来源

本研究使用的数据主要包括遥感影像数据、重庆市中心城区行政矢量数据以及重庆市统计年鉴。其中, 遥感影像数据来自于美国 USGS 网站提供的 Landsat Collection 2 数据集(<https://earthexplorer.usgs.gov/>), 相较于 Collection 1 的数据, Collection 2 数据进一步提高了几何校正和辐射定标的精度, 降低了数据预处理时间, 有利于长时序遥感分析研究。此外, 由于研究区常年多雨雾天气, 本研究选取 2001 年、2006 年和 2011 年的 Landsat 5 影像, 以及 2016 年和 2020 年的 Landsat 8 影像为遥感数据源, 具体如表 1 所示。统计年鉴数据来自于重庆市统计局(<http://tjj.cq.gov.cn/>), 包括建成区数据、人口数据、经济数据等。

表 1 数据列表

传感器	成像时间	条带号	传感器	成像时间	条带号
Landsat 5	2001-7-26	127-39	Landsat 8		
	2001-7-26	127-40			
	2001-7-17	128-39		2016-6-17	127-39
	2001-7-17	128-40		2016-6-17	127-40
				2016-7-26	128-39
	2006-8-09	127-39		2016-7-10	128-40
	2006-8-09	127-40			
	2006-9-01	128-39			
	2006-9-01	128-40		2020-8-02	127-39
				2020-8-02	127-40
	2011-5-19	127-39		2020-8-12	128-39
	2011-5-19	127-40		2020-9-26	128-40
	2011-8-14	128-39			
	2011-8-14	128-40			

2 研究方法

2.1 技术路线

本研究技术路线如图 1 所示。首先对研究区 2001—2020 年 Landsat 遥感影像进行图像预处理, 然后计算出各研究年份改进的归一化水体指数 (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI), 利用水体掩膜剔除掉计算结果中的水体信息, 再基于掩膜后的影像进行缨帽变换, 取得 BCI, 并结合直方图阈值法和人工选择法选取合适的阈值, 提取出研究区各年份的不透水面信息, 最后根据提取结果对研究区 2001—2020 年进行不透水面扩张时空变化和驱动力分析。

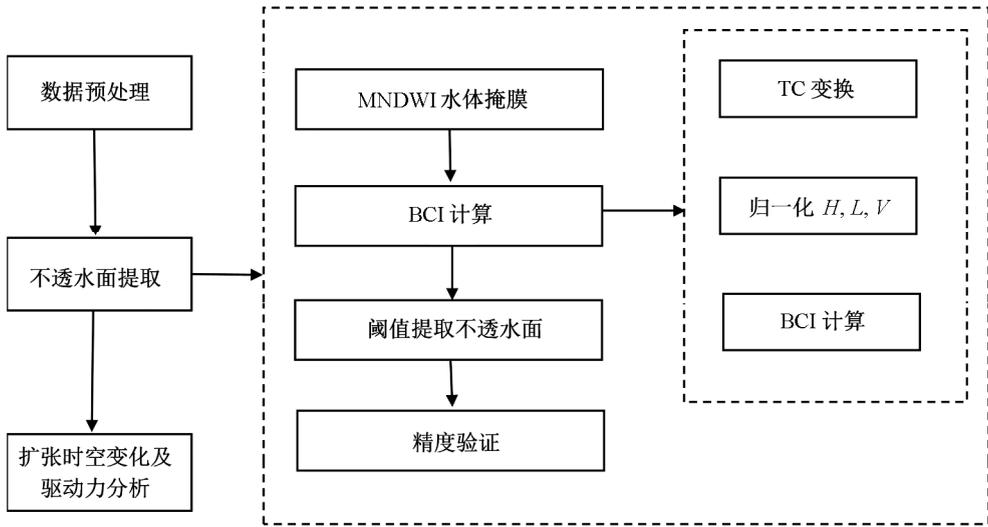


图 1 技术路线

2.2 不透水面提取

为了避免水体对不透水面信息提取结果的影响, 在计算 BCI 之前, 利用 MNDWI 制作掩膜, 剔除影像中的水体信息。本研究引用徐涵秋^[22]提出的 MNDWI 来实现水体信息提取, 相较于原有的归一化指数 (Normalized Difference Water Index, NDWI), MNDWI 能够有效地消除水体污染、地形差异等干扰因素的影响, 在城镇范围内快速、简洁和准确地提取水体信息^[23]。其公式如下:

$$M_{\text{MNDWI}} = \frac{g - m}{g + m}$$

式中: g 为绿光波段; m 为中红外波段。

利用经过水体掩膜的遥感影像进行 TC 变换。TC 变换又称为缨帽变换, 经过缨帽变换后的影像可以较好地区分不同目标地物的光谱特征, 以实现遥感图像的信息解译和提取, 目前该方法被广泛应用于土地覆盖分类中。BCI 由缨帽变换的 3 个分量构成, 计算公式如下:

$$B_{\text{BCI}} = \frac{\frac{H+L}{2} - V}{\frac{H+L}{2} + V}$$

式中: H 为高反射率, V 为植被, L 为低反射率, 分别代表归一化的 TC1、归一化的 TC2 值和归一化的 TC3 值。TC1, TC2 和 TC3 代表缨帽变换 TC 的 3 个分量, 对应遥感影像缨帽变换后形成的亮度、绿色、湿度 3 个分量。计算公式分别为:

$$H = \frac{TC1 - TC1_{\min}}{TC1_{\max} - TC1_{\min}}$$

$$V = \frac{TC2 - TC2_{\min}}{TC2_{\max} - TC2_{\min}}$$

$$L = \frac{TC3 - TC3_{\min}}{TC3_{\max} - TC3_{\min}}$$

式中: $TCi (i=1, 2, 3)$ 为缨帽变换中的前 3 个成分; TCi_{\min} 和 TCi_{\max} 分别为第 i 个缨帽变换分量的最小值、最大值。

2.3 阈值选取方法

阈值化分割是一种基于区域的图像分割技术, 它可以将目标区域从背景部分有效分离出来。其中, 最常用的阈值分割方法有 4 种: 直方图法、迭代法、人工选择法和最大类间方差法^[24]。本研究所选用的研究数据是长时间序列的多时相影像, 为了提高效率, 结合直方图阈值法和人工选择法进行阈值选择, 通过选取合适的阈值, 实现从灰度图中提取不透水面信息的目的。通过目视解译, 进行不透水面和非不透水面采样点的选取, 获得不透水面样本和非不透水面样本的灰度直方图, 阈值即为直方图中 2 个波峰之间波谷处的灰度值 T 。

2.4 景观格局指数

景观格局是指属性、大小、几何形态不同的景观斑块(景观空间单元)在空间、时间双维度的分布及组合形式^[25]。景观格局指数是研究景观空间格局变化的重要工具, 是能够有效反映出不透水面结构组成和空间配置特征的定量指标^[26-27]。

本研究从类型水平和景观水平 2 个方面出发共选取 8 个景观指数, 通过 Fragstasts 4.2 软件计算分析重庆市中心城区不透水面的景观格局变化情况, 具体指标如表 2 所示。

表 2 景观格局指数

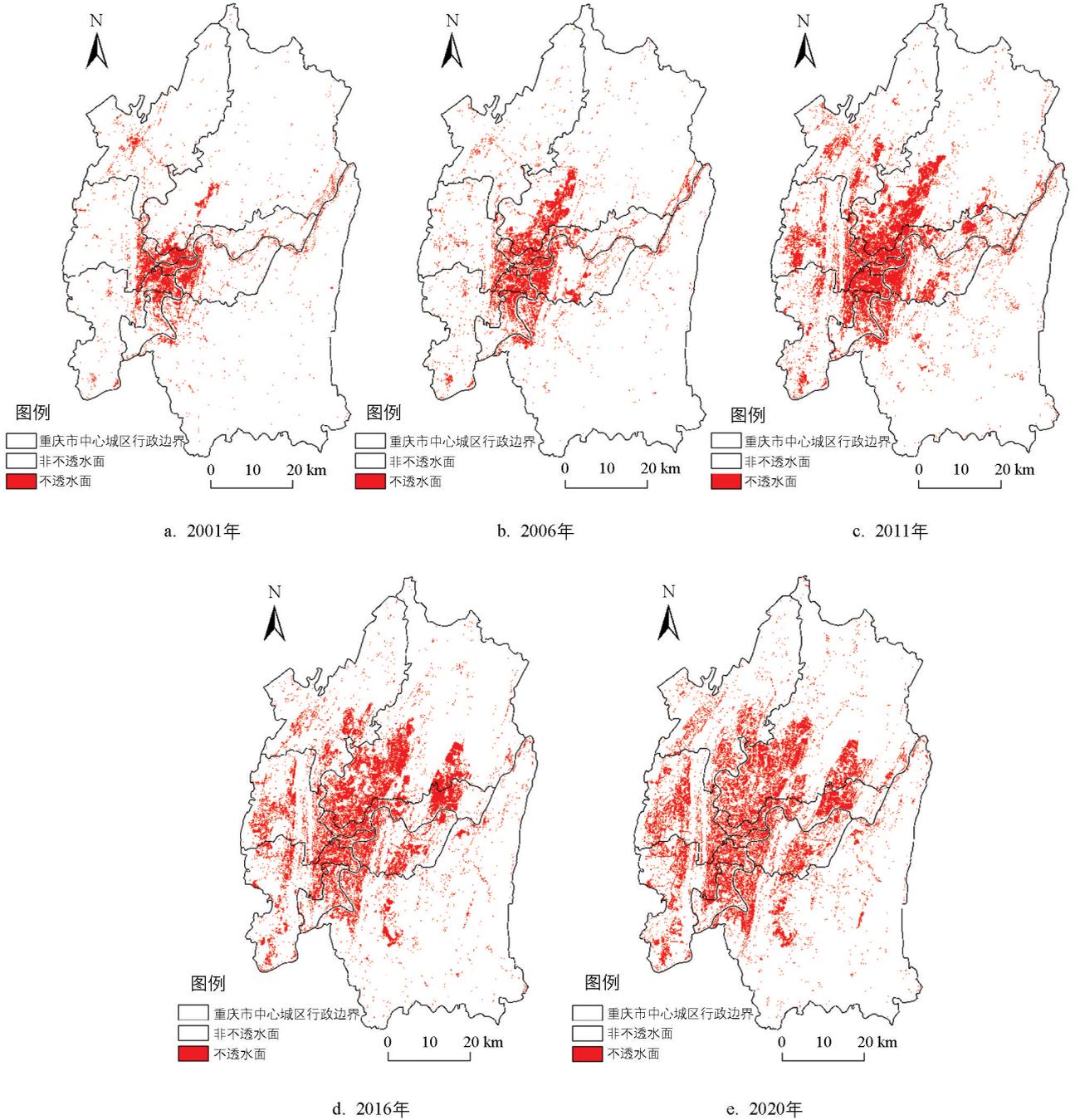
景观格局指数	定义
类型水平	
斑块数量(NP)	某一类景观斑块的个数, 反映景观的破碎化。
斑块密度(PD)	表征景观的破碎化程度, 值越大, 异质性越高, 破碎度越大。
聚集度指数(AI)	反映景观不同斑块类型的聚集程度。
景观形状指数(LSI)	描述景观形状的复杂程度。
最大斑块指数(LPI)	表示一种斑块种类中的最大面积斑块占整个景观面积的比例, 能够反映优势种、内部种的丰富程度和人类对土地干扰的方向和强弱。
斑块结合度指数(COHESION)	反映景观类型的自然连通性, COHESION 值越大, 表示景观的空间连通性越强。
景观水平	
香农多样性指数(SHDI)	反映景观异质性, SHDI 增大说明景观类型增加或者不同景观类型的面积趋于平衡。
香农均度指数(SHEI)	反映景观类型在斑块规模上分布的均衡程度, 多用多样性指数与其最大值之比来衡量, 值越大, 景观类型分布越均匀。

3 结果与分析

3.1 不透水面提取结果

利用生物物理成分 BCI 指数提取重庆市主城区 2001 年、2006 年、2011 年、2016 年、2020 年的不透水

面信息, 结果如图 2 所示. 利用 ArcGIS 在原始遥感影像中随机生成 1 000 个样本点与 Google Earth pro 上同时期的高分辨率遥感影像进行交互对比. 采用混淆矩阵和 Kappa 系数进行精度评价, 经过验证, 各个年份的总体精度都在 90% 以上, 平均 Kappa 系数为 0.83, 提取结果具有较高的信度.



底图审图号: GS(2019)1822 号

图 2 2001—2020 年重庆市中心城区不透水面提取结果

3.2 不透水面变化分析

3.2.1 不透水面时间变化分析

由图 3 可以看出, 重庆市中心城区 2001—2020 年间不透水面扩张显著. 从 2001 年的 234.02 km² 增大至 2020 年的 829.73 km², 共增加了 595.71 km², 增长幅度达到 154.56%, 年均增长 7.73%. 不透水面面积占比从 2001 年的 4.28% 增至 2020 年的 15.16%, 增长了 3.54 倍. 为了更好地了解重庆

市中心城区不透水面的扩张变化情况, 由表 3 可知, 以 2011 年为界, 2001—2011 年的不透水面扩张强度指数都在 10% 以上, 表现为高速扩张的特征, 其中 2006—2011 年扩张强度最大, 为 16.21%。2011 年以后不透水面扩张强度降低至 5% 以下, 表现为低速扩张的特征, 这说明城市不透水面扩张的加速度在减小, 扩张趋势减缓。

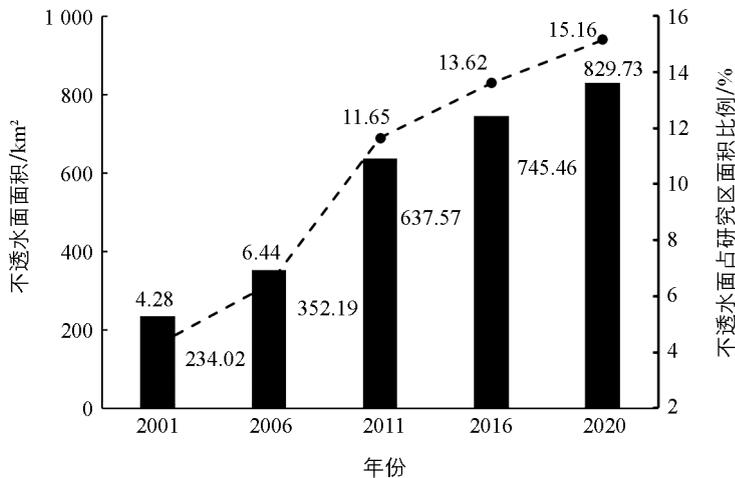


图 3 2001—2020 年重庆市中心城区不透水面面积变化

表 3 2001—2020 年重庆市中心城区不透水面扩张变化情况

年份	不透水面面积		
	增加/km²	扩张速度/(km² · a ⁻¹)	扩张强度/%
2001—2006	118.17	23.63	10.10
2006—2011	285.38	57.08	16.21
2011—2016	107.89	21.58	3.38
2016—2020	84.27	21.07	2.83

3.2.2 不透水面空间变化分析

为了更好地反映重庆市中心城区不透水面空间扩张在空间方位上的差异, 本研究利用 ArcGIS 软件分析功能, 采用等扇分析法, 以重庆市渝中区的重心为圆心, 以 67 km 为半径, 以西偏北 22.5°为起始点, 将中心城区分为 8 个相等的扇形, 并以扇形区域为单位统计各个年份的不透水面面积, 分析不同时间段的不透水面空间扩张在各个方位上的变化情况。由图 4 可知, 2001—2006 年中心城区的不透水面主要沿北、东北方向迅速扩张, 说明这一时期城市的主要扩张趋势是向北; 另外, 这一时期的城市规模在西南和正南方向也有一定的扩张, 而东西两侧受缙云山和明月山两条山脉阻隔, 不透水面扩张规模较小。2006—2011 年是不透水面空间扩张速度最快的阶段, 扩张方向仍旧以北、东北方向为主, 同时, 东、西两侧的不透水面规模逐渐突破原有的地形条件限制, 表现出较明显的增

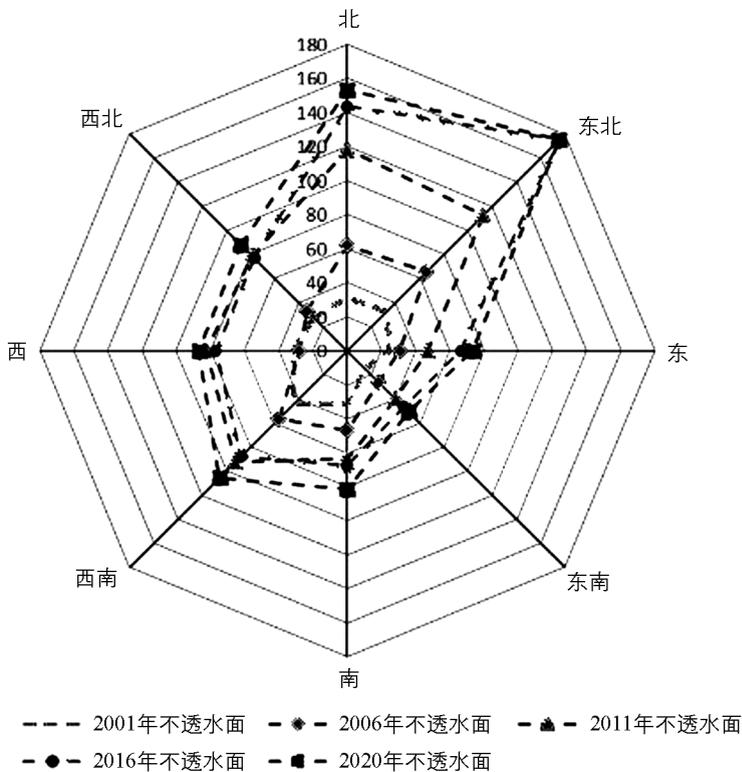


图 4 2001—2020 年重庆市中心城区不透水面扩张方位雷达图

2006—2011 年是不透水面空间扩张速度最快的阶段, 扩张方向仍旧以北、东北方向为主, 同时, 东、西两侧的不透水面规模逐渐突破原有的地形条件限制, 表现出较明显的增

加趋势。2011—2016 年,不透水面扩张以东北方向为主,其他方位的不透水面扩张都进入到低速增长阶段。2016—2020 年,不透水面规模呈现出多方位低速扩张的情况。总体来说,研究期内,重庆市中心城区不透水面扩张受山地城市独有的山水条件等自然地理因素的影响较为明显,不透水面扩张以中心城区为圆心向城市外延扩张,呈现多中心组团式的空间发展格局。前期,不透水面扩张主要以北、东北方向为主,后期,随着城市发展的客观需求和开发技术水平的提升,逐渐突破自然条件的限制向城市外围扩张,但是东部、东南部一直呈现出缓慢扩张的特征。由此也可以看出,重庆市中心城区不透水面空间扩张在空间方位上具有较强的方位分异性。

3.3 不透水面景观格局变化分析

研究区域景观格局指数格局变化情况如表 4 所示。可以看出,2001—2020 年重庆市中心城区的不透水面斑块数量(NP)与斑块密度(PD)变化一致,都呈现出持续增加的趋势,说明不透水面斑块破碎化程度不断增大,景观异质性持续增强。聚集度指数(AI)先增加后减少,说明不透水面由聚合式扩张转变为向城市外延分散式扩张。最大斑块指数(LPI)和斑块结合度指数(COHESION)均为增加趋势,说明不透水面的景观优势度提高,空间连通性增强。景观形状指数(LSI)持续增大,说明不透水面空间形态逐渐趋向于不规则化、复杂化。

2001—2020 年香农多样性指数(SHDI)和香农均度指数(SHEI)均呈现持续上升趋势,说明重庆市中心城区的景观异质性和景观多样性在增加。一方面,由于城市化的快速发展,使得不透水面大幅扩张,挤占了城市原有的自然植被、水体等透水面的空间,使得不透水面对景观的控制作用不断增强。另一方面,随着近些年来建设生态文明城市、创造宜居环境的倡导,城市绿化工程、城市公园等项目扩大了城市透水面积,使得城市内部的景观类型和景观结构的丰富性和复杂性得以提升。

表 4 2001—2020 年重庆市中心城区不透水面景观格局指数

年份	类型水平						景观水平	
	NP	PD	AI	LPI	LSI	COHESION	SHDI	SHEI
2001	4 895	0.92	86.85	1.42	70.23	98.47	0.18	0.27
2006	5 565	1.04	87.89	3.22	76.57	99.32	0.24	0.35
2011	6 889	1.28	89.87	5.37	86.09	99.43	0.36	0.53
2016	7 764	1.45	89.25	6.59	98.58	99.61	0.40	0.58
2020	9 069	1.70	87.81	5.71	114.05	99.59	0.43	0.62

4 不透水面扩张驱动力分析

重庆市作为西南地区唯一的直辖市,城市规模庞大,近些年人口不断增长,经济地位持续提升,研究其城市化进程中不透水面扩张的驱动因素具有重要意义。本研究从经济、人口等方面对重庆市中心城区不透水面扩张进行定量分析,从自然、交通等方面对重庆市中心城区不透水面扩张进行定性分析。

4.1 不透水面扩张与经济

经济因素是影响城市不透水面扩张的直接因素。自 1997 年设立重庆市为直辖市以来,在国家政策优惠和自身优势产业条件的双重加持下,重庆市中心城区经济快速发展,2001 年 GDP 为 655.62 亿元,2020 年增长至 9 822.09 亿元,增长约 14 倍。经济的发展促使城市住宅用地、公共设施用地和交通用地等用地需求的增加,2001—2020 年间重庆市中心城区不透水面面积扩张了近 3.54 倍。为进一步说明两者之间的相关性,采用 SPSS 软件进行相关性分析。如表 5 所示,它们之间的 Pearson 系数为 0.985, p 为 0.002,这表明 GDP 与不透水面面积之间的相关性有统计学意义,进一步分析发现(图 5),重庆市中心城区不透水面面积与 GDP 有明显的正相关性($R^2=0.936$)。

表 5 相关性分析

不透水面	人口		GDP	
	Pearson 相关			
		0.963		0.985
	p	0.008		0.002

4.2 不透水面扩张与产业结构

产业结构演变与经济增长具有内在的联系, 经济总量的快速增长促进了城市产业结构的加速演进. 从图 6 可以看出, 在社会经济发展和产业转型升级的大背景之下, 重庆市中心城区 2001—2020 年的三大产业所占比例发生了显著的变化. 第一产业在国民经济中所占比例呈现出不断下降的趋势, 使得大量劳动力进入非农业或城镇, 形成了城市化源源不断的推力. 作为国家老工业基地和制造业基地之一, 重庆市中心城区的第二产业比例持续保持着较高增长水平. 与此同时, 随着产业结构的调整优化, 第二产业在三产中的占比较前期也有所下降, 而第三产业的占比则呈现出快速增加的趋势. 总体来说, 第一产业的占比下降为二、三产业提供了发展空间, 而第二、三产业的发展, 一方面能够促进城市化进程的加速及区域经济的发展, 给城市带来更多的就业机会, 吸引大量劳动人口的聚集; 另一方面, 也催生了大量的用地需求, 从而带动城市建设用地的规模性扩张, 促使城市不透水面面积进一步增长.

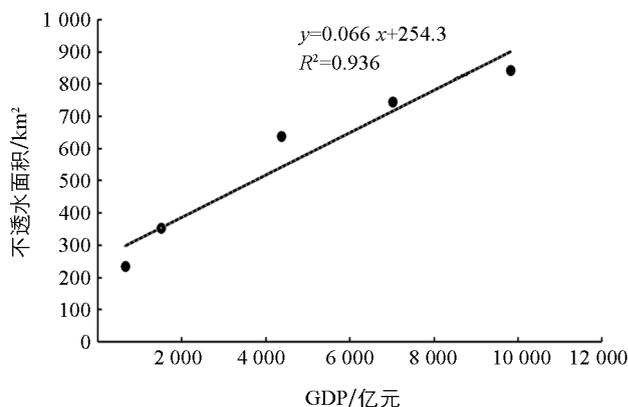


图 5 重庆市中心城区不透水面面积与 GDP 的线性拟合

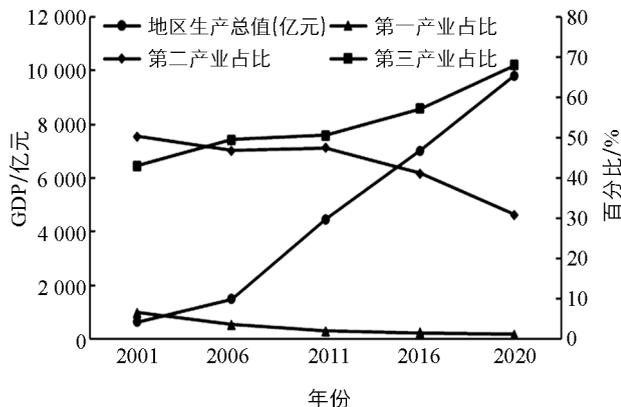


图 6 重庆市中心城区 2001—2020 年 GDP 及三产占比

4.3 不透水面扩张与人口

城市化是人口由农村转向城市的过程, 城市人口与城市扩展之间关系密切. 为了进一步说明不透水面扩张与人口之间的关系, 利用 SPSS 软件对 2001—2020 年不透水面面积和对应年份的人口数据进行相关性分析, 如表 5 所示, Pearson 系数为 0.963, p 为 0.008, 这表明人口与不透水面面积之间的相关性有统计学意义. 结合图 7 可以看出, 随着重庆市城市化进程的加快, 中心城区的人口规模迅速增长, 重

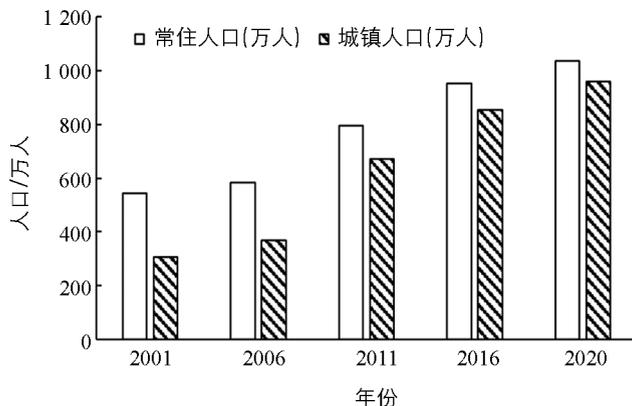


图 7 重庆市中心城区 2001—2020 年人口变化

庆市中心城区常住人口数由 2001 年的 543.42 万人增加到 2020 年的 1 036.26 万人, 年均增长约 24.64 万人, 城镇人口由 2001 年的 306.82 万人增加到 2020 年的 959.9 万人, 年均增长约 32.65 万人. 中心城区的城市人口集聚催生了大量的住房、城市交通、公共服务和娱乐设施等需求, 促进政府加大对居民区、学校、

医院、公园和道路等城市基础设施及相关工程的建设,最终促使了中心城区不透水面面积的加速增长。

4.4 不透水面扩张与交通

城市交通作为城市空间形态和结构关键构成要素之一,是影响城市不透水面扩张的重要因素。城市交通的发展使得城市可达性得到了延伸,为城市空间增长提供了先决条件,使得城市建成区的范围得以不断突破原有城市的边界,不断向外延扩张。在“三环九射”的交通规划和建成“大西南交通运输枢纽”的目标引领下,重庆市中心城区的高速公路、轨道交通等路网结构建设加速推进,交通网络日趋完善。密集的交通路网既加强了中心城区与周边城市的人口流动、经济联系,疏解了人口和产业压力,也有力地推进了城市的扩张进程,使得城市不透水面面积不断增加。

5 结论

重庆市已逐步从高速增长的城市化阶段向高质量发展的新型城镇化转变,中心城区作为成渝地区双城经济圈东部增长极的核心区域,研究其城市发展对于整个区域都有着重要意义。本研究基于多时相 Landsat 遥感影像数据,利用 BCI 提取重庆市中心城区 2001—2020 年不透水面,进而综合运用扩张强度指数、景观格局指数和等扇分析法等对不透水面扩张时空变化进行探讨,结合定量与定性方法,从经济、产业结构、人口和交通等方面对不透水面扩张进行驱动力分析,结论如下:

基于 Landsat 遥感影像,利用 BCI 提取出重庆市中心城区 2001,2006,2011,2016,2020 年的不透水面信息,经验证,各年份的总体精度都在 90% 以上,平均 Kappa 系数为 0.83,提取结果具有较高的信度。

不透水面扩张具有较强的时空分异性。时间变化上,2001—2020 年间中心城区不透水面面积增加了 595.71 km²。其中 2001—2011 年不透水面扩张明显,呈现出“急速扩张”的趋势;2011 年以后,不透水面扩张速度减慢,进入到“低速扩张”时期。空间变化上,不透水面以中心城区为圆心向城市外延扩张,呈现多中心组团式发展;前期不透水面主要以北、东北方向扩张为主,后期逐渐突破自然条件的限制,呈现出多方位的低速扩张。

不透水面景观破碎化增大,景观异质性增强,不透水面由聚合式扩张转变为向城市外延分散式扩张。随着中心城区城市化进程逐步推进,城市的更新改造和生态环境治理使得不透水面景观格局逐渐趋于复杂化,不透水面的景观优势度进一步提升。同时,多中心组团式空间发展格局使得不透水面形状趋于破碎化、不规则化。

本研究采取定量和定性相结合的研究方法,从经济、产业结构、人口和交通等方面对中心城区不透水面扩张进行驱动力分析。结果表明,经济总量和人口规模与重庆市中心城区不透水面扩张之间的相关性有统计学意义。伴随着重庆市中心城区城镇化进程的加快,经济迅猛发展,城市人口持续增加,城市产业结构加速演进,极大地促进了不透水面的扩张。此外,交通条件也是影响中心城区不透水面扩张趋势变化的重要影响因素。

参考文献:

- [1] 徐涵秋. 城市不透水面与相关城市生态要素关系的定量分析 [J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2456-2462.
- [2] 任金华, 吴绍华, 周生路, 等. 城市不透水面遥感研究进展 [J]. 国土资源遥感, 2012, 24(4): 8-15.
- [3] 谈明洪, 李秀彬, 吕昌河. 20 世纪 90 年代中国大中城市建设用地扩张及其对耕地的占用 [J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2004, 34(12): 1157-1165.

- [4] 谢高地, 张彪, 鲁春霞, 等. 北京城市扩张的资源环境效应 [J]. 资源科学, 2015, 37(6): 1108-1114.
- [5] 寿亦萱, 张大林. 城市热岛效应的研究进展与展望 [J]. 气象学报, 2012, 70(3): 338-353.
- [6] 刘家宏, 王浩, 高学睿, 等. 城市水文学研究综述 [J]. 科学通报, 2014, 59(36): 3581-3590.
- [7] 吕利利, 颀耀文, 黄晓君, 等. 基于 CART 决策树分类的沙漠化信息提取方法研究 [J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(3): 499-506.
- [8] 陈云, 戴锦芳, 李俊杰. 基于影像多种特征的 CART 决策树分类方法及其应用 [J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(2): 33-36.
- [9] 林云杉, 徐涵秋, 周榕. 城市不透水面及其与城市热岛的关系研究——以泉州市区为例 [J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(1): 14-19.
- [10] LU D S, MORAN E, HETRICK S. Detection of Impervious Surface Change with Multitemporal Landsat Images in an Urban-Rural Frontier [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2011, 66(3): 298-306.
- [11] 朱恩泽, 宋伟东, 戴激光. 改进支持向量机的高分遥感影像道路提取 [J]. 测绘科学, 2016, 41(12): 224-228.
- [12] 蔡博文, 王树根, 王磊, 等. 基于深度学习模型的城市高分辨率遥感影像不透水面提取 [J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(9): 1420-1429.
- [13] 李德仁, 罗晖, 邵振峰. 遥感技术在不透水层提取中的应用与展望 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2016, 41(5): 569-577, 703.
- [14] WU C S. Normalized Spectral Mixture Analysis for Monitoring Urban Composition Using ETM+ Imagery [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 93(4): 480-492.
- [15] 穆亚超, 颀耀文, 张玲玲, 等. 1994—2015 年兰州市不透水面变化分析 [J]. 地理空间信息, 2017, 15(2): 94-97, 101, 11.
- [16] 王浩, 卢善龙, 吴炳方, 等. 不透水面遥感提取及应用研究进展 [J]. 地球科学进展, 2013, 28(3): 327-336.
- [17] 徐涵秋, 王美雅. 地表不透水面信息遥感的主要方法分析 [J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 1270-1289.
- [18] 查勇, 倪绍祥, 杨山. 一种利用 TM 图像自动提取城镇用地信息的有效方法 [J]. 遥感学报, 2003, 7(1): 37-40, 82.
- [19] 徐涵秋. 一种快速提取不透水面的新型遥感指数 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(11): 1150-1153, 1211.
- [20] 穆亚超, 颀耀文, 张玲玲, 等. 一种新的增强型不透水面指数 [J]. 测绘科学, 2018, 43(2): 83-87.
- [21] DENG C B, WU C S. BCI: A Biophysical Composition Index for Remote Sensing of Urban Environments [J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 127: 247-259.
- [22] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究 [J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.
- [23] 徐涵秋. 水体遥感指数研究进展 [J]. 福州大学学报(自然科学版), 2021, 49(5): 613-625.
- [24] 李涵, 李龙, 张婷, 等. 徐州市中心城区不透水面时空异质性分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 668-680.
- [25] 张世瑕, 王紫雯, 张继明. 流域湿地的景观生态特性分析与景观特征指数的运用——以杭州沿山河流域和西溪湿地为对象 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2007, 41(6): 1053-1060.
- [26] 夏铎, 王腾飞, 张京生, 等. 城市景观格局动态及空间自相关研究——以郑州白沙组团为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(9): 131-141.
- [27] 陈铸, 傅伟聪, 黄钰麟, 等. 福州市土地利用景观格局变化及驱动力研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2020, 45(1): 99-107.