

重庆市南岸区城市边界扩张及生态环境效应研究

邹欣怡¹, 赵伟², 蒲海霞², 周佳松³

(1. 重庆工商大学 环境与资源学院, 重庆 400067; 2. 重庆工商大学

长江上游经济研究中心, 重庆 400067; 3. 四川省土地统征整理事务中心, 成都 610041)

摘要:以重庆市南岸区为研究对象,结合城市扩展、社会经济发展与生态环境之间的多元性与复杂性,在南岸区1996—2016年建成区扩展的数量及形态研究的基础上,采用改进的压力状态响应模型DPSR综合生态评价模型定量评价了城市用地扩张的生态环境效应,并识别了城市用地扩张系统与生态环境系统的主要影响因素,从小尺度、系统、动态的角度对城市扩张的生态环境效应进行了研究,以期对优化城市空间发展模式、促进城市社会生态的协调持续发展提供科学支撑。研究认为:南岸区建成区面积由1996年33.03 km²增长到2016年的122.39 km²,空间分布由最初的“西部小面积集中分布”发展为“西部成片、铜锣一线以及东部小分散”的状态,城市边界扩展明显;2000—2016年重庆南岸区生态环境效应处于中等水平,综合指数由0.36上升到0.6,但上升强度为下降趋势;回归结果显示非农业人口比重增长、经济发展是影响生态环境指数的重要因素,建设用地扩展等指标对生态环境有负面影响。

关键词:城市扩展;生态环境;DPSR

中图分类号:X321; F291

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)04-0252-07

Study on Urban Boundary Expansion and Ecological Environment Effect in Nan'an District of Chongqing City

ZOU Xinyi¹, ZHAO Wei², PU Haixia², Zhou Jiasong³

(1. College of Environment and Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 2. Research Center for Economy of Upper Reaches of the Yangtze River, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 3. Land Consolidation Center of Sichuan, Chengdu 610041, China)

Abstract: Taking Nan'an District of Chongqing City as the research site, combining the diversity and complexity between urban expansion, socio-economic development and ecological environment, based on the study of the number and form of expansion of built-up areas in Nan'an District from 1996 to 2016, we use the improved DPSR model DPSR integrated ecological assessment model to quantitatively evaluate the ecological environment effects of urban land expansion, and identify the main influencing factors of urban land expansion system and ecological environment system, and investigate the eco-environmental effects of urban expansion from the perspective of small scale, system and dynamics in order to provide scientific support for optimizing urban spatial development model and promoting the coordinated and sustainable development of urban social ecology. The area of construction area in Nan'an District increased from 33.03 km² in 1996 to 122.39 km² in 2016, and it had developed from the initial single-centric continuum in the west to the state of the west cluster area, and the small dispersion area to the east of Tongluo, and the urban boundary had expanded significantly; from 2000 to 2016, the eco-environment effect of Nan'an District was at a medium level, and the comprehensive index rose from 0.36 to 0.6, but the rising intensity presented the decreasing trend. The increases in the proportion of non-agricultural population and economic development are important factors affecting the eco-environmental index. Construction land expansion and other indicators have a negative impact on the eco-environment.

Keywords: urban expansion; ecological environment; DPSR

党的十八大以来,生态文明体制建设已经成为新时代中国发展的大背景,目前中国城市化正处于快速城市化时期,单目标规划使迅速膨胀的城市系统与生态环境之间未经良好的磨合与适应,从而不可避免地造成了两系统的脱节与失衡,扩张与生态保护之间的矛盾是急需解决的问题。

国内学者对城市扩展与生态效应的研究主要基于两个研究视角,其一是城市用地扩展对某种生态环境单因素影响的分析研究,主要包括城市用地扩张对气候、大气环境、水资源等单因素胁迫作用影响分析,如张苏等^[1]、韦亮英^[2]运用遥感反演方法测度环境参数间的相关性,来研究扩展对大气的影响;吴宏安等^[3]学者通过对城镇扩展导致的水域的减少及用水量的变化等进行城镇扩张对水环境的影响研究。其二是区域综合生态环境影响分析和评价,主要包括从景观生态学的角度来分析评价城市扩展土地利用变化生态环境效应,探索土地利用格局与生态过程的互相影响机理;从生态敏感性、生态安全的角度来探讨城市空间的增长界线;以及构建综合评价指标定量分析和评价城市边界扩展的生态环境效益并探索其二者的耦合机制^[4-9]。如:崔佳等^[4]学者利用景观格局指数和生态环境质量指数两种生态环境效应评价指标,定量对比分析土地利用变化带来的生态环境效应;赵丹阳等^[5]通过构建城市用地扩张的生态环境效应综合评价模型来进行城市扩展的生态研究。总的来说现有研究关于城市扩展对生态单要素的影响方面已经有了较深入且全面的研究,而对综合生态环境效益影响的研究较少,加之综合研究的复杂性及定量分析的重要性,对土地利用变化环境效应的综合定量分析和评价仍处于探索中;此外国内学者的研究尺度多为大城市、城市群以及生态脆弱敏感地区等中大尺度,对中小城市的关注较少。

伴随着重庆成为直辖市、西部大开发政策的实施、两江新区的建设,南岸区作为重庆主城九区之一,城市化发展给南岸区带来了巨大的变化。城市化快速发展为地区社会经济发展提供强劲动能的同时也深刻影响着土地利用与区域生态环境,且其特殊的依山临江位置,区域生态环境较为敏感,人类活动易产生较大影响。因此,本文以重庆市南岸区为对象,研究结合城市边界扩张研究生态环境效益,宏观把握小尺度范围的城市发展规律,客观反映城市扩张对生态的影响,以期对优化城市空间发展模式、促进社会生态的协调持续发展,建设生态城市提供理论支撑。

1 研究区概况

1.1 研究区区位

重庆市南岸区位于东经 106°3'14"—106°47'2"、北纬 29°27'2"—29°37'2",重庆市西南部,是重庆主城区、大都市区之一。区域东南部与巴南区相接,西临九龙坡区、渝中区,北濒江北区、渝北区,辖区面积达 265 km²。南岸区位于川东平行岭谷区,背斜、向斜平行分布,构成低山、丘陵、平坝、河流的组合地貌特征^[10]。南岸区作为典型山地城市,城市的扩展受到自然地貌环境制约的同时,对生态环境也产生了极大的影响。

1.2 研究区经济情况

截至 2016 年全区生产总值(GDP)总量 745.5 亿元,增长 10.8%。其中一产业实现增加值 4.3 亿元,下降 6.8%;二产业实现增加值 433.8 亿元,增长 11.3%;三产业实现增加值 307.4 亿元,增长 10.3%。三次产业经济结构从 2015 年的 0.7 : 59.2 : 40.1 调整为 0.6 : 58.2 : 41.2,提高了第三产业的占比。城乡居民收入继续增加,2016 年居民人均可支配收入 32 160 元,同比增长 8.5%,其中城镇常住居民人均可支配收入 32 983 元,增长 8.3%,农村常住居民人均可支配收入 17 839 元,增长 9.0%。城乡居民收入比缩小到 1.85 : 1。

1.3 生态环境现状

2016 年南岸区政府大力推进宜居南岸建设,继续深入“蓝天、碧水、宁静、绿地、田园”环保五大行动,全区环境保护力度进一步加强。2016 年全区空气质量优良天数为 295 d;二氧化硫年平均浓度为 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;二氧化氮年平均浓度为 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;可吸入颗粒物(PM₁₀)年平均浓度为 73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;细颗粒物年平均浓度为 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。与上年相比:空气质量优良天数增加 5 d,二氧化硫浓度下降 11.8%,二氧化氮浓度下降 2.6%,可吸入颗粒物浓度下降 11.0%,细颗粒物浓度下降 7.5%。总体来说为实现社会经济可持续发展,生态环境质量持续改善,努力打造生态南岸。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究城市边界扩展研究数据所用遥感图像来源于地理空间数据云。获取 1996 年、2004 年、2009 年、2016 年 4 期重庆市 TM 遥感影像图,采用 ERDAS 9.3 对影像进行融合、矫正,运用目视解译法提取出建成区栅格数据,利用 ArcGIS 10.2.2 进行栅格矢量化,得到南岸区城市建成区图斑,最后提取建成区规模面积,并对各年数据进行相关分析;生态环境研究所需数据主要

来源于《重庆市统计年鉴》、《重庆市水资源公报》、《重庆市环境状况公报》、《重庆市南岸区统计公报》以及南岸区政府网站等,从中直接获取或经过一定计算得到。由于数据的可获取性,生态研究部分利用的是 2000 年、2004 年、2009 年和 2016 年的数据。

2.2 研究方法

为研究南岸区城市边界扩展的生态环境效益,首先对南岸区的城市边界扩张进行分析,并建立以扩展

为主线的 DPSR 综合生态评价模型,定量评价城市用地扩张的生态环境效应,最后通过 SPSS 软件利用回归分析的方法识别城市用地扩张系统与生态环境系统交互作用的主要因素。

2.2.1 城市边界扩张研究方法 主要运用建设用地扩张速度、扩张强度、人口弹性系数来研究城市边界扩展数量变化以及运用紧凑度、分形维数来研究城市边界扩展的形态变化(表 1)。

表 1 城市边界扩展研究方法指标

方法	指标	公式	作用及标准
城市边界扩展数量变化分析	建设用地扩张速度	$M_{ij} = \frac{\Delta U_{ij}}{\Delta t_{ij} \times ULA_{ij}} \times 100\%$ (1) 式中: ΔU_{ij} 为经过 i 时间段后 j 单元建成区面积的变化数量; Δt_{ij} 为时间跨度; ULA_{ij} 为 i 时段初期行政单元 j 的城市建成区面积 ^[11]	反映城市空间扩展快慢的一个指标;数字越大表示面积扩展速度越快
	建设用地扩张强度	$I_{ij} = \frac{\Delta U_{ij}}{\Delta t_{ij} \times TLA_{ij}} \times 100\%$ (2) 式中: ΔU_{ij} 为经过 i 时间段后, j 单元建成区面积的变化数量; Δt_{ij} 为时间跨度; TLA 为初始时的建成区面积 ^[11]	描述城市建成区扩展状态;数字越大表示该区域建设用地扩展程度越大
	城市扩展人口弹性指数	$R_{ij} = \frac{A_{ij}}{POP_{ij}} \times 100\%$ (3) 式中: POP_{ij} 为第 i 时段 j 市区年人均人口增长率; A_{ij} 为第 i 时段 j 城市建设用地面积平均增长率	评价城市建设用地扩展的合理性;我国城市扩展人口弹性系数为 1.12 最为适宜 ^[12-14]
	城市空间紧凑度指数	$BCI = \frac{2\sqrt{\pi A}}{P}$ (4) 式中: A 为城市面积; P 为城市轮廓周长	表示城市形态内部集中化程度的空间特征;值越大越紧凑,反之离散程度越大 ^[15-16]
城市边界扩展形态变化分析	城市空间形状分维数	$D = \frac{2\ln \frac{C}{K}}{\ln A}$ (5) 式中: A 、 C 分别为 t 时期城市斑块的面积和周长;常数 $K=4$ ^[7]	反映了城市建成区边界的复杂曲折程度;值越大城市形态越复杂,越小越规整 ^[17]

2.2.2 城市边界扩张的生态环境效益研究方法

(1) 指标体系构建。“P-S-R”模型别学者广泛地应用于环境质量评价中,最初由加拿大统计学家 David J. Rapport 和 Tony Friend 于 1979 年提出,后由经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)用于研究环境问题的框架体系 P-S-R (Pressure-State-Response) 即压力—状态—响应模型;而后 UNCSO 将 PSR 改进为 DSR(驱动力—状态—响应)框架,将人类活动的过程与形态纳入可持续发展指标体系^[18-19];1993 年由欧洲环境署首次提出 DPSIR 框架模型。后有学者构建了“DPSR”模型,即驱动力、压力、状态、响应为评价目标的模型,多用来评价生态安全等。本文参照了一些学者的“DPSR”模型,根据实际数据的可获得性,构建了以扩张为主线的“DPSR 改进模型”:从“扩张的驱动力、扩张的压力、扩张的状态以及扩张的生态响应”来考虑,选取了 15 项指标,构建城市边界扩展的生态环境效应 D-P-S-R 模型,计算生态环境综合指数 REI 来评价城市扩展

对生态环境效应的影响^[13,20]。

(2) 数据无量纲化处理。由于各项数据数值相差很大,计量单位也不同,采用极差正规划法进行无量纲化处理,根据正向指标值越高越好,负向指标值越低越好的原则,分为两种计算方法:

正向指标:
$$S_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}}$$
 (6)

负向指标:
$$S_{ij} = \frac{X_{jmax} - X_{ij}}{X_{jmax} - X_{jmin}}$$
 (7)

式中: S_{ij} 为第 i 个对象的第 j 个指标的数值。

(3) 熵值法求取权重。熵值法是一种客观赋权法,其根据各项指标观测值所提供的信息的大小来确定指标权重。设有 i 个待评方案, j 项评价指标,形成原始指标数据矩阵,对于某项指标,指标值的差距越大,则该指标在综合评价中所起的作用越大;如果某项指标的指标值全部相等,则该指标在综合评价中不起作用。首先,为了便于计算和优选分析,消除指标间由于量纲不同而带来比较上的困难,先利用标准化公式将决策矩

阵转化为标准化决策矩阵 X_{ij} , 然后利用 i 方案在 j 属性下的贡献度形成新的矩阵 P , 公式如下^[21-22]:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}}$$

(8)

再用 E_j 来表示所有方案对属性 X_j 的贡献总量:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}$$

(9)

式中: 常数 $K=1/\ln m$, 这样能保证 $0 \leq E_j \leq 1$, 即 E_j

最大为 1。当某个属性下各方案的贡献度趋于一致, E_j 趋于 1; d_j 为第 j 属性下各方案贡献度的一致性程度。 $d_j=1-E_j$, 利用上面求得的 E_j , 可以得到 d_j ; 各属性权重为对应的 d_j 与所有 d_j 和的商。

指标权重公式:

$$W_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^m d_{ij}}$$

(10)

最后得到评价模型以及指标权重见表 2。

表 2 生态综合分值 REI 评价模型及指标权重

目标层(A)	准则层(B)	指标层(C)	指向	指标权重
重庆南岸 边界扩展 生态环境 效益评价 (A)	经济社会 驱动力 D(B ₁) 权重: 0. 204	人均国内生产总值(C ₁)	正	0. 353
		社会固定资产投资(C ₂)	正	0. 326
		第三产业占 GDP 比重(C ₃)	正	0. 321
	扩展压力 P(B ₂) 权重: 0. 236	建设用地扩展强度(C ₄)	负	0. 154
		非农业人口比重(C ₅)	正	0. 108
		单位生产总值能源消费量(C ₆)	负	0. 651
		城镇化率(C ₇)	负	0. 087
	土地利用 状态 S(B ₃) 权重: 0. 215	人均公共绿地面积(C ₈)	正	0. 366
		每 1 hm ² 耕地化肥施用量(C ₉)	负	0. 395
		城市扩展人口弹性系数(C ₁₀)	正	0. 017
		城市用地紧凑度(C ₁₁)	负	0. 222
	生态环境 响应 R(B ₄) 权重: 0. 345	区域环境噪声(C ₁₂)	负	0. 029
		SO ₂ 年日平均浓度(C ₁₃)	负	0. 540
		工业固体废物综合利用率(C ₁₄)	正	0. 164
		环保投资占 GDP 比例(C ₁₅)	正	0. 267

2. 2. 3 城市边界扩展生态响应影响因素分析方法
通过 SPSS 19 软件采用回归分析中一次与二次曲线拟合的方法来探讨社会经驱动力、扩展压力、土地利用状态对空间扩展的生态环境响应的影响, 影响因素分析模型如下^[16]:

$$Y=a_0+a_1X+\epsilon$$

(11)

$$Y=a_0+a_1X+a_2X^2+\epsilon$$

(12)

式中: Y 为因变量, 综合生态环境效益分值; X 为自变量, 分别为人均国内生产总值(X_1)、社会固定资产投资(X_2)、第三产业占 GDP 比重(X_3)、建设用地扩展强度(X_4)、非农业人口比重(X_5)、单位生产总值能源消费量(X_6)、城镇化率(X_7)、人均公共绿地面积(X_8)、每 hm² 耕地化肥施用量(X_9)、城市扩展人口弹性系数(X_{10})、城市用地紧凑度(X_{11})。

根据公式, 利用 SPSS 软件分别对 Y 与 X_1-X_{11} 进行一次及二次回归曲线拟合, 来分析城市空间扩展生态环境响应的影响因素。

3 结果与分析

3. 1 城市边界扩张研究方法

3. 1. 1 重庆南岸区建成区数量变化特征分析

(1) 南岸区城市用地面积变化(表 3)。1996 年

重庆市南岸区建成区面积为 33. 03 km², 此时城市建成区主要集中于西南方向, 东北部峡口镇、广阳镇以及迎龙镇建成区极少; 2004 年建成区面积为 44. 24 km², 增长 39. 89%, 大多分布于长生桥镇, 峡口、广阳、迎龙镇依然较少; 2009 年南岸区建成区面积为 79. 27 km², 较 2004 年增加了 33. 06 km², 南坪镇以及长生桥镇扩张较快, 共增加 18. 47 km², 西北部 3 镇也开始扩张; 2016 年建成区面积 122. 39 km², 增长 54. 4%。这个时间段南岸区建成区快速扩展, 较 2009 年增长了 43. 12 km², 此时南坪镇建成区能增长面积已很有限, 因此增长较少, 南岸区扩展方向主要为东北方向的广阳镇峡口镇, 扩展 35. 05 km²。

(2) 扩展强度和速度分析(表 4)。南岸区城市扩展速度以及强度都呈现先增后降的状态。1996—2009 年建成区扩展多为向外扩张, 速度快、强度较大; 2009—2016 年, 城市用地朝集约方向发展, 建设用地扩展速度放慢, 不同乡镇强度有增有减, 较前一段时间, 建成区扩展总体表现偏向于内部填充调整。其中 2004—2009 年扩展速度、扩展强度都为最大, 是南岸的快速发展时期, 强度指数达到 2. 52, 为 1996—2004 年阶段的 3 倍。重庆直辖后, 由于三峡库区的建设, 重庆当下主要任务为转移安置三峡库区群众,

这期间建设用地增长较为缓慢,扩展强度只有 0.63;后随着三峡移民安置工作不断完成,重庆经济迅速发展,城市边界扩展明显。

表 3 南岸区各乡镇 1996—2016 年建成区面积

乡镇	km ²			
	1996 年	2004 年	2009 年	2016 年
广阳镇	0.37	1.18	3.32	10.90
鸡冠石镇	2.17	2.85	5.57	6.15
南坪镇	16.93	18.36	24.86	25.59
南山街道	5.40	5.96	8.61	13.03
涂山镇	5.88	6.00	8.63	10.97
峡口镇	0.65	0.78	2.85	8.10
迎龙镇	0.45	1.64	4.03	11.96
长生桥镇	1.18	9.42	21.40	35.67
合计	33.03	46.21	79.27	122.39

表 4 近 20 a 重庆市南岸区扩展强度与扩展速度

年份	建成区 面积/km ²	年份 跨度	平均扩展 面积/km ²	扩展 速度/%	扩展 强度/%
1996	33.03				
2004	46.21	1996—2004	1.65	4.99	0.63
2009	79.27	2004—2009	6.61	14.31	2.52
2016	122.39	2009—2016	6.16	7.77	2.35

(3) 城市扩展人口弹性系数(表 5)。南岸区人口弹性系数由 1996 年的较低水平经历上升及下降发展到接近中国最适宜城市扩展人口弹性系数。1996—2004 年人口弹性系数为 0.816,低于 1.12 最适宜水平,此时南岸区发展较为缓慢,城市化进程不高,土地利用方式较为粗放;2004—2009 年,在此阶段城市化进程较快,建设用地扩展速度迅速,经济发展也相对较快,人口弹性系

数增长到 1.31,土地利用程度高于最适宜状态;2009—2016 年弹性系数降为 1.16,更接近于 1.12,表明南岸区近段时间城市化发展更加合理。

表 5 南岸 1996—2016 年城市扩展人口弹性系数

年份	建成区 面积/km ²	年份 跨度	年均扩展 面积/km ²	非农业人口 年均增长/%	人口弹性 系数
1996	33.03				
2004	46.21	1996—2004	1.36	1.69	0.82
2009	79.27	2004—2009	2.01	1.53	1.32
2016	122.39	2009—2016	1.71	1.47	1.16

3.1.2 重庆南岸区城市空间形态变化特征

(1) 各阶段重庆南岸区建成区空间分布。南岸建成区空间分布由最初的仅西部片区即铜锣山脉以西,发展为西部成片、铜锣一线以及中部聚集东部小分散的状态。1996 年,南岸区建成区主要集中于铜锣山脉以西,南坪镇、南山街道办事处以及涂山镇,其余镇区位于铜锣山脉以东,明月山脉以西,由于地理位置特殊,建成区分布稀少;2004 年,位于铜锣山脉明月山脉正中的长生桥镇出现连片建成区,峡口、广阳、迎龙镇建成区依然很少且空间分布分散;2009 年南岸区铜锣山脉以西南坪镇以及涂山镇逐渐填充接近饱和,明月山脉西北部三镇也开始扩张但建成区面积仍较小,南岸区处于“西部大连片、中东部小分散”状态;到 2016 年南岸区铜锣山脉以西的镇区已经接近饱和状态,中部建成区为连片聚集的形态,靠近明月山脉东部的迎龙与广阳镇也出现了小范围的连片建成区,但距离饱和状态还有一段距离,今后南岸建成区向外扩展方向主要集中在铜锣山脉以东以及明月山脉以西,具体分布情况见图 1。

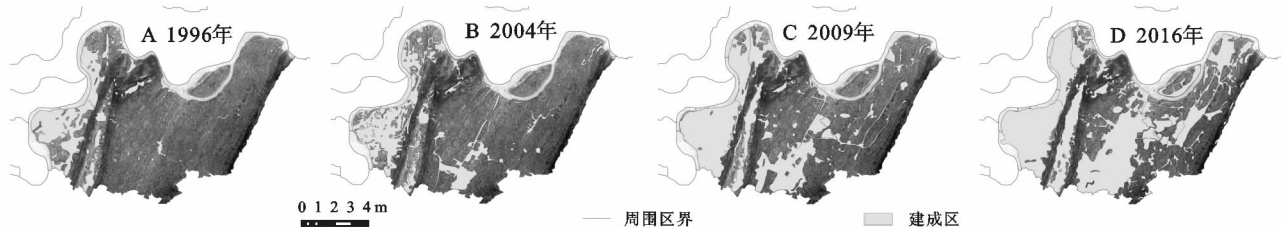


图 1 1996 年、2004 年、2009 年、2016 年 4 期南岸区建成区空间分布

(2) 紧凑度及分维数分析(表 6)。南岸区 1996—2016 年城市紧凑度先下降后轻微上升再趋于水平。1996—2004 年紧凑度最大,此时建成区主要集中在南坪镇以及长生桥镇,建成区集中,其他乡镇建成区少,为“大分散小聚积”状态;2004—2009 年,紧凑度降到 0.063,此时建成区扩张较快南岸区东北部乡镇建成区增多,比较分散,紧凑度降低;2009—2016 年,发展较充分,紧凑度无太大变化。

对于分形维数,南岸区 1996—2016 年城市分形维数与紧凑度相反,先上升再下降后趋于平缓。

1996—2004 年分维数上升,此时城市以外扩展为主;2004—2009 年,此时建成区扩张较快南岸区东北部乡镇建设用地增多,比较分散,分维数也有轻微下降,城市稳定性增强;2009—2016 年,南岸区发展已经较为充分,分维数也无太大变化,南岸西南方向多为内部填充发展,东北方向向外扩展为主,内部填充为辅,发展较为稳定。

3.2 南岸区城市边界扩展生态环境效益评价结果分析

利用加权求和分别计算经济社会驱动力 D、扩展压力 P、土地利用状态 S、生态环境响应 R 以及城市

用地扩张的生态环境效应综合指数 REI(表 7)。

表 6 南岸区紧凑度及分维数

年份	建成区 面积/km ²	年份 跨度	轮廓 周长/km	紧凑度	分维数
1996	33.43		201.01	0.102	1.249
2004	46.21	1996—2004	384.24	0.063	1.300
2009	79.27	2004—2009	357.37	0.088	1.254
2016	122.39	2009—2016	457.33	0.086	1.251

表 7 南岸区城市边界扩展生态环境效益评价系统得分

系统得分	2000 年	2004 年	2009 年	2016 年
经济社会驱动力	0.469	0.363	0.468	0.227
扩展压力	0.342	0.678	0.659	0.509
土地利用状态	0.545	0.651	0.857	0.766
生态环境响应	0.188	0.234	0.473	0.791
综合生态环境效益	0.359	0.454	0.598	0.604

2000—2016 年重庆南岸区生态环境效应综合指数呈逐步上升的趋势,各系统中生态环境响应得分逐步上升、经济社会驱动力有所下降、扩展压力以及土地利用状态总体为上升。2000—2004 年 REI 上升较缓慢增长近 0.1,达到 0.454,这期间经济社会驱动力下降近 0.1,但压力上升 0.33,提高了 2004 年的综合生态分值;2004—2009 年综合指数上升趋势加大,除压力较 2004 年有轻微下降外,驱动力、状态、响应均上升 0.15 以上,尤其生态响应系统上升力度最大为 0.23,南岸区改善了 2004 年快速扩展的势头,同时注重生态环境的保护与改善,2009 年环保投资占 GDP 比例为近年来最高,政府开始重视发展与生态环境的可持续性发展有了较大的成果;2009—2016 年综合生态环境效益分值比较稳定,仅增长 0.006,这期间驱动力、扩展压力、土地利用状态系统分值均下降,2016 年城市扩展部分乡镇已经达到饱和状态,为内部填充扩张,加大了建成区的密度造成土地利用状态分值下降,但生态环境响应分值继续保持较高的上升趋势,增长 0.32,南岸区对生态环境的重视很大程度上改善了生存环境,如对南山生态带的建设与保护,对生态保护红线划定的重视,以及南岸区“生态屏障区生态林低效林”改造以及对生态环境损害赔偿制度的试行等,环境污染也得到了很大的改善,SO₂ 年平均浓度从最开始的 0.156 mg/m³ 降到 0.015 mg/m³,但工业固废处置等还有待提高;总体来说,经济社会驱动力处于下降趋势,扩展压力先上升后下降总体为上升,土地利用状态分值先上升后下降总体有所改善,生态响应系统分值一直处于上升趋势,且上升力度逐年加大,南岸区生态环境效应综合指数呈逐步上升,在 0.6 左右稳定。

3.3 南岸区城市边界扩展生态环境效益影响因素分析

根据公式、利用 SPSS 软件分别对 Y 与 X₁—X₁₁ 进行一次及二次回归曲线拟合,来分析城市空间扩展生态环境响应的影响因素,分析结果见表 8。

表 8 南岸区城市扩展的生态环境响应影响因素分析

自变量	指标	类型	r ²	F	Sig.
X ₁	人均国内生产总值	一次回归	0.995	420.137	0.002***
		二次回归	0.999	422.524	0.034**
X ₂	社会固定资产投资	一次回归	0.907	19.579	0.047**
		二次回归	0.999	536.634	0.031**
X ₃	第三产业占 GDP 比重	一次回归	0.844	10.857	0.081*
		二次回归	0.864	3.163	0.369
X ₄	建设用地扩展强度	一次回归	0.932	27.211	0.035**
		二次回归	0.992	62.265	0.089*
X ₅	非农业人口比重	一次回归	0.998	1243.666	0.001***
		二次回归	0.998	313.92	0.04**
X ₆	单位生产总值能源消费量	一次回归	0.787	7.396	0.113
		二次回归	0.93	6.648	0.264
X ₇	城镇化率	一次回归	0.955	42.492	0.023**
		二次回归	0.997	181.519	0.052*
X ₈	人均公共绿地面积	一次回归	0.827	9.537	0.091*
		二次回归	0.98	24.071	0.143
X ₉	每 hm ² 耕地化肥施用量	一次回归	0.974	76.409	0.013**
		二次回归	0.996	130.381	0.062*
X ₁₀	城市扩展人口弹性系数	一次回归	0.827	9.53	0.091*
		二次回归	0.893	4.194	0.326
X ₁₁	城市用地紧凑度	一次回归	0.494	1.949	0.297
		二次回归	1.000	1176.188	0.021**

注:* 表示 10%水平下显著,** 表示 5%水平下显著,*** 表示 1%水平下显著。

一次二次回归分析结果表示,R² 衡量了回归方程整体的拟合度,越接近 1 说明回归直线对观测值的拟合程度越好,反之越差。回归结果中大多 R² 都处于大于 0.9 的水平,表明各项指标与生态环境效应指数拟合程度都较高。且人均国内生产总值、非农业人口比重这两项指标为在 1%水平下显著;社会固定资产投资、建设用地扩展强度、城镇化率、每 hm² 耕地化肥施用量、城市用地紧凑度为 5%水平下显著,人均公共绿地面积、第三产业占 GDP 比重以及城市扩展人口弹性系数在 10%水平下也有较为显著的回归关系。

(1) 非农业人口比重增长、经济发展是影响生态环境指数的重要因素。非农业人口比重与生态环境效应指数之间表现出显著回归关系,随着比重的上升,环境指数有先上升再下降的趋势,非农业人口增长使城市建设用地的需求量变大,进而改变土地使用类型以及规模,随之影响土地利用状态以及生态环境;经济发展是一个地区的命脉,随着人均国内生产总值不断增

大,生态环境指数也呈现先升后减的趋势,经济的正常增长是生态环境维持良好的保障,人均国内生产总值拟合曲线与非农业人口比重拟合曲线相似,理论上社会经济发展与生态环境变化之间存在倒 U 型曲线关系^[16-17],在重庆刚直辖时,经济增长缓慢对生态环境并无太大改善作用,后随着社会经济的发展,逐渐改善了噪音、大气污染等状况,提高了生态环境效应指数,注重经济生态的平衡,促进可持续发展。

(2) 建设用地扩展等指标对生态环境有负面影响。建设用地扩展强度、城镇化率以及城市用地紧凑度对生态环境指数也有显著影响,随着人口增长、城市化快速推进带来了建成区规模的快速扩展,是影响土地利用变化、生态环境的重要因素,南岸区建成区面积从 1996 年 33.03 km² 增长到 122.39 km²,扩展强度也从 0.63 增长到 2.35,2000 年前后居民生活水平、城镇化水平还处于较低的阶段,对资源的消耗也不大,但利用效率不高浪费较大,总体来说对环境破坏力度较小,但 2000 年生态环境指数只有 0.359,处于较差的水平,说明当时南岸区的发展已经对生态造成了严重的影响;城市化进程的推进,经济技术的发展,对生态环境的修复改善作用大于对生态的利用破坏程度,2009 年之后,随着经济发展、建成区扩展加快,生态环境指数改善的势头逐渐变缓,负面作用开始明显,对资源的消耗、耕地林地面积的压缩等都会使生态环境负向演化,且南岸区部分乡镇仍然处于建成区快速扩张的状态,意味着耕地、林地等农用地还会继续减少,生存环境会有继续下降风险。

4 结论与建议

(1) 重庆市南岸区在研究期间内,城市边界扩展明显,建成区规模逐年增长,由西部单中心连片发展成为西部成片、铜锣一线以及东部小分散的状态。1996—2016 年南岸区建成区面积增长 3.7 倍,尤其是在 2004 年之后政府工作重心由三峡库区移民转移到社会经济发展,南岸区建成区规模开始成倍增长。空间分布上,1996 年南岸区处于“西多东少、西部集中东部零星”的状态,由于山脉的限制,建成区主要集中在铜锣山山脉以西,到 2016 年,发展成为中西部两中心集中分布、东部零星小面积分布。

(2) 扩张速度强度以及城市形态方面,南岸区中部以及西部地区扩张速度以及强度最大,西部后期以内部填充为主,中部地区向外扩展趋势大。研究期内,中部以及西部增长速度最快,中部扩展强度最大;南岸区紧凑度为凹曲线,分形维数为凸曲线,都趋于稳定,近 20 a 城市发展主要以向外扩展为主,城市形态处于较稳定的

状态;城市边界扩展人口弹性系数逐步趋于合理,城市扩展速度与人口发展相适应。但扩展速度仍然较快,合理规划好城市发展,控制建成区扩展势头。

(3) 南岸区综合生态环境效益处于中等水平,总体为上升趋势但强度逐渐降低。南岸建成区不断扩张,影响土地利用状态进而对生态环境产生负面作用,但经过经济社会驱动力、土地利用状态等系统效益叠加,环境综合指数呈现不断增加的趋势。在未来发展中加强生态文明建设力度,控制建设用地扩展速度、增加环保设施投入等,合理规划城市发展兼顾生态系统,实现“城市—生态”和谐稳定发展。

(4) 社会经济发展以及建成区扩展各指标对生态环境效应指数有明显的影晌作用。非农业人口比重增长、建设用地扩展强度、城镇化率以及城市用地紧凑度对生态环境指数有显著影响,经济发展是一个地区的命脉也是生态环境保护改善的保障,但建成区的扩展对生态环境有负面影响作用,在扩大城镇规模的同时保护好生态环境,重点把握影响显著的一些指标,切实保护生态环境,坚持绿色发展、协调发展、共同发展。

参考文献:

- [1] 张苏,陈正江,谢元礼,等.基于遥感的城市生态环境效应分析:以西安市为例[J].山东农业大学学报,2016,47(6):852-855.
- [2] 韦亮英.南宁城市空间扩展及其生态环境效应研究[J].规划师,2008,24(12):31-34.
- [3] 吴宏安,蒋建军,张海龙,等.西安地区城镇扩展及其生态环境效应研究[J].自然资源学报,2006,21(2):311-318.
- [4] 崔佳,臧淑英.哈大齐工业走廊土地利用变化的生态环境效应[J].地理研究,2013,32(5):848-856.
- [5] 赵丹阳,佟连军,仇方道,等.松花江流域城市用地扩张的生态环境效应[J].地理研究,2017,36(1):74-84.
- [6] 姜彩荣,尤海海,许婷.城市景观空间格局与生态效应的相关关系分析[J].长江大学学报,2007,4(1):18-22.
- [7] 刘小平,黎夏,陈逸敏,等.景观扩张指数及其在城市扩展分析中的应用[J].地理学报,2009,64(12):1430-1438.
- [8] 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.
- [9] 方创琳,黄金川,步伟娜.西北干旱区水资源约束下城市化过程及生态效应研究的理论探讨[J].干旱区地理,2004,27(1):1-7.
- [10] 谭红英,周欣.基于 RS 与 GIS 研究山地城市扩展对植被覆盖度的影响:以重庆市南岸区为例[J].广西经济管理干部学院学报,2017,29(3):32-39.
- [11] 姜博,王媛,魏超,等.城市土地利用扩展的驱动因素与空间扩展模式研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(7):235-241.

一步验证,同时,该模型适用于壤中流流量上升及稳定阶段的模拟计算,对于下降段不适用。

参考文献:

- [1] 杨金忠. 二维饱和与非饱和水分运动的理论及实验研究[J]. 水利学报, 1989(4): 55-61.
- [2] 薛凤海. 关于用有限单元法计算一类边界流量及水力坡度问题的探讨[J]. 水利学报, 1992(7): 57-551.
- [3] Kubota J, Sivapalan M. Towards a catchment-scale model of subsurface runoff generation based on synthesis of small-scale process-based modelling and field studies [J]. Hydrological Processes, 2010, 9(5/6): 541-554.
- [4] Sloan P G, Moore I D. Modeling subsurface storm flow on steeply sloping forested watersheds [J]. Water Resources Research, 1984, 20(12): 1815-1822.
- [5] Stagnitti F, Jean-Yves Parlange, Steenhuis T S, et al. A mathematical model of hillslope and watershed discharge[J]. Water Resources Research, 1992, 28(8): 2111-2122.
- [6] Smith R E, Hebbert R H B. Mathematical simulation of interdependent surface and subsurface hydrologic processes[J]. Water Resources Research, 1983, 19(4): 987-1001.
- [7] Koussis A D. A linear conceptual subsurface storm flow model[J]. Water Resources Research, 1992, 28(4): 1047-1052.
- [8] 李力, 延耀兴, 张海瑞. 水文模拟中壤中流计算方法的探讨[J]. 水土保持通报, 2008, 28(1): 65-68.
- [9] 王玉珉, 王印杰. 非饱和土壤 Richards 方程入渗求解探讨[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(1): 9-13.
- [10] Dong W C, Wang Q J. Modeling soil solute release into runoff and transport with runoff on a loess slope[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2013, 18(5): 527-535.
- [11] Parlange J Y. Theory of water-movement in soils: I. Onedimensional absorption[J]. Soil Science, 1971, 111(2): 134-137.
- [12] Parlange J Y. Theory of water movement in soils: 8. one-dimensional infiltration with constant flux at the surface[J]. Soil Science, 1972, 114(1): 1-4.
- [13] Brooks R H, Cory A J. Hydraulic properties of porous media[M]. Tallahassee Fort Collins, USA: Colorado State University, 1964.
- [14] 刘继龙, 马孝义, 张振华. 不同条件下 Green-Ampt 模型累积入渗量显函数的适用性[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010, 18(1): 11-19.
- [15] Willmott C J. Some comments on the evaluation of model performance[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1982, 63(11): 1309-1369.

(上接第 258 页)

- [12] 陈鹤影. 城市扩张与生态环境效应: 益阳等中小城市土地扩张的特征及其影响因素的研究[J]. 管理观察, 2008(11): 16-22.
- [13] 陈华伟, 黄继文, 张欣, 等. 基于 DPSIR 概念框架的水生态安全动态评价[J]. 人民黄河, 2013, 35(9): 34-37.
- [14] 穆江霞. 西安市建设用地扩展变化研究[J]. 现代城市研究, 2007, 22(4): 38-42.
- [15] 田柳, 陈江龙, 高金龙. 城市空间结构紧凑与土地利用效率耦合分析: 以南京市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(1): 26-34.
- [16] 蔺雪芹, 王岱, 刘旭. 北京城市空间扩展的生态环境响应及驱动力[J]. 生态环境学报, 2015, 24(7): 1159-1165.
- [17] 谭文彬, 刘斌, 张增祥, 等. 近三十年来昆明市城市建设用地扩展遥感监测与分析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(1): 117-119.
- [18] 李稣获, 任学慧, 曹奇刚, 等. 城市化进程中基于 DPSIR 模型的大连市与锦州市土地集约利用对比分析[J]. 云南地理环境研究, 2012, 24(5): 6-11.
- [19] 陈广. 基于 DPSIR 模型的三峡库区水生态安全评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [20] 张凤太, 王腊春, 苏维词. 基于 DPSIRM 概念框架模型的岩溶区水资源安全评价[J]. 中国环境科学, 2015, 35(11): 3511-3520.
- [21] 程振杰. 基于熵值法的辽宁省城市人居环境研究[D]. 辽宁大连: 辽宁师范大学, 2017.
- [22] 孙仪阳. 基于熵值法和数学预测模型的土地生态安全动态评价[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2016.