

---

# 全域视角下重庆产业生态化空间格局与集聚效应研究——基于 38 县域数据的实证分析<sup>1</sup>

游 韵<sup>1, 2</sup> 罗胤晨<sup>1, 2\*</sup> 李春艳<sup>3</sup> 伍度志<sup>1</sup> 文传浩<sup>4</sup>

( 1. 重庆财经学院经济学院, 重庆 401320;

2. 重庆财经学院绿色发展研究院, 重庆 401320;

3. 重庆社会科学院生态与环境资源研究所, 重庆 400020;

4. 云南大学经济学院, 云南 昆明 650091)

**【摘要】**: 产业生态化是实现我国经济社会可持续发展的重要途径和必然选择。从全域现代产业生态化内涵出发, 紧扣产业发展本质构建指标体系, 基于因子分析法对产业生态化水平进行科学测度, 采用 ESDA 模型分析重庆产业生态化空间分异特征及空间关联性, 运用地理探测器模型挖掘产业生态化的关键影响因素。结果表明: (1) 重庆市主城都市区产业生态化具有显著优势, 渝东北城镇群发展动力不足, “两群”区域产业生态化存在短板效应; (2) 全市产业生态化水平呈现显著“核心—边缘”分布特征, 主城区外围县域产业节能减排环节相对薄弱; (3) 全市规模动力与节能减排空间格局具有相对稳健性, 主城地区产业生态化辐射效应显著, 工业产出效率差距逐渐缩短; (4) 重庆产业生态化存在显著空间关联性, 且空间集聚效应逐渐增强; (5) 影响重庆产业生态化的关键因素为单位 GDP 工业废气排放量、人均 GDP、第二、三产业增加总额、每百万人中 R &D 人员数等。

**【关键词】**: 全域现代产业生态化; 空间差异化; Moran' s I 指数; 集聚效应

**【中图分类号】**: F062. 2 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227( 2022) 11-2416-14

**【DOI】**: 10. 11870 /cjlyzyyhj202211008

2021 年 9 月, 中共中央《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中明确指出, 加快形成节约资

---

<sup>1</sup> **【收稿日期】**: 2021-11-24; **【修回日期】**: 2022-03-31

**【基金项目】**: 重庆市社会科学规划青年项目( 2020QNJJ24) ; 重庆财经学院科研项目( 20207005) ; 重庆市教育委员会人文社会科学基金项目( 21SKGH312) ; 国家社会科学基金青年项目( 18CJL031) ; 国家社会科学基金重大项目( 20&ZD095) ; 国家社会科学基金西部项目( 19XJY004) ; 重庆市社会科学规划博士培育项目( 2021PY38) ; 重庆市教育委员会人文社会科学基金项目( 21SKGH311) ; 重庆市教育委员会人文社会科学基金项目( 22SKGH513) ; 云南省哲学社会科学专家工作站( 2021GZZH01)

**【作者简介】**: 游 韵( 1992 ~ ), 女, 讲师, 主要研究方向为区域产业经济与绿色发展. E-mail: 1138100766@qq. com

\* **【通讯作者】** E-mail: chrisluo2005@163. com

源和保护环境的产业结构,坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路。在当前我国生态文明建设进入以“降碳”为重要战略的关键时期,如何在保持生态环境承载能力的同时,实现产业经济的低碳可持续发展是当今社会关注的热点问题。产业作为经济系统的核心,不仅关系着经济发展的生产要素与经济效益,更决定着生产活动过程中所产生的污染源类型与排放水平<sup>[1]</sup>。2021年2月,习近平总书记在中央全面深化改革委员会第十八次会议中强调,“要构建绿水青山转化为金山银山的政策制度体系,着力推进生态产业化和产业生态化”,印证了以产业生态化为重要抓手,倒逼产业结构转型升级,是有效缓解能源资源短缺现状,突破资源环境的约束瓶颈,实现可持续发展战略的必然选择<sup>[2]</sup>。重庆作为长江上游的经济中心,更肩负着“筑牢长江上游重要生态屏障”的重大使命。在新发展理念指导下,重庆提出“一区两群”<sup>②</sup>协调发展战略,旨在从全局谋划一域,促进各片区发挥优势、协同发展。可见,要想实现“生态优先、绿色发展”的战略定位下重庆产业经济的绿色高质量发展,关键在于打破“行政区划”藩篱,统筹重庆全域空间,协调全产业链体系进行协同规划布局,推动产业的生态化发展。然而,当前重庆缺乏围绕全域视角的产业生态化水平定量测度指标,县域层面横向对比的可比性与系统性不足,难以指导各县域的绿色转型。因此,对重庆全域视角下产业生态化的“过程-格局-机理”研究对于促进重庆产业与生态协调,以及提供相似区域发展经验借鉴具有重要的实践价值。

针对产业生态化的研究,目前学者主要从三个方面展开。(1)概念阐释。郭付友等<sup>[3]</sup>认为产业生态化通过构建产业生态系统实现单向线性发展模式向封闭循环发展模式转变,Smith等<sup>[4]</sup>认为产业生态化是由产业与环境相互作用形成的产业网络结构关系,此外,张国俊等<sup>[5]</sup>、赵丹阳等<sup>[6]</sup>、Hauff<sup>[7]</sup>、Frosch等<sup>[8]</sup>,对产业生态化内涵亦作出了不同角度的阐释。但总体上均围绕产业经济与资源环境的协同共生关系展开;(2)研究方法。主要包括动态演化理论模型<sup>[9]</sup>、动态演化现实模型<sup>[10]</sup>、DEA模型<sup>[11]</sup>、耦合协调度模型<sup>[3]</sup>、生态效率测度指数<sup>[5]</sup>、系统协调度模型<sup>[12]</sup>、IOOE模型<sup>[13]</sup>、因子分析法<sup>[2]</sup>、脉冲响应分析方法<sup>[14]</sup>等。(3)影响因素分析。产业生态化是多个学科融合而成的概念,不同领域下其影响因素存在差异性,具体主要包括产业组织<sup>[15]</sup>、工业集聚、科技创新<sup>[16]</sup>等因素,分析方法主要采用回归模型和定性分析等<sup>[3]</sup>。

综观国内外研究现状,仍存在继续拓展的空间:一是既有研究对于产业生态化的定义更侧重于“生态”,而对“产业”剖析不足,缺乏围绕“产业”本质特征和产业生态化学理阐释;二是空间研究尺度大多为国家级、省级和地级市,缺乏县域层面的研究,而国家级、省级侧重于战略性与协调性,作为国土空间规划体系建构基本单元的县域更侧重“实施性”;三是既有研究缺乏产业生态化相关的县域层面的测度体系,故亟需构建县域间可比性、系统性的产业生态化测度指数。鉴于此,从产业本质出发,构建产业生态化指标体系,以全域视角对重庆各县域产业生态化的空间分布格局与空间关联性进行剖析,并找出关键影响因素迫在眉睫。

## 1 研究方法数据来源

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 空间探索分析法(ESDA)

空间探索分析方法将研究对象进行空间分布格局的可视化描述,通过全局空间自相关和局部空间自相关测度要素的空间关联程度,分析区域数据的空间异质性和关联性。全局空间自相关反映研究范围内的空间关联程度,一般用Global Moran's I指数测度,计算公式为:

<sup>2</sup> ①“一区”指主城都市区,包括:渝中、沙坪坝、九龙坡、江北、渝北、北碚、南岸、巴南、大渡口、涪陵、长寿、江津、合川、永川、南川、綦江、大足、铜梁、璧山、潼南、荣昌 21 个县域,本文各县域数据包括高新区和经开区;“两群”指渝东北三峡库区城镇群(包括:万州、梁平、城口、丰都、垫江、忠县、开州、云阳、奉节、巫山、巫溪 11 个区县城镇)和渝东南武陵山区城镇群(包括:黔江、武隆、石柱、秀山、酉阳、彭水 6 个区县(自治县)城镇),如图 2。为增强可读性,文中“两群”分别简称为“渝东北城镇群”和“渝东南城镇群”。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (1)$$

式中： $x_i$ ， $x_j$  分别为区域  $i$  与区域  $j$  的属性得分； $n$  为地区数量； $w_{ij}$  为空间权重；属性的方差为

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

， $I$  的取值一般介于  $-1 \sim 1$  之间， $I > 0$  表示空间正相关，高(低)值与高(低)值集聚， $I < 0$  表示空间负相关，高(低)值与低(高)值集聚， $I = 0$  表示无显著空间自相关关系。

局部空间自相关用 Local Moran's  $I$  测度，反映区域单元与相邻单元之间的空间关联程度，计算公式为：

$$I_i = \frac{n^2}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \times \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_j (x_j - \bar{x})}{\sum_j (x_j - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$I_i > 0$  表示高值被高值包围，形成高-高(HH)集聚(或低-低(LL)集聚)， $I_i < 0$  表示低值被高值包围形成低-高(LH)集聚(或高-低(HL)集聚)[1]。

### 1.1.2 地理探测器

地理探测器主要用于探测空间异质性及对变量间的驱动作用进行检验<sup>[17]</sup>。本文运用地理探测器中的因子探测和交互探测方法，挖掘重庆市生态产业化空间分布的关键影响因素。因子探测用  $q$  值度量各因子对产业生态化空间分异的解释力，表达式为：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (3)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2, \quad SST = N \sigma^2$$

式中： $h = 1, \dots, L$  为子区域数量； $N$  和  $N_h$  分别表示样本总量和子区域样本量； $SST$  和  $SSW$  分别表示全区域方差和子区域方差； $q$  值的取值范围为  $[0, 1]$ ，该值越高表明因子对于产业生态化的影响越大。

交互作用探测用于识别因子  $X_i$  与  $X_j$  共同作用时，对因变量  $Y$  的解释力是否会增强(减弱或独立)。具体探测方法为：分别计算  $X_i$  与  $X_j$  对  $Y$  的解释力  $q(X_i)$  和  $q(X_j)$ ，及其交互时对于  $Y$  的  $q$  值，即  $q(X_i \cap X_j)$ ，最后将  $q(X_i)$ 、 $q(X_j)$  和  $q(X_i \cap X_j)$  进行比较，以此确定其交互作用类型。

### 1.2 数据来源

本文研究时限选取 2013~2018 年<sup>③</sup>, 国民经济指标数据源自《重庆统计年鉴(2014-2019)》, 科技创新指标数据主要源自《重庆科技统计年鉴(2014-2019)》, 以及重庆科创中心调研数据, 生态环境相关指标数据主要源自《重庆统计年鉴(2014-2019)》, 重庆市生态环境局官方网站(<http://sthjj.cq.gov.cn/>), 以及生态环境局调研数据。在数据预处理方法上, 部分缺失数据采用插值法、平均值法替代, 对于部分不能直接获取的指标数据, 通过对相关原始数据的换算求得。

## 2 理论框架及指标体系

### 2.1 理论框架提出

“全域视角下的产业生态化”相较于传统产业生态化而言, 拥有更深层次的内涵。首先, 产业生态化发展应突出全局性与系统性。2022 年 1 月, 重庆市政府印发《重庆市新型城镇化规划(2021-2035 年)》, 强调深入推动“一区两群”协调发展, 促进各区域发挥比较优势, 特色化发展。然而, 由于“行政区经济”的思维方式固化, 多级战略性区域依然存在生态环境风险与“行政区”管辖障碍, 难以实现区域整体产业与生态的协同可持续发展。故亟需树立以“全域”推动特定区域的思维, 建立跨流域、跨地域、跨政域的现代产业生态化实践体系<sup>[18]</sup>; 其次, 应密切关注“产业”作为经济系统核心的关键地位。面对传统粗放型产业导致能源短缺、污染过度等问题, 需通过产业技术革新和协同规划布局等方式从根源上进行生态化实践<sup>[9]</sup>, 以此形成资源集约、循环低碳的现代生态化产业体系, 故应同时关注产业发展的核心动力与实践基础对产业生态化的重要影响, 而非片面强调资源环境的集约, 方能更高效、可持续性地提升产业生态化进程。

基于此, 本文在现有研究成果<sup>[3,12]</sup>基础之上, 提出全域视角下产业生态化的概念, 即: 以产业为核心要义, 通过产业技术革新与产业规划布局, 提升资源能源的利用效率, 降低污染排放力度, 以最小生态资源负荷为前提, 实现产业经济与生态环境的协调可持续发展, 进而促进传统粗放式产业向集约型产业模式转型(图 1)。

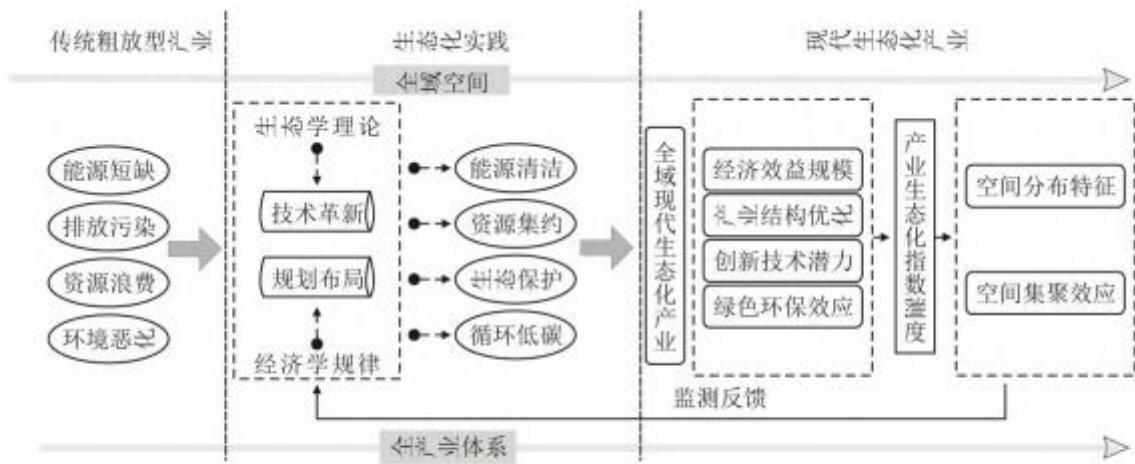


图 1 全域视角下产业生态化体系框架

Fig. 1 Framework of industrial ecologization system from a global perspective

### 2.2 指标体系构建

<sup>3</sup> ①限于县域数据的可获得性, 生态和科技方面部分指标数据暂且只能更新至 2018 年。

根据全域视角下的产业生态化概念可知，产业生态化的指标体系构建应考虑 4 个方面：一是紧扣产业发展与经济的关系，经济规模作为产业生态化投入的重要基础，可较大程度促进产业技术革新及产业结构的优化<sup>[2]</sup>；二是考虑产业结构的高级化、合理化，基于产业生态化中产业和生态系统的双维度性，其发展程度极易受到产业结构的影响<sup>[1]</sup>；三是重视生态化发展对创新能力的要求，技术创新作为产业生态化的重要驱动因素和实现清洁生产的关键手段<sup>[5]</sup>，可从根源上促进产业的低碳化、生态化发展；四是密切关注产业活动对生态系统的影响<sup>[2]</sup>，由于生态资源作为产业活动最重要的外部条件，需重视资源利用效率与污染排放力度。基于上述分析，结合重庆“一区两群”协调发展具体实践要求，将产业生态化水平通过规模水平、结构特征、创新能力和绿色效能 4 个方面进行表征。

规模水平方面不仅应考虑经济发展的总量，更应关注产业活动的质量与效率<sup>[3]</sup>，当前经济总量仍采用人均 GDP、第二产业增加值等物质财富的积累来反映<sup>[6]</sup>，产业效率方面一般采用全员劳动生产率进行表征；结构特征方面主要使用第二产业比重、第三产业比重反映产业结构的合理性与高级性，其中第三产业代表产业结构的演化趋势<sup>[16]</sup>；创新能力作为产业生态化的内生动力，其主要通过研发经费投入占比、研发人员密度、科研成果密度等指标刻画生态化发展的技术潜力<sup>[19]</sup>；绿色效能方面，由于产业活动的外部性对环境的影响主要通过能源集约和污染排放进行反映<sup>[5]</sup>，能源方面通常采用单位 GDP 能耗来反映，污染排放一般采用生产过程的“三废”等指标进行表征<sup>[1]</sup>。借鉴相关研究的指标构建思路<sup>[1,2,3,11,16]</sup>以及《长江经济带绿色高质量发展指数(2021)》《绿色发展指标体系》等权威实践指标体系，遵循系统性、科学性、代表性、可行性等原则，构建评价指标体系(表 1)。

表 1 全域视角下产业生态化指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	指标解释	指标属性
产业生态化水平	规模水平	X1:人均 GDP	元	反映产业总体规模水平	+
		X2:高新技术企业数	家	反映高技术产业规模水平	+
		X3:第二、三产业增加总额	万元	反映二三产业规模水平	+
		X4:全员劳动生产率	元/人年	反映产业生产效率	+
	结构特征	X5:第二产业比重	%	反映工业化发展程度	+
		X6:第三产业比重	%	反映产业结构高级化	+
	创新能力	X7:研发经费支出占 GDP 比重	%	反映产业创新投入力度	+
		X8:每百万人中 R& D 人员数	人	反映产业创新人力支撑水平	+
		X9:专利密度	件/万人	反映产业创新技术水平	+

		X10:高新技术产业产值占 GDP 比重	%	反映产业创新产出水平	+
绿色效能		X11:单位 GDP 能耗	t 标准煤/万元	反映产业发展的节能状况	-
		X12:单位 GDP 工业废水排放量	t/万元	反映产业发展的生态压力	-
		X13:单位 GDP 工业废气排放量	标立方米/元		-
		X14:单位 GDP 工业固体废物产生量	t/万元		-

注：全员劳动生产率用工业劳动生产率代替；高新技术产业产值用高新技术企业主营业务收入代替。

### 3 结果与分析

#### 3.1 产业生态化空间分布格局

##### 3.1.1 产业生态化指数测度

关于产业生态化指数的测度，借鉴张媛媛<sup>[2]</sup>关于产业生态化的因子分析法进行评价。依次采用最大阈值法和 z-score 标准化法对数据进行正向化和无量纲化处理，进行因子分析适用性检验，得到 KM0 值为 0.744>0.7，巴特利特球形检验统计量对应的 P 值为 0.000<0.05，说明适合做因子分析。根据变量相关系数矩阵，采用主成分方法提取公因子并计算其特征根和特征向量，前 4 个因子的累积方差贡献率为 81.992%，能够代表原始数据的大部分信息，故提取 4 个因子。

为获得更具可解释性的因子，采用方差最大法进行因子旋转，得到主因子 F1 对 X8、X7、X9、X3、X2、X1、X10 有较大载荷，主要反映产业创新动力与规模水平，可将其命名为“规模动力因子”；主因子 F2 对 X11、X14、X13 有较大载荷，主要反映污染排放与能耗水平，可将其命名为“节能减排因子”；主因子 F3 对 X5、X6 有较大载荷，可将其命名为“结构优化因子”；主因子 F4 对 X12、X4 有较大载荷，主要反映工业生产的废水排放强度与劳动生产效率，可将其命名为“产出效率因子”。运用回归法得到各因子得分，以方差贡献率为权重，计算因子综合得分 F，即产业生态化指数，各县域主因子与产业生态化指数得分排名分布如图 9。

##### 3.1.2 全域空间分布格局

结合测度结果，运用 ArcGIS10.5 对全域空间“一区两群”产业生态化指数进行可视化描述。采用自然断点法将结果划分为 5 个等级(图 2~图 6)<sup>④</sup>，并将各区域中县域得分求平均值得到区域的整体参考得分(表 2)。

(1)主城都市区产业生态化优势显著，渝东北城镇群发展动力不足

<sup>④</sup> ④由于本文分别针对不同年份的产业生态化水平进行测度，空间分布图重点观察某年份的空间异质性，具有空间相对性，故左右两图的绝对水平不具可比性。

根据表 2 可知, 2018 年重庆市主城都市区的产业生态化指数为 0.328, 显著高于渝东北城镇群(-0.426)与渝东南城镇群(-0.368)。从各因子得分来看, 主城都市区的规模动力因子平均得分为 0.719, 显著高于渝东北(-0.872)和渝东南城镇群(-0.919), 可见重庆市主城都市区的产业发展基础与产业发展创新动力较强, 而渝东北城镇群发展动力明显不足。统计数据显示, 城口、巫溪、巫山等地的人均 GDP、研发经费支出占 GDP 比重、每百万人中研发人员数等相对较低, 如城口的研发经费支出占 GDP 比重仅为 0.01%, 可见此类地区对于科技创新投入力度较弱, 应加大科技投入, 引进先进技术, 提升产业的创新能力。

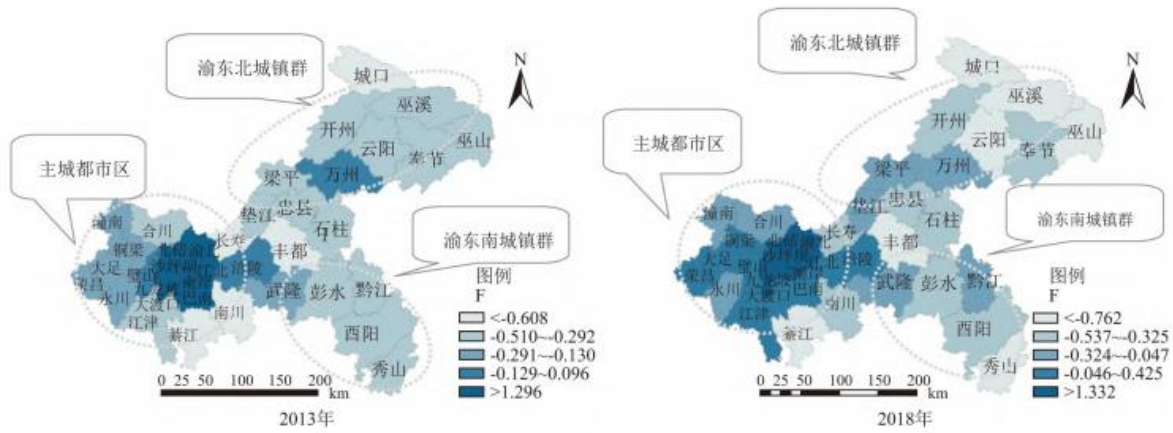


图 2 重庆产业生态化总指数  
Fig. 2 Chongqing industrial ecologization general index

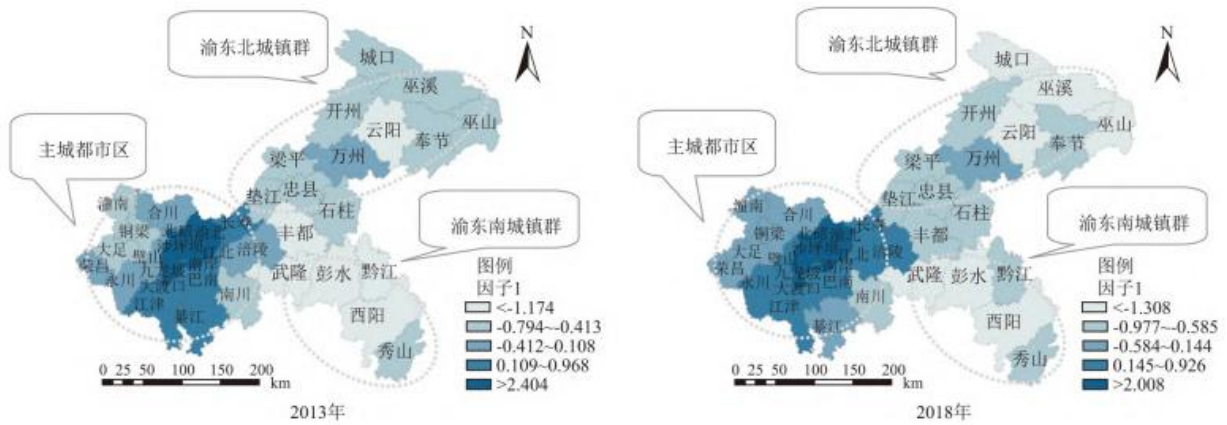


图 3 规模动力因子  
Fig. 3 Size dynamic factor

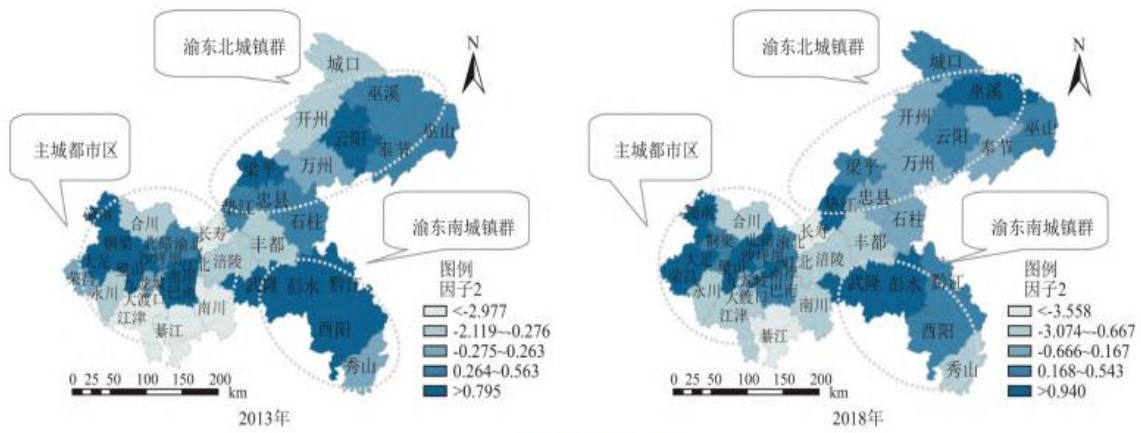


图 4 节能减排因子

Fig. 4 Energy saving and emission reduction factor

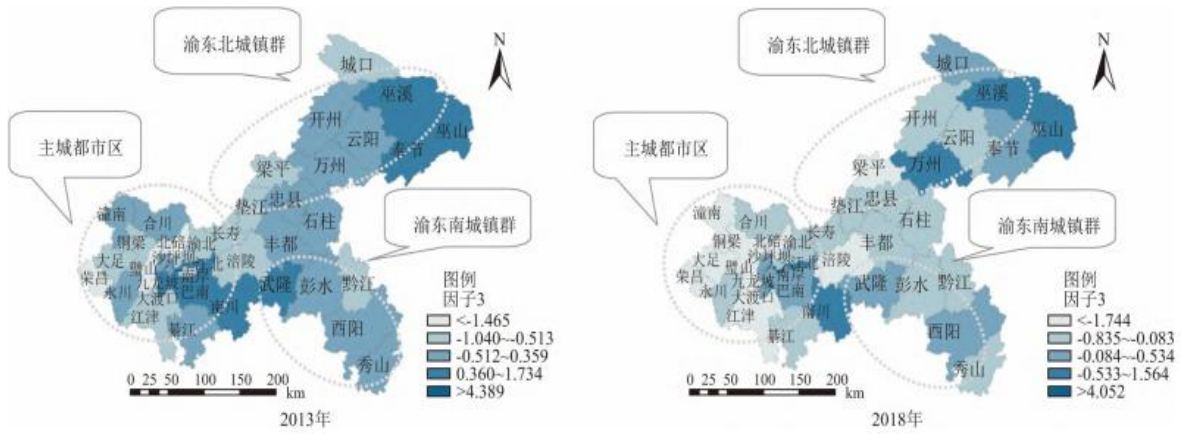


图 5 结构优化因子

Fig. 5 Structural optimization factor

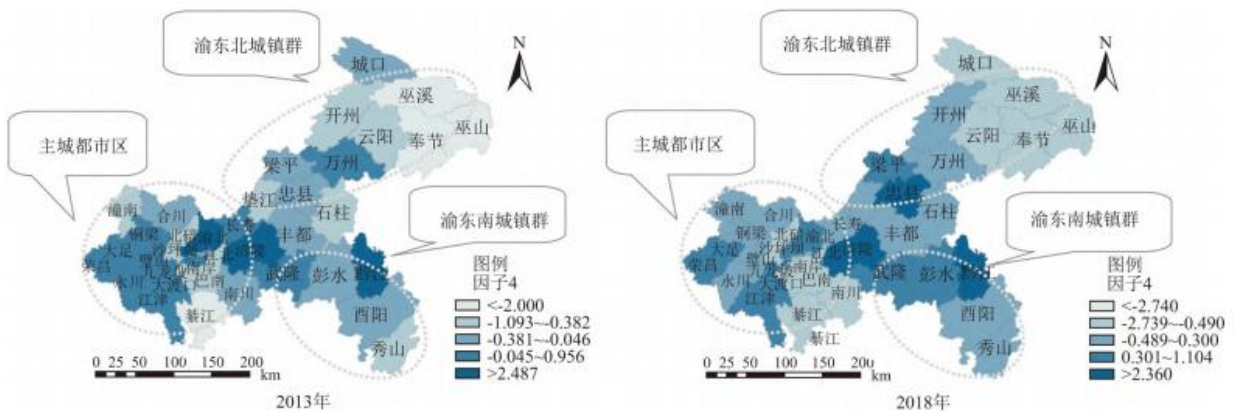


图 6 产出效率因子

Fig. 6 Output efficiency factor

(2) “两群”产业结构优化水平趋边缘化，产出效率呈阶梯型递减

从因子3得分来看(表2)，“一区两群”各区域产业结构优化因子平均得分大小为：渝东北>渝东南>主城都市区。从空间分布来看(图5)，主城都市区的产业结构优化水平相对集中，而“两群”逐渐趋边缘化，主城都市区的产业结构优化在中心城区更加凸显，而渝东北城镇群的层次性逐渐增强，渝东南城镇群中西阳产业结构优化成效相对明显。统计数据显示，渝东北地区的第三产业占比整体较高，如2018年万州的第三产业占比为57.32%，位于全市第8位。按照“配第-克拉克定理”，产业每向着“三二一”产业演化时，标志着产业结构走向合理化和高级化。此外，从产出效率因子得分的空间分布来看(图6)，主城都市区产业的产出效率分布相对分散，而“两群”地区则呈现出阶梯型递减特征。

表2 “一区两群”格局下的产业生态化指数<sup>⑤</sup>

区域	2013年					2018年				
	F1	F2	F3	F4	F	F1	F2	F3	F4	F
主城都市区	0.587	-0.261	-0.018	0.192	0.266	0.719	-0.137	-0.075	-0.053	0.328
渝东北城镇群	-0.650	0.208	0.082	-0.486	-0.334	-0.872	0.159	0.109	-0.192	-0.426
渝东南城镇群	-0.862	0.533	-0.089	0.221	-0.318	-0.919	0.189	0.062	0.536	-0.368

(3) “两群”区域产业生态化子系统呈现“短板效应”

<sup>5</sup> ①得分为负数表示得分位于全市平均水平以下。

从发展均衡性角度, 2018 年主城都市区的产业生态化各因子发展相对均衡(图 7), 其中规模动力因子(平均得分为 0.719)相对较强, 且优势较 2013 年更加突出, 但节能减排和结构优化方面整体均处于相对劣势; 渝东北和渝东南城镇群的各方面极不均衡, 2018 年, 渝东北的产出效率(-0.426)与规模动力因子(-0.192)相对较弱, 与 2013 年相比, 产出效率有了一定的提升, 但产业规模与产业创新能力相对减弱, 故应加大对于渝东北城镇群的科技创新投入力度, 促进产业绿色转型; 同时, 渝东南城镇群的规模动力具有明显劣势, 且与 2013 年相比, 节能减排方面优势有所减弱。

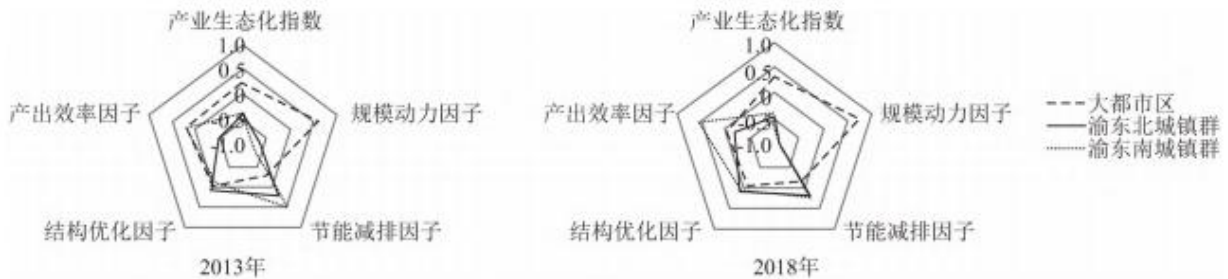


图 7 重庆市产业生态化均衡性特征  
Fig. 7 Balance of industrial ecologization in Chongqing

### 3.1.3 县域空间分布格局

#### (1) 产业生态化水平呈现显著“核心-边缘”分布特征

2018 年重庆产业生态化指数呈现显著差异(图 2), 主城九区的产业生态化指数明显较高, 其中最高的是江北区(1.332), 其次是渝北区(1.220), 全市产业生态化指数最低的是綦江(-0.762); 同时, 从空间分布来看, 产业生态化存在明显的集聚特征, 总体以主城九区为核心, 逐渐向周边地区递减。此外, 重庆市产业规模动力因子呈现明显“核心-边缘”分布(图 3)。且从规模动力因子与产业生态化指数的分布特征趋同性, 反映出产业生态化水平与规模动力因子的密切联系。

#### (2) 主城区外围县域产业节能减排环节相对薄弱

从空间分布格局来看(图 4), 重庆市节能减排水平分布不存在显著集聚特征, 2018 年璧山的节能减排因子得分最高(0.940), 而排名最末 10 位的县域中, 有 7 个县域均位于主城外围地区, 包括长寿、綦江、涪陵、南川、合川、江津和永川, 其中最低为长寿(-3.558)。可见, 主城外围县域的节能减排因子整体较弱。具体来看, 长寿、綦江、涪陵等地的单位 GDP 能耗相对较高, 如 2018 年长寿的单位 GDP 能耗全市最高(1.518 t 标准煤/万元)。究其原因, 重庆市省级及以上工业园区主要分布在长寿、涪陵、江津等地, 该 7 县域园区数量占全市 22.45%<sup>⑥</sup>。且从园区主导产业来看, 主城外围地区的园区涉及污染性较强的行业较多, 如钢铁、化工、钢铁冶金等对生态化发展造成一定阻碍。

#### (3) 产业结构优化整体呈现“东高-西低”态势

渝东北城镇群中巫山、万州、巫溪的结构优化因子得分相对较高, 分别位于全市第 3、4 和第 7 位(图 9), 此类县域均呈现出第二产业比重较低, 第三产业比重较高的特征。而分布在渝西方向的大足、潼南、铜梁的产业结构优化因子排名分别为 31、32 和 33, 产业结构优化因子得分相对较低。统计数据显示, 巫山第三产业占比在渝东北城镇群中最高(53%), 该类县域主要依靠旅游服务业发展。综上, 从空间分布特征来看(图 5), 尽管渝中等个别地区的产业结构优化因子较高, 整体来看重庆市产业结构优化

<sup>⑥</sup> ①资料来源:《中国开发区审核公告目录(2018 年版)》。

呈现“东高-西低”的特征。

### 3.1.4 空间格局演化趋势

#### (1) 主城地区产业生态化辐射效应显著

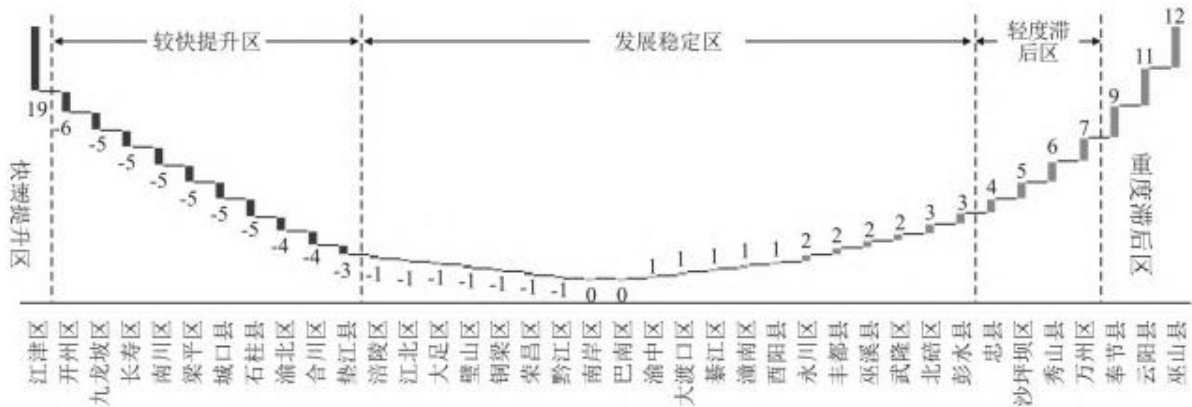
从图 2 可知, 主城周边县县的产业生态化水平整体提升, 且从排名情况来看(图 9), 2013~2018 年, 长寿、江津、合川等排名均有明显提升, 反映出主城的发展呈现出明显的辐射效应。随着 2016 年 4 月《国务院关于成渝城市群发展规划的批复》公布, 成渝地区的发展提升到重要战略层面, 极大促进了主城周边城市的发展。可见, 在此战略带动下, 成渝地区双城经济圈中县域发展会迎来发展红利, 而在“一区两群”发展战略下, 更应从整体布局, 通过经济圈中的县域带动周边县域, 以促进重庆全域空间协调发展。

#### (2) 全市规模动力与节能减排空间格局具相对稳健性, 工业产出效率差距逐渐缩短

2013~2018 年, 重庆市的产业规模动力因子与节能减排因子的空间分布格局具相对稳健性(图 3、图 4)。结构优化方面, 主城都市区中南岸、渝北、沙坪坝的结构优化因子显著提升, 其他地区排名相对稳定, 渝东南城镇群平均前进了 1.33 个位次。此外, 各县域重庆市工业产出效率差距逐渐减小, 反映出产业技术水平与生产效率的地区差异性降低, 从因子得分来看(表 2), 渝东南城镇群的平均得分(0.536)显著高于主城都市区(-0.053)和渝东北(-0.192), 同时从排名情况来看, 渝东南城镇群的各个地区排名整体提升, 尤其是石柱和彭水, 上升了 14 个位次, 可见其产业产出效率有了较大提高。

#### (3) 县域间产业生态化增长幅度存在较大差异

通过计算 2013~2018 年产业生态化指数排名增长量以反映各县域产业生态化发展相对变化情况(图 8), 结合 SPSS 统计软件采用系统聚类法对排名增加量进行聚类分析, 将 38 个县域划分为 5 种类型。其中, 江津为快速提升区, 2013~2018 年, 江津排名上升了 19 个名次, 可见江津的产业生态化发展速度迅猛; 较快提升区包括开州、九龙坡、长寿等 10 个县域, 此类地区产业生态化水平有明显提升, 从增长幅度较大的如九龙坡、长寿、南川等地可见主城都市区的发展动力与势头整体强劲; 重度滞后区包括巫山、云阳、奉节等地, 此类地区属于相对偏远地区, 产业基础积淀薄弱, 以巫山为例, 2018 年巫山的规模动力因子排名(38 位)(图 9)和生产效率因子(34 位)均较靠后, 极大制约了产业生态化发展。此外, 轻度滞后区中忠县、万州均属于渝东北城镇群, 可见, 渝东北城镇群的产业生态化水平整体发展较为缓慢。



注：图中数据表示 2013~2018 年产业生态化指数的排名增量，排名增量为负表示排名前移，即产业生态化水平相对提升。

图 8 重庆市各县域产业生态化增长类型

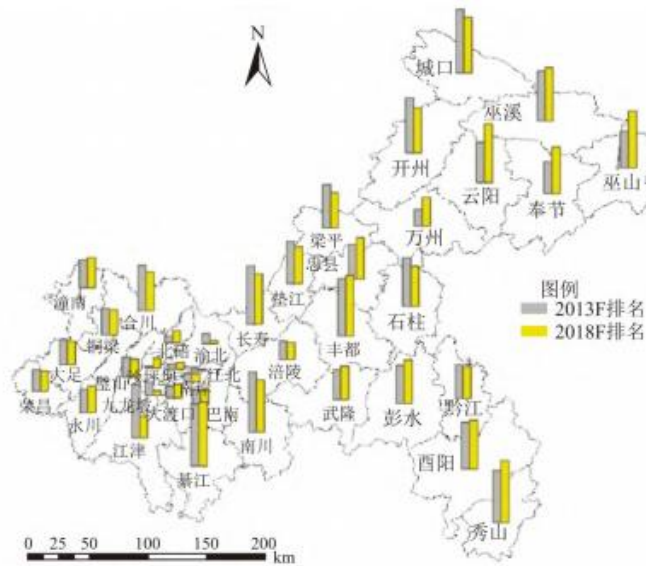
Fig. 8 Types of industrial ecologization growth in counties in Chongqing

注：图中数据表示 2013~2018 年产业生态化指数的排名增量，排名增量为负表示排名前移，即产业生态化水平相对提升。

### 3.2 产业生态化空间集聚效应

#### 3.2.1 全局空间自相关分析

运用 ArcGIS10.5 软件，采用全局 Moran' s I 指数计算 2013 和 2018 年重庆产业生态化的全局 Moran' s I 指数，并对 38 个县域单元的产业生态化指数进行全局空间自相关检验。



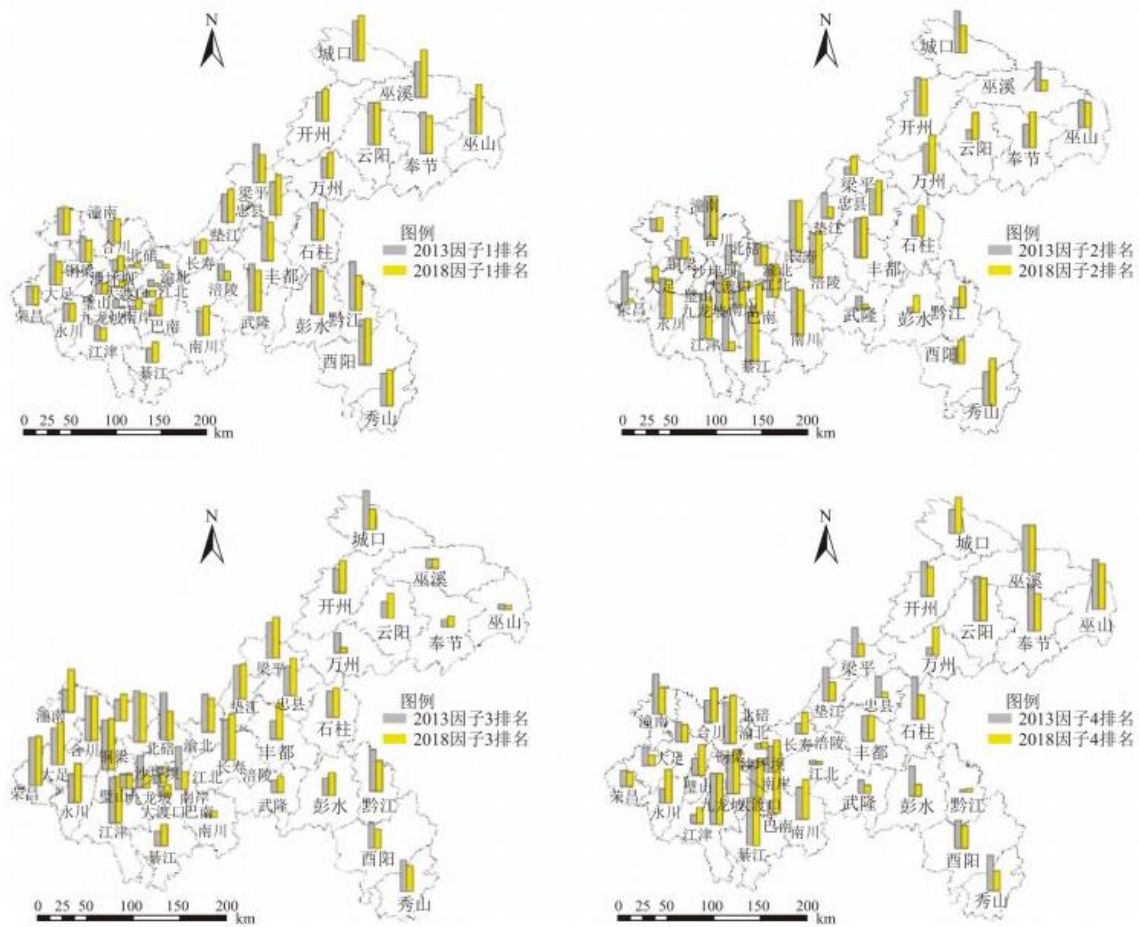


图9 产业生态化各因子排名

Fig. 9 Ranking of various factors of industrial ecologization

从产业生态化指数整体情况来看(表 3), 2013 和 2018 年的产业生态化指数(F)的 Moran' s I 指数均为正值, 且 P 值均为  $0.000 < 0.05$  的显著性水平, 表明产业生态化水平存在显著全局正向空间自相关性, 这意味着 2013 和 2018 年重庆市 38 个县域的产业生态化指数在空间上呈现出明显的集聚特征, 产业生态化水平高(低)的县域与其他产业生态化水平高(低)的县域在空间上相邻。

同时, 各子系统中 2013 和 2018 年的规模动力因子(F1)的 Moran' s I 指数分别为 0.624 和 0.759, 且 P 值均小于 0.05, 表明产业生态化规模动力因子具有显著的正向全局自相关性; 而节能减排因子(F2)、结构优化因子(F3)和产出效率因子(F4)的 P 值均大于显著性水平 0.05, 表明其不存在显著的空间依存关系。

此外, 从时间演化角度可看出, 重庆市产业生态化指数的全局 Moran' s I 指数由 2013 年的 0.527 增加至 2018 年的 0.592。这表明 2013~2018 年, 整体上重庆市县域的空间自相关性在逐渐增强, 反映出重庆市产业生态化水平的空间集聚效应呈现强化态势, 即县域的产业生态化发展受相邻地区的影响, 并形成显著的空间溢出效应。

### 3.2.2 局部空间自相关分析

利用 ArcGIS10.5 软件, 采用局部空间自相关方法对 2013 和 2018 年重庆市县域产业生态化指数进行空间 LISA 聚类效果分

析，探寻其局部集聚特征及其空间演化态势。

图 10 反映了重庆市局部空间自相关通过显著性水平为 0.05 的统计检验的地区，主要包括高-高(HH)、高-低(HL)、低-高(LH)和低-低(LL)四种集聚类型。

首先，从 2013 年的集聚效果来看(图 10)，重庆市少数县域呈现局部空间自相关，主要集聚类型为高-高(HH)集聚和低-低(LL)集聚。其中属于高-高(HH)集聚的县域有 8 个，主要分布在重庆市主城地区，具体包括渝中、江北、沙坪坝、九龙坡、南岸、北碚、渝北和巴南，表明此类地区具有显著的局部空间自相关性，且被高水平产业生态化地区所包围，产业生态化水平存在明显的空间溢出效应；低-低(LL)集聚的县域有 2 个，分别是位于渝东北城镇群的巫溪和渝东南城镇群的彭水，表明此类县域的产业生态化水平存在明显的空间自相关性，且被产业生态化低水平县域所包围。

其次，从 2018 年的集聚效果来看(图 10)，2018 年重庆市高-高(HH)集聚的地区共有 9 个，与 2013 年类似，仍主要集中在主城区，但相比 2013 年多了璧山一地，高-高集聚数量增加，可见主城都市区的产业生态化集聚效应正在逐步扩散，反映出以主城地区的辐射扩散能力不断增强；同 2013 年类似，不存在显著高-低(HL)集聚和低-高(LH)集聚的县域；属于低-低(LL)集聚的县域有 3 个，具体包括开州、巫溪和奉节，2018 年渝东南城镇群的空间集聚性均不显著，彭水逐渐脱离低-低集聚，相较于 2013 年局部空间自相关性有所减弱，这表明在 2013~2018 年间，渝东南城镇群的产业生态化水平有了一定程度的提升；而渝东北城镇群的低-低(LL)集聚则增加了开州和奉节，可见渝东北地区的产业生态化水平仍处于相对初级阶段。

表 3 产业生态化全局 Moran' s I 指数

年份	2013 年					2018 年				
	F1	F2	F3	F4	F	F1	F2	F3	F4	F
Moran' s I	0.624	0.141	0.048	0.080	0.527	0.759	0.045	0.143	0.114	0.592
P-value	0.000	0.095	0.410	0.230	0.000	0.000	0.460	0.076	0.172	0.000
Z-value	6.243	1.668	0.824	1.037	5.281	7.432	0.739	1.774	1.366	5.904

究其原因，自 2014 年 9 月，重庆市政府发布《重庆市城乡总体规划(2007-2020 年)》，并于重庆市城乡总体规划(2007-2020 年)2014 年深化成果新闻发布会上提出构建“一区两群”城镇空间格局以来，重庆市坚持把“一区”做大做强，把“两群”做特做优，以“一区”带动“两群”，促进各片区发挥优势、彰显特色、协同发展，重庆主城及周边县域产业生态化取得显著成效。以璧山为例，近年来，璧山对产业结构进行不断调整，在关闭粗放型企业的同时，用良好的城市生态环境吸引到装备制造、电子信息、食品医药等新兴产业入驻，极大促进了工业经济的快速发展与产业生态化水平的提升。统计数据显示，2018 年，璧山地区生产总值同比增长 10.6%，增速位居渝西片区之首。此外，与璧山毗邻的各县域产业生态化整体有较大提升，如江津、合川等地(图 10)，进一步佐证主城中心地区的空间辐射能力；渝东南城镇群内与彭水毗邻的县域中，除石柱以外(由 29 提升至 24 位)整体排名波动较小，产业生态化水平有了进一步提升，一定程度上抑制了低-低(LL)集聚的现象；而渝东北城镇群中，与开州和奉节毗邻的万州、云阳和巫山的产业生态化均显示出相对下滑趋势，可见渝东北城镇群的产业生态化发展相对滞后。

综上所述，重庆市主城都市区产业生态化集聚效应不断增强，“两群”区域的低-低集聚效应逐渐向渝东北城镇群的边缘地区演化。

### 3.3 产业生态化影响因素分析

#### 3.3.1 因子探测器(Factor detector)

利用因子探测器针对重庆市各县域产业生态化水平的 14 个影响因子的影响程度进行测算。各因子的解释力 q 值及排序如表 4 所示，可见各项因子对于产业生态化水平的解释能力存在较大差异，通过比较 q 值筛选出解释力较高的因子为单位 GDP 工业废气排放量(X13)、人均 GDP (X1)、第二、三产业增加总额(X3)、每百万人中 R&D 人员数(X8)、研发经费支出占 GDP 比重(X7), q 值分别为 0.813 7、0.800 0、0.669 7、0.664 5, 表明其对产业生态化水平的空间分异性解释能力相对较强，即就单因子而言，单位 GDP 工业废气排放量、人均 GDP、第二、三产业增加总额、每百万人中 R&D 人员数、研发经费支出占 GDP 比重这 5 项因子对产业生态化水平的影响程度亦相对较大。可见当前对于重庆市“筑牢长江上游地区重要生态屏障”重要定位而言，尤其是在碳中和背景下，重庆市的废气污染物排放应置于首要地位，且在稳定推进经济发展同时，更应当注重科技的投入力度，以支撑产业生态化的核心推动能力。同时，从表 4 可知，除 X4、X5、X11、X14 对于产业生态化水平的影响不显著(p>0.05)以外，其余因子均通过显著性检验，表明以上 4 项因子对于产业生态化的空间分布的影响较弱。

表 4 因子探测器输出结果 导出到 EXCEL

指标	q statistic	p value	q 排序
X1	0.800 0	0.000 0	2
X2	0.564 1	0.002 4	6
X3	0.669 7	0.000 0	3
X4	0.032 8	0.958 1	14
X5	0.263 6	0.174 3	12
X6	0.525 1	0.004 1	8
X7	0.574 7	0.000 0	5
X8	0.664 5	0.000 0	4
X9	0.545 9	0.002 4	7

X10	0.471 2	0.010 7	9
X11	0.245 7	0.258 4	13
X12	0.334 4	0.091 0	10
X13	0.813 7	0.000 0	1
X14	0.268 8	0.202 3	11

### 3.3.2 交互作用探测器(Interaction detector)

对因子探测结果中通过显著性检验的 10 项因子进行交互探测, 获得 45 对交互因子, 其中解释力前 10 项交互作用因子如表 5 所示, 结果显示重庆市产业生态化的交互作用因子的解释力均高于单项因子, 如第三产业比重 (X6) 的单因子解释力为 0.525 1, 研发经费支出占 GDP 比重 (X7) 的单因子解释力为 0.574 7, 而该两项因子的交互作用因子的解释力高达 0.970 3, 说明研发经费支出占 GDP 比重通过影响第三产业占比从而间接影响到产业生态化水平的空间格局。

表 5 交互作用解释力前 10 对交互因子 导出到 EXCEL

$X_i \cap X_j$	$q(X_i)$	$q(X_j)$	$q(X_i \cap X_j)$	交互类型	排序
$X6 \cap X7$	0.525 1	0.574 7	0.970 3	BE	1
$X2 \cap X13$	0.564 1	0.813 7	0.963 0	BE	2
$X3 \cap X13$	0.669 7	0.813 7	0.962 6	BE	3
$X1 \cap X6$	0.800 0	0.525 1	0.945 1	BE	4
$X8 \cap X13$	0.664 5	0.813 7	0.935 4	BE	5
$X1 \cap X12$	0.800 0	0.334 4	0.930 6	BE	6
$X6 \cap X13$	0.525 1	0.813 7	0.928 8	BE	7

X3∩X6	0.669 7	0.525 1	0.927 9	BE	8
X1∩X8	0.800 0	0.664 5	0.925 4	BE	9
X1∩X13	0.800 0	0.813 7	0.925 4	BE	10

注：表中  $q(X_i \cap X_j) > \max(q(X_i), q(X_j))$ , 表明因子交互作用为双因子增强 BE(bi-factor enhancement).

结合探测结果可知, 上述 45 对交互因子均为双因子增强, 并不存在相互独立或者非线性拮抗等情形, 表明产业生态化发展进程中, 各项因子之间相互作用, 形成协同交互合力推进产业生态化水平的提升。就前 10 位交互作用效果而言, 各项因子的交互作用解释力均高于 0.9, 可见重庆产业生态化系统中各项因子存在系统性, 应注重各项因子整体水平的提升, 避免短板效应。具体来看, 第三产业比重(X6)∩研发经费支出占 GDP 比重(X7)对于产业生态化水平的空间分布解释力最强, q 值高达 0.970 3, 紧接着依次为 X2∩X13、X3∩X13、X1∩X6。同时, 就每项因子与其他 9 项因子的交互综合作用而言, 单位 GDP 工业废气排放量(X13)的交互综合作用最强(合计 12.001 4), 紧接着依次为人均 GDP(合计 11.861 1)、第二、三产业增加总额(合计 11.421 1)、第三产业比重(合计 11.298 1)、研发经费支出占 GDP 比重(合计 11.266 7)。可见单位 GDP 工业废气排放量(X13)与多项因子存在较强的交互作用, 表明该因子能够较大程度上揭示产业生态化的发展水平。综上, 从因子交互综合作用角度, 仍能表明单位 GDP 工业废气排放量、人均 GDP、第二、三产业增加总额、第三产业比重、研发经费支出占 GDP 比重对于产业生态化水平具有较强影响。

## 4 结论与讨论

本文紧扣产业发展本质, 系统阐释全域现代产业生态化内涵, 从产业规模水平、结构特征、创新能力和绿色效能 4 个维度构建指标体系, 结合因子分析、ESDA 等模型系统揭示重庆产业生态化时空演化特征和空间关联性, 并运用地理探测器模型挖掘产业生态化的关键影响因素。主要研究结论如下:

(1) 从全域空间分布特征来看, 重庆主城都市区产业生态化优势显著, 而“两群”区域产业生态化存在“短板效应”, 且“两群”区域产业结构优化水平趋边缘化, 产出效率呈阶梯型递减分布。应充分发挥主城都市区的辐射带动能力, 实现产业在重庆市各区域间的逐级转移, 具体可通过加大对于“两群”地区在人才、资金和基建等方面的扶持力度, 强化其绿色科技水平, 提升“两群”地区的产业承接能力。同时, 制定相应政策引导“两群”地区充分利用其资源禀赋和生态环境优势, 发展独具特色的地方产业, 形成与主城都市区优势互补的特色产业体系;

(2) 从县域空间分布特征来看, 全市产业生态化水平呈现显著“核心-边缘”分布特征, 产业结构优化情况整体呈现“东高-西低”态势, 其中主城外围县域节能减排环节相对薄弱。主城外围县域的工业园区中涉及众多污染性较强的行业, 对节能减排方面造成较大阻碍, 针对主城外围工业重地, 在关注生产效率的同时, 更应注重技术层面的创新, 可充分运用能源替代、碳捕获等先进手段实现“降碳”, 在加快产业结构转型升级的同时, 构建高质低耗的循环生态发展模式;

(3) 从空间格局演化趋势来看, 整体上重庆市规模动力与节能减排空间格局具有相对稳健性, 工业产出效率差距逐渐缩短; 县域间产业生态化增长幅度存在较大差异, 主城地区产业生态化辐射效应显著。在成渝地区双城经济圈建设带动下, 重庆产业生态化发展取得显著成效, 但仍存在规模动力和节能减排等方面的不均衡性。重庆应结合“一区两群”发展格局, 从全域空间规划布局, 构建以“降碳、减污、扩绿、增长”为导向的全域现代生态产业体系, 并依托成渝地区双城经济圈重要发展战略, 积极参与成渝双城“联合降碳”, 从而以点带面、协同促进各县域的产业绿色低碳可持续发展;

(4)从空间集聚效应来看,横向维度:重庆产业生态化存在显著空间关联性,其中规模动力因子具有显著的正向全局自相关性;纵向维度:产业生态化空间集聚效应呈现强化态势,县域间形成显著的空间溢出效应。应充分发挥县域间的空间关联特性,通过构建重庆市“一区两群”协同发展动力机制,提升全域空间产业生态化水平。具体可全面对接国家战略,加快推进县域间铁路和公路的通道建设,从交通建设层面增强县域间产业联动。此外,加强“一区”和“两群”在各高校和科研院所等的合作,促进其科研基础设施、实验场所、关键技术和人力资源等方面的共享,实现区域间合作效应的非线性增强;

(5)从因子探测结果来看,影响重庆市产业生态化水平的主要驱动因素主要包括单位GDP工业废气排放量、人均GDP、第二、三产业增加总额、每百万人中R&D人员数、研发经费支出占GDP比重等,且第三产业比重与研发经费支出占GDP比重的交互作用对产业生态化水平呈现显著增强的解释能力。面对“十四五”碳达峰目标关键时期,重庆应牢固树立“生态优先绿色发展”理念,加大科技创新投入力度,加快推进绿色低碳的关键技术研发,切实控制工业污染排放,从技术层面推动产业经济的低碳发展和绿色转型。此外,由于重庆产业生态化系统内各项因子存在明显交互性特征,故还应注重各项因子的全面提升,避免短板效应。

本研究仍存不足之处,对于指标构建方面,仍具有优化空间,如产业结构层面,少数研究者采用产业结构偏离度、泰尔指数等全面反映产业结构高级化的指标,但受限于研究区——县域数据的可获得性,暂仅使用了第二产业占比和第三产业占比。同时由于指标体系中涉及部分科技企业微观数据,对于重庆市历年来产业生态化水平指标数据还需进一步搜集,因此,重庆市历年的产业生态化水平演化趋势以及“一区两群”协调发展格局下不同区域障碍因素将是下一步研究重点。

## 参考文献

- [1] 袁世一,李永武,陈维国,等.产业生态化与空间集聚效应研究——来自中国31个省、市、自治区的面板数据[J].管理评论,2020,32(6):72-81. YUAN S Y, LI Y W, CHEN W G, et al. Research on industrial ecology and spatial agglomeration effect: Panel data from 31 provinces, cities and autonomous regions in China [J]. Management Review, 2020, 32 (6):72-81.
- [2] 张媛媛,袁奋强,刘东皇,等.产业生态化水平的测度及其影响因素研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(10):2331-2339. ZHANG Y Y, YUAN F Q, LIU D H, et al. Measurement of industrial ecological level and its influencing factors [J]. Resources and Environment of the Yangtze River Basin, 2019, 28 (10):2331-2339.
- [3] 郭付友,佟连军,刘志刚,等.山东省产业生态化时空分异特征与影响因素——基于17地市时空面板数据[J].地理研究,2019,38(9):2226-2238. GUO F Y, TONG L J, LIU Z G, et al. Spatiotemporal differentiation characteristics and influencing factors of industrial ecology in Shandong Province: Based on spatiotemporal panel data of 17 cities [J]. Geographical Research, 2019, 38 (9):2226-2238.
- [4] SMITH R L, SENGUPTA D, TAKKELLAPATI S, et al. An industrial ecology approach to municipal solid waste management: Methodology [J]. Resources Conservation and Recycling, 2015, 104:311-316.
- [5] 张国俊,王钰晗,庄大昌.广州市产业结构生态化时空演变特征及驱动因素[J].地理研究,2018,37(6):1070-1086. ZHANG G J, WANG Y H, ZHUANG D C. Temporal and spatial evolution characteristics and driving factors of ecological industrial structure in Guangzhou [J]. Geographical Research, 2018, 37 (6):1070-1086.
- [6] 赵丹阳,佟连军,郭付友,等.基于结构调整视角的吉林省产业结构生态化发展[J].应用生态学报,2016,27(9):2933-2940. ZHAO D Y, TONG L J, GUO F Y, et al. Ecological development of industrial structure in Jilin Province from the perspective of structural adjustment [J]. Journal of Applied Ecology, 2016, 27 (9):2933-2940.

- 
- [7] HAUFF M V, WILDERER P. A. Industrial ecology: Engineered representation of sustainability[J]. Sustainability Science, 2008, 3(1):103-115.
- [8] FROSCHE R A, GALLOPOULOS N E. Strategies for Manufacturing[J]. Scientific American, 1989, 261(3):144-152.
- [9] ALLENBY B R. Achieving sustainable development through industrial ecology[J]. International Environmental Affairs, 1992, (4):56-58.
- [10] KORHONEN J, SNAKIN J P. Analysing the evolution of industrial ecosystem: Concepts and application. Ecological Economics, 2005, 52(2):169-186.
- [11] 王晶, 孔凡斌. 区域产业结构生态化效率评价研究: 以鄱阳湖生态经济区为例[J]. 经济地理, 2012, 32(12):101-107. WANG J, KONG F B. Evaluation of ecological efficiency of regional industrial structure: Taking Poyang Lake ecological economic zone as an example [J]. Economic Geography, 2012, 32 (12):101-107.
- [12] 秦曼, 刘阳, 程传周. 中国海洋产业生态化水平综合评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(9):102-111. QIN M, LIU Y, CHENG C Z. Comprehensive evaluation of the ecological level of China's marine industry [J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28 (9):102-111.
- [13] 刘传江, 吴晗晗, 胡威. 中国产业生态化转型的 IOOE 模型分析: 基于工业部门 2003-2012 年数据的实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(2):119-128. LIU C J, WU H H, HU W. Ioee model analysis of China's industrial ecological transformation: An empirical study based on industrial sector data from 2003 to 2012[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26 (2):119-128.
- [14] 颜建军, 徐雷, 李扬. 资源、环境双重约束下的湖南省产业生态化发展路径[J]. 经济地理, 2017, 37(6):183-189. YAN J J, XU L, LI Y. Development path of industrial ecology in Hunan province under the dual constraints of resources and environment[J]. Economic Geography, 2017, 37 (6):183-189.
- [15] 秦曼, 杜元伟. 海洋产业生态化关键因素识别[J]. 应用生态学报, 2017, 28(12):4092-4100. QIN M, DU Y W. Identification of key factors of marine industry ecology[J]. Journal of Applied Ecology, 2017, 28 (12):4092-4100.
- [16] 程钰, 李晓彤, 孙艺璇, 等. 我国沿海地区产业生态化演变与影响因素[J]. 经济地理, 2020, 40(9):133-144. CHENG Y, LI X T, SUN Y X, et al. Evolution and influencing factors of industrial ecology in China's coastal areas [J]. Economic Geography, 2020, 40 (9):133-144.
- [17] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1):116-134. WANG J F, XU C D. Geographic detector: Principle and prospect[J]. Geography, 2017, 72(1):116-134.
- [18] 罗胤晨, 李颖丽, 文传浩. 构建现代生态产业体系: 内涵厘定、逻辑框架与推进理路[J]. 南通大学学报(社会科学版), 2021, 37(3):130-140. LUO Y C, LI Y L, WEN C H. Constructing a modern ecological industry system: Determination of connotation, logical framework and promotion [J]. Journal of Nantong University (Social Science Edition), 2021, 37(3):130-140.

---

[19] 高红贵, 赵路. 长江经济带产业绿色发展水平测度及空间差异分析[J]. 科技进步与对策, 2019, 36(12):46-53. GAO H G, ZHAO L. Measurement and spatial difference analysis of industrial green development in the Yangtze River economic belt [J]. Science and Technology Progress and Countermeasures, 2019, 36(12):46-53.