三峡库区经济发展与生态环境的时空耦合特征

李 辉[1,2], 谭 淼[3], 姜 文[1,2], 何昌华[1,2]

(1. 重庆工商大学 融智学院, 重庆 401320; 2. 生态环境空间信息数据挖掘与大数据集成重庆市重点实验室, 重庆 401320; 3. 重庆工商大学 环境与资源学院, 重庆 400067)

摘 要: [目的] 研究经济发展与生态环境之间的关系,为长江经济带高质量发展和三峡库区经济与生态协调发展提供政策参考。[方法] 以三峡库区重庆段为研究区域,基于脱钩模型对 2006—2018 年经济与生态环境"脱钩状态"(分为绝对脱钩、相对脱钩、临界状态、耦合状态)进行判定。结合探索性空间数据分析(ESDA)法,运用 ArcGIS, OpenGeoDa 软件对脱钩状态相关数据进行空间差异及格局演化特征分析。[结果] 三峡库区重庆段整体的脱钩系数偏低,空间相关性较弱;在 2006—2010 年和 2014—2018 年脱钩系数主要表现出空间正相关,2010—2014 年期间主要表现出空间负相关;从局部空间自相关(LISA)图分析得出,研究区各区县之间的脱钩状态显著性较弱;研究区在 3 个研究时间段的脱钩状态呈现出显著的倒"V"型发展趋势。[结论] 2006—2018 年来,三峡库区经济发展与生态环境耦合特征波动较大,亟需进一步深入研究并制定相关整治措施。

关键词: 经济发展; 生态环境; 脱钩-ESDA 模型; 三峡库区

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2020)01-0243-07 **中图分类号**: K901

文献参数: 李辉, 谭淼, 姜文, 等. 三峡库区经济发展与生态环境的时空耦合特征[J]. 水土保持通报, 2020,40(1):243-249. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.035; Li Hui, Tan Miao, Jiang Wen, et al. Spatiotemporal characteristics of coupling economic development and ecological environment in Three Gorges reservoir area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020,40(1):243-249.

Spatiotemporal Characteristics of Coupling Economic Development and Ecological Environment in Three Gorges Reservoir Area

Li Hui[1,2], Tan Miao[3], Jiang Wen[1,2], He Changhua[1,2]

(1. *Rongzhi College of Chongqing Technology and Business University, Chongqing* 403120, *China*; 2. *Chongqing Key Laboratory of Spatial Data Mining and Big Data Integration for Ecology and Environment, Chongqing* 400067, *China*; 3. *College of Environment and Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing* 400067, *China*)

Abstract: [Objective] The relationship between economic development and the ecological environment was studied in order to provide a reference for high-quality development in the Yangtze River economic belt and coordinated development of the economy and ecology in the Three Gorges reservoir area. [Methods] Taking the Chongqing section of the Three Gorges reservoir area as a study area, the decoupling status of the economy (absolute decoupling, relative decoupling, critical, coupled) and the ecological environment from 2006 to 2018 was judged based on the decoupling model. After combining these data based on the exploratory spatial data analysis (ESDA) method, the spatial differences and pattern evolution characteristics of the decoupling data were analyzed using ArcGIS and OpenGeoDa. [Results] The overall decoupling coefficient of the Chongqing section of the Three Gorges reservoir area was low and the spatial correlation was weak. The decoupling coefficients showed mainly positive spatial correlation in 2006—2010 and 2014—2018 and showed negative spatial correlation from 2010—2014. Local indicators of spatial associaton (LISA) chart analysis showed that the significance was weaker, and the overall change showed significant inversion of the V-shaped development trend in the three time periods. [Conclusion] From 2006 to 2018, the coupling characteristics of

收稿日期: 2019-07-22 **修回日期**: 2019-08-30

资助项目: 2019 年重庆市社会科学规划项目"重庆三峡库区沿江工业用地格局生态风险评价及调控策略研究"(项目编号:2019QNGL29); 重庆市研究生创新型科研项目 (CYS19343), 2017 年长江上游经济研究中心招标项目(CJSYI-201707), 重庆市科学技术局项目(cstc2019jcyj-msxmX0707)

第一作者: 李辉(1989—),男(汉族),湖南省株洲市人,硕士,讲师,主要从事生态环境评价工作。Email:lh25941630@163.com。

economic development and the ecological environment in the Three Gorges reservoir area fluctuated greatly. Therefore, it is urgent to study this area further and formulate relevant regulation measures.

Keywords: economic development; ecological environment; decoupling-ESDA model; the Three Gorges reservoir area

人类活动与自然环境间持续的相互作用,导致了人类—自然耦合系统(coupled human and natural susterns,CHANS)的形成和发展[1]。中国粗放式的经济发展模式对生态环境的影响和压力更加明显,而资源短缺和生态环境恶化对经济发展的约束和限制作用也更加突出[2]。坚持可持续发展、实现生态文明建设也推向新高度,经济发展与生态环境的良性互动已达成社会共识。目前针对两系统之间耦合协调关系的研究主要是利用评价指标的建立以及定量计算模型来判定区域耦合协调发展状态,其主要集中在以下计算模型:借助物理学的容量耦合系数模型构的耦合协调模型[3],根据因子分析法的基本原理构建公因子模型[4],通过对效益系统的演化速度周期律体现耦合程度[5],基于脱钩模型对耦合协调发展状况的分析[6-7]。近年来,基于脱钩理论解释经济发展与生态环境之间的关系得到了学术界的广泛关注。例如,易平等将脱钩理论引入地质公园这一微观领域,分析其旅游经济增长与生态环境压力的脱钩发展状况及演化趋势[8];赵兴国、潘玉君等运用弹性分析改进的脱钩评价方法,构建了区域经济增长与资源生态环境压力脱钩程度的判定标准[9];赵菲菲基于脱钩理论,从战略空间角度对"新常态"下经济增长与生态环境协调发展进行研究分析[10]。现有研究大都从发展战略高度,社会发展状态角度对研究区的脱钩状态展开分析,而针对大流域特殊生态系统区域的脱钩状态的研究及对其进行空间分异及演化特征分析的研究成果却比较少见。

探索性空间数据分析技术(exploratory spatial data analysis, ESDA)以空间关联性测度(spatial association measures, SAMS)为核心,旨在描述与显示对象的空间分布,发现奇异观测值,揭示空间联系,簇聚以及其他一致性的空间模式[11]。从大量研究成果来看,该技术大多用于对区域经济、能源以及投入产出等单一类指标数据进行时空特征研究[12-14]。通过脱钩模型与探索性空间数据分析技术的结合将实现对脱钩数据的时空分析角度,拓宽 ESDA 的数据分析领域。

三峡库区作为中国地理上的一个独特地理名词,土地结构复杂,水土流失严重,生态脆弱敏感。同时,作为一个面积巨大的人造水库,无论在地方层面还是国家层面,均具有重要性、特殊性和典型性。三峡库区重庆段在整体库区的各指标数据占比上都具有相当大的优势,通过对重庆段进行经济与生态环境脱钩状态的研究,将对整个三峡库区的发展提供实践价值和理论意义。

基于以上分析,本文应用脱钩理论对大范围典型性研究区域经济与生态环境的脱钩状态进行分区分时的多角度分析,结合 ESDA 对各研究单位的脱钩系数加以分析,揭露各研究对象的时空分布以及脱钩状态所呈现出的发展差异以及时空格局变化趋势。研究结果对三峡库区(重庆段)经济发展与生态环境的耦合协调发展、整体区域可持续发展都具有极为重要的理论意义和参考价值。

1 研究区概况

三峡库区是指在三峡工程中因蓄水而受到水位影响的行政区域,位于长江中下游,介于北纬 28°52′—31°72′,东经 105°82′—111°66′。整个库区总面积约为 5.90×10^4 km^2,行政范围总共由 26 个区县组成,包括了重庆市所辖的 22 个区县以及湖北省所辖的 4 个区县。作为研究主体的三峡库区(重庆段)所辖区域的总面积约 46 134.77 km^2,占三峡库区总面积的 80.39%;国内生产总值在 2006,2010,2014 年及 2018 年分别占三峡库区 GDP 的 91.41%,94.54%,90.38%和 91.22%。亚热带季风气候是三峡库区的主要气候类型,每年各个地区的降水量几乎相同,总量在 1 000~1 800 mm 之间。在库区内水土流失严重,滑坡、泥石流、崩塌以及地震经常发生。随着三峡工程的修建,库区蓄水,从而改变了库区的气候环境,扩大了水域面积,减小了日夜温差[15-16]。

2 数据源与研究方法

2.1 数据来源及预处理

本文将 2006,2010,2014,2018 年四期的 Landsat TM 遥感影像作为基础数据,利用 Albers 投影对影像数据进行处理。其中,双标准纬线分别为东经 25°和北纬 47°,中央经线为东经 110°。Landsat TM 遥感影像数据 1—5 波段以及 7 波段的空间分辨率均为 30 m,其中 6 波段的空间分辨率为 120 m。各区县的评价指标数据均来自于《重庆市统计年鉴》、《重庆市水资源公报》以及卫星遥感影像的土地利用现状分类数据等。

为确保数据的可比性,将各年的 GDP 数据均修正为 2006 年的不变价。并将生态环境中的各指标数据进行无量纲化处理,标准化公式如下。

$$d_i=\frac{x_i-x_i^s}{x_i^h-x_i^s}\quad(\text{正向指标})\tag{1}$$

$$d_i=\frac{x_i-x_i^h}{x_i^s-x_i^h}\quad(\text{负向指标})\tag{2}$$

式中:d_i 为项评价指标的标准化值;x_i 为各项指标值;x_i^s 为在各项指标的最小值;x_i^h 为在各项指标最大值。

2.2　脱钩评价指标体系

本研究在参考大量文献资料的基础上,同时结合研究区特色和文章研究内容,建立了以科学性、系统性、综合性、层次性和可获得性为原则的评价指标[12,17]。构建了适用于研究三峡库区重庆段经济发展水平与生态环境脱钩状态的指标体系。本文将区域生产总值作为表现经济发展水平的数据,生态环境(评价指标选取结合了权威专家研究成果和研究区实际情况)分为资源指数、环境污染指数以及环境容量指数 3 个层面。利用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)来获取经济发展水平与生态环境脱钩状态评价指标体系中各指标数据的权重(见表 1)。

表 1　脱钩状态评价指标体系[18]

目标层	评价系统	指标意义	具体指标	指标性质	权重
经济发展与生态环境脱钩状态评价	经济发展	区域生产总值	GDP	正向	1
	生态环境	资源指数	森林覆盖率	正向	0.14
			水土协调度①	正向	0.13
		环境污染指数	农田面源污染强度	负向	0.15
			工业污染物排放强度	负向	0.15
		环境容量指数	人口自然增长率	负向	0.13
			人均水资源量	正向	0.15
			人均耕地面积	正向	0.15

注:①水土协调度是指某地单位区域内水资源与土地资源的协调情况。

2.3　脱钩模型

2.3.1　*脱钩状态评价方法*　生态环境指数(eco-environmental index, EEI)用以综合反映生态环境状况,其值越高,表明区域生态环境质量越好,反之亦然,生态环境指数计算公式如下[18]:

$$\mathrm{EEI}=\frac{\sum_{i=1}^{n}X_i}{n}\tag{3}$$

式中:EEI 为生态环境指数;$X_i(i=1,2,\cdots,n)$为生态环境评价指标数据经过标准化处理以后的值。

用生态环境指数 EEI 的变化率除以经济发展水平 E 的变化率来表示生态环境指数对经济发展水平变化的响应弹性/程度,即生态环境与经济发展水平的脱钩状态,基于弹性系数分析改进的脱钩评价模型为:

$$\varepsilon_{t_k}=\frac{\Delta\mathrm{EEI}_{t_k}}{\Delta E_{t_k}}=\frac{(\mathrm{EEI}_{t_{ke}}-\mathrm{EEI}_{t_{ks}})/\mathrm{EEI}_{t_{ks}}}{(E_{t_{ke}}-E_{t_{ks}})/E_{t_{ks}}}\tag{4}$$

式中:ε_{t_k} 为第 t_k 时期的脱钩指数;$\Delta\mathrm{EEI}_{t_k}$ 为第 t_k 时期生态环境指数的变化率;$\Delta\mathrm{EEI}_{t_{ks}}$,$\Delta\mathrm{EEI}_{t_{ke}}$ 为第 t_k 时期始年和末年的生态环境指数;ΔE_{t_k} 为第 t_k 时期经济发展水平的变化率;$E_{t_{ks}}$,$E_{t_{ke}}$ 为第 t_k 时期始年和末年的经济发展水平(用区域生产总值表示)。

2.3.2　*脱钩状态评定标准*　本文以脱钩系数取值范围为依据,将脱钩状态分为绝对脱钩、相对脱钩、临界状态以及耦合 4 大类,为了避免变量的细微变化而导致对数据的过大解释,将脱钩系数的区间分类加以细化,以 0.25 为一个跨度,增加了相对脱钩中的 4 种程度区分标准以及将耦合细化为 5 个层次[19]。

2.4　探索性空间数据分析法(ESDA)

以三峡库区(重庆段)2006—2018 年各区县经济发展与生态环境脱钩系数为基础,为了进一步评价脱钩系数的空间分布特征,运用探索性空间分析法对其空间相关性以及空间依赖性等进行更加全面的分析。

2.4.1　*全局空间自相关*　全局空间自相关主要反映了研究值在整个研究区域内空间关联及差异的总体趋势,广泛采用的度量指数为 Global Moran's I 指数,其取值范围常介于 −1 到 1 之间。当 Moran's I 指数为正,则表示研究值在空间上显著集聚,系数越大,总体空间差异越小。相反,当 Moran's I 系数为负,则表示研究值在空间上显著差异,值越趋近于 −1,总体空间差异越大。当 Moran's I 系数为 0 时则表示空间不相关。其计算公式为:

$$I=\frac{N}{S_0}\times\frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}w_{ij}(X_i-\overline{X})(X_j-\overline{X})}{\sum_{j=1}^{N}(X_i-\overline{X})^2}\tag{5}$$

式中:$i\neq j$,N 为研究对象总数;X_i 为第 i 个区域的观测值;$\overline{X}$ 为 X_i 的均值,$S_0=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}w_{ij}$,$w_{ij}$ 为研究对象 i 和 j 之间的空间权重矩阵,若两区域空间相邻则 w_{ij} 为 1,反之,w_{ij} 为 0。本文通过 z 检验方式对 Moran's I 系数进行统计检验,其公式为:$z(I)=\frac{I-E(I)}{\sqrt{\mathrm{var}(I)}}$,其中 E

(I)为数学期望值,即 $-1/(N-1)$;为 Moran's I 系数的方差。若 Moran's I 指数的正态统计量z 值大于正态分布函数在 0.05 水平下的临界值1.96,则表示研究值在整体上呈现出显著的空间正向相关性(见表 2)。

表 2 脱钩状态评定标准

脱钩状态		ΔEEI	ΔE	ε	说 明
绝对脱钩(经济发展水平与生态环境状态完全不协调)		<0	>0	<0	经济增长较快,生态环境指数不断降低,可持续性弱
相对脱钩(经济发展水平与生态环境状态基本不协调)	Ⅰ	>0	>0	0—0.25	生态环境指数随着经济增长逐年上升,但经济增长快于生态环境增长率,可持续性较弱
	Ⅱ	>0	>0	0.25—0.5	
	Ⅲ	>0	>0	0.5—0.75	
	Ⅳ	>0	>0	0.75—1	
临界状态(经济发展水平与生态环境状态临界)		>0	>0	=1	经济增长速率等于生态环境指数增长速率,处于临界状态
耦合状态(经济发展水平与生态环境状态相协调)	Ⅰ	>0	>0	1—1.25	生态环境指数增长快于经济增长,处于耦合状态;脱钩指数越大表示生态环境指数越大,可持续性强
	Ⅱ	>0	>0	1.25—1.5	
	Ⅲ	>0	>0	1.5—1.75	
	Ⅳ	>0	>0	1.75—2	
	Ⅴ	>0	>0	>2	

2.4.2 *局部空间自相关* 局部空间自相关主要避免了全局空间自相关分析中忽略的局部区域的空间相关性,揭示了个体区域与其相邻区域间在空间上的相似及差异。本文采用 Local Moran's I 指数对研究区域之间的空间异质性,其公式如下:

$$I_i = Z_i \sum_{i=1}^{n} W_{ij} Z_j \tag{6}$$

式中:Z_i,Z_j 分别为研究区域 i 和 j 标准化后的值;W_{ij} 为空间权重。

2.4.3 Getis-Ord G_i^* 分析 本文通过计算得出各区域生态环境指数和 GDP 的高值簇与低值簇,即热点区与冷点区的空间分布,利用 Getis-Ord G_i^* 揭露三峡库区重庆段生态环境和经济发展局部空间自相关的特征,其计算公式为:

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^{n} W_{ij}(d) X_j}{\sum_{j=1}^{n} X_j} \tag{7}$$

为了便于比较和分析,本文对 $E(G_i^*)$ 进行标准化处理,即:

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\mathrm{var}(G_i^*)}} \tag{8}$$

式中:$E(G_i^*)$,$\mathrm{var}(G_i^*)$分别为 G_i^* 的数学期望值和变异系数;$W_{ij}(d)$为空间权重。若 $Z(G_i^*)$为正且显著,表示研究区域 i 周边的值高于均值,属于热点区;反之,为负且显著,则表明研究区域 i 周围的值较低,属于冷点区。

3 结果与分析

3.1 研究区脱钩状态时空特征

根据脱钩模型计算结果以及脱钩状态评判标准,可以得出,三峡库区重庆段生态环境与经济增长的脱钩主要类型包括:绝对脱钩(即环境指数增长<0,经济增长>0,增长弹性 ε<0),相对脱钩Ⅰ型(即环境指数增长>0,经济增长>0,增长弹性 0≤ε<0.25),相对脱钩Ⅱ型(即环境指数增长>0,经济增长>0,增长弹性 0.25≤ε<0.5)、相对脱钩Ⅲ型(即环境指数增长>0,经济增长>0,增长弹性 0.5≤ε<0.75)(见表 3)。

表 3 脱钩系数计算结果

脱钩状态		区域数量及占分析样本比例		
		2006—2010 年	2010—2014 年	2014—2018 年
绝对脱钩		18 个/81.82%	3 个/13.64%	10 个/45.45%
相对脱钩	Ⅰ	4 个/18.18%	14 个/63.63%	11 个/50%
	Ⅱ	—	4 个/18.18%	1 个/4.55%
	Ⅲ	—	1 个/4.55%	—
	Ⅳ	—	—	—
临界状态		—	—	—
耦 合		—	—	—

从表 3 可知,2006—2010 年期间,脱钩类型仅有绝对脱钩和相对脱钩Ⅰ两种类型,分别占研究样本的 81.82%和 18.18%,因此,绝对脱钩类型为该时期主要脱钩状态。2010—2014 年期间,脱钩类型呈现出多元化,主要有绝对脱钩、相对脱钩(Ⅰ)、相对脱钩(Ⅱ)、相对脱钩(Ⅲ),分别达到 13.64%,63.63%,18.18%,4.55%。2014—2018 年期间期,脱钩状态呈现出 3 种类型,绝对脱钩、相对脱钩(Ⅰ)、相对脱钩(Ⅱ)分别达到 45.45%,50%和 4.55%。三峡库区重庆段经济与生态环境间的脱钩类型在城市数量及空间变化趋势随不同发展阶段呈多样化发展趋势。

将三峡库区重庆段分为 3 大部分进行空间上的脱钩状态分析,库尾(即江津区、巴南区、九龙坡区、大渡口区、南岸区、江北区、沙坪坝区、北碚区、渝北区、长寿区)、库腹Ⅰ(即涪陵区、武隆县、丰都县、石柱县、忠县、万州区)、库腹Ⅱ(即开县、云阳县、奉节县、巫山

县、巫溪县)。根据脱钩状态分析结果(见图 1)可以看出,2006—2010 年期间的脱钩状态最弱,整个区域主要呈现出绝对脱钩的状态,2010—2014 年期间的脱钩类型发生了明显的变化,绝对脱钩类型显著减少,绝大部分地区的脱钩状态上升为相对脱钩Ⅰ型,其中,库腹Ⅱ的变化最为突出,云阳县更是从绝对脱钩上升到了相对脱钩Ⅲ。2014—2018 年期间脱钩类型整体又呈现出衰退的趋势,库腹Ⅰ的变化趋势相对稳定,波动相对较小;库腹Ⅱ的脱钩状态极具下降,各个区域都下降为了 2006—2010 年期间的绝对脱钩状态,呈现出显著的倒"V"型变化模式;库尾区的脱钩状态也有所下降,脱钩类型数量也从 3 类降至 2 类。

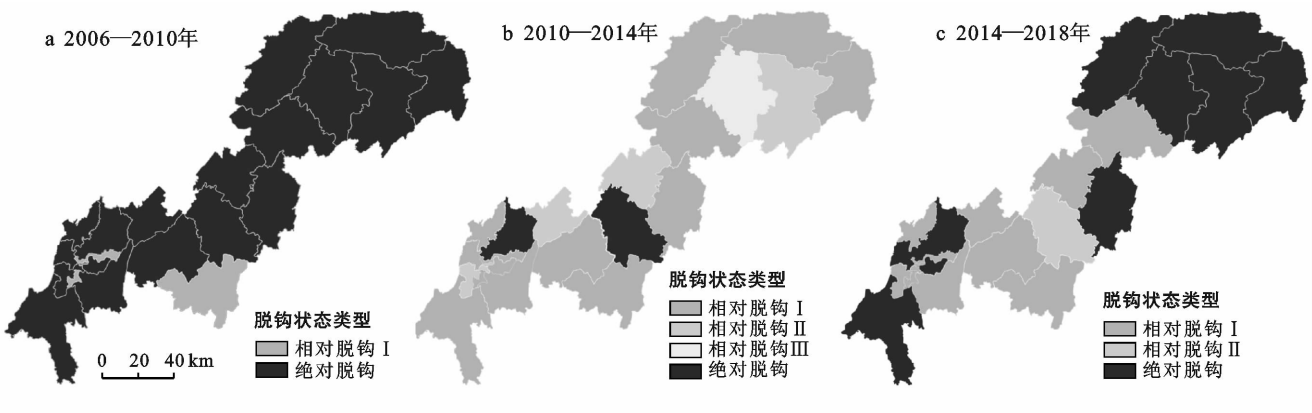


图 1　2006－2010,2010－2014,2014－2018 年脱钩状态类型分布

3.2　基于 ESDA 模型的脱钩系数时空特征分析

3.2.1　*总体差异分析*　通过 OpenGeoDa 软件计算得出 2006—2018 年三峡库区重庆段生态环境指数与经济增长脱钩关系(ε)的全局自相关系数(Global Moran's I),并运用 z 值法对空间自相关的显著性进行检验,结果如表 4 所示。

表 4　三峡库区重庆段不同发展阶段生态环境指数与经济增长脱钩关系统计变量

统计变量	2006—2010 年	2010—2014 年	2014—2018 年
Moran's I	0.10	−0.01	0.28
Z	0.33	0.09	0.84
P	0.01 级别,相关性显著		

依据结果分析,三峡库区重庆段的生态环境指数与经济增长脱钩关系的空间自相关 Moran's I 指数在 3 个时间段分别为 0.10,−0.01,0.28。这表明 2006—2010 年及 2014—2018 年的两个时间段里,三峡库区重庆段生态环境与经济增长间的脱钩状态存在正的空间自相关特性,即脱钩状态越高的区县趋于相邻,脱钩状态越低的区县趋于相邻。2010—2014 年阶段,Moran's I 指数呈现为负相关的分散状态。Moran's I 指数从 2006—2010 年的 0.10 下降到 2010—2014 年的−0.01,说明脱钩状态总体空间差异呈现增高的趋势,脱钩状态出现区域上的发展不平衡现象。在 2014—2018 年期间,Moran's I 指数增长到了 0.28,说明脱钩状态相似的区县在空间上的分布相对集中,发展状态相对平衡,区域差异相对减弱。但从整体而言,Moran's I 指数整体都偏低,脱钩关系在空间上的集聚性是较弱的,并且呈现出了先降后增的"V"型发展趋势。

3.2.2　*局部差异分析*

(1) Moran 散点图。Local Moran's I 指数主要反映局部区域生态环境与经济发展脱钩系数的内部发展状态及空间特征。本文通过 Moran 散点图更直观地分析三峡库区重庆段脱钩系数的局部空间特征关系(如图 2 所示)。图 2 中的 4 个象限按其性质分别为"高－高"(第一象限)表示区域自身和周边地区的脱钩状态都较高;"低－高"(第二象限)表示区域自身脱钩状态较低而周边地区脱钩状态较高;"低－低"(第三象限)表示区域自身和周边地区的脱钩状态均较低,"高－低"(第四象限)表示区域自身脱钩状态较高而周边地区脱钩状态水平较低。其中,第一、三象限表示为正的空间自相关即均质性突出,第二、四象限标识为负的空间自相关即异质性突出。

由图 2 可知:①2006—2010 年脱钩系数散点落入第一象限的有 8 个,占 36.00%,落入第三象限的有 7 个,占 32.00%,合计空间正相关区县占 68.00%;②2014—2018 年脱钩系数散点落入位置大致跟 2006—2010 年保持一致。2006—2010,2014—2018 年脱钩系数散点图表明三峡库区重庆段各区县脱钩差异具有显著的空间自相关,脱钩系数相近的区县在空间上呈集聚分布态势;③2010—2014 年脱钩系数散点图第一、三象限散落点明显下降,减少了 5 和 2

个，但第二、四象限的散点个数分别增加到 8 个和 6 个，表明该阶段主要表现为负的空间相关关系。导致上述脱钩系数散点分布结果的原因主要有两个，一是三峡库区重庆段地区环境和经济发展背景差异较大，如两翼地区和都市区；二是地区功能区空间差异政策的实施。

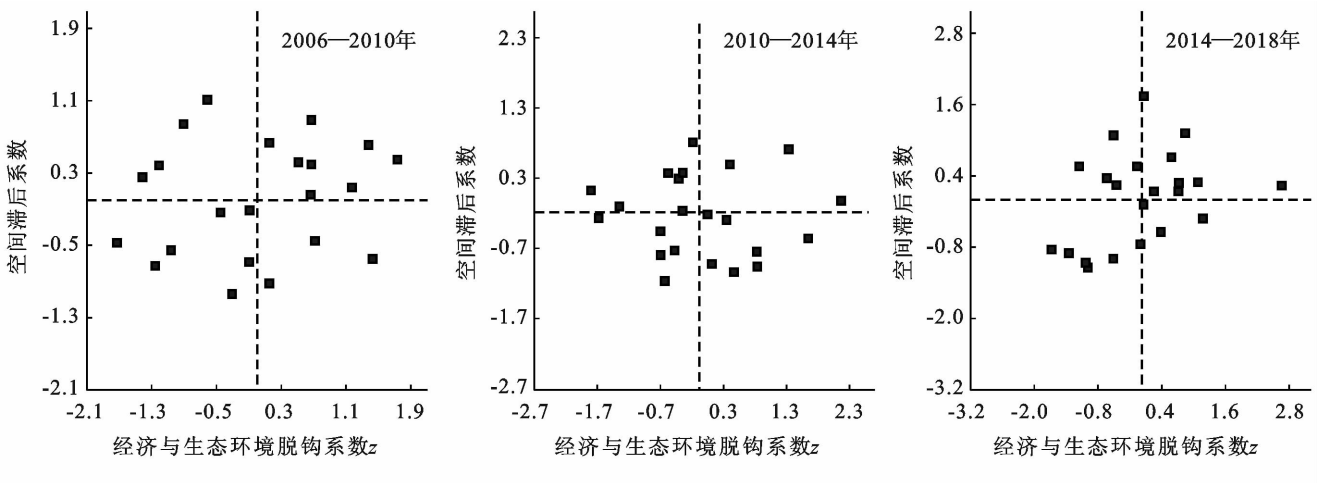


图 2 2006－2010，2010－2014，2014－2018 年研究区脱钩系数散点分布

（2）LISA 集聚图。LISA 是衡量空间单元属性与周围单元的相近（正相关）和相异（负相关）程度及其显著性的指标。根据公式利用 OpenGeoDa 软件计算三峡库区重庆段不同年份的脱钩系数的 LISA 值，在 z 检验的基础上（$p<0.05$），绘制出 2006—2010，2010—2014，2014—2018 年 LISA 集聚图（图 3）。

由图 3 可以看出：①2010—2014 年“高高”类型的区县为沙坪坝区，说明该区域脱钩积聚性较强，与周边区域的联系更加紧密；“低低”类型的区县为巫溪县和云阳县，说明这些区域的脱钩系数较低，且积聚性弱；“低高”类型的区县为南岸区，说明南岸区与周围的发展联系较为紧密，但是脱钩系数比周边区域低；“高低”类型的区县为万州区，说明此区域与周围区域的联系较弱，但比周围区域的脱钩系数高。②2010—2014 年“高高”类型的区县为奉节县，“低低”类型的区县为江北区，“低高”类型的区县为巫溪县。相较与 2010—2014 年期间，从类型以及区域个数上来看，都有所减小。③2014—2018 年“高高”类型的区县为涪陵区和武隆县，“低低”类型的区县为开县、巫溪县、云阳县、奉节县，“低高”类型的区县为石柱县，相较于 2006—2010 年以及 2010—2014 年，不显著区域的数量明显减少。

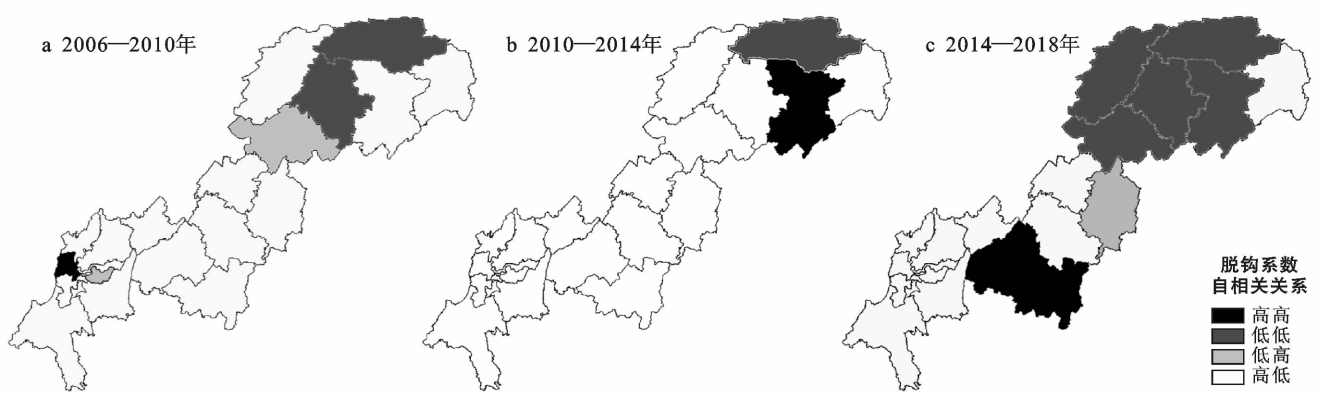


图 3 2006－2018 年脱钩系数 LISA 集聚状况

4 讨论与结论

4.1 讨 论

区域的科学发展与可持续发展是以一个极其复杂的大系统作为研究对象，经济发展与生态环境间的关系也错综复杂，相关研究建立的评价体系都很难做到系统性和全面性，目前学术界对评价指标体系的建立以及脱钩等级的划分也没有形成明确的界定。本研究综合改良脱钩模型，ESDA 模型，LISA 集聚图等评价模型和研究方法揭示了三峡库区近 10 多 a 来经

济发展与生态环境环境质量的耦合关系,研究结构表明该模型能够有效刻画三峡库区生态环境与经济发展的耦合关系,对客观规律的和变化现象的挖掘上有一定的积极意义。但仍存在一定的不足,如由于精力有限,未深入分析研究影响经济发展和生态环境状况二者脱钩耦合关系的主导因素和内在作用机理,拟在后期的研究中深入研究。

4.2 结 论

本文通过脱钩模型实现对经济发展与生态环境协调发展程度的量化,并结合了探索性空间数据分析法(ESDA)对脱钩系数进行时空上的多方面分析,从空间相关性的层面揭露其脱钩状态在各个研究单元间的相互联系。实现了对于多个研究区域间脱钩耦合状态的空间分布、空间联系、空间簇聚、空间异质等的多角度分析。

(1) 总体差异分析表明,研究区各区县在不同的研究时间段的脱钩关系在空间上表现出较弱相关性,从发展时间段上分析,2014—2018 年期间研究区各区县脱钩关系在空间相关性相对较强,高于 2006—2010 年期间的 Moran's I 指数,但在 2010—2014 年期间,空间上呈现出负相关的分散状态。

(2) 从散点图的角度分析得到,2006—2010 年和 2014—2018 年主要表现出空间正相关,但 2010—2014 年期间与之相反,64%的区县都表现出空间负相关。按照 LISA 集聚图,三峡库区重庆段的大部分区县与周围区县呈现出不显著现象,“高高”、“低低”、“高低”、“低高”在空间分布上的差异较大,其中“低低”类型在 2014—2018 年期间数量上有显著增大。

(3) 根据脱钩状态的分类标准及空间布局可以看出,各个区县的脱钩状态变化较大,大多数区县的变动情况并不稳定。2010—2014 年期间经济与生态环境的脱钩状态最好,其次是 2014—2018 年和 2010—2014 年,总体变化呈现出显著的倒“V”型发展趋势。

(4) 从整个研究区经济发展与生态环境耦合关系来看,二者的耦合关系整体水平不高,且不同区域间耦合关系在空间上的分异特征较为明显,需加强区域间的协调发展,尤其是在推动长江经济带高质量发展和生态绿色发展和环境保护的大背景下,亟需进一步加强生态经济的推广和生态环境状况的监测和保护力度。

[参 考 文 献]

[1] 陈莹,吴秀兰.土地集约利用与生态效率的耦合协调发展研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(5):1025-1035.

[2] 姜磊,柏玲,吴玉鸣.中国省域经济、资源与环境协调分析:兼论三系统耦合公式及其扩展形式[J].自然资源学报,2017,32(5):788-799.

[3] 刘浩,张毅,郑文升.城市土地集约利用与区域城市化的时空耦合协调发展评价:以环渤海地区城市为例[J].地理研究,2011,30(10):1805-1817.

[4] 韩德军,朱道林.贵州省土地利用与区域经济耦合关系分析[J].农业工程学报,2012,28(15):1-8.

[5] 曹堪宏,朱宏伟.基于耦合关系的土地利用效益评价:以广州和深圳为例[J].中国农村经济,2010(8):58-66,79.

[6] 白忠菊,藏波,杨庆媛.基于脱钩理论的城市扩张速度与经济发展的时空耦合研究:以重庆市为例[J].经济地理,2013,33(8):52-60.

[7] 盖美,胡杭爱,柯丽娜.长江三角洲地区资源环境与经济增长脱钩分析[J].自然资源学报,2013,28(2):185-198.

[8] 易平,方世明,马春艳.地质公园旅游经济增长与生态环境压力脱钩评价:以嵩山世界地质公园为例[J].自然资源学报,2014,29(8):1282-1296.

[9] 赵兴国,潘玉君,赵庆由,等.科学发展视角下区域经济增长与资源环境压力的脱钩分析:以云南省为例[J].经济地理,2011,31(7):1196-1201.

[10] 江孝君,杨青山,耿清格,等.长江经济带生态—经济—社会系统协调发展时空分异及驱动机制[J].长江流域资源与环境,2019,28(3):493-504.

[11] 李丁,冶小梅,汪胜兰,等.基于 ESDA-GIS 的县域经济空间差异演化及驱动力分析:以兰州—西宁城镇密集区为例[J].经济地理,2013,33(5):31-36,23.

[12] 邹琳,曾刚,曹贤忠.基于 ESDA 的长三角城市群研发投入空间分异特征及时空演化[J].经济地理,2015,35(3):73-79.

[13] 关伟,朱海飞.基于 ESDA 的辽宁省县际经济差异时空分析[J].地理研究,2011,30(11):2008-2016.

[14] 杨宇,刘毅.基于 DEA-ESDA 的中国省际能源效率及其时空分异研究[J].自然资源学报,2014,29(11):1815-1825.

[15] 周启刚,张晓媛,王兆林.基于正态云模型的三峡库区土地利用生态风险评价[J].农业工程学报,2014,30(23):289-297.

[16] 马骏,马朋,李昌晓,等.基于土地利用的三峡库区(重庆段)生态系统服务价值时空变化[J].林业科学,2014,50(5):17-26.

[17] 刘欢,邓宏兵.基于 DEA-Malmquist 模型和 ESDA 的湖北省绿色创新能力时空特征分析[J].长江大学学报(社会科学版),2017,40(1):49-54.

[18] 陈万旭,李江风,冉端.长江中游城市群土地利用转型和城镇化之间的空间关系[J].长江流域资源与环境,2019,28(5):1036-1048.

[19] 李雪松,龙湘雪,齐晓旭.长江经济带城市经济—社会—环境耦合协调发展的动态演化与分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(3):505-516.