

DOI:10.13476/j.cnki.nsbdtk.2019.0063

曾浩,申俊,江婧.长江经济带资源环境承载力评价及时空格局演变研究[J].南水北调与水利科技,2019,17(3):89-96. ZENG H, SHEN J, JIANG J. Evaluation of resource and environment carrying capacity and its spatiotemporal pattern in Yangtze River Economic Belt[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(3): 89-96. (in Chinese)

长江经济带资源环境承载力评价及时空格局演变研究

曾浩^{1,2}, 申俊³, 江婧¹

(1. 东华理工大学 地质资源经济与管理研究中心, 南昌 330013; 2. 国土资源部资源环境承载力评价重点实验室, 北京 100083; 3. 山西财经大学 资源型经济转型协同创新中心, 太原 030006)

摘要:通过构建长江经济带资源环境承载力评价指标体系的基础上,运用熵值法对长江经济带资源环境承载力指数进行测度,并采用探索性空间数据分析方法(ESDA)对长江经济带资源环境承载力时空格局演变过程进行研究。结果表明:2005—2016年长江经济带资源环境承载力整体指数值表现为波动上升趋势,但城市资源环境承载力指数值从东向西大体呈现逐渐递减的趋势,与经济发展水平呈现出一致性的特征。长江经济带资源环境承载力全局 Moran's *I* 值总体不断增大,局部空间演变过程中,除热点区范围分布较为稳定外,次热点区、次冷点区和冷点区变化都较为显著。因此,长江经济带各城市在今后的发展中更应做到自我提高与协同发展,从而推动长江经济带资源环境承载力水平的提高。

关键词:长江经济带;资源环境承载力;时空演变;熵值法;探索性空间数据分析

中图分类号:X22 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Evaluation of resource and environment carrying capacity and its spatiotemporal pattern in Yangtze River Economic Belt

ZENG Hao^{1,2}, SHEN Jun³, JIANG Jing¹

(1. Center of Geological Resource Economics and Management Research, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 2. Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resource and Environment, Ministry of Land and Resources, Beijing 100083, China; 3. Cooperative Innovation Center for Transition of Resource-based Economies, Shanxi University of Finance & Economics, Taiyuan 030006, China)

Abstract: In this article, the spatiotemporal pattern of resources and environment carrying capacity in the Yangtze River economic belt was investigated by constructing an evaluation index system of resource and environment carrying capacity, using the entropy theory to quantify the index value, and adopting the spatial data exploratory analysis method. The results show that the overall index value of resources and environmental carrying capacity of the Yangtze River economic belt in the 2005-2016 displayed a moderate upward trend, but the index value of urban resources and environmental carrying capacity gradually decreased from the east to west, which was consistent with the levels of economic development. The overall Moran's *I* value of the resource and environment carrying capacity in the Yangtze River economic belt keeps on increasing. In terms of local scale evolu-

收稿日期:2018-10-13 修回日期:2019-03-07 网络出版时间:2019-03-22

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20190321.1117.003.html>

基金项目:东华理工大学地质资源经济与管理研究中心、资源与环境经济研究中心2017年联合开放基金项目(17JJ03);国土资源部资源环境承载力评价重点实验室2017年开放课题(CCA2017.05);江西省社会科学“十三五”(2017年)规划项目(17YJ35);江西省高校人文社会科学研究2017年度项目(JJ17201)

Funds: The project was funded by Center of Geological Resource Economics and Management Research and Research Center of Resource and Environment Economics in 2017(17JJ03); 2017 Open program in Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resource and Environment, Ministry of Land and Resources(CCA2017.05); Jiangxi Social Science "Thirteen-Five" (2017) Planning project (17YJ35); 2017 Annual project of Humanities and Social Sciences research in Jiangxi Province (JJ17201)

作者简介:曾浩(1987-),男,湖北襄阳人,讲师,博士,主要从事资源与环境经济学方面的研究。E-mail: zenghaoxf@163.com

tion, the distribution of hot spots were relatively stable, while those of sub-hot spots, sub-cold spots and cold spots were relatively unstable. Therefore, cities in the Yangtze River economic belt should achieve self-improvement and co-development in the future development in order to promote the improvement of resources and environmental carrying capacity of the Yangtze River economic belt and to achieve high-quality development.

Key words: Yangtze River economic belt; resource and environment carrying capacity; spatial-temporal evolution; entropy method; exploratory spatial data analysis

资源环境承载力是指在一定时间范围和区域范围内,在可持续发展前提下能够维持区域范围内资源结构和环境功能稳定效应不受影响,区域内资源环境系统能够有效承受人类社会经济活动的能力^[1-2]。随着我国城镇化和工业化的发展进程不断深入,部分区域资源环境承载状况出现了较为突出问题。面对这一现实情况,相关学者致力于通过区域资源环境承载力评价研究为掌握区域资源环境状况及提升承载力水平提供依据^[3]。关于资源环境承载力评价相关研究已取得了大量且富有价值的成果,从早期的土地资源、水资源和生态承载力评价向资源环境综合承载力评价进行发展^[4]。评价方法多采用主成分分析法、状态空间法、生态足迹法、逼近理想解排序法、动态因子分析法和熵值法等^[5-7]。研究区域既有东部的省市地区,也包含中西部欠发达地区^[8-10]。随着我国城市群的快速发展,诸如京津冀、长三角城市群资源环境承载力评价研究也逐渐增多^[11]。已有资源环境承载力评价中所构建的指标体系多包含经济、社会、资源与环境等相关指标,为相关研究提供了参考,但也存在选取的环保指标普遍不足、样本容量偏少等问题。长江经济带生态地位重要、综合实力较强、发展潜力巨大,基于数据可获得性,目前研究尺度较为宏观^[6],多以省域作为研究单元,而对长江经济带市域单元开展资源环境承载力评价相关研究却较少。本文通过构建长江经济带城市资源环境承载力评价指标体系,采用熵值法对长江经济带资源环境承载力指数值进行测度,并运用 GIS 空间分析和统计数据相结合方法,来考察长江经济带资源环境承载力时空格局演变,以期长江经济带全面协调协作发展提供参考。

1 研究区域、数据来源及指标体系

1.1 研究区概况

长江经济带覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州 11 省市,面积约 205 万 km²,占全国的 21%,2017 年长江经济带 GDP 占全国 44.5%,人均 GDP 高于全国 10.4%。

生态环境方面,长江经济带城市污水处理率、生活垃圾无害化处理率、建成区绿化覆盖率分别为 86.0%、94.1%、40.4%,高于全国平均水平^[12]。本文以长江经济带 127 个市域单元作为研究区域,研究时段为 2005—2016 年。

1.2 数据来源

本文的数据主要来源于各省市统计局网站,以及《中国城市统计年鉴》、各省市《水资源公报》和《中国环境统计年鉴》等,对于个别年份的缺失数据采用插值进行处理。

1.3 指标体系构建

影响区域资源环境承载力的因素较多^[9],相关研究学者普遍认为区域资源环境承载力内部各子系统之间呈现出相互叠加、相互影响的作用^[3,9]。本文在选取资源环境承载力评价指标时,结合研究区实际状况、数据可得性并参考相关研究中使用频度较高的指标来构建评价指标体系^[9,13],从而建立包含经济系统、社会系统、资源系统和环境系统 4 个一级指标,31 个二级指标的长江经济带城市资源环境承载力评价指标体系,见表 1。

2 研究方法

2.1 熵值法原理及计算步骤

熵在信息论中是对不确定性的一种度量,通过计算熵值可以判断指标的离散程度,现已常用于社会经济及可持续评价等研究中^[14]。其原理是由 n 个待评方案、 m 个评价指标所构成的指标数据矩阵 $X = \{x_{ij}\}_{n \times m}$ 中,数据的离散程度越大,信息熵越小,则提供的信息量和对综合评价产生影响也越大;反之,各指标值差异越小,信息熵越大,则提供的信息量和评价结果产生影响也越小^[14],此外,熵值法在解决评价过程中多指标变量间存在的信息重叠这一问题有较好效果^[14]。因此,本文运用熵值法对长江经济带资源环境承载力指数值进行测度。熵值法计算步骤如下^[7,14]。

第一步,对所有指标进行无量纲化处理:

表1 长江经济带城市资源环境承载力评价指标体系
Tab.1 Resource and environmental carrying capacity index system of the Yangtze River economic belt

目标层	一级指标	二级指标	指标属性
经济系统		GDP 增长率 $X_1/\%$	正
		人均 GDP $X_2/\text{万元}$	正
		第三产业产值占 GDP 比重 $X_3/\%$	正
		人均地方财政一般预算内收入 $X_4/\text{万元}$	正
		人均固定资产投资额 $X_5/\text{万元}$	正
		当年实际使用外资金额 $X_6/\text{万美元}$	正
		职工年平均工资 $X_7/\text{元}$	正
社会系统		人口自然增长率 $X_8/\%$	逆
		人口密度 $X_9/(\text{人} \cdot \text{km}^2)$	逆
		人均城市道路面积 X_{10}/m^2	正
		城市登记失业率 $X_{11}/\%$	逆
		每百万人拥有公共图书馆藏书 $X_{12}/\text{册}$	正
		每百万人拥有公共交通工具运营数 $X_{13}/\text{辆}$	正
		每百万人拥有卫生机构床位数 $X_{14}/\text{张}$	正
资源环境承载力		每万人高等学校在校学生数 $X_{15}/\text{人}$	正
		万元 GDP 能耗 $X_{16}/\text{吨标煤}$	逆
		万元 GDP 电耗 $X_{17}/(\text{kW} \cdot \text{h})$	逆
		人均耕地面积 X_{18}/hm^2	正
		人均水资源量 X_{19}/m^3	正
		人均供水量 X_{20}/m^3	正
		人均生活用水量 X_{21}/m^3	正
环境系统		万元工业增加值用水量 $X_{22}/(\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1})$	逆
		一般工业固体废弃物综合利用率 $X_{23}/\%$	正
		生活垃圾无害化处理率 $X_{24}/\%$	正
		人均工业废水排放总量 X_{25}/t	逆
		人均二氧化硫排放量 X_{26}/t	逆
		人均工业烟(粉)尘排放量 X_{27}/t	逆
		污水处理厂集中处理率 $X_{28}/\%$	正
		人均绿地面积 X_{29}/hm^2	正
		建成区绿化覆盖率 $X_{30}/\%$	正
		污染治理投资总额占 GDP 比重 $X_{31}/\%$	正

$$x'_{ij} = \begin{cases} \frac{(x_{ij} - \min_j x_{ij})}{(\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij})} & \text{(正指标)} \\ \frac{(\max_j x_{ij} - x_{ij})}{(\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij})} & \text{(逆指标)} \end{cases}$$

其中, $\min_j x_{ij} = \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}$

$\max_j x_{ij} = \max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}$ 。

第二步, 计算第 j 项指标下第 i 个地区指标值

比重: $y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}}$ 。

第三步, 计算第 j 项指标的熵值: $e_j = -\frac{1}{\ln n} \cdot$

$$\sum_{i=1}^n y_{ij} \ln y_{ij}。$$

第四步, 计算第 j 项指标的差异性系数。 $g_j = 1 - e_j$ 。熵值越小, 指标间差异系数越大, 指标就越重要。

第五步, 定义权数 $w_j: w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}$ 。

第六步, 算城市资源环境承载力指数值 $z_i: z_i = \sum_{j=1}^n w_j x'_{ij} \times 10$ 。

2.2 资源环境承载力评价分级标准

根据熵值法的原理与计算结果, 当资源环境承载力指数值越大, 则表明资源环境承载力状况越好。目前资源环境承载力评价分级并未有统一标准, 参照已有文献及测度结果^[15], 本文将长江经济带城市资源环境承载力指数值划分为 5 个等级, 见表 2。

2.3 探索性空间数据分析方法

(1) 全局空间自相关。

采用全局空间自相关方法是从整体来观测长江经济带资源环境承载力空间格局集聚与离散状况。具体采用全局 Moran's I (莫兰指数) 值^[16], 公式为

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

表2 长江经济带城市资源环境承载力评价分级标准

Tab.2 Evaluation criteria of urban resource and environmental carrying capacity in the Yangtze River economic belt

Z_i 评价值	$0 < Z_i \leq 0.2$	$0.2 < Z_i \leq 0.4$	$0.4 < Z_i \leq 0.6$	$0.6 < Z_i \leq 0.8$	$Z_i > 0.8$
等级	I	II	III	IV	V
分区	低承载力水平区	中低承载力水平区	中等承载力水平区	中高承载力水平区	高承载力水平区

上式: $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2$, x_i, x_j 分别为城市 i 和 j 的资源环境承载力指数值; w_{ij} 为空间权重矩阵; Moran's I 的取值在 $[-1, 1]$ 之间, 取值大于 0 表示城市 i 和 j 在全局相关性中表现为空间正相关, 小于 0 则表示城市 i 和 j 在全局相关性中表现为空间

负相关, 等于 0 表示城市 i 和 j 在全局相关性中表现为空间随机状态。

(2) 局部空间自相关。

局部空间自相关是从微观局部来考察长江经济带城市与城市之间是否存在资源环境承载力高值与

低值在空间上的集聚状况。具体采用 Getis-Ord G_i^* 指数^[16],公式为

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}(d)x_j}{\sum_{j=1}^n x_j} \quad (2)$$

上式标准化可得: $Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{Var(G_i^*)}}$, 当

$Z(G_i^*)$ 大于 1.96 表示显著的高值聚集, 而小于 -1.96 表示显著的低值聚集, 即 Z 值的正负分别为资源环境承载力高值区域与低值区域的集中, 即热点区与冷点区。

3 结果分析

3.1 长江经济带资源环境承载力指数值评价结果与分析

(1) 整体性分析。

通过熵值法计算首先得到长江经济带 127 个城市 2005—2016 年各年份资源环境承载力指数值, 在此基础上进行加总从而得到 2005—2016 年各年份长江经济带资源环境承载力整体指数值, 结果见图 1。

从图 1 可以看出, 2005—2016 年长江经济带资源环境承载力指数值总体呈现出波动上升的趋势。其中, 2008 年和 2009 年长江经济带资源环境承载力指数值在 2005—2016 年间为最小, 2007—2010

年资源环境承载力指数值呈现为 U 形, 2010—2016 年间除 2014 年资源环境承载力指数值有所回落外, 总体呈现上升趋势, 尤其在 2015 年和 2016 年长江经济带资源环境承载力指数值有较为明显幅度的提升。

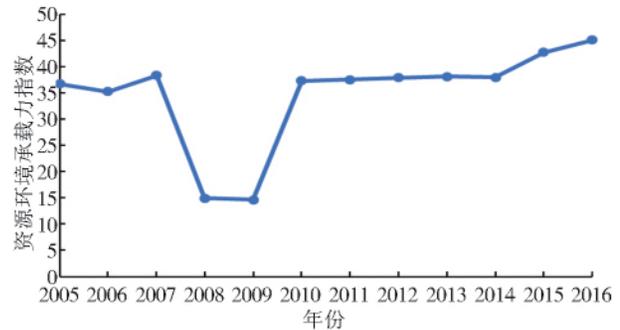


图 1 2005—2016 年长江经济带资源环境承载力整体指数值变化趋势

Fig. 1 The temporal variation of integrated index of resource and environmental carrying capacity of the Yangtze River economic belt from 2005 to 2016

(2) 空间分布与等级分布特征分析。

长江经济带各城市资源环境承载力指数值结果如图 2 所示, 结果表明长江经济带所辖各城市资源环境承载力差异较为显著。各城市资源环境承载力最高值与最低值之间相差数倍, 其中上海市资源环境承载力指数值在 2005 年时最高, 为 1.35, 其他省会城市和重庆市指数值也都居于前列。长江经济带发展规划中提出以长三角城市群、长江中游城市群和成渝城市群为主体, 发挥辐射带动作用。横向比

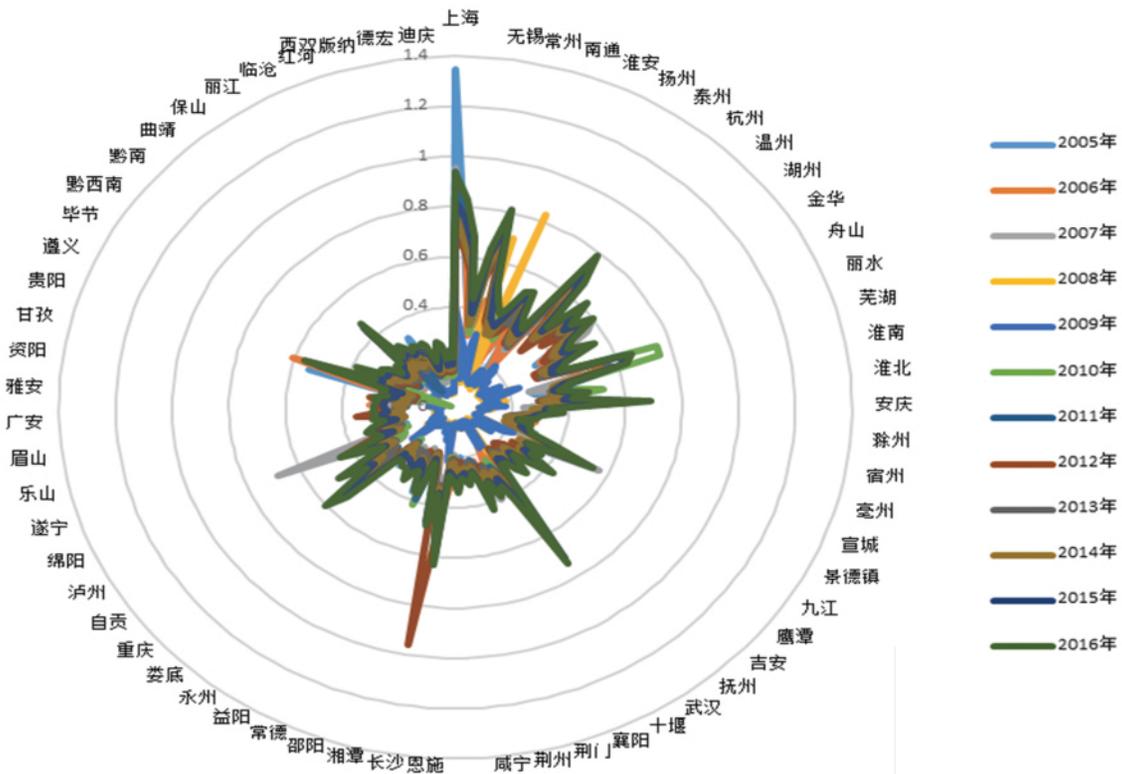


图 2 2005—2016 年长江经济带城市资源环境承载力指数雷达图

Fig. 2 The radar map of the urban resource and environmental carrying capacity index of the Yangtze River economic belt from 2005 to 2016

较三大城市群资源环境承载力指数值,长三角城市群资源环境承载力指数值最高,长江中游城市群其次,成渝城市群指数值相对较低。

采用 ArcGIS10.2 软件对 2005—2016 年长江经济带各城市资源环境承载力均值进行可视化,得到均值分类图(图 3)。从图中可得,数量上低承载力水平区和中低承载力水平区占比最高,分别为 28 个(占 22%)和 78 个(占 61.4%),而中等承载力水平区为 19 个(占 7.1%),中高承载力水平区和高承载力水平区都仅为 1 个城市,说明长江经济带城市

资源环境承载力指数值亟待提高。

从分布区域来看,中等承载力水平区除武汉市外都较为集中分布在长江经济带东部区域,中等承载力水平区分布在中高承载力水平区周围;中低承载力水平区在 9 个省份中都有分布,尤其是在安徽、江西、湖北、湖南、四川分布范围最为广泛,低承载力水平区以西部的少数民族自治州为主要分布区域,呈现出长江经济带资源环境承载力东部>中部>西部的发展态势,这与相关研究提出的经济发展水平与资源环境承载力具有较强关联结论一致^[3,17]。

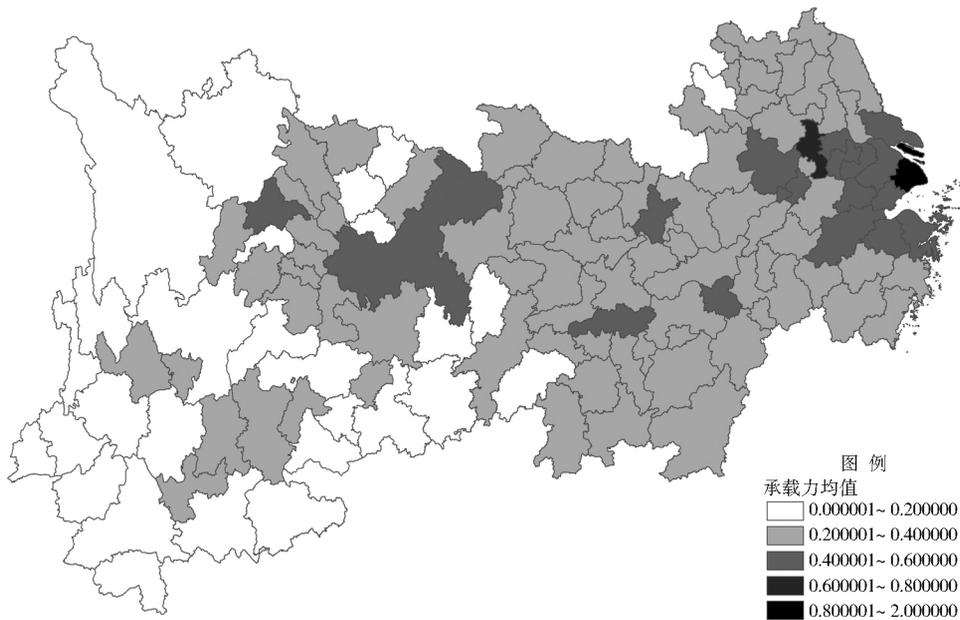


图 3 2005—2016 年长江经济带资源环境承载力均值分类

Fig. 3 Classifications of resource and environmental carrying capacity of the Yangtze River economic belt from 2005 to 2016

3.2 时空演变特征分析

(1) 全局空间相关性逐渐增强。

通过对 2005—2016 年长江经济带城市资源环境承载力全局 Moran's *I* 值进行计算,结果见表 3。结果表明各年份 *z* 值都远大于 1.96, *p* 值都通过显著性检验,全局 Moran's *I* 值从 2005 年的 0.3263 波动增长到 2016 年的 0.5611,这说明 2005—2016 年长江经济带城市资源环境承载力呈现出显著的空间正相关性,表明承载力水平较高地区与较低地区的空间集聚态势更为显著,因此更应按照全面协调协作的要求来提升长江经济带资源环境承载力水平。

(2) 局部空间分异明显。

为了探寻长江经济带资源环境承载力局部演化特征^[2],分别以 2005、2008、2012 和 2016 年作为时间节点,采用 ArcGIS 10.2 软件基于自然断裂法生成空间格局热点演化图,分别形成四类区域:热点区、次热点区、次冷点区和冷点区,通过观察图 4 长江经济带资源环境承载力空间格局热点演化图可以发

现局部空间分异明显,四类区域的演变分析见图 4。

(a) 热点区域的演变。热点区域整体变化幅度较为有限,都紧凑分布在长江三角洲城市群及其周围。2008 年的热点区域在 2005 年基础上向北移动,北至徐州、淮安和盐城三市,而南部收缩严重,2005 年的黄山、杭州、金华、绍兴、宁波、舟山、台州演化为 2008 年的次热点区,热点区数量由 20 个减

表 3 长江经济带资源环境承载力全局 Moran's *I* 值
Tab. 3 Global Moran's *I* value of resource and environment carrying capacity of the Yangtze River economic belt

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Moran's <i>I</i>	0.3263	0.3952	0.5799	0.2939	0.5164	0.6545
<i>z</i>	10.92	12.01	17.29	10.14	15.67	19.52
<i>p</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Moran's <i>I</i>	0.6728	0.4445	0.6736	0.5929	0.569	0.5611
<i>z</i>	20.05	13.42	20.05	17.63	16.94	16.74
<i>p</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

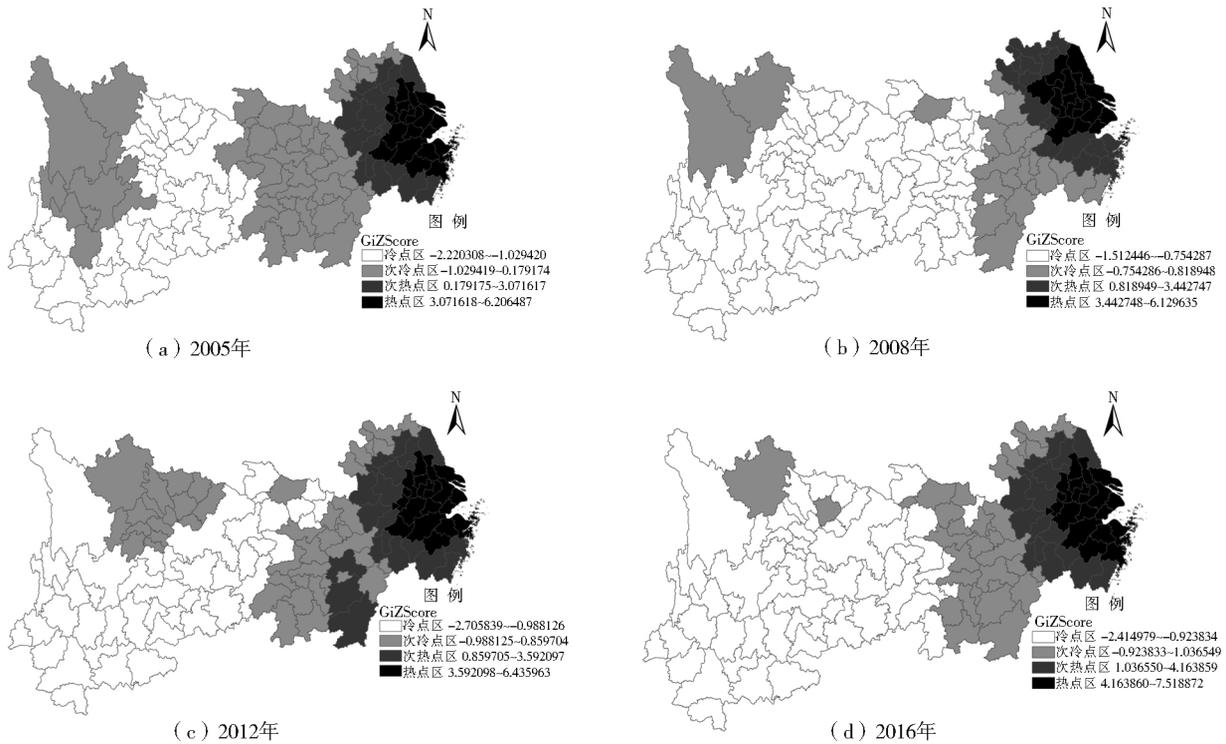


图 4 长江经济带资源环境承载力空间格局热点演化图

Fig. 4 Hotspots of resource and environmental carrying capacity in Yangtze River economic belt

少到 16 个,2012 年热点区域又基本恢复到 2005 年时形成的区域,增加了芜湖和铜陵,但减少了台州;2016 年台州又成为热点区,热点区此时范围最大共 21 个城市。

(b)次热点区域的演变。次热点区主要是聚集在热点区长三角城市群的外围,在 2005 年时涵盖范围最大,达到 18 个城市,2008 年的次热点区域随着热点区域的北移,北部的连云港、徐州、宿迁、淮北、亳州也转换成次热点区,但到 2012 年总体范围又有所扩大,增加了赣州、吉安、宜春和台州。2016 年次热点区的总体范围与 2005 年的范围基本保持一致,仅黄山转换为次热点区。

(c)次冷点区域的演变。次冷点区 2005 年主要集中在长江经济带的中部和西北地区,紧邻次热点区,连片趋势较为明显,具体涵盖江苏省的连云港、徐州和安徽省的宿州、淮北、亳州和阜阳,湖北省全境和除上饶、景德镇外的江西省全境和除怀化、湘西州外的湖南省全境,以及西北部四川境内的甘孜州、阿坝州、凉山州、雅安、乐山、攀枝花和云南省境内的迪庆州、楚雄州、昭通和丽江,共 51 个城市;2008 年次冷点区域收缩明显,在西部仅剩甘孜州、阿坝州和中部的襄阳以及分布在东部次热点区周围仅有 22 个城市,其余都转化为冷点区;2012 年的次冷点区有扩大趋势,主要变化是西部新增四川省境内的绵阳、广元、巴中、达州、广安、南充、德阳、遂宁、成都、

资阳、雅安、眉山、内江、乐山和自贡,湖北省境内除襄阳外都集聚在武汉城市圈地区,湖南省境内除常德转换为冷点区,赣州、吉安、宜春转换为次热点区,数量达到 46 个;2016 年次冷点区收缩趋势明显,西部只剩下阿坝州和南充,中部的孝感转换为冷点区,其他分布区域仍分布在东部的次热点区周围,数量仅为 32 个。

(d)冷点区域的演变。冷点区总体趋势不断扩大,2005 年冷点区除西北部的 10 个次冷点城市外,包括重庆、四川、贵州、云南大部分地区,而 2008 年时冷点区进一步扩大,西部地区除甘孜州和阿坝州外都变为冷点区,冷点区东部已扩展到除襄阳外的湖北省全境、湖南省全境和江西省境内的萍乡和新余,此时范围最大;但在 2012 年,随着次冷点区的范围有所扩大,冷点区范围收缩明显,2016 年冷点区又有所扩大,但此时范围仍比 2008 年时要小,冷点区东部涵盖湖北省境内的十堰、恩施州、宜昌和孝感 and 湖南省内部分城市。

4 结论与建议

(1)运用熵值法对 2005—2016 年长江经济带资源环境承载力指数值进行测度,得出的结果发现长江经济带资源环境承载力指数值总体呈现波动上升的趋势,各城市资源环境承载力差异较为显著。在对长江经济带各城市资源环境承载力指数值进行分

级可以发现,高承载力水平区和中高承载力水平区城市数量较少,中低承载力水平区分布范围最为广泛,在9个省份中都有分布,中等承载力水平区除武汉市外都较为集中分布在东部区域,并分布在中高承载力水平区周围,低承载水平城市主要聚集在西部城市,明显呈现出从东向西承载力水平逐渐递减的趋势,与经济发展水平呈现出较强的一致性。

(2)从长江经济带资源环境承载力时空演变过程来看,长江经济带资源环境承载力指数值全局相关性总体呈现出不断增大的态势,从局部空间格局演变来观察,热点区空间格局演变较为稳定,主要集中在长江三角洲城市群及其周围地区,次热点区紧邻热点区的外围区域;次冷点区变化范围较大,2016年范围收缩最为明显,除西部少数城市外,次冷点区主要分布在湖北、湖南和江西和江苏北部区域,紧邻次热点区外围;而冷点区空间演变格局主要是由次冷点区转换而成,扩大趋势明显。

(3)在时空演变过程中,2008年各城市资源环境承载力指数值整体呈现出显著下降的态势,并且2008年的全局 Moran's I 值也最小,而2008年的冷点区范围也最大,热点区和次热点区北移最为明显。在今后的长江经济带建设过程中,既要谨防自然灾害和次生灾害的发生,减少其对资源环境承载力的影响,更要重视经济发展对资源环境承载力产生的影响,2008年的国际金融危机对资源环境承载力产生了较大的影响,资源环境承载力与经济发展呈现出较强关联。环境污染具有典型的外部性特征,在今后的发展过程中,应努力提高长江经济带资源环境承载力水平,积极推动长江经济带协同发展和绿色发展。

参考文献(References):

- [1] 樊杰. 国家汶川地震灾后重建规划:资源环境承载能力评价[M]. 北京:科学出版社,2009. (FAN J. National Post-Wenchuan Earthquake reconstruction plan: assessment of resources and environment bearing capacity[M]. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese))
- [2] 冯欢. 重庆市县域尺度资源环境承载力综合评价研究及空间动态分析[D]. 重庆:西南大学,2017. (FENG H. Comprehensive evaluation of resources and environment carrying capacity and spatial dynamic analysis based on county scale in Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2017. (in Chinese))
- [3] 雷勋平, 邱广华. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价实证研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(1): 314-323. (LEI X P, QIU G H. Empirical study about the carrying evaluation of regional resources and environment based on entropy-weight TOPSIS model [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(01): 314-323. (in Chinese)) DOI: 10. 13671/j. hjkxxb. 2015. 0580.
- [4] 张永勇, 夏军, 王中根. 区域水资源承载力理论与方法探讨[J]. 地理科学进展, 2007, 26(2): 126-132. (ZHANG Y Y, XIA J, WANG Z G. Research on regional water resources carrying capacity theory and method[J]. Progress in Geogaphy, 2007, 26(2): 126-132. (in Chinese))
- [5] 李辉, 金菊良, 吴成国, 等. 基于联系数的安徽省水资源承载力动态诊断评价研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(1): 42-49. (LI H, JIN J L, WU C G, et al. Dynamic evaluation and diagnostic analysis for water resources carrying capacity in Anhui province based on connection number[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(1): 42-49 (in Chinese)) DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbqk. 20180007.
- [6] 李燕, 张兴奇. 基于主成分分析的长江经济带水资源承载力评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 172-178. (LI Y, ZHANG X Q. Assessment on carrying capacity of water resources in Yangtze River economic zone based on principal component analysis[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4): 172-178. (in Chinese)) DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 04. 029.
- [7] 陈兆荣, 雷勋平, 王亮, 等. 基于熵值法的区域资源环境承载力评价[J]. 宜宾学院学报, 2013, 13(12): 88-91. (CHEN Z R, LEI X P, WANG L, et al. Evaluation on regional carrying capital of resources and environments based on entropy model[J]. Journal of Yibin University, 2013, 13(12): 88-91. (in Chinese))
- [8] 陈海波, 刘旻旻. 江苏省城市资源环境承载力的空间差异[J]. 城市问题, 2013(3): 33-37. (CHEN H B, LIU Y Y. Spatial differences of urban resource and environment carrying capacity in Jiangsu province[J]. Urban problems, 2013(3): 33-37. (in Chinese))
- [9] 杨亮洁, 杨永春. 甘肃省资源环境承载力时空分异[J]. 生态学报, 2017, 37(20): 7000-7017. (YANG L J, YANG Y C. The spatiotemporal variation in resource environmental carrying capital in the Gansu Province of China. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(20): 7000-7017. (in Chinese)) DOI: 10. 5846 /stxb201608011577.
- [10] 周侃, 樊杰. 中国欠发达地区资源环境承载力特征与影响因素——以宁夏西海固地区和云南怒江州为例[J]. 地理研究, 2015, 34(1): 39-52. (ZHOU K, FAN J. Characteristics and influence factors of resources and environment carrying capacity in underdeveloped

- areas of China[J]. Geographical Research, 2015, 34(1): 39-52. (in Chinese)) DOI:10.11821/dlyj201501004.
- [11] 刘惠敏. 长江三角洲城市群综合承载力的时空分异研究[J]. 中国软科学, 2011(10):114-122. (LIU H M. Global factor analysis and spatial differentiation study on comprehensive carrying capacity of urban agglomeration in the Yangtze River Delta[J]. China Soft Science, 2011(10):114-122. (in Chinese))
- [12] 湖南省社会科学院绿色发展研究团队. 长江经济带绿色发展报告(2017)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2018. (Green development research team of human academy of social sciences. report on green development of Yangtze River Economic Belt (2017)[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2018. (in Chinese))
- [13] 付云鹏, 马树才. 城市资源环境承载力及其评价——以中国 15 个副省级城市为例[J]. 城市问题, 2016(2):36-40. (FU Y P, MA S C. Urban resource and environment carrying capacity and its evaluation — A case study of 15 sub-provincial cities in China[J]. Urban problems, 2016(2):36-40. (in Chinese)) DOI:10.13239/j. bjsshkxy. cswt. 160204.
- [14] 王富喜, 毛爱华, 李赫龙, 等. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析[J]. 地理科学, 2013, 33(11):1323-1329. (WANG F X, MAO A H, LI H L. Quality measurement and regional difference of urbanization in Shandong Province based on the entropy method[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(11): 1323-1329. (in Chinese))
- [15] 王振波, 梁龙武, 方创琳, 等. 京津冀特大城市群生态安全格局时空演变特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2018, 38(12):4132-4144. (WANG Z B, LIANG L W, FANG C L, et al. Study of the evolution and factors influencing ecological security of the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12):4132-4144. (in Chinese)) DOI:10.5846/stxb201802050300.
- [16] 沈体雁, 冯等田, 孙铁山. 空间计量经济学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2011. (SHEN T Y, FENG D T, SUN T S. Spatial Econometrics[M]. Beijing: Peking University press, 2011. (in Chinese))
- [17] 何宜庆, 翁异静. 鄱阳湖地区城市资源环境与发展协调评价[J]. 资源科学, 2012, 34(3):502-509. (HE Y Q, WENG Y J. Assessment of harmonious development between resource, environment and urban economy in Poyang Lake Area[J]. Resources Science, 2012, 34(3):502-509. (in Chinese))

(上接第 47 页)

- [24] 封毅, 武博强, 崔灵周. 基于 BP 神经网络的台风降雨量预测研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3):289-293. (FENG Y, WU B Q, CUI L Z. Study of forecasting typhoon rainfall based on BP neural network[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(3):289-293. (in Chinese))
- [25] 管晓祥, 姚新宇, 沈婕, 等. 基于分布式模型的多维动态临界雨量山洪预警研究[J]. 江苏水利, 2017(12):46-50. (GUAN X X, YAO X Y, SHEN J, et al. Study on multidimensional dynamic critical rainfall flash flood warning based on distributed model[J]. Jiangsu Water Resources, 2017 (12): 46-50. (in Chinese)) DOI:10.16310/j. cnki. jssl. 2017. 12. 010.
- [26] 蔡新玲, 蔡依暉, 叶殿秀, 等. 渭河流域降雨结构时空演变特征[J]. 水土保持研究, 2017, 24(6):370-375. (CAI X L, CAI Y X, YE D X, et al. Spatiotemporal variability characteristics of precipitation pattern in Weihe River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(6): 370-375. (in Chinese)) DOI:10.13869/j. cnki. rswc. 2017. 06. 056.