

江淮城市群区域发展与资源环境耦合协调分析^{*}

刘岩 白如山 刘恺恺

摘要:综合运用耦合协调度模型、ESDA等方法分析2005—2015年江淮城市群区域发展与资源环境耦合协调度的空间特征。研究发现:①整体上,合肥、芜湖、铜陵三地市耦合度较高,蚌埠、淮南、六安等地市耦合度较低;②2005—2015年间江淮城市群区域发展与资源环境耦合度水平是趋于优化,尤其是淮南、马鞍山转型较为典型,生态环境逐渐协调;③研究区耦合协调度Moran's I指数呈现“低—高—低”的倒U型发展模式,即呈现“发散—集聚—发散”的演变特征。随后,进一步分析影响江淮城市群区域发展与资源环境空间耦合分异机制,结果表明:主要影响因素有人均GDP、科研从业人员数、财政收入总额等,且存在明显的时空异质性。

关键词:区域发展;耦合协调度;地理探测器;江淮城市群

Abstract:The paper analyzes the spatial characteristics and influencing factors of the coupling coordination degree between the development of Jiang-Huai urban agglomeration and the resources and environment from 2005 to 2015 by means of coupling coordination degree model, spatial autocorrelation and geographical detector. The results show that: ①The prefecture-level cities with higher coupling degree are represented by the central cities of Hefei and Wuhu, Tongling, etc. The prefecture-level cities with low coupling degree are mainly concentrated in the northern and western Anhui areas, such as Bengbu, Huainan and Liu'an. ②In general, the level of coupling of Jianghuai urban agglomeration between regional urban development and resources and environment has tended to be optimized in the past ten years, especially the resource-based cities represented by Huainan and Ma'anshan have been well transformed in the process of

development, and the ecological environment is gradually coordinated. ③The Moran's I index of the coupling coordination degree between the regional development and the resources and environment of the Jiang-Huai urban agglomeration shows the development model of "low-high-low" inverted U-type, that is, the coupling coordination degree presents a trend of "divergence, agglomeration and divergence". It shows that resource consumption and environmental load are still needed in the process of development. ④The main influencing factors of spatial differentiation are the per capita GDP, the number of scientific research personnel, the total financial income and so on, and there is obvious spatial and temporal heterogeneity.

Key words: regional development; resource environment; coupling coordination degree; geographical detector; Jianghuai urban agglomeration

中图分类号: K921 文献标识码: A

文章编号: 1674-4144(2018)-10-33(7)

伴随着我国工业化、城市化进程以及区域开发建设加速推进,所引发的资源短缺、环境污染、生态破坏等一系列资源环境问题已威胁到区域乃至国家的安全和可持续发展。其中,城市群地区作为推动我国经济 and 城市化快速发展的核心地区,主宰着区域经济发展的命脉,其持续发展问题以及与资源环境相互作用关系问题成为当前国内外学术界的研究热点之一。

美国经济学者 Grossman 和 Krueger (1995) 用计

作者简介

刘岩, 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心硕士研究生。
白如山, 阜阳师范学院历史文化与旅游学院副教授(校聘), (通讯作者)。

刘恺恺, 阜阳师范学院历史文化与旅游学院本科生。

^{*} 基金项目: 安徽省创新发展研究攻关课题“合肥都市圈持续发展的结构性机理及调控路径研究”(编号: 2017CX019); 安徽省大学生创新训练项目“长三角城市群(安徽区)持续发展的资源环境响应机理及优化路径研究”(编号: 201610371034); 国家级大学生创新训练项目“合肥都市圈持续发展的结构性机理及优化研究”(编号: 201710371011)。

量经济学方法以 42 个发达国家的面板数据进行实证分析,揭示随着城市经济水平的提高,城市资源环境质量呈现倒“U”型的演变规律,即著名的“环境库兹涅茨曲线(KFC)理论”;随后,William(1999)、Jenerette(2006)主要从城市经济发展与环境污染之间关系的角度探讨生态环境对城市发展及城市化的束缚作用,重点关注城市化与生态环境交互作用机理的研究;此外,Erickson(2009)、Kurucu(2008)以及Taylor(2009)分别研究了城市化对地下水资源、农业用地发展以及水环境变化的影响,深刻揭示了城市化与资源环境演化的相互作用关系。刘晓丽(2008)、张燕(2009)分别从人口容量与资源环境支撑能力、区域发展潜力与资源环境承载力关系、城市群资源环境承载力角度深入研究了区域发展的资源环境承载能力问题;方创琳(2009,2017)、高新才(2016)、刘艳军(2012,2017)及孙黄平(2017)等分别研究了我国城镇化的资源环境基础、我国资源环境对城镇化问题的影响因素、中国快速城市化过程中的资源环境保障、中国城市化与生活环境耦合关联以及东北地区开发规模扩张的资源环境响应演化等问题,系统深入探讨了城市化发展与资源环境的互动关系。

总体来看,目前学术界对城市群地区持续发展与资源环境相互作用关系问题研究取得了一定的成果,为本文深入探究江淮城市群持续的资源环境响应问题提供了重要参考和启发。总体上区域发展呈现如下特点:①在地域范围上,以宏观的国家尺度的资源环境基础研究居多,城市群空间尺度的研究相对较少;②在时间尺度上,以单时段静态比较研究居多,而多时段动态比较研究较少;③在研究内容上,已有文献或主要关注区域发展的资源环境承载力,或关注区域发展的生态响应问题,较少关注城市群区域发展的资源环境响应问题;④在研究方法上,多利用环境库兹涅茨曲线(KFC)、节约指数曲线等方法进行静态研究,而较少利用“从定性到定量的综合集成法(MS)、地理信息系统(GIS)方法”进行资源环境耦合协调的动态性、空间差异性等机理探究。有鉴于此,本文引入和借鉴相关学者研究成果基础上,构建江淮城市群区域发展的资源环境耦合协调度指标体系,诠释江淮城市群区域发展与资源环境相互作用机理及其影响因素,提出江淮城市群区域发展的资源环境响应的空间优化策略等。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

江淮城市群地跨淮河和长江两大流域,位于安徽省中部,地貌类型多样,地形以平原、丘陵为主。以合肥市为中心,包括蚌埠、淮南、滁州、六安、马鞍山、芜湖、铜陵、安庆、池州 10 个城市。国土面积约 6.5 万 km²,2015 年末常住人口达 3680.16 万人,占全省总人口的 59.9%,城市化水平为 55.19%,高于全省 50.5% 的平均水平,GDP 总值为 16892.84 亿元,占全省的 74.94%。各城市之间的空间距离较近,与合肥市都在 2h 范围内,江淮城市群城市竞争力的提升,对安徽省社会经济发展将产生巨大的辐射带动作用。



图 1 江淮城市群区位示意图

1.2 研究方法

1.2.1 指标体系选择

基于区域发展水平与资源环境支撑的系统性和复杂性,为刻画江淮城市群的开发强度与资源环境水平的变化特征及相互作用关系,分别构建了区域发展和资源环境两个指数。区域发展指数包括城镇化率 DS1、区域人口密度 DS2、人均 GDP DS3、区域 GDP 密度 DS4、

单位建成区面积社会消费品零售额 DS5、城镇居民平均工资收入 DS6 和每万人在校大学生人数 DS7 这七个指标；资源环境指数包括人均建成区面积 RE1、人均耕地面积 RE2、人均水资源量 RE3、森林覆盖率 RE4、R 单位建成区面积工业污水排放量 RE5、单位建成区面积工业废物排放量 RE6 和单位建成区二氧化硫排放量 RE7 同样也是七个指标。

表 2 区域发展与资源环境指数指标体系表

项目	指标代码	指标名称
区域 发展 指数 DS	DS1	城镇人口比重 (%)
	DS2	城市人口密度 (人/km ²)
	DS3	人均 GDP (元/人)
	DS4	单位建成区面积万元产值 (万元/km ²)
	DS5	单位建成区面积社会消费品零售额 (万元 km ²)
	DS6	城镇居民平均工资收入 (元/人)
	DS7	每万人在校大学生人数 (人)
资源 环境 指数 RE	RE1	人均建成区面积 (km ² 人)
	RE2	人均耕地面积 (hm ²)
	RE3	人均水资源量 (m ³ /人)
	RE4	森林覆盖率 (%)
	RE5	单位建成区面积工业污水排放量 (t/km ²)
	RE6	单位建成区面积工业废物排放量 (t/km ²)
	RE7	单位建成区二氧化硫排放量 (t/km ²)

1.2.2 数据标准化与权重确定

(1) 数据标准化

为了避免数据参差不齐而对结果造成影响，基于下式进行数据标准化，计算公式为：

$$s_i = \frac{x_i}{x_{\max}} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (1)$$

式中， s_i 代表标准化之后的值， x_i 为第 x 项指标的第 i 个城市的值， x_{\max} 为第 x 项指标的最大值。

(2) 指标权重确定

为确保权重的客观性，本文运用变异系数法确定不同评价指标的权重。公式为：

$$V_i = \frac{\sigma_i}{s_i} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (2)$$

$$w_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

式中： V_i 是第 i 项指标的变异系数， σ_i 是第 i 项指标的标准差，是第项指标标准化后值的平均数； w_i 是第 i 项指标的权重。

(3) 评价指数计算

指标数据标准化并将权重确定好之后，对区域开发强度与资源环境水平的测度可通过线性加权和法进行，计算公式为：

$$DS = \sum_{i=1}^m DS_i \times \lambda_i \quad (i=1,2,3,\dots,m) \quad (4)$$

式中： DS 为区域开发强度指数； DS_i 为 i 指标的标准化值； λ_i 为 i 指标的权重值。

$$RE = \sum_{i=1}^n RE_i \times \lambda_i \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (5)$$

式中： RE 为资源环境水平指数； RE_i 为 i 指标的标准化值； λ_i 为 i 指标的权重值。

1.2.3 耦合协调度模型

耦合度是描述系统或要素交互作用程度的度量指标，本文提出的江淮城市群的区域开发强度与资源环境水平耦合度主要是测度区域发展指数与资源环境指数的耦合程度。其理论含义在于：一方面反映区域开发强度与资源环境水平的协调程度，另一方面还可以反映出二者耦合水平高低及对系统有序度贡献的大小。为定量测度区域开发强度与资源环境水平耦合程度的大小，构建“区域开发强度与资源环境水平的耦合度”测度模型，其计算公式为：

$$H = \sqrt{L \times T} \quad (6)$$

其中：

$$L = \frac{2\sqrt{DS \times RE}}{DS + RE} \quad (7)$$

$$T = \alpha \times DS + \beta \times RE \quad (8)$$

式中： H 为区域开发强度与资源环境水平的耦合度； L 为区域开发强度与资源环境水平的协调度； T 为区域开发强度与资源环境水平的综合评价指数； DS 、 RE 分别为区域发展指数和资源环境指数； α 、 β 为待定参数，且设定 $\alpha + \beta = 1$ 。结合区域开发强度与资源环境水平的相互关系及在耦合系统中的作用，设定 $\alpha = \beta = 0.5$ 。通过式 (6)、(7)、(8) 可得，在实际中 $L \in (0, 1]$ ， $H \in (0, 1)$ ，且 H 越大，说明区域开发强度与资源环境水平耦合程度越大，反之，则越小。

1.2.4 空间自相关

空间自相关分析是用来探讨某个地域单元的某种地理要素的属性值与邻近地域单元的相同地理要素的属性值是否空间相关联的一种空间统计方法，空间自相关包

括全局自相关和局部自相关。本研究采用全局莫兰指数(Global Moran's I)来测度耦合协调度空间邻接单元的相似程度,公式如(9)所示。另外采用局部莫兰指数(Local Moran's I)来进一步验证是否存在空间上的高值和低值集聚,公式如(10)所示。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (9)$$

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

式中 x_i 和 x_j 表示第 i 个区域和第 j 个区域的属性值, n 为研究单元数量, \bar{x} 和 S^2 分别为变量 x 的平均值和方差值; w_{ij} 是按照邻接标准计算得到的空间权重矩阵的值,当第 i 个区域和第 j 个区域相邻接时 $w_{ij}=1$, 不邻接则取 0。当 I 为正, 空间分布呈正相关; 当 I 为负, 空间分布呈负相关;

1.2.5 地理探测器

地理探测器 (GeogDetector) 最早由王劲峰等应用于疾病风险评估研究。地理探测器方法大的优势就是没有过多的假设条件, 具有传统计量方法不具有的优势, 近几年被广泛用于探测地理事物空间分布的成因机理研究。本文主要运用地理探测器因子探测模块定量分析江淮城市群区域发展与资源环境耦合协调度的成因机理。因子探测模块计算表达式:

$$P_{D,H} = 1 - \frac{1}{n\sigma_H^2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \sigma_{H_{D,i}}^2 \quad (11)$$

式中: D 为影响因子; H 为开发区数量指标; m 为次级区域个数; $P_{D,H}$ 为 D 对 H 的解释力; n 和 σ^2 分别表示研究区样本总数和方差; $n_{D,i}$ 为次一级区域样本数; $P_{D,H}$ 取值范围为 $[0,1]$, $P_{D,H}$ 值越大则表明该因子对耦合协调度的影响越大。

1.2.6 数据来源

本文将江淮城市群作为空间研究尺度, 各指标数据主要来源于 2006-2016 年《安徽统计年鉴》。下文相关统计图表均据此绘制而成, 将不在逐一列出数据来源。由于本研究所依据的数据主要限于安徽省内, 有关数据的统计口径是一致的, 因而可以保证数据的可靠性和结

果的可比性。

2 江淮城市群耦合协调度的空间分布特征

2.1 耦合协调度空间特征

为深入研究江淮城市群区域发展与资源环境水平耦合协调度空间演变特征, 本文基于 3 个时间截面的耦合协调度数据利用 ArcGIS10.2 软件中的自然间断点分类方法, 将公式(8)计算的耦合度数值分为 4 类, 即高度耦合区、中度耦合区、低度耦合区和勉强耦合区, 绘制了区域发展与资源环境耦合协调度空间分布(图 2)。从 2005、2010、2015 三个年份上来看, 江淮城市群各地级市区域发展与资源环境水平的耦合度虽有波动, 但总体上还是趋于优化的。耦合程度较高的地级市大多集中在中心城市合肥, 东南部的芜湖、马鞍山和铜陵等靠近长三角的地级市, 这些地级市城市化和区域发展水平较高; 耦合程度较低的地区, 主要集中在西部的六安、安庆等地级市, 北部的淮南、蚌埠等地级市, 这些地级市在发展程度上, 要落后于南部地级市。其中, 以马鞍山、淮南为代表的资源型城市耦合度属于逐渐上升的趋势, 说明转型非常成功, 而蚌埠市的耦合度逐渐下降, 说明其在城市发展过程中濒临失调, 有待转型。

2.2 耦合协调度演变特征

区域开发强度与资源环境水平的耦合度主要影响因素为区域发展指数 DS (图 3、4) 和资源环境指数 RE (图 5、6)。由图 1 可知, 合肥市的 DS 指数虽历经波动, 但十年来数值变化并不大, 由 0.331 (2005) 上升到 0.344 (2015); 蚌埠市的 DS 指数呈缓慢波动上升趋势, 由 0.153 (2005) 上升到 0.196 (2015), 上升了 27%; 淮南、马鞍山两个资源型城市近些年来发展陷入停滞, 分别由 0.165 和 0.227 (2005) 下降到 0.152 和 0.216 (2015), 其中, 马鞍山市下降幅度较大; 而滁州、六安两市则呈现逐渐发展态势, 分别由 0.115 和 0.088 (2005) 上升到 0.164 和 0.130 (2015)。在图 2 的剩余几个地级市中, 芜湖、铜陵二市虽然发展程度较高, 但是近些年来 DS 指数呈下降趋势, 分别由 0.300 和 0.238 下降到 0.230 和 0.218; 但是原先发展程度不如芜湖、铜陵的巢湖、池州和安庆市三市, DS 指数逐渐上升, 2005-2010 年巢湖市 DS 指数由 0.091 上升到 0.173, 上升了 89.3%, 为上升程度最快的市级行政单位, 2010 年后, 行政区划调整, 巢湖市被撤销。池州、

地理探测器正确引用:

- [1] Wang JF, Li XH, Christakos G, Liao YL, Zhang T, Gu X & Zheng XY. 2010. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. *International Journal of Geographical Information Science* 24(1): 107-127.
 [2] Wang JF, Zhang TL, Fu BJ. 2016. A measure of spatial stratified heterogeneity. *Ecological Indicators* 67: 250-256.
 [3] 王劲峰, 徐成东. 2017. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报* 72(1): 116-134.

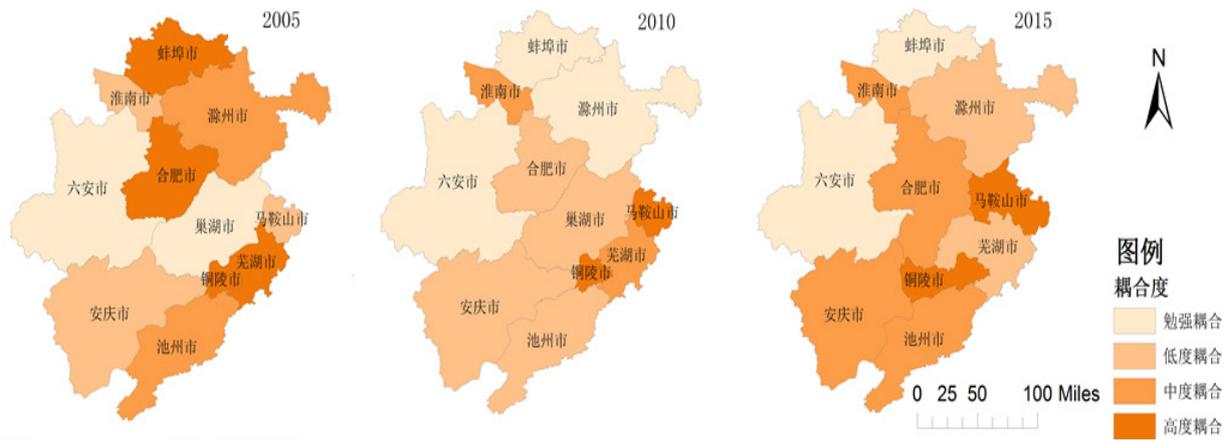


图 2 江淮城市群区域发展与资源环境水平耦合度空间分布图

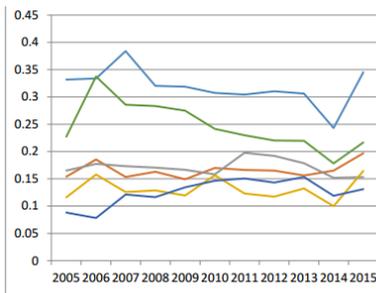


图 3

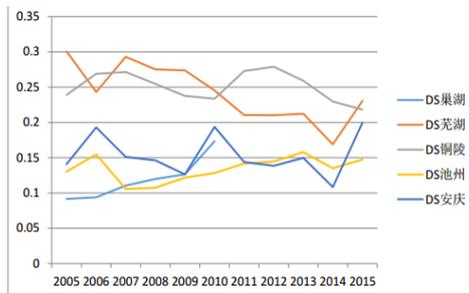


图 4

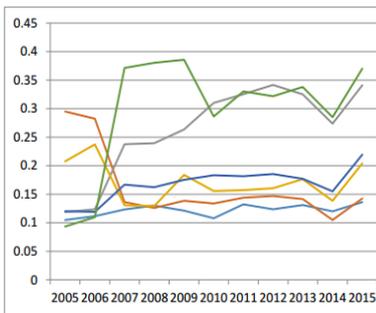


图 5

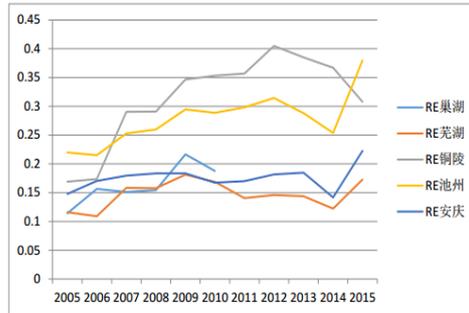


图 6

江淮城市群区域发展指数 RE 变动图

安庆市的 DS 指数也保持发展趋势，由 0.130 和 0.140 (2005) 上升到 0.147 和 0.199 (2015)，发展较快。

资源环境指数是影响耦合度的又一基础因子，由图 3、4 可知，除了蚌埠市的 RE 指数逐渐下降，滁州市的 RE 指数在研究时段始末数值相差不大外，其余各地级市 RE 指数大体上均呈上升趋势，说明在城市与区域发展过程中考虑到了环境因素。将公式 (4)、(5) 计算出的各地级市 DS 和 RE 值运用 SPSS22.0 进行相关分析，得出的结果如表 2，合肥市、蚌埠市、淮南市、

马鞍山市和铜陵市的 DS 和 RE 指数的相关程度都非常弱，表明区域城市发展并未使得区域资源环境条件得到同步改善；滁州市、芜湖市和池州市的 DS 和 RE 指数的相关程度都比较弱，表明在区域城市发展的过程中，要注重环境的改善；巢湖和安庆两市的 DS 和 RE 指数相关程度比较强，但未能通过显著性检验，只有六安市在城市发展过程中资源环境水平得到了同步推进。

基于区域发展指数 DS 和资源环境指数 RE，利用公式 (6)，计算出江淮城市群区域发展与资源环境的耦合程度 (图 7、8)，由图 7、图 8 可知马鞍山市、淮南市、铜陵市和芜湖市近十年的耦合程度呈现先升高，后降低的倒“U”型曲线模式；蚌埠市近十年来耦合度呈下降趋势；合肥市和滁州市的耦合度虽有波动，但总体保持不变；而安庆市、池州市的耦合程度呈波动上升趋势，巢湖市、六安市的耦合程度呈逐渐上升趋势，这种情况大体符合表 2 的相关程度。

表 2 江淮城市群地级市 DS 和 RE 指数相关程度

	合肥	蚌埠	淮南	滁州	六安	马鞍山	巢湖	芜湖	铜陵	池州	安庆
皮尔森 (Pearson) 相关	0.032	0.125	0.126	0.482	0.817	-0.179	0.639	0.217	0.04	0.241	0.504
显著性	0.925	0.714	0.713	0.134	0.002	0.598	0.172	0.522	0.908	0.475	0.114
相关程度	弱	弱	弱	较弱	强	弱	较强	较弱	弱	较弱	较强

表 3 区域发展指数 DS 与资源环境指数 RE 耦合协调度的空间自相关情况

年份	M (I)	Z (I)	P (I)	G (d)	Z (d)	P (d)
2005	-0.46456	-1.55425	0.120126	0.240031	0.47239	0.636649
2010	0.229652	1.450716	0.146859	0.250163	2.031388	0.042216
2015	-0.12687	-0.06185	0.950681	0.250244	1.165709	0.243732

2.3 江淮城市群区域发展与资源环境耦合协调度的空间聚类特征与演化

为进一步分析江淮城市群区域发展与资源环境耦合协调度空间集聚特征，通过计算 Global Moran's I

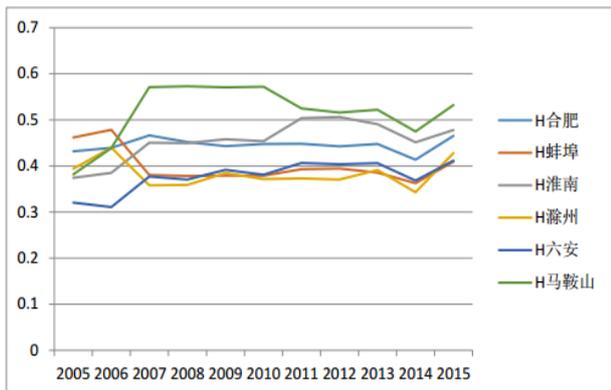


图 7

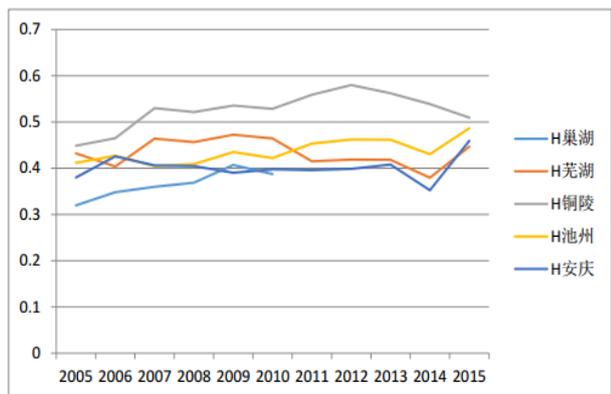


图 8

江淮城市群区域发展指数 RE 变动图

指数和 Getis-Ord General G 指数得到区域发展与资源环境耦合协调度的全局空间自相关情况。由表 3 可知，江淮城市群区域发展与资源环境的耦合协调度的 Moran's I 指数呈现“低 - 高 - 低”的倒 U 型发展模式，即耦合协调度呈现一种“发散 - 集聚 - 发散”的趋势，但三个年份的 Moran's I 指数均未通过 5% 的显著性检验（即 $p < 0.05$ ），说明江淮城市群区域发展与资源环境指数的耦合协调度空间自相关性不强，空间集聚与分散水平较低；同时，江淮城市群区域发展与资源环境耦合协调度的 Getis-Ord General G 指数呈现“随机 - 高聚类 - 随机”的变化趋势，这种趋势与 Moran's I 指数值同步。

3 驱动机制

为进一步研究江淮城市群协调发展受到各方面因素的综合影响，选取人均 GDP、科研从业人员数、财政收入总额、城市人口密度和每万人在校大学生人数这 5 项指标作为探测因素，利用地理探测器分析方法，对区域发展与资源环境指数的驱动机制进行实证研究。在 ArcGIS10.1 中对这五项指标进行标准差分类，计算出五项指标对区域发展与资源环境指数耦合协调度的影响力（表 4）。由表 4 可得，江淮城市群人均生产总值，科研人员从业人员数，财政收入总额，城市人口密度和每万人在校大学生人数这五项指标的探测力值均呈现

表 4 区域发展与资源环境指数影响力测度

年份	人均生产总值	科研从业人员	财政收入总额	城市人口密度	每万人在校大学生人数
2005	0.62937466	0.536718325	0.722030995	0.62937466	0.536718325
2010	0.631683454	0.539604318	0.723762591	0.631683454	0.539604318
2015	0.594061939	0.492577424	0.695546455	0.594061939	0.492577424

“低—高—低”发展的倒U型模式，但总体变化平稳，表明江淮城市群各市区域城市化朝着稳步发展推进；政府财政是调节区域协调发展的重要手段，表4中财政收入探测值最大，表明在区域发展中，尤其是2008年经济危机以来，政府一直扮演着不可或缺的角色。

4 结论与讨论

第一，从整体上看，2005—2015年江淮城市群各地级市区域发展与资源环境指数的耦合协调度是不断优化的，表明江淮城市群在区域城市发展的过程中注重了资源节约与环境保护，尤其是以淮南、马鞍山为代表的资源型城市得到了良好的转型。

第二，从局部上看，以合肥、芜湖、铜陵为代表的江淮城市群较发达城市，在区域城市发展过程中资源环境并未得到同步改善，反而以六安、安庆为代表的欠发达城市，在发展过程中资源环境水平得到了同步增长。

第三，通过空间自相关分析，表明江淮城市群区域发展与资源环境的耦合协调度的Moran's I指数呈现“低—高—低”的倒U型发展模式，即耦合协调度呈现一种“发散—集聚—发散”的趋势，但三个年份的Moran's I指数均未通过5%的显著性检验（即 $p < 0.05$ ），说明江淮城市群区域发展与资源环境指数的耦合协调度空间自相关性不强，空间集聚与分散水平较低，仍有较大的发展空间。

第四，通过地理探测器分析发现空间分异的主要影响因素有人均生产总值、科研从业人数、财政收入总额等，且存在明显的时空异质性，说明江淮城市群仍存在发展不平衡的情况。

参考文献：

- [1]Grossman G,Krueger A.Economic Growth and the Environment[J]. Quarterly Journal of Economics,1995,100(2):353-377.
- [2]William R,Mathis W.Urban Ecological Footprints:Why Cities cannot be Sustainable—And Why They are Key to Sustainability[J].Environment Impact Assessment Review,1999,16(4-6):223-248.
- [3]Jenerette G D,Larsen L A Global Perspective on Changing Sustainable Urban Water Supplies[J].Global and Planetary Change,2006,50(3-4):202-211.
- [4]Erickson T O,Stefan H G.Natural Groundwater Recharge Response to Urbanization:Vermillion River Watershed Minnesota[J].Journal of

Water Resources Planning and Management,2009,135(6):512-520.

[5]Kurucu Y,Christina N K.Monitoring the Impacts of Urbanization and Industrialization on the Agricultural Land and Environment of the Torbali,Izmir Region,Turkey[J].Environmental Monitoring and Assessment,2008,136(1-3):289-297.

[6]Taylor C A,Stefan H G.Shallow Groundwater Temperature Response to Climate Change and Urbanizing[J].Journal of Hydrology,2009(3-4):601-612.

[7]刘晓丽, 放创琳.城市群资源环境承载力研究进展及展望[J].地理科学进展, 2008(5):35-42.

[8]张燕, 曾刚.中国区域发展潜力与资源环境承载力的空间关系分析[J].资源科学, 2009(8):1328-1334.

[9]方创琳.中国城市群可持续发展理论与实践[M].北京:科学出版社, 2010.

[10]方创琳.特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J].地理学报, 2016(4):531-550.

[11]刘艳军, 张婧, 王颖.东北地区开发规模扩张的资源环境响应[J].中国人口·资源与环境, 2012(5):1-7.

[12]刘艳军, 田俊峰, 付占辉, 等.哈大巨型城市带要素集聚程度与生态环境水平关系演变[J].地理科学, 2017(2):172-180.

[13]孙黄平, 黄震方, 徐冬冬等.泛长三角城市群城镇化与生态环境耦合的空间特征与驱动机制[J].经济地理, 2017(2):163-186.

[14]白如山, 姜玉培, 江进德.江淮城市群“三生”空间结构的多尺度分析[J].中国名城, 2016(10):21-28.

责任编辑：王凌宇