

基于EOF和GWR模型的中原经济区 经济增长的时空分析

白景锋, 张海军

(南阳师范学院环境科学与旅游学院, 河南 南阳 473061)

摘要: 结合中原经济区“三化”协调发展的国家战略, 基于自然正交函数(EOF)分析中原经济区经济增长的时空特征, 借助地理加权回归(GWR)揭示其驱动力。EOF第一模态分析表明: 中原经济区经济增长的空间分布沿京广线的东西两侧反相分布, 京广线以西增长快于京广线以东; 时间系数表现出明显的年际特征, 且东、西两部分有近10年的循环周期。第二模态反映局部区域经济增长的年际异常, 其呈西南、东北反相空间分布; 时间系数年际波动明显。GWR分析发现: 驱动力的作用在空间上存在差异。农民人均纯收入对中原经济区经济增长的影响最大, 呈正相关关系。资源禀赋是第二大影响因素, 也呈正相关关系。经济区位是第三大影响因素, 其他因素依次是第二产业、城市化和农业机械总动力。影响中原经济区经济增长的因素有明显的经度地带性规律。因此, 制定区域发展政策时, 要考虑不同行政区的特殊性。

关键词: EOF; GWR; 时空; 中原经济区

DOI: 10.11821/dlyj201407004

1 引言

空间异质性是事物在空间的一种常态, 其系统可变模型参数常表现为结构不稳定。空间地理单元本身的自然禀赋、经济、制度、文化等方面的差异都可能导致区域增长的空间异质性。研究区域经济增长空间异质性及驱动力, 可为缩小区域经济增长差异服务^[1]。最早把空间异质性引入区域经济与经济地理研究是Brunsdon, 此后相关研究层出不穷^[2]。研究方法主要从统计分析, 如标准差、变异系数等, 逐步转向Moran's *I*指数、空间集聚、空间格局演变等^[3-8]。中原经济区研究主要集中于“三化”(农业现代化、城镇化、工业化)协调、空间分析、土地资源研究等方面。在“三化”协调方面, 研究三化协调的机理、路径和政策^[9-11]。在中原经济区空间分析方面, 对经济联系、溢出效应、交通的空间差异进行了探讨^[12-16]。在中原经济区土地资源、生态安全、国土资源政策上也有相关研究^[17,18]。然而, 多数研究者采用断面数据, 时间断面选取主观性较大, 而且这类分析无法揭示长时间尺度的区域经济空间异质性演变规律。中原经济区是国家发展战略的重要组成部分, 要实现中原经济区的协调发展必须了解它的增长演化规律和驱动机制。

自然正交函数能很好地解决探索性空间数据分析(ESDA)只能采用时间断面分析的不足, 可进行长时间序列的空间演化分析^[19-22]。地理加权回归(GWR)可以解决研究对象有较强空间相关性时, 传统线性回归模型估计结果不可靠的问题。通过分析中原经济区经济增长演化的时空特征及驱动力的空间异质性, 可为中原经济区因地制宜制定地方

收稿日期: 2013-10-09; 修订日期: 2014-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41201099)

作者简介: 白景锋(1972-), 男, 陕西洛南人, 副教授, 研究方向为区域发展与资源开发。

E-mail: 1181209980@qq.com

发展政策服务。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

中原经济区包括河南省全境以及河北省、山西省、山东省、安徽省和湖北省的部分地市, 总面积 28.9 万 km², 2012 年末总人口 1.79 亿。考虑到数据的可获得性和代表性, 本研究不包括淮南市的凤台县、潘集区和泰安市东平县 (图 1)。

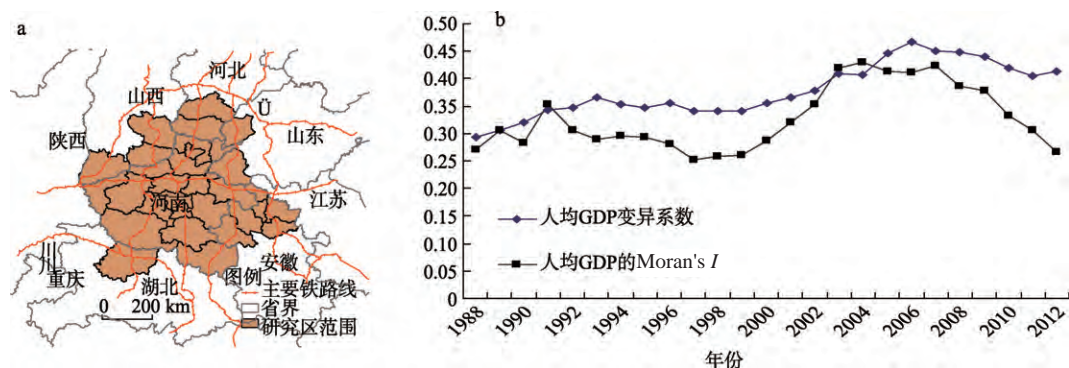


图 1 中原经济区行政区图(a)和中原经济区人均 GDP 变异系数、Moran's I 年际变化图(b)

Fig. 1 Location administrative map of central China economic region (a) and annual dynamic variations for variation coefficient and Moran's I index of per-capita GDP (b)

2.2 研究方法

2.2.1 自然正交函数(EOF) 1950 年代自然正交函数 (EOF) 被 Lorenz 引入气象学研究, 目前在地学与相关学科被大量应用。在地学分析时, 其特征向量对应空间样本, 称空间模态; 主成分对应时间变化, 称时间系数。因此, EOF 分析在地学中被称为时空分解^[22-24]。

2.2.2 经济区位指数 经济区位是影响经济增长的重要因素。经济区位反映了增长极或增长带对周围区域增长的辐射^[25-26]。考虑到数据的可获得性和科学性, 选取地级中心城市的 GDP、城市人口数和通车里程三个二级指标构建经济区位指数, 公式如下:

$$Q_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{G_{ij}}{\sum_{i=1}^k G_{ij}} \quad (1)$$

式中: Q_i 为第 i 个城市的经济区位指数; G_{ij} 代表第 i 个城市的第 j 个二级指标; k 代表城市个数。

2.2.3 资源禀赋指数 资源禀赋对区域经济增长影响大。选取中原经济区储量居前八位的矿产资源和耕地资源、水资源为基础数据, 在考虑资源丰度和多度基础上, 构建资源禀赋指数。公式如下:

$$R_i = \frac{n}{10} \sum_{j=1}^n \left(E_{ij} / \sum_{i=1}^k E_{ij} \right) \quad (2)$$

式中: R_i 为第 i 个地区的资源禀赋指数; E_{ij} 代表第 i 个城市的第 j 种资源的探明储量; k 代表地区数; n 代表 i 地区的资源种类数。

2.2.4 地理加权回归模型(GWR) GWR分析是空间异质过程的一种分析方法,公式如下^[25]:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^n \beta_j(u_i, v_i) x_{ij} + \varepsilon_i \quad (3)$$

式中: u_i 、 v_i 代表第*i*个地点的地理坐标; ε_i 为*i*处的随机误差。 y 与 x_j 间的关系随地理位置而变化。空间核函数和核带宽是GWR模型拟合中最重要的参数。ArcGIS的GWR模块中可供选择的核类型包括固定空间核和自适应空间核。自适应空间核可确保样点密集区带宽更小,样点稀疏区带宽更大,从而达到更好的拟合性能。一般用AICc最小的标准,交叉验证和确定空间核函数的最优带宽^[27]。

GWR模型容许局部参数估计,假定回归系数是观测点地理位置的函数,将数据的空间特性纳入模型中,为分析回归关系的空间特征创造了条件。GWR模型在对参数向量进行估计时,选取高斯函数等,权重函数的确定决定于带宽的选择和优化,常用的优化方法有交叉验证法、AIC信息准则法等^[27-30]。

2.3 数据来源

以中原经济区的30个地级市为分析单元,以人均GDP为研究指标,数据来源于1988-2013年豫、晋、冀、鲁、皖5省的《统计年鉴》、《河南60年》、《辉煌山西60年》、《辉煌山东60年》、《安徽50年》、《新河北60年》、《湖北50年》以及相关地市的国民经济与社会发展统计公报等。为使数据有可比性,对数据进行平减,折算为可比价。空间数据源于国家1:400万基础地理信息库。

3 中原经济区经济增长的时空特征

3.1 中原经济区经济增长的总体差异分析

从图1b可见,人均GDP的变异系数先上升后下降。由1988年的0.29上升到2006年的0.466,然后下降到2012年的0.41。可见经济增长的相对差异先扩大后缩小,研究区经济增长表现出先发散后收敛的特征。计算1988-2012年研究区人均GDP的全局Moran's *I*指数。全局Moran's *I*指数的Z值都大于0.01置信水平的临界值,通过显著性检验,而且1988-2012年全局Moran's *I*值均为正值,由此可见,中原经济区人均GDP有高值聚集和低值聚集的空间特征。

研究区全局Moran's *I*指数波动较大。1988-1991年全局Moran's *I*值呈上升趋势,由1988年的0.27上升到0.35,说明研究区经济增长呈增长极模式,经济增长快的地市明显聚集,经济增长慢的地市明显聚集,区域经济差距拉大。1992-1997年全局Moran's *I*值呈下降趋势,从1992年的0.306下降到0.25,经济增长从增长快的地区向增长慢的地区扩散,空间聚集变弱,有明显的溢出效应。1998-2004年全局Moran's *I*值强劲上涨,全局Moran's *I*值从1998年的0.258增长到0.429,经济增长的空间聚集再次突显,区域经济增长的差异达到最大。2005-2012年全局Moran's *I*值再次下降,人均GDP的变异系数也下降,研究区经济增长的相对差距缩小,空间聚集减弱,空间扩散加强。由此可见,区域经济增长在空间上的聚散是经济增长总体相对差异变化的具体表现,经济增长相对差异变化是经济增长在空间聚集或扩散的结果。

3.2 中原经济区经济增长的EOF分析

采用中原经济区人均GDP 1988-2012年的面板数据进行EOF分析。由于前两个特征向量累积方差贡献率分别达到91.2%和96.28%,所以,用它们说明研究区经济增长的时

空结构。每一特征向量场的极大值中心是经济增长变快与变慢异常变化的最敏感区域。由于特征向量相互正交, 因此, 第一模态的特征向量反映经济增长距平的平均状态, 其余的反映不同尺度经济增长距平的变化状态, 其时间系数作为特征向量的权重, 反映了不同年份对这种空间分布贡献的大小。

EOF 第一模态的方差贡献为 91.2%。EOF 第一模态反映研究区经济增长的总体空间分布特征(图 2a)。其特征值有正有负, 研究区经济增长自东向西变化; 京广线以东数值多为负, 阜阳、周口附近为低值中心。京广线以西多是正值, 郑州、济源附近为高值中心。这反映中原经济区经济增长大致沿京广线的东西两侧反相分布。

第一模态的时间系数(图 2b), 有明显的年际特征。时间系数从 1998-1996 年是负值, 其中 1993 年的时间系数绝对值最大, 说明该年这类空间分布最典型。京广线以西经济增长减弱, 京广线以东, 经济增长加快。从 1997-2007 年为正值, 其中 2005 年的时间系数绝对值最大, 说明该年这类空间分布典型。这一时期京广线以西增长快, 京广线以东增长慢。2007 后时间系数又出现负值, 区域经济增长进入新一轮空间循环发展期。该模态反映了中原经济区经济增长的空间年代际变化分量。

第二模态的方差贡献仅为 5.08%。从空间分布来看(图 3a), 研究区经济增长的空间变

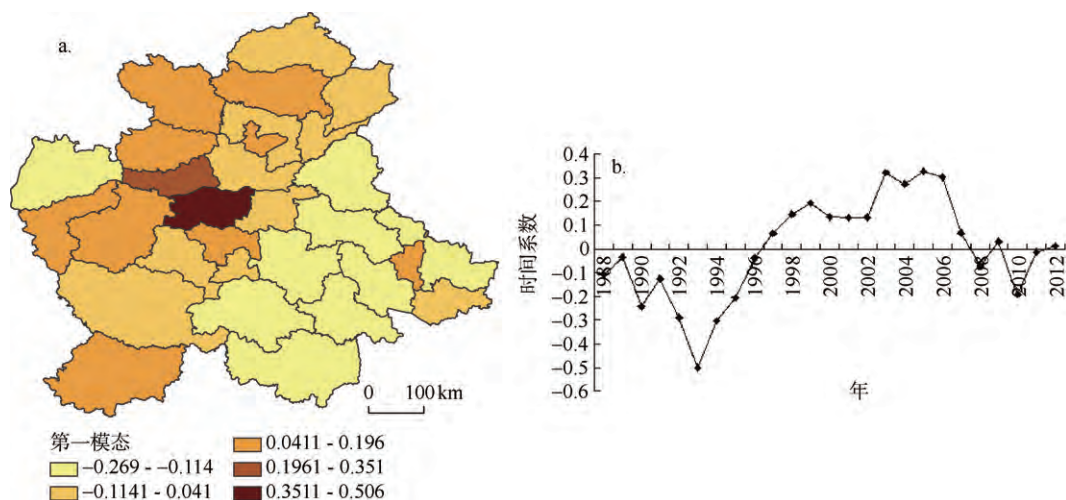


图2 中原经济区经济增长的 EOF 第一模态空间分布(a)及其对应的标准化时间系数序列(b)

Fig. 2 Spatial distribution of the first EOF mode (a) and its time coefficient (b) in central China economic region

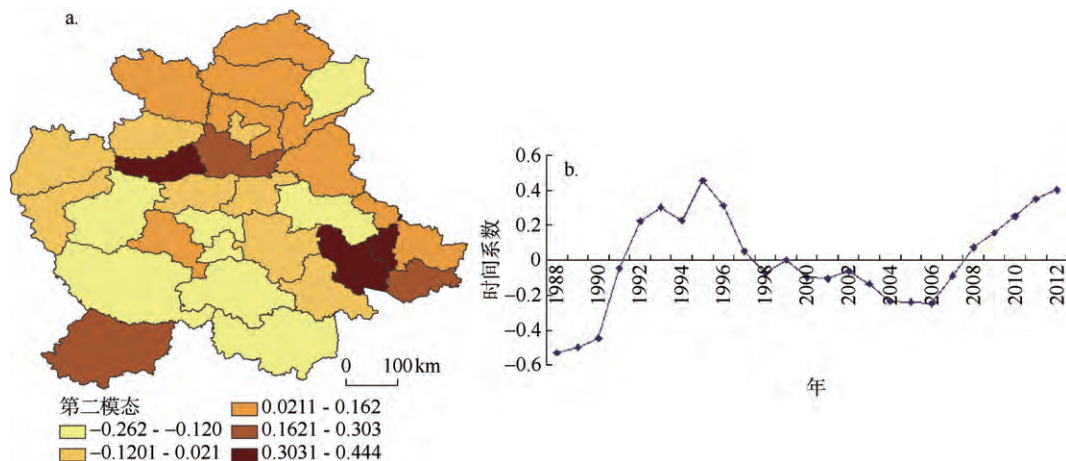


图3 中原经济区经济增长的 EOF 第二模态空间分布(a)及其对应的标准化时间系数序列(b)

Fig. 3 Spatial distribution of the first EOF mode (a) and its time coefficient (b) in central China economic region

呈西南、东北反相分布的特征。研究区大部分为负值, 洛阳—信阳连线以西南地区为负值, 淮北、焦作为两个正值中心, 淮北—焦作沿线以北为正值区; 其时间系数有更明显的年际波动(图 3b)。它反映了中原经济区局部区域经济增长的年际异常特征。如襄阳、亳州和蚌埠在东部地区发展减速时, 表现出发展增速的异动; 洛阳、许昌、聊城以及漯河在区域增长加速时, 却增长减缓。

4 基于 GWR 的中原经济区经济增长驱动力分析

EOF 分析发现, 研究区经济增长的空间分布有显著空间异质性, GWR 模型能够解决由于空间位置和因变量与自变量间关系的局部变异, 降低模型残差的空间自相关性, 修正传统回归模型。

“三化”协调是中原经济区发展的必选途径, 考虑到数据的可获得性和科学性, 把 1988 年和 2012 年的截面数据相减, 计算相关指标的变化, 如城市化水平的变化、第二产业比重的变化、第三产业比重的变化、总人口的变化、农业机械总动力的变化、农村用电量的变化、农业机械总动力的变化、农民人均纯收入的变化等。把它们和资源禀赋指数、经济区位指数作为影响经济增长的解释变量, 首先对各项指标做标准差标准化处理。

用逐步回归的方法剔除共线性指标。在 1988-2012 年人均 GDP 变化的 GWR 回归模型中, 选取容忍度值大于 0.7 的城市化水平的变化、第二产业比重的变化、农业机械总动力的变化、农民人均纯收入的变化、资源禀赋指数和经济区位指数为自变量。对 1988-2012 年中原经济区 30 个地区相关数据建立 GWR 模型, 采用 ARCGIS “自适应”核函数使 AICc 最小做局域估计。

所选 6 个变量的 OLS 分析的决定系数为 0.798, 残差平方和为 8.26, 而采用 GWR 的决定系数为 0.834, 残差平方和为 5.61, 这表明用 GWR 模型得到的结论更合理。从 1988-2012 年人均 GDP 变化的局部系数估计(图 4)可见, 影响中原经济区经济发展变化的因素的重要程度在空间上存在差异。中原经济区人均 GDP 变化的解释变量的重要程度从大到小依次为: 农民人均纯收入、资源禀赋、经济区位、第二产业比重、城市化水平和农业机械总动力。

GWR 模型能够解释人均 GDP 变异的 75.4%~92.9%, AICc 为 42.28, 回归方程通过 $P=0.001$ 的显著性检验。GWR 模型估计的变量回归系数中农业机械总动力为负值, 城市化的系数有正有负, 其他的回归系数都是为正值。农民人均纯收入对人均 GDP 变化的影响最大, 为正相关, 影响强度从东南部安徽依次向西北降低。高值区位于蚌埠、宿州、亳州和淮北, 该区位于黄淮平原区, 是传统农业区, 工业较落后, 农业人口多, 农民人均纯收入的增加是经济增长的主要动力; 低值区位于豫西北和晋东南的黄土丘陵区, 这一区域长期依靠煤、铝土和金等矿产发展工业, 农业受耕地和水资源限制发展慢, 农业人口不多。

资源禀赋的回归系数是为正值, 对经济增长的影响强度也从东南向西北降低。高值区在信阳、阜阳、亳州、驻马店和周口一带, 该地区土地平坦, 水资源丰富, 煤、铁和石油比较丰富, 资源配置较合理, 综合发展能力强。低值区位于煤、铝土、铁和钼资源丰富的豫西北和晋东南地区, 该地区水资源短缺, 为黄土丘陵区, 经济以采矿业为主, 结构单一, 经济增长的脆弱性强, 近年来面临产业转型经济增长较慢。

经济区位是影响经济增长的第三大因素, 回归系数是为正值, 对经济增长的影响强度从北向南递减。高值区位于京广线以西, 陇海线以北包围的地区。该区域自然资源丰

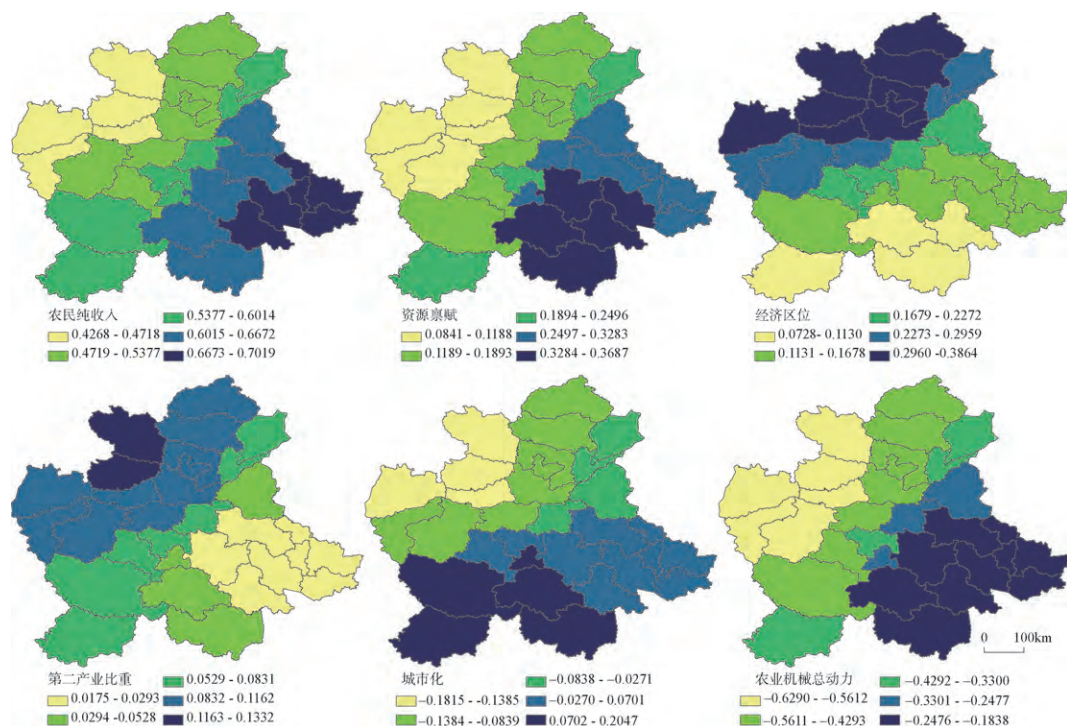


图4 GWR模型各自变量回归系数估计的空间分布

Fig. 4 Spatial variation of the coefficient estimation of independent variables

富, 交通便利, 又是中原城市群中工业城市集中地区, 受规模效益影响, 经济增长较快。由于传统资源型产业太多, 因此, 近年来经济增长速度有所下降。低值区位于信阳、阜阳和驻马店, 这里是传统的黄淮平原农区, 远离郑州、洛阳和开封等中心城市, 也是中原城市群中发展靠后的城市, 经济辐射力弱。

第二产业比重变化的影响总体上看西部高于东部。高值中心在老工业基地长治和晋城, 工业在经济结构中所占比重很大。低值区位于开封以东的豫东平原和淮河平原区, 这一地区是以农业为主的粮食主产区, 长期以来工业不发达。

城市化对人均GDP的变化影响从南向北降低。陇海铁路以北为负值区, 该地区人口增长快于城市化, 同时该区城市多数为煤炭资源型城市, 发展乏力, 对区域经济增长拉动有限, 城市化对区域发展影响很小; 陇海铁路以南为正值, 信阳、驻马店、漯河、南阳和襄阳为高值中心, 该地区人口增长速度小于城市化速度, 城市化加快了区域整体发展。

农业机械总动力的变化对人均GDP的变化成负相关。农业机械总动力的影响程度从西到东降低, 其中焦柳线以西影响最大, 山东西南、河南中东部和安徽西北部区影响最小。这主要是由于焦柳线以西地区主要是豫西、豫北山地和黄土丘陵区, 不利于机械化耕作, 农业机械化发展缓慢; 中原经济区的东部为平原区, 机械化程度较高。

5 结论与讨论

(1) 中原经济区经济增长呈先发散后收敛的动态特征, 人均GDP呈正的空间自相

关。EOF分析的第一模态反映出1988-2012年以来,中原经济区经济增长总体上沿京广线的东西两侧反相分布,京广线以西增长快于京广线以东,第一模态对应的时间系数,表现出明显的年际特征,东、西两部分地区具有近10年的增长循环周期。第二模态反映了中原经济区经济增长的局部区域的年际异常特征,呈现西南、东北部反相分布空间格局,相应时间系数年际波动更明显。

(2) GWR分析发现:1988-2012年年间,影响中原经济区人均GDP变化因素的重要程度在空间上存在不同。农民人均纯收入对中原经济区经济增长的影响最大,呈正相关关系。资源禀赋是第二大影响因素,也呈正相关关系。经济区位是第三大影响因素,其他因素依次是第二产业比重、城市化水平和农业机械总动力。

(3) 影响中原经济区经济增长的大部分因素有明显的经度地带性规律。农民人均纯收入、资源禀赋和农业机械总动力对人均GDP的影响强度都从东南向西北依次降低;经济区位和第二产业比重对人均GDP影响从西北向东南降低。说明中原经济区经济增长可能还受到地形、气候、区域政策等的影响。

从以上分析可以看出,EOF分析可以更好地把时间序列和空间变化相结合,揭示区域发展演变的时空规律,GWR分析能较好解释区域发展演变的空间异质性的形成机制。中原经济区社会和自然环境比较复杂。因此,在制定区域发展政策时,要考虑不同行政单元的特殊性。考虑到数据的可获得性,本文只对中原经济区30个地级行政区经济增长进行研究,空间尺度较大,可能会降低小尺度单元对某些影响因素的敏感性,同时,自然环境的地形、气候等对经济发展也有一定影响,本文只在分析中提及,没有做量化分析,这些需要进一步深入研究。

参考文献(References)

- [1] Anselin L. Spatial Econometrics: Methods and Models. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [2] Brunsdon C A S, Fortheringham M, Charlton. Some notes on parametric significance tests for geographically weighted regression. *Journal Regional Science*, 1999, 39(3): 497-524.
- [3] 邱灵,方创琳.北京市生产性服务业空间集聚综合测度. *地理研究*, 2013, 32(1): 99-110. [Qiu Ling, Fang Chuanglin. Comprehensive assessment on the spatial agglomeration of producer services in Beijing. *Geographical Research*, 2013, 32(1): 99-110.]
- [4] 张伟丽,覃成林,李小建.中国地市经济增长空间俱乐部趋同研究. *地理研究*, 2011, 30(8): 1157-1470. [Zhang Weili, Qin Chenglin, Li Xiaojian. Study on spatial club convergence hypothesis of prefectural economic growth: in comparison with provincial data. *Geographical Research*, 2011, 30(8): 1157-1470.]
- [5] 吴玉鸣.中国省域旅游业弹性系数的空间异质性估计:基于地理加权回归模型的实证. *旅游学刊*, 2013, 28(2): 35-43. [Wu Yuming. Spatial heterogeneity estimation of regional tourism industry elasticity in Chinese provinces: A geographically weighted regression study. *Tourism Tribune*, 2013, 28(2): 35-43.]
- [6] 姚鲁峰,何书金,赵歆.地理学时空变化类论文的写作. *地理学报*, 2013, 68(7): 1007-1011. [Yao Lufeng, He Shujin, Zhao Xin. Geography academic writing about temporal spatial variation. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(7): 1007-1011.]
- [7] 李丹丹,刘锐,陈动.中国省域碳排放及其驱动因子的时空异质性研究. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(7): 84-92. [Li Dandan, Liu Rui, Chen Dong. Research on space-time heterogeneity of carbon emission and influencing factors in provinces of China. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(7): 84-92.]
- [8] 王强,樊杰,伍世代.1990-2009年中国区域能源效率时空分异特征与成因. *地理研究*, 2014, 33(1): 43-56. [Wang Qiang, Fan Jie, Wu Shidai. Spatial-temporal variation of regional energy efficiency and its causes in China: 1990-2009. *Geographical Research*, 2014, 33(1): 43-56.]
- [9] 王发曾.中原经济区的“三化”协调发展之路. *人文地理*, 2012, 27(3): 55-59. [Wang Fazeng. The three-zation coordinated development road of Zhongyuan economic region. *Human Geography*, 2012, 27(3): 55-59.]
- [10] 丁志伟,张改素,王发曾.中原经济区“三化”协调的内在机理与定量分析. *地理科学*, 2013, 33(4): 402-409. [Ding Zhiwei, Zhang Gaisu, Wang Fazeng. The internal mechanism and quantitative analysis of coordination development of

- industrialization, urbanization and agricultural modernization of Zhongyuan economic region. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(4): 402-409.]
- [11] 吴一平, 陈素云, 孙德中. 中原经济区三化协调路径及关键问题研究. *农业经济问题*, 2013, (3): 69-73. [Wu Yiping, Chen Suyun, Sun Dezhong. Research on path and key problem of coordinated development of urbanization, agricultural modernization and industrialization in central plains economic region. *Issues in Agricultural Economy*, 2013, (3): 69-73.]
- [12] 蔡世忠. 中原经济区农业新型农业现代化发展的思路与对策. *河南农业科学*, 2013, 42(8): 157-161. [Cai Shizhong. Philosophy and strategy for development of new style agricultural modernization in agricultural region of central plains economic zone. *Science of Henan Journal Agricultural*, 2013, 42(8): 157-161.]
- [13] 李波, 张吉献. 中原经济区城镇化区域差异时空演化研究. *地域研究与开发*, 2013, 32(3): 167-171. [Li bo, Zhang Jixian. The temporal and spatial evolution of the urbanization difference in the central plains economic region. *Areal Research and Development*, 2013, 32(3): 167-171.]
- [14] 刘荣增, 李蕾蕾. 基于AHP的中原经济区城市竞争力研究. *工业技术经济*, 2013, 32(3): 11-17. [Liu Rongzeng, Li Leilei. On the city competitiveness of the central plains economic zone based on the process analytic hierarchy. *Industrial Technology & Economy*, 2013, 32(3): 11-17.]
- [15] 孟德友, 沈惊宏, 陆玉麒. 中原经济区县域交通优势度与区域经济空间耦合. *经济地理*, 2012, 32(6): 7-14. [Meng Deyou, Shen Jinghong, Lu Yuqi. Transportation superiority and county level economy spatial coupling in central plain economic zone. *Economic Geography*, 2012, 32(6): 7-14.]
- [16] 潘少奇, 李亚婷, 高建华. 中原经济区经济联系网络空间格局. *地理科学进展*, 2014, 33(1): 92-101. [Pan Shaoqi, Li Yating, Gao Jianhua. Spatial pattern of economic linkage net work in central plains economic zone. *Progress in Geography*, 2014, 33(1): 92-101.]
- [17] 郑敬刚, 许淑娜, 喻铮铮. 中原经济区核心区土地资源生态安全评价. *水土保持研究*, 2013, 20(3): 273-277. [Zheng Jinggang, Xu Shuna, Yu Zhengzheng. Study on ecological security evaluation of land resources in the case of the core areas of Zhongyuan economic region. *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20(3): 273-277.]
- [18] 张世全, 李汉敏, 张霭丽, 等. 中原经济区国土资源政策体系探讨. *地域研究与开发*, 2013, 32(1): 12-17. [Zhang Shiquan, Li Hanmin, Zhang Aili, et al. Discussion on the policies to the promotion of land and natural resources of the central plains economic zone. *Areal Research and Development*, 2013, 32(1): 12-17.]
- [19] 蒋国富, 刘嘉俊. 自然正交函数在区域经济时空演变中的实证分析. *经济地理*, 2009, 29(7): 1103-1107. [Jiang Guofu, Liu Jiajun. Demonstration analysis on the spatial-temporal evolution of the regional economy using by EOF: A case study of the county economic in Henan province. *Economic Geography*, 2009, 29(7): 1103-1107.]
- [20] Martinez Yosvany, Yu Wei, et al. A new statistical-dynamical downscaling procedure based on EOF analysis for regional time series generation. *Journal of Applied Meteorology & Climatology*, 2013, 52 (4): 925-952.
- [21] Yang Myung-Hoon, Cho Hyungjun, Kang Wooheon, et al. EOF: Afficient built-in redundancy analysis methodology with optimal repair rate. *IEEE Transactions on Computer-aided Design of Integrated Circuits & Systems*, 2010, 29(7): 1130-1135.
- [22] Monahan Adam, Fyfe H, et al. Empirical orthogonal functions: The medium is the message. *Journal of Climate*, 2009, 22 (24): 6501-6514.
- [23] 龚斌, 甘小莉, 刘伟玲, 等. 基于EOF分析的三江源区植被覆盖变化时空分布特征. *地学前缘*, 2013, 20(3): 234-239. [Gong Bin, Gan Xiaoli, Liu Weiling, et al. The vegetation distribution characteristics in the three river headwaters region in China based on EOF analysis. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(3): 234-239.]
- [24] 雷杨娜, 龚道溢, 张自银, 等. 中国夏季高温日数时空变化及其环流背景. *地理研究*, 2009, 28(3): 653-662. [Lei Yanna, Gong Daoyi, Zhang Ziyin, et al. Spatial-temporal characteristics of high-temperature events in summer in eastern China and the associated atmospheric circulation. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 653-662.]
- [25] 王海江, 苗长虹. 城市经济区位时空变异分析. *城市问题*, 2009, (4): 39-45. [Wang Haijiang, Miao Changhong. Urban economic location Spatial-temporal variation. *Urban Problems*, 2009, (4): 39-45.]
- [26] 李小建, 罗庆. 新型城镇化中的协调思想分析. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(2): 47-53. [Li Xiaojian, Luo Qing. The coordinating ideas of new form urbanization. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(2): 47-53.]
- [27] Stuart Brown, Vincent L, Versace, et al. Assessment of spatiotemporal varying relationships between rainfall, land cover and surface water area using geographically weighted regression. *Environmental Modeling & Assessment*, 2012, 17(3): 241-254.
- [28] 苑韶峰, 杨丽霞, 杨桂山, 等. 耕地非农化的社会经济驱动因素异质性研究. *经济地理*, 2013, 33(5): 137-143. [Yuan Shaofeng, Yang Lixia, Yang Guishan, et al. The spatial heterogeneity of socio-economic driving factors of cultivated

- land conversion: A case based on STIRPAT and GWR models. *Economic Geography*, 2013, 33(5): 137-143.]
- [29] 王景雷, 康绍忠, 孙景生, 等. 基于 PCA 和 GWR 的作物需水量空间分布估算. *科学通报*, 2012, 58(12): 1131-1139. [Wang Jinglei, Kang Shaozhong, Sun Jingsheng, et al. Estimation of crop water requirement based on principal component analysis and geographically weighted regression. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 58(12): 1131-1139.]
- [30] 吴玉鸣, 李建霞. 省域经济增长与电力消费的局域空间计量经济分析. *地理科学*, 2009, 29(1): 31-35. [Wu Yuming, Li Jianxia. A local spatial econometric study on relationship between electricity consumption and economic growth of Chinese provinces. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(1): 31-35.]

Spatial-temporal analysis of economic growth in Central Plains Economic Zone with EOF and GRW methods

BAI Jingfeng, ZHANG Haijun

(College of Environment Science and Tourism, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, Henan, China)

Abstract: Combined with the national strategic requirement of coordinated development of industrialization, urbanization and agriculture in Central Plains Economic Zone, selecting the data of per capita GDP from 1988 to 2012, this paper, by adopting the natural orthogonal function (EOF), analyzed the spatial-temporal characteristics of economic growth in Central Plains Economic Zone, and revealed the main driving force of economic growth and evolution with the aid of geographically weighted regression (GWR) model. The first modal of EOF analysis showed that the spatial distribution of the economic growth, on the whole, in Central Plains Economic Zone is out of phase along Beijing-Guangzhou Railway (BGR), and that economy west of the BGR grows faster than that to east of the BGR and their corresponding time coefficients showed the obvious interannual change, and parts of region to the east and west of the railway have nearly 10 years of development cycle. The second mode reflected the annual anomaly of economic growth in some parts of the zone, and the phase distribution of spatial pattern in southwest and northeast of the region, and the interannual fluctuation of its corresponding time coefficients is more obvious. GWR analysis showed that the importance of factors that result in the change of per capita GDP in the Central Plains Economic Zone is different in space. The per capita net income of rural residents boasts the greatest influence on the economic growth of the Central Plains Economic Zone, and there is a positive correlation. Resources endowment is the second largest influencing factor, and also positively correlated with economic growth. The economic location is the third influencing factor, followed by the secondary industry, the level of urbanization, and agricultural machinery total power. Agricultural machinery total power has the least influence, and is negative correlated with economic growth. The factors that influence the economic growth in the Central Plains Economic Zone showed a clear longitudinal zonality. Therefore, the uniqueness of different administrative regions should be considered in the formulation of regional development policies.

Key words: EOF; GWR; spatial temporal; Central Plains Economic Zone