

DOI: 10.5846/stxb201906241336

韩燕, 邓美玲. 中原城市群生态效率时空演变及影响因素. 生态学报, 2020, 40(14): 4774-4784.

Han Y, Deng M L. Spatio-temporal evolution of eco-efficiency and influencing factors of Central Plains Urban Agglomeration. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(14): 4774-4784.

中原城市群生态效率时空演变及影响因素

韩 燕^{1,2}, 邓美玲^{1,*}

1 兰州交通大学经济管理学院, 兰州 730070

2 中国科学院地理科学与资源研究所, 经济地理与区域发展研究室, 北京 100101

摘要: 提高生态效率是推进生态文明建设和绿色发展的重要途径。基于 2003—2016 年中原城市群 29 个城市的面板数据, 运用 Super-SBM(超效率 SBM 模型, Super slacks-based model)模型对生态效率进行测算, 并综合运用 GIS 技术与空间滞后模型, 分析了生态效率的时空演变及空间关联特征, 研究了生态效率变动的影响因素。结果表明: (1) 2003—2016 年, 中原城市群生态效率总体上呈“阶梯状”的上升趋势, 空间分布存在差异, 形成了北部和南部高, 中间低的空间格局。(2) 中原城市群生态效率呈正向空间自相关, 空间集聚趋势逐步增强, 冷点区在西北部地区动态变化, 东南部地区形成稳定的热点区。(3) 中原城市群生态效率存在正向空间溢出效应, 经济发展水平和对外开放水平产生显著正向效应, 而科技水平产生显著负向效应。

关键词: 生态效率; Super-SBM 模型; 时空特征; 影响因素

Spatio-temporal evolution of eco-efficiency and influencing factors of Central Plains Urban Agglomeration

HAN Yan^{1,2}, DENG Meiling^{1,*}

1 School of Economics and Management, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China

2 Laboratory of Economic Geography and Regional Development, Institute of Geographic Sciences and Natural Resource Research, Beijing 100101, China

Abstract: Improving eco-efficiency is an important way to promote ecological civilization and green development. Taking the Central Plains Urban Agglomeration as the research object, this paper firstly used Super-SBM model to calculate the eco-efficiency of 29 cities from 2003 to 2016, used GIS technology to depict the spatio-temporal evolution and spatial correlation characteristics of eco-efficiency, then analyzed the influencing factors of eco-efficiency by using spatial lag model. The results showed that: (1) The eco-efficiency of the Central Plains Urban Agglomeration presented an overall stepped trend from 2003 to 2016. There were differences among regions with a pattern of high in the north and south but low in the middle. (2) The eco-efficiency of the Central Plains Urban Agglomeration showed the significantly positive spatial autocorrelation and the degree of spatial agglomeration gradually increased. The cold spots changed dynamically in the northwest and the southeastern parts formed stable hot spots. (3) There was a significant spillover effect of eco-efficiency, a significantly positive effect on the level of economic development and the level of openness, while a significantly negative effect on the level of science and technology.

Key Words: eco-efficiency; Super-SBM model; spatio-temporal characteristics; influencing factors

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目(18YJCZH044); 国家自然科学基金(41401653)

收稿日期: 2019-06-24; 网络出版日期: 2020-04-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1136512710@qq.com

随着我国区域经济发展与资源环境之间的矛盾日益突出,党的十九大高度重视生态文明建设,提出要把生态文明理念全面融入城市发展。2016 年 12 月《中原城市群发展规划》中要求把中原城市群建设为绿色生态发展示范区。中原城市群地处全国“两横三纵”城市化战略格局的有利据点,在人力资源、自然资源禀赋、城镇体系建设等方面具有较强优势,具有极强的发展潜力,但与此同时,资源环境约束加剧、部分城市雾霾天气、水资源短缺、资源配置效率低下等问题突出,给中原城市群的可持续发展带来严重的负面影响。中原城市群处于加快崛起的关键阶段,把生态文明理念全面融入中原城市群发展进程中,对于实现其城市高效、绿色发展十分重要。因此,分析中原城市群生态发展现状,测算其生态效率并探索中原城市群生态效率的时空演变及其影响因素,对于推动中原城市群可持续发展具有重要的现实意义。

“生态效率”因同时兼顾经济发展和资源环境,为破解两者矛盾提供了一个新的研究视角。生态效率^[1]概念自 1990 年提出以来,不同尺度、不同领域的生态效率就引起了国内外学者的广泛兴趣,研究成果丰富。国内外学者对生态效率的研究主要集中在以下三个方面:一是在研究区域和应用领域方面,已有的研究开始由国家^[2]、区域^[3-4]宏观层面向产业发展^[5-6]、政府管理^[7]等微观层面转变;研究尺度逐渐细化,由国家、省域尺度^[8]开始向市域、县域尺度^[9]转变。二是在研究方法与影响因素方面,学者们常用的测算方法主要有指标体系法^[10-11]、数据包络分析法^[12-13]、能值分析法^[14]、因子分析法^[15]及生态足迹法^[16]。分析影响因素时常用多元线性回归分析法^[17]、Tobit 回归模型^[18]、门槛回归^[19]的方法。三是在研究内容方面,早期集中在概念辨析、效率测度及评价方面^[20-21],目前更加关注生态效率的影响因素及其空间溢出效应^[22-23],如潘兴侠运用空间误差模型,探讨了影响我国省域生态效率的影响因素,结果表明利用外资、人力资源和产业结构对生态效率影响显著为正^[24]。此外,研究表明经济发展水平、产业结构、人口规模、技术创新、城镇化等也对生态效率产生影响^[25-26]。

通过梳理文献发现,鲜有文献从城市群视角综合研究中原城市群内部多个城市的生态效率;指标体系构建及测度方法有待完善,传统 DEA(数据包络分析法, Data envelopment analysis)方法忽视了非期望产出,且其结果在 0—1 之间,多个决策单元效率值为 1,很难对有效决策单元进行排序;单一线性回归方法在分析影响因素时忽略了区域间的空间关联和空间依赖性,不利于探讨多要素间的相互影响,研究生态效率的空间溢出效应。与此同时,基于地理时空二维视角,运用 GIS 分析技术勾勒其时空演变路径,实现学科交互融合的成果较少。鉴于此,本文基于城市群视角,考虑空间关联性,采用 Super-SBM(超效率 SBM 模型, Super slacks-based model)模型、空间自相关检验和空间滞后模型,综合测度了 2003—2016 年中原城市群 29 个地级市的生态效率,并利用 GIS 分析技术,刻画了生态效率的时空演变特征,力图揭示经济社会变化过程中中原城市群各城市生态效率的区域差异,并在此基础上深入分析生态效率变动的影响因素,以期为实现中原城市群经济、社会、环境三大系统协调的可持续发展提供参考。

1 研究区域、研究方法与数据来源

1.1 研究区与数据来源

1.1.1 研究区

本文的研究区域根据 2016 年 12 月经国务院批复的《中原城市群发展规划》中的规划范围确定,具体包括:河南全省 17 个省辖市(因济源市数据缺失严重,被剔除),山西的晋城、长治、运城,河北的邯郸、邢台,山东的聊城、菏泽,安徽的淮北、亳州、宿州、阜阳、蚌埠 5 省 29 个地级市(图 1)。2016 年,中原城市群地区生产总值占全国经济总量的 8.2%,年末总人口占全国总人口的 13.6%,随着城镇化与工业化进程的推进,能源资源消耗量大,碳排放量持续上升,环境资源承载压力不断增大,环境问题突出^[27-28]。2016 年全国严重污染的 24 个城市中中原城市群占比 45.8%,2016 年 74 城市环境空气质量综合指数排名相对较差的 10 个城市中有邢台、邯郸、郑州三个城市^[29],其经济发展与资源环境保护矛盾突出。

1.1.2 指标体系构建与数据来源

参考以往学者构建的区域生态效率评价指标体系^[25,30],并考虑市域数据可得性,以投入产出理论为基



图 1 中原城市群区域图
Fig.1 Central Plains Urban Agglomeration Area

础,构建中原城市群生态效率评价指标体系(表 1)。

表 1 中原城市群生态效率评价指标体系

Table 1 The indicator system of ecological efficiency of Central Plains Urban Agglomeration		
指标体系 Indicator system	一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index
投入 Input	劳动投入	年末单位从业人员/万人
	资本投入	城市固定资本存量/万元
	其他资源投入	全社会用电量/万 kWh
		城市建设用地面积/km ²
		供水总量/万 t
产出 Output	期望产出	地区生产总值/万元
	非期望产出(环境污染指数)	工业废水排放量/万 t
		工业二氧化硫排放量/t
		工业烟粉尘排放量/t

投入指标方面,劳动、资本是经济学中最基本的生产要素。选取年末单位从业人员作为劳动投入,由于城市固定资本存量数据在统计年鉴中无法直接获取,根据永续盘存法计算,公式为:

$$K_t = K_{t-1}(1 - \delta) + I_t$$

(1)

其中 K_t , K_{t-1} 分别是 t 期和 $t-1$ 期的资本存量; δ 为折旧率; I_t 为 t 期的投资,以固定资本形成总额替代;固定资产投资建设周期、固定资产投资价格总指数、折旧率和初始资本存量的计算借鉴参考文献^[31]。运用熵值法计算各城市的其他资源投入(全社会用电量、城市建设用地面积和供水总量)综合反映其他资源投入。熵值法具体计算步骤见参考文献^[32]。

产出指标方面,选取地区生产总值作为期望产出,为消除价格因素影响,根据国内生产总值指数折算为以 2003 年为基期的实际值。利用熵值法构建环境污染指数(各地级市的工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业烟粉尘排放量)综合反映非期望产出。

本文的原始数据来源于 2004—2017 年的《中国城市统计年鉴》,部分缺失数据根据各市统计公报和官网数据进行调整补充。城市固定资本存量数据根据柯善咨和向娟的方法测算,由湖南大学经济与贸易学院经济数据研究中心提供。

1.2 研究方法

1.2.1 生态效率测算方法—Super-SBM 模型

传统 DEA 模型使用径向模型测算效率,未考虑投入产出的松弛变量,会高估决策单元效率。为此, Tone^[33] 提出一种非径向、非角度的 SBM 模型,但是使用 SBM 模型计算效率时,多个 DMU(决策单元, Decision making unit)的效率值显示为 1,无法区别出有效决策单元之间的效率差异。因此本文采用 Tone^[33] 改进的 Super-SBM 模型进行测算,解决了有效决策单元的排名问题,从而真实反映中原城市群生态效率的本质。具体形式见公式(2):

$$\rho^* = \min \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{rk}}} \quad (2)$$

$$s.t. \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^+ \geq y_{rk} \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, j = 1, 2, \dots, n (j \neq k) \quad (r = 1, \dots, s)$$

式中, ρ^* 为城市的生态效率值; x 表示资本、劳动力和其他资源的投入, y 表示期望产出和非期望产出; m, s 分别表示投入和产出指标个数; k 为生产时期; i, r 分别表示投入、产出的决策单元; s_i^-, s_r^+ 分别表示投入和产出对应的松弛量; λ_j 为权重向量。 $\rho^* \geq 1$ 时,表示城市生态效率相对有效; $\rho^* < 1$ 时,表示城市的生态效率相对无效,即存在效率损失,需要通过调整投入产出量改善生态效率。

1.2.2 空间自相关

空间自相关是用来检验某一单元的观测值与其邻居的观测值是否具有空间关联性。全局空间自相关是分析区域整体的空间关联特征,采用莫兰指数(Moran's I)来衡量,计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_i \sum_j W_{ij} \sum_i (X_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

式中: n 代表研究单元个数, X_i, X_j 分别代表第 i 和第 j 个研究单元上的观测值, $\bar{X}$ 是 X_i 的平均值, W_{ij} 为空间权重矩阵,其中,单元 i, j 空间相邻为 1,不相邻为 0。

为了进一步分析中原城市群各城市间的差异,运用 Getis-Ord G_i^* 指数测度局域关联特征,识别中原城市群生态效率的冷点区和热点区。

$$G_i(d) = \sum_{i=1}^n W_{ij}(d) x_i / \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

式中: x_i 为研究单元 i 的观测值; W_{ij} 为空间权重矩阵,空间相邻为 1,不相邻为 0。如果 G_i^* 值显著为正,则表示 i 地区周边的值相对较高,属于热点区;反之则为冷点区。

1.2.3 空间计量模型

常用的空间计量模型有空间误差模型和空间滞后模型^[34]。

空间误差模型(Spatial error model, SEM)侧重考察随机扰动项的空间影响,模型设定为:

$$y_{it} = \beta x_{it} + \epsilon_{it}, \epsilon_{it} = \lambda w_{it} \epsilon_{it} + \gamma \quad (5)$$

式中: y_{it} 为生态效率, β 为各影响因素的回归系数, x_{it} 为各影响因素, ϵ_{it} 是独立同分布的随机误差项, λ 为空间误差系数, w_{it} 为邻接空间权重矩阵, $\lambda \epsilon_{it}$ 为空间自相关误差项, γ 是误差项的误差项。

空间滞后模型(Spatial lag model, SLM)侧重考察因变量的空间溢出效应,模型设定为:

$$y_{it} = \rho \sum w_{it} y_{it} + \beta x_{it} + \epsilon_{it} \quad (6)$$

式中: ρ 为空间滞后项回归系数,其他字母含义同式(5)。

按照 Anselin 建议的空间计量模型选择步骤^[35],在对 SLM 和 SEM 模型估计前,需要先进行 Hausman 检验来确定使用固定效应模型还是随机效应模型,然后进行拉格朗日乘子及稳健检验方法最终确定使用的模型。

2 中原城市群生态效率的时空演变特征

2.1 时空特征

2.1.1 时序演变特征

根据 Super-SBM 模型,计算 2003—2016 年中原城市群的生态效率,结果如图 2。

从图 2 中可以看出,中原城市群生态效率整体上呈“阶梯状”的上升趋势,变异系数在 0.22—0.36 之间变化,区域差异呈“波浪形”变化趋势。当生态效率快速上升时,区域差异扩大;当生态效率平稳发展时,区域差异不断缩小。在整个研究期内,2003—2006 年,2009—2011 年,2015—2016 年这三个时期生态效率快速上升,同时区域差异不断扩大。2006—2009 年,2011—2015 年这两个时期生态效率平稳发展,区域差异逐渐缩小。

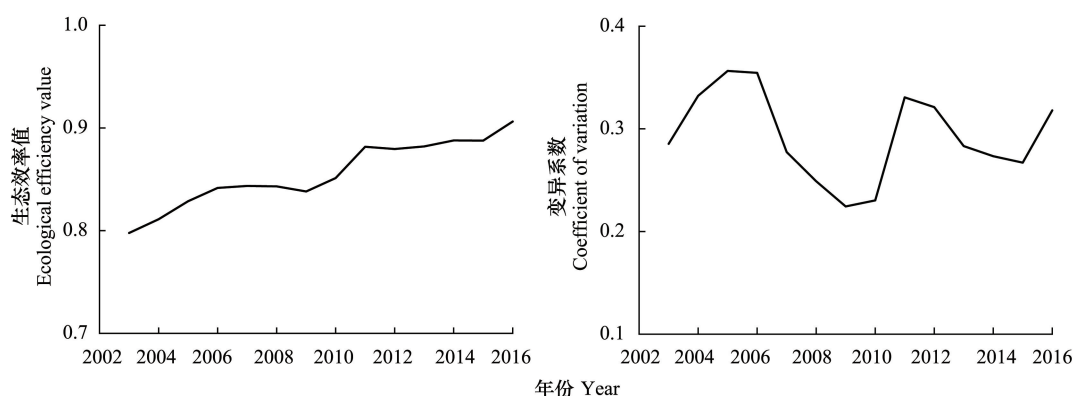


图 2 2003—2016 年中原城市群生态效率变化趋势

Fig.2 The trend of ecological efficiency of Central Plains Urban Agglomeration from 2003 to 2016

出现这种变化特征可能的原因是:2003—2006 年,2009—2011 年这两个时期,中原城市群经济增长的粗放式及部分行业产能过剩的影响逐渐显现,资源环境约束加剧,但其努力促进经济平稳较快发展,GDP 导向型发展特征明显,因此生态效率整体呈上升趋势且增速较快。由于各市资源配置效率、经济发展基础及环境污染治理力度等方面的差异,导致区域差异扩大。而 2006—2009 年期间,由于受到全球金融危机的影响,中原城市群各省调整发展战略,加强节能减排和生态环境保护,不断淘汰落后产能,关闭重污染企业,同时政府投资新技术产业,更加注重经济社会发展和生态建设的一致性,推动了绿色经济的发展,此期间生态效率平稳发展,中原城市群内部生态效率差异不断缩小。2011—2015 年,经济发展进入新常态时期,前期依靠资源要素驱动及粗放式经济发展模式带来的弊端逐渐出现,经济增速放缓,产业结构调整,政府环境治理力度加大,致使这一时期生态效率平稳发展,在此背景下,生态效率的区域差异逐渐缩小。而 2015—2016 年,经过前期资源要素累积,产业结构优化升级,居民环保意识增强,同时伴随着经济发展理念的转变,更加注重资源、环境

和经济的协调发展,生态效率又开始快速上升,由于承接东部地区的产业转移,城市间生态效率差异不断扩大。

2.1.2 空间分异特征

为了更清楚地观察生态效率的空间差异及格局演变特征,选取 2003、2010、2016 年的数据,在参考相关研究的基础上^[30],将中原城市群的生态效率值(ρ^*)划分成三个等级: $\rho^* \geq 1$ 为高效率, $0.8 \leq \rho^* < 1$ 为中等效率, $\rho^* < 0.8$ 为低效率,来探讨其空间分异特征,结果见图 3。

总体来看(图 3):(1)中原城市群不同等级的生态效率空间差异明显,生态效率水平具有空间溢出性,生态效率水平相近的城市集中连片分布,总体上呈现出北部和南部高,中间低的空间分布格局。(2)2003、2010、2016 年生态效率中高水平的城市比重逐渐增加,低效率水平的城市比重逐渐下降。

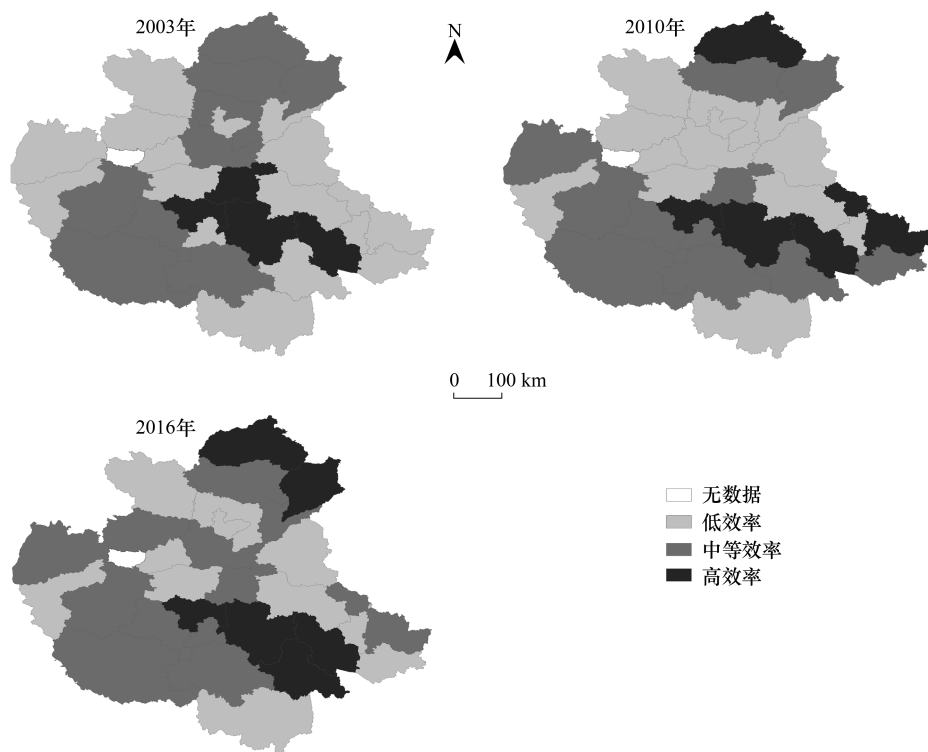


图 3 中原城市群生态效率空间格局

Fig.3 The spatial distribution pattern of ecological efficiency of Central Plains Urban Agglomeration

具体来看:(1)生态效率高值区主要分布在河南周口、许昌及安徽亳州。这几个城市的经济实力并不具有显著优势,但从投入产出指标分析,发现其投入的劳动力、资本、其他资源投入带来的经济社会效益较高,同时非期望产出相对较少。(2)中等效率的空间范围略有增加,主要分布在中原城市群北部的邯郸及南部的洛阳、平顶山、南阳和驻马店。其中,邯郸和洛阳资本和其他资源投入冗余,平顶山在 2010 年劳动力过剩,劳动力资源利用率低,这些城市在带来经济高产出的同时,也造成非期望产出的大幅增加,减排压力增大。而南阳和驻马店的非期望产出都偏低,但是由于资源配置不合理,没有促进其生态效率的提高。如南阳的其他资源投入冗余,驻马店的劳动力和资本投入冗余。(3)低效率范围区主要为中等效率和高效率之间的区域,集中分布在中原城市群西北和东北两个片区。这些城市处于中等效率及高效率的边缘,多数是资源型城市,由于过度强调资源的经济效益,忽视生态环境保护、缺乏统筹规划等原因,在发展过程中积累了很多问题。这些城市在追求经济产出增加时,对其他资源投入需求量较大,同时大量污染物排放量的增加,加重了生态环境的负担,导致其生态效率水平偏低。

分省来看:(1)河南省 2003 年生态效率高值区分布于亳州—许昌沿线,生态效率中等区集中分布于豫西南,生态效率低值区呈散点状分布;2010 年生态效率水平高和低的的城市数量均减少,生态效率中等地区集中分部在豫北;2016 年生态效率高和低的的城市数量减少,中等水平的城市数量增加。(2)河北省的邯郸和邢台两个城市在 2003 年为生态效率低水平,在 2010 年和 2016 年,邢台上升为高效率水平。山西省的运城在 2006 年由低效率水平上升为中等效率水平,晋城则在 2016 年由低效率水平上升为中等效率水平。山东省的聊城在 2003 和 2010 年均为中等效率水平,在 2016 年上升为高效率水平;菏泽在 2003、2010 和 2016 年均处于低效率水平。安徽省 2003 年高效率水平只有亳州市,2010 年高效率 and 中等效率城市数量均增加,2016 年中等效率城市数量增加。

2.2 空间关联特征

将生态效率值作为变量,采用邻接空间权重矩阵,得到的 Moran'*I* 值(表 2)均为正值,且大多数年份都通过 5%水平的显著性检验,表明中原城市群生态效率存在正空间自相关性。

表 2 2003—2016 年生态效率的莫兰指数

Table 2 Moran's I index of ecological efficiency of Central Plains Urban Agglomeration from 2003 to 2016														
年份 Year	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Moran' <i>I</i>	0.099	0.115	0.014	0.141	0.169	0.171	0.168	0.170	0.169	0.162	0.173	0.174	0.172	0.123
<i>P</i>	0.106	0.078	0.043	0.033	0.027	0.030	0.034	0.030	0.012	0.013	0.013	0.016	0.020	0.030

为进一步揭示中原城市群生态效率的局部空间关联格局,测度其局域关联特征,利用 Getis-Ord *G*_i^{*} 指数绘制中原城市群冷热点演变趋势图(图 4)。由图 4 可知:中原城市群生态效率的热点区变化明显,许昌、漯河、周口和阜阳形成稳定的热点区,冷点区在中原城市群西北部地区动态变化。热点区范围不断扩大,热点区从条带状分布向斑块状聚集分布,最初集聚于阜阳—许昌沿线城市,然后蔓延至中原城市群南部的大部分地

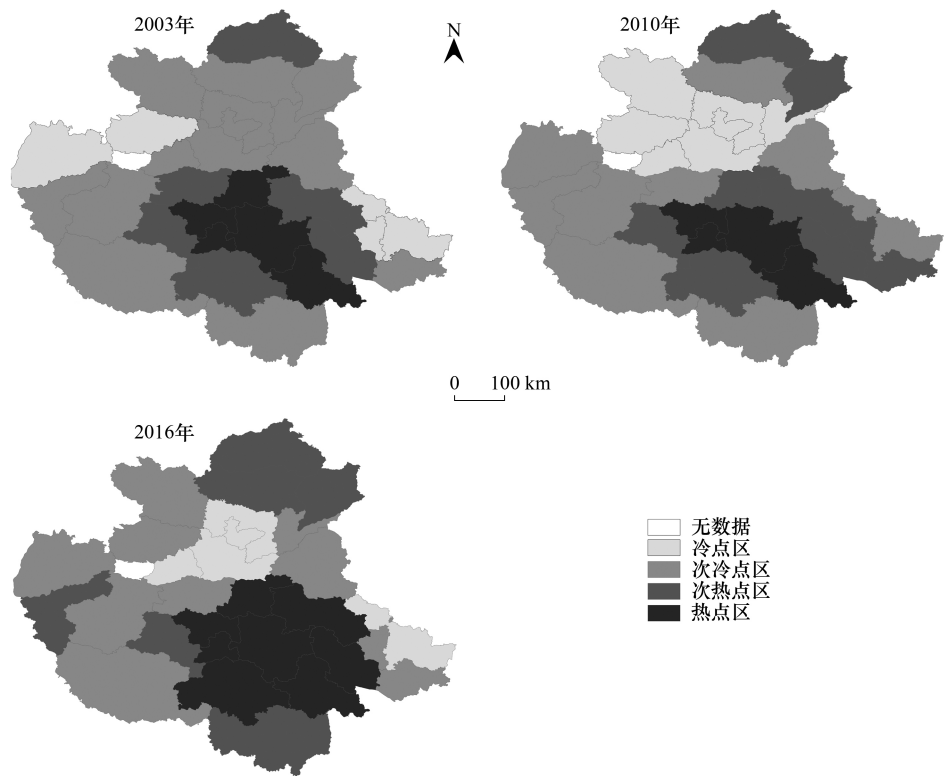


图 4 中原城市群生态效率冷热点分布趋势图

Fig.4 Evolvement of ecological efficiency of cold-hotspots areas in Central Plains Urban Agglomeration

区,其数量由 2003 年的 5 个增加到 2016 年的 8 个。次热点区的大部分城市分布在热点区周围,其余几个城市零星分布,其城市数量由 2003 的 6 个增加到 2010 年的 9 个,然后在 2016 年又减少至 6 个。冷点区和次冷点区变化明显,其中冷点区范围略有增加,由 2003 年的 4 个变为 2016 年的 5 个,次冷点区由 2003 年的 15 个减少至 2016 年的 10 个。

“极化涓滴”效应的作用,使生态效率通过近邻扩散机制达到最优。中原城市群北部和南部生态效率相对较高,具有明显的正向辐射效应,值得注意的是,郑州的辐射带动作用并不明显。虽然这在一定程度上可以缩小城市间的差异,但对整体生态效率的影响作用有限,所以局部空间格局变化不大。

3 影响因素分析

3.1 空间模型的设定及指标选取

上文已知生态效率存在显著的正空间自相关性,同时中原城市群生态效率的空间特征显示了城市间生态效率水平具有空间溢出效应。因此采用空间计量分析模型能更好地揭示经济现象,也更加符合实际。在进行面板空间固定效应和随机效应的选择时,需要进行 Hausman 检验,结果见表 3。Hausman 检验结果中 p 值通过 1%水平的显著性检验,因此要选择固定效应。根据 Anselin 的空间计量模型分析流程^[35],进行拉格朗日乘子(Lagrange multipliers, LM)检验,结果表明稳健的空间滞后模型的拉格朗日乘子检验更加显著,因此最终选择固定效应的空间滞后模型进行建模分析。

区域生态效率的影响因素复杂,综合已有研究对城市群生态效率影响因素的分析^[19,30,36],在中原城市群市域数据可获得基础上,构建影响因素指标体系(表 4)。选取经济发展水平、产业结构、城市规模、对外开放和科技水平五项指标,各指标含义见表 4。其中,经济发展水平和城市规模这两个变量取对数。

表 3 模型选择检验

Table 3 Model selection test

豪斯曼检验 Hausman test	空间滞后模型 的 LM 检验 LM test for spatial lag model	稳健的空间滞 后模型的 LM 检验 LM test for robust spatial lag model	空间误差模型 的 LM 检验 LM test for spatial error model	稳健的空间误 差模型的 LM 检验 LM test for robust spatial error model
18.430 *** (0.003)	56.641 *** (0.000)	21.944 *** (0.000)	42.685 *** (0.000)	7.988 *** (0.005)

LM:拉格朗日乘子 Lagrange multipliers; * * *、* *、* 分别表示在 1%、5%、10%水平上显著,括号内为 P 值

表 4 中原城市群生态效率影响因素

Table 4 The indicator system of ecological efficiency of Central Plains Urban Agglomeration

影响因素 Influencing factors	具体指标 Specific indicators
经济发展水平 Economic development level	人均 GDP/元
产业结构 Industrial structure	工业增加值占 GDP 比重/%
城市规模 Urban size	城市年末总人口/万人
对外开放水平 Opening-up level	外商及港澳台企业工业产值占工业总产值的比重/%
科技水平 Technological level	科学技术财政支出占政府预算支出的比重/%

3.2 计量结果分析

对中原城市群生态效率的影响因素进行分析,模型估计结果如表 5 所示。

回归分析结果表明(表 5):空间滞后项回归系数 ρ (0.137),通过了 5%水平的显著性检验,说明中原城市群生态效率水平存在正向空间溢出效应,生态效率等级高和等级低的城市存在局部俱乐部收敛特征,即生态效率高(低)的城市,受其影响,其周围城市生态效率也高(低)。

经济发展水平的弹性系数在 1%水平上显著为正,即经济发展水平与生态效率存在正相关关系。说明经济发展水平越高,经济越富裕,政府越有更充裕的财政资金用于治理环境污染,政府的环境调控能力也就越

强;同时,经济发展水平提高,有助于节能减排等新技术的广泛应用,提高资源利用效率,优化治理环境污染手段,这都将促进生态效率的提高。

表 5 空间滞后模型估计结果

Table 5 The estimated results of Spatial Lag Model

变量 Variable	空间滞后模型 Spatial lag model					
	固定效应 Fixed effect			随机效应 Random effect		
	系数 Coefficient	标准误差 Standard error	<i>t</i>	系数 Coefficient	标准误差 Standard error	<i>t</i>
经济发展水平 Economic development level	0.304 ***	0.054	5.650	0.223 ***	0.051	4.390
产业结构 Industrial structure	-0.052	0.067	-0.780	-0.087	0.068	-1.280
城市规模 Urban size	0.023	0.009	0.910	0.033	0.009	1.320
对外开放 Opening-up level	0.282 **	0.130	2.300	0.282 **	0.134	2.300
科技水平 Technological level	-2.005 ***	0.667	-3.000	-1.568 **	0.677	-2.280
空间滞后项回归系数(ρ) Spatial lag term regression coefficient	0.137 **	0.070	1.970	0.182 ***	0.069	0.008
自然对数似然值 Log-likelihood		462.059			374.013	

***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%水平上显著

产业结构对生态效率的影响在统计上不显著。中原城市群的主导产业是装备制造业和食品工业,这类产业对劳动力、水电等资源的需求量较大,资源的大量投入在带来经济效益的同时,也造成资源浪费,污染物排放量增多,而第三产业的发展相对落后,难以弥补第二产业粗放经营带来的负面影响,对生态效率的促进作用有限。

城市规模对生态效率的影响统计上不显著。目前,中原城市群城镇规模体系结构中,缺少超大城市,其他规模等级的城市齐全,特大、大、中、小城市都占一定比例。根据城市规模划分标准,中原城市群特大城市只有郑州一个,大城市数量每年增加 1 个,2016 年达到 18 个;小城市数量由 2015 年的 3 个减少为 2016 年的 2 个。大城市数量的增加和小城市数量的减少,表明中原城市群的城市规模不断扩大,人口吸纳能力不断增强,城市密集,人口集聚程度不断提高,但人口增加带来的集聚效应还没有充分显现,社会分工专业化,经济、文化和技术方面的优势还未完全凸显,因此对生态效率的积极影响不明显。

对外开放水平的回归系数通过 5%水平的显著性检验,即对外开放水平与生态效率存在正相关关系。对外开放水平包含地区发展外向型经济和利用外商企业发展本地区经济的能力两大部分。外向型经济发展水平的提高,使得进出口总额、实际利用外资规模增加,会刺激当地企业提高生产率、加快资本积累、优化资源配置,从而带动经济结构优化升级。外商企业发展本地区经济能力提高,外商投资规模扩大,给中原城市群带来了就业和 GDP 的增长,同时,在吸引境外资金的同时,也可以学习境外先进的管理经验及清洁生产技术和理念,提高资源利用效率,有效地改善本地的生态环境,并通过技术溢出效应带动其他企业进行节能环保生产,降低了城市的资源消耗量,改善了城市的环境质量。这两个方面综合作用,有助于提高中原城市群的生态效率。

科技水平的回归系数通过了 1%水平的显著性检验,但该系数的影响方向与预期相反。这与持有“技术—环境悖论”观点的学者^[37]观点一致,即技术同样也会带来严重的环境问题。分析原因可能是,中原城市群提升科技水平的主要目的可能更侧重于促进经济增长,忽视了经济、资源与环境的协调发展,科技水平提升带来的环境负效应超过了它带来的经济正效应,因此对生态效率产生抑制作用。

4 结论与建议

4.1 结论

本文以中原城市群 29 个城市为研究对象,运用 Super-SBM 模型测算了各市的生态效率,利用变异系数、

莫兰指数对测度结果进行分析,并借助地理信息系统工具分析其时空演变特征,考虑到生态效率具有明显的空间关联特征,引入空间权重矩阵,利用空间滞后模型分析了生态效率的主要影响因素,得出如下结论:

(1)2003—2016年,中原城市群生态效率水平整体上呈“阶梯状”发展态势,城市间差异明显,呈现北部和南部高,中间低的空间分布格局。2016年,周口、邢台、亳州生态效率较高,淮北、鹤壁、信阳生态效率较低。

(2)中原城市群生态效率局部空间关联性显著,空间集聚程度逐步加强,热点区范围扩大,次热点区范围基本保持不变,冷点区范围略增加,次冷点区范围减少。

(3)考虑空间因素,引入空间邻接权重矩阵,利用空间滞后模型(SLM)分析了生态效率的影响因素。结果表明:中原城市群生态效率具有正向空间溢出效应,经济发展水平和对外开放水平对生态效率的影响显著为正,对生态效率有促进作用。科技水平对生态效率的影响显著为负,对生态效率产生阻碍作用。产业结构和城市规模对生态效率的影响未能通过显著性检验,对生态效率的影响还未能充分显现出来。经济发展水平、对外开放水平和科技水平是影响中原城市群生态效率变动的主要因素。

4.2 建议

针对上述实证结论,为提高中原城市群生态效率,推进生态文明建设和可持续发展,提出几点建议:

(1)中原城市群城市间生态效率差异显著,提高生态效率的关键在于低投入、低排放实现高产出,促进经济增长。因此,生态效率高的城市可以通过资源调整、产业结构优化、技术进步实现节能减排,增加期望产出,减少非期望产出。中等效率的城市需要适当调整资源投入比例,通过劳动力、资本、土地及水电资源的使用规模和结构的优化配置,实现资源节约集约利用,提高资源利用率,同时可以采用新工艺新技术,减少非期望产出。低效率的城市尤其是资源型城市,它的关键在于转变资源利用和消费观念,同时通过技术创新、管理优化,在实现资源利用效率大幅提升的同时,实现经济的快速发展。

(2)中原城市群生态效率存在正向空间溢出效应,因此要加强中原城市群各级政府间的合作,跨越行政区划限制,促进各类要素在城市间自由流动。生态效率高的城市要积极与生态效率低的城市分享先进的资源利用及环境保护经验,加强在资源环境领域方面的交流与合作;生态效率低的城市,尤其是资源型城市,可以对其适当提高资源税、环境税及排污费征收标准,在保护环境的同时,达到合理开发利用资源,提高生态效率的目的。通过城市间的深度合作,使生态效率高的城市辐射带动周边城市,促进中原城市群整体生态效率的提升。

(3)计量结果显示,经济发展水平、对外开放水平和科技水平是影响中原城市群生态效率的主要因素。因此,提高中原城市群生态效率,需要破解现阶段生态效率的冷热点的分布格局,突出郑州的核心带动作用,把建设郑州国家中心城市作为突破口,全面提升郑州的发展力、辐射力,借助“集合城市”的力量,形成带动区域经济发展的动力源,形成郑州大都市区,打造引领中原城市群发展的核心增长极^[38]。各城市在追求GDP增长的同时,要探索适合自己发展的生态道路,持续提升对外开放水平,大力发展外向型经济,提升外商企业发展本地区经济的能力,同时要加快转变经济发展方式,加强对土地、水电等资源的集约利用,并采用新技术、新工艺提高资源利用效率,减少资源浪费。此外,要以科技引领绿色发展,释放郑洛新国家自主创新示范区的政策红利优势,发挥其示范和引领作用,同时要发挥企业科技研发推动绿色发展的支撑性作用,促进科技水平带来的环境正效应的提升,进而提高中原城市群生态效率水平,推动中原城市群实现内生性绿色发展。

参考文献(References):

- [1] Schaltegger S, Strum A. Ökologische rationalität: ansatzpunkte zur ausgestaltung von ökologieorientierten managementinstrumenten. Die Unternehmung, 1990, 44(4): 273-290.
- [2] 侯孟阳,姚顺波.中国城市生态效率测定及其时空动态演变.中国人口·资源与环境,2018,28(3):13-21.
- [3] 陆砚池,方世明.基于SBM-DEA和Malmquist模型的武汉城市圈城市建设用地生态效率时空演变及其影响因素分析.长江流域资源与环境,2017,26(10):1575-1586.
- [4] 李平星.泛长三角地区碳生态效率的空间格局及影响因素.生态学报,2018,38(23):8500-8511.
- [5] Zhang J X, Liu Y M, Chang Y, Zhang L X. Industrial eco-efficiency in China: a provincial quantification using three-stage data envelopment

- analysis. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 143: 238-249.
- [6] Passetti E, Tenucci A. Eco-efficiency measurement and the influence of organisational factors: evidence from large Italian companies. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 122: 228-239.
- [7] 徐莉萍, 陈玲. 地方政府生态效率评价及影响因素研究——来自 2010—2012 年我国各省级地方政府的数据. *财会通讯*, 2015, (6): 123-128.
- [8] 陈莹文, 王美强, 李丹. 基于改进 SBM 模型的中国省际间生态效率研究. *科技管理研究*, 2019, 39(6): 248-254.
- [9] 任宇飞, 方创琳. 京津冀城市群县域尺度生态效率评价及空间格局分析. *地理科学进展*, 2017, 36(1): 87-98.
- [10] 刘晶茹, 吕彬, 张娜, 石焱. 生态产业园的复合生态效率及评价指标体系. *生态学报*, 2014, 34(1): 136-141.
- [11] Zhao Y B, Wang S J, Ge Y J, Liu Q Q, Liu X F. The spatial differentiation of the coupling relationship between urbanization and the eco-environment in countries globally: a comprehensive assessment. *Ecological Modelling*, 2017, 360: 313-327.
- [12] Wang Z H, Feng C. A performance evaluation of the energy, environmental, and economic efficiency and productivity in China: an application of global data envelopment analysis. *Applied Energy*, 2015, 147: 617-626.
- [13] Lee T, Yeo G T, Thai V V. Environmental efficiency analysis of port cities: slacks-based measure data envelopment analysis approach. *Transport Policy*, 2014, 33: 82-88.
- [14] 贾小乐, 周源, 延建林, 魏亿钢. 基于能值分析的环太湖城市群生态经济系统可持续发展研究. *生态学报*, 2019, 39(17): 6487-6499.
- [15] 杨蕾, 杜鹃. 基于因子分析与超效率 DEA 的城市生态效率评价. *统计与决策*, 2017, (16): 52-55.
- [16] 黄和平, 胡晴, 乔学忠. 基于绿色 GDP 和生态足迹的江西省生态效率动态变化研究. *生态学报*, 2018, 38(15): 5473-5484.
- [17] 杨亦民, 王梓龙. 湖南工业生态效率评价及影响因素实证分析——基于 DEA 方法. *经济地理*, 2017, 37(10): 151-156, 196-196.
- [18] 曹鹏, 白永平. 中国省域绿色发展效率的时空格局及其影响因素. *甘肃社会科学*, 2018, (4): 242-248.
- [19] 李佳佳, 罗能生. 城市规模对生态效率的影响及区域差异分析. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(2): 129-136.
- [20] 吴小庆, 徐阳春, 陆根法. 农业生态效率评价——以盆栽水稻实验为例. *生态学报*, 2009, 29(5): 2481-2488.
- [21] Gössling S, Peeters P, Ceron J P, Dubois G, Patterson T, Richardson R B. The eco-efficiency of tourism. *Ecological Economics*, 2005, 54(4): 417-434.
- [22] 潘雄锋, 杨越, 张维维. 我国区域能源效率的空间溢出效应研究. *管理工程学报*, 2014, 28(4): 132-136, 186-186.
- [23] 关伟, 许淑婷. 中国能源生态效率的空间格局与空间效应. *地理学报*, 2015, 70(6): 980-992.
- [24] 潘兴侠, 何宜庆, 胡晓峰. 区域生态效率评价及其空间计量分析. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(5): 640-647.
- [25] 车磊, 白永平, 周亮, 汪凡, 纪学朋, 乔富伟. 中国绿色发展效率的空间特征及溢出分析. *地理科学*, 2018, 38(11): 1788-1798.
- [26] 屈小娥. 中国生态效率的区域差异及影响因素——基于时空差异视角的实证分析. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(12): 2673-2683.
- [27] 董小君, 石涛. 中原城市群绿色发展效率与影响要素. *区域经济评论*, 2018, (5): 116-122.
- [28] 王喜, 鲁丰先, 秦耀辰, 孙艳芳. 河南省碳源碳汇的时空变化研究. *地理科学进展*, 2016, 35(8): 941-951.
- [29] 环境保护部. 环境保护部发布《2016 中国环境状况公报》. (2017-06-06) [2019-10-08]. http://www.gov.cn/xinwen/2017-06/06/content_5200281.htm.
- [30] 韩增林, 吴爱玲, 彭飞, 孙嘉泽, 夏康. 基于非期望产出和门槛回归模型的环渤海地区生态效率. *地理科学进展*, 2018, 37(2): 255-265.
- [31] 柯善咨, 向娟. 1996—2009 年中国城市固定资本存量估算. *统计研究*, 2012, 29(7): 19-24.
- [32] 朱喜安, 魏国栋. 熵值法中无量纲化方法优良标准的探讨. *统计与决策*, 2015, (2): 12-15.
- [33] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32-41.
- [34] Anselin L. *Spatial Econometrics*. Bruton Center School of Social Sciences University of Texas at Dallas Richardson. 1999.
- [35] Anselin L. The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association//Fischer M, Schohen H J, Unwin D, eds. *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. London, UK: Taylor and Francis, 1996.
- [36] 黄建欢, 方霞, 黄必红. 中国城市生态效率空间溢出的驱动机制: 见贤思齐 VS 见劣自缓. *中国软科学*, 2018, (3): 97-109.
- [37] 邹成效. “技术-环境悖论”与技术自然属性. *科学技术与辩证法*, 2006, 23(1): 82-84.
- [38] 栾姗. 《河南省建设中原城市群实施方案》印发建成全国经济发展新增长极. (2017-06-06) [2019-10-8]. http://www.gov.cn/xinwen/2017-06/06/content_5200230.htm.