



· 黄河流域人地系统协调与可持续发展 ·

黄河流域城市群生态效率评价及归因分析

刘虹,雷敏,杨晨,江星月,郑清

(西北大学 城市与环境学院,陕西 西安 710127)

摘要 黄河流域城市群是黄河流域生态保护和高质量发展的重要载体,提高黄河流域城市群生态效率有利于提升其绿色经济发展水平。基于城市群视角,利用超效率SBM模型测度黄河流域七大城市群60个城市2006—2020年的生态效率值,借助Dagum基尼指数进行区域差异性分析,进一步通过面板分位数模型识别影响城市群生态效率的主要因素。结果表明:①黄河流域地区及各城市群生态效率明显改善,呼包鄂榆城市群和宁夏沿黄城市群生态效率水平最高,而中原城市群和兰西城市群生态效率水平最低;②黄河流域生态效率空间分布格局由“低值区抱团分布、高值区离散分布”转变为高值区和低值区“小集聚、大分散”的交叉分布格局;③七大城市群总体差异缩小,组间差异和超变密度是总体差异的主要来源;④产业结构、人口密度、对外开放水平制约了城市群生态效率的发展,而经济发展水平、技术进步与生态效率呈正相关关系。

关键词 生态效率;超效率SBM模型;Dagum基尼指数;面板分位数回归;黄河流域
中图分类号:F124.5 **DOI**:10.16152/j.cnki.xdxbr.2024-03-015

Ecological efficiency evaluation and attribution analysis of urban agglomerations in the Yellow River Basin

LIU Hong, LEI Min, YANG Chen, JIANG Xingyue, ZHENG Qing

(College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract The urban agglomerations in the Yellow River Basin play a crucial role in preserving the environment and fostering high-quality development in this area. Improving the eco-efficiency of these urban agglomerations has the potential to boost their green economic growth. We approached this from the perspective of urban agglomerations and used the super-SBM model to assess the ecological efficiency of 60 cities across seven urban agglomerations in the Yellow River Basin from 2006 to 2020. Afterward, we analyzed regional differences using the Dagum Gini index and identified the key factors affecting the ecological efficiency of urban agglomerations through the panel quantile model. The results are as follows: ① Eco-efficiency has significantly improved throughout the Yellow River Basin, including all urban agglomerations. The Hu-bao-Eyu urban agglomeration and the Ningxia urban agglomeration along the Yellow River exhibited the highest eco-efficiency levels, while the Central Plains urban agglomeration and the Lanxi urban agglomeration showed the lowest eco-

收稿日期:2023-11-30

基金项目:国家自然科学基金(42171197)

第一作者:刘虹,女,从事区域可持续发展研究,liuhong5rainbow@163.com。

通信作者:雷敏,女,副教授,从事福祉地理研究,xdleimin@126.com。

efficiency levels. ② The spatial distribution of eco-efficiency in the Yellow River Basin has shifted from a "clustered distribution in low-value areas, discrete distribution in high-value areas" to a "cross-distribution pattern with small clusters and large dispersion of high-value areas and low-value areas". ③ Overall disparities among the seven major urban agglomerations have decreased. The primary contributors to these differences are disparities between groups and Hypervariable density. ④ Industrial structure, population density, and openness levels constrain the ecological efficiency of urban agglomerations. In contrast, economic development levels and technological progress are positively correlated with ecological efficiency.

Keywords ecological efficiency; super-SBM model; Dagum Gini index; panel quantile regression; Yellow River Basin

黄河流域既是我国中部地区重要的生态屏障^[1],同时也是我国重要的战略经济地带。区域内经济发展和生态保护矛盾突出,其生态环境脆弱、资源环境承载力差、区域内发展不平衡等问题一直制约着沿黄地区的生态经济发展。习近平总书记多次就黄河流域环境保护和经济建设发表重要讲话,指出保护黄河对于中华民族伟大复兴具有重要意义^[2]。黄河流域自古以来就对中华文化 and 经济起着举足轻重的作用,对黄河的开发与治理也伴随着人类历史发展的进程。黄河流域自身的生态本底差,随着城市化和工业化的迅猛发展,过去粗放式的发展不可避免地加重了黄河流域的生态压力。《黄河保护法》自 2023 年 4 月 1 日正式实施,黄河流域生态保护和高质量发展成为目前以及未来经济发展的主要任务之一。黄河流域的综合治理已取得显著成效,但黄河流域区域内自然条件差异大、产业结构较为偏重、生态环境脆弱,仍然存在着农业面源污染、水土流失、水资源生态安全等问题,这些问题无不威胁着黄河流域沿黄城市的可持续发展。生态效率作为可持续发展水平的衡量指标^[3],在国家和地区制定经济与环境政策时发挥着重要作用^[4]。因此,深入研究黄河流域生态效率有利于分析黄河流域绿色经济发展水平的空间格局,探寻可持续发展状况,促进黄河流域高质量发展转型升级。

Schaltegger 和 Sturm 最早于 1990 年提出生态效率这一概念^[5]。1992 年世界可持续发展工商理事会(WBCSD)在其著作中对生态效率作进一步阐释^[6],首次将生态效率从生态学引入经济学范畴,丰富了生态效率的内涵。生态效率已经成为衡量企业^[7]、行业^[8]、区域^[9]等的绿色经济发展水平的重要手段。生态效率一经引入,即成为国内学者关注的热点,早期主要是对生态效率理

论的探索,包括理论引入^[10]、内涵解析^[11]、研究实践^[12];随着理论和方法的更新完善,研究视角逐渐从工业园区、企业、行业扩展至区域范围^[13];研究方法也变的多元化,包括 DEA^[14]、TOPSIS^[15]、SFA^[16]等模型。近年来,国内学者们热衷于将生态效率引入到区域绿色经济发展测度上,研究区域绿色发展水平的时空演化规律及内在影响机制。研究区域主要包括 5 个层面。①国家层面。如 Junya Yamasaki 等人基于 LIME3 方法计算环境负荷,并对 42 个主要为经合组织成员国的生态效率进行了评估,发现生态效率为前三的城市为巴黎、伦敦及都柏林,丰富了地方政府环境核算的标准方法^[17]。②区域层面。如孙丛婷等用基尼系数、 σ 收敛等方法分析了中国六大地理区域生态效率的时空演变和区域之间的差异特征^[18]。③城市层面。如 Yao 等人运用 SBM 模型计算了中国 152 个地级市的生态效率,发现智慧城市建设有利于促进经济水平较低的城市生态效率^[19]。④省级层面。如沈伟腾等运用 SBM 模型和空间自回归模型对中国 30 个省级行政区 2005—2015 年 10 年间的生态效率进行测度并研究其空间互动特征,发现区域间存在正向的互动效应^[20]。⑤县域层面。田鹏等用 SBM 模型测度了东海海岸带 52 个县区 2005—2018 年的经济和生态效率,并利用冗余率寻找影响区域生态效率的主要因素^[21]。前人的研究已相当丰富,但对城市群的研究仍较为薄弱,城市群对于促进国家经济的发展、带动和协调区域发展、参与国际分工具有不可磨灭的作用。发展城市群、有效提高城市群的生态效率不仅可以实现区域内资源的有效配置,还将实现区域内环境、资源、经济的有效协调。城市群的发展和国家战略息息相关,而黄河流域沟通南北、承接东西,因此,黄河流域城市群的协

调稳步发展,有利于构建城乡发展的新格局,促进城市群及城市群内部融合发展、互利共赢。

已有学者对黄河流域省际及地级市的生态效率进行测度,研究内容囊括影响机制探讨^[22]、门槛效应分析^[23]、城镇化进程与生态效率的交互作用^[24]、空间异质性研究^[25]。研究内容较为丰富,但缺少多个城市群生态效率的横向比较,以及城市群间的差异性分析,对于社会经济因素在城市群生态效率方面的边际效应亦有所不足。因此,本文首先以黄河流域七大城市群 60 个地级市作为研究对象,考察其在 2006—2020 年 15 年内的生态效率发展水平,进而探究黄河流域城市群生态效率发展的时空演化规律;其次,借助 Dagum 基尼系数深入研讨黄河流域城市群内及城市群间的差异来源和时序变化,从而帮助分析黄河流域城市群生态效率空间非均衡特征及影响空间非均衡的主要因素;最后,利用面板分位数回归模型进一步考察各种社会经济因素的边际效应对城市群生态效率的影响程度,从而揭示不同分位点下对提升城市群生态效率的异质性影响。基于上述研究,不但可以分析黄河流域城市群生态效率时空演化规律及影响机制,还可以为黄河流域沿黄城市高质量发展转型升级提供参考意见。

1 研究方法、研究区域与数据来源

1.1 研究区域概况

黄河流域是我国重要的人口集聚和经济发展区域,流域范围涉及到青海省、宁夏回族自治区、甘肃省、四川省、陕西省、内蒙古自治区、山西省、河南省、山东省 9 个省份,鉴于四川省绝大部分区域属于长江经济带,因此本文不予考虑^[26]。据国家统计局公布的相关数据显示,2021 年,黄河流域总人口约为 3.36 亿人,地区生产总值约 23.3 万亿元,约占全国总值的 20.5%。黄河流域也是我国重要的能源化工基地,仅山西、内蒙古、陕西 3 省的原煤产量就已占全国原煤产量的 72% 以上,而全流域工业二氧化硫排放量占到全国 30% 以上。区域内经济发展与环境保护矛盾突出,节能减排任务艰巨。沿黄城市群是黄河流域生态保护和高质量发展的先行区,因地制宜地发挥各大城市群的比较优势,对促进“绿”“富”协调发展具有重要作用。本文以黄河流域七大城市群发展规划纲要为依据,由于青海省下辖自治州及海东市、济源市数据缺失严重,将其剔除在外,共选取其中 60 个地级及以上城市为研究对象^①(见图 1)。

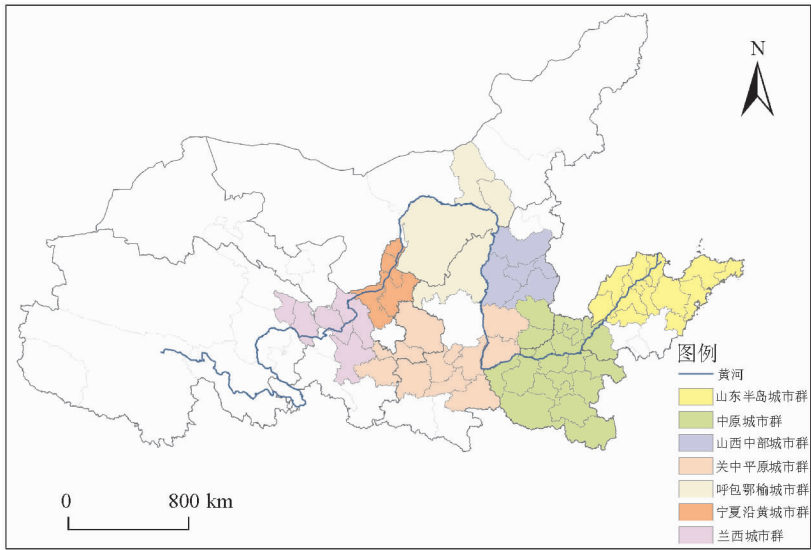


图 1 黄河流域城市群
Fig. 1 Urban agglomeration of the Yellow River Basin

① 关中平原城市群包括西安市、宝鸡市、咸阳市、铜川市、渭南市、商洛市、天水市、平凉市、庆阳市、运城市、临汾市;呼包鄂榆城市群包括呼和浩特市、包头市、鄂尔多斯市、榆林市;兰西城市群包括兰州市、西宁市、白银市、定西市;宁夏沿黄城市群包括银川市、石嘴山市、吴忠市、中卫市;山东半岛城市群包括济南市、青岛市、淄博市、东营市、烟台市、潍坊市、泰安市、威海市、日照市、德州市、聊城市、滨州市;山西中部城市群包括太原市、晋中市、忻州市、吕梁市、阳泉市;中原城市群包括郑州市、洛阳市、开封市、南阳市、安阳市、商丘市、新乡市、平顶山市、许昌市、周口市、信阳市、驻马店市、鹤壁市、濮阳市、漯河市、三门峡市、焦作市、长治市、晋城市、菏泽市。

1.2 研究方法

1.2.1 Super SBM 模型

基于非期望产出的超效率 SBM 模型是超效率 DEA 模型中的一种,它不仅能够有效区分位于生产前沿面的决策单元,而且还考虑了松弛变量^[27],在测算效率方便具有优越性。为了对多个城市不同年份生态效率进行跨期比较,本文运用基于全局基准技术的、规模报酬可变的 Super SBM 模型。具体计算公式为

$$\begin{aligned} P^G &= P^1 \cup P^2 \cup \dots \cup P^T = \\ &\left\{ (\bar{x}^t, \bar{y}^t, \bar{z}^t) \left| \begin{aligned} \bar{x}^t &\geq \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, \neq 0}^l x_{jm}^t \lambda_j^t \\ \bar{y}^t &\leq \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, \neq 0}^l y_{jn}^t \lambda_j^t \\ \bar{z}^t &\geq \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, \neq 0}^l z_{jk}^t \lambda_j^t \\ \sum_{j=1}^l \lambda_j^t &= 1, \lambda_j^t \geq 0 \end{aligned} \right. \right\} \\ \rho &= \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}}{x_{io}}}{\frac{1}{n+k} \left(\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^n \frac{\bar{y}}{y_{ro}} + \sum_{t=1}^T \sum_{q=1}^k \frac{\bar{z}}{z_{qo}} \right)} \\ \text{s. t. } &\begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, \neq 0}^l x_{ij}^t \lambda_j^t, i = 1, 2, \dots, m; \\ \bar{y} \leq \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, \neq 0}^l y_{rj}^t \lambda_j^t, r = 1, 2, \dots, n; \\ \bar{z} \geq \sum_{t=1}^T \sum_{j=1, \neq 0}^l z_{qj}^t \lambda_j^t, q = 1, 2, \dots, k; \\ \bar{x} \geq x_o, \bar{y} \leq y_o, \bar{z} \geq z_o; \\ \sum_{j=1}^l \lambda_j^t = 1, \lambda_j^t \geq 0; \\ \bar{x} = x_{io} + s_a^-, \bar{y} = y_{ro} - s_b^+; \\ \bar{z} = z_{qo} + s_c^-, s_a^- \geq 0, s_b^+ \geq 0, s_c^- \geq 0. \end{cases} \quad (1) \end{aligned}$$

式中: ρ 代表城市的效率值; x_{io} 、 y_{ro} 、 z_{qo} 分别代表城市的分别代表第 o 个决策单元的第 i 个投入值、第 r 个期望产出值、第 q 个非期望产出值; s 代表松弛变量; λ_j^t 为第 t 期第 j 个决策单元的权重系数。

1.2.2 Dagum 基尼系数及其分解方法

Dagum 基尼系数可用来分析区域内及区域间非均衡问题,并可进一步分解为组内基尼系数 G_w 、组间基尼系数 G_{nb} 、超变密度基尼系数 G_t ^[28],从而对有效分析黄河流域城市群内、城市群间的生态效率差异提供方法工具。其计算公式为

$$G = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{u=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{v=1}^{n_u} |y_{ij} - y_{uv}|}{2n^2 \bar{\rho}} \quad (2)$$

$$G_{ii} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} \sum_{v=1}^{n_i} |y_{ij} - y_{iv}|}{2n_i^2 \bar{\rho}_i} \quad (3)$$

$$G_{iu} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} \sum_{v=1}^{n_u} |y_{ij} - y_{uv}|}{n_i n_u (\bar{\rho}_i + \bar{\rho}_u)} \quad (4)$$

$$G_w = \sum_{i=1}^m G_{ii} p_i s_i \quad (5)$$

$$G_{nb} = \sum_{i=2}^m \sum_{u=1}^{i-1} G_{iu} (p_i s_u + p_u s_i) D_{iu} \quad (6)$$

$$G_t = \sum_{i=2}^m \sum_{u=1}^{i-1} G_{iu} (p_i s_u + p_u s_i) (1 - D_{iu}) \quad (7)$$

$$D_{iu} = \frac{d_{iu} - p_{iu}}{d_{iu} + p_{iu}} \quad (8)$$

$$p_i = \frac{n_i}{n} \quad (9)$$

$$s_i = \frac{n_i \bar{\rho}_i}{n \bar{\rho}} \quad (10)$$

$$G = G_w + G_{nb} + G_t \quad (11)$$

式中: m 和 n 分别指代城市群和城市数量; y_{ij} 指第 i 个城市群第 j 个城市的生态效率; y_{uv} 为第 u 个城市群第 v 个城市的生态效率; n_i 和 n_u 分别代表第 i 个和第 u 个城市群的城市数量; G_{ii} 是第 i 个城市群内的基尼系数; G_{iu} 为第 i 个和第 u 个城市群之间的基尼系数; G 为黄河流域城市群总体基尼系数; d_{iu} 为城市群之间生态效率的差值,即 i 与 u 城市群间满足 $y_{ij} - y_{uv}$ 的所有样本值之和的数学期望; p_i 为第 i 个城市群内所含城市的个数占整个研究区域城市个数的比重; s_i 代表第 i 城市群生态效率之和占总区域生态效率之和的比重; p_{iu} 为超变一阶距; D_{iu} 为 i 与 u 城市群间生态效率的相对影响。

1.2.3 面板分位数回归模型

一般进行线性回归拟合时需要去掉极值点,但是也会使极值点在研究中丧失意义。与之相比,分位数回归 (quantile regression)^[29] 可以对解释变量的全局特征进行描述,因此面对数据中的极值点时,它比最小二乘法更加稳健。Koenker 在 2004 年通过将面板数据与分位数回归进行整合,构建了面板分位数回归模型^[30]。本文所使用的是带固定效应的面板分位数回归模型,其公式为

$$Q_{\rho_{it}}(\tau | X_{it}) = \alpha_i + \beta(\tau) X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

式中: i 为城市, t 为时间, ρ_{it} 代表城市生态效率值; $Q_{\rho_{it}}(\tau | X_{it})$ 代表各城市在 τ 分位数下的生态效率; $\beta(\tau)$ 表示在 τ 分位数下的回归系数; X_{it} 代表解释变量; ε_{it} 代表随机误差项; α_i 代表个体固定效应。

1.3 数据来源

投入指标通常包含劳动力、物质资本、自然资

源等指标,分别以年末单位从业人员、固定资本存量、建成区面积、供水总量、夜间灯光指数来表示(见表 1)。研究表明,夜间灯光指数与能源投入有明显的线性关系^[31],因此本文以研究区域内夜间灯光栅格总值来表示能源投入。固定资本存量用永续盘存法来计算,借鉴张军等人的相关研究^[32],并以 2006 年为基期。计算公式为

$$K_t = K_{t-1}(1 - \delta) + I_t \tag{13}$$

式中: K 指代某期资本存量; δ 为 9.6%; I_t 指当年实际投资,为名义固定资本形成额除以固定资本形成总额指数得到。

表 1 黄河流域城市群生态效率评价指标体系

Tab. 1 Eco-efficiency input-output index system

指标	一级指标	二级指标
投入指标	土地投入	市辖区建成区面积
	劳动力投入	年末单位从业人员
	资本投入	固定资本存量
	水资源投入	供水总量
	能源投入	夜间灯光指数
产出指标	期望产出	地级市一般公共预算收入
		地区生产总值
	非期望产出	建成区绿化覆盖率 环境污染指数

在产出指标中,将生态指标即建成区绿化覆盖率纳入期望产出,期望产出还包括地级市一般公共预算收入、地区生产总值,相关 GDP 数据以 2006 年为基期进行平减;非期望产出用环境污染指数来表示,具体通过工业三废,即工业废水、二氧化硫以及烟尘排放量利用熵值法计算而来^[33](见表 1)。

数据主要来源于《中国城市统计年鉴(2007—2021)》、黄河流域沿黄城市统计年鉴、国民经济和社会发展公报及各省份水资源公报,仍有缺失数据运用 stata 软件进行插值处理。

2 结果分析

2.1 黄河流域七大城市群生态效率评价

基于全局基准技术,利用超效率 SBM 模型计算黄河流域七大城市群 60 个地级市 2006—2020 年的生态效率值,城市群逐年生态效率值为各城市群所包含的城市生态效率的平均值。如图 2 所示,除兰西城市群外,其余城市群在研究期内生态效率均波折上升,生态效率明显改善。

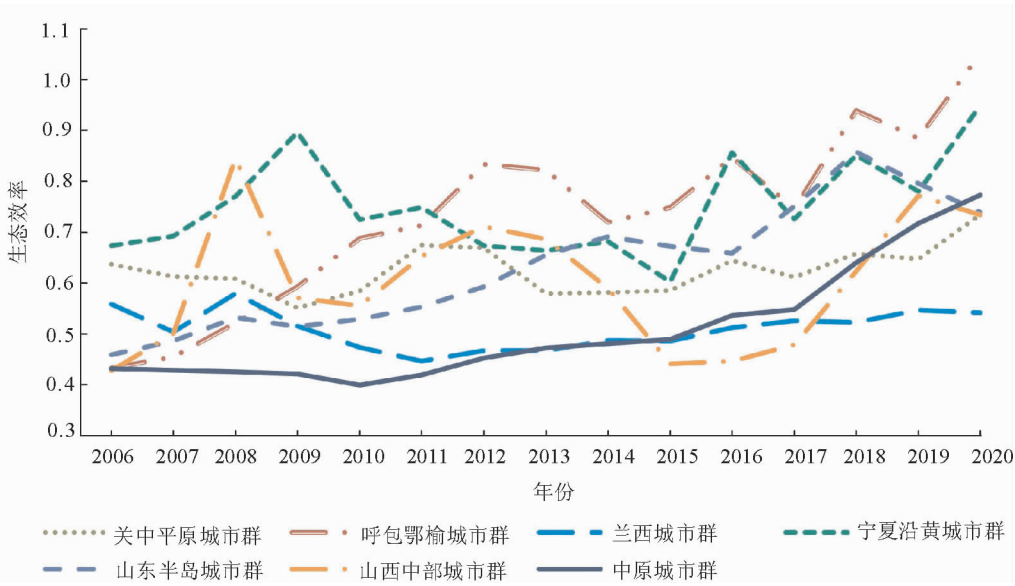


图 2 黄河流域七大城市群生态效率

Fig. 2 Ecological efficiency of seven urban agglomerations in the Yellow River Basin

从总体看,黄河流域地区生态效率在研究期内从 0.499 提升到 0.771,近 5 年增长态势明显。从各城市群生态效率均值角度来讲,效率高低关系表现为:宁夏沿黄城市群>呼包鄂榆城市群>山东半岛城市群>关中平原城市群>山西中部城市群>中原城市群>兰西城市群。在研究

期内,黄河流域地区生态效率非有效,表明黄河流域城市群生态效率还有很大的提升空间。从增长率角度来看,呼包鄂榆城市群城市群与中原城市群增长幅度最大,研究期内生态效率分别增加了 0.619、0.342。黄河流域因区域内部城市自然资源禀赋和经济社会发展导向不同,上中下游发展

差异较大。从经济辐射能力来看,山东半岛城市群、中原城市群无疑是黄河流域经济实力较强的两大城市群,然而其生态效率值却远小于呼包鄂榆城市群、宁夏沿黄城市群等。原因在于其人口体量大,资源投入较多、而非期望产出的冗余率过高,即粗放式的经济增长虽然促进了地区的经济发展,但对生态造成了一定的损害,拉低了地区的绿色经济发展水平。

2.2 黄河流域城市群生态效率时空演化分析

根据黄河流域城市生态效率值的区间分布,将黄河流域城市生态效率分为 5 个等级,即低效率($\rho \leq 0.3$)、中低效率($0.3 < \rho \leq 0.5$)、中等效率($0.5 < \rho \leq 0.75$)、中高效率($0.75 < \rho < 1$)、高效率($\rho \geq 1$)。由于全文篇幅受限,因此选取 2006 年、2010 年、2015 年、2020 年这 4 个时间点进行可视化展现(见图 3)。从城市层面来看,各城市生态效率呈缓慢增长趋势。在 2006—2010 年间,绝大部分城市生态效率小幅度增长,中低效率城市所占比例从 61.67% 缩减至 46.67%,中等效率城市占比从 21.67% 增加至 41.67%。高效率城市较多出现在上游地区,低值区分布较为聚集,高值区分布较为分散。从城市群视角来看:中原城市群、山东半岛城市群依然处于垫底位置;关中平原城市群、宁夏沿黄城市群位居前列;呼包鄂榆城

市群增长幅度最大,在该时间段内生态效率从 0.433 增加到 0.687。2010—2015 年间,中高效率城市所占比例上升,低效率城市缩减为 0 个,高值区离散分布,低值区抱团分布。关中平原城市群、宁夏沿黄城市群、山西中部城市群生态效率倒退现象明显,其余城市群均有不同程度的改善。其中,山东半岛城市群增长幅度最大,从 0.553 提升至 0.673,成为仅次于呼包鄂榆城市群外生态效率最好的城市群。2015—2020 年间,各城市及各城市群的生态效率明显提升,高值区与低值区总体分布较为集中,但个别区域存在交叉分布格局。其中,高效率城市占比从 6.7% 增长到 35%,中低效率城市占比从 43.3% 缩减至 13.3%。呼包鄂榆城市群生态效率提升至 1.05,遥遥领先于其余城市群。值得一提的是,中原城市群在研究期内生态效率提升至 0.773,在黄河流域城市群中位居第 3。兰西城市群尽管有所提升,但仍落后于其余城市群。兰西城市群在研究期内始终处于垫底位置,作为新生城市群,其生态环境脆弱、经济总量小、城市分布较为松散、缺乏大城市的带动作用、自身辐射能力不足。山东半岛城市群在研究期内的非期望产出冗余水平排在众城市群前列,其投入资源冗余也较为严重,改变发展策略、推动绿色循环经济发展势在必行。

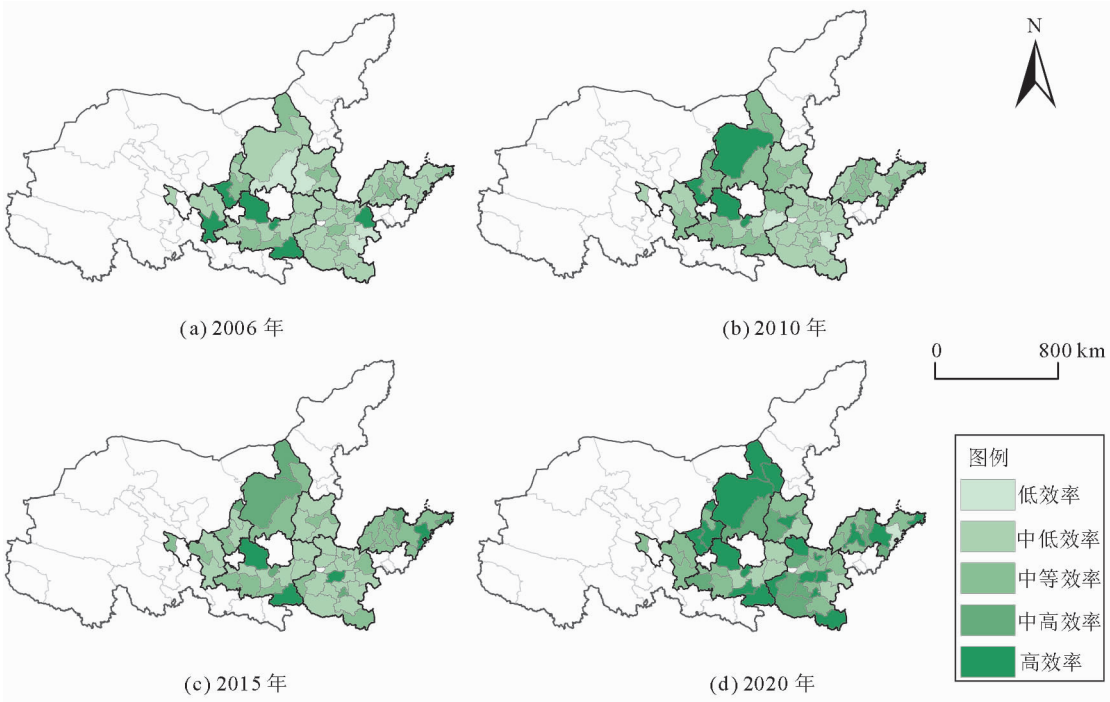


图 3 黄河流域生态效率时空演化图

Fig. 3 Spatio-temporal evolution map of eco-efficiency in the Yellow River basin

2.3 黄河流域城市群生态效率差异性分析

2.3.1 黄河流域城市群内生态效率总体差异分析

表2显示了黄河流域城市群 Dagum 基尼系数及其分解结果,贡献率代表了基尼系数总体差异的占比来源。2006—2020年间,黄河流域城市群生态效率总体基尼系数呈现缓慢波动的下降趋势,总体差距缩减了15.45%,生态保护与经济发展的协调性有所加强。从基尼系数差异来源看,组内基尼系数总体呈现“减-增-减-增”的“W”形发展趋势,研究期内贡献率占比位于13.241%~18.925%之间;组间基尼系数表现为先增后减的

“倒U”形趋势,在2008年达到最大值0.123之后,在2019年达到最低值0.059,研究期内贡献率占比在31.836%~61.404%之间;超变密度基尼系数发展趋势与组内基尼系数趋势相似,为“W”形演变趋势,在研究初始期为最大值0.103,在2010年达到最小值0.045,研究期内贡献率在25.312%~49.239%之间。基尼系数分析结果表明,城市群内与城市群间生态效率差异有所下降,黄河流域城市群间基尼系数及超变密度基尼系数贡献率均值分别为48.9%、35.5%,是总体差异的主要来源。

表2 Dagum 基尼系数及贡献率结果(2006—2020)
Tab.2 Dagum Gini coefficient and contribution rate (2006—2020)

年份	总体	基尼系数			贡献率		
		组内基尼系数	组间基尼系数	超变密度基尼系数	组内贡献率/%	组间贡献率/%	超变密度贡献率/%
2006	0.233	0.038	0.092	0.103	16.444	39.239	44.317
2007	0.192	0.032	0.085	0.074	16.913	44.400	38.687
2008	0.221	0.029	0.123	0.069	13.241	55.573	31.185
2009	0.186	0.025	0.103	0.057	13.556	55.592	30.852
2010	0.178	0.024	0.109	0.045	13.276	61.284	25.440
2011	0.197	0.026	0.121	0.050	13.284	61.404	25.312
2012	0.201	0.029	0.111	0.060	14.465	55.442	30.093
2013	0.197	0.029	0.098	0.069	14.928	50.040	35.032
2014	0.185	0.030	0.087	0.069	16.055	46.792	37.153
2015	0.191	0.031	0.089	0.071	16.316	46.471	37.213
2016	0.198	0.031	0.099	0.068	15.777	49.965	34.258
2017	0.169	0.026	0.085	0.058	15.484	50.340	34.176
2018	0.175	0.029	0.087	0.059	16.391	49.935	33.674
2019	0.168	0.031	0.059	0.078	18.380	35.116	46.504
2020	0.197	0.037	0.063	0.097	18.925	31.836	49.239

2.3.2 黄河流域城市群生态效率差异

黄河流域城市群 Dagum 基尼系数表明了各个城市群内部区域生态效率是否存在较大差距(见表3)。从均值情况来看,关中平原城市群内部差异最大,达到了0.236,而呼包鄂榆城市群与兰西城市群 Dagum 基尼系数最低,为0.094。分城市群来看:关中平原城市群在2006年区域内生态效率差异达到最大,为0.304,研究期内差异减少15.13%,相比于其余城市群,区域内非均衡特

征明显,核心城市对周边城市辐射带动作用不强,需强化其溢出效应;呼包鄂榆城市群研究期内区域差距逐渐变小,在2015年达到最低0.021,研究期内区域差异减小了72.41%,展示了其发展的强劲力量;兰西城市群在研究期内差距缩小的最快,从初始时期的0.285减小到研究末期的0.019,减小了93.33%,区域生态效率逐渐达到均衡,但区域内生态效率普遍较低,在平衡区域发展的同时也需提高区域内绿色经济发展水平;山

东半岛城市群与中原城市群在研究期内生态效率 Dagum 基尼系数变大,空间差距拉大,表明区域发展失衡,需加强区域内的交流合作、重视区域差距问题,促使地区间生态经济协调发展;山西中部城

市群尽管差距有所减小,但仍存在不平衡问题;宁夏沿黄城市群研究期内基尼系数减小了 56.58%,区域逐渐均衡。

表 3 黄河流域城市群 Dagum 基尼系数(2006—2020)
Tab.3 Dagum Gini coefficient of urban agglomeration in the Yellow River Basin (2006—2020)

年份	关中平原城市群	呼包鄂榆城市群	兰西城市群	宁夏沿黄城市群	山东半岛城市群	山西中部城市群	中原城市群
2006	0.304	0.174	0.285	0.228	0.149	0.161	0.160
2007	0.254	0.105	0.164	0.167	0.138	0.083	0.149
2008	0.228	0.081	0.264	0.218	0.161	0.141	0.121
2009	0.237	0.102	0.149	0.124	0.101	0.085	0.115
2010	0.221	0.148	0.096	0.142	0.102	0.105	0.096
2011	0.245	0.130	0.016	0.127	0.112	0.170	0.104
2012	0.232	0.110	0.038	0.118	0.124	0.207	0.137
2013	0.207	0.120	0.045	0.195	0.110	0.217	0.153
2014	0.217	0.070	0.043	0.169	0.124	0.208	0.148
2015	0.239	0.021	0.044	0.179	0.118	0.191	0.156
2016	0.243	0.112	0.055	0.116	0.106	0.192	0.159
2017	0.223	0.024	0.071	0.101	0.108	0.197	0.117
2018	0.210	0.062	0.068	0.104	0.125	0.158	0.141
2019	0.216	0.098	0.058	0.156	0.113	0.169	0.153
2020	0.258	0.048	0.019	0.099	0.176	0.153	0.182
均值	0.236	0.094	0.094	0.150	0.124	0.162	0.139

2.3.3 黄河流域城市群间生态效率差异

如表 4 所示,黄河流域城市群间基尼系数反映了城市群间生态效率的差异。各个城市群间生态效率差距差别不大,在 0.138~0.239 之间。根据城市群间基尼系数值的分布差异,可大致分为 3 类。第 1 类城市群间基尼系数值在 0.2 以上,有 12 组,主要包括关中平原城市群与其余城市群等组。这些城市群之间生态效率基尼系数发展差异较大,尤其是宁夏沿黄城市群与中原城市群之间,表明中原城市群内部各城市区域协调发展水平较低,非期望产出冗余严重,生态效率值远低于宁夏沿黄城市群。第 2 类城市群间基尼系数在 0.15~0.2 之间,有 7 组,主要包括山东半岛城市群与其余城市群等群组。其中,呼包鄂榆城市群与宁夏沿黄城市群在近几年区域间基尼系数降到了 0.1 以下,反映了近年间这两大城市群生态效率水平较高、差距较小,区域绿色协调发展能力突出。第 3 类城市群间基尼系数在 0.15 以下,包括

呼包鄂榆城市群与山东半岛城市群、兰西城市群与中原城市群这两组。兰西城市群与中原城市群是低生态效率区的代表,区域间绿色发展水平相对一致,但需尽快提质提量,减小对环境的污染破坏,转变发展模式,推动产业结构优化、提升区域高质量发展;山东半岛城市群尽管未如其余城市群出现跳跃式增长与回落,但研究期内生态效率持续稳步增长,区域协调发展能力逐渐加强,因此与呼包鄂榆城市群保持了较小的区域差异。

3 黄河流域城市群生态效率影响机制分析

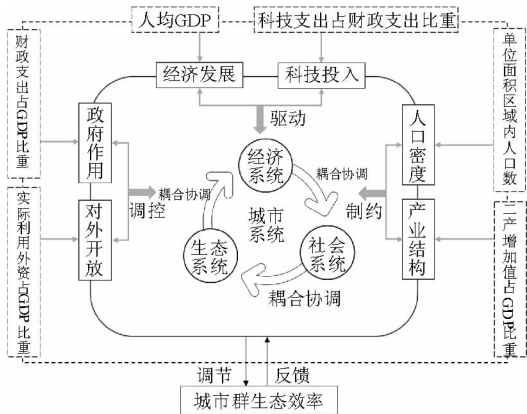
3.1 因素选取与变量检验

城市是黄河流域城市群的基础单元,城市系统是经济生态社会系统相互耦合的有机整体,它受多重因素的影响,其正负影响作用于城市系统并最终反馈到城市群的生态效率上。本文选取以

时也会将高污产业转移至我国,预期回归系数未知。④人口密度(Lnpop),以年末总人口数与行政区域面积的比值进行表示,并进行取对数处理。人口对环境的影响是双向的,因此回归系数未知。⑤技术进步(Sci),以科学技术支出占地方一般公共预算支出的比重进行表示。科学技术能改进生产方式,降低环境影响,预期回归系数为正。⑥政府作用(Gov),以地方一般公共预算支出占GDP的比重表示。政府干预制约生态经济水平,预期回归系数未知。

Tab. 4 Average Gini coefficient of ecological efficiency among urban agglomerations in the Yellow River Basin (2006—2020)

地区	基尼系数	地区	基尼系数
关中平原城市群-呼包鄂榆城市群	0.211	兰西城市群-宁夏沿黄城市群	0.230
关中平原城市群-兰西城市群	0.223	兰西城市群-山东半岛城市群	0.178
关中平原城市群-宁夏沿黄城市群	0.222	兰西城市群-山西中部城市群	0.192
关中平原城市群-山东半岛城市群	0.208	兰西城市群-中原城市群	0.148
关中平原城市群-山西中部城市群	0.229	宁夏沿黄城市群-山东半岛城市群	0.183
关中平原城市群-中原城市群	0.231	宁夏沿黄城市群-山西中部城市群	0.214
呼包鄂榆城市群-兰西城市群	0.234	宁夏沿黄城市群-中原城市群	0.239
呼包鄂榆城市群-宁夏沿黄城市群	0.166	山东半岛城市群-山西中部城市群	0.187
呼包鄂榆城市群-山东半岛城市群	0.138	山东半岛城市群-中原城市群	0.173
呼包鄂榆城市群-山西中部城市群	0.196	山西中部城市群-中原城市群	0.203
呼包鄂榆城市群-中原城市群	0.210		



在对变量进行回归之前,首先对解释变量进行多重共线性检验。结果显示,方差膨胀因子VIF值在1.18~3.49之间,平均值为1.87,表明模型不存在严重的共线性问题。此外,还需对数

3.2 生态效率面板分位数回归结果

为了与传统回归模型进行比较,先对变量进行固定效应回归;其次,利用面板分位数模型进行回归,以说明面板分位数回归的可靠性与稳健性。这里选取 10%、25%、50%、75%、90% 这 5 个比较典型的分位点,如表 5 所示,除人口密度外,其余变量回归结果基本相一致。

经济发展水平对于生态效率的提升具有显著的正向效应,其回归系数均在1%水平下显著,意味着随着区域经济发展水平的提高,区域的发展更多的向循环经济转型升级;从分位点来看,在10%分位点水平下人均GDP弹性系数最大,代表

着在低分位城市,人均 GDP 的提升能大幅度改善区域的生态效率,回归系数先降低后增加,从侧面印证了“环境库兹涅兹假说”^[34]。

产业结构对生态效率存在显著负相关关系,且在高分位点城市其影响最严重,即在生态效率较好的城市,产业结构的合理与否直接影响到区域绿色经济的发展。第二产业规模每下降 1%,则生态效率将会提高 0.6%~0.403% 不等。因此低效率城市需尽快促使产业转型,优化能源结构^[35],避免陷入“资源诅咒”困境。

对外开放水平抑制生态效率的发展,尤其是在高分位点城市,其作用越明显。而在 25% 分位点水平上呈正相关,即在该水平上外商投资能促进区域生态效率的提高。有研究表明,外资引进会使中国成为“污染避难所”^[36],将低附加值行业转移至我国,而并没有带来技术的革新,应加强环境规制强度、发展绿色经济。

人口密度对生态效率呈负相关关系,表明人口集聚能抑制生态效率的提升,回归系数随分位点的增加而增加,代表高分位城市人口密度对生态效率的制约作用比低分位城市要更显著。人口规模的扩张加剧城镇化的发展,不可避免的增加了资源的消耗,而工业技术发展水平相对滞后,

资源利用率不高,资源承载能力不足,从而不利于城市生态效率的发展。

技术进步能显著促进生态效率的提升,且其回归系数在所有解释变量中最大,对生态效率的影响最大,在 50% 分位点上影响变为负,回归系数整体呈现“M”型走向。技术水平的提高可以加强资源的利用效率,但如果技术的发展倾向于规模扩张,则会存在“技术环境悖论”^[37],反而加剧了污染物的排放。但总的来说,随着技术水平的提高、新能源的使用、废物的有效利用,技术创新对于生态效率的提升都有无与伦比的意义。

政府支持在 10%、50% 分位点表现为负,而在其余分位点表现为正向相关关系。在高分位城市,政府支持对于生态效率的提升较为显著,对于基础设施、生态环保支出具有正外部性,从而提高区域的生态效率。

3.3 稳健性检验

为证明回归结果具有稳健性,本文采用替换解释变量法再次对面板数据进行面板分位数回归,将人均 GDP 替换为人均财政收入(Lnfin)并做取对数处理。如表 6 所示,所得结果显著性、效果与表 5 结果类似,证明面板分位数结果稳健可靠。

表 5 面板分位数回归结果
Tab. 5 Regression results of panel quantile

解释变量	Fe	分位点回归/%				
		10	25	50	75	90
LnPGDP	0.152 ***	0.777 ***	0.104 ***	0.089 ***	0.179 ***	0.178 ***
	(10.29)	(6.83)	(122.42)	(3.44)	(108.97)	(17.54)
Ind2	-0.730 ***	-0.133 ***	-0.038 ***	-0.132	-0.060 ***	-0.403 ***
	(-3.91)	(-6.68)	(-5.86)	(-1.30)	(-9.50)	(-8.58)
Fdi	-0.083	-0.093 *	0.105 ***	-0.076 ***	-0.378 ***	-0.365 ***
	(-0.83)	(-1.88)	(13.11)	(-2.62)	(-20.92)	(-26.33)
Lnpop	0.274 **	-0.003	-0.002 **	-0.092 **	-0.059 ***	-0.112 ***
	(2.32)	(-1.16)	(-2.42)	(-2.42)	(-57.69)	(-21.02)
Sci	6.534 ***	1.539 ***	2.067 ***	-0.197	9.111 ***	3.647 ***
	(4.25)	(3.10)	(7.25)	(-0.33)	(18.44)	(5.62)
Gov	-0.170 ***	-0.016	0.028 ***	-0.026	0.123 ***	0.088 ***
	(-7.81)	(-0.50)	(9.63)	(-0.47)	(19.79)	(9.57)
样本量	900	900	900	900	900	900

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 水平下显著。

表6 稳健性检验
Tab. 6 Robustness test

解释变量	Fe	分位点回归/%				
		10	25	50	75	90
Lnfin	0. 116 ***	0. 076 ***	0. 086 ***	0. 089 ***	0. 128 ***	0. 211 ***
	(9. 77)	(77. 16)	(77. 64)	(13. 97)	(57. 31)	(13. 62)
Ind2	-0. 510 ***	-0. 059 ***	-0. 172 ***	-0. 237 ***	-0. 240 ***	-0. 570 ***
	(- 5. 73)	(- 6. 98)	(- 29. 31)	(- 35. 77)	(- 13. 46)	(- 7. 50)
Fdi	-0. 181 *	-0. 183 ***	-0. 072 ***	-0. 150 ***	-0. 400 ***	0. 075
	(- 1. 81)	(- 9. 91)	(- 18. 86)	(- 7. 77)	(- 23. 87)	(0. 40)
Lnpop	0. 307 **	-0. 011 ***	-0. 028 ***	-0. 039 ***	-0. 116 ***	-0. 160 ***
	(2. 59)	(- 16. 21)	(- 30. 05)	(- 33. 06)	(- 16. 74)	(- 9. 90)
Sci	5. 161 ***	2. 283 ***	-1. 587 ***	0. 002	-0. 857 **	-5. 844 ***
	(3. 29)	(4. 19)	(- 6. 43)	(0. 01)	(- 1. 98)	(- 4. 28)
Gov	-0. 210 ***	-0. 077 ***	-0. 035 ***	-0. 039 ***	0. 003	0. 007
	(- 9. 05)	(- 17. 84)	(- 16. 58)	(- 6. 68)	(0. 82)	(1. 40)
样本量	900	900	900	900	900	900

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 水平下显著。

4 结论与建议

4.1 结论

本文以黄河流域七大城市群为研究对象,利用 SuperSBM 模型测度了黄河流域城市群 2006—2020 年的生态效率值,并分析了其空间格局演变。在此基础上,利用 Dagum 基尼系数及其分解方法探讨了各城市群生态效率发展的差异性 & 非均衡性。最后,基于面板分位数回归模型,探索了影响生态效率提升的主要因素,得到如下结论。

1) 从整体上看,黄河流域地区生态效率在研究期内从 0. 499 提升至 0. 771,且近五年增长趋势明显。从城市群角度来看,各城市群生态效率得到明显改善,其中,呼包鄂榆城市群和宁夏沿黄城市群生态效率最好,而中原城市群和兰西城市群生态效率最差,各城市群间效率发展差异显著,呼包鄂榆城市群增长幅度最大,研究期内效率增加了 0. 619。从城市层面来看,各城市生态效率呈缓慢增长趋势。

2) 从时空演化规律上看,黄河流域生态效率空间分布格局由“低值区抱团分布、高值区离散分布”转化为高值区和低值区“小集聚、大分散”的交叉分布格局。在整个研究期内,中低效率城市与中等效率城市所占比例最高,高效率城市与中高效率城市稍显不足,揭示了黄河流域城市群

生态效率还有很大提升改善空间。

3) 从黄河流域城市群 Dagum 基尼系数及其分解结果来看,区域总体差异减小。组内基尼系数和超变密度基尼系数呈“减增减增”的“W”形发展趋势,而组间基尼系数呈先减后增的“倒 U”形发展趋势。组间基尼系数及超变密度基尼系数贡献率均值分别为 48. 9%、35. 5%,是总体差异的主要来源。从组内差异来看,关中原城市群内部差异最大,而呼包鄂榆城市群与兰西城市群内部差异最小;从组间基尼系数来看,各个城市群间生态效率差距不大,在 0. 138 ~ 0. 239 之间。

4) 二产占比、人口密度、对外开放水平制约城市群生态效率的发展,而经济发展水平、技术进步与生态效率呈显著的正向相关关系。因此,相比于调整产业结构,通过技术进步促进生产率发展、提高资源利用率、加强环境规制能够更有效地提升黄河流域绿色经济发展水平^[38]。

4.2 建议

黄河流域上中下游经济与生态条件差异大,社会发展导向不同,需有区别性培育,有针对性地提高各个城市群的生态效率。针对上游城市群,即兰西城市群、宁夏沿黄城市群,其经济发展水平相对滞后,核心城市辐射带动作用不强,应坚持生态优先,促进地区绿色产业转型升级,并强化兰州、银川、西宁在黄河流域上游城市群的辐射带动作用,促进上游城市紧密融合,形成上游地区的新

增长极。针对上中游城市群,即呼包鄂榆城市群,其人口密集、区位优势条件优越、能源储存丰富、城市发展基础良好,是中西部地区较富影响力的城市群,需立足自身资源禀赋,淘汰落后产业,大力发展新兴产业集群,并打破区域壁垒,深化跨区域协同发展。针对中游城市群,即关中平原城市群、山西中部城市群、中原城市群,作为中部城市群,西安、郑州、太原对周边辐射带动能力有限,区域副中心城市发展迟缓,地区“马太效应”逐渐显现,且区域资源约束力强。因此,应着力培育资源节约及环境友好型城市,推动地区次中心城市与中小城市的发展,实现与周边地区资源要素紧密联系的一体化发展,强化科创实力并加速就地转化科技创新成果,与周边地区共享科技力量。针对下游城市群,即山东半岛城市群,作为黄河流域经济最活跃的地区,应加快新旧动能转换,培育壮大产业集群,强化与沿黄各地市的交流合作,并坚持加大污染治理力度,发挥自身的龙头作用的同时重视对生态环境的治理,降低地区污染物排放量,决不能因环境污染而拉低区域绿色经济发展水平,切实保障城市群的绿色可持续发展。若要实现黄河流域城市群高质量发展,重点不仅在于提高地区的经济水平,更重要的是完善区域协调发展机制、协同创新机制,推进区域生态一体化建设,分区域分重点差异发展。

本研究存在一些不足之处,囿于数据获得性问题,不得以剔除部分地级市(州),使得研究区域不够全面,这在一定程度上会造成结论的偏颇;其次,评价指标体系尚有丰富的余地,未来可加入对大气污染造成重要影响的 CO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 等环境污染指标,在驱动因素方面,可考虑环境规制、生态环境等方面的约束,研究尺度和深度有待进一步深化。

参考文献

- [1] 陈明华,王山,刘文斐.黄河流域生态效率及其提升路径:基于100个城市的实证研究[J].中国人口科学,2020(4):46-58.
CHEN M H, WANG S, LIU W F. Ecological efficiency and its improvement path in the Yellow River Basin: An empirical study based on 100 cities[J]. Chinese Population Science, 2020(4): 46-58.
- [2] 习近平.在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J].中国水利,2019(20):1-3.
XI J P. Speech at the symposium on ecological protec-

- tion and high-quality development in the Yellow River Basin[J]. China Water Resources, 2019(20): 1-3.
- [3] HUPPES G, ISHIKAWA M. A framework for quantified eco-efficiency analysis[J]. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 25-41.
 - [4] DAI Z M, GUO L, JIANG Z Y. Study on the industrial eco-efficiency in east China based on the super efficiency DEA model: An example of the 2003—2013 panel data[J]. Applied Economics, 2016, 48(59): 5779-5785.
 - [5] SCHALTEGGER S, STURM A. Ökologische rationalität[J]. Die Unternehmung, 1990, 44(4): 273-290.
 - [6] WBCFS. Eco-efficiency leadership for improved economic and environmental performance[M]. Genoa: WBCFS, 1992: 3-16.
 - [7] HIROSE K, MISHIMA N. Eco-efficiency evaluation of modular design smartphones[J]. Procedia CIRP, 2019, 84: 1054-1058.
 - [8] 张展,廖小平,李春华,等.湖南省县域农业生态效率的时空特征及其影响因素[J].经济地理,2022, 42(2): 181-189.
ZHANG Z, LIAO X P, LI C H, et al. Spatial and temporal characteristics and influencing factors of county agricultural eco-efficiency in Hunan Province[J]. Economic Geography, 2022, 42(2): 181-189.
 - [9] RASHIDI K, SHABANI A, FARZIPOOR SAEN R. Using data envelopment analysis for estimating energy saving and undesirable output abatement: A case study in the Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD) countries[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 105(15): 241-252.
 - [10] 李丽平,田春秀,国冬梅.生态效率:OECD全新环境管理经验[J].环境科学动态,2000,25(1):33-36.
LI L P, TIAN C X, GUO D M. Eco-efficiency: The OECD's new experience in environmental management[J]. Journal of Environmental Science, 2000, 25(1): 33-36.
 - [11] 诸大建,朱远.生态效率与循环经济[J].复旦学报(社会科学版),2005,47(2):60-66.
ZHU D J, ZHU Y. Eco-efficiency and circular economy[J]. Journal of Fudan University (Social Science Edition), 2005, 47(2): 60-66.
 - [12] 戴铁军,陆钟武.钢铁企业生态效率分析[J].东北大学学报,2005,26(12):1168-1173.
DAI T J, LU Z W. Ecological efficiency analysis of iron and steel enterprises[J]. Journal of Northeastern University, 2005, 26(12): 1168-1173.
 - [13] 杨斌.2000—2006年中国区域生态效率研究:基于

- DEA 方法的实证分析[J]. 经济地理, 2009, 29(7): 1197-1202.
- YANG B. Study on regional eco-efficiency in China from 2000 to 2006: Empirical analysis based on DEA method[J]. Economic Geography, 2009, 29(7): 1197-1202.
- [14] KUOSMANEN T, KORTELAJINEN M. Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis[J]. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 59-72.
- [15] 韩瑞玲, 佟连军, 宋亚楠. 基于生态效率的辽宁省循环经济分析[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4732-4740.
- HAN R L, TONG L J, SONG Y N. Analysis of circular economy in Liaoning Province based on eco-efficiency[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4732-4740.
- [16] 肖黎明, 张仙鹏. 强可持续理念下绿色创新效率与生态福利绩效耦合协调的时空特征[J]. 自然资源学报, 2019, 34(2): 312-324.
- XIAO L M, ZHANG X P. Spatio-temporal characteristics of coupling coordination between green innovation efficiency and ecological welfare performance under the concept of strong sustainability[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(2): 312-324.
- [17] YAMASAKI J, ITSUBO N, MURAYAMA A, et al. Eco-efficiency assessment of 42 countries' administrative divisions based on environmental impact and gross regional product[J]. City and Environment Interactions, 2021, 10: 100061.
- [18] 孙丛婷, 傅莉媛, 蒋桦, 等. 中国生态效率时空动态分布与区域差异[J]. 生态学报, 2023, 43(4): 1366-1379.
- SUN C T, FU L Y, JIANG B, et al. Spatio-temporal dynamic distribution and regional differences of eco-efficiency in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(4): 1366-1379.
- [19] YAO T T, HUANG Z L, ZHAO W. Are smart cities more ecologically efficient? Evidence from China[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 60: 102008.
- [20] 沈伟腾, 胡求光, 李加林, 等. 中国区域生态效率的时空演变及空间互动特征[J]. 自然资源学报, 2020, 35(9): 2149-2162.
- SHEN W T, HU Q G, LI J L, et al. Spatio-temporal evolution and spatial interaction characteristics of regional eco-efficiency in China[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(9): 2149-2162.
- [21] 田鹏, 汪浩瀚, 李加林, 等. 东海海岸带县域城市生态效率评价及影响因素[J]. 地理研究, 2021, 40(8): 2347-2366.
- TIAN P, WANG H H, LI J L, et al. Ecological efficiency evaluation and influencing factors of county cities in the East China Sea coastal zone[J]. Geographical Research, 2021, 40(8): 2347-2366.
- [22] 阎晓, 涂建军. 黄河流域资源型城市生态效率时空演变及驱动因素[J]. 自然资源学报, 2021, 36(1): 223-239.
- YAN X, TU J J. Spatio-temporal evolution and driving factors of eco-efficiency of resource-based cities in the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(1): 223-239.
- [23] 徐维祥, 郑金辉, 王睿, 等. 黄河流域城市生态效率演化特征及门槛效应[J]. 地理科学, 2022, 42(1): 74-82.
- XU W X, ZHENG J H, WANG R, et al. Evolution characteristics and threshold effect of urban eco-efficiency in the Yellow River basin[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(1): 74-82.
- [24] 李露, 徐维祥, 郑金辉. 黄河流域城镇化进程与生态效率的空间交互效应研究[J]. 经济经纬, 2022, 39(5): 25-34.
- LI L, XU W X, ZHENG J H. Spatial interaction between urbanization process and eco-efficiency in the Yellow River basin[J]. Economic Journal, 2022, 39(5): 25-34.
- [25] 杨燕燕, 王永瑜, 韩君. 新发展理念下黄河流域生态效率测度及空间异质性研究[J]. 统计与决策, 2021, 37(24): 110-114.
- YANG Y Y, WANG Y Y, HAN J. Ecological efficiency measurement and spatial heterogeneity in the Yellow River Basin under the new development concept[J]. Journal of Statistics and Decision Making, 2021, 37(24): 110-114.
- [26] 李贝歌, 胡志强, 苗长虹, 等. 黄河流域工业生态效率空间分异特征与影响因素[J]. 地理研究, 2021, 40(8): 2156-2169.
- LI B G, HU Z Q, MIAO C H, et al. Spatial differentiation characteristics and influencing factors of industrial eco-efficiency in the Yellow River Basin[J]. Geographical Research, 2021, 40(8): 2156-2169.
- [27] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(1): 32-41.
- [28] DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. Empirical Economics, 1997, 22(4): 515-531.

- [29] KOENKER R, BASSETT G W. Regression quantiles [J]. *Econometrica*, 1978, 46(1): 33-50.
- [30] KOENKER R. Quantile regression for longitudinal data [J]. *Journal of Multivariate Analysis*, 2004, 91(1): 74-89.
- [31] 吴健生,牛妍,彭建,等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的 1995—2009 年中国地级市能源消费动态 [J]. *地理研究*, 2014, 33(4): 625-634.
WU J S, NIU Y, PENG J, et al. Energy consumption dynamics of Chinese prefecty-level cities from 1995 to 2009 based on DMSP/OLS nighttime light data [J]. *Geographical Research*, 2014, 33(4): 625-634.
- [32] 张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算:1952—2000 [J]. *经济研究*, 2004, 39(10): 35-44.
ZHANG J, WU G Y, ZHANG J P. Estimation of inter-provincial physical capital stock in China: 1952—2000 [J]. *Economic Research Journal*, 2004, 39(10): 35-44.
- [33] 任晓松,刘宇佳,赵国浩. 经济集聚对碳排放强度的影响及传导机制 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(4): 95-106.
REN X S, LIU Y J, ZHAO G H. Influence of economic agglomeration on carbon emission intensity and its transmission mechanism [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(4): 95-106.
- [34] 任力,朱东波. 中国金融发展是绿色的吗:兼论中国环境库兹涅茨曲线假说 [J]. *经济动态*, 2017(11): 58-73.
REN L, ZHU D B. Is China's financial development green? Also on China's environmental Kuznets curve hypothesis [J]. *Journal of Economic Dynamics*, 2017(11): 58-73.
- [35] 文琦,侯凯元,郑殿元,等. 成长型资源城市产业转型能力评价与优化路径:以榆林市为例 [J]. *地理科学*, 2022, 42(4): 682-691.
WEN Q, HOU K Y, ZHENG D Y, et al. Evaluation and optimization path of industrial transformation ability of growth resource cities: A case study of Yulin City [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(4): 682-691.
- [36] 周力,李静. 外商直接投资与 PM_{2.5} 空气污染:基于中国数据的“污染避难所”假说再检验 [J]. *国际经贸探索*, 2015, 31(12): 98-111.
ZHOU L, LI J. Foreign direct investment and PM_{2.5} air pollution: Retesting the "pollution sanctuary" hypothesis based on Chinese data [J]. *International Economic and Trade Exploration*, 2015, 31(12): 98-111.
- [37] 邱兆林. 长江经济带与黄河流域生态效率差异及影响因素分析 [J]. *当代经济管理*, 2022, 44(6): 39-49.
QIU Z L. Differences and influencing factors of eco-efficiency between Yangtze River Economic Belt and Yellow River Basin [J]. *Contemporary Economic Management*, 2022, 44(6): 39-49.
- [38] 王少剑,谢紫寒,王泽宏. 中国县域碳排放的时空演变及影响因素 [J]. *地理学报*, 2021, 76(12): 3103-3118.
WANG S J, XIE Z H, WANG Z H. Spatio-temporal evolution and influencing factors of county carbon emissions in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(12): 3103-3118.

(编辑 张欢)