

# 黄河流域城市资源环境效率时空特征及影响因素

林江彪<sup>1</sup>, 王亚娟<sup>1</sup>, 张小红<sup>2</sup>, 刘小鹏<sup>3</sup>

(1. 宁夏大学经济管理学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学资源环境学院, 银川 750021;  
3. 宁夏大学中卫校区公共教学事务部, 中卫 755000)

**摘要:** 提高城市资源环境效率对流域高质量发展具有重要意义。采用基于非期望产出的SBM超效率模型和Malmquist-Luenberger指数, 对2000年、2005年、2010年、2015年和2017年黄河流域地级以上城市的资源环境效率进行测算, 并结合核密度函数分析其时空特征, 应用Tobit模型测度城市资源环境效率的主要影响因素, 以期为黄河流域资源环境提质增效提供有效参考。结果表明: 近年来, 黄河流域城市资源环境效率大致呈“U”型变化趋势, 总体水平不高, 非DEA有效城市的数量远多于DEA有效城市; 城市全要素生产率呈下降态势, 效率变化和纯技术效率变化呈改善趋势; 产业结构和政府干预力度与资源环境效率呈正相关, 经济发展水平、城镇化水平、能源消耗水平和环境治理水平对资源环境效率具有负向作用。

**关键词:** 黄河流域; 资源环境效率; 非期望产出; 超效率SBM; Malmquist-Luenberger指数

资源环境效率指经济生产过程对资源环境的消耗在经济产出价值中所占比值的大小<sup>[1]</sup>。目前, 资源环境效率尚未有明确的定义, 类似概念最早为“生态效率”<sup>[2]</sup>。此后, 国内外学者针对区域、城市群等不同层面的能源经济效率、环境污染治理效率和环境效率等进行了相关研究<sup>[3-10]</sup>。能源经济效率指单位能源消耗所带来经济效益的多少, 经济效益越多, 能源效率越高<sup>[9]</sup>。环境污染治理效率是环境污染物减少量与环境污染治理投资的比值<sup>[10]</sup>, 其二者均是有效产出在总消耗中的占比, 不同的是能源效率针对能源消耗, 环境污染治理效率针对污染物。环境效率在生态效率评价方面起重要作用, 它通过对资源能源的有效利用和生产技术的提高来降低消耗、提高生产率, 更好地满足区域高质量发展要求<sup>[11]</sup>。流域城市资源环境效率是在生态效率基础上, 结合能源经济效率、环境效率和污染治理效率, 从流域城市角度出发, 探究城市创造一定的生产价值对能源资源的损耗和对环境的影响, 以此衡量城市经济发展与环境的协调水平。国内对于其他流域已有较多研究, 如长江流域、淮河流域、湘江流域等<sup>[12-14]</sup>, 而对于黄河流域的研究较少, 该区域和其他区域相比, 生态脆弱, 水质问题突出, 流域发展质量低下。目前, 黄河流域生态保护与高质量发展已上升为国家战略, 效率作为评价高质量发展的重要指标, 研究黄河流域城市资源环境效率具有很强的实践意义。

收稿日期: 2020-05-18; 修订日期: 2020-09-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41761025); 宁夏高等学校一流学科建设项目(理论经济学学科)(NXYLXK2017B04)

作者简介: 林江彪(1995-), 男, 甘肃岷县人, 硕士, 研究方向为生态经济理论与绿色治理。

E-mail: 2591261991@qq.com

通讯作者: 王亚娟(1978-), 女, 陕西咸阳人, 博士, 教授, 研究方向为区域发展、环境评价与管理。

E-mail: 358437013@qq.com

现有研究对生态环境效率、资源利用效率的评价方法各有差异,如Laspeyres指数分解法、TOPSIS模型和生态足迹法等<sup>[15-17]</sup>,这些评价方法基于单个或多个环境压力指标测算效率水平,其中,基于单个环境压力指标的效率测算不能反映经济生产过程的全面性和复杂性,多压力指标测算虽然包含了经济生产对资源环境的多方面影响,但未能考虑经济活动中不同资源环境压力的关联性和不可复制性。因此,多数研究运用包含非期望产出的DEA及其修正模型进行相对有效性评价<sup>[18-21]</sup>,即在同其他被考察单元相比较的情况下测量出某一被考察单元相对生产效率。如李林泽等<sup>[22]</sup>利用SBM-DEA模型分析2005—2014年中部地区资源环境效率时空分异特征及其成因机理;朴胜任等<sup>[23]</sup>运用超效率DEA模型并结合Malmquist指数模型动态分析了2004—2012年中国省域环境效率时空差异;张子龙等<sup>[24]</sup>基于投入导向的超效率DEA模型评价了2007年和2011年我国特定城市的环境绩效及影响因素。分析已有研究,基于省域和全国范围内城市资源或环境效率的定量研究逐渐增多<sup>[25-27]</sup>,而对流域内城市资源环境效率的综合测度评价和资源环境效率的时空演化特征及其影响因素的研究较少。

城市对流域经济发展具有重要的引领和协调作用,但城市经济发展的同时会对城市及周边区域带来资源需求压力,区域生态环境面临严峻挑战。本文采用基于非期望产出的SBM超效率模型,深入探究黄河流域城市资源环境效率的时空特征,通过计算Malmquist-Luenberger指数考察黄河流域城市资源环境效率的发展变化情况,采用核密度函数分析流域城市资源环境效率总体演变特征,进一步运用Tobit模型分析各城市资源环境效率的主要影响因素,为解决流域资源环境效率问题和实现流域高质量发展提供决策支持。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 研究区概况

本文依据水利部黄河水利委员会划定的自然流域范围,该范围包含38个地级以上城市,海东市由于数据缺失严重,故剔除该城市,因此共测算37个城市的资源环境效率,该范围内城市分布如图1所示。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 超效率SBM-DEA模型

超效率DEA模型解决了传统DEA模型的弊端,可以同时比较多个有效决策单元间的效率高低<sup>[28]</sup>。本文采用包含非期望产出的SBM超效率模型,对黄河流域城市的资源环境效率进行测算。非导向CRS超效率SBM模型如下<sup>[29]</sup>:

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

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \beta_j - s_i^- \leq x_{ik} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \beta_j + s_r^+ \geq y_{rk} \quad (3)$$



注：本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作，底图无修改，下同。

图1 黄河流域城市分布

Fig. 1 The urban distribution of Yellow River Basin

$$\beta, s^+, s^- \geq 0 \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, n \ (j \neq k) \quad (5)$$

式中： $\rho$  为决策单元的效率值； $\beta$  为相对于选定的决策单元重新构造一个有效的决策单元组合中  $n$  个决策单元的组合比例； $x_{ij}$ 、 $x_{ik}$  分别为第  $j$ 、 $k$  个决策单元的第  $i$  种投入值； $y_{rj}$ 、 $y_{rk}$  分别为第  $j$ 、 $k$  个决策单元的第  $r$  种产出值； $m$ 、 $s$  分别为投入、产出指标的数量（个）， $m=4$ ， $s=5$ ； $s_i^-$  和  $s_r^+$  分别为第  $i$  种投入和第  $r$  种产出的松弛变量。

### 1.2.2 Malmquist-Luenberger 生产率指数模型

本文采用含非期望产出的 Malmquist-Luenberger 生产率指数分解模型研究动态效率的变化特征，公式如下<sup>[30,31]</sup>：

$$\begin{aligned} ML(x_t, y_t, x_{t+1}, y_{t+1}) &= \left[ \frac{D_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^t(x_t, y_t)} \times \frac{D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[ \frac{D_0^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{D_0^t(x_t, y_t)}{D_0^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{D_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_0^t(x_t, y_t)} \quad (6) \\ &= EC(x_t, y_t, x_{t+1}, y_{t+1}) \times TC(x_t, y_t, x_{t+1}, y_{t+1}) \\ &= PEC \times SEC \times TC \end{aligned}$$

式中： $(x_{t+1}, y_{t+1})$ 、 $(x_t, y_t)$ 代表  $t+1$ 、 $t$  时期的投入产出向量； $D'_0$  和  $D_0^{t+1}$  表示  $t$ 、 $t+1$  时期的距离函数； $ML$  表达了  $(x_{t+1}, y_{t+1})$  相对于  $(x_t, y_t)$  生产率的变化，若  $ML > 1$ ，则生产率水平提高，反之，生产率水平降低。由于生产率的提高来自技术改进和效率提高，因此可将  $ML$  分解为技术进步变化指数（ $TC$ ）和技术效率变化指数（ $EC$ ），效率变化指数进一步可以分解为纯技术效率变化（ $PEC$ ）和规模效率变化（ $SEC$ ）。

$TC$  指相同投入在不同时期的最优产出之比，若  $TC > 1$ ，表示生产技术有进步，反之，生产技术衰退； $EC$  指  $t$  期到  $t+1$  期技术效率变化对绿色全要素生产率的贡献程度， $EC > 1$  代表生产效率有所改善，反之，效率降低。

1.2.3 核密度估计方法

运用核密度估计方法对资源环境效率进行估计拟合得到核密度曲线，通过分析曲线的分布形态、峰度和位置等方面的变化，揭示黄河流域城市资源环境效率的动态演变特征。概率密度估计公式如下<sup>[32-34]</sup>：

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

(7)

式中： $x_1, x_2, \dots, x_i$  为独立分布的  $n$  个样本点； $K(x)$  为核函数；带宽  $h$  值的大小会影响核密度曲线分布的平滑程度。

1.2.4 Tobit 回归模型

Tobit 模型也称样本选择模型，是因变量满足某种约束条件下取值的模型，其基本形式如下<sup>[35]</sup>：

$$y_i^* = x_i \beta + \mu$$
$$y_i = \begin{cases} 0 & \text{if } y_i^* < 0 \\ y_i^* & \text{if } y_i^* > 0 \end{cases}$$

(8)

式中： $x_i$  是解释变量； $y_i$  是被解释变量； $\beta$  是回归系数； $\mu$  是扰动项。

1.3 指标体系构建及数据来源

参考已有研究<sup>[25,36,37]</sup>，基于城市资源环境效率的基本内涵，选取地区 GDP 作为经济增长的期望产出指标，以工业废水、废气排放量和工业固体废物产生量作为非期望产出指标；将全社会固定资产投资总额作为资本投入变量，将城市建成区面积作为土地投入变量，将年末从业人员作为劳动力投入变量，以能源消耗总量和全社会供水总量作为能源和水资源投入变量（表1）。

城市投入产出数据源于《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及各个城市的统计年鉴等官方统计数据，数据缺失的年份则选取上一年的数据代替。

表1 城市资源环境效率投入产出指标体系  
Table 1 Input and output index system of urban resources  
and environmental efficiency

指标	类别	指标内容
投入指标	劳动力	年末从业人员/万人
	资本投入	全社会固定资产投资总额/万元
	水资源投入	全社会供水总量/万 t
	土地投入	城市建成区面积/km <sup>2</sup>
	能源消耗	能源消费总量/万 t 标煤
产出指标	期望产出	地区 GDP/万元
	非期望产出	工业废水排放量/万 t
		工业废气排放量/万标 m <sup>3</sup>
		工业固体废物产生量/万 t

## 2 结果分析

### 2.1 黄河流域城市资源环境效率静态分析

#### 2.1.1 黄河流域城市资源环境效率时序变化特征

运用MaxDEA 6.0软件对2000年、2005年、2010年、2015年和2017年黄河流域城市资源环境效率进行测算,结果如图2。

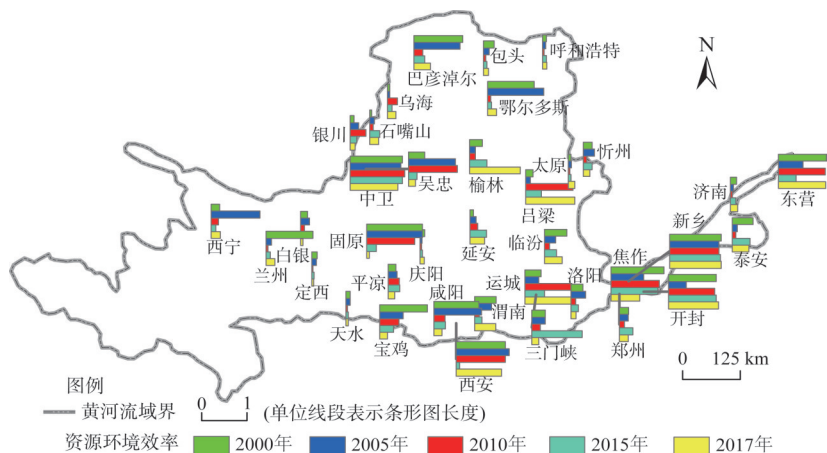


图2 黄河流域城市资源环境效率空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of urban resources and environmental efficiency in the Yellow River Basin

由图2知,2000年、2005年、2010年、2015年和2017年黄河流域城市资源环境效率均值分别为0.496、0.438、0.385、0.317和0.390,大致呈“U”型变化趋势。资源环境效率均值大于或等于1的城市有2个,分别是中卫市(1.414)和新乡市(1.122),达到了DEA有效,其余城市均小于1,为非DEA有效,即相对无效率的城市远远多于相对有效率的都市。

2000—2015年,流域内城市资源环境效率处于波动下降趋势,由2000年的0.496下降至2015年的0.317,降低了56.5%。此阶段起始,国家计划实施西部大开发战略以促进地区间协调发展,对资源能源的消耗加大,进而影响环境效率提升;另一方面,21世纪初,中国加入WTO更多地引进外资、扩大出口贸易,快速的经济发展导致环境污染加剧以及对资源能源的不节约不合理使用,引发了严峻的生态环境问题,导致资源环境效率不断降低。2015—2017年,资源环境效率提升了23.03%。在“十三五”规划中,政府一方面积极支持创新,倡导发展资源集约、技术密集型产业;另一方面积极推进生态文明建设,出台了一系列环境政策法规<sup>[38,39]</sup>,加上人们环保意识不断增强,资源环境效率向逐步上升转变,但仍存在部分无效水平城市,城市间差距较大。

从流域内城市效率类型占比来看,2000年有12个城市的资源环境效率值大于1,达到了DEA有效,占案例城市总数的32.43%。2005年、2010年、2015年和2017年DEA有效城市占比分别为24.32%、27.03%、13.51%和21.62%,表明在城市投入产出体系中,大部分城市的资源环境投入并没有达到相对较优的产出,资源环境效率仍有很大提升空间。2000年达到DEA有效的12个城市中,焦作(1.176)、开封(1.054)、新乡(1.144)、东营(1.065)于黄河下游区段及入海口,地理位置优越,能够吸收大量外资和



引进先进技术，资源能源利用率高；巴彦淖尔（1.092）、鄂尔多斯（1.030）隶属内蒙古，其资源禀赋优势较大；固原（1.239）、中卫（1.160）、兰州（1.048）、西安（1.095）、咸阳（1.002）、宝鸡（1.059）位于黄河流域上游，工业化水平较低，生产和生活方式较为简单，对资源环境的损耗较少，资源环境效率较高。

对比2000年黄河流域城市资源环境效率的空间分布及其变化，近年来，诸如榆林、运城和吕梁等城市的资源环境效率大幅提高，达到了DEA有效水平。但与2000年相比，2005年东营（0.541）、焦作（0.727）、开封（0.392）3个城市的资源环境效率由DEA有效转为无效水平，河南、山东等黄河中下游省份经济转型升级力度加大，面临新旧动能转换的较大压力，城市资源环境效率经历着结构调整初期的下降期；2010年宝鸡（0.423）、咸阳（0.254）、兰州（0.044）、鄂尔多斯（0.064）、巴彦淖尔（0.204）5个城市的资源环境效率大幅降低；2015年宝鸡（0.304）、咸阳（0.257）、西安（0.077）、兰州（0.094）、鄂尔多斯（0.084）、巴彦淖尔（0.247）6个城市的资源环境效率仍处于相对无效水平；2017年宝鸡（0.169）、咸阳（0.186）、兰州（0.195）、固原（0.051）、鄂尔多斯（0.198）、巴彦淖尔（0.371）、焦作（0.638）7个城市的资源环境效率虽有所提升，但仍处于非DEA有效水平，这些城市中的多数位于黄河流域上游区段，是高度依赖于资源能源为主导产业的中西部城市，诸如鄂尔多斯、宝鸡等城市是我国重要的能源化工基地，“关中—天水城市群”也是重要的制造业基地，快速的工业化发展促进了这些内陆城市的环境消耗，生产性资源投入过多而有效产出不足，城市资源利用、环境治理水平亟待提高。

2.1.2 黄河流域城市资源环境效率聚类分析

运用SPSS 19.0软件中的系统聚类方法，进一步对黄河流域37个城市的资源环境效率均值进行聚类，根据聚类结果将流域内城市分为四种类别（表2）。

表2 黄河流域城市资源环境效率聚类结果

Table 2 Clustering results of urban resources and environmental efficiency in the Yellow River Basin	
类别	城市
第一类	中卫、新乡
第二类	焦作、开封、西安、东营、固原
第三类	运城、巴彦淖尔、吴忠、咸阳、吕梁、鄂尔多斯、宝鸡
第四类	西宁、渭南、临汾、兰州、白银、银川、包头、定西、呼和浩特、济南、洛阳、郑州、平凉、三门峡、榆林、庆阳、石嘴山、太原、泰安、天水、乌海、忻州、延安

第一类包括处于生产前沿面上的中卫和新乡两个地级市，此类城市的资源环境效率达到了DEA有效，具有高资源环境效率水平；第二类包括焦作、开封、西安、东营和固原5个地级市，此类城市在测算期间内大部分年份达DEA相对有效水平，只有个别年份处于DEA无效状态，资源环境效率水平较高且有待改善；第三类包括运城、巴彦淖尔、吴忠、咸阳、吕梁、鄂尔多斯、宝鸡7个地级市，此类城市的资源环境效率处于0.5~0.7之间，波动幅度不大，该类地级市的资源环境效率水平具有较大的上升空间；第四类包括三门峡、榆林、西宁等23个地级市，此类城市的资源环境效率值小于0.5，资源环境效率水平很低，该类地级市具有很大的提升空间。

虽然资源环境效率没有达到效率前沿面的大多数城市是位于流域中上游的内陆城市，但资源环境效率分布状况并没有完全遵循黄河流域的地理分布。达到DEA有效的两

个城市中,位于黄河流域上游的中卫市属于内陆城市,经济欠发达,而新乡市位于流域下游。但同样位于黄河流域下游且处于东部沿海地带的东营市和经济发展水平较高的济南市并没有达到DEA效率前沿面。表明城市经济发展水平并不与城市资源环境效率成正比,经济实力较强的城市虽有较大的生产投入,但存在投入过度或投入不合理的可能性,导致其资源环境效率较低。2016年习总书记在宁夏考察时指出:“越是欠发达地区,越需要实施创新驱动发展战略”。近年来,中卫市积极践行战略方针,着力整合创新资源、优化创新环境,为中卫市经济高质量发展提供强有力的支撑。这些发展基础薄弱,既不沿边也不靠海的西部欠发达城市的资源环境效率相对较高。因而经济基础好的城市资源环境效率并不一定高于经济基础差的城市,所有地区城市发展都要重视资源的合理分配与使用,以期最大程度提升资源环境效率。

## 2.2 黄河流域城市资源环境效率动态变化特征

### 2.2.1 黄河流域城市资源环境效率的全要素生产率动态演变分析

超效率SBM模型对资源环境效率的测算仅仅是一种静态分析,为了更好地把握黄河流域城市资源环境效率的动态变化趋势,基于Malmquist-Luenberger生产率指数测算了黄河流域37个城市资源环境效率2000年、2005年、2010年、2015年和2017年的全要素生产率及其分解指数(表3、图3)。

表3为研究期各城市全要素生产率及其分解指数的年均值。总体上,整个研究期黄河流域资源环境效率全要素生产率小于1,即生产率变化呈下降趋势。其分解指数中, $EC$ 均值大于1, $TC$ 均值小于1,说明效率变化在一定程度上对资源环境效率的提升起促进作用,而技术进步变化对改善资源环境效率的贡献作用不显著甚至产生抑制作用,因此黄河流域城市在经济发展的投入产出过程中,在效率提升的同时也要注重技术的改进,需要吸收先进的技术,提高自身管理的科学性和高效性,使技术进步变化达到最优,成为促进资源环境效率提升的主要源泉。

从案例城市的效率指标变化来看,吕梁、太原、乌海、延安、榆林和运城的全要素生产率和技术效率变化呈改善趋势,且变化趋势基本一致。白银、宝鸡、定西、固原、呼和浩特、焦作等城市的全要素生产率、技术效率变化和技术进步变化指标均呈下降趋势,其中,白银、宝鸡和固原位于所有案例城市的最后,其生产率下降趋势最为明显。巴彦淖尔、泰安、天水、忻州等城市的技术效率变化改善趋势显著,而技术进步变化明显下降,因此技术改善缓慢是全要素生产率下降的主要原因,技术效率变化的增长则促进了全要素生产率的提升。

图3反映了2000年、2005年、2010年、2015年、2017年黄河流域城市资源环境效率及其分解指数的年均变化趋势。评价期间内,案例城市的全要素生产率大致成“N”型变化趋势。4个评价期间内, $ML$ 指数和 $TC$ 指数均小于1,表明在评价期内,黄河流域城市的资源环境效率呈下降趋势。除2005—2000年评价期间外,技术效率变化在其他评价期间内均大于1,且呈稳定上升趋势。因此,虽然技术效率在一定程度上对环境效率改善起正向作用,但效果不显著,城市资源环境效率的变化趋势在很大程度上仍受技术进步变化的影响,而现阶段技术进步变化对环境效率的提升存在阻碍作用,表明城市经济投入产出模式未能同技术进步相协调,应积极转变经济发展模式,主动吸收和应用先进技术,促使生产投入与有效产出同步发展。

表3 黄河流域城市  $ML$  指数及其分解Table 3  $ML$  Index and its decomposition of cities in the Yellow River Basin

城市	全要素生产率 $ML$	技术变化 $TC$	效率变化 $EC$	纯技术效率变化 $PEC$	规模效率变化 $SEC$
巴彦淖尔	0.835	0.900	1.105	1.105	0.998
白银	0.502	0.616	0.820	1.182	0.721
包头	0.619	0.753	1.010	0.980	1.029
宝鸡	0.551	0.689	0.797	0.836	0.965
定西	0.726	0.843	0.853	1.000	0.853
东营	0.887	0.875	1.018	1.013	1.000
鄂尔多斯	0.979	0.823	1.247	1.291	0.975
固原	0.402	0.634	0.703	1.000	0.703
呼和浩特	0.647	0.727	0.971	0.989	0.990
济南	0.846	0.779	1.136	1.152	0.993
焦作	0.700	0.699	0.996	1.000	0.996
开封	0.778	0.772	1.010	1.008	1.000
兰州	0.682	0.635	1.153	1.198	0.964
临汾	0.813	0.818	1.046	1.017	0.993
吕梁	1.830	1.131	1.393	1.031	1.225
洛阳	0.644	0.739	0.905	0.905	0.997
平凉	0.743	0.786	0.911	1.066	0.852
庆阳	0.805	0.848	1.083	1.000	1.083
三门峡	0.877	0.883	0.982	0.970	0.933
石嘴山	0.820	0.715	1.252	1.131	1.089
太原	1.163	0.646	1.632	1.660	0.995
泰安	0.914	0.764	1.356	1.317	0.998
天水	0.799	0.712	1.167	1.315	1.071
渭南	0.954	0.720	1.286	1.250	1.003
乌海	1.482	0.698	1.771	1.174	1.398
吴忠	0.766	0.786	0.915	0.967	0.927
西安	0.718	0.680	1.058	1.051	1.000
西宁	0.786	0.721	1.063	1.038	0.981
咸阳	0.641	0.782	0.814	0.866	0.942
忻州	0.855	0.887	1.106	1.165	0.926
新乡	0.736	0.736	1.000	1.000	1.000
延安	1.065	0.854	1.244	1.355	0.921
银川	0.711	0.758	0.951	0.938	1.000
榆林	1.144	1.173	1.180	1.136	1.025
运城	1.115	0.987	1.082	1.049	1.020
郑州	0.799	0.753	1.028	1.114	0.975
中卫	0.853	0.853	1.000	1.000	1.000
均值	0.843	0.789	1.082	1.088	0.988



由图3可知,在效率变化的分解指数中,纯技术效率变化的年均增长率为8.8%,且在2017—2015评价期间内达到最高增幅35.4%,说明纯技术效率变化呈现改善趋势,对全要素生产率的提高起促进作用;规模效率的年均增长率小于0,表明规模效率在一定程度上抑制资源环境效率的提升。因此,黄河流域城市的经济生产存在生产规模与经济结构不相容的问题,需要合理调整产品及要素结构,使生产规模最优化。

### 2.2.2 黄河流域城市资源环境效率的核密度分析

运用Stata 15.1软件,采用Kernel核密度函数对2000年、2005年、2010年、2015年、2017年黄河流域城市资源环境效率进行估计,生成核密度曲线(图4),以直观反映黄河流域城市资源环境效率的总体演变特征。

从形状上看,2000年、2005年、2010年、2015年、2017年黄河流域城市资源环境效率的核密度函数大致呈“M”型双峰分布,没有严格的单峰形态,表明这几年黄河流域城市的资源环境效率出现两极分化状态,各城市资源环境效率分布差异较大;从各年份波峰所处的位置来看,各年份波峰所处位置偏左集聚,说明黄河流域城市的资源环境效率大部分处于较低状态;从峰度来看,各年份的核密度曲线呈现由宽峰向尖峰发展转变的趋势,表明黄河流域城市的资源环境效率趋同演变;从位置来看,2000—2015年资源环境效率核密度曲线略微向左偏移,2015—2017年核密度曲线略微向右偏移,说明黄河流域城市的资源环境效率呈先降低再逐渐升高的趋势,而且资源环境效率低值区波动较大,高值区波动较小。

总体来看,整个研究期黄河流域城市的资源环境效率呈“高一低—高”的发展趋势。随着工业化进程的大力推进,经济生产对资源能源的开采使用量较大,但由于开采及生产技术水平有限,导致资源能源大量浪费,有效产出较低,这种高投入低产出使得城市资源环境效率降低。近年来,国家高度关注生态环境问题,短期以政府干预为主导,长期内充分发挥市场化治理手段的优越性,对在社会经济发展过程中存在的与生态环境相矛盾的问题采取针对性措施安排<sup>[38]</sup>。同时,工业技术的进步使得资源能源利用率更高,一定投入水平下有效产出水平更高,从而提升了城市资源环境效率。

## 2.3 黄河流域城市资源环境效率影响因素分析

### 2.3.1 变量选取及模型设定

黄河流域城市资源环境效率时空分异特征明显,流域内不同区域和不同规模城市间

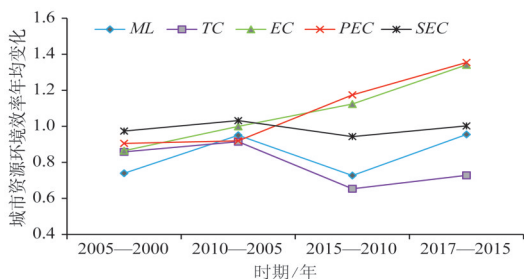


图3 黄河流域城市资源环境效率年均变化

Fig. 3 Annual changes of urban resource and environmental efficiency in the Yellow River

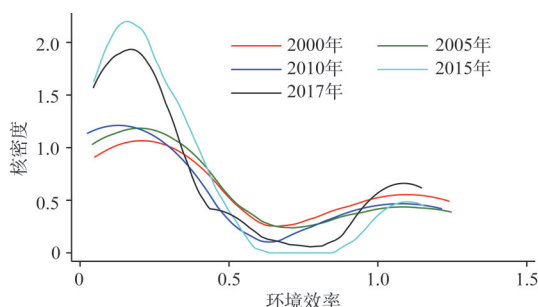


图4 黄河流域城市资源环境效率核密度曲线

Fig. 4 Kernel density curve of urban resources and environmental efficiency in the Yellow River Basin

的效率水平具有一定区域差异性和空间关联性。经济社会发展、环境治理与政府支持之间的相互作用与影响奠定了黄河流域资源环境效率时空演变的复杂性基础。参考借鉴已有研究成果<sup>[24,25,37,40]</sup>，本文基于“经济—社会—环境—政府”系统，考虑因素影响的可能性大小以及数据的可获得性，选取解释变量如下：（1）经济系统：城市经济发展水平和产业结构水平；（2）社会系统：城镇化水平；（3）环境系统：环境治理水平和能源消耗水平；（4）政府系统：政府对经济的干预程度。被解释变量为黄河流域37个城市的资源环境效率，以此构建黄河流域城市资源环境效率影响因素模型，定量分析各因素对城市资源环境效率的影响，Tobit回归模型如下：

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 URBAN_{it} + \beta_3 GS_{it} + \beta_4 EG_{it} + \beta_5 GOV_{it} + \beta_6 EC_{it} + \mu \tag{5}$$

式中： $Y_{it}$  是被解释变量，表示第*i*个城市在第*t*年的资源环境效率值； $\beta_0$  是常数项； $\beta_1 \sim \beta_5$  表示5个自变量的回归系数； $GDP_{it}$  为城市经济发展水平，用人均地区生产总值表示； $URBAN_{it}$  为城镇化水平，用城镇人口占常住总人口比例来表示； $GS_{it}$  为城市产业结构水平，用第三产业占地区生产总值比例来表示； $EG_{it}$  为城市环境治理水平，用工业固体废弃物综合利用率表示； $GOV_{it}$  为政府对经济干预程度，用政府地方财政支出占地区生产总值比例表示； $EC_{it}$  为能源消耗水平，用单位地区生产总值能耗表示； $\mu$  表示扰动项。

2.3.2 回归结果及分析

运用Stata 15.1软件进行回归分析，不同自变量因素对城市资源环境效率的影响显著性水平具有明显差异（表4）：

（1）城市经济发展水平和城镇化水平均在5%的显著性水平下对城市资源环境效率具有负向影响。改革开放以来，黄河流域粗放型经济增长产生大量污染物，流域内城市环境治理工程相对缓慢，经济发展与资源环境消耗矛盾突出。现阶段城市经济的高速发展大多仍以高投入高耗能高污染为代价，资源消耗大，有效产出相对较少；城镇化虽然有利于加强对土地资源的集约化利用，但短期内城镇化水平的快速发展也有加重资源环境压力的风险，如城市土地供给愈加短缺，而农村闲置土地数量增加，农村剩余劳动力素质不高，农业生产效率低下。快速的城镇化使城市能源消费、水资源利用等难以优化配置，导致资源环境效率降低；能源消耗水平在10%的显著性水平下对资源环境效率产生负向作用，单位GDP能耗越高，城市资源环境效率越低。一方面，随着工业化进程加快，能源密集型行业在经济生产中的占比较大，但多数企业技术老旧，难以提高用能效率，导致能源浪费严重，生产效率不高；另一方面，煤、石油、天然气作为工业建设的重要催化剂，经济生产过程对这些化石能源的使用仍具有较强依赖性，这对城市资源环境造成了一定的负面影响。

（2）城市环境治理水平在1%的显著性水平下对资源环境效率产生负向影响，这与预

表4 黄河流域城市资源环境效率影响因素回归结果  
Table 4 Regression results of influencing factors of urban resources and environmental efficiency in the Yellow River Basin

影响因素	相关系数	标准误	z统计量	P> z
GDP	-0.122**	0.465	-2.13	0.033
URBAN	-0.050**	0.115	-2.37	0.027
EG	-0.043***	0.245	-2.83	0.008
EC	-0.170*	0.667	-1.77	0.089
GS	0.108	0.026	0.610	0.540
GOV	0.301*	0.002	2.29	0.064

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%，5%和10%显著性水平显著。

期结果不一致。相较于高速增长的经济总量与污染排放量,黄河流域城市污染治理设施与环境保护投资增长滞后,环境保护治理效果与治理投资并未实现同步增长。一般情况下,环境治理水平越高,污染物排放量越少,环境质量越高,进而可以提升资源环境效率。说明目前城市环境治理的投入大于产出,导致效率低下,城市环境治理体系有待完善。

(3) 产业结构对城市资源环境效率的影响为正,但不显著。随着技术服务业、计算机软件业等产业的发展,以城市和专业市场为载体,我国第三产业结构占比越来越大,其中多数清洁生产型企业能源消耗强度低,对资源环境的压力载荷较小,对城市资源环境效率具有正向改善作用,但这种作用还不显著;政府干预程度在10%的显著性水平下对资源环境效率具有正向影响,说明地方政府的财政支出越大,其可能购进的环境治理设施设备越先进,治理程序越完善,能有力推动城市环境效率的提高。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

本文采用考虑非期望产出的SBM超效率模型对黄河流域37个城市2000年、2005年、2010年、2015年和2017年的城市资源环境效率进行了测度,并基于Malmquist-Luenberger生产率指数对资源环境效率的动态变化进行分析,采用Kernel核密度函数分析资源环境效率的总体演变特征,最后应用Tobit模型分析了黄河流域城市资源环境效率的主要影响因素,主要结论如下:

(1) 2000年以来,黄河流域城市资源环境效率大致呈“U”型变化趋势,总体水平不高。聚类分析结果显示非DEA有效城市的数量远多于DEA有效城市。从空间分布来看,近年来位于黄河流域中上游段内陆城市的资源环境效率由DEA有效转为无效水平,而流域东南部城市的资源环境效率大多呈DEA有效水平,城市资源环境效率存在明显的区域差异性。

(2) 资源环境效率的动态变化研究表明,评价期间内,城市全要素生产率均小于1,即生产率变化呈下降趋势,分解指数中,技术变化呈下降趋势,效率变化呈改善趋势。从效率变化的构成来看,绝大多数城市的纯技术效率均大于1,总体稳定于较高值,其年均增长率为8.8%;在2005—2000、2015—2010评价期间内规模效率变化均呈下降趋势,其年均增长率为负值。总体上,黄河流域下游城市的生产率变化、纯技术效率变化和规模效率变化一般高于中上游城市。

(3) 核密度曲线表明,黄河流域城市的资源环境效率呈“M”型分布状态,各城市资源环境效率两极分化较严重。近年来,核密度曲线由宽峰向尖峰转变,且整体略微右移,城市资源环境效率趋向向好发展。

(4) 影响因素回归结果表明,优化产业结构、加大新型服务业在国民经济中的占比将提高资源环境效率,地方政府对城市环境建设的财政支持也会推进城市资源环境效率的提高。现阶段,以高投入追求经济高速发展的生产方式对资源能源的消耗过大,经济生产必须转向高质量发展方式,加强对资源的集约化使用;城镇化水平的迅速发展使得城市人口密集度提高,对环境资源的耗竭度扩大,进而降低资源环境效率;目前城市环境治理不达标,治理投入大于有效产出,需加快完善城市环境治理体系,进一步提高城

市资源环境效率;不可再生能源的消耗必然增加资源环境压力,从而对城市资源环境效率产生负面影响。

### 3.2 讨论

城市资源环境效率反映了城市发展过程中创造一定经济产出所投入的资源环境成本,可以度量各城市经济发展对环境是否友好,是考察各城市经济是否满足高质量发展的重要指标。城市资源环境效率越高则表示城市经济发展与环境越协调,资源利用水平越高。近年来,内陆城市经济迅速发展,由此造成非期望产出增加及大量低效产出,导致黄河流域中上游内陆城市的资源环境效率低于下游及沿海城市。在经济转型的关键时期,通过对黄河流域城市资源环境效率及其影响因素研究分析,能够客观评价黄河流域主要城市的效率差异,对于促进黄河流域城市高质量发展具有重要的现实意义。基于本文分析,针对黄河流域城市资源环境效率存在的问题提出如下对策建议:

(1) 黄河流域城市经济发展过程存在高投入且有效产出不足的问题,积极倡导《2030年可持续发展议程》,坚持走资源节约、环境友好型发展战略之路将是提升黄河流域城市环境效率、促进经济高效发展的必由之路。

(2) 沿黄省区大多位于我国北方,实现流域上下游协调发展,将在很大程度上破解南北经济发展差距扩大的趋势。各省区需协同推动黄河流域生态保护和高质量发展,差异化改进生产技术,降低无效产出,将黄河流域打造成我国生态文明建设与流域绿色协调发展的重要引领区。

本文尚存在如下不足:首先,考虑到数据的可获得性,城市资源环境效率测算中非期望产出只考虑了“三废”的排放,可能使部分测算结果比较保守;其次,充分考虑数据可获取性及操作性,选取黄河流域37个地级以上城市作为研究对象,若未来能选取更微观的区域(县级市),将更能准确反映流域资源环境效率状况;另外,受自然地理环境不同的影响,黄河流域资源环境效率地域差异性显著,未来可结合各自区域的不同发展目标进行针对性分区研究,从而使研究结果更具实践指导性;最后,本文虽然对城市环境效率影响因素的相关性进行了分析,但未对具体指标与环境效率的耦合性进行深入探究,有待在未来研究中进一步完善。

### 参考文献(References):

- [1] 尹科,王如松,周传斌,等.国内外生态效率核算方法及其应用研究述评.生态学报,2012,32(11):3595-3605. [YIN K, WANG R S, ZHOU C B, et al. Review on ecological efficiency accounting methods and their applications at home and abroad. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3595-3605.]
- [2] SCHALTEGGER S, STURM A. Okologische rationalität: Ansatzpunkte zur ausgestaltung von ökologieorientierten management instrumenten. Die Unternehmung, 1990, 44(4): 273-290. [SCHALTEGGER S, STURM A. Ecological rationality: Starting points for the design of ecology-oriented management instruments. The enterprise, 1990, 44(4): 273-290.]
- [3] World Business Council for Sustainable Development. Eco-efficiency: Leadership for Improved Economic and Environmental Performance. Geneva: WBCSD, 1996: 1-16.
- [4] 任宇飞,方创琳,蔺雪芹.中国东部沿海地区四大城市群生态效率评价.地理学报,2017,72(11):2047-2063. [REN Y F, FANG C L, LIN X Q. Evaluation of eco-efficiency of our major urban agglomerations in Eastern Coastal Area of China. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(11): 2047-2063.]
- [5] 杨青山,张郁,李雅军.基于DEA的东北地区城市群环境效率评价.经济地理,2012,32(9):51-55,60. [YANG Q S, ZHANG Y, LI Y J. Research on environmental efficiency evaluation of urban agglomerations in Northeast China based



- on DEA. *Economic Geography*, 2012, 32(9): 51-55, 60.]
- [6] OGGIONI G, RICCARDI R, TONINELLI R. Eco-efficiency of the world cement industry: A data envelopment analysis. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2842-2854.
- [7] HUANG J H, YANG X G, CHENG G, et al. A comprehensive eco-efficiency model and dynamic so fregional eco-efficiency in China. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 67: 228-238.
- [8] 盖美, 聂晨. 环渤海地区生态效率评价及空间演化规律. *自然资源学报*, 2019, 34(1): 104-115. [GAI M, NIE C. Eco-efficiency evaluation and spatial evolution of the Bohai Sea Rim. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(1): 104-115.]
- [9] 曹永利. 我国能源经济效率及国际比较. *时代金融*, 2018, (1): 52. [CAO Y L. My country's energy economic efficiency and international comparison. *Times Finance*, 2018, (1): 52.]
- [10] 杨刚强, 季轶凡, 王嵩, 等. 我国区域空气污染治理效率及其影响机制: 基于超效率SBM模型和门槛回归模型. *中国环境管理*, 2020, (1): 71-79. [YANG G Q, JI Y F, WANG S, et al. Regional air pollution control efficiency and its impact mechanism in China: Based on super-efficient SBM model and threshold regression model. *China Environmental Management*, 2020, (1): 71-79.]
- [11] 曾贤刚, 牛木川. 高质量发展条件下中国城市环境效率评价. *中国环境科学*, 2019, 39(6): 2667-2677. [ZENG X G, NIU M C. Evaluation of China's urban environmental efficiency under high-quality development conditions. *China Environmental Science*, 2019, 39(6): 2667-2677.]
- [12] 李政通, 白彩全, 姚成胜, 等. 长江流域经济发展效率与生态环境补偿机制研究. *统计与决策*, 2016, (24): 126-130. [LI Z T, BAI C Q, YAO C S, et al. Research on the economic development efficiency and ecological environment compensation mechanism in the Yangtze River Basin. *Statistics and Decision*, 2016, (24): 126-130.]
- [13] 孙伟, 韩裕光. 淮河流域生态效率的测度及分析. *江淮论坛*, 2018, (1): 45-49. [SUN W, HAN Y G. The measurement and analysis of the ecological efficiency of the Huaihe River Basin. *Jianghuai Forum*, 2018, (1): 45-49.]
- [14] 胡振华, 龙婧宇. 基于DEA-Malmquist的湘江流域城市群河流环境效率研究. *科技管理研究*, 2020, (2): 237-245. [HU Z H, LONG J Y. Research on river environmental efficiency of urban agglomeration in Xiangjiang River Basin based on DEA-Malmquist. *Science and Technology Management Research*, 2020, (2): 237-245.]
- [15] 李惟昊. 基于Laspeyres模型的低碳城市试点生态效率评价研究: 以江西赣江新区为例. *巢湖学院学报*, 2019, 21(6): 42-50. [LI W H. Research on the evaluation of the eco-efficiency of the low carbon city pilot based on the Laspeyres model: Taking Jiangxi Ganjiang New District as an example. *Journal of Chaohu University*, 2019, 21(6): 42-50.]
- [16] 崔木花. 基于改进熵权TOPSIS模型的城镇生态效率评价研究. *新乡学院学报*, 2019, 36(1): 12-18. [CUI M H. Research on evaluation of urban ecological efficiency based on improved entropy weight TOPSIS model. *Journal of Xinxiang University*, 2019, 36(1): 12-18.]
- [17] 季丹. 中国区域生态效率评价: 基于生态足迹方法. *当代经济管理*, 2013, 35(2): 57-62. [JI D. Evaluation of regional ecological efficiency in China: Based on ecological footprint method. *Contemporary Economic Management*, 2013, 35(2): 57-62.]
- [18] KORHONEN P J, LUPTACIK M. Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2004, 154: 437-446.
- [19] GEORGE H, KLEONIKI N P. Assessing 28 EU Member States' environmental efficiency in national waste generation with DEA. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 10: 1-38.
- [20] YI W B, FENG Y. Resource and environment efficiency analysis of provinces in China: A DEA approach based on Shannon's entropy. *Energy Policy*, 2010, 38: 1909-1917.
- [21] 邓光耀, 张忠杰. 基于网络SBM-DEA模型和GML指数的中国各省工业用水效率研究. *自然资源学报*, 2019, 34(7): 1457-1470. [DENG G Y, ZHANG Z J. Study on the industrial water efficiency of various provinces in China based on the network SBM-DEA model and GML index. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(7): 1457-1470.]
- [22] 李林泽, 李建松, 蒋子龙. 基于SBM-DEA模型的中部地区资源环境效率格局演化及成因机理分析. *长江流域与资源环境*, 2017, 26(11): 1761-1773. [LI L Z, LI J S, JIANG Z L. Analysis of the evolution of the pattern of the resource and environmental efficiency in Central China based on the SBM-DEA model and the underlying mechanism. *Yangtze River Basin and Resources and Environment*, 2017, 26(11): 1761-1773.]
- [23] 朴胜任, 李健. 基于超效率DEA模型的中国区域环境效率时空差异研究. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(4): 1-6.



- [PIAO S R, LI J. Study on spatio-temporal differences of regional environmental efficiency in China based on super-efficiency DEA model. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, 32(4): 1-6.]
- [24] 张子龙, 丞承鹏, 陈兴鹏, 等. 中国城市环境绩效及其影响因素分析: 基于超效率DEA模型和面板回归分析. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(6): 1-7. [ZHANG Z L, LU C P, CHEN X P, et al. Analysis of China's urban environmental performance and its influencing factors: Based on the super efficiency DEA model and panel regression analysis. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(6): 1-7.]
- [25] 盖美, 连东, 田成诗, 等. 辽宁省环境效率及其时空分异. *地理研究*, 2014, 33(12): 2345-2357. [GAI M, LIAN D, TIAN C S, et al. Environmental efficiency and its spatiotemporal differentiation in Liaoning province. *Geographical Research*, 2014, 33(12): 2345-2357.]
- [26] 黄永春, 石秋平. 中国区域环境效率与环境全要素的研究: 基于包含R&D投入的SBM模型的分析. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(12): 25-34. [HUANG Y C, SHI Q P. Study on regional environmental efficiency and environmental elements in China: Analysis based on SBM model containing R&D input. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(12): 25-34.]
- [27] 胡彪, 程达. 京津冀地区城市新陈代谢效率的时空格局演变研究. *现代城市研究*, 2018, (6): 37-43. [HU B, CHENG D. A study on the temporal and spatial pattern of urban metabolic efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Modern Urban Research*, 2018, (6): 37-43.]
- [28] ANDERSON P, PETERSEN N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, 1993, 39(10): 1261-1264.
- [29] 成刚. 数据包络分析方法与MaxDEA软件. 北京: 知识产权出版社, 2014. [CHENG G. Data Envelope Analysis Method and MaxDEA Software. Beijing: Intellectual Property Press, 2014.]
- [30] MALMQUIST S. Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos De Estadística*, 1953, 4(2): 209-242.
- [31] CHUNG Y H R, FÄRE, GROSSKOPF S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51: 229-240.
- [32] 杨勇, 邓祥征. 中国城市生态效率时空演变及影响因素的区域差异分析. *地理科学*, 2019, 39(7): 1111-1118. [YANG Y, DENG X Z. Spatial-temporal evolution of the urban eco-efficiency in China and its regional differences. *Geographical Science*, 2019, 39(7): 1111-1118.]
- [33] 佟宝全, 包玉龙, 杨兵兵, 等. 锡林郭勒牧区聚落体系演化特征及其机制. *地理科学*, 2018, 38(3): 410-418. [TONG B Q, BAO Y L, YANG B Q, et al. Evolution characteristics and mechanism of settlement system in pasture area of Xilinguole. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(3): 410-418.]
- [34] 王兆峰, 刘庆芳. 长江经济带旅游生态效率时空演变及其与旅游经济互动响应. *自然资源学报*, 2019, 34(9): 1945-1961. [WANG Z F, LIU Q F. The temporal and spatial evolution of tourism eco-efficiency in the Yangtze River Economic Zone and its interaction with tourism economy. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(9): 1945-1961.]
- [35] 汪杰, 李姣, 周翠烟, 等. 基于DEA-Tobit模型的湖南省洞庭湖地区农业生态效率研究. *天津农业科学*, 2019, 25(12): 48-55. [WANG J, LI J, ZHOU C Y, et al. Agro-ecological efficiency of Dongting Lake Area around Hunan province based on DEA-Tobit model. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2019, 25(12): 48-55.]
- [36] 周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素. *地理学报*, 2019, 74(10): 2028-2044. [ZHOU L, CHE L, ZHOU C H. Spatial-temporal evolution characteristics and influencing factors of green development efficiency in Chinese cities. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2028-2044.]
- [37] 陈浩, 陈平, 罗艳. 基于超效率DEA模型的中国资源型城市生态效率评价. *大连理工大学学报: 社会科学版*, 2015, 36(2): 34-40. [CHEN H, CHEN P, LUO Y. Evaluation of ecological efficiency of resource-based cities in China based on super-efficiency DEA model. *Journal of Dalian University of Technology: Social Science Edition*, 2015, 36(2): 34-40.]
- [38] 卢春天, 齐晓亮. 社会治理视域下当代中国环境政策演进及其治理逻辑. *河北学刊*, 2020, (2): 166-172. [LU C T, QI X L. Contemporary China's environmental policy evolution and governance Logic from the perspective of social governance. *Hebei Academic Journal*, 2020, (2): 166-172.]
- [39] 孙佑海. 如何使环境法治真正管用: 环境法治40年回顾和建议. *环境保护*, 2013, 41(14): 24-27. [SUN Y H. How to make the environmental rule of law really work: Review and suggestions of the 40 years of environmental rule of law.

Environmental Protection, 2013, 41(14): 24-27.]

- [40] 黄和平, 李亚丽, 王智鹏. 基于 Super-SBM 模型的中国省域城市工业用地生态效率时空演变及影响因素研究. 生态学报, 2020, 40(1): 1-12. [HUANG H P, LI Y L, WANG Z P. Research on the spatio-temporal evolution and influencing factors of ecological efficiency of industrial land in provincial cities in China based on super-SBM model. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(1): 1-12.]

## Spatial and temporal characteristics and influencing factors of urban resources and environmental efficiency in the Yellow River Basin

LIN Jiang-biao<sup>1</sup>, WANG Ya-juan<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-hong<sup>2</sup>, LIU Xiao-peng<sup>3</sup>

(1. School of Economics and Management, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. School of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. Public Teaching Affairs Department of Ningxia University Zhongwei Campus, Zhongwei 755000, Ningxia, China)

**Abstract:** Improving urban resources and environmental efficiency is of great significance to the high-quality development of the river basin. This article uses the SBM super-efficiency model based on undesired output and the Malmquist-Luenberger index, the resources and environmental efficiency of cities above prefecture level in the Yellow River Basin in 2000, 2005, 2010, 2015 and 2017 were measured and calculated, and their spatial and temporal characteristics were analyzed in combination with the kernel density function. Finally, the Tobit model is used to measure the main influencing factors of urban resources and environmental efficiency, which is expected to provide a scientific reference for improving the quality and efficiency of the resources and environment of the study area. The results show that the urban resources and environmental efficiency of the Yellow River Basin has generally shown a U-shaped change trend, and the overall level is not high. The number of non-DEA effective cities is much larger than that of DEA effective cities. Urban total factor productivity has shown a downward trend, but efficiency changes and pure technical efficiency changes show an improvement trend; industrial structure and government intervention are positively correlated with resources and environmental efficiency. The level of economic development, urbanization, energy consumption and environmental governance have a negative effect on the resources and environmental efficiency.

**Keywords:** Yellow River Basin; resources and environmental efficiency; undesired output; super-efficiency SBM; Malmquist-Luenberger index