

绿色矿业

文章编号: 1004-4051(2023)08-0041-07

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20230502

## 基于 by-production 技术的中国绿色发展效率 测度及差异化研究

孙广霞<sup>1</sup>, 刘雨菲<sup>2</sup>, 刘成业<sup>3</sup>, 刘欣悦<sup>2</sup>

(1. 临朐县财政局, 山东 临朐 262600;

2. 山东财经大学统计与数学学院, 山东 济南 250014;

3. 齐鲁工业大学(山东省科学院)山东省科学院自动化研究所, 山东 济南 250013)

**摘要:** 在资源环境约束日益严峻的背景下, 如何推动绿色发展, 促进人与自然和谐共生成为中国发展道路上的关键问题。通过对中国绿色发展效率进行测度和差异化研究, 能更好地把握中国绿色发展现状, 进而加快实现经济可持续发展。首先, 以中国 30 个省份为研究对象, 引入了 DEA 框架下 by-production 技术测度中国绿色发展效率, 该技术考虑了非期望产出只由能源投入产得的特征, 更加符合实际生产过程。其次, 采用 Dagum 基尼系数进一步探究中国绿色发展效率空间差异及其来源。通过研究发现: 样本考察期内, 基于 by-production 技术的中国绿色发展效率整体较高, 绿色发展效率均值为 0.84, 但仍有提升空间; 绿色发展效率的地区差距显著, 且呈上升趋势。其中, 区域间差距是最主要来源, 平均贡献率为 44.12%; 西部地区区域内绿色发展效率差异最大; 东部地区和东北地区区域间差异最大。因此, 要加强区域间绿色发展交流合作, 实现区域绿色协同发展。最后, 针对所得结论提出了对策建议, 为经济社会发展全面绿色转型提供决策参考, 有助于推动实现经济效益与环境效益相统一。

**关键词:** 绿色发展; 效率测度; 空间差异; DEA 模型; by-production 技术; Dagum 基尼系数  
**中图分类号:** F120.3; TD-0 **文献标识码:** A

### Measurement and differentiation of China's green development efficiency based on by-production technology

SUN Guangxia<sup>1</sup>, LIU Yufei<sup>2</sup>, LIU Chengye<sup>3</sup>, LIU Xinyue<sup>2</sup>

(1. Linqu County Finance Bureau, Weifang 262600, China;

2. School of Statistics and Mathematics, Shandong University of Finance and Economics, Ji'nan 250014, China;

3. Institute of Automation, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Ji'nan 250013, China)

**Abstract:** Under the background of increasingly severe resource and environmental constraints, how to promote green development and promote the harmonious coexistence between man and nature has become a key issue on China's development road. Through the measurement and differentiation research of China's green development efficiency, the government can better grasp the current situation

收稿日期: 2023-01-22 责任编辑: 刘硕

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(编号: 11971259); 山东省重点研发计划(软科学项目)重点项目资助(编号: 2022RZB01005); 山东省研究生教育质量提升计划建设项目资助(编号: SDYJG21157)

第一作者简介: 孙广霞(1976—), 女, 汉族, 山东潍坊人, 主要从事财税、绿色经济评价等方面的研究工作, E-mail: lqnyk@163.com。

通讯作者简介: 刘成业(1979—), 男, 汉族, 山东寒亭人, 硕士, 副研究员, 主要从事数字信号分析、绿色可持续发展研究等方面的研究工作, E-mail: liucy@sdas.org。

引用格式: 孙广霞, 刘雨菲, 刘成业, 等. 基于 by-production 技术的中国绿色发展效率测度及差异化研究[J]. 中国矿业, 2023, 32(8): 41-47.

SUN Guangxia, LIU Yufei, LIU Chengye, et al. Measurement and differentiation of China's green development efficiency based on by-production technology[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(8): 41-47.

of China's green development, and then the realization of sustainable economic development can be accelerated. Firstly, takes 30 provinces in China as the research object and introduces the by-production technology under the DEA framework to measure the green development efficiency in China. Then, uses Dagum Gini coefficient to further explore the spatial differences in China's green development efficiency and their sources. The results show that during the sample period, China's green development efficiency based on by-production technology is generally high, and the average value of green development efficiency is 0.84, but there is still room for improvement; the regional gap of green development efficiency is significant and on the rise. The inter-regional gap is the most primary source, with an average contribution rate of 44.12%. The regional difference in green development efficiency in the western region is the largest; the largest inter-regional differences are observed in the eastern and northeastern regions. Therefore, it is necessary to strengthen exchanges and cooperation on green development among regions to achieve regional green coordinated development. Finally, puts forward countermeasures and suggestions based on the conclusions obtained, providing decision-making reference for the comprehensive green transformation of economic and social development, and helping to promote the unification of economic benefits and environmental benefits.

**Keywords:** green development; efficiency measurement; spatial difference; DEA model; by-production technology; Dagum Gini coefficient

## 0 引言

绿色发展指的是以效率、和谐、可持续为发展目标的经济增长和社会发展方式。党的二十大报告指出“推动绿色发展,促进人与自然和谐共生”,强调“必须牢固树立和践行绿水青山就是金山银山的理念,站在人与自然和谐共生的高度谋划发展”。然而,在中国经济迅猛发展的背景下,生态环境极具恶化的情况没有根本性的好转,经济发展与环境恶化的矛盾仍旧突出<sup>[1]</sup>。绿色发展效率(Green Development Efficiency, GDE)反映了在实现绿色发展目标时所取得的效果与成本之比,是综合评价绿色发展水平的重要指标,在推动绿色发展等方面具有重要的参考价值。因此,如何科学测度绿色发展效率进而对其进行有效的分析,对于更好地把握中国绿色发展现状,进一步寻求绿色发展效率的提升路径具有重要的理论意义。

科学测度中国绿色发展效率是学界关注的热点话题。部分学者采用随机前沿法(Stochastic Frontier Analysis, SFA),通过设定前沿生产函数测度绿色发展效率<sup>[2-3]</sup>。由于该方法需要预先设定生产函数,因此只能拟合一种产出的生产过程,难以同时考虑期望产出和非期望产出。然而,在环境生产技术框架下,绿色发展效率的测度不仅要考虑地区总产值等期望产出,CO<sub>2</sub>等非期望产出也需同时考虑在内。在此框架下,SFA方法不足以准确测度绿色发展效率。数据包络分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)与上述方法相比,无需设定具体的生产函数形式,且可以更好地模拟多投入多产出的实际生产过程<sup>[4]</sup>,成为测度绿色发展效率的主要方法。在DEA理论框架下,

学者们主要从资本、劳动力和能源消耗三方面构建投入指标,以实际GDP作为期望产出指标,以CO<sub>2</sub>作为非期望产出指标<sup>[5]</sup>。在上述指标体系下,已有研究多通过引入SBM模型测算绿色发展效率<sup>[6-8]</sup>,该模型在构造生产可能集(Production Possibility Set, PPS)采用非期望产出自由处置(free disposability)的假定,该假定意味着保持投入和期望产出不变,非期望产出可以自由减少,这在某些情况下是不合理的<sup>[9]</sup>。例如,在本文测度绿色发展效率的指标体系下,若将非期望产出CO<sub>2</sub>强处置,这意味着保持劳动、资本、能源投入和实际产值不变,CO<sub>2</sub>可以自由减少甚至消除,这在没有CO<sub>2</sub>处理设备的情况下是不现实的。因此,许多学者提出了by-production处理法<sup>[10-12]</sup>。该处理方法的核心在于针对期望产出和非期望产出分别构造两种生产可能集。具体而言,对于期望产出,满足期望产出的强可处置性,反映投入转化为期望产出的过程,仅涉及产生期望产出的投入要素,而对于非期望产出,满足非期望产出成本处置性,反映投入转化为非期望产出的过程,仅涉及非期望产出的投入要素。by-production技术可以反映经济生产活动中经济效益与环境效益的权衡,因此,运用by-production技术测度中国绿色发展效率。

在上述研究基础上,通过发掘已有研究在研究方法上的改进空间,引入基于by-production技术的DEA模型,测度2015—2019年中国30个省(区、市,不含西藏地区和港澳台地区)的绿色发展效率。为进一步分析中国绿色发展效率的区域差异及其来源,采用Dagum基尼系数方法分别计算了总体基尼系数、区域内差异贡献、区域间差异贡献和超变密度贡献。

## 1 模型构建

### 1.1 基于 by-production 技术的 DEA 模型

随着生产活动的复杂化, 在厂商生产过程中, 不仅有产品价值、利润额等期望产出, 非期望产出也随之生产。而传统 DEA 模型(CCR 模型、BCC 模型等)未将非期望产出考虑在内, 因此, 如何将非期望产出纳入 DEA 模型受到了众多学者的关注。目前主要有三种非期望产出处理方法: ①将非期望产出作为投入指标处理; ②通过转换函数将非期望产出转换为

$$\begin{aligned}
 S_{BP}^g &= \left\{ (x_1, x_2; g) : g \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j g_j; x_1 \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_1^j; x_2 \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_2^j; \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1; \lambda_j \geq 0; (j = 1, 2, \dots, n) \right\} \\
 S_{BP}^b &= \left\{ (x_2; g) : x_2 = \alpha \sum_{j=1}^n \lambda_j x_2^j; b = \alpha \sum_{j=1}^n \lambda_j b_j; 0 \leq \alpha \leq 1; \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1; \lambda_j \geq 0; (j = 1, 2, \dots, n) \right\} \\
 S_{BP}^W D &= \left\{ (x_1, x_2; g, b) : (x_1, x_2; g) \in S_{BP}^g \cap (x_2; b) \in S_{BP}^b \right\}
 \end{aligned} \tag{1}$$

式中:  $x_2$  为与非期望产出(即污染物)相关的投入;  $x_1$  为其他投入;  $g$  为期望产出;  $b$  为非期望产出。根据上述生产可能集, 建立了测效率模型, 见式(2)。

$$\begin{aligned}
 &\max \beta \\
 \text{s.t. } &\sum_{j=1}^n \lambda_j g_j \geq (\alpha + \beta) g_0, \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_j b_j = (1 - \beta) b_0, \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_j x_1^j \leq \alpha x_1^0, \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_j x_2^j \leq (1 - \beta) x_2^0, \\
 &0 \leq \alpha \leq 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j = \alpha, \\
 &\lambda_j \geq 0; (j = 1, 2, \dots, n)
 \end{aligned} \tag{2}$$

式中:  $\alpha$  为线性化因子。测得效率值为  $1 - \beta$ , 若  $\beta = 0$ , 即效率值为 1, 则说明该地区的绿色发展处于有效状态; 当效率值小于 1、大于 0.8 时, 说明该地区绿色发展效率良好, 但仍有一定的改进空间; 小于 0.8 时, 说明该地区投入产出低效, 绿色发展情况亟需改善<sup>[9]</sup>。

### 1.2 Dagum 基尼系数及分解方法

DAGUM 提出了将总体基尼系数  $G$  分解为区域内差异贡献  $G_w$ 、区域间差异贡献  $G_{nb}$  和超变密度贡献  $G_t$  三个部分, 总体基尼系数值越大, 说明存在的差异越大。通过引入 Dagum 基尼系数<sup>[14]</sup> 对基于 by-production 技术的中国绿色发展效率区域差异进行分析, 计算公式见式(3)。

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{m_h} |w_{ji} - w_{hr}|}{2n^2 \bar{W}} = G_w + G_{nb} + G_t \tag{3}$$

式中:  $w_{ji}$ 、 $w_{hr}$  分别为  $j$  地区第  $i$  个省份、 $h$  地区第  $r$  个省份的绿色发展指数;  $\bar{W}$  为全国绿色发展水平均值;

期望产出; ③将非期望产出视为期望产出的副产品。其中, 第一种做法违背了热力学第二定律和物料平衡原则; 第二种做法意味着保持期望产出和投入不变, 非期望产出可以减少, 但这是不现实的。在实际生产活动中, 有些非期望产出只由某种特定投入生产而来。例如, 在测算绿色发展效率时, 非期望产出指标  $CO_2$  只通过能源消耗投入产得, 而与资本、劳动投入无关,  $CO_2$  的减少可以通过减少能源消耗而实现。据此, RAY 等<sup>[9]</sup> 建立了生产可能集, 见式(1)。

$n$  为中国省份的数量;  $m$  为划分区域数量;  $n_j$  ( $n_h$ ) 为区域内省份的数量。分解后见式(4)~式(8)。

$$G_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |W_{ji} - W_{hr}|}{n_j^2} \tag{4}$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k T_{jj} p_j s_j \tag{5}$$

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |W_{ji} - W_{hr}|}{n_j n_h (\bar{W}_j + \bar{W}_h)} \tag{6}$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_j + p_h s_h) D_{jh} \tag{7}$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \tag{8}$$

式中:  $G_{jj}$  为  $j$  地区的基尼系数;  $G_w$  为区域内差异;  $G_{jh}$  为  $j$  地区和  $h$  地区的区域间基尼系数;  $G_{nb}$  为区域间差异贡献;  $D_{jh}$  为  $j$  地区和  $h$  地区的相对影响;  $G_t$  为超变密度贡献。

## 2 指标选取和数据来源

### 2.1 指标构建

参考已有的相关研究, 从资本、劳动和能源三个方面构建投入指标, 以实际 GDP 表示期望产出, 以  $CO_2$  排放量表示非期望产出<sup>[15-16]</sup>。其中, 资本投入用资本存量表示, 参考单豪杰<sup>[17]</sup> 的研究, 使用永续盘存法进行测算(根据公式  $K_{it} = I_{it} + (1 - \delta_{it}) \times K_{it-1}$ ,  $K_{it}$  为本期资本存量,  $K_{it-1}$  为滞后一期资本存量,  $I_{it}$  为投资额, 用各省份固定资产形成总额表示,  $\delta$  为折旧率, 定为 9.6%); 劳动投入用年末就业人数表示; 能源投入用能源消耗总量表示。

### 2.2 数据来源

以中国 2015—2019 年 30 个省(区、市, 不含西藏地区和港澳台地区)为研究对象, 指标数据来源于历

年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及各省统计年鉴,描述性统计结果见表 1。

表 1 投入产出数据描述性统计

投入产出指标	均值	最大值	最小值	标准差
资本存量/亿元	55 442.75	158 773.80	7 838.79	35 038.36
年末就业总人数/万人	2 614.77	6 995.00	321.41	1 668.96
能源消耗总量/ 万 t 标准煤	15 415.55	41 390.00	1 916.00	9 160.79
实际 GDP/亿元	32 787.84	107 671.07	2 965.95	25 774.58
CO <sub>2</sub> /万 t	43 710.79	150 828.50	5 490.62	32 051.44

### 3 实证结果与分析

#### 3.1 基于 by-production 技术的中国绿色发展效率分析

使用 Matlab(2021a)软件对基于 by-production 技术的 2015—2019 年中国绿色发展效率进行测度,并根据国家地理区域划分标准,将各省(区、市)划分为东部地区、中部地区、西部地区、东北地区<sup>①</sup>,结果见表 2。

从全国层面来看,2015—2019 年间,中国绿色发展效率均值为 0.84,这意味着基于 by-production 技术的中国绿色发展效率整体较高,但仍有提升空间。为了更直观地展示中国绿色发展情况,根据绿色发展效率评级准则绘制等级分布图,如图 1 所示。由图 1 可知,2015—2019 年间大多数地区绿色发展效率处于有效以及良好状态,只有大约 1/3 的地区绿色发展低效,出现这种分布情况的原因可能是 2015 年党的十八届五中全会提出要牢固树立绿色发展理念,表明绿色发展成为中国发展战略与发展政策的主流,《中华人民共和国环境保护法》等生态保护相关政策的出台促进了发展模式向绿色发展的转变,推动了绿色发展效率的提升。

从区域层面来看,中国四大区域绿色发展效率差异较大。2015—2019 年间,区域生态效率排名为东部地区>中部地区>西部地区>东北地区。其中,东部地区绿色发展效率均值始终高于全国绿色发展效率均值,而东北地区绿色发展效率均值远低于全国平均水平。原因可能在于:东部地区沿海,具有得天独厚的地理优势,同时受利于国家政策的大力支持,因此沿海地区通过便利的交通、雄厚的资金实力率先提高了资源利用率;而东北地区有着得天独厚的

表 2 基于 by-production 技术的 2015—2019 年中国绿色发展效率测度结果

Table 2 Results of China's green development efficiency from 2015 to 2019 based on by-production technology

省(区、市)	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
北京市	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
天津市	1.00	1.00	1.00	0.93	0.59
河北省	0.60	0.58	0.55	0.54	0.47
山西省	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
内蒙古自治区	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
辽宁省	0.80	0.60	0.57	0.58	0.51
吉林省	0.74	0.76	0.72	0.68	0.51
黑龙江省	0.70	0.66	0.61	0.58	0.41
上海市	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
江苏省	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
浙江省	0.92	0.91	0.91	0.93	0.92
安徽省	0.98	0.95	0.93	0.94	0.99
福建省	0.79	0.77	0.77	0.78	0.82
江西省	1.00	0.99	0.96	0.98	0.92
山东省	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
河南省	0.65	0.64	0.64	0.64	0.66
湖北省	0.85	0.82	0.79	0.81	0.83
湖南省	0.93	0.91	0.90	0.91	0.83
广东省	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
广西壮族自治区	0.61	0.60	0.58	0.60	0.54
海南省	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
重庆市	0.92	0.91	0.89	0.84	0.82
四川省	0.92	0.91	0.93	0.96	0.95
贵州省	0.97	0.89	0.80	0.73	0.65
云南省	0.52	0.49	0.48	0.48	0.53
陕西省	0.92	0.90	0.87	0.84	0.81
甘肃省	0.90	0.78	0.77	0.87	0.77
青海省	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
宁夏回族自治区	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
新疆维吾尔自治区	0.45	0.40	0.38	0.38	0.36
东北地区均值	0.74	0.67	0.63	0.61	0.48
东部地区均值	0.92	0.90	0.89	0.89	0.85
中部地区均值	0.85	0.84	0.82	0.82	0.77
西部地区均值	0.84	0.81	0.79	0.79	0.77

矿产资源和辽阔的土地面积,因此更加注重工业发展,不可避免地引发一系列环境问题,导致绿色发展效率较低。

从省际层面来看,同一区域或不同区域省份之间绿色发展效率水平差异较大。2015—2019 年间,

① 东部地区包括:北京市、天津市、河北省、上海市、江苏省、浙江省、福建省、山东省、广东省、海南省;中部地区包括:山西省、安徽省、江西省、河南省、湖北省、湖南省;西部地区包括:内蒙古自治区、广西壮族自治区、重庆市、四川省、贵州省、云南省、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区;东北地区包括:辽宁省、吉林省、黑龙江省。

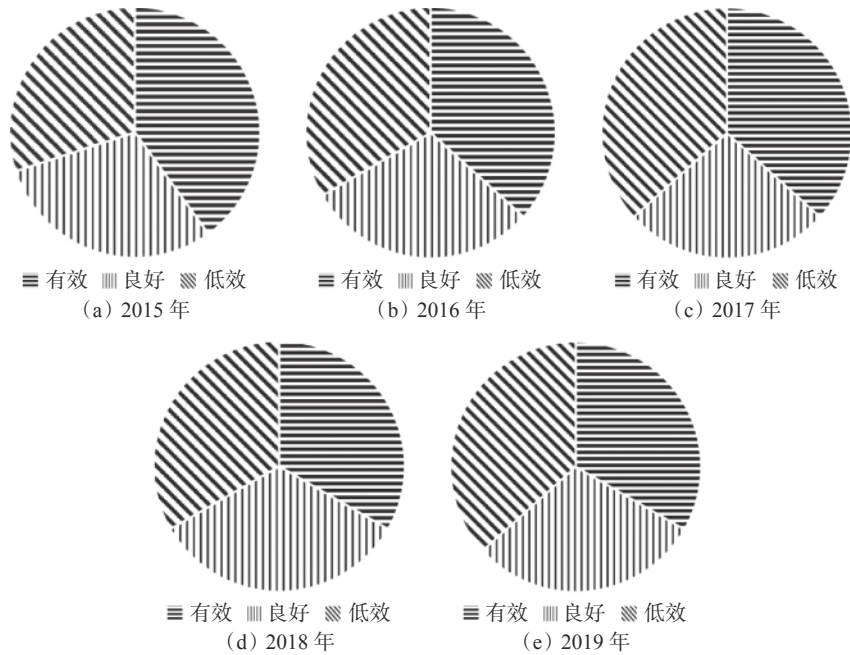


图 1 基于 by-production 技术的 2015—2019 年中国绿色发展效率等级分布

Fig. 1 Distribution of efficiency levels of China's green development from 2015 to 2019 based on by-production technology

在绿色发展效率较高的东部地区, 其他省份处于有效状态或高效状态时, 河北省的绿色发展却长时间处于低效状态, 究其原因可能是能源消耗量增加的同时, CO<sub>2</sub> 排放量未得到有效控制。在绿色发展效率较低的西部地区, 其他省份绿色发展效率不高的同时, 内蒙古自治区、青海省、宁夏回族自治区却始终处于有效状态, 原因可能是这三个省份在注重经济发展的同时兼顾了生态环境保护。

3.2 基于 by-production 技术的中国绿色发展效率区域差异

为进一步分析中国绿色发展效率的区域差异及其来源, 采用 Dagum 基尼系数计算了东部地区、中部地区、西部地区 and 东北地区四个区域的绿色发展效率区域差异及其贡献率, 结果见表 3 和图 2。

表 3 基于 by-production 技术的 2015—2019 年中国绿色发展效率总体差异来源及贡献

Table 3 Sources and contributions of the overall difference in China's green development efficiency from 2015 to 2019 based on by-production technology

年份	总体 G	区域内		区域间		超变密度	
		来源	贡献率	来源	贡献率	来源	贡献率
2015	0.10	0.03	26.62	0.04	37.00	0.04	36.37
2016	0.11	0.03	25.82	0.05	43.68	0.03	30.50
2017	0.12	0.03	25.32	0.06	46.33	0.03	28.35
2018	0.12	0.03	25.16	0.06	46.85	0.03	27.99
2019	0.15	0.04	24.43	0.07	46.73	0.04	28.84
均值	0.12	0.03	25.47	0.05	44.12	0.04	30.41

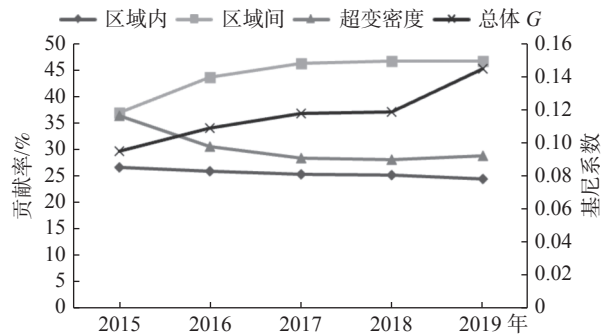


图 2 基于 by-production 技术的 2015—2019 年中国绿色发展效率差异来源及贡献

Fig. 2 Sources and contributions of green development efficiency differences in China from 2015 to 2019 based on by-production technology

由表 3 和图 2 可知, 基于 by-production 技术的 2015—2019 年中国绿色发展效率总体存在显著差异, 绿色发展效率的总体区域差异呈现上升趋势。可能的原因在于: 东部地区基于雄厚的资金条件以及先进的污染处理技术, 促使绿色发展效率率先提升, 导致区域差异进一步扩大。在基于 by-production 技术的中国绿色发展效率区域差异来源的分解中, 区域内差距、区域间差距和超变密度都做出了贡献, 其中, 绿色发展效率区域差异的主要来源为区域间差异。从贡献率来看, 区域间差距平均贡献率达到了 44.12%; 超变密度平均贡献率为 30.41%; 区域内平均贡献率为 25.47%。从变化趋势来看, 区域内差异贡献率变化不大, 超变密度贡献率总体呈现小幅下降趋势, 区域间差距贡献率呈现大幅上升后平稳的态

势。因此,提升东北地区、西部地区以及中部地区的绿色发展效率,缩小区域间差异是解决当前绿色发展效率区域差异显著的关键。

图 3 为区域内基尼系数及其演变趋势。由图 3 可知,西部地区的绿色发展效率差异最大,且始终高于中部地区、东部地区和东北地区。原因可能在于:西部地区中,重庆市、四川省、陕西省具有坚实的经济基础,且在注重经济效益的同时兼顾了环境效益,而新疆维吾尔自治区、云南省经济发展基础薄弱,注重经济发展的同时难以兼顾环境效益,进而导致西部地区绿色发展效率差距较大。东北地区绿色发展效率差异最小,且始终低于其他三个地区。可能的原因是:东北地区辽宁省、吉林省、黑龙江省工业基础雄厚,但对环境效益关注度普遍较低,导致三个省份的绿色发展效率普遍不高。

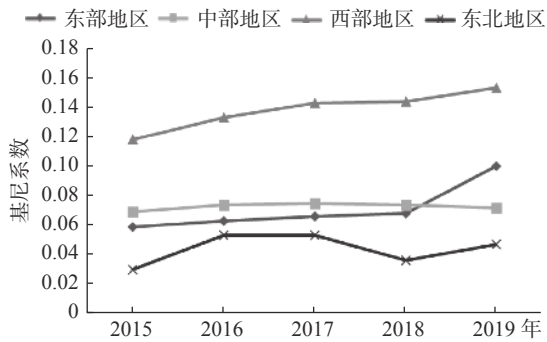


图 3 区域内基尼系数演变趋势

Fig. 3 Evolution trend of Gini coefficient in the region

图 4 为区域间基尼系数演变趋势。由图 4 可知,区域间差异从大到小依次为东部地区与东北地区、西部地区与东北地区、中部地区与东北地区、东部地区与西部地区、中部地区与西部地区、东部地区与中部地区。可能的原因是:东部地区与东北地区存在诸多方面的差异。具体而言,东部地区具有良好的地理优势和经济基础,而且在技术水平、人才引

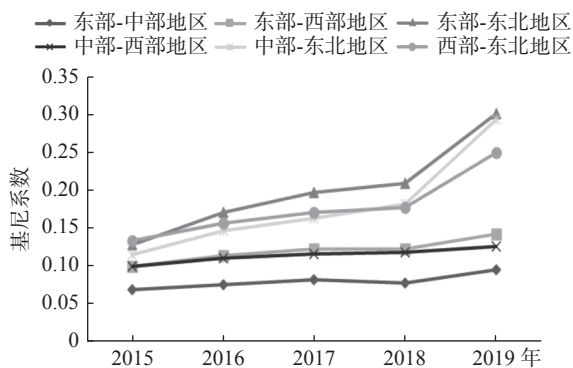


图 4 区域间基尼系数演变趋势

Fig. 4 Evolution trend of Gini coefficient between regions

进等方面具有优势,有助于先进污染处理设备引进,极大地促进了东部地区绿色发展效率的提升;而东北地区受地理位置、气候环境等因素制约,较难同时兼顾环境效益。

## 4 结论与对策建议

### 4.1 结论

1)从绿色发展效率结果来看,基于 by-production 技术的 2015—2019 年中国绿色发展效率整体较高。在区域层面,区域绿色发展效率存在明显的空间差异,东部地区绿色发展效率最高,东北地区绿色发展效率最低;在省际层面,同一区域不同省份间绿色发展效率也存在差异。

2)从 Dagum 基尼系数分析结果来看,中国绿色发展效率总体差异仍然显著,区域间差异是中国绿色发展效率空间差异的主要来源。西部地区绿色发展效率差异最大,东部地区和东北地区区域间差异最为显著。

### 4.2 对策建议

1)大力推进绿色发展。可以通过各省份绿色高新技术产业发展,提高高污染产业市场准入门槛,鼓励绿色产业发展。通过使用清洁技术、先进污染处理设备 etc 环境政策,提高绿色发展效率。通过引进人才,提高人才结构与绿色高新技术产业匹配度,提高环境效益。

2)促进各区域协调发展。区域间差异仍然是中国绿色发展效率空间差异的主要来源,因此在兼顾各区域绿色发展的同时,应注重缩小区域间差距,加强各区域间合作交流,充分发挥绿色发展效率高的区域对绿色发展效率低的区域的辐射带动作用,以促进区域协同发展。

## 参考文献 (References):

- [1] 徐雷,范晓轩. 习近平绿色发展理念的研究意义及研究现状述评[J]. 哈尔滨师范大学社会科学学报, 2023, 14(1): 37-43.  
XU Lei, FAN Xiaoxuan. The research significance of green development concept and review of research status[J]. Journal of Social Sciences of Harbin Normal University, 2023, 14(1): 37-43.
- [2] 陈菁泉,刘娜,马晓君. 中国八大综合经济区能源生态效率测度及其驱动因素[J]. 中国环境科学, 2021, 41(5): 2471-2480.  
CHEN Jingquan, LIU Na, MA Xiaojun. Measurement of energy eco-efficiency and its driving factors in eight comprehensive economic zones in China[J]. China Environmental Science, 2021, 41(5): 2471-2480.
- [3] ZHANG R L, LIU X H. Evaluating ecological efficiency of Chinese industrial enterprise[J]. Renewable Energy, 2021(178): 679-691.
- [4] 杨国梁,刘文斌,郑海军. 数据包络分析方法(DEA)综述[J]. 系统工程学报, 2013, 28(6): 840-860.

- YANG Guoliang, LIU Wenbin, ZHENG Haijun. Review of data envelopment analysis (DEA) [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2013, 28(6): 840-860.
- [ 5 ] 何宇, 田杰鑫, 陈珍珍. 碳中和背景下中国城市绿色发展效率研究 [J]. *生态经济*, 2020, 38(7): 92-98.
- HE Yu, TIAN Jiexin, CHEN Zhenzhen. Research on the efficiency of urban green development in China under the background of carbon neutrality [J]. *Ecological Economy*, 2020, 38(7): 92-98.
- [ 6 ] 齐英瑛, 邓翔, 任崇强. 贸易开放、环境规制与城市绿色发展效率: 来自中国 2010—2018 年 282 个城市的证据 [J]. *经济问题探索*, 2022(5): 145-160.
- QI Yingying, DENG Xiang, REN Chongqiang. Trade openness, environmental regulation and urban green development efficiency: evidence from 282 cities in China from 2010 to 2018 [J]. *Exploration of Economic Issues*, 2022(5): 145-160.
- [ 7 ] 孟望生, 刘华楨, 张杨. 黄河流域七大城市群绿色发展效率测度及特征分析 [J]. *干旱区地理*, 2023, 46(5): 846-856.
- MENG Wangsheng, LIU Huazhen, ZHANG Yang. Measurement and analysis of green development efficiency of seven urban agglomeration in the Yellow River Basin [J]. *Arid Land Geography*, 2023, 46(5): 846-856.
- [ 8 ] 向云波, 王圣云, 邓楚雄. 长江经济带化工产业绿色发展效率的空间分异及驱动因素 [J]. *经济地理*, 2021, 41(4): 108-117.
- XIANG Yunbo, WANG Shengyun, DENG Chuxiong. The efficiency of the Yangtze River economic belt of green chemical industry space differentiation and the driving factors [J]. *Journal of economic geography*, 2021, 41(4): 108-117.
- [ 9 ] RAY S C, MUKHERJEE K, VENKATESH A. Nonparametric measures of efficiency in the presence of undesirable outputs: a by-production approach [J]. *Empirical Economics*, 2018, 54(1): 31-65.
- [ 10 ] FØRSUND F R. Good modelling of bad outputs: pollution and multiple-output production [R]. 2008.
- [ 11 ] MURTY S, RUSSELL R R, LEVKOFF S B. On modeling pollution-generating technologies [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2012, 64(1): 117-135.
- [ 12 ] LOZANO S. A joint-inputs network DEA approach to production and pollution-generating technologies [J]. *Expert Systems with Applications*, 2015, 42(21): 7960-7968.
- [ 13 ] 王宇, 冯江华. 中国省域绿色发展效率测度与分析: 基于超效率 SBM-Malmquist 模型 [J]. *黑龙江生态工程职业学院学报*, 2023, 36(3): 7-12.
- WANG Yu, FENG Jianghua. Measurement and analysis of provincial green development efficiency in China: based on super efficiency SBM-Malmquist model [J]. *Journal of Heilongjiang Vocational College of Ecological Engineering*, 2023, 36(3): 7-12.
- [ 14 ] DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio [J]. *Empirical Economics*, 1997, 22(4): 515-531.
- [ 15 ] 陈杨, 石嘉婧, 高文群, 等. 中国绿色经济发展效率的动态演进及差异化研究 [J]. *统计与决策*, 2023, 39(11): 94-99.
- CHEN Yang, SHI Jiajing, GAO Wenqun, et al. Research on the dynamic evolution and differentiation of China's green economic development efficiency [J]. *Statistics and Decision*, 2023, 39(11): 94-99.
- [ 16 ] 韩剑尘, 周良发. 绿色发展效率的地区异质性与因素分解 [J]. *统计与决策*, 2012, 38(14): 39-44.
- HAN Jianchen, ZHOU Liangfa. Regional heterogeneity and factor decomposition of green development efficiency [J]. *Statistics and Decision*, 2012, 38(14): 39-44.
- [ 17 ] 单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952—2006 年 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2008, 25(10): 17-31.
- SHAN Haojie. Re-estimation of China's capital stock K: 1952-2006 [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2008, 25(10): 17-31.