[文章编号] 1003－4684(2025)05-00113-08

公共福利视角下生态效率三阶段测算研究

黄茹姗，赵 轲，李翰芳

（湖北工业大学理学院，湖北 武汉 430068）

[摘 要] 在传统生态效率测算中纳入公共福利因素，构建包含民生福祉指数的测算指标体系，并运用三阶段 DEA 模型对我国 2010－2020 年 31 个省市的生态效率进行测度研究和实证研究。研究结果表明，外部环境和随机误差导致第一阶段的生态效率被低估，各省第三阶段的生态效率总体上呈现出“降低—升高—降低”的趋势，在 2017 年达到最大，但 2020 年全国的生态效率明显有所降低。全国历年第三阶段的纯技术效率相对较高，其次是规模效率、综合效率值最低。各年的生态效率可视化图均呈现出了西高东低的特征，东部沿海地区的生态效率相对较低。

[关键词] 民生福祉；生态效率；三阶段 DEA 模型

[中图分类号] F222 [文献标识码] A

近年来，自然生态环境和人民生活条件改善，绿色经济不断发展壮大，人们的环境保护意识也在逐步增强。生态文明的发展有效地提高了人类的幸福水平，极大地丰富了物质和精神成果。民生福祉指健康、幸福、物质充足的生活条件，也是生态文明和城市可持续发展的最重要影响因素，更是复杂多元化的经济、社会系统的重要组成部分，是推进生态系统建设的重要手段。生态效率是衡量资源、环境和经济[1]，测度自然资源消耗的指标。

学者从理论(Eller-brock and Young，1994)[2]、测度指标(Dahlstrom and Ekins，2010)[3]、影响因素(MA X et. al，2018)[4]、区域(Li et al，2018)[5]等多个方面对生态效率展开研究。生态效率的研究大多将环境破坏与资源消耗作为投入指标，而产出指标则大多使用经济产出与社会发展(Seppäläa et al，2010；Tong Y et al，2021)[6-7]。通过比值评价法和综合评价法衡量生态效率的发展情况(黄雪琴和王婷婷，2015)[8]，综合评价法能够更全面地反映协调关系(郭存芝等，2016)[9]。在建立了综合评价指标体系之后，学者使用主成分分析法、DEA 和层次分析法来评估生态效率(屈小娥，2018；刑贞成等，2018)[10-11]。近年来，学者们越来越多地采用 SBM 模型和超效率 SBM 模型来探索生态效率(郭力等，2023；安鑫丽等，2023；何家琪等，2023)[12-14]，但相比之下，三阶段 DEA 模型的实证方法却相当有限，而且研究的对象也大多局限于某一年，长期序列的研究也相对较少。

研究发现中国生态效率存在时空差异(屈小娥，2018)[10]。经济增长环境压力存在四种情景[15](诸大建等，2005)，之后生态效率的“3R”原则被提出(诸大建等，2006)[16]，中国的城市生态效率呈现先下降后上升的“U”型变动，并且各城市群间生态效率不均衡(杨勇等，2019；崔继昌等，2020；胡彪等，2020)[17-19]。京津冀城市群、长三角城市群和珠三角城市群间存在着较强的空间异质性(杨桐彬等，2020)[20]，长三角城市群则处在生态效率的低位(任宇飞等，2017)[21]，京津冀城市群受环境污染影响最大，主要体现在政治地位和区位的差异上(吴鸣然等，2016)[22]。

本文在传统的生态效率测算研究中考虑公共福利的影响，计算民生福祉指数并将其引入生态效率测算指标体系中，使用三阶段 DEA 模型去除外部环境与随机误差的影响，使结果更加准确。本文收集了近 11 年的数据并根据测算结果对生态效率的时空演化过程进行了数据可视化分析，得出的结论更为直观和可靠，也为政府制定决策提供了重要依据。

1 模型介绍与数据说明

1.1 三阶段 DEA 模型

第一阶段：传统 DEA 模型

数据包络分析(data envelopment analysis，简

[收稿日期] 2024－03－05

[基金项目] 湖北省教育厅哲学社会科学研究项目(22Y059)；湖北工业大学博士启动基金(BSQD2020103)

[第一作者] 黄茹姗(2001—)，女，湖北黄石人，湖北工业大学硕士研究生，研究方向为贝叶斯分析、计量经济建模。

[通信作者] 李翰芳(1979—)，女，湖北麻城人，理学博士，湖北工业大学讲师，研究方向为计量经济建模、贝叶斯分析、高斯混合模型。

称DEA模型)用于评价相同部门间的相对有效性,在使用三阶段DEA模型时多选择投入导向的规模报酬可变模型:

$$\min\theta-\varepsilon(\hat{e}^{T}S^{-}+e^{T}S^{+})$$

$$\text{s.t.}\begin{cases}\sum_{j=1}^{n}X_{j}\lambda_{j}+S^{-}=\theta X_{0}\\ \sum_{j=1}^{n}Y_{j}\lambda_{j}-S^{+}=Y_{0}\\ \lambda_{j}\geqslant 0,S^{-},S^{+}\geqslant 0\end{cases}$$

第二阶段:似SFA回归

似SFA回归如下:

$$S_{ni}=f(Z_{i};\beta_{n})+\nu_{ni}+\mu_{ni};i=1,2,\cdots,I;n=1,2,\cdots,N$$

S_{ni}是第i个决策单元第n项投入的松弛值;Z_{i}和β_{n}是环境变量及系数;ν_{ni}为随机干扰,$\nu\sim N(0,\sigma_{v}^{2})$;$\mu_{ni}$为管理无效率,$\mu\sim N^{+}(0,\sigma_{\mu}^{2})$。

分离μ:

$$E(\mu\mid\varepsilon)=\sigma_{*}\left[\frac{\varphi(\lambda\frac{\varepsilon}{\sigma})}{\Phi(\frac{\lambda\varepsilon}{\sigma})}+\frac{\lambda\varepsilon}{\sigma}\right]$$

$$\sigma_{*}=\frac{\sigma_{\mu}\sigma_{\nu}}{\sigma},\sigma=\sqrt{\sigma_{\mu}{}^{2}+\sigma_{\nu}{}^{2}},\lambda=\sigma_{\mu}/\sigma_{\nu}。$$

计算μ:

$$E[v_{ni}\mid v_{ni}+\mu_{ni}]=s_{ni}-f(z_{i};\beta_{n})-E[u_{ni}\mid v_{ni}+\mu_{ni}]$$

将所有决策单元调整至相同外部环境:

$$X_{ni}^{A}=X_{ni}+[\max(f(Z_{i};\hat{\beta}_{n}))-f(Z_{i};\hat{\beta}_{n})]+[\max(\nu_{ni})-\nu_{ni}]\ i=1,2,\cdots,I;n=1,2,\cdots,N$$

X_{ni}^{A}是调整后的投入;$[\max(f(Z_{i};\hat{\beta}_{n}))-f(Z_{i};\hat{\beta}_{n})]$是外部环境因素调整;$[\max(\nu_{ni})-\nu_{ni}]$是将所有决策单元置于相同水平。

第三阶段:调整DEA模型 运用调整后的投入产出变量,使用DEA模型测算各决策单元效率。

1.2 数据选取

本文选取《中国统计年鉴》(2011—2021)共11年数据,对各年数据进行预处理:以1978年为基年,将居民人均可支配收入进行平减计算,得出平减后的名义收入,进而计算出实际人均可支配收入。在数据中部分年份的数据缺失,使用线性插值和回归等方法进行插值处理。

2 实证分析

2.1 民生福祉指数指标体系建立与测算

生态文明建设以人、自然、社会和谐共处为目标,提高生活环境质量应该是主要目标之一,提高更多人口的幸福指数应是其核心意义。生态治理是生态文明建设的重要内容,其相应的指标体系构建也应体现这一特征。

在本研究中,生态效率的评价是在公共福利视角下的,所以选择的结果指标必须反映公共福利的概念。一些学者认为,幸福应该包括权益和生活质量,本文建立民生福祉指数指标体系来对公共福利进行度量。在参考已有文献的基础上,主要考虑客观因素,选择物质生活质量、人类发展及城市发展作为一级指标,在一级指标下选取二级指标建立民生福祉指标体系,将处理后的数据代入全局熵权法模型中,求解出民生指标体系中各一、二级指标的权重如表1所示。

表1 民生福祉指标

一级指标	二级指标	单位	指标属性	二级指标权重	一级指标权重
物质生活质量	城镇恩格尔系数	—	逆向	0.029	0.296
	每万人医疗机构床位数	张	正向	0.059	
	每万人口公共图书馆藏书量	册	正向	0.111	
	基尼系数	—	逆向	0.097	
人类发展	居民人均可支配收入	元/人	正向	0.090	0.304
	文盲率	%	逆向	0.014	
	城镇登记失业率	%	逆向	0.059	
	人均用水量	t/人	正向	0.141	
城市发展	建成区绿化覆盖率	%	正向	0.012	0.400
	人均城市道路面积	m^{2}	正向	0.052	
	失业保险参合率	%	正向	0.114	
	人均水资源量	t/人	正向	0.222	

在一级指标中,城市发展指标权重最大,达到0.4;物质生活质量指标权重最小,其值为0.296;与此同时,各指标间权重相差较少,所有指标都有较为重要的意义。二级指标中的人均水资源量、人均用水量、失业保险参合率权重较大,达到0.1以上;说明这些指标与民生福祉的实际需要较为密切,能够很好地反映民生情况。

在各指标权重的基础上进行求解,得到各省的

综合分数,各省份 11 年间得分的平均值如表 2 所示。

表 2　各省 2010－2020 年民生福祉系数平均值

地区	平均得分	地区	平均得分
北京	0.384	江西	0.239
西藏	0.369	广西	0.237
上海	0.368	湖南	0.235
新疆	0.354	陕西	0.231
江苏	0.351	四川	0.229
浙江	0.333	青海	0.228
广东	0.313	重庆	0.225
山东	0.293	吉林	0.225
黑龙江	0.268	河北	0.222
天津	0.260	安徽	0.222
海南	0.257	甘肃	0.214
湖北	0.256	山西	0.210
辽宁	0.254	河南	0.206
宁夏	0.254	云南	0.205
福建	0.252	贵州	0.189
内蒙古	0.251		

北京市的民生福祉系数值最高,达到 0.384,西藏自治区、上海市、新疆维吾尔自治区、江苏省、浙江省、广东省的民生福祉系数值均较高,指数得分远高于全国平均值,其居民生活水平都很高,各种生活保障都很完善;贵州省的民生福祉系数值最低,仅为 0.189,中西部地区的民生水平相对较低,人民生活水平有待提高,各项生活保障措施需进一步加强。

2010－2020 年间全国民生福祉系数得分的平均值如图 1 所示(数值保留小数点后三位)。

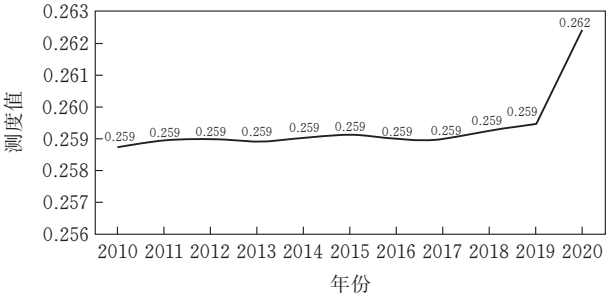

图 1　各年民生福祉平均得分

随着时间的发展,中国的民生福祉指数整体呈上升趋势;2010 年至 2017 年民生发展较平稳,2018 年以后国家民生发展进入急速上升阶段,人民物质生活水平得到显著提升。

2.2　生态效率体系建立

2.2.1　投入－产出模型指标　本文研究我国 31 个省的生态效率,投入指标选取工业污染治理投资与用水总量;选取民生福祉、地区 GDP、当年人工造林面积、化学需氧量排放量、二氧化硫排放量、氮氧化物排放量六个指标作为产出指标,构建生态效率评价指标体系如表 3 所示。

表 3　生态效率评价指标

指标类型	一级指标	二级指标	指标类型
投入指标	资源投入	工业污染治理投资(万元)	逆向
		用水总量(亿 m^3)	逆向
产出指标	经济发展总量	地区 GDP	正向
	人民生活	民生福祉系数	正向
	环境建设	当年人工造林面积(千 hm^2)	正向
	环境损坏	化学需氧量排放量(万 t)	逆向
		二氧化硫排放量(万 t)	逆向
		氮氧化物排放量(万 t)	逆向

在投入－产出模型中,普遍追求最小投入以及最大产出,认为投入指标为逆向指标,产出指标为正向指标,本文的指标体系中部分产出指标为逆向指标,在数据预处理过程中对其进行归一化。

2.2.2　外部环境指标　森林覆盖率是衡量森林资源的重要指标。减少森林砍伐,增加资源利用是应对气候变化的有效途径和重要措施。

促进充分就业和高质量就业是中国经济社会发展的重要目标。提高个体就业质量,有助于顺利实现高质量就业的发展目标,更有助于地方财政的发展与 GDP 产出。

生活垃圾无害处理是减少污染的关键手段。无害化的生活垃圾处理方式对生活垃圾处理设施的顺利运行至关重要,为城市高质量发展创造空间。

2.3　基于三阶段 DEA 模型的生态效率测算

将全国各地区的生态效率值划分为几个区间,划分方法如表 4 所示。

表 4　生态效率等级测度

生态效率	取值范围	生态效率	取值范围
低效率	[0,0.6]	较高效率	[0.8－0.9)
较低效率	(0.6－0.7)	高效率	[0.9－1)
中等效率	[0.7－0.8)	超高效率	1

2.3.1　第一阶段　使用 DEAP2.1 软件对 2010—2020 年我国 31 个省的生态效率进行测算,结果如表 5 所示。

表5 2010－2020年全国31个省市生态效率第一阶段结果

地区	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
北京	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
天津	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
河北	1.000	1.000	1.000	1.000	0.846	0.900	1.000	1.000	0.859	1.000	1.000
山西	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
内蒙古	1.000	0.828	1.000	0.843	0.679	0.790	0.669	0.584	0.666	0.898	0.802
辽宁	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.919	1.000	1.000	1.000	1.000
吉林	0.927	0.909	0.971	1.000	0.946	0.863	0.537	0.557	0.740	0.651	0.876
黑龙江	0.974	0.886	1.000	0.861	1.000	0.766	0.468	0.566	0.468	1.000	0.477
上海	0.556	0.571	0.529	1.000	0.602	0.608	0.479	0.496	0.496	0.502	0.520
江苏	0.582	0.436	0.423	0.488	0.469	0.455	0.631	0.734	0.555	0.555	0.318
浙江	0.759	0.577	0.545	0.503	0.545	0.575	0.885	0.826	0.841	0.895	0.644
安徽	0.919	0.624	0.632	0.519	0.672	0.667	0.725	0.771	0.839	0.844	0.462
福建	0.534	0.561	0.429	0.428	0.456	0.427	0.960	0.975	0.937	1.000	0.469
江西	0.784	0.875	1.000	0.727	0.746	0.594	1.000	1.000	0.873	0.904	0.433
山东	0.719	0.958	0.943	0.981	0.996	1.000	0.903	0.957	0.951	0.884	0.792
河南	0.961	0.921	1.000	0.976	0.882	0.929	0.812	0.783	0.804	0.745	0.703
湖北	0.541	0.802	0.591	0.657	0.673	0.725	0.714	0.824	0.762	0.719	0.533
湖南	0.742	0.953	0.605	0.774	0.902	0.631	0.850	1.000	0.868	1.000	0.530
广东	0.557	0.723	0.618	0.797	0.749	0.807	1.000	1.000	1.000	1.000	0.541
广西	0.971	0.639	0.534	0.620	0.535	0.395	0.685	1.000	0.959	1.000	0.459
海南	1.000	0.702	0.647	0.978	0.939	1.000	0.922	0.977	1.000	1.000	1.000
重庆	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.857	1.000	0.853
四川	1.000	0.654	0.864	0.935	0.942	1.000	1.000	1.000	0.943	1.000	0.567
贵州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
云南	1.000	1.000	1.000	1.000	0.982	0.800	0.893	1.000	0.814	0.893	0.799
西藏	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
陕西	0.878	0.932	0.953	0.952	0.967	0.979	0.959	0.868	0.867	0.803	0.782
甘肃	0.550	0.629	0.508	0.652	0.618	1.000	0.950	0.578	1.000	1.000	1.000
青海	1.000	0.845	1.000	1.000	0.978	1.000	0.973	1.000	1.000	1.000	1.000
宁夏	0.884	1.000	0.917	0.808	0.578	0.854	0.893	0.966	1.000	1.000	0.568
新疆	0.768	0.654	0.703	0.679	0.386	0.453	0.477	0.419	0.386	0.511	0.194
年均值	0.858	0.828	0.820	0.844	0.809	0.814	0.848	0.864	0.854	0.897	0.720

北京市、天津市、山西省、贵州省、西藏自治区的各年的生态效率均为1，新疆维吾尔自治区、上海市、江苏省的生态效率均值低于0.6。

第一阶段年平均生态效率值为0.832，与纯技术效率0.931相差0.099，具有一定的提升潜力。在2010－2020年间，生态效率围绕均值上下波动且波动不大，在2019年达到最大，其生态效率为0.897，在2020年达到最小，为0.72，较均值降低13.46%。

2.3.2 第二阶段 传统的DEA模型没有考虑随机误差，第一阶段测算的生态效率值并不准确，所以应进行非经营性因素的分离。使用FRONT4.1软件进行似SFA回归分析，将环境因素与随机误差分离并剔除，得到调整后的投入变量。在进行三阶段DEA模型建模时，将各年的数据分别进行三个阶段的操作，各年第二阶段的回归结果大致相同。以2020年的松弛变量为例，第二阶段似SFA回归结果如表6所示。

表6 2020年第二阶段SFA回归结果

	工业污染治理投资		用水总量	
	回归系数	t统计量	回归系数	t统计量
常数项	－3,322.508	－3,322.508	－25.8615	－1.1175
森林覆盖率	1,818.413	1,818.413	31.698	1.465
生活垃圾无害化处理能力	1,545.587	1,545.587	10.984	0.582
个体就业人员	－2,731.572	－2,731.572	－29.076	－1.947
γ	0.999	21.576	2,083.681	2,050.228

外部环境对投入松弛的γ均通过显著性检验，管理无效率因素对生态效率的测度值有显著影响，且在松弛变量中占主导地位。

森林覆盖率：若系数为正数，表明森林覆盖率越

高,生态效率反而越低;对工业污染治理投资的松弛变量的系数较大,对工业污染治理投资的影响较大。

个体就业人员:若系数为正数,说明个体就业人员数量越多,生态效率越低;对工业污染治理投资的松弛变量的系数非常大,对工业污染治理投资的影响较大。

生活垃圾无害化处理能力:若系数为负数,说明生活垃圾无害化处理能力越强,生态效率越高;对工业污染治理投资的松弛变量的系数非常大,对工业污染治理投资的影响很大。

2.3.3　第三阶段　调整后再次运用 DEA 模型分析各市生态效率,计算出 2010－2020 年我国 31 个省市的生态效率值,结果如表 7 所示。

表 7　2010－2020 年全国 31 个省市生态效率第三阶段结果

地区	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
北京	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
天津	0.980	1.000	1.000	0.852	1.000	1.000	1.000	1.000	0.886	1.000	0.929
河北	1.000	1.000	1.000	1.000	0.869	0.975	1.000	1.000	0.991	1.000	1.000
山西	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
内蒙古	0.994	0.845	1.000	0.871	0.700	0.874	0.673	0.645	0.713	0.981	1.000
辽宁	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.917	1.000	1.000	1.000	1.000
吉林	0.978	1.000	1.000	1.000	0.991	0.906	0.592	0.649	0.960	0.610	1.000
黑龙江	0.991	1.000	1.000	0.946	1.000	0.883	0.564	0.656	0.619	1.000	0.875
上海	0.616	0.641	0.628	1.000	0.695	0.662	0.479	0.633	0.550	0.557	0.538
江苏	0.643	0.513	0.516	0.600	0.751	0.579	0.646	1.000	0.597	0.578	0.381
浙江	0.872	0.679	0.737	0.742	0.601	0.716	0.913	0.970	0.943	0.920	0.796
安徽	0.827	0.954	0.673	0.563	1.000	0.861	0.732	0.820	0.850	0.840	0.513
福建	0.614	0.610	0.547	0.586	0.516	0.527	0.971	0.952	1.000	0.963	0.587
江西	0.897	1.000	1.000	0.876	0.962	0.872	1.000	1.000	0.919	0.901	0.615
山东	0.851	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.903	1.000	1.000	0.956	0.873
河南	0.977	0.938	1.000	0.992	0.945	1.000	0.831	0.822	0.844	0.761	0.834
湖北	0.584	0.914	0.736	0.755	0.833	0.790	0.735	0.876	0.837	0.733	0.659
湖南	0.772	1.000	0.695	0.876	1.000	0.699	0.879	0.995	1.000	1.000	1.000
广东	0.674	0.901	0.792	0.971	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.681
广西	1.000	0.746	0.614	0.734	0.648	0.475	0.687	0.878	1.000	1.000	0.755
海南	1.000	0.860	0.829	1.000	0.869	1.000	0.887	0.740	1.000	0.793	1.000
重庆	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.947	0.957	1.000
四川	1.000	0.688	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.984	1.000	0.646
贵州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
云南	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.860	0.899	1.000	0.933	0.923	0.944
西藏	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
陕西	0.958	0.956	1.000	1.000	0.981	1.000	0.965	1.000	0.922	0.805	0.880
甘肃	0.563	0.630	0.624	0.615	0.657	1.000	0.949	0.716	1.000	1.000	1.000
青海	0.950	0.728	0.862	0.807	0.969	0.843	0.973	1.000	1.000	1.000	1.000
宁夏	0.849	1.000	0.907	0.763	0.617	0.844	0.902	0.988	0.945	1.000	0.657
新疆	0.738	0.711	0.610	0.729	0.615	0.873	0.700	0.739	0.470	0.744	0.432
年均值	0.881	0.881	0.863	0.880	0.878	0.879	0.864	0.906	0.900	0.904	0.826

使用 ArcGIS 软件绘制 2010－2020 年各省第三阶段生态效率均值热力图如图 2 所示。

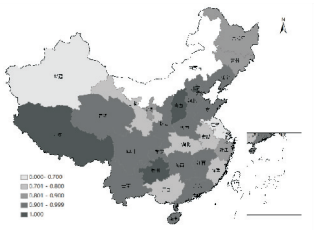

图 2　2010－2020 年各省第三阶段生态效率均值热力

相较于第一阶段,仍有 4 个省市各年的生态效率均为 1,分别是北京市、山西省、贵州省、西藏自治区;第三阶段的生态效率测算结果中,没有省市的生态效率值低于 0.6,仅内蒙古自治区的生态效率值低于 0.7。与第一阶段相比,大部分省市各年第三阶段的生态效率值均有所提高,青海省、辽宁省、天津市第三阶段的生态效率较第一阶段降低。

新疆维吾尔自治区、上海市、江苏省的生态效率值明显低于平均值,这与第一阶段的结果一致。新疆维吾尔自治区的生态效率值改变最大,达到 0.133,说明外部环境与随机因素对新疆第三阶段的影响较大。

分别计算 2010－2020 年第三阶段的生态效率、规模效率与纯技术效率的均值(图 3)。

第三阶段年平均生态效率值为 0.878,相对于纯

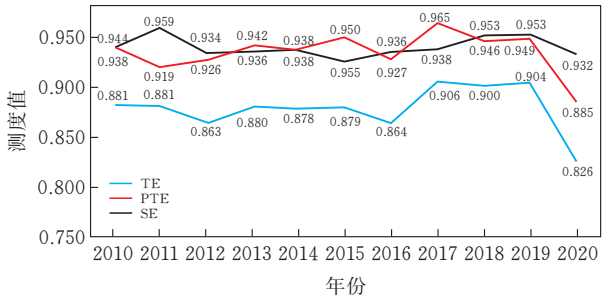

图 3 各年第三阶段 DEA 结果

技术效率相差 0.062，具有一定的提升潜力。在 2010－2020 年间，生态效率围绕均值上下波动且波动不大，在 2017 年达到最大，为 0.906，在 2020 年达到最小，为 0.826。在 2010－2019 年生态效率均值呈现出先下降再上升的趋势，但 2020 年的生态效率值出现大幅度下降。

综合效率、纯技术效率与规模效率均呈现出围绕均值上下波动的趋势，总体上来看，各年第三阶段的纯技术效率相对较高，其次是规模效率，综合效率值最低，但 2015 年和 2017 年的规模效率明显大于纯技术效率。相较纯技术效率，规模效率对综合效率的影响较大，综合效率的提升空间主要存在于规模效率方面。

将全国划分为四大经济区域，将各个区域的生态效率汇总后如图 4 所示，计算各区域综合效率、纯技术效率与规模效率均值如表 8 所示。

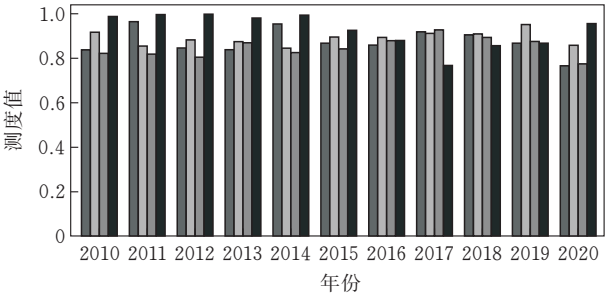

图 4 2010－2020 年四大经济区域的福祉生态效率数据

表 8 2010－2020 年四大经济区域的福祉生态效率数据

	中部	西部	东部	东北
PTE	0.913	0.937	0.924	0.927
SE	0.954	0.942	0.903	0.980
TE	0.879	0.892	0.851	0.913

TE 为综合效率，PTE 为纯技术效率，SE 为规模效率，TE＝SE×PTE。

西部地区的纯技术效率相对较高，其次是东北地区和东部地区，中部地区纯技术效率较低，规模效率较东北偏低 。从生态效率的角度来看，东北地区较高；从规模效率的角度来看，东北地区最高，其次是西部地区和中部地区，东部地区的生态效率和规模效率相对较低。

2.4 时空演化分析

本文基于三阶段 DEA 模型计算的生态效率绘制中国生态效率的时空格局分布如图 5 所示。

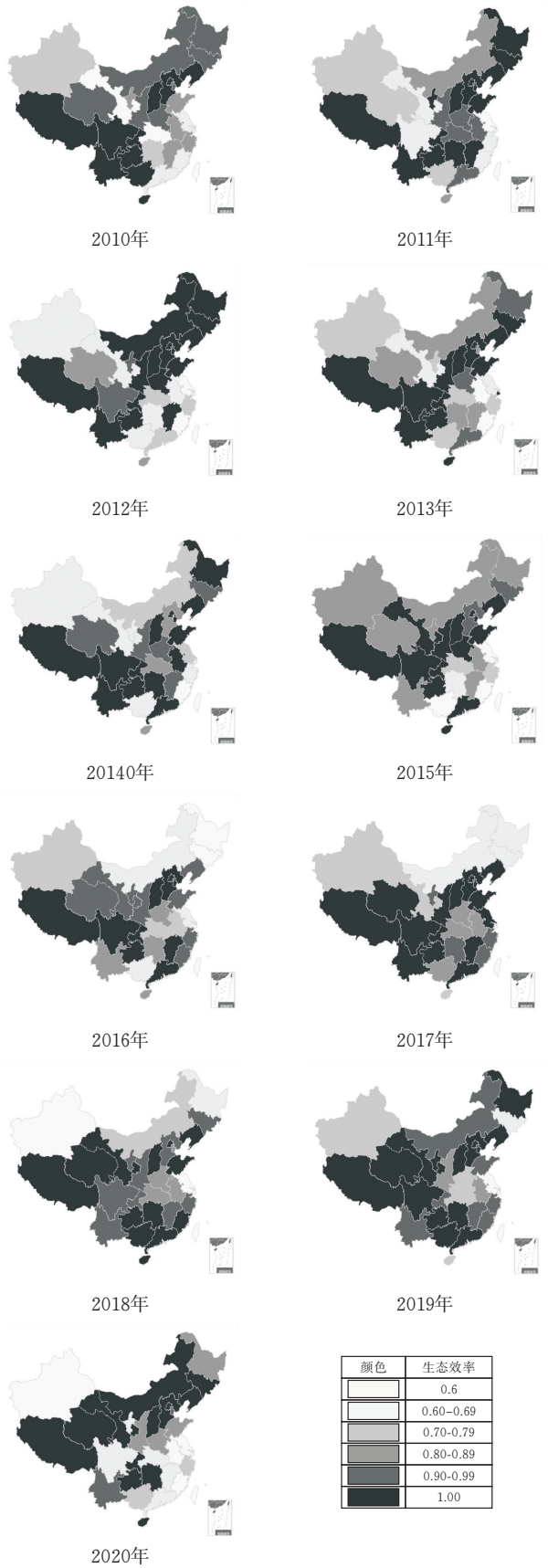

图 5 2010－2020 年福祉生态效率可视化热力图

2010—2020 年间，我国各省市生态效率时空变化明显，总体上呈现出“降低—升高—降低”的趋势，在 2017 年达到最大，为 0.906，2019 年全国仅有上海市和江苏省为低效率地区，全国生态效率均值达到 0.904。2020 年全国的生态效率明显有所降低，东部大部分地区的生态效率低于 0.7。各年的生态效率可视化图均呈现出了西高东低的特征，东部沿海地区的生态效率相对较低。

从区域来看，2010 年左右超高生态效率区域主要集中于西部地区，随着时间推移，西北、东北地区部分省也发展成为了生态超高效率地区；东部沿海地区虽未达到超高效率，但呈逐年升高态势，仍有提升的空间。

3　结论

本文选取 2010 年－2020 年数据，建立民生福祉指标体系测算出各省每年的民生福祉，并将其作 DEA 模型的一个产出变量构建模型，利用三阶段 DEA 模型对投入变量进行调整后，测算出各省 2010－2020 年的生态效率值并进行可视化分析，得到如下结论：

第一阶段中有 5 个省份各年都是超高效率，在经过第二阶段的调整后，第三阶段中天津市的生态效率有小幅度的降低，仍有 4 个省市各年的生态效率为 1。整体来说第一阶段的生态效率被低估，但青海省、辽宁省、天津市第一阶段的生态效率被高估了。第三阶段年平均生态效率值为 0.878，在 2010—2019 年生态效率均值呈现出先下降再上升的趋势，在 2017 年达到最大，为 0.906，但 2020 年的生态效率值出现大幅度下降。

从空间演化的角度来看：全国各年第三阶段的纯技术效率相对较高，其次是规模效率，综合效率值最低，但 2015 年和 2017 年的规模效率明显大于纯技术效率。相较纯技术效率，规模效率对综合效率的影响较大，综合效率的提升空间主要存在于规模效率方面。东北地区的生态效率、规模效率相对较高，其次是西部地区和中部地区，东部地区的生态效率和规模效率相对较低。各年的生态效率可视化图均呈现出了西高东低的特征，东部沿海地区的生态效率相对较低。2010 年左右超高生态效率区域主要集中于西部地区，但随着时间推移，西北、东北地区部分省也发展成为了生态超高效率地区；东部沿海地区的生态效率虽然没有达到超高效率，也在逐年升高，仍具提升潜力。

[参 考 文 献]

[1] SCHALTEGGER S, STURM A. Kologische rationalitt[J]. Die Unternehmung, 1990, 4(04):273-290.

[2] ELLERBROCK M J, YOUNG M D. Sustainable investment and resource use: equity, environmental integrity and economic efficiency[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1994, 76(01):170-171.

[3] DAHLSTRÖM K, EKINS P. Eco-efficiency Trends in the UK Steel and Aluminum Industries[J]. Journal of Industrial Ecology, 2010, 9(04):171-188.

[4] MA X, WANG C, YU Y, et al. Ecological efficiency in China and its influencing factors-a super-efficient sbm metafrontier-malmquist-tobit model study[J]. Environmental Science & Pollution Research. 2018, 25(01):20880-20898

[5] LI Y, KE L W, JI C G. China's regional ecological energy efficiency and energy saving and pollution abatement potentials: an empirical analysis using epsilon based measure model[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 194:300-308.

[6] SEPPÄLÄA J, MELANEN M, MÄENPÄÄ I, et al. How Can the eco-efficiency of a region be measured and monitored[J]. Journal of Industrial Ecology, 2010, 9(04):117-130.

[7] TONG Y, ZHOU H F, JIANG L. Exploring the transition effects of foreign direct investment on the eco-efficiency of Chinese cities: Based on multi-source data and panel smooth transition regression models [J]. Ecological Indicators, 2021, 121: 107073.

[8] 黄雪琴，王婷婷.资源型城市生态效率评价[J].科研管理，2015，36(07)：70-78.

[9] 郭存芝，彭泽怡，丁继强.可持续发展综合评价的 DEA 指标构建[J].中国人口·资源与环境，2016，26(03)：9-17.

[10] 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[J].长江流域资源与环境，2018，27(12)：2673-2683.

[11] 邢贞成，王济干，张婕.中国区域全要素生态效率及其影响因素研究[J].中国人口·资源与环境，2018，28(07)：119-126.

[12] 郭力，程一凡.城市生态效率的时空异质性及影响机理分析：以中部六省为例[J].生态经济，2023，39(06)：101-107.

[13] 安鑫丽，张良悦，杨群.黄河流域农业生态效率：基于超效率模型的分析[J].现代农业研究，2023，29(05)：17-21.

[14] 何家琪，王敏，邓梦华，等.长江经济带港口生态效率测度及动态研究：于非期望产出的 SBM-Malmquist 模型[J].环境科学与管理，2023，48(05)：21-26.

[15] 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(02)：60-66.

[16] 诸大建，邱寿丰.生态效率是循环经济的合适测度[J].

中国人口·资源与环境,2006(05):1-6.
[17] 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[J].地理科学,2019(07):1111-1118.
[18] 崔继昌,方斌,陈添悦. 省际交界地区城市生态效率时空变研究:以淮海经济区为例[J]. 城市问题,2020(09):4-12.
[19] 胡彪,孙雪.中国三大城市群生态经济效率时空演变分析[J].大连理工大学学报(社会科学版),2020(01):19-27.
[20] 杨桐彬,朱英明,王念,等.长三角城市生态效率的地区差异与空间收敛[J].华东经济管理,2020(07):28-35.
[21] 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[J].地理学报,2017(11):2047-2063.
[22] 吴鸣然,马骏.中国区域生态效率测度及其影响因素分析:基于 DEA-Tobit 两步法[J].技术经济,2016(03):75-80.

Calculation of Ecological Efficiency from The Perspective of Public Welfare Based on Three-Stage Model

HUANG Rushan, ZHAO Ke, LI Hanfang
(*School of Science, Hubei Uni. of Tech.,Wuhan* 430068, *China*)

Abstract: In this paper, the influence of public welfare was considered in the eco-efficiency research, and the livelihood welfare index was calculated and introduced into the eco-efficiency index system. The eco-efficiency of 31 provinces and cities in China from 2010 to 2020 was measured by using the three-stage DEA model, and an empirical study was carried out. The result showed that the external environment and random errors led to the underestimation of the ecological efficiency in the first stage. The trend of 'decreasing-increasing-decreasing' was showed by the ecological efficiency in the third stage of each province, reaching the maximum in 2017, but the ecological efficiency decreased in 2020. The technical efficiency of the third stage was relatively high, the second was the scale efficiency, and the comprehensive efficiency value was the lowest. The visual map of ecological efficiency of each year showed the characteristics of high in the west and low in the east, and the ecological efficiency of the eastern coastal area was relatively low.

Keywords: livelihood welfare;ecological efficiency;DEA three-stage model

[责任编校:闫 品]

(上接第 112 页)

Research on the Impact of Digital Economy on Urban-rural Income Gap Based on Composite Quantile Regression

ZENG Deling,ZENG Ying
(*School of Science,Hubei Univ. of Tech.,Wuhan* 430068, *China*)

Abstract: Based on provincial panel data from 30 provinces (excluding Tibet) in China from 2013 to 2020, this study explores the impact mechanism of the digital economy on the urban-rural income gap by constructing a composite quantile regression panel data model. The results show that the development of the digital economy can significantly narrow the urban-rural income gap. However, the impact of the digital economy on this gap is indicative of regional differences: it is shrinking in the East and Midlands, while increasing in the North East. The effect of the digital economy on increasing the income of rural residents has been better than that of urban residents. Therefore, it is necessary to strengthen the innovation and entrepreneurship environment of the digital economy in the central and eastern regions, deepen the digital economy infrastructure in the western and northeastern regions, and accelerate the integration of the digital economy into production and daily life practices.

Keywords: composite quantile regression; digital economy; urban-rural income gap

[责任编校:闫 品]