

黄河流域生态福利绩效测算及影响因素分析

陈少炜¹ 罗林杰¹ 查欣洁²¹

(1. 西安财经大学 经济学院, 陕西 西安 710100;

2. 中国(西安)丝绸之路研究院, 陕西 西安 710100)

【摘要】: 采用非径向的 SBM-DEA 模型对 2011—2017 年黄河流域各省份的生态福利绩效进行测算评价, 运用 Moran 散点图和 LISA 图着重考察其空间差异性及其演变, 然后使用空间计量模型对黄河流域生态福利绩效的影响因素进行检验。结果显示: (1) 黄河流域整体生态福利绩效综合水平小于 1, 未能实现 DEA 有效, 且呈现出“中部最高、东部和西部次之”“下游最高、上游和中游次之”的态势。(2) 黄河流域生态福利绩效水平呈现出较高的局部空间异质性, 存在明显的空间差异且空间依赖性和空间效应随时间的推移而发生变化。(3) 黄河流域生态福利绩效主要受到技术水平、城镇化、医疗水平、经济外向性以及社会性支出等因素的影响。

【关键词】: 黄河流域 生态福利绩效 SBM-DEA 模型 SLM 模型

【中图分类号】: X196; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)09-146-09

黄河流域的生态保护和高质量发展是国家的重大发展战略, 习近平总书记高度重视黄河流域未来的发展, 先后做出了“治理黄河, 重在保护, 要在治理”(2019 年 9 月), “黄河流域必须下大气力进行大保护、大治理, 走生态保护和高质量发展的路子”(2020 年 1 月)等重要指示和工作要求。黄河流域的高质量发展离不开生态保护, 生态福利绩效是黄河流域高质量发展的重要内在环节。对黄河流域生态福利绩效进行测度, 探讨黄河流域生态福利绩效的空间格局及其演变, 分析其区域差异性及其影响因素, 进而研究其内生影响机制和提升路径, 对促进黄河流域生态保护和高质量发展具有重要的前期研究价值和现实指导意义。

1 文献综述

绿色经济理论认为生态福利是指使用单位自然资源所提升的福利水平^[1]。Rees^[2]在 1992 年提出生态足迹的概念并被认可为衡量人类自然消耗或者生态环境影响的重要指标, 此后, 生态福利绩效的研究才得到发展, 但目前仍处于萌芽和起步阶段。

关于生态福利绩效的测算方法, 目前主要有两大类。一类方法是采用比例算法。如杨爱婷和宋德勇^[3]、刘国平和朱远^[4]、付伟等^[5]均采用这一方法, 以人类发展指数或其他指标来衡量的社会福利水平作为分子, 以生态足迹或者衡量生态消耗的其他指标作为分母。另一类方法主要通过构建生态福利绩效指标体系来进行测算。如诸大建和张帅^[6]、刘国平和朱远^[7]、龙亮军等^[8-11]等则采用数据包络分析方法(DEA)来计算相对于生态投入转化为经济社会福利产出的效率水平, 以此来度量生态福利绩效。

在生态效率的基础上, 国内学者对于生态福利绩效的研究尺度不断拓展, 从最初的国家层面拓展至区域层面、省际层面以

¹**作者简介:** 陈少炜, 博士, 讲师, 硕士研究生导师, 研究方向为空间经济学、复杂网络及其应用。E-mail: chensw@xaufe.edu.cn
基金项目: 全国统计科学研究一般项目“黄河流域沿线城市生态福利绩效测度及提升路径研究”(2020LY006); 陕西省自然科学基金一般项目(青年)“基于复杂网络的中西部地区系统性金融风险空间溢出效应及防范研究”(2021JQ-767); 西安财经大学研究生教育教学改革重点项目“产教合作的金融专硕专业学位硕士专业实践模式与考核体系研究”(JG18Z03)

及城市层面。如诸大建和张帅^[12]采用国家和地区的横截面数据进行实证分析,发现生态福利绩效和经济增长呈倒“U”型关系。朱远和刘国平^[13]、郭炳南和卜亚^[14]对长江经济带生态福利绩效进行了测算并分析其时空演化。何林和陈欣^[15]、刘国平等^[16-17]则分别对陕西、中国省域的生态福利绩效进行分析,以评估可持续发展。韩瑾^[18]、龙亮军等^[8-11]则分别对宁波市、上海市以及中国主要大中型城市的生态福利绩效进行了评价分析。

随着研究的深入,生态福利绩效的研究范围也从单纯的绩效测算,拓展至研究生态福利绩效的影响因素、收敛性以及空间效应等方面。郭炳南和卜亚^[14]、李成宇等^[19]分析了生态福利绩效的影响因素,前者发现开放水平的提升对于长江经济带生态福利绩效提升有明显的促进效果,后者的研究结果则显示外商投资不能显著提高中国省际的生态福利水平。杜慧彬等^[20]研究发现中国中部和西部地区的生态福利绩效具有收敛效应。方时姣和肖权^[21]则发现中国的区域生态福利绩效水平表现出较强的空间相关性,存在相对稳定的路径依赖性。

综上所述,中国生态福利绩效的相关研究得到了一定的丰富和发展,但针对黄河流域生态福利绩效的相关研究暂未发现,且生态福利绩效的影响因素分析多以 Tobit 模型、多元线性回归等传统计量模型为主,利用空间计量模型进行分析的研究相对较少。鉴于此,本文采用非径向的 SBM-DEA 模型方法对黄河流域生态福利绩效进行测算和评价分析,使用 Moran 散点图和 LISA 图着重考察其空间差异性及其演变,然后使用空间计量模型对黄河流域生态福利绩效的影响因素进行分析并提出相应的政策建议。

2 研究方法、指标选取及数据来源

2.1 研究方法

本文首先运用 DEA 方法测算黄河流域沿线省份的生态福利绩效,然后在此基础上采用空间计量回归模型分析各省份生态福利绩效的影响因素。Tone^[22]提出的非径向 SBM-DEA 模型,将投入与产出的松弛变量纳入考虑,与传统的超效率径向度量法相比较,其科学性、度量的准确性更高,在国内外得到了广泛应用且可信性良好。当决策单元的数量与用于评估的标准数量相比较少时,使用该方法的测算效果将尤为显著。因此,采用 SBM-DEA 模型方法对黄河流域各省份生态福利绩效进行测算。由于传统回归模型可能忽略空间关联及空间异质性问题,进而高估或低估某些影响因素的作用效果,使得模型结果不够精确。因此,采用空间滞后模型、空间误差模型来进一步分析各省份生态福利绩效的影响因素。

2.1.1 SBM-DEA 模型

Charnes 等^[23]最早提出的 DEA 分析方法,在过去几十年间不断得到拓展和丰富。其中,应用较为广泛的传统 DEA 模型主要是 CCR 模型(Charnes-Cooper-Rhodes model)和 BCC 模型(Banker-Charnes-Cooper model),此类模型基于多重投入和产出的径向分析来测算多个决策单元中某个决策单元的相对效率。径向的测算方法假设投入或产出按比例变化,且没有考虑投入产出的松弛度问题,因而效率值的测算不够准确。Tone 于 2001 年提出了基于松弛变量测算的非径向、非角度的 SBM-DEA 模型。为了解决 SBM-DEA 模型测算效率值出现多个决策单元的效率值均为 1 进而无法有效排序和评价的问题,Tone 于 2002 年提出了 Super-SBM 模型,进而对有效决策单元进行评价和排序。因此,采用 Super-SBM 模型对黄河流域各省份的生态福利绩效进行测算评价,具体步骤如下^[24]:

(1) 假设存在 n 个省份(每个省份作为一个决策单元),其投入和产出矩阵分别用 X 和 Y 表示: $X=(x_{ij}) \in \mathbb{R}^{m \times n} > 0, Y=(y_{ij}) \in \mathbb{R}^{s \times n} > 0$ 。

那么,生态福利绩效的生产可能性集合 P 可以被定义为: $P = \{(x, y) | x \geq X\lambda, y \leq Y\lambda, \lambda > 0\}$, 其中 λ 为 $\mathbb{R}^n$ 中的非负向量。决策单元 (x_0, y_0) 可以表示为 $x_0 = X\lambda + s^-, y_0 = Y\lambda - s^+$; 其中, $\lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0$ 。向量 $s^- \in \mathbb{R}^m$ 和 $s^+ \in \mathbb{R}^s$ 分别表示投入和产出的松弛变量。在 $X > 0$ 且 $\lambda \geq 0$ 的条件下 $x_0 \geq s^-$, 使用 s^- 和 s^+ 则可得生态福利绩效 ρ 的计算公式:

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{i0}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s s_i^+ / y_{i0}} \quad (1)$$

$$s.t. \begin{cases} x_0 = X\lambda + s^- \\ y_0 = Y\lambda - s^+ \\ \lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \end{cases}$$

式中：ρ 是效率值，且 $0 < \rho \leq 1$ ；λ 表示一个决策单元的线性系数；x 和 y 分别是投入和产出变量；m 和 s 分别表示投入、产出指标的个数。

(2) Super-SBM 模型是 SBM 模型的改进和优化，其具体形式如下：

$$\delta^* = \min \delta = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i / x_{i0}}{\frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \bar{y}_r / y_{r0}} \quad (2)$$

$$s.t. \begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j x_j \\ \bar{y} \leq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j y_j \\ \bar{x} \geq x_0, \bar{y} \leq y_0 \\ \bar{y} \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases}$$

式中：δ* 是生态福利绩效得分。当 $\delta^* \geq 1$ 时，决策单元是相对有效的；δ* 的值越大，则该省份的生态福利绩效越好。当 $\delta^* < 1$ 时，决策单元是相对无效的，则该省份的生态福利绩效需要进一步提高，有必要对投入产出进行改进。

2.1.2 空间计量模型

空间计量模型能有效解决被考察变量间的空间关联性、空间异质性问题。当回归模型的误差项存在空间自相关时，就可以考虑构建空间计量模型。一般的空间线性回归模型可写为如下形式：

$$\begin{aligned} y &= \lambda Wy + X\beta_1 + WX\beta_2 + u \quad |\lambda| < 1 \\ u &= \rho Wu + \varepsilon \quad |\rho| < 1 \end{aligned} \quad (3)$$

式中：X 为非随机回归量的矩阵；W 为一个外生的空间权重矩阵，且 $\varepsilon | X \sim (0, \sigma_\varepsilon^2 I_n)$ ； β_1 、 β_2 、 λ 、 ρ ； β_1 、 β_2 、 λ 、 ρ 为待估参数。第一个方程将被解释变量 y 的空间滞后变量作为一个回归量，同时也可以包含一些或者所有外生变量的空间滞后变量 (WX 项)；第二个方程考虑随机误差的空间模型。当 $\lambda \neq 0$ ， $\rho = 0$ 时，该模型为空间滞后模型 (spatial lag model, SLM)；当 $\lambda = 0$ ， $\rho \neq 0$ 时，该模型为空间误差模型 (spatial error model, SEM)。SLM 模型和 SEM 模型为常见的经典空间计量模型，在此使用这两种空间计量模型对生态福利绩效的影响因素进行分析。

2.2 指标选取

2.2.1 指标体系构建

生态福利绩效反映的是将自然资源和生态投入转化为人类福利水平的效率，主要衡量人类福利水平与生态消耗的协调程度，是衡量经济社会可持续发展的有效工具。其本质在于以最少的自然资源和生态投入转化获得最大的福利水平产出，将生态消耗作为投入、人类福利水平作为产出，则生态福利绩效的测算符合 DEA 方法对于投入和产出指标的要求。生态消耗包括资源消耗和环境污染两个方面，借鉴龙亮军^[10]的思路，选取能源消耗、土地资源消耗及水资源消耗作为资源消耗的投入指标；选取废水排放、废气排放和固废排放作为环境污染的投入指标。产出指标则以人类发展指数(human development tindex, HDI)来度量福利水平，通过经济发展水平、教育发展水平以及健康医疗水平三个维度来体现。具体指标体系如表 1 所示。

表 1 生态福利绩效评价指标体系

类别	一级指标	二级指标	三级指标
投入指标	资源消耗	能源消耗	人均消费标准煤(X_1)
		土地资源消耗	人均建设用地面积(X_2)
		水资源消耗	人均用水量(X_3)
	环境污染	废水排放	人均化学需氧量排放量(X_4)、氨氮排放量(X_5)
		废气排放	人均二氧化硫排放量(X_6)、氮氧化物排放量(X_7)、人均烟(粉)尘排放量(X_8)
		固废排放	人均一般工业固体废物产生量(X_9)、人均城市生活垃圾清运量(X_{10})
产出指标	福利水平	经济发展水平	人均 GDP(Y_1)
		教育发展水平	平均受教育年限(Y_2)
		健康医疗水平	人口平均预期寿命(Y_3)

2.2.2 空间计量影响因素选取

借鉴龙亮军^[10]、郭炳南和卜亚^[14]、李成宇等^[19]的相关研究，综合考虑数据的可得性和完备性，选取产业结构、技术水平、城镇化、环境规制、医疗水平、经济外向性和社会性支出等变量作为生态福利绩效的影响因素。相关指标选取如下：产业结构(INDS)以第二产业占 GDP 比重来度量，技术水平(TEC)以发明专利数来度量，城镇化(UR)以城镇人口占总人口比重来度量，环境规制(ER)以环境污染治理投资占 GDP 比重来度量，医疗水平(MT)以千人医生数来度量，经济外向性(FDI)以实际利用外资金额占 GDP 比重来度量，社会性支出(SE)以科技卫生支出占财政总支出比重来度量。

2.3 数据来源

在本文中，主要选取黄河流经的 9 个省份 2011—2017 年的相关数据来进行黄河流域生态福利绩效的测算及其影响因素的分析。1. 影响因素的相关变量数据主要来自各省份 2011—2018 年的省级统计年鉴。生态福利绩效的评价指标体系，其数据主要来自历年的《中国统计年鉴》、《中国环境年鉴》、《中国卫生统计年鉴》、各省份历年的统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报、

卫生健康事业发展统计公报等公开资料以及各省份疾病预防控制中心、卫生健康委员会等官网网站搜集整理得到。少数缺失数据通过多重插补、建模预测等方法补齐。此外，人类发展指数(HDI)参照《2014 人类发展报告》^[25]公布的阈值标准，以极值法对收入指数、教育指数与预期寿命指数进行无量纲化处理，并通过三类指数的几何平均值计算得到人类发展指数(HDI)。

3 生态福利绩效测算及分析

3.1 生态福利绩效测算

生态福利绩效测算的投入指标可分为资源消耗和环境污染两大类，共有 10 个三级投入指标而样本数量相对有限，容易对 DEA 分析方法的评价结果造成偏差，因此有必要对投入指标进行降维处理。在此，采用主成分分析方法分别对资源消耗的 3 个指标和环境污染的 7 个指标进行降维，处理成一个总的资源指标和一个总的环境指标。

首先，通过 KMO 和 Bartlett 检验分别对资源消耗和环境污染指标进行主成分分析适用性检验，结果如表 2 所示。检验结果显示，资源消耗和环境污染两个指标组的 KMO 值分别为 0.723 和 0.717，均大于 0.5，且 Bartlett 球形度检验的概率值均为 0.000，说明两个指标组都适合进行主成分分析。在提取主成分之前，采用极值法对 10 个三级投入指标进行无量纲化处理。

表 2 KMO 和 Bartlett 检验结果

指标组	Kaiser-Meyer-Olkin 度量	Bartlett 的球形度检验		
		近似卡方	自由度	显著性
资源消耗	0.723	85.223	3	0.000
环境污染	0.717	543.146	21	0.000

其次，对标准化处理后的指标数据以 25 作为收敛迭代上限，按照特征值和方差贡献度来提取主成分。资源消耗指标组可提取 1 个主成分，累计方差贡献度为 78.394%，表明该主成分能解释 3 个指标 78.394%的信息量。环境污染指标组可提取 2 个主成分，累计方差贡献度为 84.900%，表明此两个主成分能解释 7 个指标 84.900%的信息量。然后，根据旋转后的得分系数矩阵分别加权求和得到综合指标以替代原有的两个指标组。对于资源类指标组而言，只有 1 个主成分，则资源综合指标为： $X_{资源}=0.387x_1+0.374x_2+0.370x_3$ 。

对于环境类指标组而言，拥有 2 个主成分，每个主成分再按其方差贡献度(分别为 67.727%和 17.173%)作为权数进行加权求和，则环境综合指标为：

$$X_{环境}=67.727\% \times F_1+17.173\% \times F_2$$

其中：

$$F_1=0.186 \times x_4+0.173 \times x_5+0.177 \times x_6+0.203 \times x_7+0.180 \times x_8+0.086 \times x_9+0.184 \times x_{10}$$

$$F_2 = -0.157 \times x_4 - 0.063 \times x_5 - 0.341 \times x_6 - 0.116 \times x_7 + 0.328 \times x_8 + 0.753 \times x_9 + 0.001 \times x_{10} \quad (5)$$

最后，将资源综合指标($X_{资源}$)、环境综合指标($X_{环境}$)作为投入量，将人类发展指数(HDI)作为产出量，采用 Super-SBM 模型进行 DEA 效率测算进而得到生态福利绩效水平的得分结果。

3.2 生态福利绩效结果分析

3.2.1 黄河流域生态福利绩效综合水平

在此，使用基于可变规模报酬假设下考虑非合意产出的 Super-SBM 模型^[26]，借助 R 软件对 2011—2017 年黄河流域 9 个省份的生态福利绩效按年度进行测算。然后对每个年份上各省份的效率取平均值，进而得到黄河流域生态福利绩效的综合水平，结果如表 3 所示。从测算结果可以发现，黄河流域整体生态福利绩效综合水平为 0.939，小于 1，未能实现 DEA 有效。自 2011 年以来，黄河流域生态福利绩效综合水平总体上有所提升但不够稳定。其效率平均值从 2011 年的 0.901 上升至 2015 年的 0.965，之后有所下降，2017 年为 0.935，较 2011 年仅增加了 3.4%，仍然有较大的提高和改善空间。

表 3 2011—2017 年黄河流域各省份生态福利绩效综合水平

省份	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	平均值	排名
河南	1.000	0.941	1.000	0.876	0.969	0.959	1.000	0.963	1
四川	0.915	1.000	0.956	0.951	0.952	0.981	0.971	0.961	2
甘肃	0.858	0.922	0.987	0.969	0.956	0.940	0.984	0.945	3
陕西	0.905	0.994	0.937	0.914	0.941	0.957	0.925	0.939	4
山东	0.895	0.982	0.930	0.889	1.000	0.947	0.916	0.937	5
山西	0.899	0.989	0.929	0.903	0.924	0.956	0.923	0.932	6
内蒙古	0.871	0.932	1.000	0.873	0.976	0.953	0.884	0.927	7
宁夏	0.881	0.936	0.901	0.894	0.979	0.973	0.902	0.924	8
青海	0.884	0.950	0.909	0.903	0.985	0.923	0.911	0.923	9
全部平均	0.901	0.960	0.950	0.908	0.965	0.954	0.935	0.939	—
东部平均	0.895	0.982	0.930	0.889	1.000	0.947	0.916	0.937	—
中部平均	0.950	0.965	0.964	0.890	0.946	0.957	0.962	0.948	—
西部平均	0.886	0.955	0.948	0.917	0.965	0.955	0.929	0.937	—
上游平均	0.882	0.948	0.950	0.918	0.970	0.954	0.930	0.936	—
中游平均	0.902	0.992	0.933	0.909	0.932	0.957	0.924	0.936	—
下游平均	0.948	0.961	0.965	0.882	0.984	0.953	0.958	0.950	—

分区域来看,按照黄河流域 9 个省份所在地区可分为东部、中部、西部 3 个区域。可以发现,其生态福利绩效综合水平呈现出“中部最高、东部和西部次之”的态势,表明东部地区虽然经济发达,但其经济发展转化为福利的效率却并非最高,仍有提升的空间。这说明地区的可持续发展除经济发展水平之外,还需要考虑宜居程度、人文环境等影响教育、寿命等福利要素的关键因素。从黄河的上中下游地区划分来看(黄河从河源至内蒙古自治区托克托县的河口镇为上游,自河口镇至河南郑州市的桃花峪为中游,黄河桃花峪至入海口为下游。按其流经区域,上游地区包括青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古;中游地区包括陕西、山西;下游地区包括河南、山东),其生态福利绩效综合水平呈现出“下游最高、上游和中游次之”的态势。黄河中上游地区主要由西部省份构成,经济发展相对滞后,生态投入转化为经济发展的效率偏低。

按省份的效率平均值排名来看,河南、四川、甘肃依次位居前 3 名,内蒙古、宁夏、青海则位居末 3 名。从 2011—2017 年黄河流域各省份生态福利绩效水平变化情况(图 1)来看,河南、四川大部分年份的效率值均处于高位,相对比较稳定。甘肃的效率值在 2011—2013 年提高较为明显,之后有所下降,在 2017 年再次升至 0.984。宁夏、青海的效率值在 2011—2014 年总体处于低位,2015 年有所上升,之后再次回落。内蒙古的效率值在 2011—2017 年经历了明显的上涨和下跌,2017 年效率值为 0.884,较 2011 年仅有微弱提升。

河南、四川的经济发展水平较高,在黄河流域 9 个省份中处于第一梯队,2019 年其 GDP 总量在全国分别位居第 5 位和第 6 位。近年来,两省产业结构调整效果明显,四川的电子信息产业、先进材料产业等现代产业发展较快,河南的食品工业、机械工业、轻纺工业等传统产业则注重集约化、规模化发展,促进生产要素的合理配置。2011—2017 年,在资源消耗方面,河南人均消费标准煤增加了 10.12%,人均建设用地面积增加了 19.28%,而人均用水量仅增加了 0.46%,四川人均消费标准煤减少了 6.14%,人均建设用地面积减少了 17.95%,人均用水量增加了 11.71%。环境污染方面,以人均二氧化硫排放量和人均烟(粉)尘排放量为例,河南分别减少了 79.48%和 67.16%,四川分别减少了 58.12%和 43.71%。与此同时,河南的经济发展水平(人均 GDP)、教育发展水平(平均受教育年限)、健康医疗水平(人口平均预期寿命)分别增加了 62.39%、2.71%、3.07%,四川的以上 3 个指标则分别增加了 70.86%、4.20%、3.11%。两省的投入产出效率明显提升,生态投入转化为经济福利的效率较高,因而生态福利绩效综合水平较高,位居前两名。

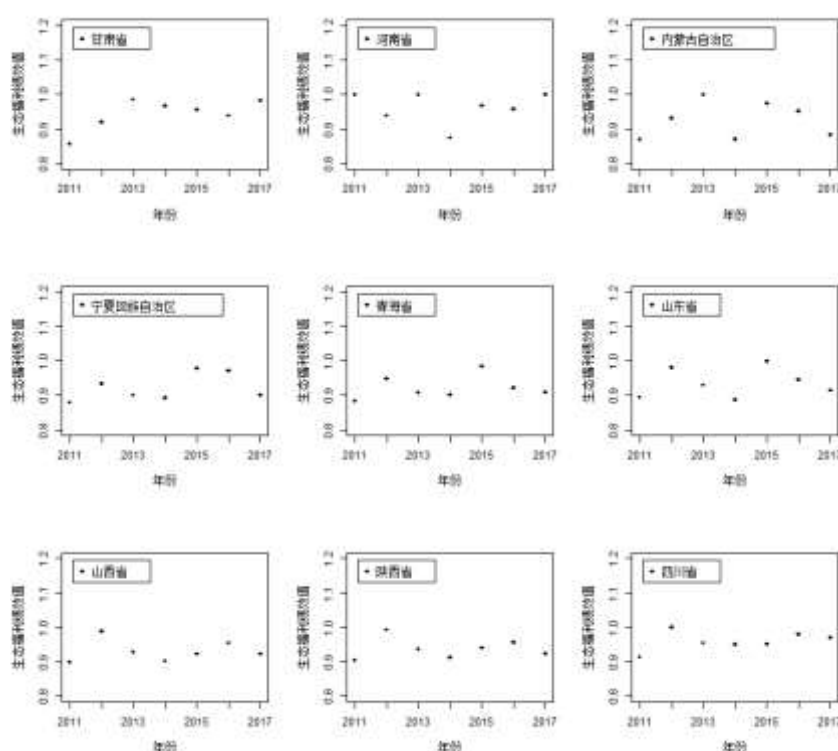


图 1 2011—2017 年黄河流域各省份生态福利绩效水平变化、

甘肃长期以来致力于生态产业的发展,文化旅游产业是其重要的支柱产业。2018 年甘肃政府先后出台了《关于构建生态产业体系推动绿色发展崛起的决定》《甘肃省推进绿色生态产业发展规划》,构建十大生态产业体系²。2011—2017 年间,甘肃经济发展水平(人均 GDP)、教育发展水平(平均受教育年限)、健康医疗水平(人口平均预期寿命)分别增加了 48.28%、6.23%、0.99%。与此同时,其在资源消耗和环境污染的 10 个投入指标中,除人均消费标准煤增加了 38.42%,余下的投入指标全部减少;其中,人均化学需氧量排放量、氨氮排放量、人均二氧化硫排放量、氮氧化物排放量等指标,2017 年的投入量较 2011 年均减少了 50%以上;此外,甘肃 2017 年的人均一般工业固体废物产生量较 2011 年减少了 20.15%,而黄河流域其他省份该指标的投入量全部有所上升。虽然甘肃经济发展水平在黄河流域 9 个省份中较为靠后,但是投入产出效率高,因而生态福利绩效综合水平位居第三。

对于生态福利绩效综合水平排名靠后的 3 个省份而言,青海是一个资源依赖型的西北内陆省份,其支柱产业是水电、燃料(油气)、盐湖化工和有色金属开采。这些工业对水资源的利用率很高,当环境容量和污染物中和能力都较低时,就会进一步扰乱生态系统。此外,其生态系统相对脆弱,生态环境价值较低。宁夏的现代煤化工产业是其重要的支柱产业之一,水资源过度消耗,污染物排放量较大,可能是造成其生态福利绩效水平较低的原因之一。内蒙古较低的生态福利绩效水平则可能是由地理位置偏远、经济基础薄弱、技术能力低等一系列因素造成的。

3.2.2 黄河流域生态福利绩效空间格局分析

空间依赖性主要体现为空间相关性和空间异质性。莫兰指数(Moran' sI Index)常被用来度量空间自相关程度,主要分为全局 Moran' sI 和局部 Moran' sI。前者主要反映区域内整体上的发展趋势,后者则主要反映局部间的空间关联及异质性。Moran' sI>0,表示存在空间正相关性,值越大则空间相关性越明显;Moran' sI<0,表示存在空间负相关性,值越小则空间差异性越大。

将 2011—2017 年黄河流域各省份的生态福利绩效值作为变量进行全局自相关和局部自相关分析。计算结果显示,2011 年、2013 年、2015 年和 2017 年的全局 Moran' sI 指数分别为-0.358、-1.047、-0.020 和-0.809,呈现出空间负相关关系。这说明黄河流域各省份的生态福利绩效水平整体上呈现离散分布现象,存在较为明显的空间差异。为了进一步考察局部间的空间异质性,对黄河流域各省份的生态福利绩效水平进行局部自相关分析,绘制局部 Moran 散点图以反映单个省份与其相邻省份之间的空间关系,并引入空间联系局部指标(local indicators of spatial association, LISA)以度量每个省份与其周边省份的生态福利绩效水平之间的显著空间集聚程度,具体如图 2 和图 3 所示。

Moran 散点图(图 2)中横轴表示本区域的生态福利绩效(Ecological Welfare Performance, EWP)水平,纵轴表示生态福利绩效水平的空间滞后值。从图中可以发现,2011—2017 年黄河流域各省份主要位于第二和第四象限,即高值异质区域(H-L 象限)和低值异质区域(L-H 象限)。这说明黄河流域中生态福利绩效水平较高的省份被生态福利绩效水平较低的省份所包围,生态福利绩效水平较低的省份被生态福利绩效水平较高的省份所包围,呈现出较高的局部空间异质性。

具体到各个省份来看(如图 3 所示),LISA 图标注了通过显著性检验的省域单元,可以发现:2011 年,四川、陕西和山西位于高值集聚区(H-H 象限),青海和甘肃位于低值集聚区(L-L 象限),河南则位于高值异质区域(H-L 象限);2013 年,大多数域单元的空间相关性不显著,仅有青海、甘肃和山东分别位于 L-H 象限、H-L 象限和 L-L 象限;2015 年,青海、四川、山西和宁夏均位于 L-L 象限,山东位于 H-H 象限;2017 年,四川、陕西位于 H-H 象限,山东位于 L-L 象限,甘肃位于 H-L 象限,青海及宁夏则位于 L-H 象限。综上所述,黄河流域各省份的生态福利绩效水平存在明显的空间差异,且空间依赖性和空间效应随时间的推移而发生变化。因此,有必要采用空间计量模型来分析黄河流域生态福利绩效水平的影响因素。

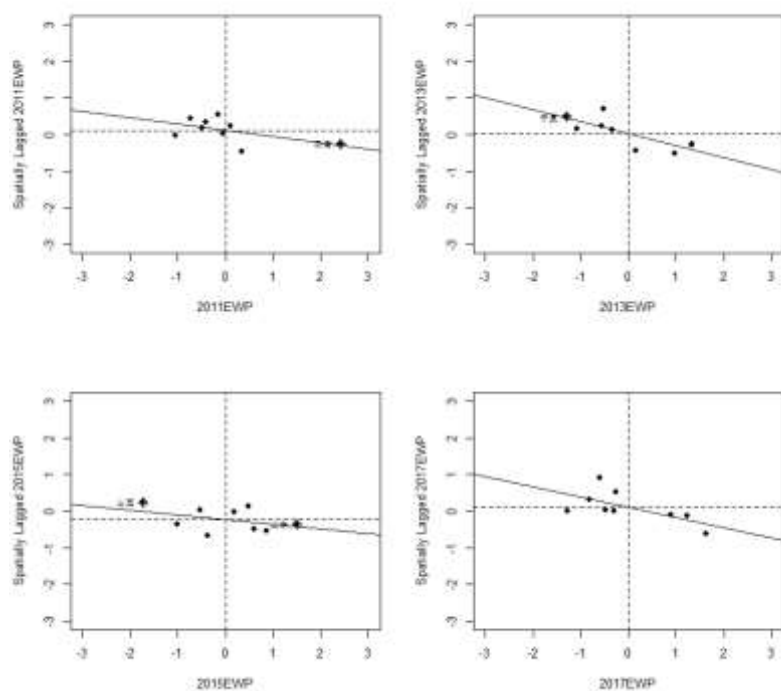


图2 2011—2017年黄河流域各省份生态福利绩效 Moran 散点图

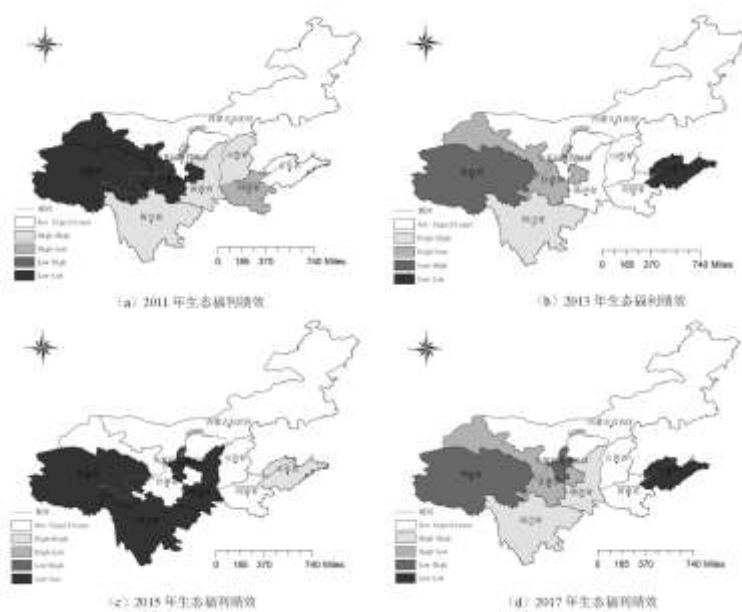


图3 2011—2017年黄河流域生态福利绩效的LISA图

4 生态福利绩效的影响因素分析

4.1 模型构建及选择

考虑到黄河流域生态福利绩效水平存在明显的空间差异，在此采用空间面板计量模型分析其影响因素。以黄河流域各省份的生态福利绩效值 (EWP) 作为被解释变量，选取产业结构、技术水平、城镇化、环境规制、医疗水平、经济外向性和社会性支出等变量作为解释变量，进而构建空间滞后模型 (SLM) 和空间误差模型 (SEM)。对所有变量数据进行取对数处理，面板数据的 SLM 和 SEM 的具体模型形式如下：

SLM 模型： $\ln EWP_{it} = \lambda W \times \ln EWP_{it} + \beta_1 \ln Z_{it} + \beta_2 W \times \ln Z_{it} + \varepsilon_{it}$ (4)

SEM 模型： $\ln EWP_{it} = \beta_1 \ln Z_{it} + \beta_2 W \times \ln Z_{it} + \rho W \times u_{it} + \varepsilon_{it}$ (5)

式中： EWP_{it} 表示黄河流域中 i 省在第 t 年的生态福利绩效水平； Z_{it} 表示 i 省在第 t 年的相关变量指标数据，具体包括产业结构 (INDS)、技术水平 (TEC)、城镇化 (UR)、环境规制 (ER)、医疗水平 (MT)、经济外向性 (FDI) 以及社会性支出 (SE)； W 表示空间距离权重矩阵； u_{it} 和 ε_{it} 分别表示随机扰动项和残差。

空间计量模型的选择可以通过 Anselin 等^[27]提出的 LM 检验来实现，比较 LM 空间滞后项、LM 空间误差项的显著性水平。在此，采用一个非空间面板模型进行 OLS 回归分析，然后对估计结果进行 LM 检验，检验结果如表 4 所示。可见，LM 空间滞后和稳健 LM 空间滞后项的显著性程度均高于 LM 空间误差和稳健 LM 空间误差项，因此，应选择 SLM 模型进行分析。

表 4 非空间面板模型的 LM 检验

检验类型	POLS	固定效应	随机效应
LM 空间滞后	12.05*** (0.0005)	10.79*** (0.0010)	12.05*** (0.0005)
LM 空间误差	8.9593*** (0.0027)	8.9258*** (0.0028)	8.9593*** (0.0027)
稳健 LM 空间滞后	7.0529*** (0.0079)	1.8652 (0.1720)	7.0529*** (0.0079)
稳健 LM 空间误差	3.9622** (0.0465)	0.0008 (0.9763)	3.9622** (0.0465)

4.2 空间计量结果分析

表 5 给出了四种效应的 SLM 模型估计结果，可以看出时空双固定效应的 SLM 模型的 log-L 值为 145.7378，高于其他三种效应，且模型中的空间滞后参数 λ 在 10% 的显著性水平通过检验，存在较为显著的空间依赖性。因此，将时空双固定效应作为基准模型来考察模型估计结果。

表 5 基于 SLM 模型的估计结果

变量	空间固定效应	时间固定效应	双固定效应	随机效应
常数项				0.5516* (1.8542)
lnINDS	0.0880 (1.0303)	0.0977* (1.7779)	0.1193 (1.5442)	-0.0105 (-0.2005)
lnTEC	0.0530** (2.4066)	0.0235*** (2.7842)	0.0574* (1.8806)	0.0256*** (2.8575)

lnUR	0.3828 (1.3423)	-0.2326*** (-2.9172)	0.4857* (1.6852)	-0.1584** (-2.4753)
lnER	0.0236 (1.1095)	0.0093 (0.7090)	0.0288 (1.4900)	0.0055 (0.3741)
lnMT	-0.2037** (-2.0833)	0.0112 (0.7743)	-0.2150** (-2.5712)	0.0142 (0.8086)
lnFDI	-0.0123 (-1.3842)	-0.0052 (-0.8860)	-0.0174** (-2.3518)	-0.0062 (-0.9006)
lnSE	-0.2617*** (-3.4261)	-0.1286** (-2.2789)	-0.1867** (-2.1598)	-0.0062 (-0.9006)
λ	0.3751*** (3.1062)	-0.3292* (-1.8834)	-0.3068* (-1.7974)	-0.1013* (-1.8411)
log-L	132.0854	137.0521	145.7378	122.033

从估计结果中可以看出，各变量的待估系数符号在不同效应的模型中基本保持一致。技术水平(TEC)、城镇化(UR)在 10%的水平下统计显著，对生态福利绩效具有正向影响。医疗水平(MT)、经济外向性(FDI)以及社会性支出(SE)对生态福利绩效具有负向影响，且均在 5%的水平下通过显著性检验。此外，产业结构(INDS)和环境规制(ER)对生态福利绩效具有正向影响，但统计上不显著。

具体来看，技术水平(TEC)每增加 1%，生态福利绩效会提高 0.0574%。技术水平的提高能够带来企业生产技术的革新、生产效率的提高，有利于提高资源、能源的利用效率，改进二氧化硫、废水、固体废弃物等污染物的处理技术，进而改善生态环境。此外，技术水平的提高还涉及居民生活的各个方面，使生活更加便捷高效，有利于提高居民的生活质量，进而提高生态投入转化为经济福利的效率，促进了生态福利绩效水平的提升。

城镇化(UR)每增加 1%，生态福利绩效会提高 0.4087%。新型城镇化建设的稳步推进，带动了乡村地区的经济发展，有利于进一步缩小城乡发展差距。公路交通、保障房等基础设施建设的完善，以及医疗保险、基础教育等社会保障体系的健全，使得更多的居民能够享受到高效、优质的公共服务，提高了社会的整体福利水平，进而使得生态福利绩效得到提升。

医疗水平(MT)每增加 1%，生态福利绩效会降低 0.2150%。理论上讲，医生数量的增加、医疗水平的提高能够帮助居民享受更好的医疗服务，进而增加居民的平均预期寿命，使得生态福利绩效提升。但是，事实上目前的医疗资源分配极不均衡，大多数医生及高级医疗设备集中在城市的大中型医院，区县及农村的医疗资源相对匮乏。新增医生大多流向城市地区的各种医院，在一定程度上加剧了居民看病难的问题，因此导致生态福利绩效的降低。

经济外向性(FDI)每增加 1%，生态福利绩效会降低 0.0174%。这是因为黄河流域各省份大多处于中西部内陆地区，在过去的粗放型发展模式下，引进外资、承接东部地区的产业转移，主要集中在高污染、高能耗的相关行业，环境污染、资源过度消耗等影响居民健康和生活质量的问题较为突出，进而导致生态福利绩效的降低。

社会性支出(SE)每增加 1%，生态福利绩效会降低 0.1867%。这是因为黄河流域整体处于城镇化、工业化中期，属于经济发展高度集聚阶段。城市对农村，大城市对小城市，经济发达地区对欠发达地区都存在高度虹吸效应，导致医疗、科技还处于快速向城市集聚的状态。广大农村地区的科技卫生投入仍然相对不足，其经济社会发展受到挤压，因此生态福利绩效水平下降。

产业结构(INDS)和环境规制(ER)对生态福利绩效具有正向影响，但其待估系数在基准模型中未通过显著性检验。时间固定效应模型中产业结构(INDS)在 10%的显著性水平下统计显著，但环境规制(ER)在所有效应模型中均未通过显著性检验。这表明黄河流域各省份的产业结构转型所带来的环境正向溢出效应逐渐显现但还不够明显。而环境治理投资等政策措施，需要引导企业等经济主体改变传统生产经营方式，在追求利益最大化的同时注重资源利用效率、环境保护。这是一个长期的过程，短期内治

理效果尚未凸显。

5 主要结论与政策建议

本文采用 SBM-DEA 模型方法对黄河流域各省份生态福利绩效水平进行了评价分析, 研究发现: (1) 黄河流域整体生态福利绩效综合水平小于 1, 未能实现 DEA 有效。(2) 黄河流域生态福利绩效综合水平呈现出“中部最高、东部和西部次之”“下游最高、上游和中游次之”的态势。(3) 按省份的生态福利绩效排名来看, 河南、四川、甘肃依次位居前 3 名, 内蒙古、宁夏、青海位居末 3 名。(4) 黄河流域生态福利绩效水平呈现出较高的局部空间异质性, 存在明显的空间差异且空间依赖性和空间效应随时间的推移而发生变化。

在上述分析的基础上, 使用空间滞后模型对黄河流域生态福利绩效的影响因素进行分析, 实证结果显示: 技术水平、城镇化对生态福利绩效具有显著的正向影响。医疗水平、经济外向性以及社会性支出则对生态福利绩效具有显著的负向影响。此外, 产业结构和环境规制对生态福利绩效具有正向影响, 但统计上不显著。

结合上述研究结论, 对于黄河流域生态福利绩效水平的提高提出以下政策建议: 第一, 积极推进城镇化建设, 统筹城乡协调发展。在推进新型城镇化建设的过程中, 不仅要完善城乡的基础设施建设和社会保障体系, 还需积极引导医疗资源、科教文卫投入等适当向农村地区倾斜。加大农业科技投入, 实现科技扶农到科技富农的转变。

第二, 加强科技成果转化, 进一步推动传统产业结构转型升级。加大科技研发投入力度, 深化产学研合作, 以科技成果转化带动技术进步, 进而改进生产技术, 提高生产效率。以技术进步带动企业技术创新、生产和经营模式创新, 努力实现产业结构优化与环境改善同步发展、经济效益和生态效益共同提升。

第三, 注重生态环境保护, 构建绿色低碳清洁高效的现代产业体系。黄河流域以中西部省份为主, 在引进外资、承接东部产业转移的过程中, 要注重生态环境保护, 不能盲目追求短期经济效应, 应注重经济和环境的协调发展, 因地制宜地构建绿色低碳清洁高效的现代产业体系。

参考文献:

- [1] 元朋, 徐昱东, 邓丽娜. 国内外生态福利绩效研究综述[J]. 沈阳工业大学学报(社会科学版), 2017(6): 521-526.
- [2] Rees W E. Ecological footprint and appropriate caring capacity, environment and urbanization[J]. 1992, 4(2): 121-130.
- [3] 杨爱婷, 宋德勇. 中国社会福利水平的测度及对低福利增长的分析——基于功能与能力的视角[J]. 数量经济技术经济研究, 2012(11): 3-17.
- [4] 刘国平, 朱远. 碳排放福利绩效研究: 基于 G20 数据[J]. 科学学研究, 2011(10): 1504-1510.
- [5] 付伟, 赵俊权, 杜国祯. 资源可持续利用评价——基于资源福利指数的实证分析[J]. 自然资源学报, 2014(11): 1902-1915.
- [6] 诸大建, 张帅. 生态福利绩效与深化可持续发展的研究[J]. 同济大学学报(社会科学版), 2014(5): 106-115.
- [7] 刘国平, 朱远. 碳排放约束下的中国省域全要素福利绩效研究[J]. 软科学, 2014(8): 88-93.

-
- [8]龙亮军,王霞.上海市生态福利绩效评价研究[J].中国人口·资源与环境,2017(2):84-92.
- [9]龙亮军,王霞,郭兵.基于改进DEA模型的城市生态福利绩效评价研究——以我国35个大中城市为例[J].自然资源学报,2017(4):595-605.
- [10]龙亮军.基于两阶段Super-NSBM模型的城市生态福利绩效评价研究[J].中国人口·资源与环境,2019(7):1-10.
- [11]龙亮军.中国主要城市生态福利绩效评价研究——基于PCA-DEA方法和Malmquist指数的实证分析[J].经济问题探索,2019(2):69-79.
- [12]诸大建,张帅.生态福利绩效及其与经济增长的关系研究[J].中国人口·资源与环境,2014(9):59-67.
- [13]朱远,刘国平.全要素福利绩效的时空演化与影响因素研究——以长江经济带11省市为例[J].东南学术,2017(6):102-109.
- [14]郭炳南,卜亚.长江经济带城市生态福利绩效评价及影响因素研究——以长江经济带110个城市为例[J].企业经济,2018(8):30-37.
- [15]何林,陈欣.基于生态福利的陕西省经济可持续发展研究[J].开发研究,2011(6):24-28.
- [16]刘国平,诸大建.中国省域碳排放福利绩效研究[J].会计与经济研究,2013(6):74-81.
- [17]刘国平,朱远.碳排放约束下的中国省域全要素福利绩效研究[J].软科学,2014(8):88-93.
- [18]韩瑾.生态福利绩效评价及影响因素研究——以宁波市为例[J].经济论坛,2017(10):49-53.
- [19]李成宇,张士强,张伟,等.中国省际生态福利绩效测算及影响因素研究[J].地理科学,2019(12):1875-1883.
- [20]杜慧彬,黄立军,张辰,等.中国省级生态福利绩效区域差异性分解和收敛性研究[J].生态经济,2019(3):187-193.
- [21]方时姣,肖权.中国区域生态福利绩效水平及其空间效应研究[J].中国人口·资源与环境,2019(3):1-10.
- [22]Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research,2001,130(3):498-509.
- [23]Charnes A,Cooper W W,Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J].European Journal of Operational Research,1979,2(6):429-444.
- [24]Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research,2002,143(1):32-41.
- [25]The Human Development Report Office. Human development report 2014—Sustaining human progress:Reducing vulnerabilities and building resilience[M].New York:Oxford University Press,2014.

[26]Tone K.Variations on the theme of slacks-based measure of efficiency in DEA[J].European Journal of Operational Research,2010,2009(3):901-907.

[27]Anselin L,Bera A K,Florax R,et al.Simple diagnostic tests for spatial dependence[J].Regional Science and Urban Economics,1996,26(1):77-104.

注释:

1 黄河流经的9个省份包括:青海、四川、宁夏、甘肃、内蒙古、陕西、山西、河南、山东。此外,氨氮排放量、氮氧化物排放量等生态福利绩效评价指标数据自2011年开始统计,2018年及之后的数据尚未公布,因此,实证分析的时间窗口为2011~2017年。

2 甘肃十大生态产业主要包括清洁生产、节能环保、清洁能源、先进制造、文化旅游、通道物流、循环农业、中医中药、数据信息与军民融合。