

黄河流域科技创新与生态经济研究

——基于 Super-SBM 模型和 PVAR 模型

孙建国^{1,2} 王亚杰² 张海艳²¹

(1. 河南大学 黄河文明与可持续发展研究中心, 河南 开封 475004;

2. 河南大学 经济学院, 河南 开封 475004)

【摘要】: 以沿黄河流域 9 个省份为样本, 综合运用 Super-SBM 模型、Malmquist 指数、ArcGIS 可视化分析、PVAR 模型等方法, 测评黄河流域地区科技创新效率和生态经济效率, 分析其时空演变趋势, 并对两者的相互作用关系进行模拟。结果表明: 黄河流域科技创新效率目前处于中等效率水平, 生态经济效率处于较低水平; 黄河流域科技创新效率和生态经济效率表现出上升趋势, 科技创新全要素生产率的提高主要依靠技术进步指数拉动, 生态经济全要素生产率的提高主要依靠技术效率指数拉动; 各地区科技创新效率和生态经济效率水平差距明显但呈现出缩小态势; 科技创新和生态经济存在正向作用关系, 生态经济对科技创新的影响大于科技创新对生态经济的影响, 两者的相互影响随着时间的推移不断强化。

【关键词】: 科技创新 生态经济 Super-SBM 模型 PVAR 模型

【中图分类号】: F062.2; F061.5 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)09-061-09

黄河作为我国第二长河, 流域横跨我国东部、中部和西部, 不仅是我国重要的生态廊道, 更在我国的经济发展中具有举足轻重的作用^[1]。然而, 由于黄河流域生态的脆弱性和地区条件差异, 黄河流域发展存在着水资源缺乏、生态环境恶化、贫困人口众多、经济发展质量不高等问题和困难^[2-4]。通过 1990—2019 年全国人均 GDP 和黄河流域 9 个省份人均 GDP 平均值的对比可以发现, 黄河流域 9 个省份人均 GDP 的平均值一直低于全国人均 GDP 的数值, 且近些年表现出差距拉大的趋势, 这说明黄河流域地区的经济发展在全国处于劣势地位。

学术界对于黄河流域经济问题的研究, 2018 年前集中于黄河水患对区域经济的影响^[5-6]、黄河三角洲地区生态问题和经济建设^[7-9]和黄河流域经济空间分异及空间开发问题^[10-14]等方面。2019 年之后, 越来越多的学者关注黄河流域经济高质量发展现状、存在的问题及可行性发展路径。徐勇和王传胜^[2]对生态保护以及实现经济高质量发展的战略框架、发展路径和问题对策进行了研究, 何爱平和安梦天^[15]分析了水土流失、旱灾、洪涝等黄河流域频发自然灾害的减灾路径。崔盼盼等^[16]对 2012 年、2015 年和 2017 年黄河流域生态环境现状和高质量发展水平进行了测度, 并分析了两者的时空耦合特征。张可云和张颖^[17]从河流上中下游、城市群、城市三个空间尺度, 对黄河流域区域经济发展差异进行研究, 发现黄河流域区域经济发展差异明显但是呈现出缩小的态势。薛明月等^[18]对于黄河流域旅游经济的空间分异格局进行了研究, 发现其空间依赖性较强, 主要的影响因素有交通、旅游资源禀赋和基础设施。王胜鹏等^[19]测算了黄河流域旅游生态效率, 并对生态效率和旅游经济的相互作用进行了分析。

作者简介: 孙建国, 博士, 教授, 研究方向为经济史、区域经济学。E-mail:sjghndx2003@163.com

基金项目: 国家社会科学基金重点项目“中国近代证券市场信用机制研究”(18AZS019)

科学和技术对一个国家和地区的经济发展和安全具有重要的影响^[20-21]，科技创新是影响区域经济可持续的重要因素^[22-24]，科技创新效率则体现了区域创新资源配置水平和效率^[25]。生态经济效率是评价一个地区经济高质量发展的重要参考指标，对于绿色、协调发展的实现具有重要作用^[26]。目前，国内关于生态经济效率的研究主要集中在京津冀地区、长三角地区、珠三角城市群和我国西部地区^[25-26]，对于黄河流域生态经济效率的研究还相对缺乏。对黄河流域地区科技创新效率和生态经济效率的水平进行测度，并厘清两者之间的相互作用关系，有利于黄河流域的生态保护和经济高质量发展的实现。

基于以上梳理，本研究主要的边际贡献有两点：第一，对黄河流域科技创新效率和生态经济效率水平进行测评与分析，填补相关的理论空白。第二，对黄河流域科技创新效率和生态经济效率的空间分布特征进行分析，为区域经济协调发展提供建议。

1 研究区域概况及理论基础

1.1 研究区域概况

黄河流域作为我国重要的经济地带，上游流经青海、甘肃、四川和宁夏，中游经过宁夏、内蒙古、陕西、山西和河南，下游流经河南和山东，共流经我国 9 个地区。截至 2019 年年末的统计数据显示，沿黄河流域 9 个地区聚集了我国近三分之一的人口，生产总值合计 24.7 万亿元，约占全国 GDP 总值的四分之一。从人均 GDP 数值来看，2019 年 9 个地区中最高的山东为 70653 元，低于全国平均水平 70892 元，最低的甘肃仅为 32995 元。黄河流域总体经济发展水平在全国处于劣势地位，且地区差异明显，上游地区和中游的陕西是贫困人口集中的地区，中下游地区则相对发达^[27-28]。

1.2 相关理论基础

对于科技创新和经济增长的讨论由来已久。古典经济增长理论指出了技术进步对经济增长具有积极的影响。熊彼特第一次提出创新的概念，并且把创新作为一个单独的变量研究其对经济增长的作用，形成了“熊彼特创新理论”^[29]。我国的发展历程和现有的理论研究都表明，科技创新进步能够推动经济发展。科技创新可以通过优化资源配置效率提升全要素生产率、推动产品和服务质量的提高和经济发展方式的转变，经济发展则为科技创新提供更好的创新环境、更多的科技创新投入和更广阔的应用空间^[30]。

生态环境和经济发展是相互影响、对立而统一的关系。生态环境是人类经济活动的根本，为人类的一切活动提供最原始的材料，而经济发展又影响着生态环境。粗放型的、不节制的经济发展方式会造成资源过度损耗、环境污染等问题，循环、绿色的经济发展方式则可以在经济发展的过程中减少对生态环境的破坏，实现与生态环境的协调发展。随着生态环境问题的凸显，越来越多的学者关注生态经济。生态经济反映了经济发展与生态环境和自然资源基础的关系，生态经济效率则是对生态经济发展水平及质量的测量^[25-26]。

就科技创新和生态环境的关系而言，两者也是相互作用的关系。科技创新可以推动经济向协调、循环、可持续的方向发展，有利于资源节约、污染治理和生态环境保护。同时，科技创新能够提高生态环境治理技术，而生态环境的改善为科技创新提供必不可少的物质基础。对于生态环境保护的迫切推动了环保技术的提高，严格的污染治理政策和生态保护政策为企业创新能力和竞争力的提高提供动力^[30-31]。

总的来说，科技创新、生态环境和经济发展之间存在着密切的联系，三者相互联系、相互制约。科技创新效率反映区域经济技术创新资源的配置水平，生态经济效率反映区域生态环境和经济绿色发展的水平，对于科技创新效率和生态经济效率的研究涵盖了科技创新、生态环境和经济发展三个要素。

2 研究方法和数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 Super-SBM 模型

目前，用于效率的测评方法主要有数据包络分析法 (DEA)、随机前沿分析 (SFA) 以及成分因素分析 (PCA) 等，其中数据包络分析的应用相对广泛。选用 Super-SBM 模型对科技创新效率进行测评，产出导向的 SBM 超效率模型如下：

$$\begin{aligned} \min \rho &= \frac{1}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{rk}}} \\ s.t. & \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j \leq x_{ik} \\ & \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^+ \leq y_{rk} \\ & \lambda_j, s^+ \geq 0 \\ & i=1, 2, \dots, m; r=1, 2, \dots, s; j=1, 2, \dots, n (j \neq k) \end{aligned} \quad (1)$$

式中： ρ 表示科技创新效率值， n 代表决策单元个数。

2.1.2 非期望产出 Super-SBM 模型

数据包络分析法也是评价生态经济效率的一种常用方法。考虑到生态经济效率决策中的非期望产出，选择基于非期望产出的 Super-SBM 模型对生态经济效率进行测评，本文所用模型公式如下：

$$\begin{aligned} \min \rho &= \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{\bar{x}}{x_{ik}} \right)}{\frac{1}{r_1 + r_2} \left(\frac{\sum_{s=1}^{r_1} \bar{y}^d}{y_{sk}^d} + \frac{\sum_{q=1}^{r_2} \bar{y}^u}{y_{qk}^u} \right)} \\ s.t. & \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j \leq \bar{x} \\ & \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{sj}^d \lambda_j \geq \bar{y}^d \\ & \bar{y}^u \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{qj}^u \lambda_j \\ & \bar{x} \geq x_k; \bar{y}^d \leq y_k^d; \bar{y}^u \geq y_k^u; \lambda_j \geq 0 \\ & i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; s=1, 2, \dots, r_1; q=1, 2, \dots, r_2 \end{aligned} \quad (2)$$

式中： n 代表决策单元个数， x_{ik} 表示第 k 个单元的第 i 项投入， $x_{ij} \lambda_j$ 、 $y_{sj}^d \lambda_j$ 和 $y_{qj}^u \lambda_j$ 分别表示投入矩阵、期望产出矩阵和非期望产出矩阵， λ 为各个决策单元的权重变量， ρ 表示生态经济效率值。

2.1.3Malmquist 指数

DEA 模型的效率值只能反映某一时间的技术效率,通过 Malmquist 指数(MI)可以对生产率的变动以及生产率变动的原因做进一步的分析。Malmquist 指数(MI)的值等于技术进步指数(TC)和技术效率变化指数(EC)值的乘积。本文选择得到最广泛应用的相邻前沿交叉参比 Malmquist 指数,具体公式参见前人研究^[14],本文不再赘述。

2.1.4PVAR 模型

PVAR 模型于 1988 年首次提出,目前已经发展成为综合考虑时间效应和固定效应的成熟模型。本文构建的 PVAR 模型如下:

$$Y_{it} = \gamma_0 + \sum_{j=1}^k \gamma_j Y_{it-j} + \alpha_i + \beta_i + \varepsilon_{it}$$
 (3)

式中: Y_{it} 是包含科技创新全要素生产率和生态经济全要素生产率的列向量, γ_0 是截距项向量, α_i 是个体效应向量, β_i 是时间效应向量; γ_j 是滞后 j 阶矩阵; ε_{it} 为随机误差项。

2.2 研究数据

本文以黄河流域的 9 个地区为研究对象。由于 2003 年之前和 2018 年、2019 年地区环境、能源消耗、经费投入等指标不同程度的缺失,选取 2003—2017 年的数据进行研究。在计算科技创新效率时,考虑到科技创新成果转化的滞后效应,参照现有研究选择滞后期为一年。样本数据主要来源于《中国统计年鉴》(2004—2019 年)、《中国能源统计年鉴》(2004—2018 年)和《中国科技统计年鉴》(2004—2018 年)以及地方统计年鉴。

2.3 指标体系构建

参照现有学者的研究^[25-26],并考虑到数据的可得性,构建以下指标体系,如表 1 所示。

表 1 科技创新效率和生态经济效率指标体系

效率名称	一级指标	二级指标	指标说明	时间区间
科技创新效率	投入变量	资本投入	R&D 经费支出/万元	2003—2017
		劳动力投入	科研从业人员数量/万人	
		资源投入	研发经费占 GDP 比重/%	
	期望产出	直接产出	专利授权量/项	2004—2018
		间接产出	技术市场成交额/万元	
生态经济效率	投入变量	资本投入	固定资产存量/万元	2003—2017
		劳动力投入	年末社会从业人员数/万人	
		资源投入	资源消耗/吨标准煤	

	期望产出	社会产出	人均 GDP/元	2003—2017
	非期望产出	环境负产出	工业废气/万吨	2003—2017
			工业固体废弃物/万吨	

3 实证分析

3.1 科技创新

3.1.1 科技创新 DEA 效率分析

用 MaxDEApro.6 软件操作, 得到的黄河流域 9 个地区科技创新效率的结果如表 2 所示。参照学术界现有的研究成果^[25], 将效率值低于 0.6 定义为低效率, 0.6~0.8 定义为较低效率, 0.8~1.0 定义为中等效率, 效率值大于 1 定义为高效率。

表 2 2003—2017 年黄河流域科技创新效率值

年份	山西	内蒙古	山东	河南	四川	陕西	甘肃	青海	宁夏	均值
2003	0.355	1.887	1.901	0.786	0.412	0.351	0.384	0.253	0.494	0.576
2004	0.337	1.498	4.644	1.003	0.323	0.255	0.525	0.267	0.487	0.619
2005	0.410	1.369	1.702	1.224	0.747	0.338	1.244	0.360	0.241	0.682
2006	0.526	1.159	2.320	1.170	0.787	0.435	1.283	1.194	0.313	0.865
2007	0.583	0.834	2.456	0.947	1.068	0.509	1.198	1.411	0.523	0.934
2008	0.518	0.658	1.981	0.862	1.164	0.570	1.220	1.429	0.243	0.818
2009	0.483	1.107	2.214	0.825	1.239	1.006	1.087	1.387	0.229	0.908
2010	0.387	0.509	1.649	0.732	1.086	1.271	1.017	1.260	0.417	0.824
2011	0.382	1.107	1.452	0.644	1.159	1.073	1.123	1.056	0.257	0.810
2012	0.374	0.342	1.446	0.444	1.190	1.440	1.058	0.642	0.084	0.585
2013	0.305	0.121	1.387	0.428	1.139	1.465	0.952	0.744	0.145	0.538
2014	0.276	0.116	1.305	1.000	1.162	1.426	0.927	1.235	0.136	0.604
2015	0.205	0.080	1.293	1.027	1.061	1.484	0.793	1.290	0.133	0.551
2016	0.452	0.110	1.348	1.083	1.084	1.377	0.905	1.457	1.109	0.815
2017	0.574	0.101	1.282	1.125	1.398	1.153	0.810	1.655	1.054	0.832
均值	0.396	0.451	1.770	0.849	0.938	0.803	0.926	0.898	0.300	0.718

整体来看，黄河流域地区的科技创新效率呈波动上升的趋势。2003 年，地区的效率均值为 0.576，科技创新处于低效率。经过 15 年的发展，2017 年黄河流域地区的效率均值为 0.832，虽然只是中等效率水平，但是已经取得了明显的进步。分地区来看，2003—2017 年，黄河流域 9 个地区中有 7 个地区的科技创新效率都得到了不同程度的提升。其中，青海、陕西和四川科技创新效率提升的程度最高，分别提升了 1.402、0.986 和 0.802；宁夏、甘肃和河南次之，分别提升了 0.560、0.426 和 0.338；山西在 7 个地区中提升的最少，为 0.219。这说明 2003—2017 年，黄河流域大部分地区科技创新的力度和成效在不断增强。然而，2003—2017 年，内蒙古和山东的科技创新效率表现出明显的下降趋势。内蒙古的创新效率从 2003 年的 1.887 下降到 2017 年的 0.101，下降了 1.786，目前的科技创新效率处于 9 个地区中最低的水平，说明其科技创新能力下降；山东的科技创新效率由 2003 年的 1.901 下降到 2017 年的 1.282，虽然在 9 个地区中仍然属于较高水平，但是却下降了 0.619，说明山东科技创新资源利用效率不高。

3.1.2 科技创新效率时空演变

选取研究区间开始年份 2003 年、中间年份 2010 年和末尾年份 2017 年黄河流域各地区的科技创新效率值，按照上述效率分区将科技创新效率分为四个梯度，运用 ArcMap10.2 软件做出黄河流域科技创新效率的空间分布图，分析其地区空间分布差异和时空演变特征，如图 1 所示。

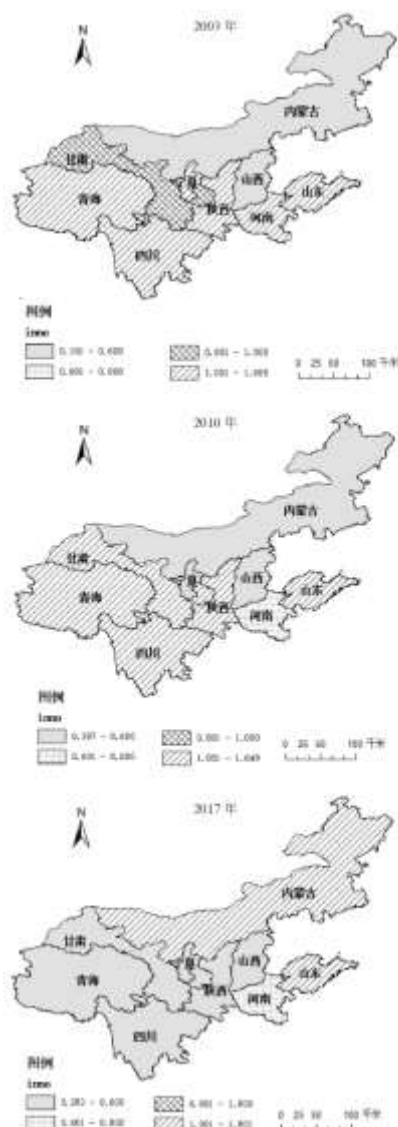


图 1 2003 年、2010 年和 2017 年黄河流域科技创新效率分布

从空间分布上来看，黄河流域地区间的科技创新效率地区差异明显，但是表现出显著的缩小趋势。2003 年，黄河流域科技创新水平低效率、较低效率、中等效率和高效率的地区占比是 6：1：0：2。黄河流域的西部、南部和中部地区都处于低效率区，东部和北部地区效率水平较高。2010 年，地区科技创新效率水平格局发生了明显的改变，占比变为 3：1：0：5，科技水平高效率区明显增多，低效率区域减少。2017 年与 2010 年相比，高效率范围区继续扩大，低效率、较低效率、中等效率和高效率占比变为 2：0：1：6。总的来看，2003 年和 2017 年对比，地区科技创新效率水平变化明显，高效率区范围不断扩大，低效率区范围缩小，高效率区和低效率区甚至表现出逆转的现象。区域内部的科技创新效率差异呈现出缩小的态势，往均衡的方向发展。

3.1.3 科技创新 Malmquist 指数分析

用 MaxDEApro.6 软件进行操作，得到的黄河流域科技创新 Malmquist 指数的结果如表 3 所示。

表 3 2003—2017 年黄河流域科技创新平均 Malmquist 指数

省份	Malmquist 指数(MI)	效率改变(EC)	技术进步(TC)
山西	1.145	1.035	1.106
内蒙古	0.907	0.811	1.118
山东	1.120	0.972	1.152
河南	1.133	1.026	1.105
四川	1.148	1.091	1.052
陕西	1.205	1.089	1.107
甘肃	1.148	1.055	1.089
青海	1.171	1.144	1.024
宁夏	1.166	1.056	1.105
均值	1.124	1.027	1.095

可以看出，黄河流域各地区科技创新 Malmquist 指数地区差异明显，9 个地区中有 8 个地区大于 1，说明大部分地区呈现上升态势。科技创新 Malmquist 指数均值为 1.124，说明 2003—2017 年黄河流域科技创新效率年均提高 12.4%。分地区来看，内蒙古的平均 Malmquist 指数值为 0.907，说明其科技创新效率年均下降 9.3%。山东的 Malmquist 指数均值为 1.120，年均提高 12%。其他 7 个地区的科技创新 Malmquist 指数均值在 1.133~1.205 之间，最高的为陕西，年均上升 20.5%；较低的为河南，年均上升 13.3%。

从 Malmquist 指数的分解效率来看，全要素生产率的进步得益于技术效率指数和技术进步指数的共同拉动，技术进步指数的拉动作用大于技术效率指数。在 9 个地区中，8 个地区的科技创新全要素生产率提升，其提升来源主要可以分为三种类型：(1) 技术效率指数和技术进步指数共同促进，主要依靠技术进步，有山西、河南、陕西、甘肃和宁夏，说明这些地区在技术创新方面取得了不错的进步。(2) 技术效率指数和技术进步指数共同拉动，主要依靠技术效率提高，有四川和青海。(3) 技术进步拉动，

技术效率抑制，仅有山东。内蒙古的科技创新全要素生产率下降主要是受到了技术效率的抑制，其科技进步指数年均上升 11.8%，但是技术效率年均下降 18.9%，导致其全要素生产率下降。

3.2 生态经济

3.2.1 生态经济 DEA 效率分析

选择非期望产出的 Super-SBM 模型，用 MaxDEApro.6 软件得到的生态经济效率的结果如表 4 所示。

表 4 2003—2017 年黄河流域生态经济效率值

年份	山西	内蒙古	山东	河南	四川	陕西	甘肃	青海	宁夏	均值
2003	0.382	0.454	0.284	0.267	0.244	0.405	0.453	1.371	0.703	0.436
2004	0.366	0.477	0.306	0.268	0.268	0.422	0.450	1.346	0.738	0.448
2005	0.391	0.525	0.343	0.312	0.311	0.485	0.507	1.266	0.809	0.493
2006	0.390	0.499	0.360	0.321	0.319	0.513	0.525	1.281	1.035	0.515
2007	0.389	0.552	0.393	0.324	0.319	0.513	0.532	1.264	1.034	0.526
2008	0.384	0.569	0.409	0.346	0.324	0.524	0.538	1.250	1.060	0.537
2009	0.377	0.588	0.385	0.315	0.320	0.544	0.526	1.208	1.025	0.526
2010	0.375	0.575	0.403	0.362	0.320	0.555	0.538	1.193	1.002	0.535
2011	0.468	0.671	0.561	0.493	0.577	0.723	0.630	1.236	1.296	0.693
2012	0.463	0.663	0.563	0.499	0.584	0.730	0.637	1.242	1.307	0.696
2013	0.446	0.672	0.579	0.494	0.593	0.750	0.663	1.234	1.292	0.700
2014	0.440	0.667	0.590	0.513	0.604	0.754	0.667	1.234	1.278	0.704
2015	0.435	0.641	0.580	0.514	0.621	0.726	0.647	1.226	1.308	0.697
2016	0.449	0.691	0.544	0.668	0.625	0.802	0.724	1.190	1.299	0.736
2017	0.584	0.647	0.631	0.737	0.672	0.830	0.737	1.194	1.260	0.781
均值	0.419	0.588	0.447	0.408	0.419	0.602	0.578	1.248	1.074	0.591

整体来看，黄河流域地区的生态经济效率表现出稳定上升的趋势，15 年间，地区的效率均值由 0.436 上升到了 0.781，效率水平仍然有待提高。分地区来看，青海一直处于完全效率水平，这与青海立足于生态环境发展经济的政策导向有关。2003—2017 年，除了青海之外，黄河流域的其他 8 个地区生态经济效率都得到了不同程度的提升，提升范围为 0.193~0.556。其中，宁夏的生态经济效率提升最快，从 0.703 提升到了 1.260，2017 年居于黄河流域最高水平，说明其生态环境和经济发展协调度不断

提升。内蒙古生态经济效率提升的速度最慢，目前仍然处于较低效率水平。

3.2.2 生态经济效率时空演变

选取研究区间开始年份 2003 年、中间年份 2010 年和末尾年份 2017 年黄河流域各地区的生态经济效率值，按照前述效率分区分为四个梯度，运用 ArcMap10.2 软件做出黄河流域生态经济效率的空间分布图，分析其地区空间分布差异和时空演变特征，如图 2 所示。

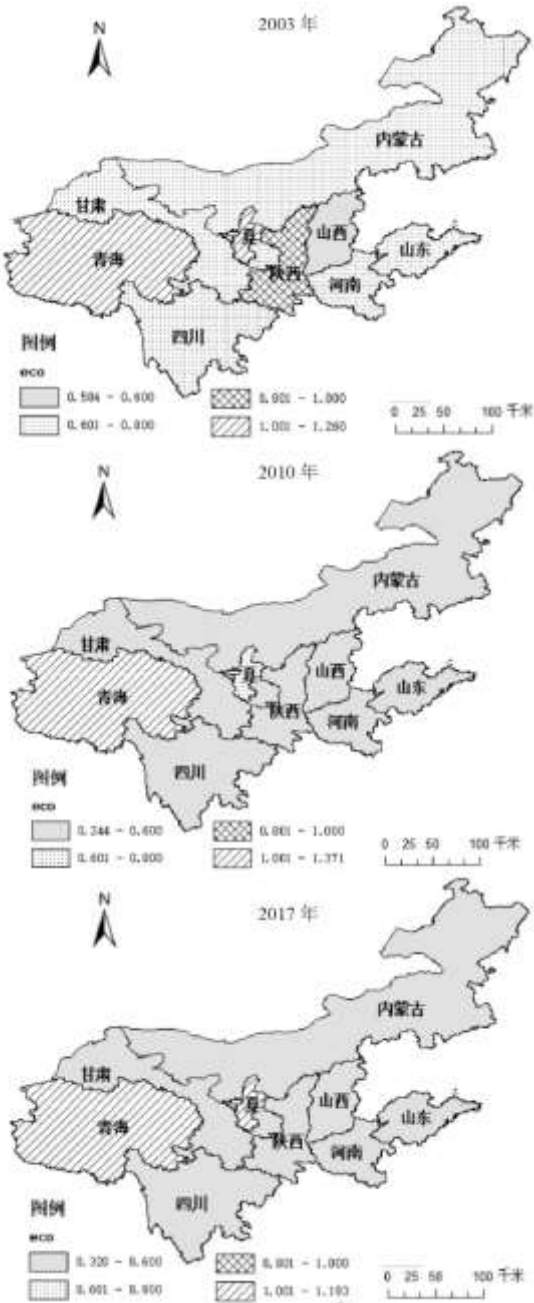


图 2 2003 年、2010 年和 2017 年黄河流域生态经济效率分布图

由图 2 可知, 2003 年, 黄河流域生态经济水平低效率、较低效率、中等效率和高效率的地区占比是 7:1:0:1, 2010 年为 7:0:0:2, 2017 年为 1:5:1:2。这说明黄河流域地区整体生态经济效率水平提高, 且地区差距缩小。在 9 个地区中, 青海的生态经济效率一直位于高效率区, 说明其生态经济发展较好; 山西一直处于低效率区, 其生态经济效率有待提升。在 2003 年和 2010 年的分布图中, 代表低效率水平的浅色区域占据了黄河流域的大部分, 但是在 2017 年的分布图中, 最低效率水平仅剩山西一个地区, 内蒙古、甘肃、四川、河南和山东均由低效率区进入了中低效率区, 陕西由低效率区进入了高效率区。总的来说, 黄河流域生态经济效率水平提高, 说明近些年黄河流域的生态保护力度加强, 经济朝着循环、绿色的方向进一步发展, 生态环境和经济发展之间的平衡度提高。但是黄河流域生态经济总体水平仍然不高, 没有达到全效率阶段, 存在进一步的提升空间, 生态经济的发展仍然是需要关注的重点。

3.2.3 生态经济 Malmquist 指数分析

选择非期望产出的 Super-SBM 模型, 用 MaxDEApro. 6 软件得到的黄河流域生态经济 Malmquist 指数的结果如表 5 所示。

表 5 2003—2017 年黄河流域生态经济平均 Malmquist 指数

省份	Malmquist 指数 (MI)	效率改变 (EC)	技术进步 (TC)
山西	1.056	1.031	1.024
内蒙古	1.061	1.026	1.034
山东	1.059	1.059	1.001
河南	1.091	1.075	1.015
四川	1.086	1.075	1.011
陕西	1.068	1.052	1.015
甘肃	1.050	1.035	1.014
青海	1.020	0.990	1.030
宁夏	1.026	1.043	0.985
均值	1.057	1.043	1.014

由表 5 可以看出, 黄河流域各地区生态经济平均 Malmquist 指数地区差异相对较小, 黄河流域地区的生态经济 Malmquist 指数均值均大于 1, 说明各个地区的生态经济效率都呈现上升态势。2003—2017 年, 黄河流域地区的生态经济 Malmquist 指数均值为 1.057, 表示其生态经济效率年均提高 5.7%。

分解来看, 全要素生产率的进步依旧得益于技术效率和技术进步指数的共同拉动作用。技术效率指数年均上升 4.3%, 技术进步指数年均上升 1.4%, 技术效率指数的拉动作用大于技术进步指数。按照其提升来源的不同, 黄河流域地区可以划分为四种类型: (1) 技术效率指数和技术进步指数共同促进, 主要依靠技术进步, 仅有内蒙古; 内蒙古的技术效率指数为 1.026, 技术进步指数为 1.034, 技术进步对全要素生产率的贡献作用大于技术效率, 说明内蒙古的技术创新水平得到提高。(2) 技术效率指数和技术进步指数共同促进, 主要依靠技术效率提高, 山西、甘肃、山东、河南、四川、陕西都属于这种类型。(3) 技术进步拉动, 技术效率抑制, 仅有青海; 青海的技术效率指数为 0.990, 呈现出年均 1% 的下降趋势, 技术进步指数为 1.030, 技术进步是青海

生态经济效率提高的主要动力。(4)技术效率拉动,技术进步抑制,仅有宁夏;宁夏的技术效率指数为 1.043,呈现出年均 4.3% 的上升趋势,技术进步指数为 0.985,技术效率提高是宁夏生态经济全要素生产率提高的主要动力。

3.3 科技创新和生态经济的相互作用

3.3.1 平稳性检验

在进行模型估计之前,为了避免出现伪回归现象,分别采用 LLC 检验、IPS 检验和 Breitung 检验对科技创新全要素生产率 和生态经济全要素生产率变量进行单位根检验,如表 6 所示。总的来说,数据平稳。

表 6 面板数据 LLC、IPS 和 Breitung 检验结果

变量	LLC 检验	IPS 检验	Breitung 检验
生态经济 Malmquist 指数	-3.8080 (0.0001)	-3.2552 (0.0006)	-4.8200 (0.0000)
科技创新 Malmquist 指数	-1.3794 (0.0839)	-4.5368 (0.0000)	-2.6967 (0.0035)

3.3.2 滞后阶数确定

运用 Stata16.0 软件,综合赤池信息准则、贝叶斯信息准则和 HQIC 准则的结果可知,模型最佳的滞后期为 2 期,如表 7 所 示。

表 7 滞后期数选择

滞后期	赤池信息准则	贝叶斯信息准则	Hannan-Quinn 信息准则
1	0.739885	1.286250	0.961415
2	0.389620*	1.071170*	0.665375*
3	0.442352	1.275620	0.778375
4	0.592219	1.597300	0.995469
5	1.260680	2.462260	1.739030

3.3.3 PVAR 模型 GMM 估计结果

在以上检验和滞后期确定的基础上,运用 Stata16.0 软件进行 GMM 估计,得到的结果如表 8 所示。

表 8 PVAR 模型 GMM 估计结果

自变量	maleco		malinno	
	系数值	t 检验统计量	系数值	t 检验统计量
L.h_maleco	0.30757281*	1.78878790	2.66151360***	2.06179540
L.h_malinno	0.01657097	1.14737320	0.01650597	0.18246327
L2.h_maleco	0.19792527	1.02214230	1.84957070*	1.69926230
L2.h_malinno	0.04684055*	1.83605980	0.09063380	0.61574178

就生态经济全要素生产率而言，滞后 1 期的生态经济全要素生产率对其本身有正向影响，滞后 2 期则影响不显著。滞后 1 期的科技创新全要素生产率对生态经济全要素生产率影响结果不显著，滞后 2 期的科技创新全要素生产率对生态经济全要素生产率具有 0.0468 的正向促进作用，说明科技创新对生态经济的影响存在较长的时滞效应。以科技创新全要素生产率为被解释变量，滞后 1 期的生态经济全要素生产率对其有 2.6615 的正向促进作用，且在 1% 的显著性水平下显著；滞后 2 期的生态经济全要素生产率对其有 1.8496 的正向促进作用，在 10% 的显著性水平下显著；这说明时间相关越紧密的生态经济发展对科技创新的影响越大。就科技创新全要素生产率与其自身的关系来看，滞后 1 期和滞后 2 期的科技创新全要素生产率对其自身均没有显著影响。

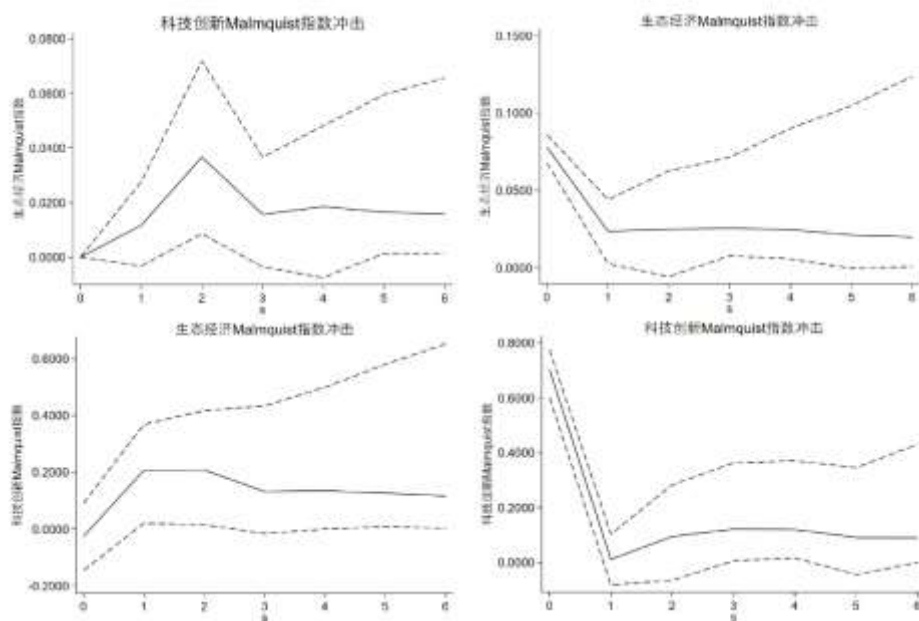


图 3 脉冲响应图

3.3.4 脉冲响应分析

通过科技创新 Malmquist 指数和生态经济 Malmquist 指数的脉冲响应图，来进一步分析两者的相互作用关系，两者的脉冲响应结果如图 3 所示。

就生态经济 Malmquist 指数而言,生态经济全要素生产率对其自身存在正向影响,这种影响在初期的时候最大,而后迅速下降,在滞后 1 期之后趋于稳定。科技创新 Malmquist 指数对生态经济全要素生产率存在着正向影响,冲击的初期为 0,而后迅速上升并在滞后 2 期时达到峰值,在滞后 3 期时冲击影响回落但是仍然高于滞后 1 期,在滞后 4 期时缓慢下降。由此可见,科技创新对生态经济存在着长期显著的正向促进作用,在滞后 2 期时达到最大值可能与科技创新成果的转化需要时间有关。

就科技创新 Malmquist 指数而言,生态经济对科技创新初期的影响为负,而后逐渐上升,在滞后 1 期时达到峰值,并且一直持平到滞后 2 期,滞后 3 期及之后略有下降但呈平稳趋势,说明生态经济对科技创新的影响持续时间长且较为稳定。就科技创新自身而言,科技创新 Malmquist 指数对其自身的影响在初期时最大,滞后 1 期时趋近于 0,而后略有上升并趋于稳定。

3.3.5 方差分解分析

方差分解可以通过不同变量的结构冲击贡献度来评估各变量之间的相对重要性,科技创新 Malmquist 指数和生态经济 Malmquist 指数模型的方差分解如表 9 所示。

表 9 方差分解

变量名称	期数	生态经济 Malmquist 指数	科技创新 Malmquist 指数
生态经济 Malmquist 指数	10	0.76615597	0.23384403
科技创新 Malmquist 指数	10	0.24137788	0.75862212
生态经济 Malmquist 指数	20	0.75015036	0.24984964
科技创新 Malmquist 指数	20	0.26770980	0.73229020
生态经济 Malmquist 指数	30	0.74765307	0.25234693
科技创新 Malmquist 指数	30	0.27203856	0.72796144

由表 9 可知,生态经济和科技创新对于各自的影响程度在 0.72~0.77 之间,对于彼此的影响程度在 0.23~0.27 之间,生态经济和科技创新对自身的贡献度约是互相影响程度的 3 倍。其中,生态经济全要素生产率对科技创新全要素生产率的贡献率在第 10 期时约为 24.14%,在第 20 期时约为 26.77%,在第 30 期时约为 27.20%,随着时间的推进贡献度不断增加。科技创新全要素生产率对生态经济全要素生产率的贡献率略低于生态经济对科技创新,在第 10 期时约为 23.38%,在第 20 期时约为 24.98%,在第 30 期时约为 25.23%,随着时间的推进贡献度不断增加。

4 结论与建议

4.1 结论

(1)黄河流域科技创新效率目前处于中等效率水平,整体表现出上升趋势,但是有少数地区下降;黄河流域各地区之间差距明显,2003—2017 年排名变化巨大但是各地区差距表现出缩小趋势;黄河流域科技创新全要素生产率呈上升趋势,各地区进步来源不同,但是由技术效率指数和技术进步指数共同拉动且主要依靠技术进步促进的占多数。(2)黄河流域生态经济效率整体水平不高,目前仍处于较低效率水平,但是表现出稳步上升的趋势;黄河流域生态经济效率水平地区差距明显,但是区域分布表现出明显的均衡化发展趋势;黄河流域各地区生态经济效率提升的速度差距较小;黄河流域整体全要素生产率的进步是由技术

效率指数和技术进步指数共同促进的，各地区进步来源不同，但是由技术效率指数和技术进步指数共同拉动且主要依靠技术效率促进的占多数。(3)科技创新全要素生产率和生态经济全要素生产率之间存在着正向促进关系，科技创新全要素生产率对于生态经济全要素生产率的影响具有时滞效应；科技创新和生态经济之间的相互影响随着时间的推移而不断强化，生态经济对科技创新的影响较大。

4.2 建议

第一，统筹协调规划，因地制宜施策。

黄河上游的青海、宁夏等地区是国家重要的风能、光伏能源供应区。充足的能源资源为其能源产业的发展提供了优势，但是受到技术水平和水资源形势严峻等的制约，工业经济亟待转型升级。青海、宁夏等地区工业能源基础原材料产业比重过高，工业结构单一。就第三产业而言，上游地区第三产业增加值占 GDP 的比重在黄河流域内最低，上游地区的服务业高新技术产业占比较少，传统的文旅、餐饮、交通等占比高。黄河中游地区也是能源和矿产资源集聚的地区，相比于上游地区，中游地区服务业更多地依靠信息技术产业。黄河下游地区相比于中上游地区，地理位置优势和交通运输优势明显，是黄河流域经济发展较好的地区，但是下游滩区依然存在着贫困人口集中区。山东的科技创新效率水平在黄河流域中处于较高水平，但是与之前相比却表现出下降的趋势，这与其创新资源的利用效率有待提升、对于生物技术等领域的重视程度还不够有关。黄河流域地区地理环境、生态基础、人文经济发展水平差距均较大，各地区在科技创新和经济发展上合作水平较低，要充分考虑黄河流域各地区的生态保护和经济发展需求，加强地区之间联动，推动城市群区域内部的协调合作。对于中上游地区，在做好生态修复和环境保护的基础上，应推进产业结构优化升级，改变结构单一的局面。黄河上游地区存在着独特的自然景观资源和丰富的黄河历史文化资源，可以在生态保护的基础上推动其文化旅游产业发展，推动服务业升级。

第二，重视科技创新，发展生态经济。

黄河流域中，青海和宁夏的生态经济目前处于完全效率水平，表示其生态经济发展水平较高，经济发展方式比较合理，经济发展质量较高。除了青海和宁夏之外的其他地区，生态经济效率水平均较低，生态环境和经济发展良性互动不明显。应当加强生态环境保护力度，从整个黄河流域的角度建立资源统筹协调管理机构，加强水资源和生态环境状态的监管，加大对于水土流失和环境污染的治理。黄河流域的科技创新能力目前整体处于中等效率水平，存在着很大的提升空间，面临着科技创新能力不足、经济发展新旧动能转化缺乏动力等问题。根据各地区科技创新和生态经济发展程度的不同，因地制宜地制定政策引导和支持。山西、内蒙古和甘肃科技创新效率较低，尤其是内蒙古，应当提高其 R&D 经费投入，提升地区科技创新能力。对于河南、山东和陕西这样的人口大省，应当加大力度吸引和留住本地人才，引进高端科技创新人才，为科技创新提供人才支持。同时，加强区域之间的交流合作，构建区域性的创新协调体系，整合区域优势资源，通过科技创新提高生态经济效率。

参考文献：

- [1]张贡生. 黄河流域生态保护和高质量发展：内涵与路径[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2020(5): 119-128.
- [2]徐勇, 王传胜. 黄河流域生态保护和高质量发展：框架、路径与对策[J]. 中国科学院院刊, 2020(7): 875-883.
- [3]穆冬霞. 古代黄河中下游地区移民规律、动因与影响[J]. 中州学刊, 2019(8): 144-148.
- [4]刘家旗, 茹少峰. 基于生态足迹理论的黄河流域可持续发展研究[J]. 改革, 2020(9): 139-148.
- [5]田冰, 张云箴. 明代黄河决溢对黄淮平原经济发展的影响[J]. 中州学刊, 2016(12): 107-111.

-
- [6]吴小伦. 明清时期黄河水患的时空分布及对区域经济影响——以黄淮平原为中心的再考察[J]. 郑州大学学报(哲学社会科学版), 2016(3): 113-119.
- [7]Wang F Q, Yang H, Zhao H, et al. Ecological effect evaluation of water diversion in the Yellow River Delta wetland[J]. Water Policy, 2018, 20(4): 744-757.
- [8]孙海燕, 刘贤赵, 王渊. 近 10 年黄河三角洲经济与生态要素演变及相互作用——以东营市、滨州市为例[J]. 经济地理, 2012(11): 20-26.
- [9]Wang C D, Wang Y T, Geng Y, et al. Measuring regional sustainability with an integrated social-economic-natural approach: A case study of the Yellow River Delta region of China[J]. Journal of Cleaner Production, 2016(114): 189-198.
- [10]周晓艳, 郝慧迪, 叶信岳, 等. 黄河流域区域经济差异的时空动态分析[J]. 人文地理, 2016(5): 119-125.
- [11]张金萍, 秦耀辰, 张丽君, 等. 黄河下游沿岸县域经济发展的空间分异[J]. 经济地理, 2012(3): 16-21.
- [12]李敏纳, 蔡舒, 张慧蓉, 等. 要素禀赋与黄河流域经济空间分异研究[J]. 经济地理, 2011(1): 14-20.
- [13]彭荣胜, 覃成林. 新形势下黄河流域经济空间开发存在的问题与对策[J]. 经济纵横, 2009(8): 117-119.
- [14]韦颜秋, 李瑛. 地区科技创新效率结构性失衡的影响因素分析[J]. 统计与决策, 2020(17): 171-175.
- [15]何爱平, 安梦天. 黄河流域高质量发展中的重大环境灾害及减灾路径[J]. 经济问题, 2020(7): 1-8.
- [16]崔盼盼, 赵媛, 夏四友, 等. 黄河流域生态环境与高质量发展测度及时空耦合特征[J]. 经济地理, 2020(5): 49-57, 80.
- [17]张可云, 张颖. 不同空间尺度下黄河流域区域经济差异的演变[J]. 经济地理, 2020(7): 1-11.
- [18]薛明月, 王成新, 赵金丽, 等. 黄河流域旅游经济空间分异格局及影响因素[J]. 经济地理, 2020(4): 19-27.
- [19]王胜鹏, 乔花芳, 冯娟, 等. 黄河流域旅游生态效率时空演化及其与旅游经济互动响应[J]. 经济地理, 2020(5): 81-89.
- [20]Sushma G. The role of science, technology and innovation in sustainable development[J]. ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal, 2016, 6(3): 396-402.
- [21]周雪娇, 杨琳. 基于创新驱动的区域经济与生态环境协调发展的研究[J]. 经济问题探索, 2018(7): 174-183.
- [22]Xia W F, Li B Z, Yin S. Identification of influencing factors for sustainable development: Evaluation and management of regional innovation performance in Heilongjiang, China[J]. Sustainability, 2020, 12(7): 1-55.
- [23]Kumar V, Kumar U. Introduction: technology, innovation and sustainable development[J]. Transnational Corporations Review, 2017, 9(4): 243-247.

-
- [24]Wang S J, Hua G H, Yang L Z. Coordinated development of economic growth and ecological efficiency in Jiangsu, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020(27):6664-36676.
- [25]胡彪, 苑凯. 京津冀地区科技创新与生态经济耦合协调度测评[J]. 统计与决策, 2020(14): 119-123.
- [26]刘钊, 邓明亮. 基于改进超效率 DEA 模型的长江经济带科技创新效率研究[J]. 科技进步与对策, 2017(23): 48-53.
- [27]马柱国, 符淙斌, 周天军, 等. 黄河流域气候与水文变化的现状及思考[J]. 中国科学院院刊, 2020(1): 52-60.
- [28]于法稳, 方兰. 黄河流域生态保护和高质量发展的若干问题[J]. 中国软科学, 2020(6): 85-95.
- [29]孙祁祥, 周新发. 科技创新与经济高质量发展[J]. 北京大学学报(哲学社会科学版), 2020(3): 140-149.
- [30]段新, 戴胜利, 廖凯诚. 区域科技创新、经济发展与生态环境的协调发展研究——基于省级面板数据的实证分析[J]. 科技管理研究, 2020(1): 89-100.
- [31]黄娟. 科技创新与绿色发展的关系——兼论中国特色绿色科技创新之路[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2017(2): 33-41.