

中国省际水—能源—粮食综合利用效率研究

陈哲轩¹, 张士强^{1,2}, 李成宇³

(1. 山东科技大学 经济管理学院, 山东 青岛 266590;

2. 济南大学 绿色发展研究院, 山东 济南 250022, 3. 南京航空航天大学 经济管理学院, 江苏 南京 211106)

摘要:基于 SBM 模型测算 2003—2016 年中国省际水—能源—粮食综合利用效率,并结合 ESDA 方法对水—能源—粮食综合利用效率的空间相关性进行分析,最后利用 SLM 模型对中国水—能源—粮食综合利用效率的影响因素进行检验。结果表明,中国整体水—能源—粮食综合利用效率不高,且呈现下降趋势,各地区、各省市水—能源—粮食综合利用效率存在明显差异性,总体呈现出东部>东北>中部>西部的格局。中国水—能源—粮食综合利用效率存在显著的正向空间自相关,分布格局不够稳定,前期易发生波动,后期趋于稳定。水—能源—粮食综合利用效率的影响因素有技术进步、受教育程度、基础设施、经济集聚、经济发展水平和城市化。未来应尽快将水—能源—粮食问题上升到战略高度,对其发展进行顶层设计,各区域要建立跨区域的协调组织与相应协调机制,各省市则要结合自身实际情况制定有针对性的措施,并尽快推动经济由粗放式发展向绿色发展转变。

关键词:水—能源—粮食;SBM 模型;ESDA 方法;SLM 模型;可持续发展

中图分类号:F205

文献标识码:A

文章编号:1008-7699(2021)02-0084-10

一、引言

水、能源、粮食作为可持续发展研究的重要领域,一直受到学术界的广泛关注,但其关注重点往往局限于单个资源或两两资源之间,而将三种资源纳入同一框架的研究却一直得不到重视。直到 2011 年,世界经济论坛首次将“水、能源、粮食关联”风险群纳入三大风险群之中,主张应从整体把握三者间的关联关系及生产与消耗,以确保各地区水、能源、粮食的安全^[1]。随后德国政府在波恩召开关于水—能源—粮食关联安全的国际会议,再次强调水、能源、粮食之间存在复杂关联关系,单一的资源战略已不能够解决其生产、消耗及管理过程中普遍存在的权衡取舍与潜在冲突^[2]。至此,研究水—能源—粮食关联的序幕才被拉开。为方便研究,本文将水—能源—粮食简称为 WEF(Water-Energy-Food)。根据 Endo 等^[3]、李桂君等^[4]78 的研究可知,自 2011 年以来,关于 WEF 的搜索量已呈现出惊人的增长速度,政府、学术界、NGO、区域发展组织等主体对 WEF 也越发重视,国际级 WEF 会议、项目和研究报告也越来越多。

国外学术界对 WEF 的研究已非常活跃,陆续有研究成果在可持续发展领域的学术期刊发表。当前研究主要以定性研究为主,定量研究相对较少。定性研究主要集中在阐明 WEF 间的关联关系方面,例如 Chang 等^[5]详细阐明 WEF 中三种资源两两关系特征。Rasul 和 Sharma^[6]通过将全景图与核心图有机结合的方式阐述 WEF 关联关系。Conway 等^[7]则构建起包含区域特征的一般化 WEF-Nexus 概念框架图对 WEF 关联关系进行说明。定量研究的范围则较为广泛,例如 Halbe 等^[8]利用系统动力学模型研究 WEF 与社会系统间的相互关系。Vora 等^[9]通过网络模型研究美国 WEF 所产生的污染对环境的影响程度。

收稿日期:2020-07-24

基金项目:国家社会科学重大项目(15ZDB163);国家社会科学重点项目(17AJL008),教育部人文社会科学研究规划基金项目(15YJAZH110)

作者简介:陈哲轩(1993—),男,江苏无锡人,山东科技大学经济管理学院硕士研究生;张士强(1962—),男,山东梁山人,教授、博士生导师,本文通讯作者。

Sherwood 等^[10]引入生命周期评价模型来衡量美国经济部门 WEF 强度。Martinez 等^[11]对 WEF-Nexus 进行动态仿真建模,并将其概念转化为可应用的决策工具。Schlör 等^[12]利用城市繁荣指数,测度考虑 WEF 的城市恢复能力。而国内针对有关 WEF 的研究则相对滞后,大多数研究仍以探讨单个资源为主,将三者纳入同一框架的研究还很少,从仅有文献来看,詹贻琛^[13]、李桂君^{[4]79}、常远^[14]、郑人瑞^[15]系统梳理了 WEF 的发展历程、相关概念、相互关系、分析工具及面临挑战。李良^[16]、刘倩^[17]分别对 WEF 在风险管控领域和城市领域的研究进展进行综述。米红等^[18]、李桂君等^[19]利用 SD 模型对相关区域内的 WEF 变化趋势进行仿真预测。彭少明^[20]、邓鹏^[21]、毕博^[22]、李成宇^[23]分别研究不同区域内 WEF 系统的耦合协调水平及演化特征。李桂君等人^[24]利用 BCC 模型,测算分析中国省际 WEF 投产出效率。孙才志^[25]、白景锋^[26]则分别使用 ESDA 模型和 GWR 模型对 WEF 的空间特性展开研究。

通过上述分析可以看出,国内 WEF 方面的研究仍处于探索阶段,已有文献主要以定性研究为主,定量研究少且多集中在 WEF 耦合协调领域,缺少对 WEF 综合利用效率方面的研究。同时,研究尺度虽集中在流域或区域层面,但针对区域 WEF 空间格局的研究却很少。此外,尚未出现针对中国 WEF 影响因素及作用路径方面的研究。基于此,本文首先利用非期望产出 SBM 模型测度中国省际 2003—2016 年 WEF 综合利用效率,其次运用 ESDA 模型分析 WEF 综合利用效率的空间分布格局,最后采用空间计量模型检验中国 WEF 综合利用效率的影响因素,以期 WEF 综合利用效率的提升及可持续发展提供参考借鉴。本文的研究框架如图 1 所示。

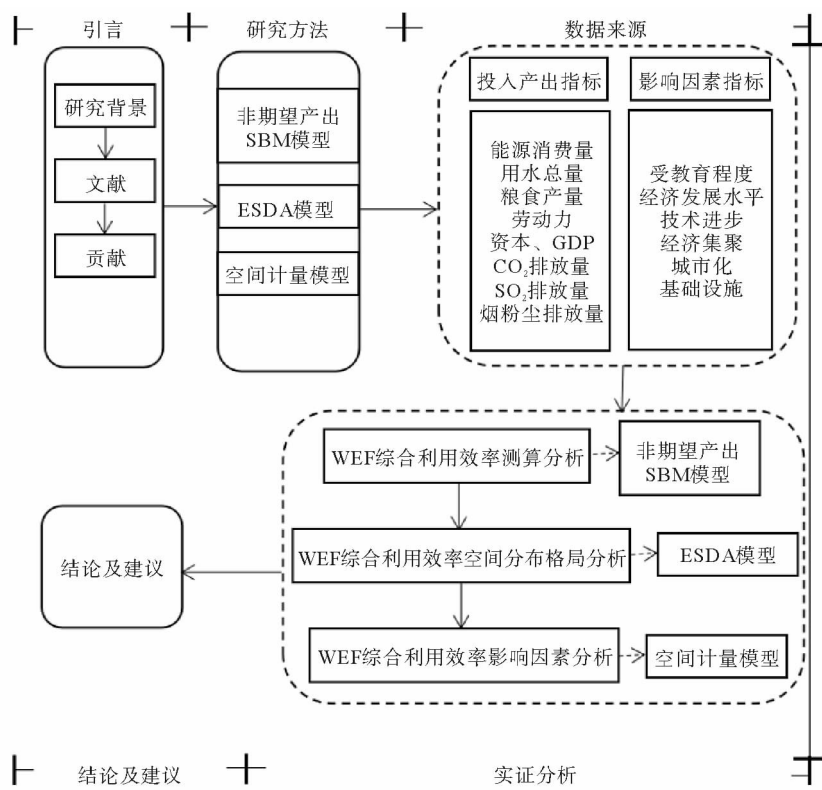


图 1 WEF 综合利用效率研究框架

二、研究方法及数据来源

(一) 基于非期望产出的 SBM 模型

数据包络分析法(DEA)自 1978 年被 Charnes 等人提出以来,被广泛应用于多个领域,现已成为评价

相对效率的主要工具^[27,28]。由于传统 DEA 模型仅能从径向和角度两方面出发测算效率,无法解决投入与产出的松弛性问题,也无法对非期望产出进行有效测算。因此,本文选择 Tone^[29]提出的能同时考虑松弛性和非期望产出问题的 SBM 模型来测度中国省际 WEF 综合利用效率型。具体模型如下:

$$\begin{aligned} \rho^* = \min & \frac{1 - \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \frac{s_i^x}{x_{k'i}^x}}{1 + \frac{1}{M+N} \left(\sum_{m=1}^M \frac{s_m^y}{y_{k'm}^y} + \sum_{n=1}^N \frac{s_n^z}{z_{k'n}^z} \right)} \\ \text{s.t.} & \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K u_k^t x_{ki}^t + s_i^x = x_{k'i}^x \quad (i = 1, \dots, I) \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K u_k^t y_{km}^t - s_m^y = y_{k'm}^y \quad (m = 1, \dots, M) \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K u_k^t z_{kn}^t + s_n^z = z_{k'n}^z \quad (n = 1, \dots, N) \\ & u_k^t \geq 0, s_i^x \geq 0, s_m^y \geq 0, s_n^z \geq 0 \quad (k = 1, \dots, K) \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中, ρ^* 表示目标函数值, u_k^t 表示权重向量, I 表示投入个数, s_i^x 表示投入的松弛向量, $x_{k'i}^x$ 表示在第 K' 个生产单元 t' 时期的投入值, M 、 N 分别表示期望产出和非期望产出个数, s_m^y 、 s_n^z 分别表示期望产出和非期望产出的松弛向量; $y_{k'm}^y$ 、 $z_{k'n}^z$ 则分别表示在第 K' 个生产单元 t' 时期的期望产出值和非期望产出值。

(二)ESDA 模型

探索性空间数据分析(ESDA)多被用于解释与空间位置相关的依赖或关联现象^[30,31]。本文运用 ESDA 分析中的 Moran's I 指数衡量中国 WEF 综合利用效率的空间相关性,具体其公式如下:

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z}) / S^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (2)$$

式(2)中, n 是研究对象个数, W_{ij} 为空间权重矩阵(相邻为 1, 不相邻为 0), Z_i 和 Z_j 为 i 、 j 区域的观测值, S^2 为观测值方差, \bar{Z} 为观测值平均值。Moran's I 指数取值在 $[-1, 1]$ 之间, 若指数为正, 说明呈现集聚, 若指数为负, 说明呈现分异, 若指数位 0, 说明不存在空间相关性。

(三)空间计量模型

在研究影响因素时, 鉴于变量具有空间依赖性, 违背了经典最小二乘法的前提条件, 因此需要建立空间计量模型对数据进行处理。空间误差模型(SEM)和空间滞后模型(SLM)是最为经典的空间计量模型^[32], 根据 Anselin 判定准则^[33], 本文选择空间滞后模型研究 WEF 综合利用效率的影响因素, 具体模型如下:

$$y = \rho W y + X \beta + \epsilon \quad (3)$$

式(3)中, y 表示因变量; X 表示自变量; W 表示空间权重矩阵; ϵ 表示随机误差项; ρ 表示空间自回归系数; β 表示带估计的自变量系数。

(四)变量选择

1.投入产出指标选取

WEF 综合利用效率的本质是以尽可能少的资源投入和最小的环境代价, 来获取最大的经济利益及最优的生态环境, 本文参考已有文献^[23-25], 并在保证指标科学性、可获取性的前提下, 最终选取能源消费量、用水总量、粮食产量、劳动力存量和资本存量作为投入指标, 选取 GDP 作为期望产出指标, CO_2 排放量、 SO_2 排放量、烟粉尘排放量、废水排放量、固体废物产生量作为非期望产出指标, 构建 WEF 综合利用效率指标体系。

2.影响因素变量选取

本文认为 WEF 综合利用效率可能会受到经济发展、教育、技术、经济集聚、基础设施、城市化等因素的影响,相关因素指标选取如表 1 所示。

3.数据来源

本文研究数据来自《中国统计年鉴(2004—2017)》《中国能源年鉴(2004—2017)》《中国环境统计年鉴(2004—2017)》和《中国农村年鉴(2004—2017)》,并结合相关省市统计资料进行修正。由于港澳台及西藏地区数据可获取性差,因此本文未将这些地区纳入研究范围。

表 1 影响因素变量说明

变量名称	变量说明	变量名称	变量说明
受教育程度	平均受教育年限	基础设施	铁路密度
技术进步	万人专利拥有数	城市化	城市人口/总人口
经济集聚	单位面积非农产出	经济发展水平	人均 GDP

三、实证分析

(一)WEF 综合利用效率测算分析

根据式(1)测度 2003—2016 年中国整体、四大区域及 30 省市的 WEF 综合利用效率,具体测度结果如图 2 和表 2 所示。

从图 2 可知,中国整体 WEF 综合利用效率水平不高,且呈现下降趋势,2003—2007 年下降相对剧烈,2007 年后趋于平稳。各区域 WEF 综合利用效率差异性明显,呈现出东部>东北>中部>西部的分布格局。其中,东部地区 WEF 综合利用效率均在 0.700 以上,已处于较高水平。东北地区 WEF 综合利用效率在 0.400-0.600 之间,处于中等水平。中部地区和西部地区 WEF 综合利用效率基本都低于 0.400,还处在较低水平。与此同时,各地区的 WEF 综合利用效率都呈现出与中国整体相似的发展变动趋势。

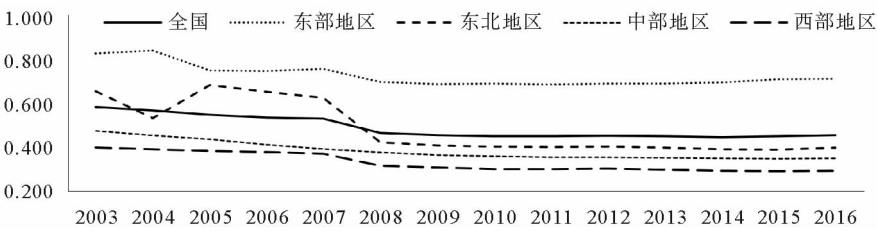


图 2 中国及区域 WEF 综合利用效率变化趋势(2003—2016)

从表 2 可知,中国 WEF 综合利用效率均值为 0.494,高于全国均值的省市有 11 个,占比为 37%,低于全国均值的省市有 19 个,占比为 63%。具体来看,北京、上海、广东 3 省市的 WEF 综合利用效率为 1,实现有效,说明这些地区的投入产出已处于有效状态并且实现最优配置。其他 WEF 综合利用效率处于高位的省市有浙江和天津,其 WEF 综合利用效率均值大于 0.700,且远高于全国均值,说明这些省市投入产出虽未实现有效,但差距小、提升空间大。黑龙江、辽宁、内蒙古、江苏、福建、海南 6 省市 WEF 综合利用效率均值大于 0.500,高于全国均值,说明这些省市投入产出处于非有效状态,投入与产出存在一定差距,具有较好的提升空间。而其他 19 个省市的 WEF 综合利用效率均值小于 0.500,且低于全国均值,特别是青海、宁夏、新疆等省市 WEF 综合利用效率均值尚不足 0.300,说明这些省市投入产出极不匹配,提升难度大。此外,在 WEF 综合利用效率没用达到有效的 27 个省市中,仅有天津呈现出波动上升的趋势,其他 26 个省市的 WEF 综合利用效率在研究期间内均呈现下降趋势,其中内蒙古、辽宁、福建、海南初始值高,随后呈现出急剧下降的趋势,黑龙江呈现出波动下降趋势,其他省市则呈现出平稳的下降趋势。

表2 中国省际 WEF 综合利用效率(2003—2016)

省份	2003	2010	2016	均值	省份	2003	2010	2016	均值
北京	1.000	1.000	1.000	1.000	广东	1.000	1.000	1.000	1.000
天津	1.000	1.000	1.000	0.966	广西	0.442	0.317	0.290	0.345
河北	0.451	0.377	0.370	0.394	海南	1.000	0.426	0.345	0.607
山西	0.555	0.345	0.301	0.393	重庆	0.426	0.370	0.441	0.393
内蒙古	1.000	0.362	0.381	0.604	四川	0.402	0.363	0.381	0.378
辽宁	1.000	0.457	0.433	0.529	贵州	0.255	0.251	0.246	0.255
吉林	0.481	0.362	0.397	0.398	云南	0.363	0.289	0.264	0.301
黑龙江	0.508	0.398	0.372	0.539	陕西	0.383	0.355	0.357	0.362
上海	1.000	1.000	1.000	1.000	甘肃	0.325	0.278	0.269	0.291
江苏	0.628	0.517	0.539	0.539	青海	0.264	0.250	0.216	0.244
浙江	0.794	0.693	1.000	0.799	宁夏	0.241	0.200	0.175	0.206
安徽	0.474	0.378	0.365	0.398	新疆	0.325	0.282	0.227	0.281
福建	1.000	0.502	0.481	0.582	全国	0.590	0.456	0.460	0.494
江西	0.484	0.382	0.376	0.400	东部	0.839	0.698	0.723	0.737
山东	0.514	0.466	0.494	0.483	东北	0.663	0.406	0.401	0.488
河南	0.511	0.345	0.335	0.383	中部	0.481	0.361	0.352	0.388
湖北	0.385	0.355	0.366	0.364	西部	0.402	0.302	0.295	0.333
湖南	0.478	0.362	0.370	0.388					

可以看出,中国30省市 WEF 综合利用效率整体呈现下降趋势,30省市间的差异性明显。WEF 综合利用效率高的省市集中在东部地区,WEF 综合利用效率低的省市则集中在中西部地区,呈现出东部>东北>中部>西部的空间分布格局。

(二) WEF 综合利用效率空间分布格局分析

1. 空间自相关分析

根据式(2),运用 GeoDa1.6 软件,在一阶 rook 空间矩阵下,计算 2003—2016 年中国 WEF 综合利用效率的 Moran's I 指数,具体结果如表 3 所示。

表3 WEF 综合利用效率 Moran's I 检验(2003—2016)

年份	Moran's I	Z 值	P 值	年份	Moran's I	Z 值	P 值
2003	0.299 6	2.719 1	0.000 9	2010	0.361 0	3.516 4	0.003 0
2004	0.322 0	2.994 7	0.005 0	2011	0.351 8	3.325 5	0.005 0
2005	0.249 1	2.440 4	0.015 0	2012	0.357 5	3.381 3	0.005 0
2006	0.229 2	2.155 5	0.020 0	2013	0.354 9	3.354 1	0.004 0
2007	0.231 1	2.262 2	0.015 0	2014	0.358 5	3.480 4	0.002 0
2008	0.363 1	3.558 1	0.004 0	2015	0.362 8	3.529 1	0.004 0
2009	0.350 0	3.297 8	0.004 0	2016	0.367 2	3.649 9	0.003 0

可以看出,2003—2016 年的 Moran's I 指数均为正,且均通过显著性水平检验。这表明中国 WEF 综合利用效率存在显著的正向空间自相关,高(低)相邻省际单元相对集聚,呈现出较强的空间集聚模式。2003—2016 年 Moran's I 指数由 0.229 6 增长至 0.367 2,总体呈上升趋势,表明中国 WEF 综合利用效率

的空间相关性有所增强,集聚态势明显。此外,2003—2016 年 Moran's I 指数上下波动趋势明显,则表明中国 WEF 综合利用效率空间分布格局不够稳定,易发生变动。

2.Moran 散点图分析

为更好体现中国省际 WEF 综合利用效率的空间集聚状态及变化特征,运用 ArcGIS 软件对 Moran's I 散点图进行可视化处理,绘制代表性年份的中国省际 WEF 综合利用效率 Moran's I 散点图的空间分布图(见图 3)。

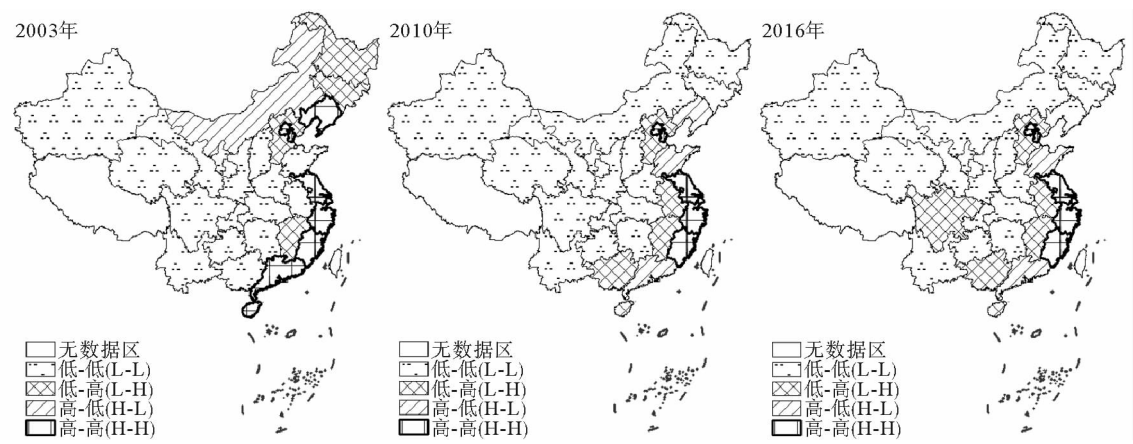


图 3 中国省际 WEF 综合利用效率 Moran's I 散点图空间分布图

从图 3 可知,中国 30 省市 WEF 综合利用效率存在显著的空间集聚特征,H-H 象限的省市主要呈带状分布在东部地区,如北京、浙江、福建,随着时间推移该象限地区范围有所缩小。L-L 象限的省市数量极多,基本都集中在中西部地区,如新疆、云南、河南、湖北,随着时间推移该象限地区范围虽有所缩小,但分布范围仍然很大。位于 H-L 象限的省市数量少,主要零星分散在东部沿海地区,如山东、广东,并未形成明显扩散趋势。位于 L-H 象限的省市主要集中在中部地区,如安徽、江西,随着时间推移该象限分布范围基本不变。通过上述 3 个时点的 Moran's I 散点图,可以发现东部和西部地区总体表现出相似的空间关联性(“H-H”或“L-L”),而中部地区则表现出非相似的空间关联性(“L-H”或“H-L”),这表明中国 WEF 综合利用效率在空间相关性上同时存在空间依赖性和差异性特征。

(三) WEF 综合利用效率影响因素分析

1.模型选择

由于中国省际 WEF 综合利用效率存在明显的空间相关性和依赖性,因此本文选择空间计量模型来检验中国省际 WEF 综合利用效率的影响因素。首先要通过 LM 检验来选择空间计量模型,具体结果如表 4 所示。

表 4 OLS 估计及检验结果

变量	系数	t 统计量	变量	系数	t 统计量
InED	-0.275 4	-1.864 5 *	InIF	-0.570 5	-4.232 7 ***
InTP	-0.028 4	-1.541 5	InCITY	0.631 18	6.469 0
InJJ	0.059 4	6.171 0 ***	InPCGDP	-0.081 5	-1.944 9 *
LM-lag		11.686 4 ***	LM-error		5.669 5 **
Robust LM-lag		6.214 7 **	Robust LM-error		0.197 7

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%水平上显著

结果显示,LM-lag 和 LM-error 均通过显著性水平检验,但 Robust LM-error 未通过显著性水平检验,根据 Anselin 判别准则^[33],需选择空间滞后模型。基于判别准则,本文分别对五种效应的空间滞后模型进行检验,以便选择其中最为合理的模型,表 5 为五种效应的检验结果。可以看出,时空双固定效应空间滞后模型的判定系数和 Log-L 值均高于其他四种效应,且 $W \times \text{dep. var}$ 通过 1% 的显著性水平检验,存在显著空间依赖性,因此,本文选择时空双固定空间滞后模型来检验中国省际 WEF 综合利用效率的影响因素。

2. 计量结果分析

根据表 5 可知,空间自回归系数 ρ 为 0.197 4,通过 1% 的显著性检验,说明 WEF 综合利用效率全国正相关,30 省市表现出相互促进关系,这与空间自相关分析的结果一致。邻近省市 WEF 综合利用效率每提高 1% 就带动本省效率提高 0.1974%,带动幅度明显。这表明省际 WEF 综合利用效率并不是相互孤立的,而是彼此影响、共同提高的。

表 5 SLM 模型估计及检验

变量	无空间效应	空间固定效应	时间固定效应	双固定效应	随机效应
InED	-0.230 8	0.344 1 **	0.262 0 **	0.349 2 *	0.325 4 **
InTP	-0.026 3	0.073 3 ***	0.043 3 ***	0.060 3 ***	0.060 2 ***
InJJ	0.049 4 ***	0.014 2	0.016 4 *	0.110 3 *	0.063 1 **
InIF	-0.056 3 ***	0.064 0 **	-0.019 4 *	0.193 8 ***	0.006 4
InCITY	0.560 7 ***	-0.146 0	0.130 0	-0.171 5 *	-0.039 6
InPGGDP	-0.056 2	-0.307 2 ***	0.199 1 ***	-0.499 2 ***	-0.330 9 ***
$W \times \text{dep. var}$	0.170 9 ***	0.206 9 ***	-0.113 9 **	0.197 4 ***	0.212 9 ***
R-squared	0.536 7	0.879 3	0.710 8	0.889 0	0.876 7
log-likelihood	140.346 9	421.568 1	232.900 4	442.856 4	-3 483.602 7

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 水平上显著

具体来看,技术进步、受教育程度、基础设施、经济集聚通过显著性检验,且都显著为正。其中技术进步、基础设施系数分别为 0.060 3、0.193 8,通过 1% 显著性水平检验。受教育程度系数和经济集聚系数为 0.349 2 和 0.110 3,通过 10% 显著性水平检验。技术进步系数显著为正,技术进步即能够有效提升水资源、能源、粮食资源在生产开采端的劳动生产率,在提高企业、农户等相关主体经济效益的同时,满足国家、社会对各类资源的需求,又能够在消费端降低对各类资源的消耗,减少对各类资源的浪费,提升各类资源的使用效率。基础设施系数显著为正,发达的交通基础设施能有效增强区域市场间的沟通渠道能力,促进区域间人、财、物、信息的交流,保障各类资源自由高效的流动,有利于降低资源配置过程中的成本和综合利用效率的提升。受教育程度系数显著为正,受教育程度的提高,有利于提升劳动者的科学文化素质及劳动生产率,降低不必要的人为资源损耗,改善各种资源的使用效率。同时受教育程度的提高还能使劳动者更容易学习和掌握新技术、新方法,理解贯彻相关政策措施,培养节约资源、充分利用的习惯,从而对 WEF 综合利用效率的提升起到积极作用。经济集聚系数显著为正,经济集聚过程中,伴随着各种正外部性,有利于推动技术进步,节约成本、提高劳动生产率,因此会对资源综合利用效率起到积极作用。经济发展水平、城镇化通过显著性检验,且显著为负。其中经济发展水平、城镇化系数分别为 -0.499 2 和 -0.171 5,通过 1% 显著性水平检验。经济发展水平系数显著为负,经济发展水平的提升使得人民生活水平得以改善,物质生活得到极大丰富,也就相应的增加了对各类资源的需求量,而与此同时,人们的资源消费观却并没有随着经济发展水平的提升而有所进步,反而是逐渐摒弃原有勤俭节约的习惯,造成严重的资源浪费现象。同时,经济发展模式不够“绿色”,粗放式发展模式仍然存在,也使得各

类资源不能得到有效利用,因而,在双重影响下使得经济发展水平对资源综合利用效率产生了消极影响。城市化系数显著为负,城市化进程会导致人口的集聚增加从而产生大量的资源消费需求,特别是当前中国城市化水平不高,大量农村人口涌入城市,其粗放式的生活方式尚无法与城市相对高效的资源利用方式相匹配,造成各类资源浪费现象严重,利用效率不高。

四、结论及建议

本文运用非期望产出 SBM 模型测算中国省际 WEF 综合利用效率,通过 ESDA 方法分析 WEF 综合利用效率的空间相关性,并基于时空双固定空间滞后模型,探讨中国省际 WEF 综合利用效率的主要影响因素。研究结果表明:①中国整体 WEF 综合利用效率不高,且呈现下降趋势,各地区 WEF 综合利用效率差异较大,呈现出东部>东北>中部>西部的格局;30 省市 WEF 综合利用效率差异性明显,仅有北京、上海、广东 3 省市的 WEF 综合利用效率为 1,实现了真正意义上的有效,其他省市则均存在不同程度无效率状态,存在提升空间。②中国 WEF 综合利用效率存在显著的正向空间自相关,但分布格局不够稳定,前期易发生波动,后期趋于稳定;中国省际 WEF 综合利用效率在空间上存在明显的集聚状态,体现“H-H”集聚状态的省市数量少,主要分布在东部地区,体现“L-L 集聚”状态的省市数量众多,主要分布在中西部地区,体现“H-L”、“L-H”集聚状态的省市数量较少,多分布在中部地区。③中国省际 WEF 综合利用效率的主要影响因素有技术进步、受教育程度、基础设施、经济集聚、经济发展水平和城市化,其中技术进步、受教育程度、基础设施、经济集聚会对 WEF 综合利用效率产生正向影响,经济发展水平和城市化会对 WEF 综合利用效率产生负向影响。

基于上述结论,提出如下建议:①国家层面来看,应尽快将水—能源—粮食问题上升到战略高度,对其发展进行顶层设计,尽快制定出关于水—能源—粮食的可持续发展目标,为以后水—能源—粮食的发展提供指导。②区域层面来看,各区域要加强区域间水—能源—粮食之间的协作,建立跨区域的协调组织与相应协调机制,加强多区域多部门的协调,以发挥各区域资源禀赋优势,从而实现区域整体水—能源—粮食综合利用效率的提升。③省际层面来看,各省市要结合自身实际情况,针对自身的资源劣势,制定有针对性的措施,弥补短板,促进水—能源—粮食综合利用效率的提升。对于综合利用效率较高的省市,应结合自身的资源禀赋优化其产业布局,对高耗能、高耗水产业进行技术改造和升级,大力发展低能耗、绿色环保的产业。对于综合利用效率低的省市,一方面要加强对农业节水技术的研发,引进耐旱作物,推广高效节水灌溉。另一方面要限制、减少高耗水的能源项目,通过技术革新降低单位能源生产用水,提升可再生能源的利用效率,并鼓励利用废水进行能源生产及发展耗水量小的新能源项目。同时还应继续推进农业向绿色化、集约化方向发展。④从影响因素来看,要尽快推动经济由粗放式发展向绿色发展转变,限制“三高”产业发展,淘汰落后的生产方式,积极发展新兴产业,节约使用资源,并提高资源的利用效率。要重视经济发展中的生态环境成本以及资源不可再生成本,提高生态环境效益和社会效益。要加快推动绿色技术革新,积极推进技术革命,加大对相关水、能源、粮食技术研发的支持力度,提高自身竞争实力。要转变居民对资源的生活消费观念,提高居民对节约水资源、能源资源和粮食资源的意识。要通过改革推进户籍城镇化,有效转移农业剩余人口,提高城市化质量。

参考文献:

- [1]World Economic Forum.Global risks 2011 report(6th edition)[R].Cologne:World Economic Forum,2011.
- [2]HOFF H.Understanding the nexus[R].Background paper for the Bonn 2011 conference;the water,energy and food security nexus.Stockholm:Stockholm Environment Institute,2011.
- [3]ENDO A,TSURITA I,BURNETT K,et al.A review of the current state of research on the water,energy, and food nexus[J].Journal of hydrology:regional studies,2017,11:20-30.
- [4]李桂君,黄道涵,李玉龙.水—能源—粮食关联关系:区域可持续发展研究的新视角[J].中央财经大学学报,2016(12).

- LI G J, HUANG D H, LI Y L. Water-energy-food nexus(WEF-nexus): new perspective on regional sustainable development [J]. Journal of Central University of Finance & Economics, 2016(12): 78-92.
- [5] CHANG Y, LI G L, YAO Y, et al. Quantifying the water-energy-food nexus: current status and trends [J]. Energies, 2019(2): 1-17.
- [6] RASUL G, SHARMA B. The nexus approach to water-energy-food security: an option for adaptation to climate change [J]. Climate policy, 2015(5): 682-702.
- [7] CONWAY D, VAN GARDEREN E A, DERYNG D, et al. Climate and southern Africa's water-energy-food nexus [J]. Nature climate change, 2015(5): 837-846.
- [8] HALBE J, PAHL-WOSTL C, LANGE M A, et al. Governance of transitions towards sustainable development the water-energy-food nexus in Cyprus [J]. Water international, 2015, 40: 877-894.
- [9] VORA N, SHAH A, BILEC M M, et al. Food-energy-water nexus: quantifying embodied energy and GHG emissions from irrigation through virtual water transfers in food trade [J]. ACS sustainable chemistry & engineering, 2017(3): 2119-2128.
- [10] SHERWOOD J, CLABEAUX R, CARBAJALES-DALE M. An extended environmental input-output lifecycle assessment model to study the urban food-energy-water nexus [J]. Environmental research letters, 2017(10): 105003.
- [11] MARTINEZ-HERNANDEZ E, LEACH M, YANG A. Understanding water-energy-food and ecosystem interactions using the nexus simulation tool NexSym [J]. Applied energy, 2017, 206: 1009-1021.
- [12] SCHLÖR H, VENGHAUS S, HAKE J F. The FEW-nexus city index-measuring urban resilience [J]. Applied energy, 2018 (2): 382-392.
- [13] 詹贻琛, 吴岚. 中美均面临水、能源、粮食三者冲突 [J]. 中国经济报告, 2014(1): 109-111.
- [14] 常远, 夏朋, 王建平. 水—能源—粮食纽带关系概述及对我国的启示 [J]. 水利发展研究, 2016(5): 67-70.
- [15] 郑人瑞, 唐金荣, 金玺. 水—能源—粮食纽带关系: 地球科学的认知与解决方案 [J]. 中国矿业, 2018(10): 36-41.
- [16] 李良, 毕军, 周元春, 等. 基于粮食—能源—水关联关系的风险管控研究进展 [J]. 中国人口·资源与环境, 2018(7): 85-92.
- [17] 刘倩, 张苑, 汪永生, 等. 城市水—能源—粮食关联关系(WEF-Nexus)研究进展——基于文献计量的述评 [J]. 城市发展研究, 2018(10): 4-25.
- [18] 米红, 周伟. 未来 30 年我国粮食、淡水、能源需求的系统仿真 [J]. 人口与经济, 2010(1): 1-7.
- [19] 李桂君, 李玉龙, 贾晓菁, 等. 北京市水—能源—粮食可持续发展系统动力学模型构建与仿真 [J]. 管理评论, 2016(10): 11-26.
- [20] 彭少明, 郑小康, 王煜, 等. 黄河流域水资源—能源—粮食的协同优化 [J]. 水科学进展, 2017(5): 43-52.
- [21] 邓鹏, 陈菁, 陈丹, 等. 区域水—能源—粮食耦合协调演化特征研究——以江苏省为例 [J]. 水资源与水工程学报, 2017 (6): 232-238.
- [22] 毕博, 陈丹, 邓鹏, 等. 区域水资源—能源—粮食系统耦合协调演化特征研究 [J]. 中国农村水利水电, 2018(2): 72-77.
- [23] 李成宇, 张士强. 中国省际水—能源—粮食耦合协调度及影响因素研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2020(1): 120-128.
- [24] 李桂君, 黄道涵, 李玉龙. 中国不同地区水—能源—粮食投入产出效率评价研究 [J]. 经济社会体制比较, 2017(3): 144-154.
- [25] 孙才志, 阎晓东. 中国水资源—能源—粮食耦合系统安全评价及空间关联分析 [J]. 水资源保护, 2018(5): 1-8.
- [26] 白景锋, 张海军. 中国水—能源—粮食压力时空变动及驱动力分析 [J]. 地理科学, 2018(10): 1653-1660.
- [27] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision-making units [J]. European journal of operational research, 1978(2): 429-444.
- [28] 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.
- [29] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. European journal of operational research, 2001(3): 498-509.
- [30] GETIS A, ORD J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics [J]. Geographical analysis, 1992(3): 189-206.
- [31] 李成宇, 张士强, 张伟. 中国省际工业生态效率空间分布及影响因素研究 [J]. 地理科学, 2018(12): 1970-1978.

- [32] ANSELIN L, FLORAX R, REY S J. Advanced in spatial econometrics: methodology tools and applications[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2004.
- [33] ANSELIN L. Local indicators of spatial association-LISA[J]. Geographical analysis, 1995(2): 93-115.

Research on Inter-provincial Water-Energy-Food Comprehensive Utilization Efficiency in China

CHEN Zhexuan¹, ZHANG Shiqiang^{1,2}, LI Chengyu³

(1. College of Economics and Management, Shandong University of Science and Technology, Qindao 266590, China;

2. Institute of Green Development, University of Jinan, Jinan 250022, China;

3. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

Abstract: China's consumption of water, energy and food resources ranks first in the world. How to ensure their utilization with high quality, high efficiency and low pollution has become a key issue in China's sustainable development. Based on the SBM model, the inter-provincial water-energy-food(WEF) comprehensive utilization efficiency in China from 2003 to 2016 is estimated. The spatial correlation of WEF comprehensive utilization efficiency is analyzed by ESDA method. Finally, the influencing factors of WEF comprehensive utilization efficiency in China are tested by SLM model. The results show: (1) the overall WEF comprehensive utilization efficiency in China is not high, showing a downward trend. There are obvious differences in the comprehensive utilization efficiency of WEF among regions and provinces, with the overall pattern of WEF comprehensive utilization efficiency in eastern region > that in northeastern region > that in central region > that in western region. (2) There is a significant positive spatial autocorrelation in the comprehensive utilization efficiency of WEF in China, and the distribution pattern is not stable enough as it is easy to fluctuate in the early stage and tends to be stable in the later stage. (3) The influencing factors of WEF comprehensive utilization efficiency include technological progress, education level, infrastructure, economic agglomeration, economic development level and urbanization. Finally, some suggestions are put forward, including top-level design, optimization of industrial layout, protection of cultivated lands, promotion of national cultural level, and promotion of technological progress.

Key words: water-energy-food(WEF); SBM model; ESDA method; SLM model; sustainable development

(责任编辑:魏 霄)

(上接第 83 页)

Senior Executive Incentive and Enterprise Performance of State-owned Enterprises Under “Dual Regulation”

ZHANG Yongmei, ZHANG Meng, ZHAO Jinkai

(College of Economics and Management, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: With the help of a new round of anti-corruption policies and “dual regulation” formed by the pay limit in 2015, this paper studies the empirical data of the listed companies in China on the basis of theoretical analysis, and uses the triple differential model to test the implementation effect and economic effect of “dual regulation”. The results show that under “dual regulation”, there is no obvious change in the monetary remuneration of senior executives in the state-owned enterprises but their consumption on the job has increased significantly. At the same time, the operating performance of the state-owned enterprises has been affected. In view of the influence of the state-owned enterprises' own characteristics, it is found that the negative effect of “dual regulation” on operating performance is more significant in commercial, large-scale, and high-paid state-owned enterprises. In addition, “dual regulation” can restrain senior executives of the state-owned enterprises from over-investment and will not lead to their voluntary departure.

Key words: anti-corruption; salary control; senior executive incentive; enterprise performance

(责任编辑:魏 霄)