

“一带一路”中国区域水资源利用效率评价 ——基于超效率 DEA-Malmquist-Tobit 方法

张兆方^{1,2} 沈菊琴^{1,2} 何伟军^{1,3} 安敏^{1,2}

(1. 河海大学商学院, 江苏南京 211100; 2. 河海大学环境会计与资产管理研究所, 江苏南京 211100;
3. 三峡大学经济与管理学院, 湖北宜昌 443002)

摘要:提升“一带一路”中国区域各省市水资源利用效率,最大程度减轻水资源利用不足对经济产生的约束效应,可从水资源角度为“一带一路”倡议的充分实施提供有力支撑。通过超效率 DEA 模型和 Malmquist 指数对 2011—2015 年“一带一路”18 个省市的水资源利用效率进行测度,并用 Tobit 模型识别关键影响因素。研究表明:“一带一路”18 个省市水资源利用效率整体呈上升趋势,各省市差异较大,呈现东南>西北>东北>西南的区域格局;水资源全要素生产率指数变动整体呈增长趋势,其变化主要由技术进步所决定;人均 GDP 和人均水生产与供水企业产值对水资源利用效率具有显著正向作用,人均水资源量、人均水利、环境和公共设施管理业固定资产投资、农业用水结构、水生产与供水企业数量与水资源利用效率呈显著负相关。基于此,提出加强区域间技术合作、优化农业用水结构、合理进行水利设施项目投资和深入推进区域水权市场建设的对策建议。

关键词:“一带一路”;水资源利用效率;超效率 DEA 模型;Malmquist 指数

中图分类号:TV213

文献标志码:A

文章编号:1671-4970(2018)04-0060-07

一、引言

为促进国内市场同“一带一路”沿线国家更好对接,我国于 2015 年发布了《推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动》,首次提出充分发挥国内各地区比较优势,明确各地区在倡议执行中的战略地位。“一带一路”倡议主要涉及 18 个省市,按地域可划分为 4 大板块:东北地区有内蒙古、辽宁、吉林和黑龙江;西北地区有新疆、陕西、甘肃、宁夏、青海;东南地区有上海、福建、广东、浙江和海南;西南地区有广西、云南、西藏和重庆。作为最基本和最重要的生产生活资源,水资源将决定“一带一路”倡议的实施深度,在我国水资源开源受限背景下,为确保“一带一路”区域水资源的安全与可持续发展,18 个省市应重点关注水资源利用效率的提升。因此,国家相继实施最严格水资源管理制度、水资源利用三条红线管理制度和“河长制(湖

长制)”等治水方案,以引导用水主体提高用水工艺、控制用水总量和采取节水措施等。除此以外,通过引入市场机制以优化水资源合理分配、促进水资源合理流动,推动用户由被动节水向市场机制下的用户主动节水行为转变也可以提升水资源利用效率。

目前,关于水资源利用效率评价,国内外学者开展多项理论与实践探索,分别从行业(农业用水、工业用水、生活用水)角度和地域角度分析水资源综合利用效率。孙爱军等运用 SFA 模型分别评价我国工业和农业水资源利用效率,结果显示,工业用水效率整体呈缓慢上升趋势,而平均农业用水效率仅为 0.49,仍有较大提升空间^[1]。朱兆珍等运用因子分析法筛选指标并构建水资源利用效率评价体系^[2]。马海良等结合 DEA 与 Tobit 方法评价我国非合意产出水资源利用效率,并提出水资源利用效率的影响因素^[3]。廖虎昌等研究西部 12 个省的水资源利用效率^[4]。Veetil 等分析水价对 Krisna 河流域

收稿日期:2018-01-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71203123);国家社会科学基金资助项目(14CMZ034);湖北自然科学基金(2014cfc1145)

作者简介:张兆方(1990—),男,湖北宜昌人,博士研究生,从事跨区域水资源管理研究。

通讯作者:沈菊琴(1962—),女,江苏张家港人,教授,从事区域环境保护研究。

农业灌溉利用效率的影响^[5]。Deng 等运用 SBM-DEA 模型,评价 2004—2013 年中国 31 个省的水资源利用效率^[6]。卢曦等对长江经济带 11 个省市水资源利用效率进行静态和动态分析^[7]。在关注“一带一路”倡议和水资源管理的同时,谭雪等对新丝绸之路经济带 12 个省份的水资源禀赋效率、水资源利用效率、废水排放效率和综合水效率开展研究^[8]。左其亭等定量分析“一带一路”倡议实施前后水资源对区域发展的支撑能力变化^[9]。李明亮等对“一带一路”沿岸国家水资源特点与合作展望前景进行分析,提出打造水资源合作命运共同体的发展倡议^[10]。现有文献对水资源利用综合效率和行业利用效率差异的研究多从节水、水价制定、提升用水工艺和控制污水排放等入手,较少关注水权市场构建背景下水资源利用效率的变化;关于“一带一路”水资源研究,主要集中分析沿线各国水资源禀赋对倡议实施的影响程度,而评价我国各省市水资源利用效率的文献较少。

“一带一路”倡议涵盖我国大部分省市,各区域间水资源情况较为复杂,较低的水资源利用程度可能会对沿线省市的推广造成一定压力。为此,在当前水权市场构建的基础上,评价和分析“一带一路”倡议所涉及的我国省市水资源利用效率,并提出有效对策。首先,采用超效率 DEA 方法评价“一带一路”各省市 2011—2015 年水资源利用效率;其次,通过引入 Malmquist 指数,对各个省市的时间序列开展动态分析和评价;最后,运用 Tobit 模型,分析水资源利用效率值的影响因素及其原因,以此对“一带一路”18 个省市提高水资源利用效率提出有效对策和建议。

二、基本方法、变量和数据说明

1. 基本方法

(1) 超效率 DEA 模型

超效率 DEA 模型是对传统 DEA 模型^[11]的修正,由 Anderson 等^[12]提出。由于 DEA 模型不用事先确定指标构建函数关系,可避免主观因素对模型构建的影响,且能区分有效决策单元和非有效决策单元的效率值大小,因此被广泛用于水资源利用效率的评价。相较于传统 DEA 模型,超效率 DEA 模型可同时比较多个有效主体的水资源利用效率,并克服环境因素对其效率的影响,当出现多个效率值同时为 1 的效率用水主体时,超效率 DEA 模型可用于评价各用水主体间水资源利用效率的相对有效性。因此,水资源利用效率的评价结果更加客观有效。超效率 DEA 模型在评价水资源用水主体时,首先将其值排除在决策单元集合外,然后再进行超效

率值(被解释变量)对环境因素(解释变量)的回归,要求环境因素不能与第一步投入产出指标相同,由解释变量的系数来判断环境因素对效率值的影响方向与影响程度。

假设: n 个决策单位利用 K 种投入生产 M 种产出,对于第 j 个决策单元,分别用向量 X_j 和 Y_j 表示,其中 $X_j = (x_{j1}, x_{j2}, x_{j3}, \dots, x_{jk})'$, $Y_j = (y_{j1}, y_{j2}, y_{j3}, \dots, y_{jm})'$,对第 j_0 个决策单元进行效率评价,超效率 DEA 模型为:

$$\min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_0}}^n X_j \lambda_j + s^- = \theta X_{j_0} \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_0}}^n Y_j \lambda_j - s^+ = Y \\ \lambda_j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, n) \\ s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

若 $\theta \geq 1$,且 $s^+ = s^- = 0$,则称第 j_0 个 DMU₀ 为 DEA 有效;若 $\theta \geq 1$,且 $s_i^- \neq 0$ 或 $s_r^+ \neq 0$,则称第 j_0 个 DMU₀ 为 DEA 弱有效;若 $\theta < 1$,且 $s_i^- \neq 0$, $s_r^+ \neq 0$,则称第 j_0 个 DMU₀ 为 DEA 无效。对于无效的评价单元,超效率 DEA 和传统 DEA 效率值评价结果相同;对于效率值都达到 1 的评价单元,则可以比较其相对效率值大小。

基于投入的超效率 DEA 模型如图 1 所示。假设:按照一般 DEA 计算,可得 A、B、C 都是效率值为 1 的高决策单元,D 点为生产效率较低点。在计算 C₁ 点的效率值时,会将 C 点排除在外,从而以 A、B 两点作为前沿面,线段 CC₁ 是表示其投入量还可增加的幅度,因而 C 点的超效率值为 $(OC + CC_1)/OC$,且大于 1。D 点为效率值较低点,排除与否不会对生产前沿面产生影响,即对计算结果无影响,这就说明超效率 DEA 模型对低效率的评价主体结果并无影响,但可用于比较高效率评价主体的相对大小。为此,在研究“一带一路”各个省市地区水资源利用效率时,选择投入主导型的超效率 DEA 模型对水资源利用效率进行评价。

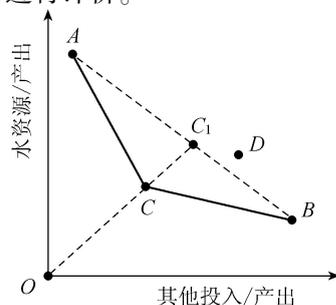


图 1 基于投入的超效率 DEA 模型

(2) Malmquist 指数模型

超效率 DEA 可以静态评价水资源利用效率,为了实现对时间序列更加深入地动态分析和评价,引入 Malmquist 生产力指数对全要素生产效率开展计算分析。全要素生产率指数是指在各种生产要素投入水平既定的条件下,所达到的额外生产效率^[13],最早由 Sten Malmquist 于 20 世纪 50 年代初提出,可用来衡量生产效率的变化。1982 年, Caves 第一次使用该指数对效率进行测度^[14]。此后, Fare 等将 Malmquist 指数 $M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t)$ 应用于生产效率研究,并将非参数线性规划法与 DEA 理论相结合构造全要素生产率增长的 Malmquist 指数,即 Total Factor Productivity Change (TFP-CH)^[15]。

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

若指数 $M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) > 1$, 表明从 t 到 $t+1$ 期,全要素生产水平效率提高;若指数 $M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) < 1$, 表明从 t 到 $t+1$ 期,全要素生产水平降低。Malmquist 生产效率指数分解如下:

$$EFFCH = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \quad (4)$$

其中:
$$EFFCH = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \quad (5)$$

$$TECHCH = \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$EFFCH$ 为技术效率变化指数(简称 EC),可进一步分解为纯属技术效率变化指数(PEC)和规模效率变化指数(SEC):

$$EC = PEC \times SEC \quad (7)$$

若 $EC > 1$, 表明决策单元更加接近生产前沿面,技术效率有所改善;若 $EC < 1$, 表明决策单元对现有技术利用并不理想。

$TECHCH$ 为技术进步变化指数(简称 TC),若 $TC > 1$, 表示技术进步或技术创新,生产前沿面向前移动。综上可知:

$$M = PEC \times SEC \times TC \quad (8)$$

(3) Tobit 回归分析

超效率 DEA 模型所计算的效率值不仅受投入产出指标因素的影响,还可受其他因素的影响。为了测度其他影响因素,衍生出影响因素分析。由于所计算的水资源利用效率值大于 0,且所搜集数据被截断,普通最小二乘法(OLS)无法完整呈现数据而导致估计偏差,因此采用 Tobit 回归分析影响因素^[16]。

2. 变量和数据说明

(1) 超效率 DEA 和 Malmquist 指数的指标来源
经济学中的生产要素主要是指资源、劳动、资本,考虑投入产出指标的可获得性及避免指标间的线性相关性,在选取投入产出指标数量时,超效率 DEA 模型的总数量应在决策单元总个数的 $1/3 \sim 1/2$ 之间。根据相关研究,选取地区生产总值(亿元)作为产出指标;以全年工业、农业和生活用水量(亿 m^3)、用水人口(万人)、资本存量(亿元)和化学需氧排放总量 COD (万 t) 作为投入指标,指标数量共计 7 个(表 1)。

表 1 “一带一路”18 省市水资源利用效率值指标体系

指标	指标名称	指标说明	单位
投入指标	全年工业用水量	工业用水消耗	亿 m^3
	全年农业用水量	农业用水消耗	亿 m^3
	全年生活用水量	生活用水消耗	亿 m^3
	用水人口	劳动力投入	万人
	资本存量	资金投入	亿元
	COD 排放量	水资源污染程度	万 t
产出指标	GDP	经济产出	亿元

投入产出数据主要从 2011—2015 年《中国统计年鉴》《中国水资源公报》及中国统计局和水利部门相关统计网站获得。其中,资本存量数据依据永续盘存法^[17]计算得到,通过对经济数据的单位根检验和协整检验,验证变量数据平稳,说明所搜集数据可进行实证分析。

(2) Tobit 回归变量说明

梳理现有文献,选用经济发展水平(EL)、水资源禀赋(WR)、政府影响力(GI)、水资源污染程度(WP)、农业产业结构(FIS)、工业产业结构(SIS)、市场化水平(ML)、水业企业竞争强度($WCDC$)、水业企业竞争强度($WCCL$)和节水指标(SW)共 10 个指标作为自变量。其中,由于西北地区开展了水权交易试点和探索工作,因此选用市场指数、水业企业发展状况、水业企业竞争强度来体现水市场交易对于水资源效率的影响^[18]。相关变量定义及说明见表 2。

表 2 相关变量定义与说明

变量名	变量定义	单位
经济发展水平(EL)	人均 GDP 的对数	元/人
水资源禀赋(WR)	人均水资源量的对数	m^3 /人
政府影响力(GI)	人均水利、环境和公共设施管理业固定资产投资的对数	元/人
水资源污染程度(WP)	人均化学需氧排放总量	吨/人
农业产业结构(FIS)	第一产业增加值/GDP	%
工业产业结构(SIS)	第二产业增加值/GDP	%
市场化水平(ML)	市场指数	—
水业企业发展状况($WCDC$)	人均水生产与供水企业产值	元/人
水业企业竞争强度($WCCL$)	水生产与供水企业数量	个
节水指标(SW)	万元水耗量	m^3

基于以上变量说明,构建模型如下:

$$WE_{it} = c + \beta_1 \ln EL_{it} + \beta_2 \ln WR_{it} + \beta_3 \ln GI_{it} + \beta_4 WP_{it} + \beta_5 FIS_{it} + \beta_6 SIS_{it} + \beta_7 MLI_{it} + \beta_8 WCDC_{it} + \beta_9 WCCL_{it} + \beta_{10} SW_{it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

式中: i 、 t 分别代表不同时期不同省份对应值; ε 为随机误差项,且服从正态分布。

三、水资源利用效率分析

1. 超效率 DEA 分析

通过 EMS1.3 软件,计算 18 个省市 2011—2015 年水资源利用超效率值(表 3 ~ 表 4)。结果表明:①18 个省市水资源利用平均效率达 1.013,说明 2011—2015 年这些省市整体水资源利用效率情况较好,总体呈增长态势。②各省市水资源利用平均效率差异较大,呈东南>西北>东北>西南的格局,这在一定程度上表明我国长期以来推行的建设节水型社会和落实最严格水资源管理制度政策产生积极效果。其中,5 年均值排名最高的是上海市,最低的是广西省。结合表 4 可知,18 个省市的水资源利用超效率值可划分为 3 个梯队:第一梯队包括上海、内蒙古、辽宁、广东、浙江、陕西和宁夏,这一梯队是水资源利用超效率值相对较高的省市;第二梯队包括海

表 3 2011—2015 年我国“一带一路”
区域水资源利用超效率值

区域	2015	2014	2013	2012	2011	平均值	排名
东北	1.166	1.127	1.137	1.139	1.014	1.046	3
东南	1.346	1.223	1.226	1.201	1.202	1.416	1
西南	0.924	0.897	0.919	0.926	0.944	0.972	4
西北	0.850	0.735	0.735	0.701	0.681	1.123	2
平均值	1.066	0.992	1.001	0.985	0.980	1.013	

表 4 2011—2015 年我国“一带一路”
18 个省市水资源利用超效率值

省市	2015	2014	2013	2012	2011	平均值	排名
内蒙古	1.321	1.323	1.262	1.321	1.095	1.264	2
辽宁	1.210	1.212	1.261	1.264	1.198	1.229	3
吉林	0.804	0.807	0.824	0.818	0.735	0.801	14
黑龙江	0.851	0.841	0.893	0.954	0.929	0.894	10
上海	2.884	2.692	2.577	2.253	2.329	2.547	1
浙江	1.153	1.105	1.114	1.093	1.119	1.116	5
福建	0.805	0.825	0.854	0.878	0.926	0.857	12
广东	1.096	1.112	1.141	1.167	1.203	1.144	4
广西	0.596	0.597	0.593	0.589	0.602	0.595	18
海南	0.965	0.904	0.921	0.945	0.972	0.941	8
重庆	0.924	0.910	0.917	0.914	0.915	0.916	9
云南	0.681	0.711	0.738	0.742	0.743	0.723	16
西藏	0.650	0.682	0.681	0.958	0.586	0.711	17
陕西	1.001	1.058	1.043	1.038	1.167	1.061	6
甘肃	0.820	0.884	0.909	0.866	0.828	0.861	11
青海	0.714	0.773	0.762	0.787	0.732	0.753	15
宁夏	0.944	0.929	0.999	0.951	1.236	1.012	7
新疆	0.737	0.776	0.812	0.837	0.869	0.806	13
平均值	1.066	0.992	1.001	0.985	0.980	1.013	

南、重庆、黑龙江、甘肃、福建、新疆和吉林,水资源利用超效率值位于 0.8 到 1 之间;第三梯队包括青海、云南、西藏和广西,这一梯队的水资源利用超效率值相对较低,都低于 0.8。

第一梯队中,内蒙古和宁夏的水资源较为匮乏,但由于其较早开展水权改革和水权交易试点,水资源利用效率均位于前列。这说明,通过水权交易试点,可以促进用水结构优化,盘活水资源使用效率,提升水资源利用率。同时,上海、浙江和广东由于经济发展水平较为发达、采水用水技术较为先进,因此,这 3 个省市的水资源利用效率较高。此外,陕西和辽宁的水资源利用效率较高得益于较好贯彻最严格水资源管理政策和开展水生态文明建设工作。

第二梯队中,重庆近年来的经济发展势头较好,承接了大量东部沿海转移而来的制造业与轻工业,先进技术产业引进带来了水资源利用效率提升。海南省拥有丰富的水资源禀赋,但由于水资源利用低效,导致水资源效率不高,在科学合理的产业布局以及大力推行生态保护政策下,其水资源利用效率有所改善,呈现先减后升的发展态势。吉林和黑龙江虽有较好的经济与技术基础,但近年来经济发展较为缓慢、技术更新不足,导致水资源利用效率提升较为缓慢。新疆与福建的水资源整体利用率呈逐年递减趋势,为此应在水交易政策推广与节水技术引进方面采取更多的积极措施。值得关注的是:甘肃省作为 2014 年水利部最早确认的水权改革试点省份之一,目前水资源利用效率仍不高,一方面是政策推行过程中产生的迟滞效应;另一方面是甘肃省的水资源较为匮乏且所处地理区域较为封闭,导致经济技术发展缓慢。

第三梯队中,西藏、云南与广西的水资源禀赋较为丰富、经济发展与技术提升较快,但受限于较弱的经济技术基础,水资源利用效率增长并不明显。受水资源匮乏和经济基础薄弱双重因素的制约,青海省水资源利用效率的提升仍面临较大困难与挑战。

2. 水资源利用效率 Malmquist 生产指数分析

通过 DEAP2.1 软件计算水资源全要素生产率指数(TFP)的动态变化值,得到分年份和分地区的“一带一路”18 个省市水资源全要素生产率指数(表 5 ~ 表 6)。结果发现:①2011—2015 年,“一带一路”18 个省市的水资源全要素生产率指数整体呈上升趋势。②水资源全要素生产率指数增长变化主要受技术进步影响,纯技术效率和规模效率对其产生制约作用,且技术效率对其影响较小。

由表 5 可知:第一,技术进步对水资源全要素生产率指数影响较大,从变化趋势来看,技术效率值变化与 TFP 值变化基本一致,都呈现先降低后提升

的趋势;从绝对数值变化来看,技术进步均值和 *TFP* 值的均值和个值都更为接近。第二,技术效率对 *TFP* 值的影响较小,且从年均变化率分解来看,技术效率的整体呈略微增长态势,其值几乎保持不变,因此可说明其对 *TFP* 值的影响不明显。第三,纯技术效率和规模效率制约了 *TFP* 值的增加,纯技术效率 5 年平均增长 0.5%,虽呈略微增长态势,但由于增长幅度和均值都较低,制约 *TFP* 值的提升。5 年中,规模效率平均下降了 0.7%,且均值为 0.993,为 4 项分解指数最低,且历年变化趋势同 *TFP* 值相同,因而可说明较低的规模效率制约了 *TFP* 值的提升。

表 5 2011—2015 年“一带一路”18 个省市水资源分年全要素生产率指数及分解

时间	水资源				
	技术效率 (<i>EFFCH</i>)	技术进步 (<i>TECHCH</i>)	纯技术效率 (<i>PECH</i>)	规模效率 (<i>SECH</i>)	全要素生产率指数 (<i>TFP</i>)
2011—2012	0.996	1.137	0.994	1.002	1.132
2012—2013	1.007	1.095	1.009	0.998	1.102
2013—2014	0.979	1.138	0.999	0.980	1.114
2014—2015	1.011	1.133	1.019	0.992	1.145
均值	0.998	1.126	1.005	0.993	1.123

表 6 显示了 2011—2015 年“一带一路”沿线我国 18 个省市水资源全要素生产率指数及分解。第一,分省市来看,福建、青海、海南、宁夏、西藏、陕西和内蒙古的全要素生产率指数排名比较靠前,均值超过 1.123;技术进步值最高的是青海、福建、海南、宁夏和西藏。第二,对比 *TFP* 和技术进步值发现,排名靠前的省市基本一致,说明技术进步对 *TFP* 值影响较大。技术效率值超过 1 的省市为广东、重庆、

表 6 2011—2015 年“一带一路”18 个省市水资源分省市全要素生产率指数及分解

省市	水资源				
	技术效率 (<i>EFFCH</i>)	技术进步 (<i>TECHCH</i>)	纯技术效率 (<i>PECH</i>)	规模效率 (<i>SECH</i>)	全要素生产率指数 (<i>TFP</i>)
内蒙古	1.000	1.202	1.000	1.000	1.202
辽宁	1.000	1.117	1.000	1.000	1.117
吉林	1.000	1.120	1.000	1.000	1.120
黑龙江	0.995	1.109	1.025	0.970	1.103
上海	1.000	1.101	1.000	1.000	1.101
浙江	1.000	1.121	1.000	1.000	1.121
福建	1.009	1.162	1.022	1.005	1.194
广东	1.027	1.113	1.000	1.001	1.115
广西	1.001	1.109	0.997	0.962	1.063
海南	0.959	1.150	1.007	1.008	1.167
重庆	1.015	1.033	0.990	1.011	1.034
云南	1.001	1.108	1.052	0.956	1.114
西藏	1.006	1.138	1.000	1.000	1.138
陕西	1.000	1.130	1.000	1.000	1.130
甘肃	0.980	1.102	0.998	0.983	1.081
青海	1.004	1.171	1.000	1.004	1.175
宁夏	1.000	1.146	1.000	1.000	1.146
新疆	0.978	1.140	1.005	0.973	1.115
均值	0.998	1.126	1.003	0.993	1.123

福建、西藏和青海,其中广东和重庆的技术效率为 1.027 和 1.015,相比 2011 年,广东和重庆 2015 年的技术效率分别增加了 2.7% 和 1.5%,分别位居 18 个省市中第 1 和第 2 名,但其 *TFP* 值在 18 个省市中分别位居 11 名和 18 名,这说明技术效率对 *TFP* 值的影响较小。2011—2015 年重庆、广西和甘肃的纯技术效率值衰退较大,其值分别为 1%,0.3% 和 0.2%,对应的 *TFP* 排名为 18 名、17 名、16 名,这说明较低的纯技术效率会制约 *TFP* 的提升。而广西和云南的规模效率值衰退较大,分别为 3.8% 和 4.4%,两省相应的 *TFP* 值排名为 18 和 14 名,这说明较低的规模效率也会也会对 *TFP* 值产生一定制约作用。

3. Tobit 回归结果分析

超效率 DEA 和 Malmquist 指数能客观反映省市的水资源利用效率,但并不能探求水资源利用效率的关键影响因素,因此,选用 Tobit 回归对其开展进一步研究。利用 Eviews8 对 2011—2015 年 18 省市相对水资源利用效率进行 Tobit 回归(表 7)。

表 7 “一带一路”18 省市水资源利用效率影响因素的面板 Tobit 回归结果

解释变量	回归系数	标准误差	Z 值	P 值
<i>EL</i>	0.4863	0.1041	4.6714	0.0000
<i>WR</i>	-0.0656	0.0266	-2.4697	0.0135
<i>GI</i>	-0.8128	0.1339	-6.0697	0.0000
<i>WP</i>	-0.0057	0.0036	-1.5976	0.1101
<i>FIS</i>	-2.4462	0.7900	-3.0964	0.0020
<i>SIS</i>	-0.1167	0.3231	-0.3610	0.7181
<i>ML</i>	0.0348	0.0278	1.2526	0.2103
<i>WCDC</i>	0.1767	0.0583	3.0315	0.0024
<i>WCCL</i>	-0.0031	0.0008	-3.7683	0.0002
<i>SW</i>	-2.7578	1.2223	-2.2562	0.0241
<i>C</i>	-2.7578	1.2223	-2.2562	0.0241

注: $P < 0.01$, $0.01 < P < 0.05$, $0.05 < P < 0.1$ 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平上显著, *C* 为常数项

根据表 7 可知,经济发展水平、水资源禀赋、政府影响力、农业产业、水业企业发展状况和竞争强度通过了显著性检验。具体结果如下:

第一,经济发展水平对水资源利用效率具有显著正向作用,这说明经济越发达的地区,水资源利用效率越高。这主要是因为,地区的人均 GDP 越高,其产业集聚程度越高,更有利于当地生产设备、节水技术和水利设施建设的发展,从而有助于实现水资源利用效率的提升。

第二,水资源禀赋对水资源利用效率具有显著负向作用,这说明水资源禀赋越充裕的地区,水资源利用效率反而越低。这一结论同马海良等^[3]的研究成果并不一致。分析该现象出现的原因可知,地区的水资源禀赋越充裕,其节水意愿和采取节水措施的可能性可能越低,导致水资源利用效率变低、水

资源浪费现象严重。

第三,农业产业对水资源利用效率具有显著负向作用,这说明分配到农业水资源总量增加反而会造成水资源利用效率降低。农业作为耗水量最多的产业,长期以来的用水效率不高,以漫灌为主和滴灌为辅的粗放生产方式制约了农业用水效率的提升。

第四,人均水利、环境和公共设施管理业全社会固定资产投资对水资源利用效率具有显著负向作用,这说明政府的影响力越高,水资源利用效率越低。这同邓益斌等的研究结论一致,其同样认为农林水支出越高,水资源利用效率越低^[17]。一方面,政府加大人均水利、环境和公共设施管理业社会固定资产投资支出时,对项目投资精细化水平不够,出现了规模递减现象,因此,当资金投入在一定限度内会促进水资源利用效率的提升,但投入量过度后会造资源边际递减,致使水资源利用效率降低;另一方面,固定资产污染防治支出主要用于污染区域的事后修复,而没有用于事前污染源的治理,因此出现了污染治理成本较高但收效相对较少的现象。

第五,水业企业发展状况对水资源利用效率具有显著正向作用,这说明人均水生产与供水企业产值越高,水资源利用效率越高。市场指数、水业企业的发展状况和竞争强度从侧面反映水权交易市场对于水资源利用效率的影响^[22]。理论上,构建水权市场交易平台可促进水资源的流转,提升水资源价值。所以,地区水权交易越活跃、市场指数增高,水业企业产值会越高、水资源利用效率也会越高,但是,2014年我国水权交易试点才在广东、内蒙古、宁夏与甘肃等省市开始施行,全国范围内的水权交易市场于2016年才开始运行,其他地区的水权交易尚未有效展开,市场活跃度的增加并未显著提升水资源利用效率。

第六,水业企业的竞争强度对水资源利用效率具有显著负向作用,这说明规模以上的水生产与供水企业数量越少,水资源利用效率会越高。产生这一结论的原因可能是:当前规模以上的水生产与供水企业占据了行业主导地位,无形中增加了满足生产条件企业的进入成本,导致水业企业与供水企业之间竞争程度不高、技术更新缓慢、产出效益不高,从而制约了水资源效率的提升。

四、研究结论与对策建议

1. 研究结论

利用超效率 DEA 模型和 Malmquist 生产力指数,评价和分析 2011—2015 年“一带一路”沿线我国区域 18 个省市的水资源利用效率,并用 Tobit 回归分析其水资源利用效率变化的各类影响因素及其

影响程度,研究结果显示:

①超效率 DEA 模型计算发现,2011—2015 年 18 个省市水资源利用效率总体情况较好,呈增长趋势;但是各省市的水资源利用效率差异较大,呈东南>西北>东北>西南的格局。其中,上海、内蒙古、辽宁、广东、浙江、陕西和宁夏水资源利用效率较高,其值大于 1;海南、重庆、黑龙江、甘肃、福建、新疆和吉林效率值居中,其值大于 0.8 且小于 1;青海、云南、西藏和广西水资源利用效率相对较低,其值都低于 0.8。

②Malmquist 生产力指数模型计算可知,2011—2015 年“一带一路”18 个省市的水资源全要素生产率指数变动整体呈上升趋势,其值主要由技术进步值的变化所决定,其中纯技术效率和规模效率变化对水资源全要素生产率指数的增长具有较大影响,而技术效率值对水资源全要素生产率指数影响较小。分省市来看,福建、青海、海南、宁夏、西藏、陕西和内蒙古因技术进步值较高,其全要素生产率指数排名较前。

③利用 Tobit 回归分析水资源利用效率变动的影响因素及其程度可知,2011—2015 年人均 GDP 和人均水生产与供水企业产值对水资源利用效率具有显著正向作用,人均水资源量、人均水利、环境和公共设施管理业固定资产投资、农业用水结构与水生产与供水企业数量对水资源利用效率具有显著负向作用,人均化学需氧排放总量、工业产业增加值、市场指数、与万元水耗量未通过显著性检验。

总体而言,受益于 2012 年、2013 年颁布施行的《关于实行最严格水资源管理制度意见》和《关于加快推进生态文明的建设意见》等规范和指导文件,近年来我国水资源利用效率和水资源全要素生产力指数整体而言都呈现上升趋势。值得注意的是,由于水资源禀赋、经济发展水平、发展定位,区域间发展不均衡、水市场交易不充分等因素,“一带一路”区域我国 18 个省市的水资源利用效率差异较大,且其水资源利用效率仍有较大提升空间。

2. 对策建议

第一,加强区域间技术合作。水资源利用效率均值呈现“一路”地区高于“一带”地区格局,这与各省市所处地区内产业结构有着密切关系。Malmquist 指数表明,技术进步是决定水资源利用效率的决定因素,生产技术的提升是产业发展的必要保障。为此,各省市应根据自身发展定位和资源禀赋,选择合适的发展战略,并根据不同区位优势调整产业布局。如,作为 21 世纪的海上丝绸之路建设的排头兵和主力军的上海、浙江和广东等省市应利用其开放程度高、经济实力强、辐射带动作用大的特点,同其相邻的福建和海南开展区域产业合作,推动

提升水资源利用效率;同时,向东北、西北和西南地区转移技术和资金支持,帮助改善和提升其水环境和水效率。此外,东北、西北和西南地区也应积极做好产业承接和开拓绿色产业,大力发展节能环保、生物医药等低污染高产值的行业。

第二,优化农业用水结构。“一带一路”区域水资源利用效率较低但农业产值较重的省市如海南、黑龙江、吉林、广西、云南、新疆和甘肃等地应加强供给侧改革,推动农业水价改革,加快完善大中小水利设施改革,完善末级渠道,推广农业的喷滴、微灌等高效节水灌溉技术,通过工程手段提高农户节水量。作为丝绸之路的核心区,新疆应发挥其重要交通枢纽和商贸物流等优势,重点发展节水产业和循环经济,优先关注节水灌溉或循环农业,从而形成溢出效应,带动周边地区大力发展生态农业、新型农业,实现农业用水效率的提升。

第三,合理进行水利设施项目投资。“一带一路”区域的水利设施等项目投资应在满足公众效益的前提下追求经济效益最大化,寻求合理投资区间,推动水资源资产负债表的编制与实施,切实推动“河长制(湖长制)”工作,根据区域发展需求选择恰当的投入资金,精准提升水资源利用效率。如,西南地区作为“一带一路”有机衔接的重要门户与战略支点,战略意义非常显著,囿于地理因素和交通不便,其发展较为缓慢,为此,国家应加大支持力度,为当地引进先进生产设备、节水和水利设施建设和维护等技术,减少废水排放、加大污水治理、提高废水排放效率和水环境保护力度,以实现水源保护和经济提升的协调发展。

第四,深入推进水权市场建设。目前,我国已成立全国范围内的水权交易平台,中国水权交易所公开成交信息显示已公开的成交案例达22例、成交总金额近7.4亿元,交易地区主要集中在内蒙古、宁夏等地。虽然水权交易平台取得一定成效,但全国范围内的水权交易深度与广度仍有待提升,为此,应健全水权制度建设,促进水权交易市场开展。对于水资源禀赋较差地区,如新疆、甘肃、宁夏、陕西等地区,应积极开展水权交易,通过水权交易机制盘活闲置水资源,激发各用水主体节水和高效用水的主观能动性、发挥市场机制对于优化分配水资源和提升水资源利用效率的作用。对于水资源禀赋较好的东南与西南地区,应加快水资源定价改革,拉开高耗水和其他行业差别,通过市场交易促进水资源节约与优化,实现水资源的最大效用。对于地下水采用较多的内蒙古和东北地区,应建立地下水水权交易市场,防止因地下水无序采用所产生的地面沉降和塌陷等环境问题。

参考文献:

- [1] 孙爱军,董增川,王德智. 基于时序的工业用水效率测算与耗水量预测[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(4):547-553.
- [2] 朱兆珍,梁中. 我国省域水资源利用效率评价研究[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2015, 17(3):72-78.
- [3] 马海良,黄德春,张继国. 考虑非合意产出的水资源利用效率及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(10):35-42.
- [4] 廖虢昌,董毅明. 基于DEA和Malmquist指数的西部12省水资源利用效率研究[J]. 资源科学, 2011, 33(2):273-279.
- [5] VEETIL P C, SPEELMAN S, HUYLENBROECK G V. Estimating the impact of water pricing on water use efficiency in semi-arid cropping system: an application of probabilistically constrained nonparametric efficiency analysis[J]. Water Resources Management, 2013, 27(1):55-73.
- [6] DENG G Y, LU L, SONG Y A. Provincial water use efficiency measurement and factor analysis in China: based on SBM-DEA model[J]. Ecological Indicators, 2016(69):12-18.
- [7] 卢曦,许长新. 基于三阶段DEA与Malmquist指数分解的长江经济带水资源利用效率研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(1):7-14.
- [8] 谭雪,石磊,王学军,等. 新丝绸之路经济带水效率评估与差异研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(1):1-6.
- [9] 左其亭,韩春辉,马军霞,等. “一带一路”中国大陆区水资源特征及支持能力研究[J]. 水利学报, 2017, 48(6):631-639.
- [10] 李明亮,李原园,侯杰,等. “一带一路”国家水资源特点分析及合作展望[J]. 水利规划与设计, 2017(1):34-38.
- [11] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6):429-444.
- [12] ANDERSEN P, PETERSEN N C. A procedure for ranking efficient units in Data Envelopment Analysis [J]. Management Science, 1993, 39(10):1261-1264.
- [13] MALMQUIST S. Index numbers and indifference surfaces [J]. Trabajos De Estadistica, 1953, 4(2):209-242.
- [14] CAVES D W, CHRISTENSEN L R, DIEWERT W E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity [J]. Econometrica, 1982, 50(6):1393-1414.
- [15] FARE R, GROSSKOP S. Malmquist productivity indexes and Fisher ideal indexes [J]. Economic Journal, 1992, 102(410):158-160.
- [16] TOBIN J. Estimation of relationships for limited dependent variables [J]. Econometrica, 1958, 26(1):24-36.
- [17] 张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000 [J]. 经济研究, 2004(10):35-44.
- [18] 励效杰. 水管理的市场化模式研究 [M]. 杭州:浙江大学出版社, 2014. (责任编辑:高虹)