资源型地区产业结构调整对水资源利用效率影响的实证分析
——来自中国10个资源型省份的经验证据*

张黎鸣[1,2)] 王红瑞[3)†] 潘成忠[3)] 何继宏[4)]
(1)山西财经大学经济学院,030006,山西太原; 2)晋中学院经济管理系,030619,山西晋中;
3)北京师范大学水科学研究院,100875,北京; 4)黄河水利委员会中游水文水源局,030600,山西晋中)

摘要 以2003—2017年山东、山西、内蒙古、四川、新疆、黑龙江、重庆、贵州、陕西和甘肃10个资源型省(直辖市、自治区)作为样本,深入研究资源型地区产业结构调整对水资源利用效率的影响. 结果表明:资源型地区水资源利用总体处于DEA无效率状态,且呈现显著的空间非均衡性,总体表现为东高西低;资源型地区第一、二、三产业结构变动系数与水资源利用效率的关联度分别为0.535、0.806和0.849,产业结构调整与水资源利用效率息息相关,二者存在一定的耦合联动关系;研究期内,资源型地区产业结构调整对水资源利用效率没有产生相应的提升作用,原因在于第一、三产业产值占比对水资源利用效率均具有显著的负向作用,改变农业粗放用水方式、优化第三产业用水结构,是促进资源型地区经济增长与水资源利用协调发展的关键;城镇化率与资源型地区水资源利用效率显著正相关,城镇化进程加快是提高资源型地区水资源利用效率的重要驱动力. 基于上述实证分析结果,提升资源型地区水资源利用效率应在保障粮食安全的前提下,严格控制第一产业用水,重点优化第三产业用水结构,积极推进城镇化建设,并合理配置财政科学技术支出,强化绿色技术创新的支撑作用.

关键词 水资源;数据包络分析;产业结构;资源型地区
中图分类号 F205 **DOI:** 10.12202/j.0476-0301.2020285

0 引言

党的十九大报告明确提出:“加快生态文明体制改革,建设美丽中国.”水资源是国民经济和社会发展的自然基础,更是绿色生态发展的重要保障[1]. 经济新常态下,如何优化产业布局,提升水资源利用效率,是区域经济绿色发展的重要议题. 资源型地区是指以本地区矿产、森林等自然资源开采、加工为主导产业的地区类型,既包括地级行政区和县级市、县等行政区,也包括以自然资源为依托带动经济发展的省级行政区. 传统资源型产业大多为水资源密集行业,从而对地区水资源消耗和水质环境产生重要影响,加之中国资源型城市大多分布在中西部水资源匮乏地带,因此,水资源短缺对社会经济发展的制约是资源型地区面临的突出问题. 结合产业结构调整,优化水资源在三次产业之间的配置,提高水资源利用效率,实现对水资源的可持续利用,是缓解与解决资源型地区水资源短缺以及推动经济绿色发展的有效途径.

水资源利用效率是学术界广泛关注的热点问题. 从水资源利用效率的测度方法看,现有文献大多采用指标体系评价法[2–3]、数据包络分析法[4–9]、模糊集对分析法[10]、方向性环境距离函数[11]等. 如:杨丽英等[2]通过分析水资源利用效率的影响因素,从综合、农业、工业、生活用水效率和生态环境5个方面构建了水资源利用效率的评价指标体系,并进一步探讨水资源利用效率的评价模型;陈午等[3]以中国省级面板数据进行实证分析,结果显示水资源利用效率总体呈现西低东高的分布特征;孙才志等[9]基于数据包络技术对中国水资源绿色效率、经济效率和环境效率进行测度,结果表明3种水资源利用效率均呈现下降趋势,且存在不同程度的波动. 农业和工业领域的水资源利用效率问题成为学术界关注的焦点. 如:常明等[12]实证检验了中国粮食水资源利用效率与有效灌溉比例、育种技术发展以及农村水源建设等因素之间的

* 国家自然科学基金资助项目(51879010);山西省科技厅软科学一般资助项目(2019041017-1)
† 通信作者:王红瑞(1963—),男,教授,博士生导师. 研究方向:水资源系统分析. E-mail: henrywang@bnu.edu.cn
收稿日期:2020-07-10

关系;韩宇平等[13]的研究表明河南省各地的工业用水效率与社会经济指标存在一定的响应关系;项潇智等[14]提出火力发电为中国能源产业中用水量最大的行业,页岩气开采初期用水量较大.

现有研究认同产业结构与水资源利用之间存在着密切的关系.结合灰色系统模型、多元统计回归分析等方法,学者们针对产业结构与水资源利用的双向优化[15−16]、耦合协调[17−19]以及匹配度[20]等展开了系统深入的探讨.如:吴丹[15]的研究表明,京津冀地区第一产业与水资源利用的关联度最高,第二产业次之,第三产业最低,并在此基础上探讨产业结构与水资源利用的双向优化;赵岩等[16]结合河北省水资源和水环境投入产出,通过建立产业结构的区间数多目标优化模型,提出地区产业调整方案;张峰等[17]提出广东省产业结构调整过程中,第一产业和第三产业在控制水资源消耗、化学需氧量以及提高经济效益方面具有较大优势;洪思扬等[18]在定量分析北京市第三产业用水特征的基础之上,从水权交易、技术推广、政策管理与机制构建 4 个方面,为促进北京市第三产业经济增长与水资源利用的协调发展提出建议.已有成果从不同角度对水资源利用效率、产业结构与水资源利用的关系进行了探究,为进一步深入研究产业结构调整对水资源利用效率的影响奠定了坚实的理论与实证基础,但仍存在着一些不足,如较少关注资源型地区转型发展过程中产业结构与水资源利用的协调发展问题.本文参考已有研究,对 2017 年统计年鉴中各省(直辖市、自治区)石油、天然气、煤炭 3 种资源储量情况进行排序,选取以上 3 种资源储量排名位于前 5 名的山西、内蒙古、新疆、黑龙江、重庆、贵州、陕西、山东、甘肃和四川 10 个省(直辖市、自治区)作为样本区域,依托 2003—2017 年的相关数据,利用 Shannon 熵改进传统 DEA 模型,对资源型地区水资源利用效率进行测度,并通过构建面板回归模型,实证分析资源型地区产业结构调整对水资源利用效率的影响,探求水资源利用效率的提升路径,从生态视角为资源型地区实现资源与经济社会的可持续发展提供理论借鉴.

1 资源型地区水资源利用效率测算

1.1 测算方法

1.1.1 传统 DEA 模型 数据包络分析(data evelopment analysis, DEA)由 Charnes、Cooper 和 Rhodes 3 位运筹学家在 1978 年首次提出,解决了距离函数的度量问题,并广泛应用于生产效率的研究中,主要用来评价具有多输入、多产出的决策单元(DMU)的相对有效性.以 DEA 中非常成熟的投入导向、规模报酬可变的 BCC(由 Banker、Charnes、Cooper 提出)模型为例,假定有 n 个独立的 DMU,并且每个 $\mathrm{DMU}_j(j=1,2,\cdots,n)$ 都有 m 项投入和 S 项产出,$m\times n$ 为投入矩阵 $\boldsymbol{X}$, $S\times n$ 为产出矩阵 $\boldsymbol{Y}$,用它们来表示 n 个决策单元的所有数据.模型具体为[21]

$$\min\theta-\varepsilon(\mathrm{e}^T\wedge S^-+\mathrm{e}^T S^+),$$
$$\begin{cases}\sum_{j=1}^{n}X_j\lambda_j+S^-=\theta X_0,\\ \sum_{j=1}^{n}Y_j\lambda_j-S^+=\theta Y_0,\\ \lambda_j\geqslant 0,S^-,S^+\geqslant 0,\end{cases}$$

式中θ为系数,S^+为松弛变量,S^-为剩余变量.本文在计算过程中利用 Deap2.1 软件,采用 DEA-BCC 模型对资源型地区水资源利用效率进行计算.

1.1.2 利用 Shannon 熵提高 DEA 的判别能力 Shannon 熵在信息论中起着重要作用,有时也用来对不确定性进行度量[22].将 Shannon 熵与 DEA 结合起来,首先对所有可能的变量组合进行 DEA 效率测算,然后利用 Shannon 熵对每一种变量组合在度量中的重要程度进行分析,结合初始效率值和每一种变量组合的重要程度,计算出综合效率得分(CES).将输入子集 M 和输出子集 S 的不同组合数目设为 $K=(2^m-1)(2^s-1)$,设第 k 个变量组合为 M_k,基于 M_k 定义 n 个决策单元的效率得分(BCC 模型条件下)为 E_{jk},其中,$j=1,2,\cdots,n$, $k=1,2,\cdots,K$,计算可得到效率矩阵 $[E_{jk}]_{n\times k}$,综合效率得分(CES)具体计算过程如下[23]:

1)计算所有可能的变量组合的初始效率值,形成效率矩阵 $[E_{jk}]_{n\times k}$,并采用归一化法对效率矩阵 $[E_{jk}]_{n\times k}$ 进行标准化处理,规定$\mathrm{e}_{jk}=E_{jk}/\sum_{j=1}^{n}E_{jk}$;

2)计算 Shannon 熵 $f_k=-\sum_{j=1}^{n}\mathrm{e}_{jk}\ln(\mathrm{e}_{jk})/\ln n$, M_k 组合中的多样化程度$d_k=1-f_k$;

3)对多样化程度 d_k 值进行标准化处理,计算出每种组合多样化占所有组合中的权重,$W_k=d_k/\sum_{k=1}^{K}d_k$,使 $\sum_{k=1}^{K}W_k=1$;

4)计算资源型地区水资源利用综合效率得分(CES),$\theta_j=\sum_{k=1}^{K}(W_kE_{jk}), j=1,2,\cdots,n$,其中,$0<\theta_j\leqslant 1$,且 θ_j 越趋近于 1,水资源利用效率越高.

综上所述,结合 Shannon 熵的 DEA-BCC 模型算法设计如图 1 所示.

1.2 测算指标选择 研究区域覆盖中国 10 个典型资

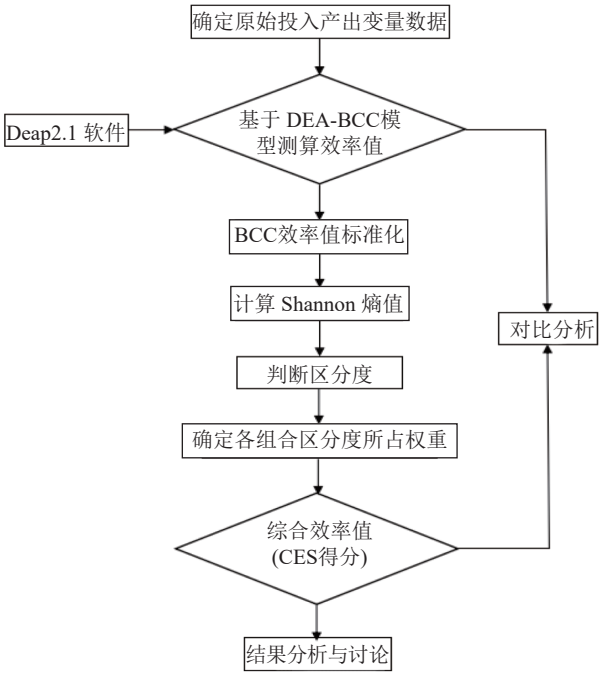

图 1　算法流程

源型省(直辖市、自治区)，自东向西依次为黑龙江、内蒙古、山东、山西、陕西、重庆、贵州、四川、甘肃、新疆. 对资源型地区水资源利用效率的测度所需指标分为投入型指标与产出型指标 2 类. 基于资源型地区可持续发展理念，响应绿色发展号召，在以往研究的基础之上，综合社会、经济、环境以及数据的可得性等方面的考虑，选择如下投入产出指标：

1)产出指标. 选取收益性指标作为产出指标，采用地区生产总值(GDP)加以衡量. 为消除价格影响，利用地区生产总值指数作相应平减(2003 为 1).

2)水资源投入. 分别采用农业用水、工业用水和生活用水来描述.

3)劳动力投入. 采用各省年底城乡从业人员数量加以衡量.

4)资本投入. 选取地区全社会固定资产投资总额对资本投入指标加以衡量. 考虑到价格变动因素，对该指标数据进行平减处理，基期定位 2003 年.

5)环境投入. 需要说明的是，环境污染在绿色 GDP 核算中，属于负向产出指标，在应用 DEA 进行效率测度时，投入指标往往是成本型指标，此类指标值越小越好，因此，本文将环境污染作为投入型指标，采用各省废水排放总量加以衡量.

为保证数据的一致性，本文所有数据均来自于 2004—2018 年《中国统计年鉴》，其中部分年份各地区年底从业人员总量数据缺失，依据各省(直辖市、自治区)地方统计年鉴进行补充.

1.3　资源型地区水资源利用效率的测度分析　以地区生产总值(GDP)作为产出指标，农业用水、工业用水、生活用水、年末城乡从业人数、全社会固定资产投资总额和废水排放总量作为投入指标，得到输入集合 M 与输出集合 S 的不同组合数为 $K=(2^1-1)\times(2^6-1)=63$. 考虑到本文研究的是水资源利用效率问题，用水量是必不可少的输入指标，因此，剔除输入指标中不包含用水量的 7 个组合. 基于 DEA-BCC 模型，计算其余 56 种组合的初始效率值，并结合 Shannon 熵指数提高 DEA 识别能力，测算出 2003—2017 年资源型地区水资源利用综合效率得分，结果如表 1 所示. 从 2003—2017 年水资源利用效率的均值来看，资源型地区水资源利用总体处于 DEA 无效率状态.

从空间维度看(表 1)，资源型地区水资源利用效率呈现显著的空间非均衡性. 研究区内，不同地区水资源利用效率均值的极差为 0.466. 山东省水资源利

表 1　2003—2017 年资源型地区水资源利用效率

省份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	均值	排名
山东	0.978	0.982	0.985	0.960	0.976	0.971	0.982	0.984	0.979	0.979	0.983	0.987	0.984	0.959	0.949	0.977	1
山西	0.878	0.883	0.847	0.797	0.844	0.861	0.840	0.841	0.879	0.759	0.717	0.678	0.635	0.586	0.754	0.784	3
内蒙古	0.731	0.747	0.717	0.670	0.738	0.758	0.785	0.765	0.772	0.821	0.802	0.792	0.824	0.783	0.625	0.755	4
四川	0.513	0.499	0.465	0.462	0.483	0.496	0.493	0.527	0.533	0.529	0.540	0.542	0.545	0.520	0.513	0.511	10
新疆	0.644	0.626	0.587	0.531	0.548	0.539	0.493	0.533	0.503	0.490	0.496	0.489	0.494	0.473	0.434	0.525	9
黑龙江	0.658	0.655	0.615	0.527	0.559	0.551	0.527	0.545	0.499	0.468	0.482	0.514	0.586	0.547	0.509	0.550	8
重庆	0.831	0.831	0.798	0.798	0.813	0.828	0.723	0.887	0.892	0.907	0.914	0.921	0.921	0.932	0.891	0.859	2
贵州	0.496	0.500	0.519	0.547	0.576	0.598	0.621	0.559	0.493	0.541	0.557	0.549	0.562	0.554	0.617	0.552	7
陕西	0.645	0.725	0.717	0.719	0.672	0.689	0.701	0.736	0.776	0.798	0.813	0.803	0.755	0.751	0.859	0.744	5
甘肃	0.609	0.602	0.601	0.627	0.619	0.568	0.569	0.555	0.544	0.494	0.493	0.540	0.507	0.595	0.616	0.569	6

用效率值分布在 0.9~1.0 之间,总体处于高位水平,且波动幅度不大,年均变动率仅为−0.2%. 水资源利用效率排名处于后 3 位的分别为黑龙江、新疆和四川. 根据中国国家统计局的划分标准,将 10 个省(直辖市、自治区)分别划归东部、中部、西部 3 大地带,对水资源利用效率的空间差异作进一步分析,计算可得东部、中部和西部资源型地区水资源利用效率均值分别为 0.977、0.696 和 0.627,总体从高到低表现为东部、中部、西部.

从区域经济发展水平的角度看(表 2),资源型地区水资源利用效率的高低与经济发展水平并不存在必然的联系. 以地区人均 GDP 作为经济发展水平的衡量指标,可以看到,2017 年水资源利用效率排名靠前的省(直辖市、自治区),其经济发展水平并非一定位居前列,如山西省. 相反,水资源利用效率排名靠后的省(直辖市、自治区)中,也不乏有人均 GDP 排名靠前的情况. 究其原因,本文在研究过程中将环境成本作为负向投入指标对水资源利用效率加以测度,而用来表征经济发展水平的人均 GDP,并不能全面反映地区水资源利用的绿色产出. 水资源利用效率的演变受到区域经济和社会发展等诸多方面直接或间接的影响,是一个复杂的系统.

表 2　2017 年资源型地区水资源利用效率

省份	BCC效率	BCC排名	CES得分	CES排名	水资源情况	人均GDP排名
山东	1.000	1	0.949	1	极度缺水	1
山西	1.000	1	0.754	4	极度缺水	7
内蒙古	1.000	1	0.625	5	暂不缺水	2
四川	0.756	9	0.513	8	暂不缺水	6
新疆	0.749	10	0.434	10	暂不缺水	5
黑龙江	0.877	7	0.509	9	暂不缺水	8
重庆	1.000	1	0.891	2	轻度缺水	3
贵州	0.779	8	0.617	6	轻度缺水	9
陕西	1.000	1	0.859	3	重度缺水	4
甘肃	0.909	6	0.616	7	重度缺水	10

从水资源禀赋角度看(表 2),水资源越丰富的地区,水资源利用效率越低. 依据国际公认的标准,按照人均水资源储量将缺水状态分为 4 个等级:<3 000 m^3,为轻度缺水;<2 000 m^3,为中度缺水;<1 000 m^3,为重度缺水;<500 m^3,为极度缺水. 考察资源型地区水资源短缺与水资源利用效率的排名情况,可以看出:极度缺水的山东、山西等地,水资源利用效率值排名位于前列;而水资源相对丰富的四川、新疆和黑龙江,水资源利用效率值排名却处于后 3 位. 这与任玉芬等[24]的研究结果一致,“资源诅咒”效应不仅作用于区域经济发展,也同样作用于资源利用效率,区域水资源禀赋越丰富,其节水意愿和采取节水措施的可能性就越低,从而导致水资源浪费现象严重,不利于水资源利用效率的提升.

以农业用水、工业用水、生活用水、劳动力投入、资本投入和环境投入作为投入指标,以地区生产总值为产出指标,利用 DEA-BCC 模型计算资源型地区水资源利用的 BCC 效率值(表 2). 对比分析 2017 年资源型地区水资源利用的 BCC 效率值与 CES 得分,可以看出,使用 CES 得分对资源型地区水资源利用效率进行评估和排序更为合理. 根据 BCC 效率值,2017 年共有 5 个地区的水资源投入产出达到最佳状态,处于效率的前沿面,其他非 DEA 有效的地区水资源利用效率也均>0.7. DEA 效率值与给定的投入产出数据相关,DEA 模型中的变量个数越多,决策单元的效率值越高,从而 DEA 分析的识别能力越差,所以,理论上需要在 DEA 模型中选择尽可能少的变量;但在实际操作中,要考虑的潜在变量过多,加之人的有限理性,很难选择出投入产出的最佳组合,从而倾向于选择尽可能多的变量:因此,利用传统 DEA 模型,很难对资源型地区水资源利用效率进行合理的评估和排序. 与 BCC 效率值相比,2017 年 10 个资源型地区水资源利用的综合效率得分普遍下降,且大致服从正态分布,能有效地区分不同地区的水资源利用效率. 结合 Shannon 熵理论对 BCC 效率值进行调整,综合考虑投入产出所有变量组合的效率值,从而使 CES 得分更具稳定性且达到 DEA 效率前沿的难度更高,因此,使用综合效率得分对资源型地区水资源利用效率进行测度评估,更为科学合理.

2　资源型地区产业结构转型升级对水资源利用效率的影响分析

2.1　资源型地区产业结构演变态势　资源型经济转型发展过程中, 优化产业结构, 构建多元支撑的结构格局是一种必然趋势. 借用产业结构高级化指数对产业结构转型升级的状态加以描述. 以往的研究, 对产业结构高级化从 2 个角度进行衡量: 一是第三产业产值占 GDP 的比例, 二是生产性服务业产值占第三产业产值的比例. 考虑到资源型地区产业结构转型升级主要表现为第三产业增长率快于第二产业增长率, 第一产业增加值相对稳定, 因此, 借鉴唐晓华等[25]的研究方法, 本文采用第三产业产值与第二产业产值之比来计算产业结构高级化指数 $h_{it}=\dfrac{h_{ift}}{h_{iwt}}$, 式中 i 表示地区, t 表示时间, f 表示第三产业, w 表示第二产业, h_{ift} 表示 i 地区第 t 期第三产业增加值, h_{iwt} 表示 i 地区第 t 期第二产业增加值. 计算结果如图 2 所示. 考虑到图表的美观度, 本文仅呈现 2003—2017 年单数年份的资源型地区产业结构高级化指数, 以描述产业结构动态特征. 对于资源型地区产业结构的动态分析结果表明: 研究区域内, 除陕西省和贵州省外, 产业结构高级化指数在研究期内均呈现增长趋势; 第三产业比例逐渐上升, 产业结构转型升级效果明显. 其中, 产业结构高级化指数增长幅度位于前 3 位的依次为黑龙江、山西和内蒙古地区, 黑龙江省产业结构高级化指数的年均变动率高达 10.34%, 产业结构调整力度强劲.

2017 年末, 研究区内, 除陕西省以外, 其他地区第三产业比重均已超过第二产业, 成为地区经济增长的主要力量. 2003—2012 年, 陕西省第二产业持续扩张,

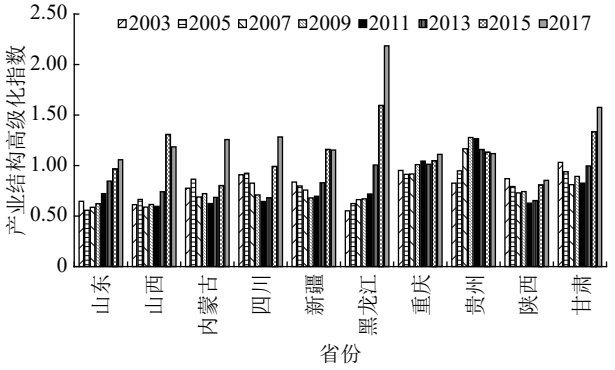

图 2　2003—2017 年资源型地区产业结构演变特征

第二产业占比从 2003 年的 47.19% 上升至 2012 年的 55.86%, 2013 年以后进入产业结构转型升级阶段, 2017 年末陕西省三次产业结构达到 8.0∶49.7∶42.4, 第二产业仍为主导产业. 依据钱纳里工业化阶段理论可初步判断, 陕西省处于工业化中期阶段, 产业结构有待进一步转型升级. 其他 9 个地区处于工业化后期阶段, 但与高收入国家相比, 其第三产业比重仍偏低, 属于中低收入国家水平.

2.2　资源型地区三次产业结构变动系数测算　以 2003 年为基期, 通过比较三次产业的当期与基期产值比例, 测算产业结构变动系数, 结果如图 3 所示. 考虑到图表的美观与清晰度, 本文仅呈现 2005、2009、2013 和 2017 年的三次产业结构变动系数. 结果显示: 2003—2017 年间, 除黑龙江省以外, 其他资源型地区的第一产业结构变动系数均为负值, 第一产业呈收缩态势, 且收缩速率逐步加快; 山东、内蒙古、四川、新疆、重庆和甘肃的第二产业结构变动系数呈现由正到负的变动态势, 山西、黑龙江和贵州的第二产业结构变动系数均为负值, 第二产业比重持续下降, 且下降幅度逐渐增大; 研究区内, 第三产业总体处于扩张

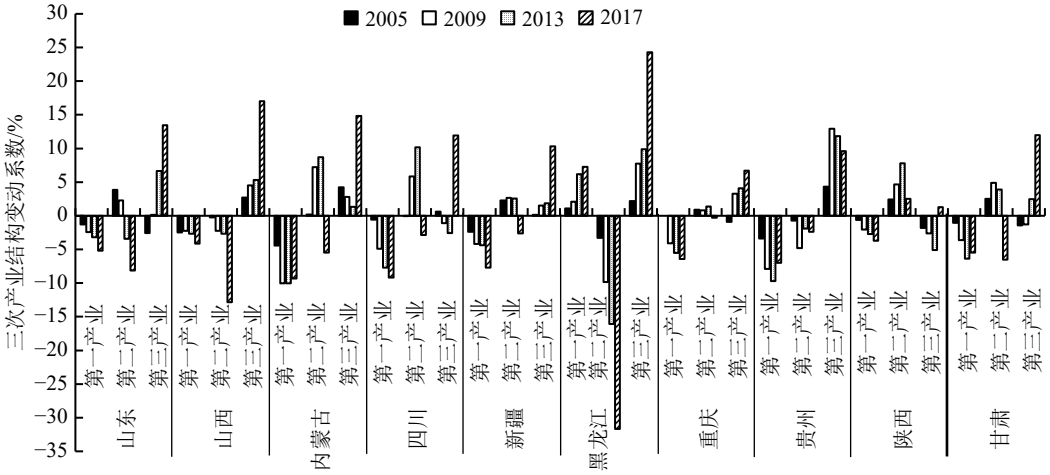

图 3　2003—2017 年资源型地区三次产业结构变动系数

态势,其中,黑龙江和山西第三产业结构变动系数全部为正值,且呈直线上升趋势.

2.3 资源型地区产业结构与水资源利用的关联度

以 2003 年为基期,通过比较当期与基期的水资源利用效率,测算出资源型地区水资源利用效率变动系数.采用灰色关联评价法,分别以水资源利用效率变动系数和三次产业结构变动系数作为参考数列和比较数列,计算资源型地区产业结构与水资源利用之间的关联度.其具体计算过程如下[15]:首先,分别用同一序列的各个原始数据除以该列最大值,对数据系列进行无量纲化处理;然后,计算灰色关联系数

$$\xi_{0i}(k)=\frac{\min\limits_{i}\min\limits_{k}|Y_i(k)-X_i(k)|+\rho\max\limits_{i}\max\limits_{k}|Y_i(k)-X_i(k)|}{|Y_i(k)-X_i(k)|+\rho\max\limits_{i}\max\limits_{k}|Y_i(k)-X_i(k)|},$$

式中:k=1,2,$\cdots$,14;i 为比较数列个数(i=1,2,3);$|Y_i(k)-X_i(k)|$是参考数列与第 i 个比较数列对应的第 k 个数据的绝对差;$\min\limits_{i}\min\limits_{k}|Y_i(k)-X_i(k)|$为两级最小差;$\max\limits_{i}\max\limits_{k}|Y_i(k)-X_i(k)|$为两级最大差;$\rho$为分辨系数,取$\rho=0.5$.最后,求取比较数列与参考数列在各个时期关联系数的算数平均值即为二者的关联度值.

2003—2017 年资源型地区产业结构与水资源利用效率的关联度如表 3 所示.资源型地区整体三次产业与水资源利用的关联度由大到小排序为第三产业、第二产业、第一产业,其关联度均值分别为 0.849、0.806 和 0.535.可判定资源型地区产业结构转型升级与水资源利用效率息息相关,产业结构调整与水资源利用效率之间存在一定的耦合关系.

2.4 资源型地区产业结构转型升级对水资源利用效率影响的实证分析

2.4.1 *研究设计与变量说明* 通过构建面板回归模型实证分析资源型地区产业结构转型升级对水资源利用效率的影响:

$$E_{it}=\alpha_{it}+\beta_1 I_{it}+\beta X_{it}+\gamma_{it},$$

式中:E_{it} 为被解释变量,代表水资源利用效率;I_{it} 为核心解释变量,代表产业结构;i表示地区;t表示时间;X_{it}为控制变量;γ_{it}为随机扰动项.

为从多维度检验资源型地区产业结构调整对水资源利用效率的影响,本文的核心解释变量包含产业结构升级指数(I)以及三次产业增加值所占比例,分别用 I_1、I_2、I_3 表示.即除检验产业结构升级对水资源利用效率的影响,还将分别探讨三次产业增加值所占比例对水资源利用效率的影响.

为全面分析其他影响因素,参照已有研究[26],选取城镇化进程、进出口需求作为控制变量.城镇化的快速扩张给资源型地区水资源利用带来巨大压力,城镇人口的急剧增加以及工业的发展带来人均用水量的增加,生活及工业生产产生的污水排放大大增加了水资源利用的环境成本,从而对水资源利用效率产生影响,本文选择城镇化率(urban)作为城镇化进程的表征值;现有文献认为进出口贸易会影响区域的节水效率,原因在于进出口产品与水资源利用具有替代作用[27],本文选取地区实际进出口金额对进口需求和出口需求加以衡量.

以上数据均来源于 ESP 数据库、《中国统计年鉴》以及各省份历年统计年鉴.为避免数据量纲不一致对估计结果的影响,对地区进出口需求取自然对数.本文选用的变量及对所选变量的统计性描述如表 4 所示.

2.4.2 *回归结果分析* 首先利用最小二乘法作面板回归,考察在资源型经济转型背景下,产业结构调整对水资源利用效率的影响,并出于稳健性考虑同时报告了 Tobit 模型回归结果.如表 5 所示,运用 2 种回归方法得到的估计结果基本一致,从整体上看,产业结构高级化指数及三次产业产值占比与水资源利用效率均显著相关,说明资源型地区产业结构调整对水资源利用效率的变动具有较好的解释力.本文就 Tobit 模型的回归结果加以讨论.

模型 5 将产业结构高级化指数作为基础解释变量进行回归,结果显示,产业结构高级化指数与水资源利用效率负相关.产业结构高级化指数提高 1 个单位,水资源利用效率下降 0.1510 个单位,且这一结果在 5% 的水平下显著,说明资源型地区产业结构转型升级过程中,第三产业增加值与第二产业增加值的比值增大,水资源利用效率没有得到相应提升.为此,

表 3 2003—2017 年资源型地区产业结构与水资源利用的关联度

地区	第一产业	第二产业	第三产业
山东	0.547	0.840	0.814
山西	0.718	0.646	0.660
内蒙古	0.519	0.928	0.916
四川	0.540	0.948	0.971
新疆	0.442	0.596	0.657
黑龙江	0.643	0.498	0.640
重庆	0.485	0.870	0.929
贵州	0.450	0.753	0.938
陕西	0.517	0.994	0.972
甘肃	0.485	0.989	0.990
均值	0.535	0.806	0.849

表 4　变量描述性统计分析

变量	变量释义	均值	标准差	最小值	最大值
E_{it}	水资源利用效率	0.743	0.143	0.493	0.985
I	产业结构高级化指数	0.884	0.263	0.490	2.190
I_1	第一产业占比	0.124	0.043	0.044	0.220
I_2	第二产业占比	0.474	0.066	0.255	0.615
I_3	第三产业占比	0.403	0.057	0.294	0.558
urban	城镇化率	0.458	0.096	0.206	0.641
$\ln X_1$	出口需求	4.330	1.249	2.002	7.361
$\ln X_2$	进口需求	4.247	1.222	1.707	7.464

注: X_1和X_2分别表示出口量和进口量; 样本量均为150.

表 5　面板回归结果

变量	LS模型				Tobit模型			
	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6	模型7	模型8
I	−0.0444*				−0.1510**			
	(−1.9608)				(−5.0633)			
I_1		−0.5201**				−1.0885***		
		(−2.1323)				(−5.6615)		
I_2			0.4652***				0.7670***	
			(3.5543)				(7.1759)	
I_3				−0.3280**				−0.5728***
				(−2.0952)				(−3.9040)
urban	0.3175	0.3558	0.1134	0.2782	0.8640***	0.5837***	0.7614***	0.8976***
	(1.2851)	(1.5708)	(0.4816)	(1.1722)	(9.4506)	(5.9508)	(8.9371)	(9.3375)
$\ln X_1$	0.0437***	0.0360**	0.0366**	0.0455***	0.0704***	0.0705***	0.0651***	0.0768***
	(2.6627)	(2.2180)	(2.3115)	(2.8208)	(4.8466)	(4.9638)	(4.7609)	(5.2596)
$\ln X_2$	0.0086	0.0183	0.0063	0.0054	−0.0015	0.0186	0.0004	−0.0039
	(0.4924)	(1.0736)	(0.3862)	(0.3107)	(−0.0985)	(1.2695)	(0.0290)	(−0.2538)
constant	0.3587**	0.3379***	0.2468**	0.4892***	0.4312***	0.5625***	−0.0165	0.5033***
	(2.3629)	(2.8878)	(2.5235)	(2.9277)	(10.0823)	(9.8727)	(−0.2993)	(8.0665)

注: X_1和X_2分别表示出口量和进口量; ***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著; LS回归结果括号中为T值, Tobit回归结果括号中为Z值; 样本量均为150.

本文分别将三次产业产值占比作为基础解释变量, 进一步探讨资源型地区产业结构升级对水资源利用效率的影响.

模型 6 将第一产业产值占比作为基础解释变量进行回归, 结果显示: 第一产业产值占比与水资源利用效率呈负相关, 第一产业占比减少 1 个单位, 水资源利用效率将提升 1.0885 个单位, 且这一结果在 1% 的水平下显著. 原因在于, 农业是我国国民经济的基础, 长期以来, 农业部门用水在总用水量中占有较大比例, 尽管随着工业化和城镇化进程加快, 农业产业规模收缩, 但农业用水量仍居高不下. 以山西省为例, 2018 年山西省农业用水量占总用水量的比例近 60%. 由于灌溉技术相对落后以及农业用水价格严重背离价值, 资源型地区第一产业用水量大且效率低下, 用水方式较为粗放, 浪费现象严重. 因此, 第一产业比例增加, 地区水资源利用效率下降.

模型 7 将第二产业产值占比作为基础解释变量进行回归, 结果显示: 第二产业产值占比与水资源利用效率正相关, 第二产业产值占比减少 1 个单位, 水资源利用效率下降 0.7670 个单位, 且这一结果在 1%

的水平下显著. 可能的解释是: 第一, 资源型地区第二产业仍占有一定比例, 产业聚集效应明显, 从而在水资源利用和污水处理过程中更容易形成规模效应, 提高了单位用水的经济产出; 第二, 地方财政收入与社会经济发展成正比, 财政收入增加, 地方政府对供水和污水处理等公共基础设施的投入也会相应增加, 从而污水处理水平得以提升; 第三, 随着最严格水资源管理制度的实施以及节水技术的进步, 资源型地区第二产业用水量总体呈下降趋势, 部分工业企业已实现了水资源循环利用和废水零排放. 因此, 第二产业产值占比增加, 水资源利用效率也更高.

模型 8 将第三产业产值占比作为基础解释变量进行回归, 结果显示: 第三产业产值占比与水资源利用效率负相关, 第三产业产值占比提高 1 个单位, 水资源利用效率下降 0.5728 个单位, 且这一结果在 1% 的水平下显著. 原因在于: 首先, 第三产业规模快速扩张在拉动地区经济增长的同时, 也加大了产业用水需求; 其次, 资源型地区转型发展过程中, 更多地关注产业结构调整的经济产出效应, 对节能降耗和技术创新重视不足, 使得其第三产业大多以用水系数较高的劳动密集型行业为主, 资本密集型行业占比较低, 从而第三产业用水效率总体不高. 因此, 提高资本-劳动投入比, 加强对第三产业水资源利用的监管, 切实提高第三产业水资源利用效率, 是促进资源型地区经济增长与水资源利用协调发展的关键.

此外, 在 Tobit 回归结果中城镇化率的估计系数均为正值, 且在 1% 的水平下显著, 说明资源型地区城镇化进程加快是提升水资源利用效率的重要驱动力. 出口需求的估计系数均为正值, 且在 1% 的水平下显著, 原因在于, 资源型地区出口规模扩大, 不仅直接拉动经济增长, 还会通过对消费、投资和进口的影响间接刺激地区经济增长, 因此, 出口规模与地区水资源利用效率成正比. 资源型地区进口需求对水资源利用效率的影响不显著.

3 结论

1) 资源型地区水资源利用总体处于 DEA 无效率状态, 且呈现显著的空间非均衡性. 从效率均值的排名来看: 山东、重庆水资源利用效率较高, 效率值分布于 0.8~1.0 之间; 山西、内蒙古、陕西次之, 效率值分布于 0.7~0.8 之间; 甘肃、贵州、黑龙江、新疆和四川的效率值偏低, 总体分布于 0.5~0.6 之间. 将 10 个省(直辖市、自治区)分别划归东部、中部、西部 3 大地带, 发现区域效率值排名依次为东部、中部和西部, 西部资源型地区水资源利用效率相对较低.

2) 资源型地区第一、二、三次产业结构变动系数与水资源利用效率的关联度值分别为 0.535、0.806 和 0.849, 产业结构调整与水资源利用效率息息相关, 二者存在一定的耦合关系.

3) 资源型地区产业结构高级化指数与水资源利用效率在 5% 的水平上负相关, 产业结构升级对水资源利用效率没有产生相应的提升作用. 资源型地区第一产业用水量大且效率低下, 拉低了区域内水资源利用效率的平均水平; 第二产业仍占有一定比例, 由于最严格水资源管理制度的实施、节水技术进步以及产业聚集效应的影响, 第二产业产值占比与水资源利用效率呈现正相关; 第三产业产值占比与水资源利用效率负相关, 资源型经济转型发展过程中, 第三产业产值规模不断扩大, 产业结构高级化指数得以提升, 但更多地关注产业结构调整的经济产出效应, 节能降耗和技术创新发展不足, 资本密集型行业占比较低, 从而第三产业用水效率总体不高. 提高第三产业水资源利用效率, 是促进资源型地区经济增长与水资源利用协调发展的关键.

4) 提升资源型地区水资源利用效率应在保障粮食生产安全的前提下, 严格控制第一产业用水, 并通过优化农业种植结构, 改良农业灌溉方式以及完善农业水权交易市场等措施, 促进农业用水由粗放型向集约型转变. 继续加大产业结构调整力度, 逐步淘汰高水耗、高污染企业, 健全节水激励约束机制, 借助财政、金融等方面的政策支持, 大力发展地区资本密集型产业, 重点优化第三产业用水结构. 增强节水减排和水污染处理技术的自主创新能力, 以及强化先进技术的吸收能力, 同时提升技术成果转化率, 将先进技术更好更快地推广使用, 形成新的技术手段, 以切实提升地区水资源利用效率.

4 参考文献

[1] 章恒全, 蔡晓莹, 张陈俊. 城镇化进程对水资源利用效率影响的实证研究[J]. 管理现代化, 2020, 40(1): 49

[2] 杨丽英, 许新宜, 贾香香. 水资源效率评价指标体系探讨[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2009, 45(增刊 1): 642

[3] 陈午, 许新宜, 王红瑞, 等. 梯度发展模式下我国水资源利用效率评价[J]. 水力发电学报, 2015, 34(9): 29

[4] 王录仓, 陈菲. 石羊河流域综合治理灌区水效率变化研究[J]. 生态学报, 2018, 38(10): 3692

[5] WANG H R, LIU H L, WANG C, et al. A study of industrial relative water use efficiency of Beijing: an application of data envelopment analysis[J]. Water Policy,

2019, 21(2): 326
[6] BYRNES J, CRASE L, DOLLERY B, et al. The relative economic efficiency of urban water utilities in regional New South Wales and Victoria[J]. Resource and Energy Economics, 2010, 32(3): 439
[7] 赵志博, 赵领娣, 王亚薇, 等. 不同情景模式下雄安新区的水资源利用效率和节水潜力分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34 (12): 2629
[8] 朱达, 唐亮, 谢启伟, 等. 基于DEA方法的我国省会城市水资源利用效率研究[J]. 生态学报, 2020(6): 1
[9] 孙才志, 姜坤, 赵良仕. 中国水资源绿色效率测度及空间格局研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(12): 1999
[10] 门宝辉, 刘焕龙. 基于模糊集对分析的京津冀水资源可持续利用评价[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2018, 39 (4): 79
[11] FÄRE R, GROSSKOPF S, PASURKA C A Jr. Environmental production functions and environmental directional distance functions[J]. Energy, 2007, 32(7): 1055
[12] 常明, 陈思博, 马冰然, 等. 粮食水资源利用效率及影响因素分析: 基于中国省际面板数据的实证研究[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(2): 145
[13] 韩宇平, 赵雨婷, 刘中培. 河南省工业用水效率对社会经济指标的响应[J]. 人民黄河, 2015, 37 (12): 54
[14] 项潇智, 贾绍凤. 中国能源产业的现状需水估算与趋势分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(1): 114
[15] 吴丹. 京津冀地区产业结构与水资源的关联性分析及双向优化模型构建[J]. 中国人口・资源与环境, 2018, 28(9): 158
[16] 赵岩, 黄鑫鑫, 王红瑞, 等. 基于区间数多目标规划的河北省水资源与产业结构优化[J]. 自然资源学报, 2016, 31(7): 1241
[17] 张峰, 宋晓娜, 薛惠锋, 等. 产业结构调整引发的水资源消耗与水环境效应检验: 来自广东省的实证[J]. 科技管理研究, 2018, 38(3): 161
[18] 洪思扬, 王红瑞, 程涛, 等. 北京市第三产业用水特征及其发展策略[J]. 中国人口・资源与环境, 2016, 26(5): 108
[19] 焦士兴, 王安周, 张馨歆, 等. 经济新常态下河南省产业结构与水资源耦合协调发展研究[J]. 世界地理研究, 2020, 29(2): 358
[20] 左其亭, 赵衡, 马军霞, 等. 水资源利用与经济社会发展匹配度计算方法及应用[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(6): 1
[21] 张子龙, 薛冰, 陈兴鹏, 等. 中国工业环境效率及其空间差异的收敛性[J]. 中国人口・资源与环境, 2015, 25 (2): 30
[22] 徐鹏程, 王栋. 信息熵在水文水资源科学中的研究进展[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2017, 38(4): 71
[23] BIAN Y W, YANG F. Resource and environment efficiency analysis of provinces in China: a DEA approach based on Shannon 's entropy[J]. Energy Policy, 2010, 38(4): 1909
[24] 任玉芬, 方文颖, 王雅晴, 等. 我国城市水资源利用效率分析[J]. 环境科学学报, 2020, 40(4): 1507
[25] 唐晓华, 孙元君. 环境规制对区域经济增长的影响: 基于产业结构合理化及高级化双重视角[J]. 首都经济贸易大学学报, 2019, 21 (3): 72
[26] 刁艺璇, 左其亭, 马军霞. 黄河流域城镇化与水资源利用水平及其耦合协调分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2020, 56(3): 326
[27] 钱文婧, 贺灿飞. 中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J]. 中国人口・资源与环境, 2011, 21(2): 54

Empirical analysis on the influence of industrial structure adjustment on water resource utilization efficiency in resource-based regions: empirical evidence from 10 resource-based provinces in China

ZHANG Liming[1,2)]　WANG Hongrui[3)†]　PAN Chengzhong[3)]　HE Jihong[4)]

(1)School of Economics, Shanxi University of Finance and Economics, 030006, Taiyuan, Shanxi, China;
2)Department of Economic and Management, Jinzhong College, 030619, Jinzhong, Shanxi, China;
3)College of Water Sciences, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;
4)Middle reaches hydrology and water resources office, YRCC, 030600, Jinzhong, Shanxi, China)

Abstract　Shandong, Shanxi, Inner Mongolia, Sichuan, Xinjiang, Heilongjiang, Chongqing, Guizhou, Shaanxi

and Gansu were selected to study the impact of industrial restructuring on water resource utilization efficiency in resource-based regions from 2003 to 2017. Water resource utilization in resource-based areas was found to be generally in the DEA inefficient state and presents significant spatial non-equilibrium, generally being higher in the east and lower in the west. Correlation degree between change coefficients in the first, second and third industrial structure towards water resource utilization efficiency was found to be 0.535, 0.806 and 0.849 respectively. Adjustment of industrial structure was found closely related to utilization efficiency of water resources. Adjustment of industrial structure in resource-based areas was found to have no effect on overall efficiency of water resources utilization. Ratio of output value in the first and third industries to water resource utilization efficiency was found to have significant negative effect. Coordinated development of economic growth and water resources utilization in resource-based areas should be promoted to change the mode of agricultural extensive discharge, to optimize water structure of the tertiary industry. The urbanization rate has been found to be significantly positively correlated with utilization efficiency of water resources. Accelerated urbanization has been found to be an important driving force to improve utilization efficiency of water resources. The above empirical analysis indicates that, to improve efficiency of water resources utilization, it is necessary to control strictly water use in primary industry, to optimizate water use structure in the tertiary industry. Urbanization construction must be actively promoted, expenditure of fiscal science and technology should be reasonably allocated. Supporting role of green technology innovation on the premise of ensuring food security must be strengthened.

Keywords water resource; data envelopment analysis; industrial structure; resource-based region

【责任编辑: 武 佳】