

中国绿色水资源利用效率的时空分布差异

章恒全¹, 蔡晓莹¹, 黄元龙¹, 张陈俊²

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 河海大学企业管理学院, 江苏 常州 213022)

摘要:基于 SBM 模型与 ML 指数, 将我国 30 个省市自治区分为东中西三部分, 分析绿色水资源效率值静态与动态变化, 且利用泰尔指数分析省际间绿色水资源利用效率的空间分布差异。结果表明: 我国省际间绿色水资源利用效率值存在不同程度的波动, 且呈缓慢上升的趋势, 区域间绿色水资源利用效率呈东部大于中部大于西部的格局; 技术进步指数是影响绿色水资源利用效率的主要因素; 绿色水资源利用效率地区间差异远高于地区内部差异, 且东部对绿色水资源利用效率贡献率最大。

关键词:绿色水资源利用效率; SBM 模型; ML 指数; 泰尔指数

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 1003-9511(2020)03-0001-06

现阶段, 我国存在水资源利用效率低、环境污染严重、人均用水不平均等问题。水资源南多北少, 东多西少; 人均水资源占有量不足世界人均占有量的 1/4; 2018 年我国用水总量为 6015.5 亿 m³, 而全国废污水排放量高达 750 亿 m³, 占用水总量的 12.47%^[1-2]。为解决上述问题, 习近平总书记在中国共产党第十九次全国代表大会报告中, 倡导“加快生态文明体制改革, 建设美丽中国”的理念, 旨在促进改善水生态环境, 实现社会、经济和环境的协调发展。

通过测算水资源利用效率值可以提高用水效率。目前学术界对于水资源利用效率测算的研究大致可以分为 4 个阶段: 第一阶段的评价方法为只考虑单个投入要素和单个产出要素的单要素效率评价法^[3], 即期望产出一定, 以较少的水资源投入获得更高的水资源利用效率。第二阶段是全要素水资源利用效率测度的研究。由于水资源的利用过程与劳动力、设备和能源等要素息息相关, 所以在单要素评价法基础上拓展投入指标维度, 主要有随机前沿法(SFA)^[4]和数据包络法(DEA)^[5], 两者共同点是产出指标均为期望指标。第三阶段是考虑废水排放等非期望产出的水资源利用效率研究, 将 DEA 模型逐渐拓展为 SBM、SE-DEA 等^[6-7]模型, 考虑环境效益, 得到更加精确的水资源利用效率值。第四阶段是从

静态角度考虑水资源利用效率值, 部分学者引入 ML 指数, 综合评价水资源利用效率值^[8-11]。

综上所述, 目前学者对水资源利用效率的测度进行了比较深入的研究, 共同点是投入、产出指标均是资本、劳动力、资源总量和 GDP, 且将 GDP 作为唯一产出指标, 得出资源利用效率与经济发展水平不呈正相关关系的结论。但是现有研究存在以下不足: ①针对绿色水资源利用效率的研究较少, 缺乏同时考虑经济、环境和社会相关投入要素的研究分析, 尤其缺乏对社会发展因素的探究; ②针对绿色水资源利用效率测度的研究没有考虑废水排放等环境污染问题, 造成绿色水资源利用效率值偏高; ③现有研究在投入产出端评价指标建立不够全面, 缺少科学性; ④缺少对水资源时空分布差异的统筹性研究。

鉴于此, 本文根据除西藏外 30 个省市自治区 2008—2016 年的面板数据, 拓展指标维度, 在投入端加入能源消耗量指标, 期望产出端加入 HSDI 指数指标, 非期望产出端加入废水排放量指标, 沿用 SBM 模型, 为全面考虑绿色水资源利用效率值的动态和静态变化, 选取 ML 指数测算其动态效率, 在分析时间差异的基础上, 采用泰尔指数解释水资源省际间的空间分布差异原因, 以期为我国绿色水资源有效利用提出有效意见。

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(41701610); 教育部人文社会科学研究青年基金(17YJC790194)

作者简介: 章恒全(1957—), 男, 教授, 主要从事水资源科学与环境研究。E-mail: hqzhang630@163.com

1 绿色水资源概念

面向绿色可持续发展的大背景,提高用绿色水资源利用效率是指增加正产出,减少相关投入和非期望产出。因此,绿色水资源利用效率的定义为考虑环境污染及相关污染处理费用、通过消耗水资源获得的经济、社会和环境产出与所投入要素量的比值^[12]。

绿色水资源利用效率内涵主要包含三方面:

- ①经济内涵,指单位时间内单位水资源投入带来的经济效益最大化;
- ②生态环境内涵,即水资源利用过程中减少非期望产出量,缓解环境污染问题;
- ③社会内涵,考虑人是社会的主体,实现人与自然、社会和谐共处。

2 模型方法与数据来源

2.1 SBM 模型

测度效率值根据是否已知生产函数的具体形式可分为参数法和非参数法,参数法以随机前沿分析法(SFA)^[3]为代表,非参数法以数据包络分析法(DEA)^[5]为代表。SFA 法仅适用于多投入单产出的情况,而 DEA 法与 SFA 法相比,优点在于无需考虑投入、产出指标之间的函数关系,避免了人为主观因素的影响,是一种在多投入、多产出状态下利用多目标决策模型对决策单元进行相对效率评价的方法。

传统的 DEA 法在测度效率上容易产生变量松弛现象,且忽视了非期望产出带来的影响,结果存在虚高的现象。Tone^[13]将目标函数加入松弛变量,改进模型,提出了非径向、非角度的 SBM 模型(slacks-based measure),使绿色水资源利用效率值测度更加准确^[12],计算公式如下:

$$\theta = \min \frac{1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{S_n^x}{x_{u'n}^x}}{1 + \frac{1}{M+I} \left(\sum_{m=1}^M \frac{S_m^y}{y_{u'm}^y} + \sum_{i=1}^I \frac{S_i^b}{b_{u'i}^b} \right)} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sum_{t=1}^T \sum_{u=1}^U \lambda_u^t x_{un}^t + S_n^x = x_{u'n}^x & (n = 1, 2, \dots, N) \\ \sum_{t=1}^T \sum_{u=1}^U \lambda_u^t x_{um}^t - S_m^y = y_{u'm}^y & (m = 1, 2, \dots, M) \\ \sum_{t=1}^T \sum_{u=1}^U \lambda_u^t x_{ui}^t + S_i^b = b_{u'i}^b & (i = 1, 2, \dots, I) \\ \lambda_u^t \geq 0 \quad S_n^x \geq 0 \quad S_m^y \geq 0 \quad S_i^b \geq 0 \\ (u = 1, \dots, U) \end{cases} \quad (2)$$

式中: θ 为计算的绿色水资源利用效率值; N 、 M 、 I 分别为投入类型个数、期望产出类型个数及非期

望产出类型个数; x 、 y 、 b 分别为投入向量、期望产出向量及非期望产出向量; t 为时期; u 为决策单元; S_m^y 、 S_n^x 、 S_i^b 分别为投入产出冗余、非期望产出冗余和期望产出不足; $(x_{u'n}^t, y_{u'm}^t, b_{u'i}^t)$ 为第 u' 个生产单元 t' 时期的投入产出值; λ_u^t 为决策单元的权重目标函数。

当 $\theta \geq 1$ 时,绿色水资源利用效率达到有效利用状态。

2.2 ML 指数模型

ML 指数的理论基础是基于环境技术可行性集合方向性距离函数理论^[11]。与传统的 Malmquist 全要素生产率指数模型相比,ML 指数拓展了测算维度,可以测算因环境污染产生的非期望产出。孙才志等^[10-11]利用 ML 指数法测算长江经济带绿色水资源利用效率,均涉及非期望产出的影响。

ML 指数计算思路为:①通过 DEA 技术构建经济的生产可能性边界;②使用方向距离函数计算每个生产决策单元与经济中生产可能性边界之间的距离;③基于两个周期的方向距离函数计算此期间的 ML 指数。

当 t 时期第 u 个决策单元的投入产出为 $(x_{kt}, y_{kt}, z_{kt}; g_{kt})$,基于 ML 指数的线性规划方程为

$$D_t(x_{ut}, y_{ut}, z_{ut}, g_{ut}) = \max \beta \quad (3)$$

$$\begin{cases} \sum_{u=1}^U a_u^t x_{um}^t \leq (1 - \beta) x_{uh}^t & (h = 1, 2, \dots, H) \\ \sum_{u=1}^U a_u^t y_{um}^t \geq (1 + \beta) y_{um}^t & (h = 1, 2, \dots, M) \\ \sum_{u=1}^U a_u^t z_{un}^t \geq (1 - \beta) z_{un}^t & (n = 1, 2, \dots, N) \\ a_u^t \geq 0 & (u = 1, 2, \dots, U) \end{cases} \quad (4)$$

式中: a_u 表示生产规模报酬; $\sum_{u=1}^U a_u^t = 1$ 表示规模报酬可变。具体公式为

$$M_t^{t+1} = \left[\frac{1 + D_t^k(x_t^k, y_t^k, z_t^k; g_t^k)}{1 + D_t^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k, z_{t+1}^k; g_{t+1}^k)} \cdot \frac{1 + D_{t+1}^k(x_t^k, y_t^k, z_t^k; g_t^k)}{1 + D_{t+1}^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k, z_{t+1}^k; g_{t+1}^k)} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{1 + D_t^k(x_t^k, y_t^k, z_t^k; g_t^k)}{1 + D_t^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k, z_{t+1}^k; g_{t+1}^k)} \cdot \left[\frac{1 + D_{t+1}^k(x_t^k, y_t^k, z_t^k; g_t^k)}{1 + D_{t+1}^k(x_{t+1}^k, y_{t+1}^k, z_{t+1}^k; g_{t+1}^k)} \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} = E_C T_C \quad (5)$$

式中: E_c 为技术效率变化指数; T_c 为技术进步变化指数, 以 1 为评价标准。

2.3 泰尔指数

SBM 模型和 ML 指数可以阐释我国绿色水资源利用效率值动态及静态变化。为进一步描述绿色水资源利用效率值的区域差异, 引入泰尔指数, 计算公式如下:

$$T = T_w + T_b = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} \frac{e_i}{e} \ln \frac{e_i}{e} \quad (6)$$

$$T_p = \frac{1}{n_p} \sum_{p=1}^{n_p} \frac{e_i}{e_p} \ln \frac{e_i}{e_p} \quad (7)$$

$$T_w = \sum_{p=1}^3 \left(\frac{n_p}{11} \frac{e_p}{e} \right) T_p \quad (8)$$

$$T_b = \sum_{p=1}^3 \frac{n_p}{11} \frac{e_p}{e} \ln \left(\frac{e_p}{e} \right) \quad (9)$$

式中: n_p ($p=1, 2, 3$) 为我国东中西部各地区地级市数量; \bar{e}_p ($p=1, 2, 3$) 为北中南部绿色水资源利用效率均值; e_p 为全国绿色水资源利用效率均值; e_i 为中西部各地级市绿色水资源利用效率; T 为全国绿色水资源利用效率总体地区差距的泰尔指数; T_p 为东中西部各省市自治区绿色水资源利用效率总体地区差距的泰尔指数; T_w 和 T_b 分别为我国绿色水资源利用效率的地区内差距与地区间差距的泰尔指数。

2.4 指标选取和数据来源

研究全国 30 个省市自治区 2008—2016 年的绿色水资源利用效率, 从经济、社会和环境 3 个维度, 建立 7 个指标, 将指标划分为投入型指标和产出型指标两类。其中, 投入型指标分为资源投入、资本投入和劳动力投入 3 个维度, 三级指标为用水量、能源消耗总量、实际固定资产投资和就业人数; 产出型指标分为期望产出和非期望产出, 用 GDP、HSDI 指数、废水排放量来衡量。具体指标说明如下, 数据均来自 2008—2016 年各省统计年鉴。

a. 用水量。以 2008—2016 年水资源消耗总量作为资源投入指标。

b. 就业人数。以 2008—2016 年各省市自治区的城镇单位就业人数作为劳动力投入指标, 以本年末和上一年年末就业人员数量的均值衡量。

c. 实际固定资产投资。指通过货币已经建造和购置固定资产活动的工作量。

d. 能源消耗总量。新加入能源消耗总量为投入指标, 即通过能源耗损所产生的水资源量。

e. GDP。以 2008—2016 年 30 个省市自治区的地区生产总值作为期望产出指标, 消除价格因素平减之后所得。

f. HSDI 指数。基于联合国开发计划署提出的

人类发展指数 (HDI), 在“预期寿命、教育水准和生活质量”3 项基础变量的基础上加入环境影响因素, 构建人类可持续发展指数 (HSDI)^[14-15], 将其作为社会期望产出之一。数据还来自 2010 年第二次人口普查资料。指标分解和计算公式如下:

$$H = \frac{H_1 + H_2 + H_4}{3} \quad (10)$$

$$H_1 = \frac{L - 25}{85 - 25} \quad (11)$$

$$H_2 = \frac{2}{3}A + \frac{1}{3}K \quad (12)$$

$$H_3 = \frac{\ln G - \ln 100}{\ln 400 - \ln 100} \quad (13)$$

$$H_4 = \left[\frac{1}{2}(H_3)^{1-g} + \frac{1}{2}(1 - I)^{1-g} \right]^{\frac{1}{1-g}} \quad (14)$$

式中: H 为人类可持续发展指数; H_1 为预期寿命指数; L 为各地区人口出生时的预期寿命数; H_2 为教育发展指数; K 为综合毛入学率, 其中小学、中学、大学入学率各占 1/3; A 为成人识字率; H_3 为 GDP 指数; G 为人均 GDP; H_4 为环境影响指数; I 为环境损耗指数, 根据人均废水排放量、人均工业固体废物排放量、人均废气排放量、人均耗电量 4 个指标的均值决定。

g. 废水排放量。以工业污水排放和生活污水排放之和衡量, 作为非期望产出指标。数据还来自 2008—2016 年各省的环境年鉴。

3 实证分析与结果

3.1 绿色水资源静态效率测度

使用 DEA Slover 软件, 采用 SBM 模型对 2008—2016 年 30 个省市自治区的绿色水资源利用效率进行测度, 各省绿色水资源利用效率计算结果见表 1, 数值越大效率越高。

将 30 个省市自治区划分为东中西三部分, 其中东部为北京市、天津市、河北省、辽宁省、上海市、江苏省、浙江省、福建省、山东省、广东省、海南省、山西省, 中部为吉林省、黑龙江省、安徽省、江西省、河南省、湖北省、湖南省、内蒙古自治区、广西壮族自治区, 西部为重庆市、四川省、贵州省、云南省、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区。

总体而言, 2008—2016 年各省市自治区绿色水资源利用效率呈现波动且有轻微上升趋势, 达到 DEA 有效的仅有天津市。其中, 效率值较高的有北京市、上海市、江苏省和浙江省。其中, 2010—2013 年期间绿色水资源利用效率呈下降趋势, 降低了 12.3%, 低谷值为 0.615。从 2013 年起绿色水资源

表 1 我国 30 个省(市、区)2008—2016 年绿色水资源利用效率

地区	绿色水资源利用效率								
	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
北京市	1.000	0.941	0.921	0.958	0.968	0.952	0.995	1.000	1.000
天津市	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
河北省	0.662	0.651	0.702	0.779	0.740	0.739	0.735	0.753	0.823
辽宁省	0.554	0.582	0.636	0.681	0.703	0.686	0.746	0.853	0.879
上海市	0.846	0.879	0.973	0.950	0.966	0.944	0.957	0.969	1.000
江苏省	0.828	0.847	0.908	0.980	1.000	0.815	0.833	0.892	1.000
浙江省	0.635	0.612	0.665	0.705	0.701	0.752	0.796	0.872	0.999
福建省	0.569	0.596	0.630	0.623	0.625	0.653	0.689	0.755	0.880
山东省	0.699	0.735	0.806	0.872	0.903	0.905	0.939	0.957	1.000
广东省	0.948	0.882	0.926	1.000	1.000	0.994	0.971	0.947	1.000
海南省	1.000	1.000	1.000	1.000	0.989	1.000	0.983	1.000	1.000
山西省	0.671	0.571	0.595	0.625	0.605	0.566	0.557	0.536	0.552
吉林省	0.577	0.597	0.645	0.757	0.764	0.729	0.741	0.739	0.752
黑龙江省	0.613	0.459	0.514	0.592	0.598	0.606	0.675	0.694	0.711
安徽省	0.552	0.555	0.602	0.666	0.663	0.615	0.636	0.678	0.743
江西省	0.569	0.570	0.616	0.663	0.638	0.604	0.605	0.600	0.639
河南省	0.541	0.536	0.593	0.623	0.632	0.581	0.608	0.619	0.671
湖北省	0.559	0.573	0.628	0.650	0.678	0.643	0.688	0.742	0.833
湖南省	0.587	0.585	0.644	0.691	0.716	0.724	0.779	0.851	0.949
内蒙古自治区	0.725	0.762	0.824	0.918	0.952	0.895	0.943	0.956	0.988
广西壮族自治区	0.603	0.602	0.641	0.698	0.700	0.667	0.685	0.692	0.729
重庆市	0.591	0.602	0.627	0.625	0.650	0.624	0.642	0.667	0.725
四川省	0.518	0.507	0.579	0.651	0.679	0.590	0.670	0.750	0.852
贵州省	0.623	0.514	0.530	0.559	0.559	0.565	0.587	0.611	0.641
云南省	0.483	0.478	0.508	0.556	0.550	0.552	0.578	0.590	0.599
陕西省	0.523	0.528	0.582	0.636	0.656	0.594	0.606	0.604	0.620
甘肃省	0.626	0.507	0.557	0.607	0.601	0.539	0.534	0.524	0.536
青海省	0.533	0.529	0.583	0.626	0.616	0.597	0.601	0.624	0.620
宁夏回族自治区	0.524	0.509	0.563	0.606	0.596	0.577	0.581	0.604	0.600
新疆维吾尔自治区	0.576	0.488	0.548	0.564	0.574	0.569	0.572	0.553	0.581
均值	0.575	0.548	0.595	0.641	0.648	0.615	0.636	0.652	0.681

利用效率出现回升,年平均绿色水资源利用效率值一直围绕 0.600 波动。

从区域维度分析,我国绿色水资源利用效率东部最高,中部次之,西部最低,说明绿色水资源利用效率和地区经济发展水平大致呈现线性关系。原因可能在于东部降水丰富,技术水平高,人们环境保护意识显著,因此绿色水资源利用效率相对较高。中部和西部绿色水资源利用效率值均低于均值水平,且两者之间差距逐渐减少,但最高值依然低于 0.800,尚未达到 DEA 有效。2009—2013 年间,全国绿色水资源利用效率显著提升,上升 18.2%,这可能是因为 2010 年《中国环境政策》的颁布在一定程度上遏制了废水排放等环境问题,提高了绿色水资源利用效率的原因。我国东中西部绿色水资源利用效率变化趋势见图 1。

从单个省分析,含非期望产出指标绿色水资源利用效率均值达到 1 的仅有天津市、北京市、上海市、江苏省和浙江省,效率值均在 0.900 以上。福建省绿色水资源利用效率远远低于其他东部省市,这

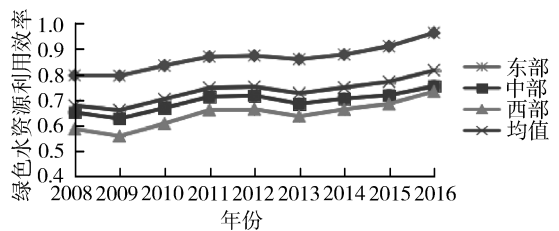


图 1 分地区绿色水资源利用效率变化趋势

是因为福建省虽地处东部,但由于水资源时空分布不均,闽南地区人均水资源拥有量低于 1 000 m³,远低于国际平均水平,水旱灾害频发,且年径流量中超过地表径流量的 2/3 是难以利用的,从而造成其绿色水资源利用效率较低。而与之相对比海南省绿色水资源利用效率一直较高,原因在于海南省主要以旅游业为主,第二大经济来源是农业,节水潜力巨大。

从绿色水资源利用效率分解来看,2008—2016 年规模效率、技术效率、综合效率值如图 2 所示。由图 2 可知,我国 2008—2016 年水资源利用 3 项效率波动性较大,大致呈 M 形变化,且有缓慢上升的趋

势。其规模效率在 2009—2010 年期间急剧上升, 2010 年达到极大值点 1.124, 2010—2013 年骤减, 2013 年达到极小值 0.923。在于国家政策出台, 各省市自治区盲目推广, 物极必反造成来年规模减小。综合效率和技术效率基本呈同步变化, 可以推断出技术因素是影响中国 30 个省市自治区绿色水资源利用效率的重要因素。

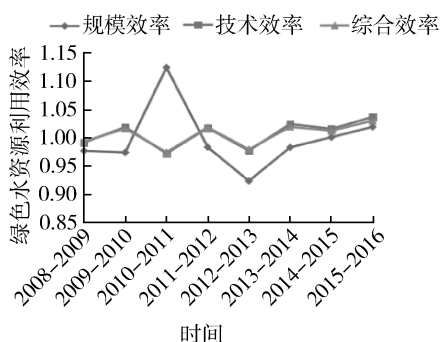


图 2 绿色水资源利用效率分解时间变化趋势

3.2 ML 指数绿色水资源动态效率分析

根据 2008—2016 年各省市自治区的面板数据, 利用 DEA Slover 软件计算绿色水资源利用效率的 ML 指数, 得到绿色水资源利用效率的动态变化趋势, 结果见图 3、图 4。由图 3 可知, 各省绿色水资源综合效率呈现下降—上升的波动趋势, 围绕 1.000 波动, 均值为 1.001, 在 2012—2013 年最小, 在 2015—2016 年最大, 说明各省市自治区绿色水资源利用效率总体水平较高, 但尚未达到完美的状态, 个别年份 ML 指数相对较低。

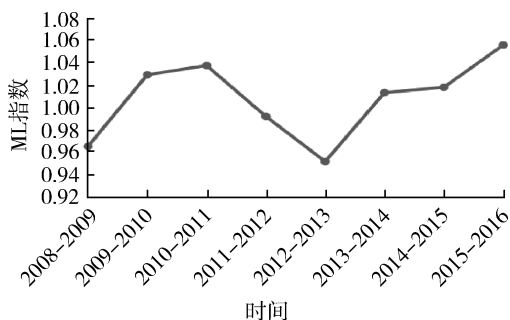


图 3 2008—2016 年 ML 指数趋势

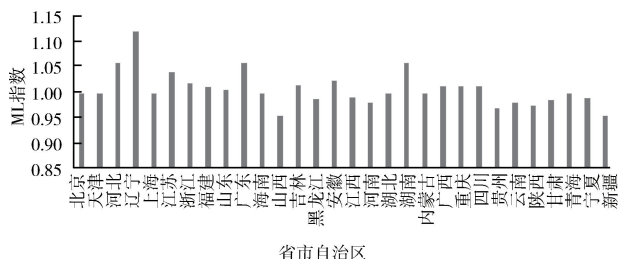


图 4 2008—2016 年各省市自治区平均 ML 指数

从图 4 可以看出, 对于大部分省市自治区而言,

ML 指数平均值大于 1, 其中山西省、黑龙江省、江西省、河南省、贵州省、云南省、陕西省、甘肃省、宁夏回族自治区和新疆维吾尔自治区除外。ML 均值最大的是辽宁省, 最小的是山西省。

东中西部各区域 ML 指数平均值如图 5 所示。从图 5 可知, 与东部和西部相比, 中部所属省份的 ML 指数平均值波动最大。各区域在 2012—2013 年期间 ML 指数值均达最低值, 原因可能在于 2012 年中国经济放缓, 增速下降到 8% 以下。

综合图 3~5 的结果, 发现 ML 指数大于 1 的年份高于 75%, 说明我国绿色水资源利用效率呈现正常趋势, 这是由于国家推广绿色水资源利用, 增加了环境效益, 实现了社会—经济—环境的可持续发展。

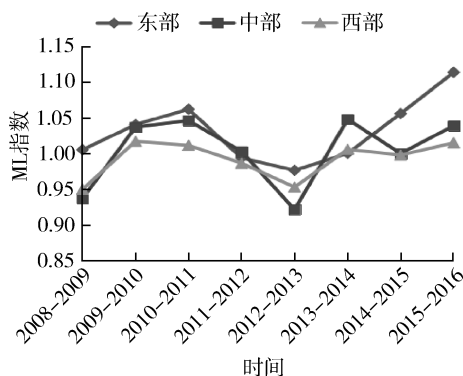


图 5 2008—2016 年各区域 ML 指数平均值

3.3 绿色水资源时空差异分析

利用泰尔指数分析东部、中部和西部对绿色水资源利用效率的贡献率, 结果见表 2。

从表 2 可以看出, 根据泰尔指数的分解结果, 地区内部绿色水资源利用效率差距加大, 地区之间差距较大, 占 65.175%, 即地区之间的差异是我国绿色水资源利用效率差距形成的主要原因。其中东部贡献率最高, 且各区域贡献率逐年缓慢上升。所以提高绿色水资源利用效率的重点在于缩小其地区内部的差异, 但也不能忽视地区之间差异。

由此可见, 我国绿色水资源利用效率在时间和空间上产生了明显的变化。具体来说, 从时间维度的角度, 我国各省市自治区及整体在绿色水资源利用效率上呈上升趋势, 从空间维度来说, 各省市自治区省际间绿色水资源利用效率上升趋势出现错差, 这种错差在区域层面得到了很好的体现, 在泰尔指数分解结果中省际间的空间差异得到了明确清晰的解释, 在 2008—2016 年间, 绿色水资源利用效率的总体差距呈先上升后下降的趋势, 地区之间的差异逐年下降, 东部对绿色水资源利用效率的贡献率有逐年加大的趋势。

表 2 全国经济用水量泰尔指数分解值

年份	总体差距	地区之间差距		地区内部差异		贡献率/%		
		数值	贡献率/%	数值	贡献率/%	东部	中部	西部
2008	0.109	0.073	67.074	0.036	32.926	56.828	36.538	6.634
2009	0.100	0.066	66.538	0.033	33.462	52.534	38.818	8.649
2010	0.089	0.060	67.804	0.029	32.196	53.328	38.493	8.179
2011	0.092	0.068	74.010	0.024	25.990	64.757	28.308	6.935
2012	0.080	0.055	69.446	0.024	30.554	65.601	25.028	9.371
2013	0.080	0.058	72.580	0.022	27.420	52.750	38.604	8.646
2014	0.053	0.032	60.372	0.021	39.628	61.010	29.411	9.579
2015	0.054	0.031	57.019	0.023	42.981	55.650	32.421	11.929
2016	0.042	0.022	51.727	0.020	48.273	53.638	23.306	23.056
均值	0.077	0.052	65.175	0.026	34.825	57.344	32.325	10.331

4 结论与政策启示

4.1 结论

a. 从时间维度分析,各省市自治区绿色水资源利用效率总体呈缓慢上升趋势,差距呈下降趋势,其中,效率值较高的有北京市、上海市、江苏省和浙江省。说明我国绿色水资源利用效率的提高有了阶段性的进步。

b. 从空间维度分析,省际间绿色水资源利用效率存在区域性差异,总体呈东部大于中部大于西部的空间布局,其中,地区之间的差距对于各省际间绿色水资源利用效率贡献率较大,其次,东部相比其他区域对绿色水资源利用效率总体差距贡献影响最大。

c. 从驱动因素分析,技术效率和规模效率是影响绿色水资源利用效率的重要因素,规模效率在一定程度上可以提高绿色水资源利用效率的推广程度,但不是主要驱动因素。技术效率是影响综合效率的重要指标,技术水平的提高可以促进农业节水以及减少工业污水排放量,较大程度实现水资源的绿色可持续利用。

4.2 建议

a. 合理开发,科学利用。我国水资源分布时空不均,水资源开发量必须满足水资源可持续利用的基本要求,废水排放量不能过高依赖于环境对废水的稀释自净能力,以实现经济、环境和社会的协调发展,贯彻落实科学发展观。南水北调工程可以对水资源的配置进行优化,是解决区域性水资源匮乏的一项战略性措施。可以将部分调运水量作为环境、生态等用水,但不能将其全部用于生活、工业及农业,以避免出现调水量愈多,用水量愈增多,污水排放量也随之增加的困局。

b. 提高技术效率,加大节水技术改造。技术效率是影响我国绿色水资源利用效率的重要指标。

①工业生产普遍存在绿色水资源利用效率不高、耗

水量较大等问题。调整产业结构、升级改造现有技术淘汰落后产品等方法不仅可以降低工业用水量,还可以提高水的重复利用率并降低工业废水排放量,从而减少工业污染,降低生产成本。②农业应大力推动科学灌溉技术,实现智能灌溉、有效节水,同时提高农民节水意识。

c. 建立河长制,实施“五水共治”。全面实施水污染管理治理、水资源生态修复及水资源保护是目前推动我国绿色水资源利用效率提高的重要任务。强化水资源管理,紧抓“治污水、防洪水、排涝水、保供水、抓节水”,完善监测、监控设施。山丘区中小流域内镇区防洪控制断面宜设置水位、流量监测设施,平原河道内防洪控制断面、重要圩区、重要水利工程等处宜设置水位监测设施。

参考文献:

- [1] 许红燕. 全国近期各分区水资源演变情势分析[J]. 浙江水利科技, 2018, 46(5): 52-56.
- [2] 刘静, 余钟波. 基于水足迹理论的中国水资源压力评价[J]. 水资源保护, 2019, 35(5): 35-39.
- [3] 李鑫, 欧名豪. 中国省际建设用地单要素效率评价与区域差异研究[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2012, 12(1): 80-84.
- [4] 李跃. 基于 SFA 的我国区域水资源利用效率及影响因素分析[J]. 水电能源科, 2014, 32(12): 39-42.
- [5] 苗永岚. 河南省水资源利用效率时空特征分析: 基于 DEA 效率评价模型[J]. 智库时代, 2019(25): 124-128.
- [6] 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.
- [7] 戚国强, 卢静, 李佳鸿, 等. 基于水足迹的黑龙江省水资源 SE-DEA 模型评价[J]. 人民黄河, 2017, 39(2): 47-50.
- [8] 孙付华, 陈汝佳, 张兆方. 基于三阶段 DEA-Malmquist 区域农业水资源利用效率评价[J]. 水利经济, 2019, 37(2): 53-58.

(下转第 18 页)

的差异,发挥东部地区经济发达省市在合理配置水资源方面的领头优势,带动其他发展较为欠缺、生产率较低的省份,减少地区间技术交流壁垒。

b. 长江经济带的快速腾飞离不开企业的蓬勃发展,而生产率的增长是促进企业欣欣向荣的重要环节,从节水与净水角度出发,政策制定者应采取合理的水资源约束强度来动态提升长江经济带 GTFP,以期达到生态友好和谐与经济繁荣发展的双赢局面^[19]。

c. 绿色生态环保理念需要多方共同认可、支持并执行,因此政府不仅需要制定用以保障水资源与长江经济带生产率增长协调发展的可持续性政策,在大力投入创新研发资金的同时,更要为新清洁型技术的全面推行与广泛应用配以相应的激励措施。

参考文献:

[1] 朱敏杰, 马骏. 江苏省水利基础设施与经济的关系: 基于面板数据的实证分析[J]. 水利经济, 2016, 34(5): 6-10.

[2] 赖平耀. 中国经济增长的生产率困境: 扩大投资下的增长下滑[J]. 世界经济, 2016, 39(1): 75-94.

[3] 马骏, 王雪晴. 长江经济带工业环境效率差异及其影响因素: 基于超效率 DEA-Malmquist-Tobit 模型[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2017, 19(3): 49-54.

[4] 马骏, 刘怡. 环境规制对中国房地产业绿色发展的影响分析: 基于 31 个省份的面板数据[J/OL]. 资源与产业: 1-11 [2020-04-29]. <https://doi.org/10.13776/j.cnki.resourcesindustries.20200318.001>.

[5] 马骏, 李夏, 张忆君. 江苏省环境效率及其影响因素研究: 基于超效率 SBM-ML-Tobit 模型[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2019, 18(2): 71-80

[6] CHUNG Y H, FÄRE R, GROSSKOPF S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach[J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229-240.

[7] TELLE K, LARSSON J. Do environmental regulations hamper productivity growth? How accounting for improve-

ments of plants' environmental performance can change the conclusion [J]. Ecological Economics, 2006, 61(2): 438-445.

[8] GRAY W B, SHADBEGIAN R J. 'Optimal' pollution abatement: whose benefits matter, and how much? [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2003, 47(3): 510-534.

[9] RUBASHKINA Y, GALEOTTI M, VERDOLINI E. Environmental regulation and competitiveness: empirical evidence on the porter hypothesis from European manufacturing sectors[J]. Energy Policy, 2015, 83: 288-300.

[10] 史安娜, 陆添添, 冯楚建. 长江经济带社会经济发展与水资源保护水平研究[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2017, 19(1): 24-28.

[11] 马骏, 李亚芳. 基于环境 CGE 模型的江苏省水污染治理政策的影响研究[J]. 统计与决策, 2019, 35(6): 62-65.

[12] 刘璐瑶, 胡兴球, 康凯. 区域经济一体化与区域层面水资源合作开发机制研究[J]. 水利经济, 2019, 37(5): 31-34.

[13] 许永欣, 马骏. 基于面板 VAR 模型的农业用水与农业经济增长关系研究[J]. 山东农业科学, 2017, 49(5): 159-163.

[14] 马骏, 颜秉姝. 基于环境库兹涅茨理论的经济发展与用水效率关系形态研究: 来自我国 2002—2013 年 31 个省份面板数据的证据[J]. 审计与经济研究, 2016, 31(4): 121-128.

[15] 沈晓梅, 夏语欣, 姜明栋, 等. 长江经济带经济增长进程中的水资源阻尼效应研究[J]. 中国环境管理, 2019, 11(5): 67-73.

[16] 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.

[17] 黄德春, 任也平, 张长征. 强度-总量控制下的水资源利用效率对人水和谐的影响[J]. 水利经济, 2019, 37(2): 1-7.

[18] 姚大庆. 母国环境规制与外商直接投资: 对污染避难所效应的一个解释[J]. 世界经济研究, 2015(3): 65-71.

[19] 马骏, 王改芹. 环境规制对制造业产业结构升级的影响[J]. 水利经济, 2019, 37(2): 26-30.

(收稿日期: 2019-12-30 编辑: 胡新宇)

(上接第 6 页)

[9] 卢曦, 许长新. 长江经济带水资源利用的动态效率及绝对 β 收敛研究: 基于三阶段 DEA-Malmquist 指数法[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(9): 1351-1358

[10] 孙才志, 马奇飞, 赵良仕. 基于 SBM-Malmquist 生产率指数模型的中国水资源绿色效率变动研究[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 993-1005

[11] 杨高升, 谢秋皓. 长江经济带绿色水资源利用效率时空分异研究: 基于 SE-SBM 与 ML 指数法[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(2): 349-358.

[12] 马海良, 丁元卿, 王蕾. 绿色水资源利用效率的测度和

收敛性分析[J]. 自然资源学报, 2017, 32(3): 406-417.

[13] TONE K. Aslacks-basedmeasureofsuper-efficiencyindata-envelopmentanalysis[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(1): 132-145.

[14] 江丽丽, 赵敏. 江苏省生产用水利用效率分析[J]. 水利经济, 2019, 37(3): 72-77.

[15] 尚海洋, 宋妮妮. 人类可持续发展指数测算与演变特征: 对我国 31 个省 2005、2010、2014 年的分析[J]. 兰州财经大学学报, 2018, 34(4): 109-117.

(收稿日期: 2019-07-17 编辑: 胡新宇)