

基于双前沿面 SBM-DEA 模型的农业用水效率评价

赵敏^{1,2,3}, 刘 珊^{1,2,3}

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 江苏省水资源与可持续发展研究中心, 江苏 南京 211100;
3. 江苏沿海开发与保护协同创新中心, 江苏 南京 211100)

摘要: 基于有效效率前沿(乐观)和无效效率前沿(悲观)面 SBM-DEA 模型, 对中国 31 个省(市、自治区)2003—2017 年的农业用水效率进行评价, 并运用 Tobit 模型对农业用水效率影响因素进行分析。研究发现: 中国农业用水综合效率较低, 其中, 乐观效率呈现小幅度上升趋势, 悲观效率呈现下降-上升-下降-上升趋势。不同农业用水区之间用水效率差异较小, 高农业用水区农业用水效率最高, 中农业用水区次之, 低农业用水区最低。第一产业增加值所占地区生产总值比重、节水灌溉技术、水库总库容量与农业用水效率显著正相关, 水资源禀赋、地区教育水平与农业用水效率显著负相关。

关键词: 双前沿面; SBM-DEA 模型; 农业用水效率; Tobit 模型

中图分类号: F323 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-9511(2020)01-0054-07

近年来, 我国对农业用水愈加重视, 发展高效节水灌溉成为农业用水的主题之一。2016 年中华人民共和国水利部、国家发展和改革委员会联合印发了《“十三五”水资源消耗总量和强度双控行动方案》, 对农业用水提出“加快实施区域规模化高效节水灌溉工程”的要求。2019 年中央一号文件《关于坚持农业农村优先发展做好“三农”工作的若干意见》明确提出“实施区域化整体建设, 推进田水林路电综合配套, 同步发展高效节水灌溉”。水资源供需矛盾突出仍然是经济社会可持续发展的主要瓶颈, 而农业用水粗放、浪费严重成为农业发展的顽疾, 提高农业用水效率将作为推进农业可持续发展的一项重点任务。

1 研究综述

目前已有研究中, 学者们从不同角度和用不同方法对农业用水效率进行了评价和分析。从研究角度来说主要分为两种:

a. 从微观角度, 使用土壤相对含水量和叶片水分利用效率的方法, 根据现场试验观测值评价农业用水效率。Haghverdi 等^[1]在 2008—2015 年连续 8 个种植季节进行了 3 次田间试验, 基于 6 年试验结

果, 为甜菜灌溉管理提供借鉴; Wu 等^[2]利用地表能量平衡系统整合土壤水分信息等估算绿洲蒸散量, 以评估水资源利用效率; 刘笑吟等^[3]用小型蒸渗仪和涡度相关仪分别测量了节水灌溉稻田冠层蒸散量(ETCML)和田间尺度蒸散量(ETEC), 分析了 ETCML 和 ETEC 的典型日和逐日变化规律, 以及在小时和日时间尺度上的影响因素。

b. 从经济学角度, 利用投入产出法计算农业用水效率。其测度方法主要分为参数法和非参数法。
①参数法依赖于生产函数的选择, 使用较多的是随机前沿分析法(SFA)。王学渊等^[4]利用随机前沿生产函数计算农业灌溉用水效率, 研究发现农田水利设施显著影响用水效率。Dhehibi 等^[5]使用随机前沿生产函数对突尼斯柑橘农场灌溉用水进行了效率测度。雷贵荣等^[6]基于随机前沿生产函数对徐州市农业用水技术效率进行测度, 发现水资源投入的增长不能带来农业用水效率的增加。魏玲玲等^[7]使用随机前沿生产函数测算新疆高农业用水区用水效率, 发现不同地洲之间用水效率差异高达 0.81。
②非参数法中使用最多的是数据包络分析法(DEA)。屈晓娟等^[8]利用 DEA 中 BC2 模型测度西部地区农业水资源利用效率, 认为西部地区在水资

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(2018B31014)

作者简介: 赵敏(1962—), 男, 研究员, 主要从事资源技术经济研究。E-mail: zhaomin3451@sina.com

源节约方面有较好的表现。杜根等^[9]基于超效率DEA模型对新疆农业水资源利用效率进行测度,发现在考察期内新疆各地州市农业用水效率总体呈增长趋势。陈洪斌^[10]运用三阶段DEA模型测评各省农业用水效率,认为农业用水效率不仅受投入产出变量的影响,还受外部环境变量的影响。王普查等^[10]利用非期望SBM模型对农业用水效率进行研究,得出各省(市、自治区)的农用水效率发展趋势不同,且江苏、广东等地具有较大的节水潜力。方琳等^[11-12]研究发现采用不同生产前沿面函数为基准测评得到的效率也有所不同。孙付华等^[13]剔除了资源禀赋、经济水平和政府支出等影响因素评价我国农业用水效率。

还有一些学者通过其他方法对农业用水效率进行测度^[14-15],如焦勇等^[12]利用基于信息熵的可变模糊评价,发现新疆农业用水效率在2001—2011年间从量变到渐变式质变再到量变阶段。杨丹等^[16]在结合熵权法和模糊物元法的基础上,引进欧氏贴近度评价江苏省历年农业用水效率,户艳领等^[17]应用熵值法从自然条件、技术条件、水资源消耗及经济产出四方面对农业水资源利用效率进行测度。

本文基于有效效率前沿(乐观)和无效效率前沿(悲观)面SBM-DEA模型,对中国31个省(市、自治区)农业用水效率进行测算,既能够将乐观效率前沿和悲观效率前沿测得结果再综合,求出更全面更真实的效率,也能够解决松弛性问题。

2 农业用水效率测度及分析

2.1 农业用水效率测度模型——双前沿面SBM-DEA模型

传统DEA模型存在两个问题:①仅从有效效率前沿比较分析效率,因此会出现当几个决策单元均处于有效效率前沿时无法排序的问题。②无法解决投入产出问题中的松弛性问题^[10]。SBM-DEA模型可以解决投入产出的松弛性及径向选择的问题。因此,本文采用Azizi等^[18]的研究结果,利用双前沿面SBM-DEA模型研究农业用水效率,既从有效效率前沿面进行效率测评,同时也考虑无效效率前沿面的效率,这有助于降低有关投入或产出变量不合理偏好的程度^[19]。参考相关文献^[9,20-22],选取水资源投入、劳动力投入、土地投入、技术投入(物理投入和化学投入)5项作为投入变量,物质产出和经济产出2项作为产出变量。

2.1.1 基于有效效率前沿(乐观)SBM-DEA模型

将1个省(市、自治区)看作一个决策单元(DMU, decision-making unit),此时生产系统有31个决策单元,

每个决策单元有5个投入和2个产出,用 x_{ij} ($i=1, 2, \dots, 5; j=1, \dots, 31$)表示第 j 个决策单元对第 i 种产品的投入量, y_{rj} ($r=1, 2; j=1, 2, \dots, 31$)表示第 j 个决策单元对第 r 种产品的产出量。则生产可能性集 T_e 为

$$T_e = \left\{ \begin{array}{l} \frac{(X, Y)}{\sum_{j=1}^{31} \lambda_j X_j \leq X} \\ \sum_{j=1}^{31} \lambda_j Y_j \geq Y; \lambda_j \geq 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

式中 T_e 是基于有效生产前沿,具有凸性特征的有界闭集。基于有效效率前沿面的SBM-DEA模型^[23]:

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{2} \sum_{r=1}^2 \frac{s_r^+}{y_{r0}}} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{s. t.} \\ \sum_{j=1}^{31} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{i0} \\ \sum_{j=1}^{31} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0} \\ \lambda_j \geq 0; s_i^- \geq 0; s_r^+ \geq 0 \end{array}$$

式中: x_{i0} 、 y_{r0} 分别为决策单元的投入、产出变量; s_i^- ($i=1, \dots, 5$)、 s_r^+ 分别表示投入、产出的松弛变量。令 $S_i^- = t s_i^-$, $S_r^+ = t s_r^+$, $\pi = t \lambda$,将式(2)转换为线性规划模型:

$$\min \tau = t - \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{S_i^-}{x_{i0}} \quad (3)$$

$$\text{s. t.} \quad t + \frac{1}{2} \sum_{r=1}^2 \frac{S_r^+}{y_{r0}} = 1$$

$$\begin{array}{l} \sum_{j=1}^{31} \pi_j x_{ij} + S_i^- = t x_{i0} \\ \sum_{j=1}^{31} \pi_j y_{rj} - S_r^+ = t y_{r0} \\ \pi_j \geq 0, S_i^- \geq 0, S_r^+ \geq 0, t > 0 \end{array}$$

式中,当 $\tau=1$ 时,认为决策单元是有效率的,称之为乐观有效;当 $\tau < 1$ 时,决策单元处于有效效率前沿(乐观)的上方,需要通过减少投入或增加产出使其到达乐观有效。

2.1.2 基于悲观效率前沿的SBM-DEA模型

Azizi等^[18]将无效效率前沿的生产可能性集 T_i 定义为

$$T_i = \left\{ \begin{array}{l} \frac{(X, Y)}{\sum_{j=1}^{31} \lambda_j X_j \geq X} \\ \sum_{j=1}^{31} \lambda_j Y_j \leq Y; \lambda_j \geq 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\max \varphi = t + \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{S_i^+}{x_{i0}} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{s. t.} \quad & \sum_{j=1}^{31} \pi_j x_{ij} - S_i^+ = t x_{i0} \\ & \sum_{j=1}^{31} \pi_j y_{rj} + S_r^- = t y_{r0} \\ & \pi_j \geq 0, S_i^+ \geq 0, S_r^- \geq 0, t > 0 \end{aligned}$$

式中,当 $\varphi = 1$ 时,认为决策单元无效,称之为悲观无效;当 $\varphi > 1$ 时,决策单元处于无效效率前沿(悲观)的下方,称之为悲观有效。如图 1 所示, A 点和 B 点距离有效效率前沿面相同,但是 A 点离无效效率前沿面更近。在该情况下,认为将 A 点效率值排在 B 点后面更为客观准确,即 A 点效率值低于 B 点。

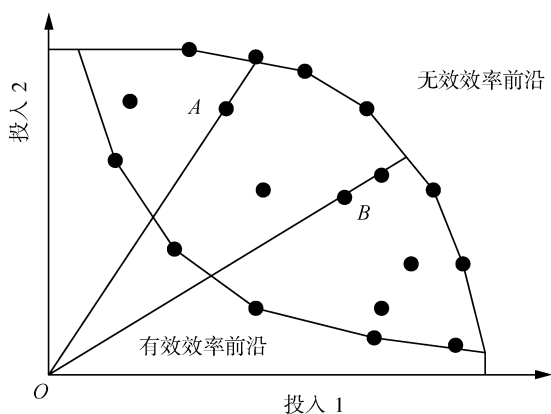


图 1 双前沿面结构

2.1.3 综合效率模型

为了更全面客观地评价用水效率,综合考虑乐观效率和悲观效率。关于综合效率的计算,大多文献将乐观效率及悲观效率的几何平均值作为决策单元的效率值^[24]。本文借鉴 Wang 等^[24-25]的模型计算综合效率:

$$\sigma_j = \sqrt{\tau_{j(\text{overall})}^* \varphi_{j(\text{overall})}^*} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

式中 $\tau_{j(\text{overall})}^*$ 、 $\varphi_{j(\text{overall})}^*$ 分别为第 j 个决策单元的乐观效率和悲观效率。该模型测得的综合效率值即本文所要测算的农业用水效率。

2.2 变量选取及数据来源

基于 2003—2017 年中国 31 个省(市、自治区)统计数据实证研究,选取的投入产出指标如下。

a. 水资源投入。参考杜根等^[9]的研究,使用农业用水量指标,数据主要来源于《中国统计年鉴》,部分来源于《水资源公报》。

b. 劳动力投入。已有文献中多采用农林牧渔从业人数表示。本文参考刘渝等^[20]对人力资本的测算方法,借鉴《中国人口和就业统计年鉴》受教育程度人口分类标准,分为不识字或很少/未上过学

(E_1)、小学(E_2)、初中(E_3)、高中(E_4)、大专及以上学历(E_5)。

地区教育程度 E 的计算公式为

$$E = \frac{4 E_1 + 6 E_2 + 9 E_3 + 12 E_4 + 16 E_5}{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5} \quad (7)$$

c. 土地投入。目前研究中多采用农作物总播种问题、耕地面积、有效(耕地)灌溉面积等指标。参考方琳等^[11]的研究,采用有效(耕地)灌溉面积衡量土地投入。

d. 技术投入。参考魏金义等^[21]的研究,以农业机械总动力表示物理投入,以化肥施用量表示化学投入。

e. 物质总量产出。参考刘涛^[22]的研究,采用粮食产量表示物质总量产出。

f. 经济总量产出。参考刘涛^[22]的研究,采用农林牧渔业总产值表示经济总量产出。

变量选取及数据来源汇总如表 1 所示。

表 1 变量选取及数据来源

指标	选取依据	变量选取	数据来源
投入指标	水资源投入	农业用水量(亿 m^3)	《中国统计年鉴》、《水资源公报》
	劳动力投入	地区教育程度	《中国人口和就业统计年鉴》
	土地投入	有效(耕地)灌溉面积(10^3hm^2)	《中国农村统计年鉴》
	技术投入	农业机械总动力(万 kW) 化肥施用量(万 t)	
产出指标	物质总量	粮食产量(万 t)	
	经济总量	农林牧渔业总产值(亿元)	

2.3 农业用水效率实证分析

利用 MATLAB 2018a 软件,构建基于双前沿面的 SBM-DEA 模型,对中国 31 个省(市、自治区)农业用水效率进行测度。所有指标数据均调整为以 2003 年为基期。

2.3.1 总体评价

根据测度结果,2003—2017 年全国农业用水效率均值如图 2 所示。乐观效率总体呈现小幅度上升趋势,悲观效率呈现下降-上升-下降-上升趋势,因此,综合效率呈现下降-上升-下降-上升趋势。由此可见,基于不同前沿面的测评结果会有所差异,其中,2004 年农业用水综合效率为近 15 年最低,1.0183。2003 年和 2005 年农业用水效率全国均值偏高,是由于各省农业用水悲观效率偏高,处于悲观有效状态。出现这种现象可能的原因是,一方面,我国在 21 世纪初开始进行节水试点、农田水利建设、展开节水型社会建设试点等相关工作。另一方面,2004 年东北地区及南方地区出现特大干旱,人均水

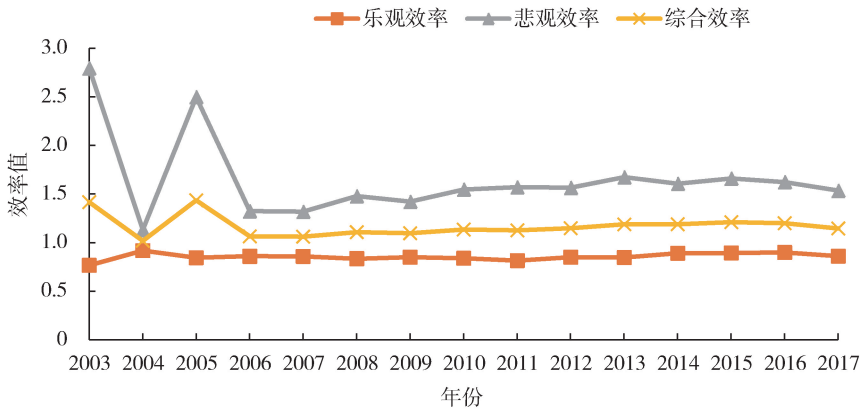


图2 全国各年农业用水效率均值

资源量急剧减少,且人们普遍缺乏节水意识。自2006年以后,全国农业用水效率每年都在小幅度平稳上升。我国的节水行动落实初显成效,进步空间仍然很大。

2.3.2 分区评价

从横截面数据来看,各省(市、自治区)之间农业用水效率差异较大。为了便于分析,借鉴佟金萍等^[26]的做法,对中国各省(市、自治区)近5年农业用水量均值进行聚类分析,将31个省(市、自治区)划分成三类用水地区:高农业用水地区、中农业用水地区和低农业用水地区(表2)。

表2 中国农业用水地区分类

用水分类	地区
高农业用水地区	新疆、黑龙江、江苏、广西、广东、湖南、湖北、四川、安徽、江西、河北、内蒙古、山东、河南
中农业用水地区	辽宁、浙江、吉林、福建、甘肃、云南
低农业用水地区	陕西、宁夏、贵州、山西、天津、上海、北京、重庆、西藏、青海、海南

为便于直观分析,以全国乐观效率均值(0.8554)和悲观效率均值(1.6487)为分界线,将各省效率散点图分成4个区域(图3):乐观效率和悲观效率均高于均值的为HH(high-high)地区,乐观效率高于均值但悲观效率低于均值的为HL(high-low)地区,乐观效率低于均值但悲观效率高于均值的为LH(low-high)地区,乐观效率和悲观效率均低于均值的为LL(low-low)地区。各省农业用水效率均值结果见表3。

结合图2和表3,高农业用水地区中,HH地区有:河南、内蒙古、黑龙江、江苏、山东、湖南、河北、湖北,其中,黑龙江、内蒙古和山东农业用水效率位居前三,该三省(市、自治区)在全国也处于用水效率领先地位,其乐观效率和悲观效率均高,整体上拉高了高用水地区的效率均值。这些农业用水大省均在节水灌溉或水库基础设施建设中有较大投入。HL

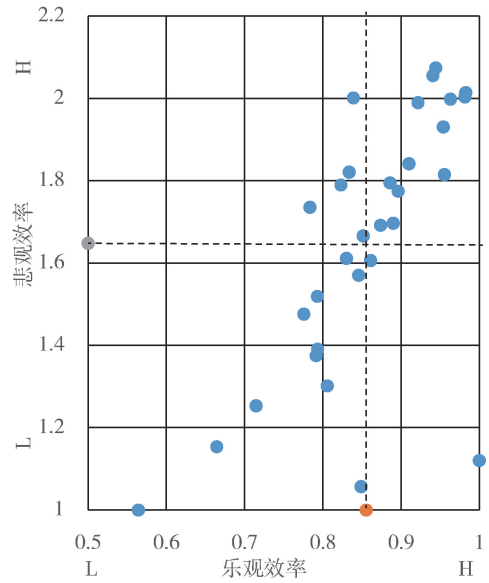


图3 各省(市、自治区)效率散点

地区有安徽省。近年来,安徽省大力发展二次产业,挤占了大量农业用水,约束了农业用水资源。LH地区有四川、广西。经济发展较为落后的地区,农民对节水灌溉技术和设施的接纳度也会相对较低。江西、新疆、广东为LL地区,人均水资源量丰富,但难以逃脱“资源诅咒”的困境^[27],浪费严重,导致农业用水效率低下。

从中农业用水地区来看,辽宁和甘肃为HH地区,位于水资源短缺区域,但在节水制度和管理、农业水价管理上已具备丰富的实践经验。吉林和云南为LH地区,吉林省在农业节水方面,集中精力搞好中西部易旱区高效节水灌溉农业项目,但是从全国节水灌溉面积来看,仍低于平均水平。云南省水资源总量丰富,但水资源开发利用率低。随着节水灌溉技术的探索和研究,云南省已经形成相对完善的高原特色节水灌溉技术体系。浙江和福建为LL地区,农业用水乐观效率及悲观效率均低下。自实

表3 各省(市、自治区)在2003—2017年农业用水效率均值

用水区	地区	乐观效率	悲观效率	综合效率	划分
高农业用水地区	河北	0.9101	1.8405	1.2854	HH
	内蒙古	0.9628	1.9974	1.3708	
	黑龙江	0.9816	2.0028	1.3825	
	江苏	0.9541	1.9299	1.3429	
	山东	0.9444	2.0738	1.3778	
	河南	0.9826	2.0133	1.3941	
	湖北	0.8900	1.6958	1.2207	HL
	湖南	0.9213	1.9888	1.3158	
	安徽	0.8609	1.6050	1.1591	
	广西	0.8516	1.6649	1.1746	
	四川	0.8387	2.0009	1.2512	
	江西	0.8458	1.5700	1.1278	
	广东	0.7148	1.2525	0.9341	
新疆	0.7927	1.5189	1.0905	LL	
均值	0.8894	1.7968	1.2448		
中农业用水地区	辽宁	0.9404	2.0545	1.3660	HH
	甘肃	0.8860	1.7948	1.2489	LH
	吉林	0.8337	1.8202	1.2123	
	云南	0.8228	1.7895	1.1912	
	浙江	0.7754	1.4751	1.0560	LL
	福建	0.7930	1.3908	1.0401	
	均值	0.8419	1.7208	1.1858	
低农业用水地区	陕西	0.9555	1.8139	1.3075	HH
	青海	0.8737	1.6915	1.2101	
	宁夏	0.8963	1.7743	1.2549	
	北京	1.0000	1.1202	1.0505	HL
	重庆	0.7836	1.7348	1.1329	LH
	天津	0.8057	1.3014	1.0210	LL
	山西	0.8301	1.6105	1.1527	
	上海	0.8488	1.0559	0.9430	
	海南	0.6604	1.1536	0.8723	
	贵州	0.7915	1.3749	1.0283	
	西藏	0.5642	1.0000	0.7460	
均值	0.8194	1.4210	1.0654		
全国	均值	0.8554	1.6487	1.1697	

行最严格水资源管理制度后,农业用水综合效率在缓慢小幅度上升。

从低农业用水地区来看,HH地区有陕西、青海

和宁夏。陕西省处于我国东南湿润区与西北干旱区的过渡地带,青海和宁夏位于西北干旱区,在水资源约束的情况下,该省(市、自治区)积极落实生态环境保护工作。LH地区和HL地区分别为重庆、北京。重庆农民经济收入低,多采用地面灌水方式,限制了该地区节水灌溉技术的推广及应用。LL地区有天津、山西、上海、海南、贵州和西藏。海南和贵州节水意识不足,节水灌溉技术落后,浪费严重。北京、天津和上海农业用水乐观效率均在0.8以上,甚至北京处在有效效率前沿,达到乐观有效。但是其悲观效率低下,因此综合效率总体落后于其他省(市、自治区)。西藏地区农业用水乐观效率低下,且处于悲观效率前沿,故西藏地区农业用水综合效率为全国最低。各省(市、自治区)农业用水综合效率空间分布如图4所示,颜色越深,表示地区农业用水效率越高。

总之,不同农业用水区的省份之间也存在较大的用水效率差异。提高农业用水效率不能“一刀切”,需要根据不同的地区特点,从不同因素考虑,在建设节水型社会的背景下,充分发挥地区优势,进而提高农业用水效率。

3 农业用水效率影响因素分析

通常情况下,计量模型中假定的因变量是连续的。但本文的因变量农业用水效率 >0 ,具有从下面截断或从左边截断的特征。故使用受限因变量模型,即Tobit模型,对中国农业用水效率影响因素进行分析。

3.1 变量选取和数据来源

将农业用水效率作为被解释变量。影响农业用水效率的可能因素有结构因素、经济因素、资源因素、技术因素、基础设施建设因素等。故参考陈洪斌

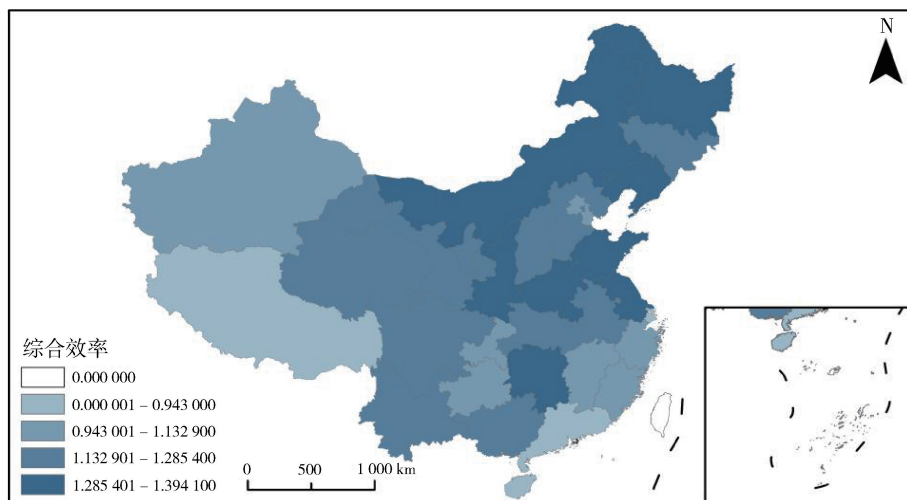


图4 各省农业用水综合效率空间分布

等^[10,28-29]的研究,农业用水效率影响因素变量选取及数据来源如表4所示。

表4 变量选取及数据来源

变量	选取依据	变量符号	变量名称	数据来源
被解释变量	用水效率	Y	农业用水效率	计算所得
解释变量	结构因素	X_1	第一产业增加值所占地区生产总值比重	《中国农村统计年鉴》
	资源因素	X_2	农业用水量	《中国统计年鉴》、《水资源公报》
		X_3	人均水资源量	
	技术因素	X_4	节水灌溉面积	《中国水利年鉴》、《中国环境统计年鉴》
	基础设施因素	X_5	水库总库容量	《中国统计年鉴》
	教育因素	X_6	地区教育水平	计算所得

选取2003—2017年31个省(市、自治区)相关数据,共465个样本单元。剔除数据缺失的样本,有效样本单元共451个。数据来源于各年度《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《水资源公报》《中国环境统计年鉴》《中国水利年鉴》。本文在回归之前对面板数据进行缩尾处理。

3.2 模型建立

基于Tobit模型分析农业用水效率影响因素,模型构建如下:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \beta_4 X_{4it} + \beta_5 X_{5it} + \beta_6 X_{6it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式中: Y_{it} 表示第 t 年第 i 地区的农业用水效率; β_k ($k=0,1,\dots,5$)为待估系数; ε_{it} 为随机误差项。

3.3 实证分析

使用Eviews 10.0对样本数据进行Tobit回归分析。回归结果见表5。

表5 Tobit回归模型结果

变量	系数	标准误差	Z 统计量	P 值
X_1	0.0040	0.0024	1.6628	0.0964
X_2	0.0072	0.0212	0.3415	0.7327
X_3	-0.0503	0.0118	-4.2668	0.0000
X_4	0.0607	0.0172	3.5333	0.0004
X_5	0.0284	0.0141	2.0119	0.0442
X_6	-0.2707	0.1530	-1.7693	0.0768
常数	1.5216	0.3838	3.9642	0.0001

第一产业增加值所占地区生产总值比重、人均水资源量($\text{m}^3/\text{人}$)、节水灌溉面积(10^3 hm^2)、水库总库容量(亿 m^3)、地区教育水平都通过显著性检验,与农业用水效率显著相关。农业用水量(亿 m^3)未通过10%的显著性检验。从系数上来看,地区教育水平对农业用水效率影响最大。

3.3.1 结构因素与农业用水效率显著相关

第一产业增加值所占地区生产总值比重与农业用水效率正相关,且通过10%水平上的显著性检

验。说明各地区的经济因素会影响农业用水效率。第一产业增加值所占地区生产总值比重降低,农业用水效率也会降低。在中国新工业时代背景下,工业用水挤占了部分农业用水,会对农业用水效率造成一定程度的影响。

3.3.2 资源因素显著影响农业用水效率

人均水资源量与农业用水效率成负相关关系,且通过1%水平的显著性检验。可能的原因是水资源禀赋充裕的地区节约用水、高效用水意识不足,水资源浪费严重。农业用水量与农业用水效率正相关,这与高农业用水区总体用水效率最高,中农业用水区次之,低农业用水区总体用水效率最低的结果一致。但农业用水量对农业用水效率无明显影响,未通过10%水平的显著性检验。可能的原因是:一方面,在其他各方面影响因素的相互作用下,农业用水量对农业用水效率的影响比较微弱;另一方面,用水区之间的效率差异在0.04左右,差异较小。

3.3.3 技术因素与农业用水效率显著相关

节水灌溉面积与农业用水效率在1%水平上显著正相关,表明节水灌溉面积越多,农业用水效率越高。可能的原因是:当一个地区掌握了先进的节水灌溉技术,投入的节水灌溉面积会增加。在先进技术的支持下,农业用水效率也会显著提高。大力提高地区节水灌溉技术,可以显著提高农业用水效率。

3.3.4 基础设施因素影响农业用水效率

水库总库容量与农业用水效率在5%水平上显著正相关,即增强地区的水利设施建设,有利于提高农业用水效率。可能的原因是:发展农田水利建设,本质是通过灌溉排水,调节农田水分状况,改善农田生态环境,从而达到增加粮食产量的效果。

3.3.5 教育因素显著影响农业用水效率

地区教育水平与农业用水效率在1%水平上显著负相关,即地区教育水平越高,农业用水效率越低。该结论与赵姜等^[29]的研究结论一致,似乎有违于一般常识,可能的原因是:一方面,地区教育水平越高,可能更倾向于将精力投入到回报率更高的非农产业。由于节水意识不足,农业用水粗放,用水效率降低。另一方面,教育水平高的地区,经济高速发展,相对于其他地区,第一产业增加值所占地区生产总值比重较低,因此农业用水效率也较低。这也验证了结构因素影响用水效率的结论。

4 结 语

本文首先基于有效效率前沿(乐观)和无效效率前沿(悲观)面SBM-DEA模型,对中国31个省(市、自治区)2003—2017年的农业用水效率进行测

度。结果显示:2003—2017年间中国各省(市、自治区)农业用水乐观效率均值为0.8554,悲观效率为1.6487,综合效率(几何平均效率)为1.1697。中国农业用水乐观效率总体上呈小幅度上升趋势,悲观效率呈现下降-上升-下降-上升趋势,综合效率总体在小幅度平稳上升。不同农业用水区之间用水效率差异较小,差异值在0.04左右;高农业用水区农业用水效率大于中农业用水区大于低农业用水区。但各农业用水区中不同地区之间用水效率差异较大。

其次以双前沿面SBM-DEA模型测算得出的综合效率作为被解释变量,通过Tobit回归模型从结构因素、资源因素、技术因素以及基础设施建设因素这4个方面分析对农业用水效率的影响因素。结果表明:

a. 结构因素、技术因素、基础设施因素与农业用水效率显著正相关。因此,各地不要忽视第一产业的发展,开发和研究节水灌溉技术,通过教学等方式,向农户推广喷滴灌、微灌、低压灌溉等技术。加大水利基础设施建设,提高农业用水效率。各地政府应重视农田水利建设,扩大水库总库容量,增加除涝面积和水土流失治理面积,提高农业用水效率,实现可持续发展。

b. 资源因素、教育因素与农业用水效率显著负相关。水资源禀赋充裕、地区教育水平高的地区更需要提高对节水的关注,注重节水宣传,让节水意识进入每一位公民的心中。

c. 农业用水量已经高乐观-高悲观的HH地区应当发展节水农业,建立完善节水体系,做好表率作用。高乐观-低悲观HL地区和低乐观-高悲观LH地区具有节水潜力,应改变粗放的用水方式,强化农业水资源管理。低乐观-低悲观LL地区中浙江、上海、广东等发达省(市、自治区)应坚持节水优先的策略,强化节水意识。西藏、新疆等发展落后地区应增加科研投入,大力发展先进的节水灌溉技术并进行推广。

d. 基于有效效率前沿(乐观)和无效效率前沿(悲观)计算得到的效率结果有所差异。由此可见,如果仅考虑单一前沿面,测评得到的效率结果会有所偏差。

参考文献:

[1] HAGHVERDI A, YONTS C D, REICHERT D L, et al. Impact of irrigation, surface residue cover and plant population on sugarbeet growth and yield, irrigation water use efficiency and soil water dynamics[J]. *Agricultural Water*

Management, 2017, 180:1-12.

- [2] WU X, ZHOU J, WANG H, et al. Evaluation of irrigation water use efficiency using remote sensing in the middle reach of the Heihe river, in the semi arid North-western China[J]. *Hydrological Processes*, 2015, 29(9):2243-2257.
- [3] 刘笑吟,徐俊增,杨士红,等. 节水灌溉稻田蒸散时空尺度特征及影响因素[J]. *水资源保护*, 2018, 34(2):42-51.
- [4] 王学渊,赵连阁. 中国农业用水效率及影响因素:基于1997—2006年省区面板数据的SFA分析[J]. *农业经济问题*, 2008(3):10-18.
- [5] DHEHIBI B, LACHAAL L, ELLOUMI M, et al. Measuring irrigation water use efficiency using stochastic production frontier: an application on citrus producing farms in Tunisia[J]. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2007(1):1.
- [6] 雷贵荣,胡震云,韩刚. 基于SFA的农业用水技术效率和节水潜力研究[J]. *水利经济*, 2010, 28(1):55-58.
- [7] 魏玲玲,李万明. 新疆农业用水效率及影响因素分析[J]. *新疆大学学报(哲学·人文社会科学版)*, 2014, 42(1):7-10.
- [8] 屈晓娟,方兰. 西部地区农业用水效率实证分析[J]. *统计与决策*, 2017(11):97-100.
- [9] 杜根,王保乾. 干旱区绿洲全要素农业水资源利用效率时空分异研究:以新疆为例[J]. *水利经济*, 2017, 35(2):47-52.
- [10] 陈洪斌. 我国省际农业用水效率测评与空间溢出效应研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(2):85-90.
- [11] 方琳,吴凤平,王新华,等. 基于共同前沿SBM模型的农业用水效率测度及改善潜力[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(10):2293-2304.
- [12] 焦勇,朱美玲. 基于信息熵的可变模糊评价的农业用水效率测算[J]. *节水灌溉*, 2014(1):80-83.
- [13] 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.
- [14] 封志明,刘宝勤,杨艳昭. 中国耕地资源数量变化的趋势分析与数据重建:1949—2003[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(1):35-43.
- [15] 王小军,张强. 广东省灌溉水有效利用系数影响因素的动静态分析[J]. *水利水电科技进展*, 2015, 35(2):6-11.
- [16] 杨丹,唐彦,唐德善. 基于熵权的模糊物元法在农业用水效率评价中的应用[J]. *节水灌溉*, 2018(10):64-67.
- [17] 户艳领,陈志国,刘振国. 基于熵值法的河北省农业用水利用效率研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2015, 36(3):136-142.

(下转第67页)

- [9] 季健, 张晓燕. 苏南产业转移对灌河流域水环境影响的研究: 基于 PSIR 模型分析[J]. 当代经济, 2015, 31(32): 58-61.
- [10] 尹翠琴, 金腊华, 范利平. 广州花都狮岭(江城)产业转移工业园水环境承载力研究[J]. 水资源保护, 2009, 25(1): 36-39.
- [11] 武瑶, 王春梅, 肖伟华, 等. 哈大齐工业走廊承接产业转移水环境风险评价[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(6): 352-357.
- [12] 王晗, 余文学, 贾亦真. 郑州市水资源承载力综合评价[J]. 水利经济, 2018, 36(6): 57-61.
- [13] 雷勋平, 邱广华. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价实证研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(1): 314-323.
- [14] 孙茜, 张捍卫, 张小虎. 河南省资源环境承载力测度及障碍因素诊断[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(7): 33-38.
- [15] 刘丹, 王烜, 曾维华, 等. 基于 ARMA 模型的水环境承

载力超载预警研究[J]. 水资源保护, 2019, 35(1): 52-55.

- [16] 张丛林, 乔海娟, 董磊华, 等. 水生态文明制度体系框架研究[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(5): 28-34.
- [17] 李冰, 董增川, 杭庆丰, 等. 盐城市水资源承载状态量化研究[J]. 水利经济, 2019, 37(1): 65-69.
- [18] 杨秋林, 郭亚兵. 水资源承载能力评价的熵权模糊物元模型[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(2): 89-92.
- [19] 谷冬元, 高俊山, 徐章艳, 等. 基于 Vague 集理论的冲突分析模型[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(3): 95-98.
- [20] 谈飞, 史玉莹. 江苏省水资源环境与经济发展耦合协调度测评[J]. 水利经济, 2019, 37(3): 8-12.
- [21] 王伟平, 吴祈宗. 关于 Vague 集理论中记分函数的分析[J]. 北京理工大学学报, 2008, 53(4): 372-376.
- [22] 郭耀辉, 刘强, 熊鹰, 等. 农业循环经济发展指数及障碍度分析: 以四川省 21 个市州为例[J]. 农业技术经济, 2018, 37(11): 132-138.

(收稿日期: 2019-08-07 编辑: 胡新宇)

(上接第 53 页)

- [21] 冯欣. 农业水价利益相关者研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- [22] 姜文来, 刘洋, 伊热鼓, 等. 农业水价合理分担研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35(5): 191-195.
- [23] 贾生华, 陈宏辉. 利益相关者的界定方法述评[J]. 国外经济与管理, 2002(5): 13-18.
- [24] 王绪颖. 引黄灌区水权转换市场上的利益相关者分析[D]. 银川: 宁夏大学, 2013.
- [25] 陈丹. 南方季节性缺水灌区灌溉水价与农民承受能力研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [26] 冯欣, 姜文来. 我国农业用水利益相关者研究进展与展望[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(2): 8-12.
- [27] 冯欣, 姜文来, 刘洋. 农业水价利益相关者定量排序研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(3): 173-180.

(收稿日期: 2019-05-17 编辑: 胡新宇)

(上接第 60 页)

- [18] AZIZI H, AJIRLU H G. Measurement of the worst practice of decision-making units in the presence of non-discretionary factors and imprecise data[J]. Applied Mathematical Modelling, 2011, 35(9): 4149-4156.
- [19] 杨锋, 杨琛琛, 梁樑, 等. 各国奥运会参赛效率评价与排序研究[J]. 中国软科学, 2009(3): 166-173.
- [20] 刘渝, 王焱. 农业水资源利用效率分析: 全要素水资源调整目标比率的应用[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2012(6): 26-30.

- [21] 魏金义, 祁春节. 农业技术进步与要素禀赋的耦合协调度测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(1): 90-96.
- [22] 刘涛. 省际农业用水效率及其演化的博弈分析[J]. 节水灌溉, 2017(9): 97-100.
- [23] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [24] WANG Y M, CHIN K S, YANG J B. Measuring the performances of decision making units using geometric average efficiency[J]. Journal of the Operational Research Society, 2007, 58(7): 929-937.
- [25] 张新红, 何丹. 福建省城市全要素能源效率研究: 基于双前沿面 DEA 模型[J]. 华侨大学学报(哲学社会科学版), 2017(2): 51-60.
- [26] 佟金萍, 马剑锋, 王圣, 等. 长江流域农业用水效率研究: 基于超效率 DEA 和 Tobit 模型[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(4): 603-608.
- [27] 秦腾, 章恒全. 农业发展进程中的水环境约束效应及影响因素研究: 以长江流域为例[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2017, 17(2): 134-142.
- [28] 李静, 徐德钰. 中国农业的用水效率及其影响因素: 基于 MinDW 模型的分析[J]. 环境经济研究, 2018, 3(3): 56-74.
- [29] 赵姜, 孟鹤, 龚晶. 京津冀地区农业全要素用水效率及影响因素分析[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(3): 76-84.

(收稿日期: 2019-08-16 编辑: 胡新宇)