

黄淮海平原农业水资源绿色效率

时空差异与影响因素研究

苏喜军 纪德红 何慧爽¹

(华北水利水电大学 管理与经济学院, 河南 郑州 450046)

【摘要】: 提高农业水资源绿色效率对促进黄淮海平原农业可持续发展和保障粮食安全极其重要。通过超效率 SBM 模型和 Tobit 模型对黄淮海平原农业水资源绿色效率及其影响因素进行了研究。结果发现:黄淮海平原农业水资源绿色效率整体趋于上升且存在明显的地区差异;技术进步变化是导致农业水资源绿色效率变化的主要动因;除农作物种植结构外,经济发展水平、节水农业发展水平、供水结构等因素均对农业水资源绿色效率有着显著影响。基于以上结论,提出以绿色发展理念指导农业产业结构和用水结构升级、充分发挥节水潜力提高农业水资源绿色效率水平和完善水价水权市场机制优化农业水资源配置等对策建议。

【关键词】: 黄淮海平原 农业水资源 绿色效率 超效率 SBM 模型

【中图分类号】: F062.2; F303.4 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)03-106-06

0 引言

中国地域辽阔,物质资源丰富但水资源匮乏,人均水资源占有量远低于世界平均水平,水污染、水浪费等问题频发对经济的快速发展形成了反向制约。习近平总书记在党的十九大报告中提出“加快生态文明体制改革,建设美丽中国”的理念,旨在着力解决水污染等环境问题,建立绿色循环可持续发展的经济体系^[1]。作为水资源紧缺的重要农业生产基地,黄淮海平原地区 2018 年农业用水占该地区用水总量的 52%,农业 GDP 占全国农业 GDP 比重为 30%,农业用水占全国农业用水的比重为 22%,但水资源拥有量仅占全国总量的 7.7%。黄淮海平原作为我国重要的粮食主产区,农业生产的稳步推进离不开水资源的合理利用,其农业水资源使用效率的高低决定了农业用水安全和生态安全,间接影响了我国的粮食安全。因此,对黄淮海平原农业水资源绿色效率进行测度和影响因素进行研究,极具现实意义。

国外关于水资源利用效率的研究已有丰富成果,如 Omnezzine & Zaibet^[2]和 Kaneko 等^[3]分别探讨了节水技术和自然因素对农业灌溉用水效率的影响;Speelman 等^[4]基于 DEA 模型测度了水资源利用效率的全要素生产率,并在此基础上分析了其技术局限性。此外,Yunos & Havdon^[5]、Sanders^[6]、Anwandter^[7]也基于 DEA 模型分别对马来西亚、美国和墨西哥的水资源效率进行了测度。目前,国内有较多学者关注水资源利用效率,但对于水资源绿色效率的研究较少。如李世祥等^[8]、高媛媛等^[9]、雷玉桃和黄丽萍^[10]分别对我国 31 个省份的水资源绿色效率和工业用水效率进行了测度,并对东、中、西部地区进行了差异比较。早先关于水资源利用效率的研究多未考虑到水环境的因素,随着绿色发展理念的推进,部分学者开始关注水资源环境,并将水污染因素纳入水资源效率的测度框架中,从而开展了水资源绿色效率的相关研究。如由沙丘^[11]在 2016 年提出了绿色全要素水资源效率的概念,并通过

¹作者简介:苏喜军,本科,教授,研究方向为区域经济、水资源管理与制度创新。E-mail:346952523@qq.com

基金项目:河南青年骨干教师项目“粮食生产主体功能导向下我国区际农业生态资本权益补偿研究”(2018GGJS081);河南高校科技创新人才支持计划(人文社科类)项目“产业、区域与资源”(2020-cx-005);河南省科技厅项目“低碳技术集成及减排效果评价”(152102310341)

DEA 四阶段方法测算了我国城市绿色全要素水资源效率;罗伟峰和王保乾^[12]以环境绩效的评价原则为基础,测度了长江经济带各省市的工业用水效率。农业水资源绿色效率方面,张玮和刘宇^[13]、任志安和刘柏阳^[14]用 DEA 和 Tobit 模型对不同地区农业绿色水资源绿色效率进行了相关研究。

综上可知,关于水资源绿色效率的研究于近几年兴起,但农业水资源绿色效率方面的研究较为稀少。黄淮海平原在行政地区上包括京津两市以及冀、苏、皖、鲁、豫五省,一级农区耕地数量及垦殖率均居首位,但该地区由于地下水被大量开采已经成为世界上最大的地下水漏斗,存在较严重的水资源危机。因此,提高农业水资源绿色效率,对于提升其农业可持续发展能力,维护农业生态安全具有十分重要的意义。

1 研究区概况

黄淮海平原即华北平原,是我国三大粮食生产基地之一,其农业产值占全国近三分之一,粮食产量占全国 35%以上,对我国的粮食生产安全有着重要影响。水资源无论是在社会经济发展还是生态环境保护方面都有重要作用,在农业生产中尤为如此。黄淮海平原作为我国一级农区中耕地数量和垦殖率最高的地区,50%以上的水资源被农业生产活动所消耗,而农业灌溉用水的 79%以上来源于地下水开采^[15]。中国是相对缺水的国家,人均水资源占有量不足世界平均水平的四分之一,而黄淮海平原水资源量仅为全国水资源总量的 7%左右,人均水资源更是低于全国平均水平。另外,由于黄淮海平原存在严重的地下水超采现象,使得黄淮海平原成为世界上最大的地下水漏斗,由此引发诸如地面沉降、土壤次生盐渍化等生态问题,该地区农业可持续发展前景堪忧。鉴于此,对黄淮海平原农业水资源绿色效率进行研究,对实现黄淮海平原农业可持续发展,维护我国粮食生产安全有着重要意义。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

传统 DEA 方法在测度水资源效率时忽略了非期望产出的影响,这不符合实际的生产过程,因此其结果往往有偏差。为解决这一问题,Tone 提出了改进的 DEA 模型——SBM 模型,把非期望产出纳入模型之内,提高了测量精度^[1]。之后,他又进一步提出了超效率 SBM 模型,该模型能够克服传统模型无法对大于 1 的效率值进行比较的缺陷,因此被多数学者青睐,将其应用到效率研究中。本文选取超效率 SBM 模型对黄淮海平原各地区农业水资源绿色效率进行测度,其具体公式见式(1)^[16]:

$$\begin{aligned}
 \theta = \min & \frac{1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_n^x / x_{k'n}^{t'}}{1 + \frac{1}{M+I} (\sum_{m=1}^M s_m^y / y_{k'm}^{t'} + \sum_{i=1}^I s_i^b / b_{k'i}^{t'})} \\
 s.t. \quad & x_{k'n}^{t'} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \lambda_k^t x_{kn}^t + s_n^x, n=1, \dots, N \\
 & y_{k'm}^{t'} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \lambda_k^t y_{km}^t - s_m^y, m=1, \dots, M \\
 & b_{k'i}^{t'} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \lambda_k^t b_{ki}^t + s_i^b, i=1, \dots, I \\
 & \lambda_k^t \geq 0, s_n^x \geq 0, s_m^y \geq 0, s_i^b \geq 0, k=1, \dots, K
 \end{aligned} \tag{1}$$

式中： θ 为测量值，即水资源绿色效率；N、M、I 分别为投入、期望产出和非期望产出指标；x、y、b 分别为三个指标的向量； s_a^x 、 s_m^y 、 s_i^b 分别为三个指标的松弛量； x_{it}^k 、 y_{it}^k 、 b_{it}^k 表示 k' 生产单元在 t' 时期的投入产出值； λ_k 为决策单元的权重系数。当 $\theta \geq 1$ 时，代表决策单元处于较高的效率水平；当 $\theta < 1$ 时，则表示有一定的效率损失，投入产出比有可改善的空间。

2.2 数据来源

农业产出是由劳动、资本、水资源、土地以及化肥等多种要素共同配置的。另外,任何生产活动都倾向追求利益的可持续发展,也不可避免地会带来非期望产出。这就产生了水资源绿色效率的概念,水资源绿色效率可理解为水资源投入与其带来的经济、社会与生态方面产出的比率,与利用效率有所不同的是,水资源绿色效率在产出方面关注经济、社会与生态三个方面,且较侧重水资源的生态效益。基于此,本文结合农业实际生产过程,依据相关研究^[14]在测度农业水资源绿色效率方面选取的投入指标有农林牧渔业从业人员、农业机械总动力、农业用水量、农业有效灌溉面积以及化肥施用量。产出指标含期望和非期望两个方面,其中农林牧渔业总产值、农业可持续发展指数为期望产出,农业碳排放量为非期望产出。关于农业可持续发展指数和农业碳排放的具体计算可见相关研究^[17-18]。本文数据均来自黄淮海平原各地区的《统计年鉴》《水资源公报》《中国环境统计年鉴》等。

3 黄淮海平原农业水资源绿色效率分析

3.1 水资源绿色效率时空差异的基本特征

(1) 水资源绿色效率的时间演化特征。

本文基于含非期望产出的超效率 SBM 模型对黄淮海平原各地区 2000—2017 年农业水资源绿色效率进行了测度,结果见表 1。

从历年多地区平均值来看,黄淮海平原农业水资源绿色效率整体呈上升趋势,并在 2015 年之后大于 1,属于较高效率水平。从各地区来看,北京农业水资源绿色效率最高且保持稳定增长;其次是江苏和山东,但两地区效率水平没有表现出明显的变化趋势;天津的效率水平在 2005—2010 年间存在较明显的下降趋势;河南农业水资源绿色效率在 2007 年之前相对稳定,效率水平较高,但之后波动明显,总体效率水平有所下降;河北和安徽农业水资源绿色效率水平较低且有所下降,相对于河北,安徽波动幅度更为明显,于 2017 年成为该地区绿色水资源效率最低的地区。

表 1 黄淮海平原各省市水资源绿色效率

年份	黄淮海平原							均值
	北京	天津	河北	江苏	安徽	山东	河南	
2000	1.160	1.087	0.615	1.053	0.518	1.073	1.029	0.934
2001	1.243	1.136	0.695	1.056	0.461	1.079	1.001	0.953
2002	1.158	1.031	0.737	1.062	0.534	1.082	1.024	0.947
2003	1.182	1.031	0.710	1.036	0.471	1.108	1.008	0.935
2004	1.200	1.017	0.697	1.060	0.469	1.089	1.013	0.935
2005	1.228	0.588	0.679	1.059	0.367	1.104	1.042	0.867

2006	1.154	0.641	0.659	1.053	0.369	1.120	1.014	0.859
2007	1.175	1.007	0.624	1.050	0.383	1.138	1.015	0.913
2008	1.165	0.595	0.606	1.057	0.380	1.123	0.691	0.802
2009	1.150	0.564	0.583	1.055	0.372	1.115	0.653	0.785
2010	1.197	0.608	0.646	1.057	0.380	1.108	1.011	0.858
2011	1.198	1.015	0.650	1.059	0.373	1.111	1.005	0.916
2012	1.275	1.008	0.646	1.064	0.373	1.111	0.659	0.877
2013	1.370	1.021	0.647	1.058	0.351	1.118	0.618	0.883
2014	1.424	1.013	0.627	1.062	0.384	1.113	1.004	0.947
2015	2.488	1.076	0.593	1.084	1.009	1.113	0.610	1.139
2016	2.619	1.069	0.640	1.155	1.008	1.089	0.629	1.173
2017	3.352	1.029	0.540	1.155	0.532	1.097	0.647	1.193

(2) 水资源绿色效率的空间格局特征。

为便于研究黄淮海平原地区农业水资源绿色效率的空间格局特征,根据实证结果,依据相关研究^[1]将水资源绿色效率水平划分为 6 个区间段。以我国五年发展计划为基准,把研究期分为“十五”“十一五”和“十二五”以来三个阶段,并计算出各阶段的农业水资源绿色效率及其均值,见图 1。

由图 1 可知,黄淮海平原各地区农业水资源绿色效率水平存在较明显差异。“十五”期间,北京、河南、山东以及江苏平均农业水资源绿色效率均大于 1,处于较高平均效率水平;天津平均农业水资源绿色效率水平也在 0.9 之上,河北、安徽次之。“十一五”期间,北京、山东和江苏平均效率仍处于较高水平,河南平均农业水资源绿色效率在 0.8~0.9 之间,河北、安徽、天津次之。自“十二五”以来,北京、天津、江苏和山东处于较高的平均农业水资源绿色效率水平,河南的平均效率水平介于 0.7~0.8 之间,河北和安徽平均效率水平较低。整个研究期间,北京、山东和江苏平均效率水平相对稳定,天津和安徽的平均农业水资源绿色效率水平处于上升趋势,尤以天津上升趋势最为明显。河北平均效率水平虽较稳定,但相对较低。河南平均效率水平在整个观察期内持续下降,也是黄淮海平原各地区中唯一呈持续下降趋势的地区。安徽平均效率水平虽然较低,但自“十二五”以来其效率水平有所上升。

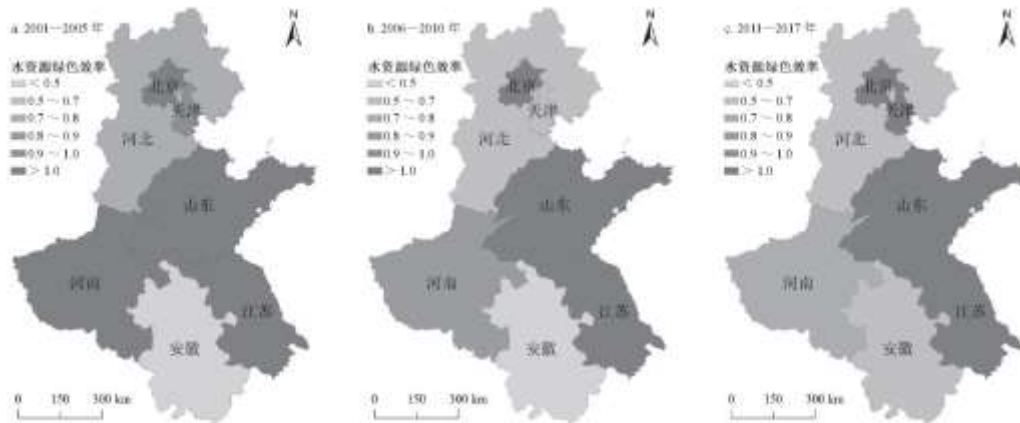


图1 黄淮海平原各地区农业水资源绿色效率的时空分异

综上可知,北京、天津、江苏和山东农业水资源绿色效率处于较高水平。北京和天津经济发展水平较高,其农业用水技术和管理技术较为先进,因此效率水平高于其他地区。而江苏和山东作为较早实行严格水资源管理制度的地区,区域生态治理效果显著,农业水资源绿色效率较高。河北和安徽农业水资源绿色效率水平较低,农业传统灌溉模式是其主要原因。如对河北而言,农业用水的96%以上用于灌溉,而灌溉用水的80%用于水浇地这种传统且低效的灌溉模式^[19]。目前随着现代农业发展理念的推进,河北和安徽用水情况有所改善,但其形势仍不容乐观。河南是农业水资源绿色效率唯一呈持续下降趋势的地区。根据相关研究^[20],河南在不考虑非期望产出时其农业用水效率呈上升趋势,可见河南农业的快速发展是以牺牲生态为代价的。因此对河南而言,更应注重农业发展中的生态保护,集约使用农业水资源。

3.2 水资源绿色效率时空差异变化的动态趋势

超效率 SBM 模型只能分析农业水资源绿色效率时空差异的基本特征,却不能解析其动态变化。本部分引入 Malmquist-Luenberger 生产率指数 (ML 指数) 对黄淮海平原各地区农业水资源绿色效率的动态趋势进行分析。ML 指数以测算的效率值为基础,主要从技术效率和技术进步变化两个方面分析绿色水资源效率的动态变化。技术效率变化可衡量因生产要素效率提高而引起的水资源绿色效率的提高。技术进步变化为宏观社会环境如经济结构、制度等因素所带来的水资源绿色效率的提高。为进一步分析黄淮海平原各地区农业水资源绿色效率随时间变化的动态趋势,本文基于 2000—2017 年的相关数据计算了黄淮海平原各地区平均的 ML 生产率指数,具体见图 2。

ML 生产率指数衡量的是农业水资源绿色效率的增长水平,观察图 2 可知,各地区平均 ML 生产率指数均大于 1,表明各地区农业水资源绿色效率均有所改善。北京平均 ML 生产率指数要高于其他地区,表明北京农业水资源绿色效率保持较高的增长水平。其次是安徽,说明其绿色效率水平也有较明显的增幅。江苏、山东平均 ML 生产率指数也大于 1,表明两地区农业水资源效率增长态势良好。以上结果均和超效率 SBM 模型结果一致,但对天津、河北及河南的超效率 SBM 结果分析可知,这些地区农业水资源绿色效率水平没有明显增长趋势。为分析其具体原因,绘制了各地区 ML 生产率分解指数见图 3。

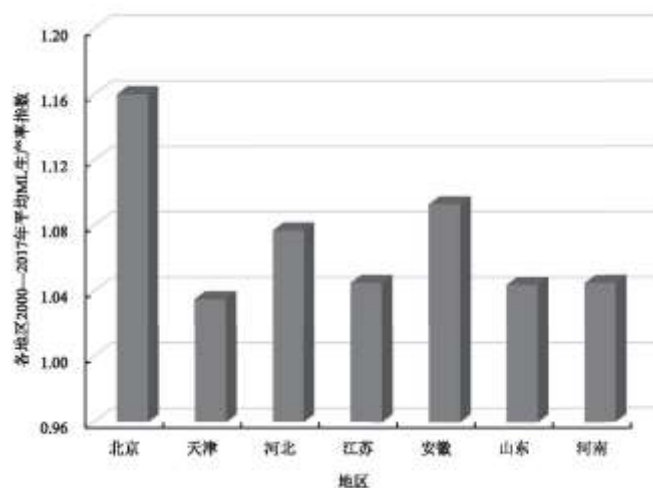


图2 黄淮海平原各地区 2000—2017 年平均 ML 生产率指数

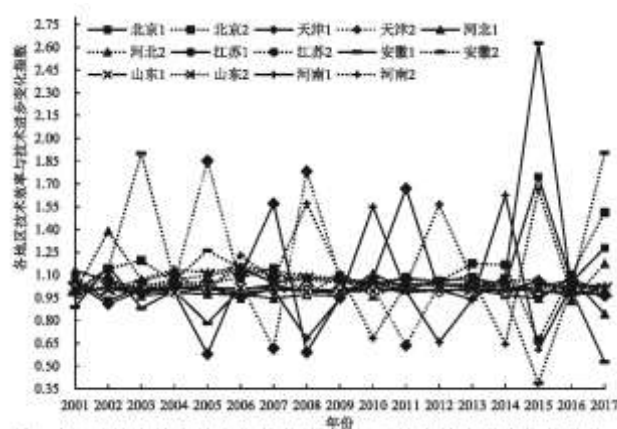


图3 黄淮海平原各地区技术效率与技术进步变化指数

注：标“1”的为技术效率指数曲线，标“2”的为技术进步指数曲线。

从技术效率指数变化可知,河北、江苏和山东技术效率无明显波动;北京整体呈上升趋势;天津在 2004—2012 年变化明显,近几年无较大波动;安徽技术效率在 2015 年明显上升;河南在 2007 年之后趋势波动明显。从技术进步指数来看,黄淮海平原各地区技术变化相对技术效率变化更为明显。具体来看,北京在 2012 年之后技术进步变化明显,尤其自 2015 年之后明显上升。2012 年之前天津的技术进步变化较明显,在这之后无明显波动,整体上趋于稳定。河北、江苏和山东几个地区在研究期内相对稳定。安徽在 2005 年之前和 2014 年之后技术进步变化趋势明显,整体上呈上升趋势。河南的技术进步变化在 2007 年之后较明显,期间波动幅度也相对较大。根据 ML 生产率指数分解结果,结合超效率 SBM 模型分析可知技术进步变化是导致农业水资源绿色效率变化的主要原因。北京“十五”期间农业水资源绿色效率提升是由于技术进步变化导致的,而自“十二五”以来的效率增长是由技术效率变化带来的。江苏、山东技术效率指数和技术进步变化指数均保持稳定,其效率水平也无明显变化。天津、河北“十一五”期间的效率水平下降是由于技术进步变化导致的。技术效率的改善是安徽近年效率上升的主要原因,而河南在“十一五”之后的效率下降也是由于技术进步变化导致的。

综合来看,北京和安徽效率提高主要得益于技术效率的提升。北京作为发达地区,经济发展水平较高,科技带动效应强,其效率改善进而带动水资源绿色效率的提升。安徽水资源利用程度相对较差,在 2011 年我国提出水资源“三条红线”管理指度后大力推进节水技术的改进,因此其技术效率改善较明显,进而提升了水资源绿色效率。对于天津、河北以及河南而言,其效率变化是由技术进步带来的。随着我国科技的进步,在农业生产方面技术应用也越来越普遍和成熟,各地区均有不同程度的技术进步。但由于各地区经济结构、管理机制和政策效应时滞等原因,技术进步在最初并不一定带来效率改善,这可能是导致天津、河北以及河南出现短期水资源绿色效率下降的原因。

4 黄淮海平原农业水资源绿色效率影响因素分析

4.1 模型与变量选择

(1) 模型设定。

由于超效率值是一个大于 0 的受限变量,直接采用普通最小二乘法进行回归会导致参数估计有所偏差,而 Tobit 模型可以解决这类问题。因此,本文选用 Tobit 模型对影响因素进行计量分析。模型设定为:

$$Y_{it}=C+X_{it}+\varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \tag{2}$$

式中:Y_{it}表示黄淮海平原各地区不同时期的农业水资源绿色效率水平,C 为待估参数,X_{it}为影响因素,ε_i为随机扰动项。

(2) 变量选择。

本文在相关研究的基础上^[14]结合农业发展的实际主要选取以下影响因素:①经济发展水平,以农村居民人均可支配收入衡量经济发展水平;②农作物种植结构,以粮食作物播种面积占农作物总播种面积的比重衡量种植结构;③节水农业发展水平,以节水灌溉面积占农作物总播种面积的比重衡量节水农业发展水平;④供水结构,以地下水供水量占供水总量的比重衡量供水结构;⑤人均水资源量;⑥固定资产投资力度,以农林牧渔业固定资产投资额占农林牧渔业生产总值的比重表示固定资产投资力度。数据来源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国农业年鉴》以及黄淮海平原各地区《水资源公报》等。

4.2 Tobit 回归结果分析

以黄淮海平原各地区农业水资源绿色效率为被解释变量,以上述 6 个影响因素为解释变量构建了计量模型,得到的 Tobit 模型回归结果见表 2。

表 2 Tobit 模型回归结果

解释变量	回归系数	稳健标准差	t 值	P> t
经济发展水平	0.0000445***	9.77E-06	4.561355	0.0000
农作物种植结构	-0.631472	0.403414	-1.565321	0.1175
节水农业发展水平	0.717065***	0.12197	5.879016	0.0000
供水结构	0.251315**	0.127315	1.97396	0.0484

人均水资源量	0.133865***	0.039754	3.367296	0.0008
固定资产投资力度	-0.845965***	0.296423	-2.853916	0.0043

根据以上回归结果可知:①经济发展水平在 1%的显著性水平下对农业水资源绿色效率有着正向影响。农村居民人均可支配收入越高,人们对农田先进的水利设施和高新农业节水灌溉等技术的倾向性就越强,其技术效率就越高,有助于提升农业水资源绿色效率水平。②农作物种植结构虽未通过显著性检验,但可发现其对农业水资源绿色效率有着负向影响。粮食作物的平均水资源产值要低于经济作物,因此其水资源的相对利用效率较低。③节水农业发展水平在 1%的显著性水平下对农业水资源绿色效率有着正向影响。地区的节水农业发展水平越高,说明其节水技术越先进,对水资源的利用程度也将有所提高。④供水结构在 5%的显著性水平下对农业水资源利用效率有着正向影响。通过地下供水灌溉能够减少灌溉的输水损失和时间,在一定程度上提升了农业用水效率。⑤人均水资源量在 1%的显著性水平下对农业水资源绿色效率有着正向影响。人均水资源量越高,农作物的用水需求越容易得到满足,故在提升水资源效率方面有一定促进作用^[21]。⑥固定资产投资力度在 1%显著性水平下对农业水资源绿色效率有着负向影响。这与我们的认知相反,任志安和刘柏阳^[14]认为,可能原因是农业固定资产投资实施效果不佳,在提升水资源绿色效率方面的作用相对有限。

5 结论与建议

5.1 结论

本文基于超效率 SBM 模型和 Tobit 模型对黄淮海平原农业水资源绿色效率及其影响因素进行了计量分析,研究结果表明:

(1)从黄淮海地区平均水平来看,农业水资源绿色效率有所上升。其中北京、天津、山东和江苏农业水资源绿色效率保持在较高水平,河北、河南农业水资源绿色效率有所下降,河南下降趋势明显,安徽农业水资源绿色效率水平较低但呈上升趋势。

(2)技术进步变化是导致农业水资源绿色效率变化的主要原因,各地区农业水资源绿色效率变化存在差异。其中北京、安徽农业水资源绿色效率变化是由于技术效率波动引起的,而天津、河北和河南效率变化是由于技术进步变化引起的。

(3)经济发展水平、节水农业发展水平、供水结构和人均水资源量对黄淮海平原各地区农业水资源绿色效率有着显著的促进作用,农作物种植结构以及固定资产投资力度则对农业水资源绿色效率有着负向影响,其中固定资产投资力度影响显著。

5.2 相关建议

基于以上结论,本文提出以下建议。

(1)以绿色发展理念指导农业产业结构和用水结构升级。

黄淮海平原各地区应加大力度促进推动农业产业结构升级,全面推进用水设施的技术改造以及农业节水技术的革新,为提升农业水资源绿色效率提供坚实的设施基础和技术支撑。要创新农业水资源管理方式,推进水利基础设施建设,大力推广节水灌溉技术,完善节水激励机制,进行科学、全面且严格的污水收费系统设计。

(2)充分发挥节水潜力提高农业水资源绿色效率水平。

技术效率和技术进步变化是导致黄淮海平原各地区农业水资源绿色效率差异的主要原因,各省份应当打破地域限制,消除行政壁垒,扩大农业节水与水污染防治领域的交流与合作,提高农业用水管理水平。注重调整农业种植结构和规模,提高重复用水能力和强化污水处理能力,加快推进绿色技术应用并因地制宜地制定农业节水战略与水污染防治对策,充分挖掘当地节水潜力。

(3)完善水价、水权市场机制,优化农业水资源配置。

水价和水权是实现水资源合理配置的有效手段,因此在提升农业水资源效率方面,应当注重推动水价和水权市场的建设,完善水资源确权、水权交易等市场制度,有效发挥市场机制对实现水资源合理配置的调节作用。在调节水价机制时,应将农户对水资源的支付意愿和价格承受能力充分考虑在内,不以牺牲农户利益为代价,探索诸如定额内用水享受优惠政策等机制的可行性。

(4)以农业节水宣传教育提升农户节水意识。

各地区应积极开展诸如农业节水宣传的“上山下乡”活动,并引导农户使用农业节水技术设施,从微观层面宣传引导农户的用水行为,使其充分意识到紧缺的水资源现状和生态环保的重要意义,并向农户科普农作物的有效灌溉周期,引导其合理适度使用灌溉水,提升水资源利用效率。

参考文献:

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

[2]Omnezzine A,Zaibet L. Management of modern irrigation systems in oman:Allocative vs. irrigation efficiency[J]. Agricultural Water Manangement,1998,37(2):99-107.

[3]Kaneko S,Tanaka K,Toyota T,et al. Water efficiency of agricultural production in China:Regional comparison from 1999 to 2002[J]. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology,2004,3(3-4):213-251.

[4]Speelman S,Haese M D,Buyse J,et al. Technical efficiency of water use and its determinants[R]. Montpellier, France:the Seminar of European Association of Agricultural Economics,2007.

[5]Yunos J M,Havdon D. The efficiency of the National Electricity Board in Malaysia:An intercountry comparison using DEA[J]. Energy Economics,1997,19:255-269.

[6]Sanders S D. Data envelopment analysis for benchmarking public sector utilities operations[D]. Dallas:Southern Methodist University,1999.

[7]Anwandter L. Can public sector reforms improve the efficiency of public water utilities an empirical analysis of the water sector in Mexico using data envelopment analysis[D]. Maryland:University of Maryland,2000.

[8]李世祥,成金华,吴巧生. 中国水资源利用效率区域差异分析[J]. 中国人口·资源与环境,2008(3):215-220.

[9]高媛媛,许新宜,王红瑞,等. 中国水资源利用效率评估模型构建及应用[J]. 系统工程理论与实践,2013(3):776-784.

-
- [10] 雷玉桃, 黄丽萍. 中国工业用水效率及其影响因素的区域差异研究——基于 SFA 的省际面板数据[J]. 中国软科学, 2015(4):155-164.
- [11] 由沙丘. 我国不同区域城市绿色全要素水资源效率研究[J]. 学术交流, 2016(6):173-176.
- [12] 罗伟峰, 王保乾. 基于环境绩效的长江经济带工业用水效率[J]. 水利经济, 2017(3):42-47.
- [13] 张玮, 刘宇. 长江经济带绿色水资源利用效率评价——基于 EBM 模型[J]. 华东经济管理, 2018(3):67-73.
- [14] 任志安, 刘柏阳. 淮河生态经济带农业水资源绿色效率的时空差异与影响因素[J]. 资源开发与市场, 2019(7):929-934, 941.
- [15] 李文鹏, 王龙凤, 杨会峰, 等. 华北平原地下水超采状况与治理对策建议[J]. 中国水利, 2020(13):26-30.
- [16] 杨刚强, 季轶凡, 王嵩, 等. 我国区域空气污染治理效率及其影响机制——基于超效率 SBM 模型和门槛回归模型[J]. 中国环境管理, 2020(1):71-79.
- [17] 张利国, 鲍丙飞, 杨胜苏. 我国农业可持续发展空间探索性分析[J]. 经济地理, 2019(11):159-164.
- [18] 何慧爽, 付帮杰. 我国粮食主产区农业碳排放测度与减排压力研究[J]. 生态经济, 2019(11):99-104.
- [19] 郝跃颖. 河北地区农业水资源承载力及结构调整探讨[J]. 水利规划与设计, 2017(7):21-23.
- [20] 吴丽美. 河南省农业水资源利用效用研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2015.
- [21] 刘渝, 宋阳. 基于超效率 SBM 的中国农业水资源环境效率评价及影响因素分析[J]. 中国农村水利水电, 2019(1):102-107.