

黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率与影响因素的差异性研究

郝铭¹, 段琳琼², 陈常优¹, 梁流涛¹, 潘涛³

(1.河南大学 地理与环境学院, 河南 开封 475004; 2.洛阳师范学院 国土与旅游学院, 河南 洛阳 471934; 3.河南省自然资源科学研究院, 河南 郑州 450000)

摘要: [目的] 探查黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率与影响因素间的差异性特征, 为有效提升两地农业用水效率与农业可持续发展决策提供科学依据。[方法] 基于 2009—2019 年黄河流域与长江经济带 19 省市的面板数据, 利用超效率 SBM 模型, 并结合 Malmquist 指数、核密度估计、标准差椭圆、Tobit 回归等方法对其差异性进行分析。[结果] ① 农业水资源利用效率均呈整体上升趋势, 黄河流域各年效率值波动幅度较大, 内部差异明显, 其效率重心于山西省与陕西省边界摆动; 而长江经济带各年起伏较缓, 其效率重心呈现向西南部迁移趋势, 年均效率值略高于黄河流域。② 技术进步均是引起农业水资源利用效率变动的主要原因, 2009—2019 年黄河流域技术进步指数略高于长江经济带。③ 影响两地农业用水效率增长的因素差异较大, 其原因与其所处的自然地理环境与经济发展水平有较大联系。[结论] 黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率整体良好, 但区域差异性较大。因此, 要因地制宜采取针对性措施, 并从科技投入、政府引导与农民参与等多个维度推动两地农业用水效率的提升与持续优化, 实现流域农业的可持续发展。

关键词: 农业水资源利用效率; 超效率 SBM 模型; Malmquist 指数; Tobit 回归; 黄河流域; 长江经济带

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)04-0267-11

中图分类号: TV213.9

文献参数: 郝铭, 段琳琼, 陈常优, 等. 黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率与影响因素的差异性研究[J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 267-277. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.04.034; Hao Ming, Duan Linqiong, Chen Changyou, et al. Differences in agricultural water use efficiency and its influencing factors between Yellow River basin and Yangtze River Economic Belt [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 267-277.

Differences in Agricultural Water Use Efficiency and Its Influencing Factors Between Yellow River Basin and Yangtze River Economic Belt

Hao Ming¹, Duan Linqiong², Chen Changyou¹, Liang Liutao¹, Pan Tao³

(1.College of Geography and Environmental Science, He'nan University, Kaifeng,

He'nan 475004, China; 2.College of Land and Tourism, Luoyang Normal University, Luoyang,

He'nan 471934, China; 3.Scientific Academy of Natural Resources of He'nan Province, Zhengzhou, He'nan 450000, China)

Abstract: [Objective] The differences of agricultural water use efficiency and its influencing factors between the Yellow River basin and the Yangtze River Economic Belt were studied in order to provide a scientific basis and reference for decision-making to effectively improve agricultural water use efficiency and sustainable agricultural development in the two regions. [Methods] Based on data from 19 provinces and cities in the Yellow River basin and the Yangtze River Economic Belt from 2009 to 2019, differences in agricultural water use efficiency and its influencing factors were analyzed by use of the super-efficiency SBM model, the Malmquist index, kernel density estimation, standard deviation ellipse, Tobit regression and other methods. [Results] ① Agricultural water use efficiency increased over time. The annual efficiency value for the Yellow

收稿日期: 2021-11-28

修回日期: 2022-02-09

资助项目: 河南省自然资源科研项目河南省自然资源科研项目“城市土地立体空间: 管控分区、价值评估及协同治理模式研究”(2022-1)

第一作者: 郝铭(1995—), 男(汉族), 河北省邢台市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用与规划研究。Email: minghao@henu.edu.cn.

通讯作者: 陈常优(1965—), 男(汉族), 河南省鄆陵县人, 教授, 博士, 主要从事人文地理和土地资源管理研究。Email: changyouchen@163.com.

River basin fluctuated greatly and internal differences were obvious. The efficiency center oscillated at the border between Shanxi Province and Shaanxi Province. However, the annual efficiency value for the Yangtze River Economic Belt fluctuated slowly, and its efficiency center moved to the southwest over time, and the annual average efficiency value was slightly higher than the efficiency value observed for the Yellow River basin. ② Technological progress was the main reason for the change in agricultural water use efficiency. The technological progress index for the Yellow River basin was slightly higher than the index of the Yangtze River Economic Belt from 2009 to 2019. ③ There was a great difference in the factors influencing the increase in agricultural water use efficiency over time between the two regions, and the reasons for the difference are closely related to the natural geographical environment and economic development. [Conclusion] Agricultural water use efficiency in the Yellow River basin and the Yangtze River Economic belt is generally good, but there are great regional differences. Therefore, targeted measures should be taken according to local conditions, and the efficiency of agricultural water use in the two regions should be promoted and continuously optimized from the perspectives of scientific and technological input, government guidance, and farmers' participation so as to produce sustainable development of river basin agriculture.

Keywords: agricultural water use efficiency; super-efficiency SBM model; Malmquist index; Tobit regression; Yellow River basin; Yangtze River Economic Belt

水是人类社会、经济和生态协调可持续发展的重要基础资源,更是农业发展的命脉。据 2020 年中国水资源公报显示,2020 年中国用水总量达 $5.81 \times 10^{10} \text{ m}^3$,其中农业用水量达 $3.61 \times 10^{11} \text{ m}^3$,占用水总量的 62.1%,在各用途中高居首位^[1]。然而在农业用水比例持续走高的趋势下,部分地区水资源浪费却十分严重,农业用水效率较差。故而,如何进一步透视中国农业用水基本情况,提升中国农业与社会经济的可持续发展能力,仍是当前中国重要的工作任务与学术课题。通过近年文献梳理发现,在农业水资源效率的研究上,研究成果颇多,方法也较为成熟。在研究尺度上,从全国至省域及区域层面均有涉及^[2-4]。而在研究方法上投影寻踪技术^[5-6]、随机前沿生产函数(SFA)^[7-8]及数据包络分析(DEA)^[9-11]也是其选择的主流。其中数据包络分析(DAE)模型应用最为普遍,并在此基础衍生出 DEA-BCC 模型^[12]、超效率 DEA 模型^[13]及超效率 SBM 模型等^[14]多种方法,且常与 Malmquist 指数与 Tobit 回归结合使用^[15]。尽管学界对农业水资源效率的研究已较为全面,但仍有不足。①在研究区的划分上往往着眼于固定区域的效率研究,常易停留于现象表层的挖掘,而忽略了不同地域间的异同。②在研究方法的选取上,常采用传统的 DEA 模型,其投入过程中的非期望产出往往被遗漏,从而影响效率的精准性。此外,大量研究仅考虑单一的数据包络静态分析,而缺乏对其动态分异特征的反映。

黄河流域与长江流域作为传统的农业区,种植历史悠久、技术纯熟,是优良的农业研究区位,且近年来随着《长江经济带发展规划纲要》与《黄河流域生态保

护和高质量发展规划纲要》的颁布,黄河流域与长江经济带作成为国家区域发展战略要地的地位更加凸显。本研究尝试打破固有研究区的定式化思维,选取黄河流域与长江经济带进行对比研究,并增加对于非期望产出因素的考虑,选取农业用水中的碳排放作为非合意产出。利用超效率 SBM 模型,同时结合 Malmquist 指数、标准差椭圆、核密度估计等方法对其时空分异规律进行分析,利用 Tobit 面板回归对其影响因素进行探测,挖掘黄河流域与长江经济带农业用水效率差异及影响因素的异同,以期为两大流域的农业水资源的高效利用与农业高质量发展提供理论支持与决策参考。

1 研究区概况

黄河与长江是横亘中国东西的两条大河,其流经地区范围广阔,资源丰富,人口稠密,是中国重要的生态保护屏障与经济发展纽带。黄河流域介于 $32^\circ-42^\circ\text{N}$, $96^\circ-119^\circ\text{E}$ 之间,自西向东流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东 9 省区,流域面积达 $7.95 \times 10^5 \text{ km}^2$,年平均气温为 $8 \sim 14^\circ\text{C}$,降水量达 $200 \sim 650 \text{ mm}$,年际变化较大,时空分布不均。长江流域介于 $24^\circ-36^\circ\text{N}$, $90^\circ-122^\circ\text{E}$ 之间,流域面积达 $1.80 \times 10^6 \text{ km}^2$,年平均气温为 $12 \sim 18^\circ\text{C}$,平均降雨量达 $1\ 000 \sim 1\ 400 \text{ mm}$,降水丰沛,时空差异较大,其经济带覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州 11 省市。黄河流域与长江经济带均包含四川省,但因四川省仅阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州等部分地区属黄河流域且为满足差异性研究需要,本研究将四川省划为长江经济

带考虑,故将黄河流域划定为8省,长江经济带11省市,共计19省市作为研究区域。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 超效率 SBM 模型 数据包络分析(DEA)是一种非参数的效率评价方法,该方法以多项投入与产出为基础,可对多个决策单元进行相对效率的评价,无需了解决策单元真实的生产运作函数与估计参数,是管理与决策过程中的重要工具与手段。但传统DEA模型建立在使用角度与径向的基础上,忽略了松弛变量与非期望产出对测度值影响,其结果可能存在一定误差。为此 Tone^[16]提出了基于非径向与非角度超效率 SBM 模型,该模型不仅增加对非期望产出的考虑,同时将松弛变量直接纳入进目标函数之中,消除了松弛变量的结果影响,提升了测度的准确性,同时弥补了无法对多个有效决策单元进一步区分的缺陷。

在综合考量黄河流域与长江经济带特性与前人研究的基础上,选取农业用水量、农业劳动力、农业机械总动力、农用化肥施用量及耕地灌溉面积为投入指标,其中农业用水量为核心指标,并兼顾劳动力、土地、机械与化肥等多项因素。而针对产出指标,在考量经济产值外同时兼顾粮食安全与环境影响,选取农业总产值与粮食产量为期望产出指标,选取碳排放为非期望产出指标,建立指标体系(表1)。

表1 农业水资源利用效率指标体系

目标层	准则层	指标层	
农业水资源利用效率	投入	农业用水量/ 10^8 m^3	
		农业劳动力/万人	
		农业机械总动力/ 10^4 kW	
		农用化肥施用量/ 10^4 t	
		耕地灌溉面积/ 10^3 hm^2	
	期望产出	农业总产值/亿元	
		粮食产量/ 10^4 t	
		非期望产出	
			农业碳排放量/ 10^4 t

2.1.2 Malmquist 指数模型 Malmquist 指数最早由 Sten Malmquist^[17]于1953年提出,并广泛与DEA模型结合使用,用以反映不同时期的生产效率的动态变化规律。Malmquist 指数又进一步可分解为技术效率变化指数(EC)和技术进步指数(TC),当规模报酬可变时,技术效率变化指数(EC)又可进一步分解为纯技术效率指数(PEC)和规模效率指数(SEC),具体公式可参见相关文献[18]。

2.1.3 核密度估计 核密度估计是一种常用的非参数估计方法,是对直方图的一种拓展,用以描述数据的分布状态与演变特征,可较为直观地反映出农业水资源利用效率水平的演进状态,其核密度估计的形式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-X_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: h 为带宽; $K(\cdot)$ 为核密度函数; n 为观测值个数; X_i 为观测值; x 为观测值均值。

2.1.4 标准差椭圆 标准差椭圆(standard deviational ellipse, SDE),又称方向分布,该方法以地理要素的分布中心为椭圆中心,以地理要素距 X 轴与 Y 轴的标准差为长轴与短轴,以主趋势方向为方位角,构造标准差椭圆。以此反映黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率的分布趋势与空间形态。

2.1.5 Tobit 回归分析 Tobit 回归模型又称受限因变量模型,因超效率 SBM 模型所计算的效率值均为截断的离散分布数据,若选用最小二乘法(OLS)进行回归,则易因无法完整呈现其数据造成回归结果的偏差,故而选用面板 Tobit 回归模型进行分析,其原理如下:

$$y_i^* = x_i\beta + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$

$$y_i = \begin{cases} y_i^* = x_i\beta + \sigma^2 & (y_i^* > 0) \\ 0 & (y_i^* \leq 0) \end{cases} \quad (2)$$

式中: y_i 为因变量; x_i 为自变量; β 为待估参数; ε_i 为随机误差。

由于影响农业水资源利用效率的因素较多,本研究选取水资源禀赋、农业生产及外部社会经济因素、政策因素、科技因素、环境因素等7个维度12个变量进行测度(表2)。就水资源禀赋而言,选取人均水资源占有量加以表征。而对于水资源供水结构,则借鉴徐朗等^[19]研究,选取地下水总量与供水总量的比重进行测度。就农业生产而言,选取节水农业发展水平与农作物种植结构为影响因素。对于节水农业发展水平而言,节水灌溉面积比值越大则表明节水灌溉技术的普及率更高,其农业用水效率则往往更优。而对于农作物种植结构而言,不同的作物用水差异较大,一般而言,粮食作物耗水量较高,其种植面积比重越大,农业用水效率则越低。就其他因素而言,社会经济因素可客观反映地区经济发展,是影响农业用水效率的基础性因素。本研究选取农村居民可支配收入、城镇化率、第一产业比例及投资强度等予以构建。同时,科教因素在农业技术研发与推广方面,及劳动者节水意识的培育上也发挥了重要作用。再者,政府对于农业的支持与环保的投入,对于农业用水效率的提升与改善同样具有重要影响。

表 2 农业水资源利用效率影响因素指标

因素	变量	变量描述
水资源禀赋	人均水资源量(m ³ /人)	水资源总量/总人口
	水资源供水结构/%	地下水总量/供水总量
农业生产	节水农业发展水平/%	节水灌溉面积/农作物播种面积
	农作物种植结构/%	粮食作物种植面积/农作物种植面积
社会经济因素	农村居民可支配收入/元	农村居民可用于自由支配的收入
	城镇化率/%	城镇人口/总人口
	第一产业比例/%	第一产业产值/生产总值
	第一产业固定资产投资强度/%	第一产业固定资产投资额/第一产业生产总值
教育因素	教育投入水平/%	教育支出/一般公共预算支出
科技因素	科技投入水平/%	科学技术支出/一般公共预算支出
政策因素	财政支农水平/亿元	农林水支出金额
环境因素	环保投入水平/%	节能环保支出/一般公共预算支出

2.2 数据来源及处理

本研究以 2009—2019 年为研究时段,以黄河流域与长江经济带 19 省市为研究区。其行政区划界限与地形地貌数据来源于全国地理信息资源目录服务系统(<https://www.webmap.cn/>)。经济社会统计数据来源于《中国统计年鉴(2010—2020 年)》《中国农村统计年鉴(2010—2020 年)》及各省统计年鉴,水资源利用数据来源于《中国水利统计年鉴(2010—2020 年)》及《中国环境统计年鉴(2010—2020 年)》,碳排放数据则根据 T. O. West^[20],美国橡树岭国家实验室及 Dubey^[20]所提供化肥与农业灌溉碳排放系数

0.895 6 kg/kg,20.476 kg/hm² 计算所得。

3 黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率差异性分析

3.1 黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率静态分异特征

采用超效率 SBM 模型所测算的 2009—2019 年黄河流域与长江经济带 19 省市的效率值详见表 3。从整体上看,2009—2019 年黄河流域的效率均值为 0.855,而长江经济带的效率均值为 0.941 略高于黄河流域。

表 3 黄河流域与长江经济带 2009—2019 年农业水资源利用效率值

项目	省份	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	平均值
黄河流域农业水资源利用效率	青海	0.495	0.488	1.013	0.499	0.570	0.583	0.528	0.561	0.527	0.539	1.033	0.621
	甘肃	0.586	0.633	0.652	0.691	0.711	0.704	0.694	0.693	0.630	0.657	0.675	0.666
	宁夏	0.547	0.513	0.516	0.542	0.567	0.561	0.568	0.586	0.572	0.606	0.539	0.556
	内蒙古	1.107	1.135	1.172	1.175	1.202	1.170	1.148	1.195	1.179	1.199	1.218	1.173
	陕西	0.667	1.003	1.044	1.059	1.086	1.085	1.051	1.030	1.030	1.014	1.017	1.008
	山西	0.646	0.661	0.670	0.699	0.685	0.669	0.614	0.700	1.028	1.026	1.012	0.765
	河南	1.008	1.021	1.017	0.601	1.009	1.015	1.030	1.067	1.064	1.086	1.090	1.001
	山东	1.107	1.079	1.054	1.025	1.053	1.046	1.042	1.024	1.039	1.033	1.029	1.048
	平均值	0.770	0.817	0.892	0.786	0.860	0.854	0.834	0.857	0.884	0.895	0.952	0.855
	长江经济带农业水资源利用效率	上海	1.445	1.430	1.379	1.321	1.300	1.277	1.218	1.144	1.126	1.217	1.161
江苏		1.041	1.028	1.026	1.044	1.059	1.066	1.120	1.121	1.134	1.113	1.113	1.079
浙江		0.659	1.003	1.014	1.024	1.031	1.031	1.048	1.100	1.072	1.064	1.075	1.011
安徽		0.632	0.624	0.619	0.665	0.624	0.666	0.635	0.674	0.704	0.629	0.633	0.646
江西		1.049	1.027	1.032	1.033	1.073	1.089	1.077	1.048	1.054	1.036	1.031	1.050
湖北		0.660	0.692	0.721	0.695	0.696	0.694	0.683	0.720	0.721	0.707	0.700	0.699
湖南		0.812	0.815	0.848	0.708	0.781	0.784	0.785	0.759	0.661	0.631	0.661	0.750
重庆		1.307	1.299	1.224	1.258	1.263	1.302	1.293	1.247	1.239	1.255	1.254	1.267
四川		1.013	1.013	1.025	1.021	1.027	1.025	1.024	1.028	1.041	1.037	1.044	1.027
平均值		0.929	0.923	0.908	0.908	0.924	0.964	0.966	0.958	0.953	0.956	0.966	0.941

3.1.1 时间维度 以时间维度而言,2009—2019年长江经济带效率值呈波动上升趋势,各年数值起伏不大,2011—2012年为最低点,效率值达0.908。2011—2012年长江流域降水偏少,极端天气频繁,旱涝灾害并发。干旱致使农业用水量减少,在一定程度上可倒逼农业用水效率提升,但因整体供水基底不足,其增长幅度仍较为有限,加之洪涝灾害影响,农作物大量受损,其用水效率也较难维持高位。农业水资源利用效率自2014年起维持较高水平,2015年与2019年达到最高值为0.966,自2014年后便长期维持较高增长水平。2014年9月,伴随着《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》的印发,长江经济带正式确立为国家战略。2016年9月《长江经济带发展规划纲要》正式颁布,再次为长江经济带的发展指明方向。2018年11月,中共中央、国务院再次明确要求充分发挥长江经济带的区位优势,推动长江上中下游地区协调发展和沿江地区高质量发展。相关政策的出台为长江经济带的发展注入了强大的动力,同时也加快了农业用水效率的优化与提升。而就黄河流域而言,其效率值同样呈现波动增长趋势,但其波动走势主要集中于2009—2015年、2009—2011年为上升最快时期,伴随着流域内水土保持工作的持续推进与新水土保持法的实施,其效率值于2011年达到一个小的峰值,而2012年受降雨影响,黄河发生严重的区域性洪水,其效率值出现明显下滑,之后伴随着黄河水利基建项目全面完成及十八大以来生态文明建设的提出,黄河流域农业水资源效率再次迎来快速增长阶段,于2019年达到峰值,其效率值为0.952(图1)。

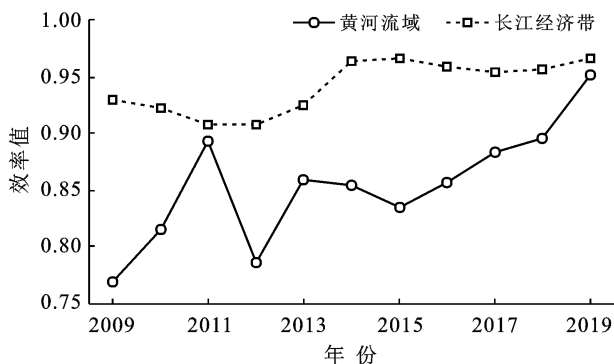


图1 黄河流域与长江经济带 2009—2019年农业水资源年均利用效率值

为进一步对黄河流域与长江经济带在时间序列上进行解构,本研究采用核密度估计,选取2009,2011,2013,2015,2017年及2019年截面数据,对其进行非参数估计,反映其时间变化的规律与趋势。如

图2所示,对黄河流域而言,就密度曲线波峰中心的偏移位置来看,2009—2019年峰值缓慢向中部偏右移动,表明全域农业水资源利用效率得到整体提升,就波峰高度而言,2009—2011年有明显提升,之后略有下降,2015年后再次上升表明其农业水资源利用效率取得较大进步,就波峰演化形状而言,2009年呈现并不显著的“多峰”特征,但自此其曲线形状均呈现明显的“双峰”特征,表明随着时间变化,黄河流域农业水资源利用效率呈现两极分化的趋势,地区间差异逐渐增大。

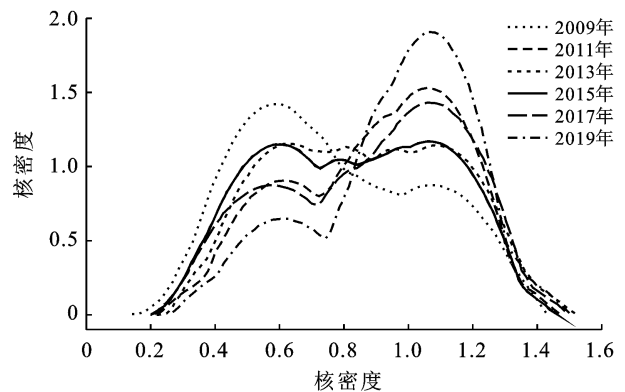


图2 黄河流域核密度图

如图3所示,对长江经济带而言,就密度曲线波峰中心的偏移位置来看,2009—2019年峰值缓慢向中部偏右移动,表明全域农业水资源利用效率得到整体提升,就波峰高度而言,2009—2013年整体起伏不大,2015年后呈陡然上升的态势,表明其农业水资源利用效率取得较高提升。就波峰演化形状而言,2009—2013年均呈现显著“多峰”特征,而2015—2019年则呈现出明显的“双峰”特征,表明随着时间变化,长江经济带农业水资源利用效率呈现出高值区与低值区两极分化的趋势。从整体而言,长江经济带其波动趋势与分化差异均略优于黄河流域,表明黄河流域在着力提升自身发展的同时也要兼顾地区间的协调与平衡。

3.1.2 空间维度 以空间维度而言,本研究基于2009—2019年黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率均值,根据标准差法由低到高划分为1—5级,并利用ArcGIS 8.0加以呈现。就黄河流域而言(图4),农业水资源利用效率低值区主要分布于黄河中上游地区,包括青海、甘肃、宁夏等地区,其中宁夏回族自治区效率值最低,而这与中上游地区干旱、半干旱的自然地理环境与相对滞后的经济发展水平存在密切联系。中高值区则主要分布于黄河中下游地区,包括:内蒙古、陕西、山西、河南、山东等地,其中内蒙古自

治区效率值较优,表明中下游地区较为充沛的降水与地区经济发展实力为农业水资源效率的提升发挥了重要的保障作用。而内蒙古地区由于横跨西北、华北、东北三大区,自然环境复杂多样,农业生产也存在较大差异,故同样呈现出水资源利用效率值为优的情况。

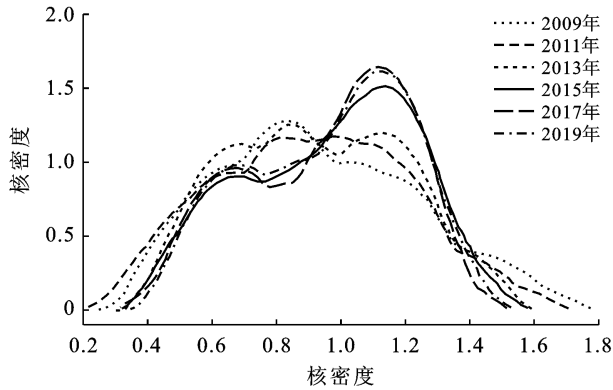


图 3 长江经济带核密度图

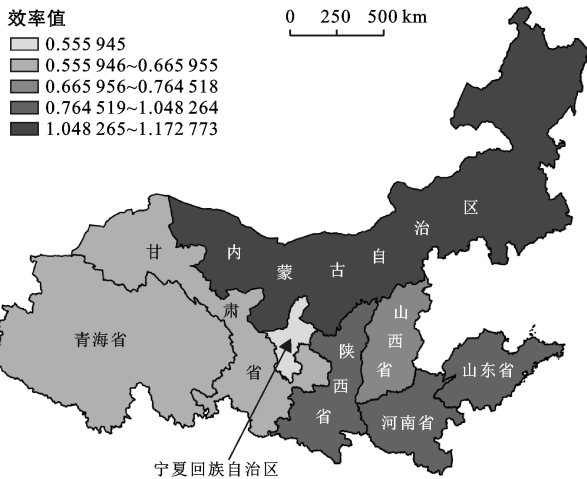


图 4 黄河流域农业水资源利用效率分级图

就长江经济带而言(图 5),其高、低值区分布较为零散,低值区分布于云南、安徽、湖北、湖南、安徽等地,而这或与其节水意识淡薄、农业生产方式有较大关联,中高值区分布于贵州、浙江、四川、江西、江苏、重庆、上海等地。其中重庆市与上海市水资源利用效率值最优,二者同为直辖市,地域面积较小,经济实力雄厚,农业集约化程度高,农业用水利用效率高。

为进一步对黄河流域与长江经济带在空间维度进行解构,本研究利用 ArcGIS 软件采用标准差椭圆法,选取 2009,2011,2013,2015,2017 和 2019 年截面数据,对其农业水资源效率的重心及迁移路径进行测度。就黄河流域而言(表 4,图 6),其农业水资源利用效率各特征时点的重心在 109.30°E — 110.52°E , 37.35°N — 37.51°N 间变动,从重心移动路径来看,整个路径经历了由西

南—东北—东南—东北—西南转移的过程,在陕西省东北部不断摆动。就转移速度而言,呈现出快速下降—稳步回升的态势。其中 2009—2011 年移动距离最大,其速度也达到最快为 61.92 km/a 。总体而言,其重心于山陕两省边界不断徘徊。究其原因:在研究前期(2009—2015 年),黄河中下游地区经济水平高于上游地区,但因盲目追求经济的快速增长,而造成资源浪费,加之上游地区生态环境修复力度与节水灌溉技术的推广,使其重心逐渐向西南部地区转移,而研究后期(2015—2019 年)随着黄河流域中下游地区生态环境改善与黄河流域生态环境保护与高质量发展战略的提出,其生态环境获得大幅提升,重心再次东北部迁移,并于山陕两省呈摆动态势。

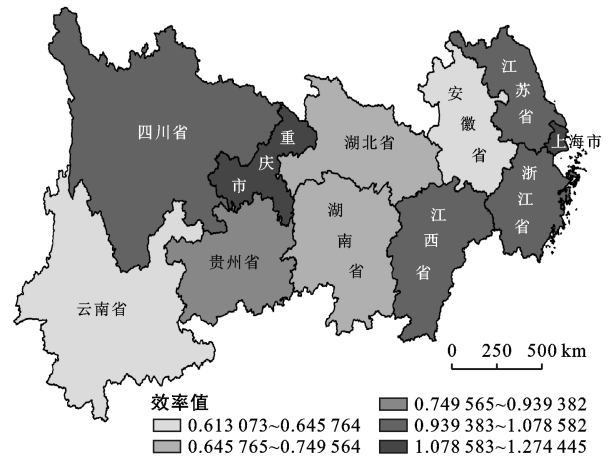


图 5 长江经济带农业水资源利用效率分级图

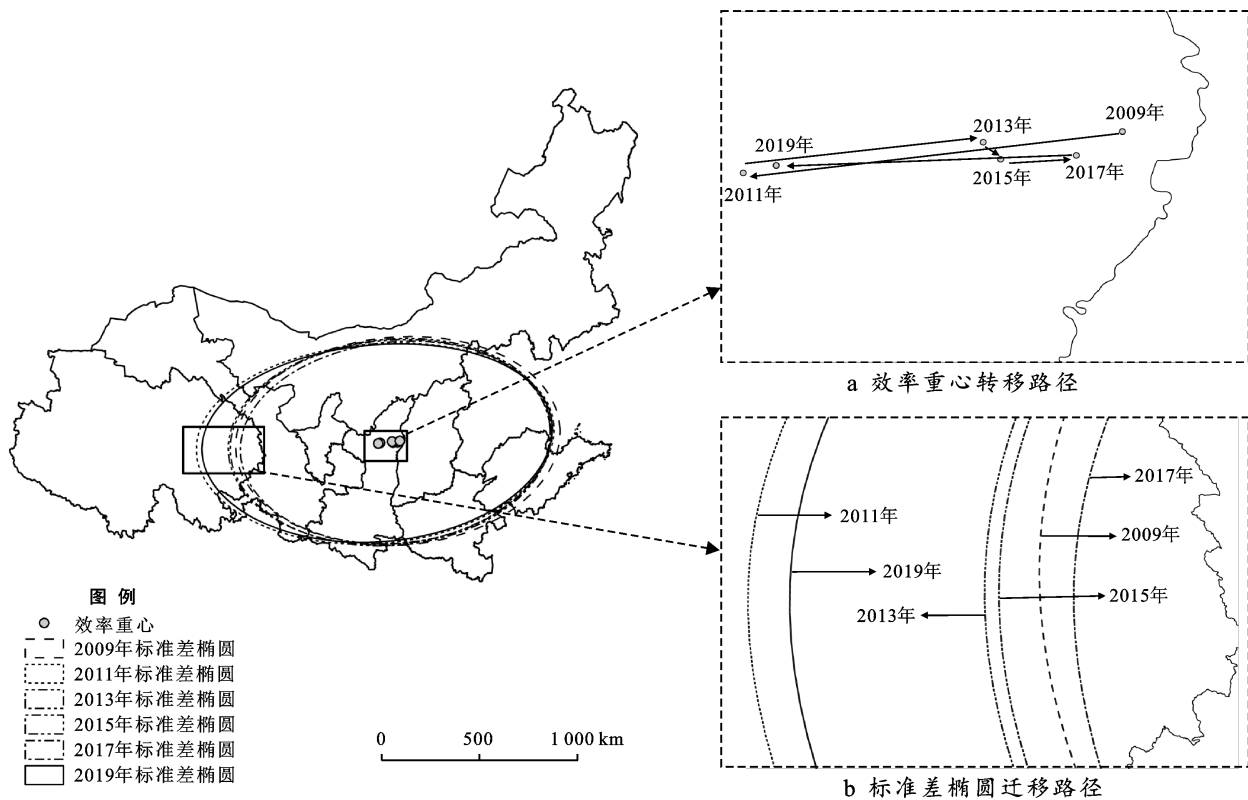
表 4 黄河流域农业水资源利用效率重心转移情况

年份	经度	纬度	方位	移动距离/km	移动速度/ $(\text{km} \cdot \text{a}^{-1})$
2009	110.52°E	37.51°N			
2011	109.30°E	37.32°N	西偏南	123.85	61.92
2013	110.07°E	37.46°N	东偏北	78.40	39.20
2015	110.13°E	37.41°N	东偏南	7.47	3.74
2017	110.38°E	37.44°N	东偏北	24.70	12.35
2019	109.40°E	37.35°N	西偏南	97.81	48.90

就长江经济带而言(表 5,图 7),其农业水资源利用效率各特征时点的重心在 112.58°E — 113.08°E , 29.51°N — 29.74°N 间变动,从重心移动路径来看,2009 年农业水资源利用效率的重心位于湖南省境内,2009—2013 年转移至湖北省境内,2013—2019 年又再次转回湖南省,并逐步向西南方向转型。整个路径经历了由东北—西南—西南—东北—西南转移的过程。就转移速度而言,呈现出快速下降—快速回升—快速下降—快速回升的态势。其中 2009—2011 年移动距离最大,其速度也达到最快为 25.96 km/a 。

总体而言,其重心转移呈现逐步向西南方向转移的趋势。究其原因,这同样与其东中西部发展不均衡及长江经济带相关政策的出台有较大关联,且随着西南部

地区成渝经济区的发展,农业生产环境与技术也得到较大改观,呈现出农业水资源利用的效率重心逐步向西南部推进的态势。



注:图中箭头长短为随机,与转移速度无关。下同。

图 6 黄河流域农业水资源利用效率重心转移走向

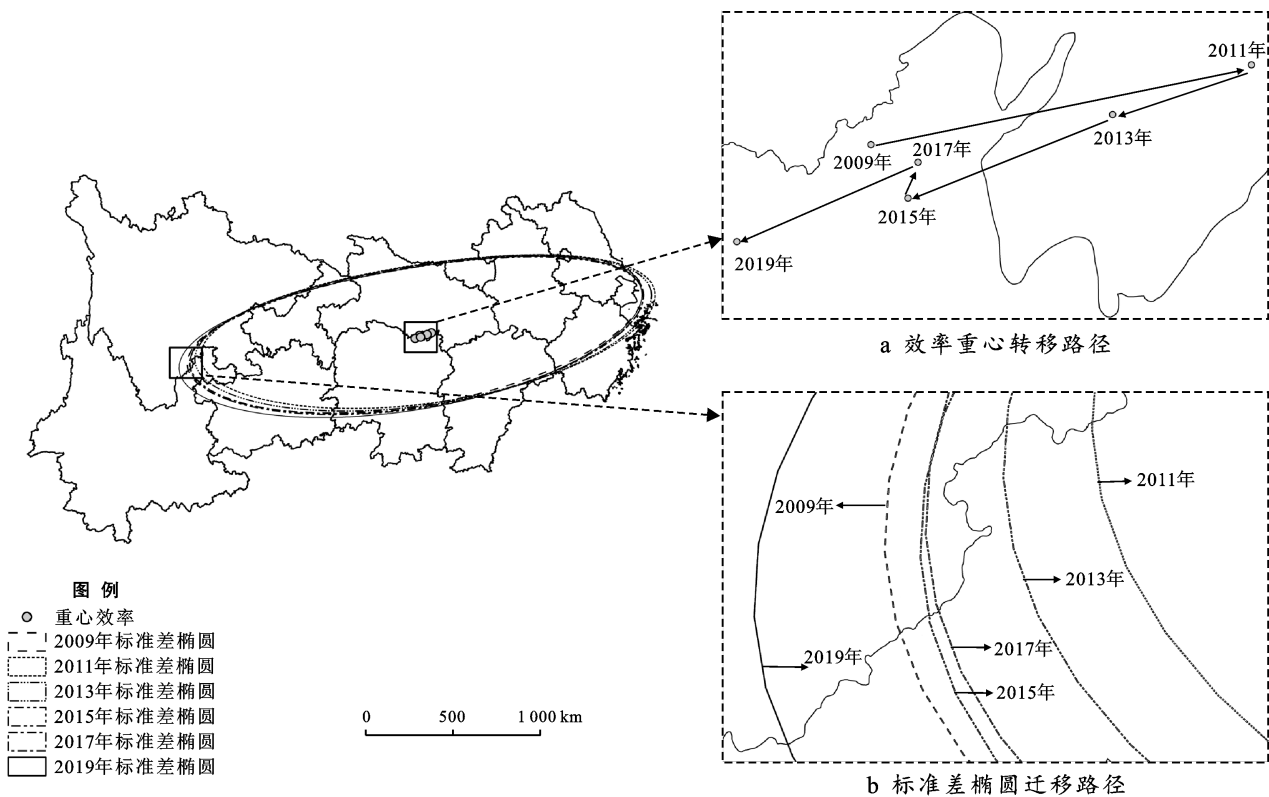


图 7 长江经济带农业水资源利用效率重心转移走向

表 5 长江经济带农业水资源利用效率重心转移情况

年份	经度	纬度	方位	移动距离/km	移动速度/(km·a ⁻¹)
2009	112.76°E	29.63°N			
2011	113.26°E	29.74°N	东偏北	51.92	25.96
2013	113.08°E	29.68°N	西偏南	19.54	9.77
2015	112.81°E	29.57°N	西偏南	29.16	14.58
2017	112.82°E	29.61°N	东偏北	4.49	2.25
2019	112.58°E	29.51°N	西偏南	26.00	13.00

3.2 黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率动态分异特征

为进一步探索黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率不同时期的变化趋势与结构动因,本研究利用 Malmquist 指数表征其全要素生产率。当 TFP > 1 时,表示全要素生产率呈增长趋势,当 TFP < 1 时,表示全要素生产率呈下降趋势。

3.2.1 时间维度 从时间序列来看(表 6,图 8),2009—2019 年黄河流域农业水资源利用效率 TFP 指数呈先下降后波动上升的趋势,除 2011—2012 年 TFP 指数为 0.981 外,其余各年份指数均 > 1,年均增长率为 12.7%。2009—2015 年 TFP 指数波动较大,整体呈倒 S 形,之后 TFP 指数变动整体放缓,并保持较高增长态势。从指数构成看,技术效率指数(EC)起伏较大,年均技术效率指数为 1.040,年均增长率为 4.0%,而技术进步指数(TC)变化相对稳定,并一直保持较高增长趋势,年均技术进步指数为 1.088,年均增长率为 8.8%,技术进步指数明显高于技术效率指数,表明技术进步是推动 TFP 指数增长的主要原因,即新型技术的应用与推广是全要素指数增长的重要驱动,包括农作物改良、机械化劳作、节水设备的投入等多个方面。

表 6 黄河流域各年份农业水资源利用效率 TFP 指数及分解结果

项目	EC	PEC	SEC	TC	TFP
2009—2010 年	1.068	1.065	1.000	1.181	1.254
2010—2011 年	1.147	1.006	1.138	1.097	1.251
2011—2012 年	0.903	1.041	0.865	1.107	0.981
2012—2013 年	1.119	0.984	1.142	1.070	1.193
2013—2014 年	0.993	0.998	0.995	1.067	1.060
2014—2015 年	0.973	0.931	1.071	1.038	1.010
2015—2016 年	1.034	1.106	0.962	1.130	1.168
2016—2017 年	1.037	1.044	0.992	1.074	1.108
2017—2018 年	1.017	1.016	1.001	1.071	1.089
2018—2019 年	1.105	1.004	1.095	1.047	1.158
平均值	1.040	1.020	1.026	1.088	1.127

注: EC 表示技术效率指数; TC 表示技术进步指数; PEC 表示纯技术效率变化指数; SEC 表示规模效率变化指数。下同。

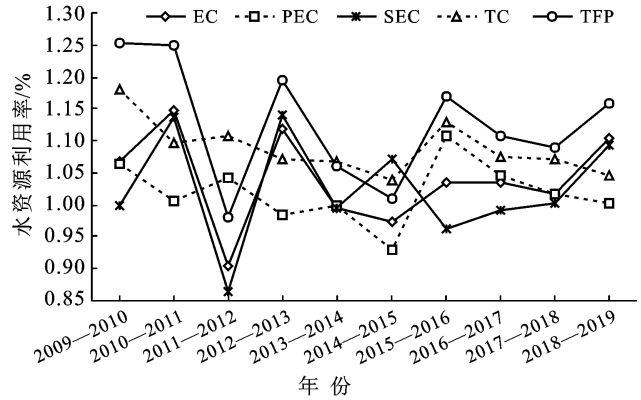


图 8 黄河流域各年份农业水资源利用效率 TFP 指数及分解结果变动趋势

对长江经济带而言(表 7,图 9),从整体上看 2009—2019 年长江经济带各年份农业水资源利用效率值均 > 1,表明长江经济带农业水资源利用效率各年均呈良好增长态势,年均增长率为 7.0%。与黄河流域相比,其增长幅度与变动趋势均有所放缓,从图 7,表 9 中可知,2009—2019 年长江经济带技术效率年均指数为 1.009,年均增长率为 0.09%,年均技术进步指数为 1.060,年均增长率为 6.0%,技术进步指数高于技术效率指数,表明推动长江经济带 TFP 指数增长的主要原因仍为技术进步。

表 7 长江经济带各年份农业水资源利用效率 TFP 指数及分解结果

项目	EC	PEC	SEC	TC	TFP
2009—2010 年	1.009	0.991	1.021	1.081	1.092
2010—2011 年	0.986	0.971	1.017	1.097	1.083
2011—2012 年	1.009	1.006	1.008	1.073	1.081
2012—2013 年	1.023	0.981	1.049	1.058	1.082
2013—2014 年	1.056	1.062	0.994	1.047	1.106
2014—2015 年	1.000	0.993	1.007	1.053	1.055
2015—2016 年	0.995	0.981	1.015	1.060	1.055
2016—2017 年	0.994	0.993	1.001	1.018	1.012
2017—2018 年	1.002	1.015	0.987	1.056	1.057
2018—2019 年	1.017	1.040	0.984	1.057	1.076
平均值	1.009	1.003	1.008	1.060	1.070

3.2.2 空间维度 从地区差异性上看,黄河流域(表 8)除个别省份外,其内部差异总体不大。TFP 指数最高值地区为青海省,其年均增长率达 35%,最低值地区为宁夏地区,其年均增长率达 4.9%,各地均保持了较为良好的增长势头。从技术效率指数来看,青海省技术效率明显高于其他地区,对其指数进一步分解来看,其规模效率所占贡献率较大。从纯技术效率指数来看,除山东省外,其余指数均 > 1,表明引起技术

效率变动的主要原因为规模效率的变化。从规模效率投入来看,除内蒙古与宁夏地区外,其余各地效率值均保持在 1 以上。这表明内蒙古与宁夏地区可适当扩大投入规模,促进 TFP 的增长,而对于其高值区可适当缩减其规模投入。

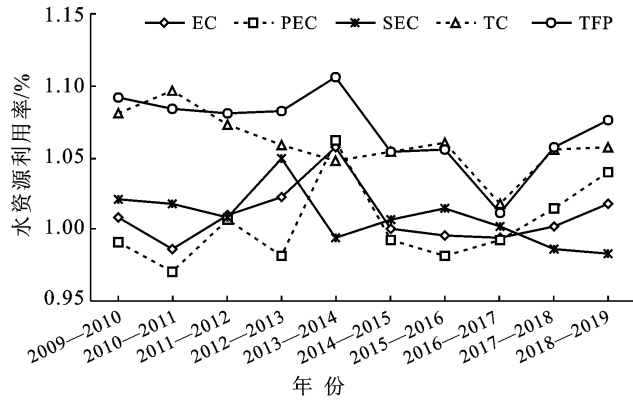


图 9 长江经济带各年份农业水资源利用效率 TFP 指数及分解结果变动趋势

表 8 黄河流域各地区 2009—2019 农业水资源利用效率 TFP 指数及分解结果

地区	EC	PEC	SEC	TC	TFP
甘肃	1.015	1.014	1.001	1.065	1.082
河南	1.036	1.005	1.030	1.063	1.101
内蒙古	1.010	1.011	0.999	1.059	1.071
宁夏	1.000	1.004	0.996	1.051	1.049
青海	1.157	1.027	1.171	1.210	1.350
山东	0.993	0.999	1.005	1.078	1.071
山西	1.055	1.054	1.000	1.042	1.098
陕西	1.052	1.044	1.006	1.138	1.195
平均值	1.040	1.020	1.026	1.088	1.127

注:各地区指数为 2009—2019 年均值。

对长江经济带而言(表 9),各地均保持了较为良好的增长趋势,各省市间的差异性较大,TFP 指数最高值的地区为浙江省,其年均增长率为 20.5%,最低值为上海市,其年均增长率为 0.5%。从技术效率指数来看,湖南省、江西省、上海市及重庆市均 <1 ,其中上海市尤为明显,其技术效率指数仅为 0.979。从技术进步指数来看,各地区技术进步指数均 >1 ,最高值为浙江省,年均增长率为 14.1%。与黄河流域相比,长江经济带技术进步指数整体略低,其原因可能在于长江经济带地区经济发展较快,高新技术投入力度较大,集约化程度较高,节水意识较强,其产业结构与要素配置较优技术进步并不明显。而相对于黄河流域而言,随着近年来中国对黄河流域关注与投入力度的加深,新型技术得到了普遍推广,技术提升空间较大,

全要素生产率也随之提升,其产业发展模式也逐步由资源驱动向技术驱动转化。

表 9 长江经济带各地区农业水资源利用效率 TFP 指数及分解结果

地区	EC	PEC	SEC	TC	TFP
安徽	1.002	0.994	1.008	1.079	1.080
贵州	1.041	1.041	1.000	1.072	1.117
湖北	1.006	1.014	1.004	1.098	1.106
湖南	0.983	0.968	1.021	1.103	1.082
江苏	1.007	1.001	1.006	1.042	1.049
江西	0.999	0.997	1.002	1.021	1.020
上海	0.979	0.976	1.006	1.026	1.005
四川	1.003	0.997	1.007	1.019	1.022
云南	1.026	1.054	0.980	1.040	1.068
浙江	1.059	1.002	1.056	1.141	1.205
重庆	0.996	0.993	1.003	1.020	1.016
平均值	1.009	1.003	1.008	1.060	1.070

注:各地区指数为 2009—2019 年均值。

3.3 黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率影响因素分析

本研究利用 STATA 16.0,采用 Tobit 面板回归模型分别对 2009—2019 年黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率的影响因素进行回归,其回归结果详见表 10。

表 10 黄河流域与长江经济带 2009—2019 年的农业水资源利用效率影响因素 Tobit 面板回归结果

变量	黄河流域	长江经济带
人均水资源量	0.116	0.266*
水资源供水结构	0.240**	-0.151
节水农业发展水平	-0.347	0.629**
农作物种植结构	-0.375	0.255
农村居民可支配收入	-1.477***	0.022 8
城镇化率	1.412	0.151
第一产业比例	-0.179	-2.915*
第一产业固定资产投资强度	0.803	-2.182***
教育投入水平	0.678	1.383***
科技投入水平	-2.686	-4.012***
财政支农水平	0.716*	-0.809**
环保投入水平	-3.035*	0.607
常数项	3.869***	2.132*

注:* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 。

(1) 水资源禀赋。人均水资源量对通过长江经济带农业用水率的影响为正向,其系数值为 0.266,在 10%的显著性水平通过检验,而对于黄河流域则该变量并不显著。在水资源供水结构的探测中,黄河流域在 5%的显著下通过检验,其系数值为 0.240,而长江

经济带则在该变量的影响下并不显著。这表明,水资源禀赋对农业用水效率的影响素较大,黄河流域多位于干旱与半干旱地区,年均降水量少,水资源短缺,人均水资源占有量较少,并不能较好满足农业生产灌溉的需要,而主要依靠地下水的供给,而长江经济带则主要位于中国东部与南部地区,受季风影响较大,降水丰沛,且河湖众多,人均水资源占有量较多,对农业用水效率的影响较大。

(2) 农业生产。节水农业发展水平是指节水灌溉面积与农作物播种面积的比重,由回归结果可知,长江经济带在1%的显著性通过了检验,其系数值为0.629。这表明其节水灌溉比例是其农业用水效率的重要影响因素,而黄河流域则不显著。对于农作物种植结构变量而言,区域内均不显著。由此可知,长江地区经济发展较快,其节水灌溉技术普及率较高,在农业用水率的提升上取得较优效果,而黄河流域则整体提升效果不明显,仍需进一步加强相关投入。而对于农作物种植结构变量而言,两地域均不显著,则表明粮食作物的耗水率对其农业用水效率影响整体不大。

(3) 社会经济因素。农村居民可支配收入对黄河流域农业用水效率影响为负,其系数值为-1.477,且在1%的显著性水平下通过了检验,而长江地区则影响不显著。由此表明,尽管黄河流域地区农村居民可支配收入多少与其用水效率提升并不存在正向的影响关系,反之则呈现强烈的负向影响。这说明该地区农村居民收入并未大量投入到提升农业节水水平技术中去,转而流入其他方面,造成收入越多效率越低的现状。对于变量城镇化率而言,两地域均不显著,表明农业劳动力的转移对其农业用水效率的提升影响不大。而一产比例及其固定投资强度,长江流域均为负向影响,均在10%显著性下与1%显著性通过了检验,而黄河流域对这两变量并不显著。这表明长江地区尤在一产比例较高地区与投资强度较大地区缺少足够的节水灌溉意识,与节水灌溉相关的投入不足。

(4) 其他因素。主要包括教育、科技、财政支农及环保因素。由上表可知,教育投入对长江经济带农业用水效率具有显著的正向影响,在1%的显著性下通过了检验,而对于黄河流域则不显著。在科技投入方面,仍需加强节水技术的研发与投入力度,在长江地区呈现显著的负影响,表明其科技投入结构仍需进一步优化。在财政支农水平上,黄河流域与长江经济带均在10%的显著性下与5%的显著性下通过了检验,但其影响却截然相反,这或许与其投入阶段与地

域环境差异有较大关联。对于黄河流域而言,多处于西北内陆地区,气候干旱,降水偏少,财政则易在节水灌溉技术的推广、抗旱作物的培育方面稍加倾斜,而长江地区则水热条件较好,农业种植所获经济收益较高,其财政支持或多用于扩大农业生产规模提升经济效益方面,而在节水灌溉上所占比例较少。对于环保投入变量而言,在对黄河流域农业用水效率的影响上呈负向影响,而长江经济带则对该变量不显著。由此表明,随着黄河流域环保投入的增多,其生态环境得到明显改善,部分地区可能会出现大水漫灌的现象,影响农业用水效率的提升。

4 结论

(1) 从静态分析结果来看,2009—2019年黄河流域与长江经济带农业水资源利用效率均呈现良好运行的态势。黄河流域各年效率值波动幅度较大,其地区内部差异明显,两极分化趋势显著,其效率重心于山陕边界摆动,年均效率值为0.855。而长江经济带各年效率值起伏较缓,处于较高增长态势,其效率重心呈现向西南部迁移趋势,年均效率值为0.941,略高于黄河流域。

(2) 从动态分析结果来看,2009—2019年黄河流域与长江经济带农业水资源利用全要素生产效率指数均呈现良好增长势头,技术进步是其拉动全要素效率增长的主要原因。就其技术进步指数而言,黄河流域略高于长江经济带。

(3) 从影响因素分析结果来看,黄河流域主要来自供水结构与财政支农水平的正向影响与农村居民可支配收入、环保投入等所带来的负向影响。而长江经济带则主要受到教育投入、人均水资源占有量、节水农业发展水平所带来的正向影响与一产占比及固定资产投资、科技投入、财政支农水平所带来的负向影响。而造成影响因素差异的原因主要与其所处的自然地理环境有较大关联。

5 建议

(1) 以科技为核心,推动农业水资源利用效率提升。要充分吸收一切先进科技成果,加大节水技术科研投入力度,培育新型节水作物品种,着力推广喷灌、微灌、滴灌等新技术的应用与普及,依托科技创新打造综合性的节水技术体系,继续发挥技术进步在提升农业水资源利用效率过程中的重要作用。

(2) 以政府为主导,构筑农业水资源利用管理体系。要持续推进水资源环境综合治理,遵循“节约优先、保护为本、标本兼治”的实践原则,加强各类用水

用途的管控力度,因地制宜,保障农业用水的效率与安全。同时,要加强流域管理与区域管理相结合,打破地域间壁垒,利用信息化平台实现地区间的交流与合作,提升农业水资源利用的管理能力。

(3) 以农民为基础,引导农民主动参与农业节水实践。要加大农业节水宣传教育,提升劳动者的节水意识,普及科学有效的灌溉周期与灌溉技术,从源头提升农业水资源利用效率。针对率先使用节水技术与设备的农户可予以适当补贴,建立激励机制,提高农户参与农业节水实践的积极性和参与度,实现人与自然的和谐统一。

[参 考 文 献]

- [1] 水利部水资源管理司.2020年度《中国水资源公报》[J]. 水资源开发与管理,2021(8):2.
- [2] 刘渝,杜江.湖北省农业水资源利用效率的实证分析[J]. 中国农村水利水电,2011(1):37-39.
- [3] 王昕,陆迁.中国农业水资源利用效率区域差异及趋同性检验实证分析[J].软科学,2014,28(11):133-137.
- [4] 武翠芳,柳雪斌,邓晓红,等.张掖市甘州区农业水资源利用效率分析[J].冰川冻土,2015,37(5):1333-1342.
- [5] 殷欣,刘小刚,张彦,等.基于投影寻踪的云南省农业水资源效率评价[J].水土保持通报,2013,33(5):271-275.
- [6] 刘学智,李王成,赵自阳,等.基于投影寻踪的宁夏农业水资源利用率评价[J].节水灌溉,2017(11):46-51.
- [7] 王洁萍,刘国勇,朱美玲.新疆农业水资源利用效率测度及其影响因素分析[J].节水灌溉,2016(1):63-67.
- [8] 陈思源,程海梅,喻光继,等.基于面板数据随机前沿模型的广西农业水资源利用技术效率与耦合研究[J].江西农业学报,2019,31(7):117-123.
- [9] 崔岩,吴丽美,曲建华,等.河南省农业水资源生产配置效率测算[J].河南农业大学学报,2014,48(4):501-504.
- [10] 李明璁.基于DEA方法的中国农业水资源利用效率研究[J].中国农业资源与区划,2017,38(9):106-114.
- [11] 李世玉,刘笑冰.基于DEA模型的京津冀农业水资源利用效率研究[J].天津农业科学,2021,27(9):69-74.
- [12] 杜书,梁彦庆,张梦,等.河北省农业水资源利用效率时空分异特征及影响因素研究[J].节水灌溉,2021(6):74-80.
- [13] 陆泉志,陆桂军,范稚莲,等.广西农业水资源利用效率及其影响因素研究:基于Global超效率DEA与Tobit模型[J].节水灌溉,2018(8):54-58.
- [14] 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.
- [15] 顾世祥,朱赞,李亚龙,等.基于DEA和Malmquist指数的农业水资源利用效率分析:以滇中受水区为例[J].中国农村水利水电,2021(8):98-102.
- [16] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2002,143(1):32-41.
- [17] Malmquist S. Index numbers and indifference surfaces [J]. Trabajos De Estadistica, 1953,4(2):209-242.
- [18] 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.
- [19] 许朗,黄莺.农业灌溉用水效率及其影响因素分析:基于安徽省蒙城县的实地调查[J].资源科学,2012,34(1):105-113.
- [20] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, 91(1/3): 217-232.
- [21] Dubey A, Lal R. Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in Punjab, India, and Ohio, USA [J]. Journal of Crop Improvement, 2009, 23(4):332-350.