

# 污染排放约束下长江经济带农业绿色水资源利用效率研究

童纪新, 盛 前

(河海大学商学院, 江苏 南京 211100)

**摘要:**基于超效率SBM模型和GML指数对2011—2019年长江经济带农业绿色水资源利用效率进行了时空差异分析及动态演变趋势分析,并在此基础上运用Tobit回归模型实证检验了农业绿色水资源利用效率的影响因素。研究表明:2011—2019年长江经济带农业绿色水资源利用效率整体时序变化平稳,但内部空间差异显著;多数地区的技术效率水平未跟上行业技术变革的步伐;政府管控水平、农田水利建设水平等对农业绿色水资源利用水平呈显著正向影响。指出长江经济带各地区应通过创新农业用水方式、挖掘节水减排潜力等方式来改善其农业水资源利用现状。

**关键词:**农业绿色水资源;超效率SBM模型;非期望产出;长江经济带

**中图分类号:**TV213.9

**文献标志码:**A

**文章编号:**1003-9511(2022)05-0008-06

水资源作为宝贵的战略资源,对我国经济建设和社会发展有着至关重要的保障作用。近年来,随着工业化、城镇化进程的加快,水污染、水浪费等问题日趋严重,已成为制约我国经济社会可持续发展的重大障碍。2022年中央一号文件提出要把生态化建设当作重点任务持续推进,深入开展污染防治攻坚战。该要求旨在促进改善水环境等生态问题,实现经济、资源和自然的协调发展。各地政府也发文要强化水资源刚性约束,建设节水型社会,并将提高农业用水效率作为建设资源节约型社会的重要内容。根据历年《中国水资源公报》,农业用水长期在我国用水部门中位列第一,2020年我国农业用水量为3612.4亿 $m^3$ ,占全国用水总量的比重高达62.14%。但我国农业用水却一直面临着利用率低下和污染严重的双重困境,这已经成为制约我国水资源态势改善的瓶颈。长江经济带作为我国重要的战略水源地及粮食生产区,虽然拥有稳定水源,但由于农业原始粗放式的发展模式,长江可用水量急剧下降,且严重水污染导致的水质型缺水进一步恶化了农业水资源态势,这也使得长江经济带成为我国农业水资源供需矛盾最为尖锐的地区之一。因此,

在新时期绿色高质量发展的要求下,加强水污染防治,提高农业水资源集约利用水平,缓解长江经济带农业用水问题已迫在眉睫。

纵观农业水资源利用效率研究的发展历程,大致经历了单要素农业水资源利用效率研究、全要素农业水资源利用效率研究以及考虑非期望产出的农业水资源利用效率研究3个阶段。在第一阶段,于法稳等<sup>[1]</sup>、李世祥等<sup>[2]</sup>运用万元GDP和农业灌溉亩均用水量等单一水资源消耗指标评价了我国部分地区的农业水资源利用效率。该方法数据易得,计算简便,但忽略了其他投入要素的贡献,具有较大局限性。在第二阶段,部分学者将农业水资源的经济社会属性纳入研究范畴,多数采用数据包络分析方法(DEA)测算决策单元在多生产要素投入下的经济产出效率。佟金萍等<sup>[3]</sup>、杨骞等<sup>[4]</sup>分别运用不同的DEA模型对我国农业全要素用水效率进行了多方面的评价;Gadanakis等<sup>[5]</sup>运用DEA模型对英格兰农场的农业生产率和农业用水效率进行了综合测算分析。第三阶段也称为农业绿色水资源利用效率研究阶段,该阶段进一步关注了农业水资源的生态环境属性,本质上是追求以尽可能少的水资源投入来

**基金项目:**国家社会科学基金(15AGL011);国家自然科学基金青年科学基金(71703072)

**作者简介:**童纪新(1964—),男,教授,博士,主要从事技术经济及管理研究。E-mail:jxtong@hhu.edu.cn

获得尽可能大的经济产出和生态环境保护。甘天琦等<sup>[6]</sup>将农业 COD、农业总氮和总磷排放量视作农业用水的“坏产出”；刘渝等<sup>[7]</sup>将农业 COD 排放量和氨氮排放量设为非期望产出指标；沈晓梅等<sup>[8]</sup>构建了综合性农业面源污染指数来表征非期望产出，并运用 DDF 模型测度了我国大陆地区省际农业绿色水资源利用效率。

总体来看，学界已经对农业水资源利用效率展开了较为深入的讨论，其研究方法和分析范式已较为完善，但在新研究阶段，针对农业绿色水资源利用效率的研究仍有待完善，其中考虑污染排放约束的相关文献较少，且仅有的研究多数集中于讨论中国总体层面<sup>[9-10]</sup>，聚焦长江经济带等重点区域的研究较少。鉴于此，本文首先将构建高稳定性、高精细度的超效率 SBM 模型，以农业废水中的污染排放物作为非期望产出，对污染排放约束下长江经济带农业绿色水资源利用效率进行测度并分析其时空差异特征；其次利用 GML 指数探究其时空演变动态趋势，并在此基础上借助 Tobit 回归模型实证检验其影响因素，最终为提高长江经济带农业绿色水资源利用效率提供参考建议。

## 1 研究方法数据来源

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 超效率 SBM 模型

超效率 SBM 模型是 DEA 的一种衍生模型，相较于一般的径向 DEA 模型（径向 BCC/CCR），该模型考虑了松弛变量，不仅可以解决非期望产出问题，还可以在判断决策单元是否有效的基础上，进一步区分有效决策单元之间的效率差异。因此，本文通过构建超效率 SBM 模型来测度长江经济带各地区农业绿色水资源利用效率，模型公式为

$$\min \theta = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}}{x_{ik}}}{\frac{1}{q_1 + q_2} \left( \sum_{r=1}^{q_1} \frac{\bar{y}}{y_{rk}} + \sum_{s=1}^{q_2} \frac{\bar{b}}{b_{sk}} \right)} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j & (i = 1, 2, \dots, m) \\ \bar{y} \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j & (r = 1, 2, \dots, q_1) \\ \bar{b} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n b_{sj} \lambda_j & (s = 1, 2, \dots, q_2) \\ \lambda_j \geq 0 & (j = 1, 2, \dots, n) \\ \bar{x} \geq x_k; \bar{y} \leq y_k; \bar{b} \geq b_k & (k = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (2)$$

式中： $x$ 、 $y$ 、 $b$  分别为投入、期望产出和非期望产出指标； $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{b}$  分别为投入、期望产出和非期望产出的松

弛变量； $m$ 、 $q_1$ 、 $q_2$  分别为投入、期望产出和非期望产出指标的个数； $\lambda$  为权重； $k$  为生产时期； $\theta$  为测量值。

#### 1.1.2 GML 指数

GML 指数由 Oh<sup>[11]</sup> 于 2010 年提出，该指数可以对决策单元的效率值进行动态分析及效率分解，在研究非期望产出问题时具有一定优越性。GML 指数本质上是 Malmquist 指数，都是在效率评价之后、体现效率动态变化的指标，二者都可以分解为技术效率变化 (EC) 指数和技术进步变化 (TC) 指数。与 Malmquist 指数相比，GML 指数不仅增加了对非期望产出的分析，而且更具全局性和稳定性。GML 指数具体表达式如下：

$$I = \frac{1 + D_G(x_t, y_t, b_t)}{1 + D_G(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})} \quad (3)$$

$$D_G(x_t, y_t, b_t; g_y; g_b) = \max \{ \gamma \mid (y_t + \gamma g_y, b_t - \gamma g_b) \in P_G(x) \} \quad (4)$$

式中： $I$  为 GML 指数； $D_G$  为全局方向性距离函数； $\gamma$  为以期望产出最大化、非期望产出最小化计算的方向性距离函数值； $(g_y, g_b)$  为方向函数； $P_G$  为决策单元所有生产可能性集合。若  $I$  大于 1，表示全局全要素生产率提高，小于 1 则相反。

GML 指数分解项 EC 指数和 TC 指数表达式分别为

$$I_{EC} = \frac{1 + D_t(x_t, y_t, b_t)}{1 + D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})} \quad (5)$$

$$I_{TC} = \frac{1 + D_G(x_t, y_t, b_t)}{1 + D_G(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})} \times \frac{1 + D_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}, b_{t+1})}{1 + D_t(x_t, y_t, b_t)} \quad (6)$$

式中： $I_{EC}$  为技术效率变化指数，若  $I_{EC}$  大于 1，表示技术效率提高，小于 1 则相反。 $I_{TC}$  为技术进步变化指数，若  $I_{TC}$  大于 1，表示技术进步；小于 1 则表示技术退步。通过分解 GML 指数可以更好地阐释全要素生产率的变化特征和增长来源。

### 1.2 指标选取与数据来源

参考肖琴等<sup>[12]</sup>、罗芳等<sup>[13]</sup>、Pan 等<sup>[14]</sup> 相关研究中的指标体系，结合农业水资源利用过程中的要素投入和产出现状，并考虑数据的可得性，本文最终构建如表 1 所示的指标体系。由于非期望产出指标的数据只能追溯到 2011 年，其他部分指标数据 2020 年之后的获取困难，本文选取 2011—2019 年作为研究期。农业用水量数据来源于相应各省（市）的《水资源公报》，农业氨氮排放量和农业 COD 排放量数据来源于《中国环境统计年鉴》，其余数据均来源于相应各省（市）的《统计年鉴》。

表 1 投入产出指标体系

指标	指标类型	指标名称	单位
投入指标	水资源投入	农业用水量	亿 m <sup>3</sup>
	劳动力投入	第一产业从业人员	万人
	资本投入	农业机械总动力	万 kW
	土地投入	农作物总播种面积	万 hm <sup>2</sup>
	物质投入	化肥施用量(折纯)	万 t
产出指标	期望产出	农林牧渔总产值(折合基期价格)	亿元
	非期望产出	农业氨氮排放量	t
		农业 COD 排放量	t

## 2 测算结果与分析

### 2.1 时间演化分析

基于超效率 SBM 模型,运用 MaxDEA 软件对长江经济带 11 省(市)2011—2019 年农业绿色水资源利用效率进行了测算,结果见表 2。由于超效率 SBM 模型在测算过程中已考虑非期望产出(农业废水中的污染排放物),得到的结果反映的就是污染排放约束下长江经济带的农业绿色水资源利用效率。

2011—2019 年,长江经济带农业绿色水资源利用效率整体波动平缓,一直徘徊在 0.94 左右,属于较高效率水平。其中,上海和江苏的农业绿色水资源利用效率较高但一直处于下降趋势,分别从效率值第一、第二下降到第三、第六。上海在“十三五”时期加快产业结构调整步伐,第一产业比重逐年降低,农业产值的下降使得农业水资源利用效率逐年下降。浙江表现优异,效率值较高且保持稳定增长,到 2019 年效率值为 1.576,位居第一。湖北涨幅最大,9 年间效率值涨幅为 37.3%,并于 2016 年达到对农业水资源利用的最优状态。这很大程度上得益于湖北于 2014 年强化水资源严格管理,并在 2016 年颁布了农业水价改革政策,大力推进农业节水及环境保护。云南

的效率值 2015—2019 年呈现“U”形变化,在 2019 年勉强达到 DEA 有效。2016 年云南自然灾害频繁,第一产业总产值严重下降,农业水资源利用效率也由此断崖式下降。2017 年云南各地区贯彻落实《云南省水污染防治工作方案》,重点推进农业农村污染防治,农业水资源利用状况在短期内得到较大改善,此后效率值逐步回升。重庆、四川和湖南的效率值整体呈波动上升趋势,且都曾以 2015 年为拐点,后期出现明显增长。安徽和江西的效率值时序变化平稳,但一直处于较低水平,是拉低整体效率水平的主要原因。

综合来看,有超过一半的地区在 2015 年之后农业绿色水资源利用效率得到提升,说明 2015 年召开的十八届五中全会提出的“绿色发展”理念被有效践行。多数地区如湖北、重庆等开始注重水资源节约集约利用和水污染治理,但部分地区如湖南、贵州等地在 2017 年之后面临增长疲软,这也反映出长期有效的节水机制仍有待建立和完善。

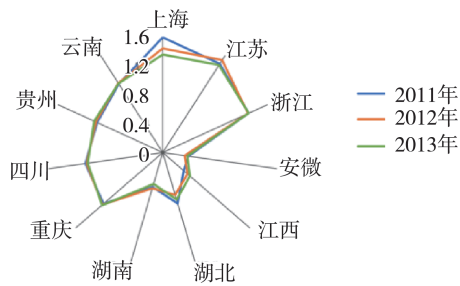
### 2.2 空间演化分析

为准确刻画污染排放约束下长江经济带农业绿色水资源利用效率的空间差异,本文将研究期划分为 3 个时间段并采用雷达图进行分析,结果见图 1。

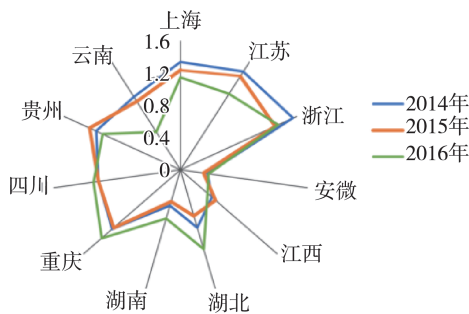
从图 1 可看出,①2011—2013 年,长江经济带农业水资源利用水平分化明显,湖南、江西和安徽的效率值远低于其他地区,3 年内多数地区的农业水资源利用效率变化不大;②2014—2016 年,区域内农业水资源利用水平差异化走势明显,多数地区年际效率差异呈扩大趋势,其中湖北和江苏的变化幅度最大;③2017—2019 年,长江经济带农业水资源利用效率空间格局朝多极化方向发展,且逐渐趋于稳定。

表 2 2011—2019 年长江经济带农业绿色水资源利用效率测算结果

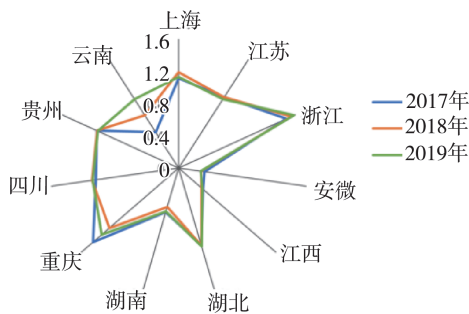
省(市)	农业绿色水资源利用效率								
	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
上海	1.595	1.443	1.358	1.334	1.234	1.145	1.111	1.188	1.127
江苏	1.460	1.525	1.441	1.445	1.380	1.121	1.046	1.043	1.014
浙江	1.309	1.300	1.311	1.545	1.298	1.337	1.470	1.537	1.576
安徽	0.360	0.306	0.344	0.343	0.292	0.356	0.325	0.280	0.277
江西	0.385	0.452	0.500	0.522	0.578	0.446	0.402	0.375	0.388
湖北	0.738	0.614	0.682	0.749	0.598	1.030	1.004	1.000	1.014
湖南	0.499	0.519	0.456	0.465	0.414	0.630	0.572	0.505	0.559
重庆	1.088	1.107	1.117	1.126	1.102	1.298	1.407	1.137	1.265
四川	1.087	1.070	1.053	1.035	1.034	1.095	1.041	1.085	1.078
贵州	1.003	1.021	1.048	1.157	1.243	1.066	1.118	1.114	1.105
云南	1.131	1.141	1.135	1.077	1.008	0.558	0.529	0.777	1.015
均值	0.969	0.954	0.949	0.981	0.926	0.917	0.911	0.913	0.947



(a) 2011—2013 年



(b) 2014—2016 年

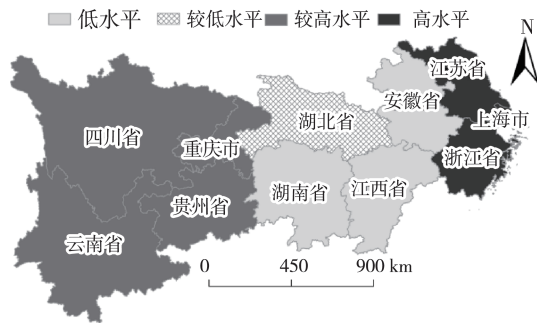


(c) 2017—2019 年

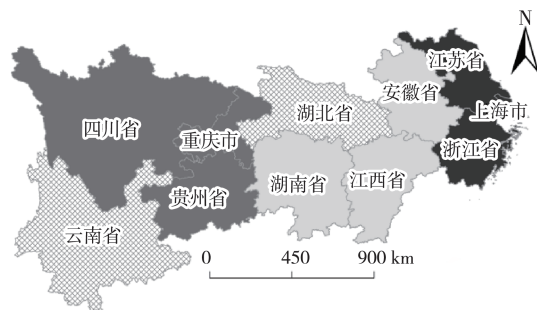
图1 2011—2019 年长江经济带农业绿色水资源利用效率雷达图

为了进一步比较污染排放约束下长江经济带各地区农业绿色水资源利用水平,笔者运用 ArcGIS10.3 软件绘制出各时间段内不同地区的效率均值,并将效率水平分成 4 类来进一步比较各地区的农业水资源利用水平,具体见图 2。4 类效率水平分别为:高水平( $\theta \geq 1.2$ )、较高水平( $1.0 \leq \theta < 1.2$ )、较低水平( $0.6 \leq \theta < 1.0$ )和低水平( $\theta < 0.6$ )。

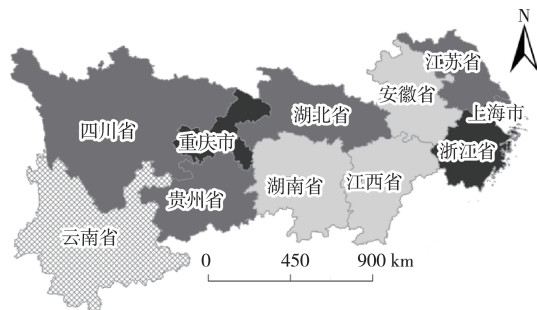
从图 2 可看出,在整个研究期内,长江经济带下游地区整体农业绿色水资源利用效率最高,上游地区次之,中游地区最低。下游地区农业现代化水平较高,节水技术较为先进,因此农业绿色水资源利用效率高于其他地区。浙江是唯一稳定在高效率水平的地区,这与该地区近年来大力发展农业节水技术、重点治理农业污染排放有关。安徽虽然在下游地区,但效率值一直低于 0.6。由于地理条件受限以及水利建设滞后,安徽经常遭受洪涝灾害,农作物大



(a) 2011—2013 年



(b) 2014—2016 年



(c) 2017—2019 年

图2 2011—2019 年长江经济带农业绿色水资源利用效率空间分布

幅受损且水污染严重,经济效益和生态效益均遭到一定程度的破坏。

上游地区四川、贵州都是农业大省,其灌区面积广阔,对水资源需求巨大。在严重的农业灌溉压力下,农业大省很早就认识到提高农业水资源利用效率的重要性。四川历年来不断推进高标准农田建设和重大水利工程建设,倡导种植户采用滴灌和喷灌系统代替人工浇灌,以此来优化水资源集约高效利用。贵州多山地,雨热同季,该地积极发展现代山地特色高效农业,种植耗水少、化肥施用量少且附加值高的经济作物。因此,四川和贵州长期处于较高效率水平。重庆作为长江上游的核心地区,具有体制优势和生态优势,近年来绿色美丽乡村建设成效显著,农业用水产生了良好的经济生态效益。中游地区湖南、江西始终处于低效率水平,效率值稳定在 0.6 以下,与有效前沿

面产生了较大偏离。这反映出湖南、江西的农业水资源配置结构失衡,农业用水存在大量冗余,其中农业用水方式粗放、污水直排问题整治不到位是关键原因。

综上可知,污染排放约束下长江经济带农业绿色水资源利用效率在空间分布上呈现出明显的非均衡特征,其中浙江、上海、江苏和重庆对农业水资源的配置较好,安徽、江西和湖南纳入最低效率组。各地区应基于自身自然禀赋和区位优势,因地制宜地推进农业水资源配置向绿色高效化发展的方向转变。

### 2.3 时空差异变化的动态趋势

为了进一步研究效率值的动态变化及驱动因素,采用 GML 指数及其分解项进行分析,并利用不考虑非期望产出的 Malmquist 指数及其分解项进行辅助性对比分析,具体结果见表 3。表 3 中, $M$ 、 $M_{EC}$ 、 $M_{TC}$  分别表示上文效率值的 Malmquist 指数及其技术效率变化指数和技术进步变化指数。

表 3 2011—2019 年长江经济带农业绿色水资源利用效率 GML 指数和 Malmquist 指数的几何平均值

地区	考虑污染排放约束			不考虑污染排放约束		
	$I_{EC}$	$I_{TC}$	$I$	$M_{EC}$	$M_{TC}$	$M$
上海	0.957	1.049	1.004	0.957	1.009	0.966
江苏	0.955	1.335	1.275	1.001	1.062	1.062
浙江	1.024	1.222	1.251	1.041	1.033	1.075
安徽	0.968	1.204	1.165	0.955	1.046	0.999
江西	1.001	1.194	1.195	1.034	1.029	1.063
湖北	1.04	1.232	1.282	0.974	1.092	1.064
湖南	1.014	1.247	1.265	0.987	1.048	1.035
重庆	1.019	1.161	1.183	1.010	1.053	1.064
四川	0.999	1.103	1.102	0.953	1.070	1.020
贵州	1.012	1.271	1.286	1.105	1.074	1.187
云南	0.987	1.335	1.317	1.085	1.049	1.139
下游	0.976	1.198	1.169	0.988	1.037	1.025
中游	1.018	1.224	1.247	0.998	1.056	1.054
上游	1.004	1.214	1.219	1.037	1.062	1.101
总均值	0.997	1.211	1.208	1.008	1.051	1.060

由表 3 可知,2011—2019 年长江经济带各地区 GML 指数的几何平均值均大于 1,表明各地区农业绿色水资源利用效率增长态势良好。其中中游地区效率增长变化水平最高,下游地区效率增长变化水平最低。这与上文超效率 SBM 模型测算结果正相反,反映出长江中游地区虽然目前效率值较低,但具有较大的节水潜力,效率值增长速度较快;下游地区随着农业节水技术的普及以及水污染排放的管制,农业绿色水资源利用水平的上升空间趋于饱和,因而效率值变化也逐渐收敛。

从效率变化的驱动因素来看, $I_{EC}$  为 0.997, $I_{TC}$  为 1.211,这说明技术进步是促进农业绿色水资源

利用效率增长的主要动因,而技术效率变化对农业绿色水资源利用效率增长起抑制作用。技术进步是指宏观社会环境层面的科技创新、技术变革以及经济结构变化等“硬条件”所带来的效率值的提高,而技术效率衡量的是通过提高管理水平、优化资源配置等“软条件”所引起的效率值的提高。多数地区  $I_{TC}$  大于  $I_{EC}$ ,这也反映出多数地区没有跟上宏观层面节水减排技术变革的步伐,其技术效率仍有较大改善空间。

从技术进步驱动效率改善的作用机制来看,考虑非期望产出的 GML 指数大于不考虑非期望产出的 Malmquist 指数,说明污染排放约束对农业绿色水资源利用效率的增长起到了反向激励作用。再通过对比 EC、TC 指数值可发现其作用机制,虽然加强污染排放约束增加了农业水资源利用过程中的投入成本,对经济主体造成了一定的损失,但这种约束力能够倒逼经济主体加大科技投入,通过推动技术进步来驱动整体效率值的提升。

## 3 影响因素实证分析

### 3.1 模型与变量选择

为了进一步探究影响长江经济带农业绿色水资源利用效率的具体因素,采用 Tobit 回归模型对相关因素进行实证检验。由第 2 节分析可看出,江西、湖南农业绿色水资源利用水平主要取决于自然环境条件,云南、重庆受政策影响较大,浙江、江苏得益于较高的经济发展水平,且技术进步是驱动效率值变化的主要因素,本节将在前文分析的基础上,联系农业水资源利用过程中的实际情况,并参考已有研究成果,最终从自然禀赋、经济环境、技术管理以及环境约束 4 个种类中来选取关键变量。具体变量见表 4。

### 3.2 回归结果与分析

运用 Stata14.0 软件对表 4 中相关变量的面板数据进行 Tobit 回归分析,结果见表 5。

由表 5 可知:①水资源丰裕程度的回归系数为 -0.069,在 1% 的水平上显著。这表明水资源越是丰富的地区,其农业绿色水资源利用效率则越低。这一结论也验证了相关学者的“资源诅咒”假说。究其原因,很大程度上在于人均水资源量的增加会弱化农户的节水意识,从而更大概率地造成水资源浪费和水污染排放现象。②农作物种植结构的回归系数为 -0.676,在 1% 的水平上显著。这表明粮食作物的播种面积越大,水资源在农业生产中的投入产出效率越低。③经济发展水平的回归系数为 0.013,通过了 1% 的显著性检验。这说明农户的可

表4 Tobit 回归模型对应变量说明

变量类型	变量种类	变量名称	变量说明
解释变量	自然禀赋	水资源丰裕程度	人均水资源量的对数
		农作物种植结构	粮食作物播种面积占农作物总播种面积的比重
	经济环境	经济发展水平	农村居民人均可支配收入的对数
		产业结构	第一产业占 GDP 的比重
	技术管理	农田水利建设水平	有效灌溉面积占农作物总播种面积的比重
		政府管控水平	政府农林水事务财政支出占财政一般预算支出的比重
环境约束	水污染排放强度 1	农业 COD 排放量占当年农业增加值的比重	
	水污染排放强度 2	农业氨氮排放量占当年农业增加值的比值	
被解释变量		农业绿色水资源利用效率值	由上文超效率 SBM 模型测算出的效率值

表5 长江经济带农业绿色水资源利用效率影响因素的 Tobit 回归结果

影响因素	回归系数	标准差	t 值	P 值
水资源丰裕程度	-0.069 *	0.018	-3.84	0.001
农作物种植结构	-0.676 *	0.218	-3.10	0.001
经济发展水平	0.013 *	0.004	3.23	0.001
产业结构	-0.514	2.266	-0.23	0.820
农田水利建设水平	1.561 **	0.487	3.21	0.001
政府管控水平	3.151 **	1.539	2.05	0.045
水污染排放强度 1	-0.010	0.024	-0.42	0.671
水污染排放强度 2	-0.032	0.034	-0.93	0.351
常数项	1.255	0.516	2.43	0.032

注：“\*\*”、“\*”分别表示在 5%、1% 的水平上显著。

支配收入越高,对购置先进节水设备、采用清洁养殖模式的倾向越高。④产业结构的回归系数为 -0.514,表明第一产业比重增加将造成效率值降低,可适当优化产业结构来改善对农业绿色水资源的配置。但未通过显著性检验,表明产业结构相较于其他解释变量来说,影响程度较低。⑤农田水利建设水平在 5% 的显著水平下对农业绿色水资源利用效率呈正向影响。这表明农田水利建设明显推动了农业水资源绿色高效化利用。⑥政府管控水平的回归系数为 3.151,在 5% 的水平上显著。这表明政府农林、水利等涉农公共事业管理方面的财政投入和行政干预有助于区域农业绿色水资源利用效率的提升。⑦水污染排放强度可反映出各地对农业废水排放的防治力度,回归系数为负数,侧面表明各地环境约束力的提升促进了水污染治理和生态环境保护。但该影响因素未通过显著性检验,究其原因在于农业面源污染具有深刻的广泛性和复杂性,治理难度大且周期长,近年来我国污染防治更多集中于工业,针对农业的环境治理工作起步较晚,相关措施存在滞后性,还未体现出应有的效果。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

a. 2011—2019 年,污染排放约束下长江经济带农业绿色水资源利用效率整体处于较高水平,时序变化不大,但空间差异显著。其中上海、江苏、浙江和重庆农业绿色水资源利用效率高于其他地区。

b. 研究期内,技术进步是驱动效率值提升的主要原因,技术效率变化则抑制了效率值的提升。污染排放约束倒逼经济主体通过推动技术进步来提升农业水资源利用效率。多数地区仍需通过提高节水治污技术和规范管理水平来改善技术效率。

c. 政府管控水平、经济发展水平、农田水平建设对农业绿色水资源利用效率有着显著的正向作用;水资源丰裕程度、农作物种植结构、产业结构对农业绿色水资源利用效率起到了负向作用,其中水资源丰裕程度和农作物种植结构影响显著。

### 4.2 建议

a. 创新农业用水方式,坚持绿色发展理念。长江经济带各地区应以新时期绿色发展理念为指导,坚持节水优先方针,加快农业用水结构升级。面对丰水地区可能存在的“资源诅咒”问题,应全面落实最严格水资源管理制度,完善水资源用途管制和水市场监督机制。

b. 挖掘节水减排潜力,强化科技基础支撑。技术进步和技术效率是驱动效率值变化的主要原因,一方面,长江经济带需在保持原有水平的基础上,加大技术进步对农业绿色水资源利用效率的正向贡献力度。另一方面,长江经济带需着重改善技术效率水平,扭转技术效率抑制效率值增长的局面。

c. 推进农业水价改革,提高政府管控水平。长江经济带各地区应纵深推进农业水价综合改革,建立健全反映农业水资源稀缺程度和供水成本的水价形成机制,完善节水、供水、排水和水处理等一体化运行管理体制。

(下转第 22 页)



- [21] 范建双,任逸蓉,虞晓芬. 人口城镇化影响区域绿色经济效率的中介机制分析:基于随机边界模型的检验[J]. 宏观质量研究,2017,5(4):52-65.
- [22] 田泽,景晓栋,肖钦文. 长江经济带碳排放-产业结构-区域创新耦合度及时空演化[J]. 华东经济管理,2020,34(2):10-17.
- [23] 郑德凤,徐文瑾,姜俊超,等. 中国水资源承载力与城镇化质量演化趋势及协调发展分析[J]. 经济地理,2021,41(2):72-81.
- [24] 何诚颖,闻岳春,常雅丽,等. 新冠病毒肺炎疫情对中国经济影响的测度分析[J]. 数量经济技术经济研究,2020,37(5):3-22.
- [25] 贺三维,邵玺. 京津冀地区人口-土地-经济城镇化空间集聚及耦合协调发展研究[J]. 经济地理,2018,38(1):95-102.
- [26] 朱纪广,侯智星,李小建,等. 中国城镇化对乡村振兴的影响效应[J]. 经济地理,2022,42(3):200-209.
- [27] 刘舫,郑洁,李红勋. 城市化、结构变迁与生态环境[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版),2021,23(5):37-47.
- [28] 许长新,吴晓远. 水环境承载力约束下区域城镇化发展合理速度分析[J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(3):135-142.
- [29] 薛阳,胡丽娜,刘海滨,等. 京津冀城市群城镇化质量提升的系统动力学仿真模型构建[J]. 统计与决策,2021,37(24):185-188.
- [30] 中国工程院“21世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告[J]. 中国工程科学,2000(8):1-17.
- [31] 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.
- [32] 许晶荣,黄德春,方隽敏. 中国区域全要素水资源利用效率及其影响[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版),2021,23(6):77-84.
- [33] 张晓楠,邱国玉. 化肥对我国水环境安全的影响及过量施用的成因分析[J]. 南水北调与水利科技,2019,17(4):104-114.
- [34] 李子豪,白婷婷. 政府环保支出、绿色技术创新与雾霾污染[J]. 科研管理,2021,42(2):52-63.
- [35] 李洪兵,张吉军. 中国能源消费结构及天然气需求预测[J]. 生态经济,2021,37(8):71-78.
- [36] 李颖. 产业协同集聚影响全要素能源效率的“U”型关系再检验:基于集聚质量和深度的双重视角[J]. 生态经济,2022,38(1):69-76.
- [37] 郭家堂,骆品亮. 互联网对中国全要素生产率有促进作用吗?[J]. 管理世界,2016(10):34-49.
- [38] 温忠麟,叶宝娟. 中介效应分析:方法和模型发展[J]. 心理科学进展,2014,22(5):731-745.

(收稿日期:2022-04-20 编辑:陈玉国)

(上接第13页)

**d.** 引导生产要素流通,促进区域协调发展。长江经济带地区发展不平衡问题突出,各地区需打破行政壁垒,引导生产要素在更大范围畅通流动,促进区域协同高质量发展。

#### 参考文献:

- [1] 于法稳,李来胜. 西部地区农业资源利用的效率分析及政策建议[J]. 中国人口·资源与环境,2005,15(6):35-39.
- [2] 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,2008,18(3):215-220.
- [3] 佟金萍,马剑锋,王慧敏,等. 中国农业全要素用水效率及其影响因素分析[J]. 经济问题,2014(6):101-106.
- [4] 杨骞,刘华军. 污染排放约束下中国农业水资源效率的区域差异与影响因素[J]. 数量经济技术经济研究,2015,32(1):114-128.
- [5] GADANAKIS Y, BENNETT R, PARK J, et al. Improving productivity and water use efficiency: a case study of farms in England [J]. Agricultural Water Management, 2015,160:22-32.
- [6] 甘天琦,李波. 资源环境约束下农业用水效率及成本分析[J]. 中南民族大学学报(自然科学版),2021,40(5):530-536.
- [7] 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.
- [8] 沈晓梅,谢雨涵. 农业绿色水资源利用效率及其影响因素研究[J]. 中国农村水利水电,2022(3):13-18.
- [9] 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):231-251.
- [10] 章恒全,蔡晓莹,黄元龙,等. 中国绿色水资源利用效率的时空分布差异[J]. 水利经济,2020,38(3):1-6.
- [11] OH D. A global Malmquist-Luenberger productivity index [J]. Journal of Productivity Analysis, 2010, 34(3):183-197.
- [12] 肖琴,周振亚,罗其友. 长江经济带农业绿色生产效率及其时空分异特征研究[J]. 中国农业资源与区划,2020,41(10):15-24.
- [13] 罗芳,田苗,孙彩虹,等. 长江经济带农业水资源利用效率时空差异分析[J]. 人民长江,2020,51(2):1-7.
- [14] PAN Zhengwei, WANG Yanhua, ZHOU Yuliang, et al. Analysis of the water use efficiency using super-efficiency data envelopment analysis [J]. Applied Water Science, 2020,10(6):139.

(收稿日期:2022-03-17 编辑:陈玉国)