

# 甘肃省农业用水效率评价

杨 婷, 陈兴鹏

兰州大学资源环境学院, 中国西部循环经济研究中心, 甘肃 兰州

收稿日期: 2022年2月11日; 录用日期: 2022年3月14日; 发布日期: 2022年3月23日

## 摘 要

在使用Super-SBM模型计算甘肃省14个市州农业用水效率的基础上, 通过Malmquist指数分析了1999~2018年甘肃省农业用水效率变化特征, 并采用Tobit模型分析了农业用水效率的影响因素, 研究发现, 从全省14个市州的农业用水效率均值来看, 1999~2018年的农业用水效率呈波动上升趋势, 其中8个市州的均值达到了DEA有效, 嘉峪关市和甘南藏族自治州农业用水效率最高, 各市州农业水资源利用效率呈现明显差异。从全要素生产率指数(TFP)看, 甘肃省农业用水效率在大部分年份是提高的, 且驱动甘肃省农业用水全要素生产率提高的核心因素是技术进步。从影响因素评价来看, 人均GDP、城镇化率和节水灌溉面积占比与农业用水效率具有显著的正相关关系, 而有效灌溉面积占比对农业用水效率具有显著的负向影响。

## 关键词

农业用水效率, Super-SBM模型, Malmquist生产力指数, Tobit回归模型, 甘肃

# Evaluation of Agricultural Water Use Efficiency in Gansu Province

Ting Yang, Xingpeng Chen

Institute for Circular Economy in Western China, College of Earth and Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou Gansu

Received: Feb. 11<sup>th</sup>, 2022; accepted: Mar. 14<sup>th</sup>, 2022; published: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2022

## Abstract

Based on the calculation of agricultural water use efficiency in 14 cities and states in Gansu Province using the Super-SBM model, the variation characteristics of agricultural water use efficiency in Gansu Province from 1999 to 2018 were analyzed by the Malmquist Index, and the influencing

factors of agricultural water use efficiency were analyzed by using the Tobit model, and it was found that from the average agricultural water efficiency of 14 cities and states in the province, the agricultural water use efficiency from 1999 to 2018 showed a fluctuating upward trend, and the average value of 8 cities and states reached DEA effectiveness, Jiayuguan City and Gannan Tibetan Autonomous Prefecture have the highest agricultural water use efficiency, and the utilization efficiency of agricultural water resources in various cities and prefectures shows obvious differences. From the perspective of total factor productivity index (TFP), the agricultural water efficiency of Gansu Province has improved in most years, and the core factor driving the improvement of total factor productivity of agricultural water in Gansu Province is technological progress. From the evaluation of influencing factors, the proportion of per capita GDP, urbanization rate and water-saving irrigation area had a significant positive correlation with agricultural water use efficiency, while the proportion of effective irrigation area had a significant negative impact on agricultural water use efficiency.

## Keywords

Agricultural Water Use Efficiency, Super-SBM Model, Malmquist Productivity Index, Tobit Regression Model, Gansu

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

用水安全是后续影响人类可持续发展的全球性问题,我国目前依然存在着水资源时空分布不均、供需矛盾突出等问题,这些问题制约着我国生态文明建设和经济社会可持续发展,在我国发展规划中,针对节水问题专门出台了《“十四五”节水型社会建设规划》等规划和政策文件,强调建设节水型社会,农业节水问题也被专家学者广泛讨论。

## 2. 研究现状

农业用水效率及其影响因素等问题受到国内外学者的广泛关注,常用比值分析法、生产函数法、包络分析法、能量效率分析的评价方法、因子-能量评价模型、能值评价方法、指标体系评价方法、层次分析法等方法计算农业资源利用效率[1]。王学渊等采用随机前沿生产函数(SFA)方法评价中国农业用水效率,发现中国农业用水效率远低于生产技术效率,生产技术效率地区间差异大,西北地区农业用水效率较低[2]。谢高地等(1998)用主要农业资源消耗系数的计算评估了国家或地区的农业资源效率[3],王树乔等[4][5][6]运用数据包络分析(DEA)方法分析了中国30个省份的水资源利用效率,发现中国水资源利用效率的空间格局与区域经济发展的总体格局基本一致[7],罗凯等基于熵权-正态云模型评价了安徽省农业用水效率[8]。郑海霞等用遗传投影寻踪方法对甘肃省县域单元农业资源利用效率进行了综合评价[9]。从影响因素分析来看,赵敏等采用Tobit模型分析了农业用水效率的影响因素[2][10][11][12],黄玉洁等采用阈值回归模型测度农业用水效率对农业用水量的影响[13]。综合来看,农业用水关乎粮食安全,农业用水效率的提升对农业生产意义重大,农业用水效率的研究可以为乡村振兴中农业管理提供科学指导。

在农业用水效率的研究中,较多研究范围为省或流域为单位,对市县为单元的研究相对较少,本研究采用农林牧渔业从业人员、农业机械总动力、化肥施用折纯量、有效灌溉面积、和农田灌溉用水量、农业生产总值为投入产出指标,运用Super-SBM、Malmquist和Tobit回归方法对甘肃省14个市州的农

业用水效率进行评价,在此基础上将各区域的效率水平进行排序,然后进一步分析影响农业用水效率的因素。

### 3. 研究方法和数据

#### 3.1. 研究方法

##### 3.1.1. Super-SBM 模型

DEA (Data Envelopment Analysis)即数据包络分析模型,是一种用于评价相同部门间的相对有效性方法, Super-SBM (Super Efficiency Slacks-Based Measure)模型是由 Tone K (2001)年构想提出的模型,该模型将超效率 DEA 和 SBM 结合,解决了因松弛变量产生误差的问题,且效率值可以大于 1,提供了对比有效样本效率高低的办法,本研究用传统 DEA 模型进行了初步测算,多个市州的效率值为 1,无法进一步区分效率高低的,故而采用投入导向的非径向 Super-SBM 模型测算甘肃省 14 个市州的农业用水效率。

该模型的数学表达式如下:

$$\rho = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_{ik}}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{l=1}^{s_1} \frac{\bar{y}_l^d}{y_{l_0}^d} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{\bar{y}_k^u}{y_{k_0}^u} \right)} \quad (1)$$

$$s.t. \left\{ \begin{array}{l} \bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq j_0}^n x_{ij} \lambda_j; \bar{y}^d \leq \sum_{j=1, j \neq j_0}^n y_{ij}^d \lambda_j; \bar{y}^u \geq \sum_{j=1, j \neq j_0}^n y_{kj}^u \lambda_j \\ \bar{y}^d \leq y_{ij}^d; \bar{y}^u \geq y_{kj}^u \\ \lambda_j \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, s_1; k = 1, 2, \dots, s_2 \end{array} \right. \quad (2)$$

该式中,  $n$  为决策单元(DMU)的个数,即城市个数,投入  $m$ 、期望产出  $s_1$  和非期望产出  $s_2$  共同组成单个 DMU,  $x$  指投入矩阵的元素,  $y^d$  指期望产出矩阵的元素,  $y^u$  指非期望产出矩阵中的元素,  $\rho$  指农业用水效率值,  $\rho$  的大小表示农业用水效率的高低。

##### 3.1.2. Malmquist 生产力指数模型

Malmquist 生产力指数为利用距离函数的比值来计算投入指数,可以用来衡量生产效率的变化。Fare, Grosskopf, lindgren 和 Ross 仿照 Fisher 理想指数的构造方法构造了从  $t$  期到  $t + 1$  的 Malmquist 生产力指数用以客观衡量技术变动、技术效率变动和全要素变动之间的关系[14]。本研究通过计算 Malmquist 指数,分析了甘肃省各市州农业用水效率的变化,设  $(x_t, y_t)$  和  $(x_{t+1}, y_{t+1})$  分别表示  $t$  和  $t + 1$  期间的生产关系,从  $(x_t, y_t)$  到  $(x_{t+1}, y_{t+1})$  的生产关系为生产效率变化,公式如下:

$$TFP = \left[ \frac{D^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D^t(x_t, y_t)} \times \frac{D^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} = TEC \times TC \quad (3)$$

式中 TFP 是全要素生产率(也称总和和要素生产率),是产量与全要素投入量之比,代表全要素效率的变化,TEC 为技术效率变化, TCP 是技术变化指标[15]。

##### 3.1.3. Tobit 回归模型

Tobit 回归模型主要是面向连续型观察数据的被解释变量有时因为截断或者截堵而只能选取一定范围的值的情况,本研究将 Super-SBM 模型测算得到的甘肃省 14 个市州的农业用水效率值作为被解释变

量, 可能的影响因素作为解释变量, 构造农业用水影响因素的计量经济模型, 对甘肃省 14 个市州农业用水效率影响的影响因素进行探索。超效率值是一个最低界限值为 0 的受限变量, 具有非负截断特征, 直接采用 OLS (普通最小二乘法) 进行回归分析会使参数估计产生偏差, 而 Tobit 模型可以较好地解决这类问题[16]。因此, 本研究采用面板 Tobit 回归模型, 模型形式如下:

$$y_i^* = x_i' \beta + \mu_i \quad (4)$$

$$\mu_i \sim N(0, \sigma^2)$$

$$y_i = \begin{cases} y_i^* & \text{if } y_i^* > 0 \\ 0 & \text{if } y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中  $y_i$  为被解释变量,  $x_i$  为自变量;  $\beta$  为待估参数;  $\mu_i$  为随机误差, 假设扰动项  $\mu_i$  服从均值为 0, 方差为  $\sigma^2$  正态分布。

### 3.2. 指标选取和数据来源

农业生产投入要素包括土地、劳动力和资本等, 本研究在 Super-SBM 和 Malmquist 模型中, 根据数据的可获得性和 DEA 投入指标和产出指标最基本的关系, 选取甘肃省 14 个地市 1999~2018 年的农林牧渔业从业人员、农用机械总动力、化肥施用折纯量、有效灌溉面积和农田灌溉用水量作为输入指标, 选择农业生产总值作为产出指标, 进行农业用水效率测算。本研究数据均来源于 1999~2018 年《甘肃省统计年鉴》和《甘肃省水资源公报》。

## 4. 结果与分析

### 4.1. Super-SBM 模型结果

基于农业用水效率评价指标数据, 利用 DEA-Solver 软件测算甘肃省 14 个市州 1999~2018 年的农业用水效率, 结果见表 1。

**Table 1.** Agricultural water use efficiency in cities and prefectures of Gansu Province

**表 1.** 甘肃省市州农业用水效率

年\市州	兰州市	嘉峪关市	金昌市	白银市	天水市	武威市	张掖市
1999	1.126	5.892	0.68	0.625	0.808	0.664	1.286
2000	1.061	6.379	0.411	0.808	0.584	0.665	1.313
2001	1.13	6.251	0.59	0.515	1.009	0.612	1.222
2002	1.171	6.522	0.635	0.594	1.011	0.644	1.248
2003	1.18	6.995	0.618	0.594	1.013	0.666	1.255
2004	1.072	6.89	0.466	0.693	1.02	0.692	1.4
2005	1.07	6.678	0.796	1.004	1.038	1.054	1.147
2006	1.062	6.604	0.797	0.736	1.06	1.064	1.114
2007	1.095	6.608	0.777	0.692	1.063	1.025	1.201
2008	1	6.215	0.785	0.462	1.03	1.039	1.096
2009	1.073	6.218	0.813	0.549	1.136	1.016	1.112
2010	1.012	6.478	0.71	0.491	1.388	0.645	1.091

## Continued

2011	1.023	6.424	0.68	0.451	1.311	1.054	1.089
2012	0.804	7.055	0.58	0.439	1.244	0.651	1.068
2013	1.013	6.823	0.636	0.452	1.242	0.69	1.078
2014	1.031	7.001	0.737	0.457	1.305	1.032	1.018
2015	1.023	7.034	0.67	0.434	1.263	1.032	1.003
2016	1.074	7.023	0.763	0.427	1.18	1.047	0.817
2017	0.515	8.765	1.014	0.567	1.503	1.135	0.672
2018	0.559	8.455	1.011	0.566	1.108	1.112	0.7
均值	1.005	6.816	0.708	0.578	1.116	0.877	1.097

年\市州	平凉市	酒泉市	庆阳市	定西市	陇南市	临夏州	甘南州
1999	1.13	1.073	1.291	1.01	0.748	0.765	2.942
2000	1.25	1.028	1.431	0.671	0.475	0.561	3.668
2001	1.244	1.139	1.205	0.753	0.644	1.001	2.091
2002	1.103	1.114	1.324	1.031	0.618	0.68	2.146
2003	1.08	1.181	1.414	1.036	0.605	0.652	2.182
2004	1.31	0.633	1.43	1	0.607	1.003	2.068
2005	1.062	1.076	1.721	0.743	0.562	0.77	2.031
2006	1.089	1.085	1.627	0.753	0.544	0.648	1.956
2007	1.165	1.046	1.51	0.672	0.616	0.642	1.931
2008	1.036	1.074	1.506	0.557	1.062	1.005	3.147
2009	1.062	1.06	1.342	0.623	0.589	0.531	1.382
2010	1.057	1.063	1.248	0.564	0.571	0.49	1.314
2011	1.033	1.07	1.454	0.563	0.644	1.009	1.208
2012	1.01	1.06	1.855	0.585	0.589	1.004	1.211
2013	1.015	1.071	1.437	0.586	0.627	1.012	2.261
2014	1.076	1.104	1.286	0.597	0.777	1.002	1.694
2015	1.16	1.124	1.002	0.554	1.04	0.529	1.5
2016	1.307	1.165	0.732	0.535	1.035	0.657	1.656
2017	1.121	1.095	0.694	0.501	1.087	0.481	1.247
2018	1.349	1.123	0.623	0.501	1.058	0.435	1.586
均值	1.133	1.069	1.307	0.692	0.725	0.744	1.961

根据表 1 甘肃省 14 个市州的农业用水效率测算结果均值, 将市州分为高效率地区( $\rho > 1.5$ )、中效率地区( $1 < \rho < 1.5$ )和低效率地区( $\rho < 1$ )。

低效率地区包含金昌市、白银市、武威市、定西市、陇南市和临夏回族自治区(图 1), 其中, 金昌市、武威市和陇南市农业用水效率呈波动上升趋势, 且增长幅度较大, 2018 年农业用水效率较 1999 年增长 48.68%、67.47%和 41.44%; 定西市和临夏回族自治区农业用水效率呈下降趋势, 且波动较大; 白银市总体上平稳, 2018 年农业用水效率较 1999 年有所下降, 但是下降幅度不大。

中效率区包含兰州市、天水市、张掖市、酒泉市和庆阳市(图 2), 其中兰州市、张掖市和庆阳市农业用水效率下降, 兰州市和天水市主要是由于农业用水量变化不大, 但有效灌溉面积减少, 张掖市和庆阳市第一产业占比下降, 但农业用水量、农林牧渔业从业人员投入下降并不显著, 导致农业用水效率下降; 平凉市和酒泉市农业用水效率较为平稳, 农业 GDP 稳步增长, 投入变化不大; 天水市农业用水效率提

高, 但增长幅度不大, 主要是由于单位农业 GDP 用水量持续下降, 且 20 年里均为 DEA 有效。

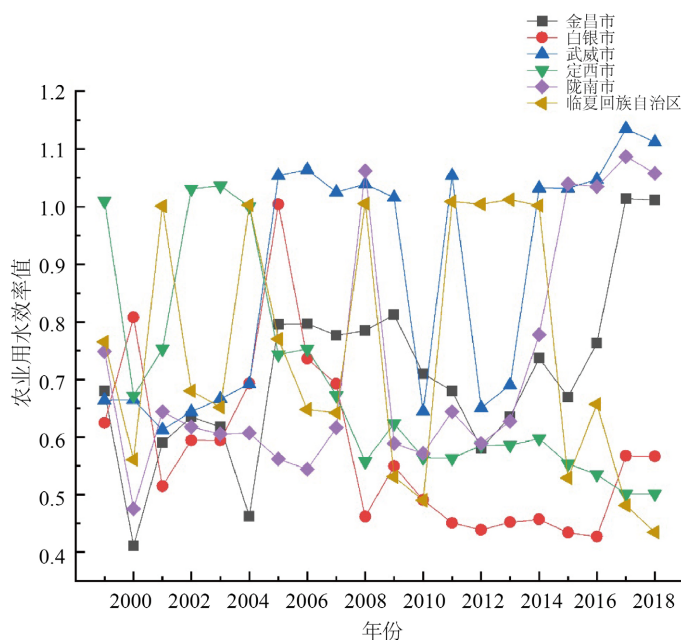


Figure 1. Changes in agricultural water efficiency from 1999 to 2018 in low-efficiency agricultural water use areas

图 1. 农业用水低效率区 1999~2018 年农业用水效率变化情况

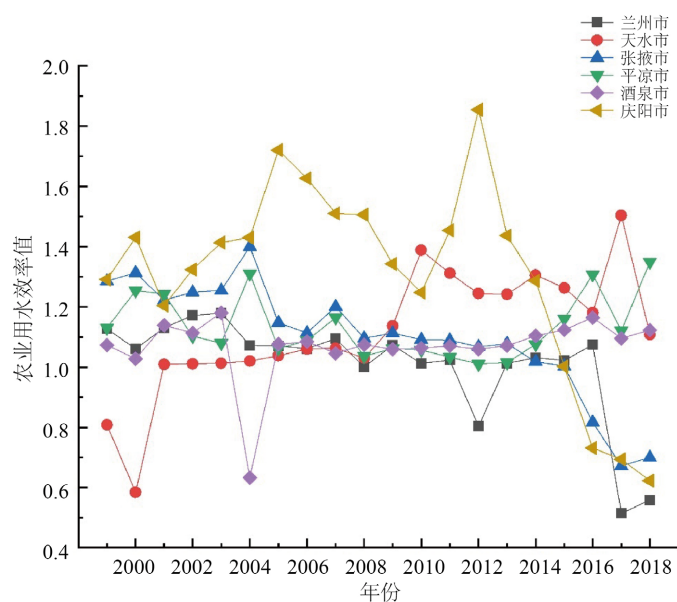


Figure 2. Changes in agricultural water use efficiency in middle-efficiency agricultural water areas from 1999 to 2018

图 2. 农业用水中效率区 1999~2018 年农业用水效率变化情况

高效率区仅包含嘉峪关市和甘南藏族自治州(图 3), 嘉峪关市农业用水效率为全省最高, 且呈波动增长趋势, 嘉峪关市城镇化率达到 90% 以上, 2018 年第一产业占比仅为 1.33%, 农业投入小, 单位农业 GDP 消耗农业用水量持续下降, 故而农业用水效率增长。甘南藏族自治州农业用水效率有所下降, 但研究期

内均为 DEA 有效, 2018 年农业用水量仅占甘南藏族自治州总用水量的 10.34%, 但是由于农业用水量相对增加, 而有效灌溉面积减少, 导致农业用水效率有所下降。

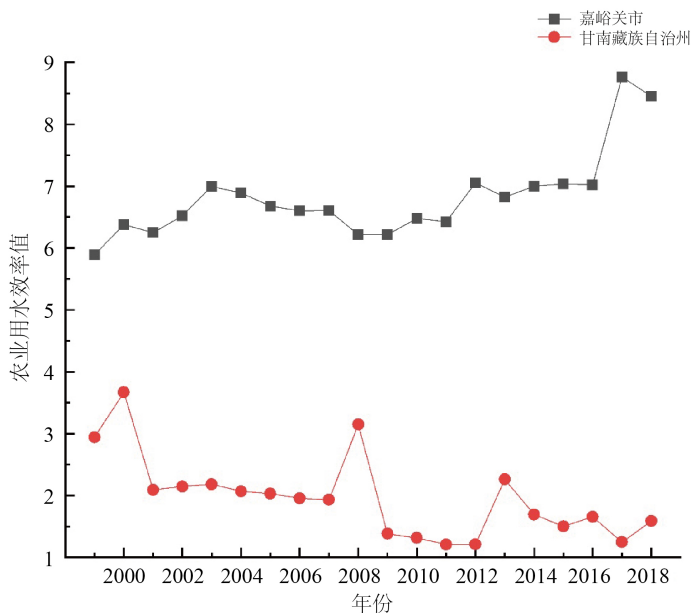


Figure 3. Changes in agricultural water use efficiency in high-efficiency agricultural water areas from 1999 to 2018

图 3. 农业用水高效率区 1999~2018 年农业用水效率变化情况

从全省年度均值来看(图 4), 1999~2018 年的农业用水效率值呈波动上升趋势, 但上升程度不大, 各市州农业用水效率差异较大。从各市州均值来看, 8 个市州的均值达到了相对 DEA 有效, 金昌市、白银市、武威市、定西市、陇南市、临夏回族自治州 6 个市州的农业用水管理水平还需进一步加强。

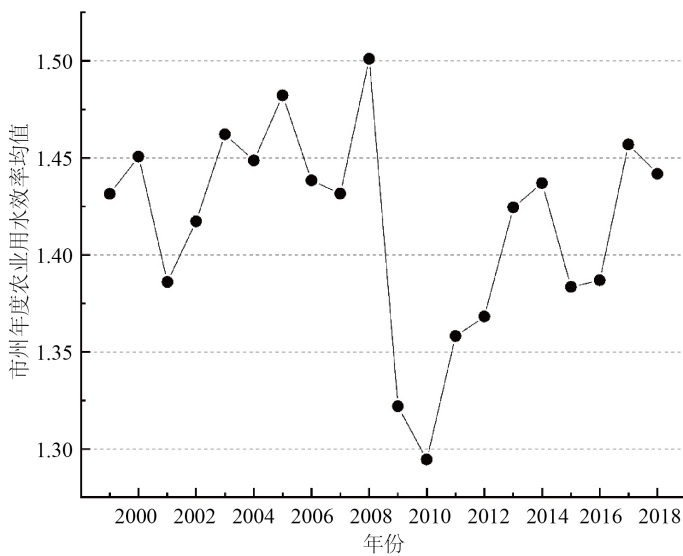


Figure 4. Changes in the annual average value of agricultural water use efficiency in Gansu Province from 1999 to 2018

图 4. 甘肃省 1999~2018 年农业用水效率年度均值变化情况

## 4.2. Malmquist 指数

为了进一步探讨甘肃省 14 个市州的农业用水效率 1999~2018 年的变化趋势, 引进 Malmquist 指数全要素生产率(TFP)进行分析, 其结果见表 2。

**Table 2.** Annual average value of Malmquist index of agricultural water use efficiency in cities and prefectures of Gansu Province

**表 2.** 甘肃省市州农业用水效率 Malmquist 指数年度均值

年\指标	技术效率	技术进步	纯技术效率	规模效率	全要素生产率
1999~2000	1.109	1.177	1.074	1.032	1.306
2000~2001	0.976	1.007	0.965	1.011	0.983
2001~2002	1.018	0.968	1.016	1.002	0.985
2002~2003	0.986	1.044	0.982	1.004	1.029
2003~2004	0.956	1.228	1.024	0.934	1.175
2004~2005	1.073	0.951	1.049	1.023	1.021
2005~2006	0.927	1.176	0.985	0.942	1.091
2006~2007	1.033	1.087	0.984	1.049	1.123
2007~2008	0.92	1.398	1.014	0.907	1.286
2008~2009	1.012	0.963	0.978	1.034	0.974
2009~2010	1.004	1.116	0.981	1.023	1.121
2010~2011	0.998	1.145	1.021	0.977	1.142
2011~2012	0.938	1.181	0.984	0.954	1.108
2012~2013	1.077	1.09	1.013	1.063	1.174
2013~2014	1.017	0.957	1.019	0.999	0.973
2014~2015	0.987	1.046	0.989	0.998	1.032
2015~2016	1.014	1.163	0.969	1.047	1.179
2016~2017	0.945	0.827	0.999	0.946	0.781
2017~2018	0.994	1.224	1.003	0.991	1.216
2018~2019	1.115	1.111	0.996	1.119	1.238
均值	1.003	1.086	1.002	1.002	1.09

从全要素生产率指数(TFP)看, 20 年中有 14 年甘肃省市州农业用水利用效率的 TFP 指数大于 1, 表明甘肃省农业用水效率在大多数年份是提高的。1999~2000 年和 2007~2008 年期间, 甘肃省市州 TFP 指数增长幅度较大, 2000 年较 1999 年提高了 30.6%, 2008 年较 2007 年提高了 28.6%; 2016~2017 年衰退最为明显, 衰退率达到了 21.9%, 后续又开始增长, 表明农业生产要素投入管理得到了有效控制。

从技术效率(TEC)来看, 由图 5 可以看出, 规模效率和技术效率的演变趋势是一致的, 表明驱动技术效率变化的最主要因素是规模效率, 技术效率的平均增长速度为 0.3%, 规模效率的平均增速为 0.2%, 两个指标的增长速率均较小。从技术进步(TCP)指数来看, 甘肃省市州农业用水全要素生产率平均增长率为 9%, 技术进步(平均增长率为 8.6%)是主要来源, 且 Malmquist 指数的变动趋势与技术进步的变动趋势是一致的, 因此, 影响甘肃省农业用水全要素生产率提高的关键因素是技术进步, 提高甘肃省农业用水效



率还是需要持续关注技术进步。

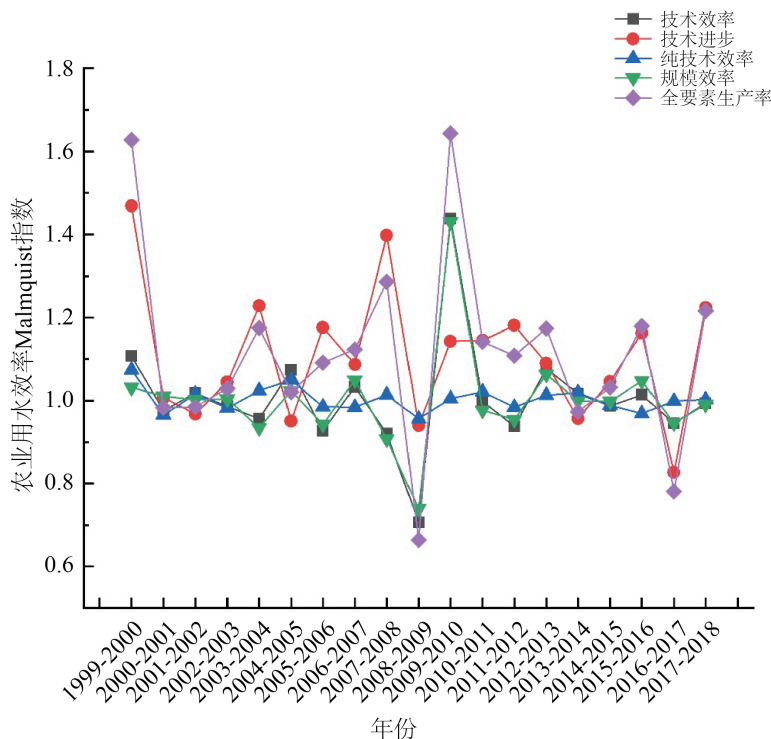


Figure 5. Annual changes in the Malmquist index of agricultural water use efficiency in Gansu Province from 1999 to 2018

图 5. 甘肃省 1999~2018 年农业用水效率 Malmquist 指数年度变化情况

Table 3. Firm average value of Malmquist index of agricultural water use efficiency in cities and prefectures of Gansu Province

表 3. 甘肃省市州农业用水效率 Malmquist 指数市州均值

市州/指标	技术效率	技术进步	纯技术效率	规模效率	全要素生产率
兰州市	0.986	1.096	0.994	0.992	1.081
嘉峪关市	1	1.143	1	1	1.143
金昌市	0.999	1.122	1.023	0.977	1.122
白银市	0.995	1.094	0.997	0.998	1.088
天水市	1.021	1.119	1.021	1	1.143
武威市	1.006	1.102	1.014	0.992	1.108
张掖市	0.983	1.094	0.991	0.992	1.075
平凉市	1	1.101	1	1	1.101
酒泉市	0.989	1.097	1	0.989	1.085
庆阳市	0.985	1.089	0.987	0.998	1.073
定西市	0.986	1.101	0.98	1.005	1.085
陇南市	1.03	1.086	1.03	1	1.119
临夏州	0.99	1.08	0.993	0.997	1.07
甘南州	1	1.04	1	1	1.04
均值	0.998	1.097	1.002	0.996	1.095

从空间角度看, Malmquist 指数在 14 个市州的农业用水全要素生产率的平均值均大于 1, 表明甘肃省市州农业用水效率整体上是提高的(表 3), 但增长程度不大, 14 个市州中, 嘉峪关市和天水市增长 14.3%, 增幅最大, 金昌市次之, 增长 12.2%。农业用水全要素生产率增长仍主要来自技术进步, 其中嘉峪关市、金昌市、天水市、武威市、平凉市和定西市的技术进步对全要素生产率影响较大, 增长率均超过 10%; 嘉峪关市、天水市、武威市、平凉市、陇南市和甘南藏族自治州的技术效率对全要素生产率起到积极作用; 其余市州的技术效率对农业用水全要素生产率是负增长, 其中兰州市(1.4%)、张掖市(1.7%)、酒泉市(1.1%)、庆阳市(1.5%)和定西市(1.4%)农业用水技术效率下降较大。总体来看, 技术进步变动对甘肃省农业用水全要素生产率影响较大。

### 4.3. Tobit 回归

参考已有文献[5] [16], 本研究采用 stata 软件对甘肃省 14 个市州农业用水效率相关的人均 GDP、人均水资源量、农林牧渔业从业人员、城镇化率、节水灌溉面积和有效灌溉面积占比进行 Tobit 回归分析, 结果如表 4:

**Table 4.** Detection results of factors affecting agricultural water use efficiency in cities and prefectures of Gansu Province  
**表 4.** 甘肃省市州农业用水效率影响因素探测结果

解释变量	回归系数	标准差	Z 统计值	P 值
人均 GDP	0.0000258***	5.69e-06	4.53	0.000
人均水资源量	0.0026772	0.0032187	0.83	0.406
农林牧渔业从业人员	0.0139905*	0.0077241	1.81	0.071
城镇化率	0.0102781**	0.004354	2.36	0.019
节水灌溉面积占比	0.0318375***	0.0033956	9.38	0.000
有效灌溉面积占比	-0.0141459***	0.0033123	-4.27	0.000

注: \*, \*\*, \*\*\*分别表示在 10%、5%和 1%的水平上显著。

在选取的影响因素中, 人均 GDP、节水灌溉面积占比、有效灌溉面积占比对甘肃省各市州的农业用水效率具有显著的影响, 人均 GDP、人均水资源量、农林牧渔业从业人员、城镇化率和节水灌溉面积占比对农业用水效率具有正向的影响, 而有效灌溉面积占比对农业用水效率具有显著的负向影响。其中, 人均 GDP 和城镇化率与农业用水效率呈显著的正相关关系, 经济相对发达地区由于对农业技术投入和管理技术水平较高, 单位面积农业产出较高, 提高了农业用水效率。人均水资源量对甘肃省各州农业水资源利用效率呈正向影响, 但并不显著, 这与许多学者的研究结论不一致, 表明甘肃省农民的意识较强, 没有造成农业水资源的浪费。节水灌溉面积占比与农业用水效率呈显著的正相关关系, 表明市州应该进一步加强节水设施的建设, 推进高标准农田建设, 促进农业用水效率的提升, 但有效灌溉占比与农业用水效率呈现显著的负相关关系, 这可能与甘肃省不少地区还是采取粗放式的灌溉方式, 节水设施覆盖面积少有关。

## 5. 结论

水资源在农业发展中是不可或缺的生产要素, 甘肃省作为水资源缺乏地区, 农业用水效率对保障粮食安全至关重要。本研究采用 Super-SBM 和 Malmquist 生产力指数, 选取 1999~2018 年的相关统计数据, 对甘肃省 14 个市州的农业用水效率进行测算分析, 并通过 Tobit 回归模型分析了甘肃省市州农业用水效

率的影响因素。结果表明:

1) 从全省农业用水效率均值来看, 1999~2018 年的农业用水效率值呈波动上升趋势, 其中 8 个市州的均值达到了 DEA 有效。按照市州农业用水效率均值, 将市州分为了高效率地区( $\rho > 1.5$ )、中效率地区( $1 < \rho < 1.5$ )和低效率地区( $\rho < 1$ ), 低效率区包含金昌市、白银市、武威市、定西市、陇南市和临夏州, 具有较大的提升空间, 中效率区包含兰州市、天水市、张掖市、酒泉市和庆阳市, 高效率区仅包含嘉峪关市和甘南藏族自治州, 嘉峪关市农业用水效率为全省最高, 效率值达到 6.82, 各市州农业用水效率呈现明显差异。

2) 从全要素生产率指数(TFP)看, 20 年中有 14 年甘肃省市州农业用水效率的 TFP 指数大于 1, 总体来看, 甘肃省农业用水效率在大多数年份是提高的。从技术进步(TCP)指数来看, Malmquist 指数的变化方向与技术进步的变化方向一致, 技术进步是甘肃省农业用水全要素生产率提高的关键因素。从空间角度看, Malmquist 指数在 14 个市州的农业用水全要素生产率的平均值均大于 1, 表明甘肃省市州农业用水效率整体上是提高的, 但增长程度不大。

3) 从 Tobit 模型回归结果看, 人均 GDP、人均水资源量、农林牧渔业从业人员、城镇化率和节水灌溉面积占比对农业用水效率具有正向的影响, 而有效灌溉面积占比对农业用水效率具有显著的负向影响。结合甘肃省农业发展的背景分析, 农业经济发展水平较低、粗放式灌溉是影响农业用水效率不高的主要原因。

## 6. 政策建议

1) 加强农田水利基础设施建设, 提升节水意识。着力构建水资源保障体系, 继续加大投资规模, 配套完善的灌溉输水体系, 落实对重要河流的河湖岸边保护与修复措施, 实施节水配套与老旧供水渠等配套设施改造, 有效提升农业综合生产能力。推进高标准农田建设, 重点发展节水灌溉工程, 在农业产业中推广使用滴灌、喷灌等方式, 建设节水型社会。健全农业节水激励机制, 加强节水意识的宣传工作, 开展全社会节水活动。

2) 深化水管理体制变革, 提升农业用水管理水平。在保障农业用水和农民利益的前提下, 施行工农用水水权转换机制, 深入推进农业水价综合改革。推进水利信息化建设, 实施农村饮水安全信息化、水资源管理信息化、智慧河长平台信息化等水利信息化工程, 建立水资源取水在线自动采集监测等系统; 推进河道信息化建设, 加大对河道水质、排污口、“四乱”等监管, 实现水资源规范化、信息化管理, 优化水资源配置体系, 强化农业用水管理水平。

## 参考文献

- [1] 靳京, 吴绍洪, 戴尔阜. 农业资源利用效率评价方法及其比较[J]. 资源科学, 2005, 27(1): 146-152.
- [2] 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, 29(3): 10-18+110.
- [3] 谢高地, 齐文虎, 章予舒, 等. 主要农业资源利用效率研究[J]. 资源科学, 1998, 20(5): 7-11.
- [4] Cao, Y., Zhang, W. and Ren, J. (2020) Efficiency Analysis of the Input for Water-Saving Agriculture in China. *Water*, **12**, Article No. 207. <https://doi.org/10.3390/w12010207>
- [5] Fang, J. (2020) Analysis of Water Use Efficiency and Influencing Factors of Agricultural Total Factors in Beijing-Tianjin-Hebei Region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **440**, Article ID: 052008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/440/5/052008>
- [6] Liu, Y., Geng, J., Zhang, L., et al. (2020) Analysis of Agricultural Water Use Efficiency in Shandong Province Based on DEA and Malmquist Model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **585**, Article ID: 012090.
- [7] Wang, S., Zhou, L., Wang, H., et al. (2018) Water Use Efficiency and Its Influencing Factors in China: Based on the Data

- 
- Envelopment Analysis (DEA)—Tobit Model. *Water*, **10**, Article No. 832. <https://doi.org/10.3390/w10070832>
- [8] 罗凯, 唐德善, 唐彦. 基于熵权——正态云模型的农业用水效率评价[J]. 中国农村水利水电, 2020(10): 159-163.
- [9] 郑海霞, 封志明, 张陆彪, 等. 甘肃省县域农业资源利用效率综合评价——基于遗传投影寻踪方法[J]. 经济地理, 2006, 26(4): 632-635.
- [10] 赵敏, 刘姗. 基于双前沿面 SBM-DEA 模型的农业用水效率评价[J]. 水利经济, 2020, 38(1): 54-60+67+87.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Huang, Y.J., Huang, X.K., Xie, M.N., *et al.* (2021) A Study on the Effects of Regional Differences on Agricultural Water Resource Utilization Efficiency Using Super-Efficiency SBM Mode. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 9953. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89293-2>
- [14] 董毅明, 廖虎昌. 基于 DEA 的西部省会城市水资源利用效率研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4): 134-139.
- [15] 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+65.
- [16] 李青松, 张凤太, 苏维词, 等. 长江经济带农业用水绿色效率测度及影响因素分析——基于超效率 EBM-Geodetector 模型[J/OL]. 中国农业资源与区划, 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20210802.0855.004.html>