

# 安徽省农业绿色全要素生产率测度及影响因素研究

高莉莉<sup>1</sup>, 余德明<sup>1</sup>, 汪凯<sup>2</sup>

(1. 安徽财经大学 经济学院, 安徽 蚌埠 233030; 2. 安徽财经大学 财政与公共管理学院, 安徽 蚌埠 233030)

[摘要] 基于SBM模型和ML指数测度安徽省16个地级市2002-2017年农业绿色全要素生产率, 并对其影响因素进行了实证分析。结果表明: 安徽省农业绿色全要素生产率增长缓慢, 绿色技术效率缺乏改善, 绿色技术进步是农业绿色全要素生产率的主要推动力; 农业绿色全要素生产率存在区域差异, 呈现中间高、两头低的特征。农业产业结构和经济发展水平对农业绿色全要素生产率有显著正向作用, 机械化水平则阻碍了农业绿色技术进步指数的增长。据此, 为进一步推进安徽省农业现代化, 应优化农业产业结构、提高农业技术创新以提高农业绿色全要素生产率。

[关键词] 绿色全要素生产率; 地区差异; SBM模型; ML指数

doi: 10.3969/j.issn.1673-9477.2021.01.005

[中图分类号] F327

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-9477(2021)01-020-05

## 一、前言与文献综述

长期以来, 安徽省一直致力于坚持进行农业改革, 以实现现代化农业振兴, 落实乡村振兴战略部署<sup>[1]</sup>。农业现代化的一个重要要求就是开拓绿色农业可持续发展道路。绿色农业强调以绿色技术进步为基础, 集保护与改善农业生态环境、节约能源、发展农业经济于一体, 是倡导绿色种植和绿色生产的一种可持续农业发展模式<sup>[2]</sup>。安徽省是农业大省, 农业总产值由2002年的712.4亿元增加至2017年的2333.62亿元, 年均增长8.24%; 2017年, 农业总产值占安徽省生产总值的8.6%, 农业地位非常重要; 粮食作物总产量约达3476万吨, 为国家粮食安全作出重要贡献。但是, 农业在快速发展的同时, 也给农村环境带来沉重的负担, 2017年安徽省农村农药使用量达到9.94万吨, 农用塑料薄膜使用量达到9.76万吨, 化肥施用量高达318.72万吨, 其他各种废弃物也直接排放, 对农村生态环境造成严重威胁。研究显示, 安徽省农村土地利用效率低下、基础设施落后、人居环境恶化、生活垃圾废弃物及污水排放对农田水源的污染严重(孙宏新, 2019)<sup>[3]</sup>, 农业生态文明建设刻不容缓, 可持续发展道路是必然的选择。

传统的全要素生产率(TFP)是衡量技术进步和技术效率的重要指标, 但没有考虑资源消耗和环境因素对经济发展的影响。绿色TFP的测算在传统全要素生产率的框架内纳入了非期望产出, 能更好地反应农业发展和环境之间的关系。因此, 农业绿色

TFP的测度和影响因素研究对现代化农业的发展具有重要的现实意义。TFP的测算方法主要有参数法和非参数法。参数法包括超越对数生产函数法、C-D函数法、随机前沿分析法(SFA)和数据包络法(DEA)等。随着对TFP研究的不断深入和绿色农业的发展, 学者们采用了在传统TFP框架中纳入环境因素的非参数法, Chung et al. (1997)首次提出了基于方向性距离函数(DDF)和Malmquist指数相结合, 将污染排放作为具有负外部性的非期望产出纳入TFP的分析框架<sup>[4]</sup>, 该方法随后被广泛用于测度绿色全要素生产率。吴军(2009)就基于DDF模型和ML指数, 测度了环境约束下中国地区工业全要素生产率增长情况, 并对其收敛性进行了检验<sup>[5]</sup>。郑丽琳等(2013)也采用这一方法对中国绿色全要素进行了测算, 研究发现纳入能源环境因素的全要素生产率年均增长缓慢, 东中西地区呈现递减特征, 且增长来源各异<sup>[6]</sup>。随着模型的改进, 王兵等(2010)基于Tone(2001)提出的方向性距离函数SBM模型, 并结合Luenberger生产率指数测算中国区域环境效率与环境全要素生产率增长情况<sup>[7]</sup>。高杨等(2018)采用基于SBM模型和ML指数方法对2003-2015年中国的农业绿色全要素生产率进行测度, 研究发现, 中国农业绿色全要素生产率年均增长4.5%, 农业技术进步是增长的主要源泉, 并且按照中、东、西部顺序依次递减<sup>[8]</sup>。

随着绿色全要素生产率(GTFP)测算方法的成熟, 对中国农业GTFP的研究也不断深入。葛鹏飞

[投稿日期] 2020-12-04

[基金项目] 国家社会科学基金青年项目(16CH172); 安徽财经大学研究生科研创新基金项目(ACYC2019151)

[作者简介] 高莉莉(1982-), 女, 湖北宜都人, 副教授, 博士, 研究方向: 理论经济学。

等(2018)在核算时以化肥、农药、农膜、柴油、灌溉等农业碳排放量作为非期望产出,研究发现中国农业绿色 TFP 年均增长率为 1.56%,增长率在东中西部依次递减<sup>[9]</sup>。杨骞等(2019)利用 Dagum 基尼系数考察农业 GTFP,研究发现中国农业 GTFP 呈现先扩大后缩小的空间分异特征,并且这种空间分异是不同因素交互作用的结果,单个因素的作用强度小于交互作用强度<sup>[10]</sup>。黄稳书等(2019)通过对 2007-2017 年的农业数据进行分析,研究发现中国农业 GTFP 表现出明显的地区差异,东部相对较高,此外,调整产业结构、注重农村教育是实现农业绿色发展的重要因素<sup>[11]</sup>。

综上所述,基于 SBM 模型的 ML 指数方法不仅具有传统全要素生产率技术的系统性和结构框架,而且还可以同时模拟多投入和多产出生产过程,且不需要价格信息(Piot-Lepetit et al., 2007)<sup>[12]</sup>,模型能够很好地反应出考虑了环境因素的全要素生产率变化。本文借用 SBM-ML 模型对安徽省农业绿色 TFP 进行测度,并利用 Tobit 模型对农业绿色 TFP 影响因素进行探究并提出相应的对策,以期为安徽省农业贯彻绿色发展理念、落实高质量发展提供新思路。

## 二、安徽省农业绿色全要素生产率测度

### (一) 研究方法

本文选用 SBM 方向性距离函数和 ML 指数来测度绿色 TFP。SBM 的函数表达式为:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_m^x}{x_m^k}}{1 + \frac{1}{N+I} \left( \sum_{n=1}^N \frac{s_n^y}{y_n^k} + \sum_{i=1}^I \frac{s_i^u}{u_i^k} \right)}$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} x_m^k = \sum_{k=1}^K r_k x_m^k + s_m^x \\ y_n^k = \sum_{k=1}^K r_k y_n^k - s_n^y \\ u_i^k = \sum_{k=1}^K r_k u_i^k + s_i^u \end{cases}$$

$$s_m^x \geq 0, s_n^y \geq 0, s_i^u \geq 0, r_k \geq 0$$

式中,假设  $K(K=1, 2, \dots, k)$  表示样本的决策单元个数,  $M, I, N$  分别表示每个决策单元投入、非期望产出、期望产出,其中投入向量为  $x$ 、期望产出向量为  $y$ 、非期望产出为  $u$ 。  $s^x, s^y, s^k$  分别表示投入松弛变量、期望产出松弛变量、非期望产出松弛变量,  $r_k$  表示各个决策单元的权重,目标函数  $\rho^* \in [0, 1]$ , 当  $\rho^* = 1$  时,生产单位有效,  $\rho^* < 1$  表示生产单位存在

效率损失,在投入产出上存在进一步改善的空间。

基于 SBM 方向性距离函数的 Malmquist-Luenberger 生产率指数表达式为:

$$MLx^{t+1}, y^{t+1}, u^{t+1}; x^t, y^t, u^t = \left( \frac{D^t x^{t+1}, y^{t+1}, u^{t+1}}{D^t x^t, y^t, u^t} \times \frac{D^{t+1} x^{t+1}, y^{t+1}, u^{t+1}}{D^{t+1} x^t, y^t, u^t} \right)^{\frac{1}{2}} = EC(x^{t+1}, y^{t+1}, u^{t+1}; x^t, y^t, u^t) \times TC(x^{t+1}, y^{t+1}, u^{t+1}; x^t, y^t, u^t)$$

该式表示绿色生产率指数 ML 可分解为环境技术效率变化( EC)和环境技术进步( TC), 当 ML、TC、EC 大于 1 时,分别表示绿色生产率增长、绿色技术进步和环境效率改善;反之,则表示绿色生产率降低、绿色技术退步和环境效率恶化。

### (二) 数据处理

本文参照吴传清等(2018)的研究<sup>[13]</sup>,选择狭义农业(种植业)作为研究对象。选择测度农业 GTFP 指数的投入指标和产出指标如下:

农业投入指标,共包括劳动力、土地、农作物播种面积、机械、灌溉面积、柴油、农药和化肥七个投入指标。其中,劳动力投入参考黄少安等(2005)的分离方法,用第一产业就业人数乘以农业总产值与农林牧渔业总产值的比例表示<sup>[14]</sup>;土地投入面积用农作物总播种面积来表示;机械投入用农用机械总动力表示;灌溉投入用有效灌溉面积表示;柴油投入用农用柴油使用量表示;农药投入用农药使用量表示;化肥投入用农用化肥施用量表示。

产出指标,分为期望产出和非期望产出。本文选取农业总产值作为期望产出,根据农业总产值增长指数调整为 2002 年的不变价。非期望产出用农业碳排放量表示,碳排放总量由农药使用量、农用化肥施用量、有效灌溉面积、农作物总播种面积、农用柴油使用量 5 种碳排放源数量乘以各自排放系数加总得到。计算公式表示为:

$$C = \sum C_i = \sum T_i \times \pi_i$$

其中,  $C$  表示农业碳排放总量,  $C_i$  表示各类碳排放源的排放量,  $T_i$  表示各类碳源的数量,  $\pi_i$  表示各类碳源的排放系数。

考虑到数据的完整性,本文选择 2002-2017 年作为样本期,相关数据来源于各年度的《安徽统计年鉴》、《安徽农村经济统计年鉴》以及各地级市统计年鉴。

### (三) 测度结果

全省视野下农业绿色全要素生产率。为考察非期望产出会对全要素生产率产生何种影响,本文对

比分析了无环境约束(不考虑碳排放量)时全要素生产率的增长情况和有环境约束(考虑碳排放量)时 GTFP 的增长情况。

表1 2002-2017年安徽省农业 GTFP 变化指数

时间段	有环境约束			无环境约束		
	GTFP	GEC	GTC	TFP	EC	TC
2002-2003	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2003-2004	1.070	1.015	1.054	1.090	1.007	1.082
2004-2005	0.957	0.990	0.967	0.960	0.980	0.979
2005-2006	1.066	1.005	1.061	1.076	1.010	1.065
2006-2007	1.037	1.007	1.029	1.054	1.013	1.040
2007-2008	1.019	1.014	1.005	1.026	1.007	1.018
2008-2009	1.034	1.000	1.034	1.046	0.988	1.059
2009-2010	1.009	1.000	1.009	1.009	0.996	1.013
2010-2011	0.933	0.929	1.005	0.918	0.934	0.983
2011-2012	1.036	1.000	1.036	1.034	0.994	1.041
2012-2013	0.987	0.992	0.995	0.992	0.998	0.994
2013-2014	1.051	1.000	1.052	1.048	0.986	1.063
2014-2015	0.988	0.996	0.993	1.010	0.995	1.016
2015-2016	1.113	0.997	1.117	1.165	1.007	1.157
2016-2017	1.102	1.032	1.068	1.119	1.024	1.093
均值	1.026	0.998	1.028	1.035	0.996	1.039

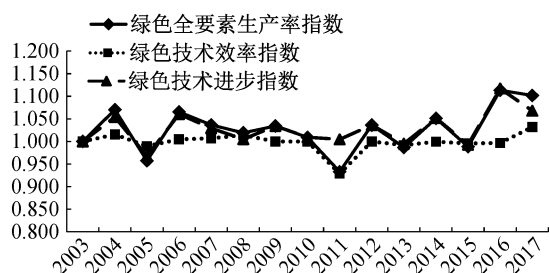


图1 安徽省农业 GTFP 变化指数

总体而言,安徽省农业 GTFP 指数和 GTC 指数呈现增长状态,GEC 指数则相对比较稳定(图1)。2002-2017年间,安徽省年均农业 GTFP 指数为 1.026,意味着农业 GTFP 年均增长率为 2.6%。其中,GTC 指数年均增长 2.8%,GEC 指数年均增长为 -0.2%,说明安徽省农业碳排放量整体逐年下降,农业环境得到持续改善。GTC 指数几乎与 GTFP 指数的变动保持一致,说明 GTC 是提高农业 GTFP 的主要推动力。在不考虑环境因素情况下,全要素生产率、技术进步、技术效率年均增长分别为 3.5%、-0.03%和 3.9%,与考虑环境因素相比,农业 GTFP 年均增长率有所下降,说明安徽省农业在考虑环境因素的情况下,会高估真实的全要素生产率和技术进步效率。

### 三、安徽省农业绿色全要素生产率影响因素实证分析

#### (一) 模型设定

本文用 SBM-ML 模型测算的农业 GTFP 均大于 0,是受限变量,如果采用最小二乘法(OLS)回归,会给参数估计带来有偏和不一致,采用 Tobit 模型的形式如下:

$$\begin{cases} y_i^* = \beta X_i + \mu_i \\ y_i = y_i^*, y_i^* > 0 \\ y_i = 0, y_i^* \leq 0 \end{cases}$$

式中,  $y_i^*$  为潜变量,  $y_i$  为观察到的因变量,  $X_i$  为自变量向量,  $\beta$  是系数向量, 误差项  $\mu_i$  独立且服从正态分布。基于现有文献和安徽省农业发展实际, 本文认为农业 GTFP 指数主要受以下几方面因素的影响:

农业产业结构(IS),用各地级市粮食作物播种面积占农作物总播种面积之比表示。经济发展水平(ED),用各地级市的人均生产总值表示。机械化水平(MC),本文用机械总动力占农业总产值的比重表示。灌溉效率水平(WT),用有效灌溉面积占农作物总播种面积表示。受灾率(IR),因此用各地级市受灾面积占农作物总播种面积之比表示。城市化水平(UI),但由于部分城市人口数据的缺失,本文用各地级市的城镇化率表示。

为探究安徽省农业 GTFP 的影响因素,本文构建如下 Tobit 模型:

$$\begin{aligned} (GTFP_{i,t}, GTE_{i,t}, GTC_{i,t}) &= \beta_0 + \beta_1 IS_{i,t} + \beta_2 ED_{i,t} + \\ &\beta_3 MC_{i,t} + \beta_4 WT_{i,t} + \beta_5 IR_{i,t} + \beta_6 UI_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \\ (TFP_{i,t}, TE_{i,t}, TC_{i,t}) &= \alpha_0 + \alpha_1 IS_{i,t} + \alpha_2 ED_{i,t} + \\ &\alpha_3 MC_{i,t} + \alpha_4 WT_{i,t} + \alpha_5 IR_{i,t} + \alpha_6 UI_{i,t} + \mu_{i,t} \end{aligned}$$

式中,  $(GTFP_{i,t}, GTE_{i,t}, GTC_{i,t})$  表示农业 GTFP 指数、GEC 指数、GTC 指数分别作为被解释变量进行回归分析。为了比较各影响因素对 GTFP 和传统全要素生产率之间差异的影响,将  $(TFP_{i,t}, TE_{i,t}, TC_{i,t})$  表示的传统全要素生产率指数、效率指数、技术进步指数也分别作为被解释变量进行回归分析。 $i = 1, 2, \dots, 16$  表示安徽省 16 个地市,  $t$  表示年份,  $\varepsilon_{i,t}, \mu_{i,t}$  为随机扰动项。相关数据来源于《安徽省统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》以及各地级市统计年鉴。

#### (二) 实证结果分析

本文将农业 GTFP 指数、GTE 指数、GTC 指数和传统全要素生产率指数(TFP)、效率指数(TE)、技术进步指数(TC)分别作为被解释变量,利用 Tobit 模型进行回归分析,结果如表 2 所示:

表 2 安徽省农业 GTFP 影响因素回归结果

变量	GTFP	GTE	GTC	TFP	TE	TC
IS	0.474*** (3.20)	0.250* (1.65)	0.138 (1.39)	0.544*** (2.93)	0.171 (1.11)	0.239* (1.80)
ED	0.028** (2.04)	0.033** (2.45)	0.001 (0.07)	0.006 (0.38)	0.014 (1.19)	-0.009 (-0.73)
MC	-0.030*** (-4.19)	-0.029*** (-3.99)	-0.010** (-2.09)	-0.039*** (-4.23)	-0.036*** (-4.55)	-0.015** (-2.26)
WT	0.151 (0.93)	-0.199 (-1.29)	0.304** (2.41)	0.074 (0.32)	-0.384** (-2.15)	0.182 (1.03)
IR	-0.022 (-0.31)	0.093 (1.15)	-0.021 (-0.40)	0.014 (0.16)	0.114 (1.31)	-0.029 (-0.43)
UI	-0.264* (-1.92)	-0.383*** (-2.60)	-0.104 (-1.08)	0.200 (1.12)	0.123 (0.86)	0.160 (1.16)
_cons	0.962*** (8.45)	1.275*** (10.36)	0.975*** (11.96)	0.867*** (5.92)	1.280*** (9.49)	0.920*** (8.59)

注:括号内数字为标准误,\*\*\*、\*\*和\*分别表示该参数至少在1%、5%和10%的水平显著。

模型整体回归结果显著,其中,农业产业结构(IS)和经济发展水平(ED)对安徽省农业 GTFP 指数、GTC 指数均具有显著正向影响,与预期方向一致。灌溉效率(WT)对安徽省对 GTC 指数有显著正向影响,说明随着我省农业水利设施建设和灌溉设备的更新,推动了农业技术进步,从而推动农业 GTFP 指数的增长,与预期方向基本一致。城市化水平(UI)对安徽省农业 GTFP 指数和 GTC 指数有显著负向影响,与预期相同。受灾率(IR)对农业 GTFP 指数有负向作用,但回归结果不显著。机械化水平(MC)对安徽省农业 GTFP 指数、GTE 指数和 GTC 指数均具有显著负向影响,与预期方向不符,可能是由于我省水稻生产全程机械化技术应用不成熟,基层农机推广力量薄弱,农业基础设施建设与水稻机械化种植需求不匹配。

与传统农业全要素生产率的影响结果相比较,经济发展水平和城市化水平的回归结果不显著,灌溉效率(WT)对安徽省农业效率指数有负向影响,其余各影响因素对 GTFP 和传统全要素生产率(TFP)影响方向基本一致,具有一定的关联性。

#### 四、研究结论与政策建议

本文运用 SBM-ML 指数测算了 2002-2017 年安徽省 16 个地级市农业 GTFP 变化情况,并采用 Tobit 模型分析农业 GTFP 的影响因素,基于上述研究结论,提出如下政策建议:

第一,优化农业产业结构。新农村建设和农村基础设施完善,使得农业集中化耕作成为可能,最优化的利用土地资源,不断提升农业种植的规模效应,

从而增加农作物产量。

第二,完善农村市场体系,加强地区之间的交流,从而推动本地区经济发展。经济发展水平对农业 GTFP 有显著正向影响,经济发展到一定程度能够改善农业生态环境,因此,安徽省可以实现经济发展与环境改善的共赢之路。

第三,提高农业技术创新。提高灌溉效率可以促进农业 GTC 指数增长,然而机械化水平却对农业绿色技术进步指数有消极影响,因此需要大力发展农业创新技术,如发展新型灌溉技术、引进新型机械设备、发展绿色种植理念等。

#### 参考文献

- [1] 詹先豪. 做现代农业产业振兴的领跑者——安徽农垦实施乡村振兴战略的发展路径[J]. 中国农垦, 2020(01): 12-15.
- [2] 严立冬. 绿色农业发展与财政支持[J]. 农业经济问题, 2003(10): 36-39.
- [3] 孙宏新. 安徽省美好乡村建设定位与内涵研究[J]. 淮南师范学院学报, 2019, 21(03): 69-72+88.
- [4] CHUNG Y H, FÄRE R, GROSSKOPF S. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach[J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229-240.
- [5] 吴军. 环境约束下中国地区工业全要素生产率增长及收敛分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2009, 26(11): 17-27.
- [6] 郑丽琳, 朱启贵. 纳入能源环境因素的中国全要素生产率再估算[J]. 统计研究, 2013, 30(07): 9-17.

- [7]王兵,吴延瑞,颜鹏飞. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J]. 经济研究,2010,45(05):95-109.
- [8]高杨,牛子恒. 农业信息化、空间溢出效应与农业绿色全要素生产率——基于SBM-ML指数法和空间杜宾模型[J]. 统计与信息论坛,2018,33(10):66-75.
- [9]葛鹏飞,王颂吉,黄秀路. 中国农业绿色全要素生产率测算[J]. 中国人口·资源与环境,2018,28(05):66-74.
- [10]杨骞,王珏,李超,刘鑫鹏. 中国农业绿色全要素生产率的空间分异及其驱动因素[J]. 数量经济技术经济研究,2019,36(10):21-37.
- [11]黄稳书,胡丽丽. 我国农业绿色全要素生产率水平及绿色转型路径分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(21):21-27.
- [12]Piot-Lepetit, I., and M. Moing, "Productivity and Environmental Regulation: the Effect of the Nitrates Directive in the French Pig Sector", *Environ Resource Econ*, 2007, (38): 433-46.
- [13]吴传清,宋子逸. 长江经济带农业绿色全要素生产率测度及影响因素研究[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(17):35-41.
- [14]黄少安,孙圣民,宫明波. 中国土地产权制度对农业经济增长的影响——对1949—1978年中国大陆农业生产效率的实证分析[J]. 中国社会科学,2005(03):38-47+205-206.

[责任编辑 王云江]

## Research on the agriculture green total factor productivity and its influencing factors in anhui province

GAO Li-li<sup>1</sup>, YU De-ming<sup>1</sup>, WANG Kai<sup>2</sup>

(1. School of Economics, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233030, China;

2. School of Finance and Public Administration, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233030, China)

**Abstract:** Based on the 2002–2017 data, the SBM model and ML index were used to measure the green total factor productivity of agricultural and its influencing factors in 16 cities in Anhui province. The results showed that the green total factor productivity of agricultural in Anhui province grew slowly and the green technical efficiency was not improved, the green technological progress was the main driving force of the green total factor productivity of agricultural. Regional differences in the green total factor productivity of agricultural are significant, showing a trend of high in the middle and low at both ends. The structure of agricultural industry and economic development level have a significant positive effect on the green total factor productivity of agriculture; The level of mechanization hinder the growth of the index of agricultural technological progress. Therefore, in order to promote agricultural modernization in Anhui Province, we should optimize agricultural industrial structure and improve agricultural technological innovation to improve the green total factor productivity of agricultural.

**Key Words:** Green Total Factor Productivity; Regional Differences; SBM Model; ML Index