



林青宁, 毛世平. 农业全要素生产率的演化过程、测算方法与未来展望[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(04), 248-256.

LIN Qingning, MAO Shiping. Contribution rate of agricultural science and technology progress: Evolution process, calculation method and specific practice[J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(04): 248-256.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2023.04.22

## 农业全要素生产率的演化过程、测算方法与未来展望

林青宁 毛世平\*

(中国农业科学院 农业经济与发展研究所, 北京 100081)

**摘要** 为厘清农业全要素生产率的演变过程, 解决当前关于农业全要素生产率概念不明晰, 计算农业全要素生产率时测算方法选择偏误、投入产出指标选取不合理等问题, 从农业全要素生产率的概念出发, 梳理了农业全要素生产率的演变过程, 归纳了非生产前沿面方法、生产前沿面方法及微观核算方法等农业全要素生产率的主要测算方法, 并对各种方法的优缺点与适用条件进行了说明, 进而提出了现有研究的不足与未来展望。

**关键词** 农业全要素生产率; 数据包络分析; 随机前沿分析; LP法; OP法

中图分类号 F062.4

文章编号 1007-4333(2023)04-0248-09

文献标志码 A

## Agricultural total factor productivity: Evolution process, calculation method and specific practice

LIN Qingning, MAO Shiping\*

(Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract** The aims of this study are to clarify the evolution process of agricultural total factor productivity, and solve the current problems such as unclear concept of agricultural total factor productivity, biased selection of measurement methods when calculating agricultural total factor productivity and unreasonable selection of input-output indicators. From the concept of agricultural total factor productivity, the evolution process of agricultural total factor productivity is sorted out, and the main calculation methods of agricultural total factor productivity such as non-production frontier methods, production frontier methods and micro-accounting methods are summarized, and the advantages, disadvantages and applicable conditions of various methods are analyzed. The advantages, disadvantages and applicable conditions of various methods are described and the shortcomings of existing research and future prospects are put forward.

**Keywords** agricultural total factor productivity; DEA; SFA; LP; OP

当前, 我国农业发展面临资源环境约束趋紧、外部风险因素增多、保供增收压力增大、农村劳动力减少等挑战, 要提高土地产出率、劳动生产率、资源利用率, 实现保供给、保增收、保生态的高质量发展目标, 必须依靠农业科技进步<sup>[1]</sup>。国内外大量农业发

展的成功实践证明: 农业科技进步是实现农业经济增长的第一驱动力, 是推进农业高质量发展的决定因素。农业全要素生产率是衡量农业高质量发展的科学指标, 尤其是技术进步部分的提高对于实现农业农村现代化具有重要意义, 农业农村部印发的《国

收稿日期: 2022-07-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(71673275, 71761147005)

第一作者: 林青宁(ORCID: 0000-0003-3396-487X), 助理研究员, 主要从事农业科技创新研究, E-mail: linqingning@caas.cn

通讯作者: 毛世平(ORCID: 0000-0002-5013-7748), 研究员, 主要从事技术经济与科技创新研究, E-mail: maoshiping@caas.cn

家质量兴农战略规划(2018—2022年)》<sup>①</sup>强调要提高农业全要素生产率以实现质量兴农。

农业全要素生产率是指农业经济增长中扣除由各有形投入要素(如资本、劳动等)带来增长的剩余部分,包括技术进步、管理效率等方面,即不能被要素投入增加所能解释的农业产出增加部分。因此科学测度我国农业全要素生产率,有助于从总体上把握我国农业科技进步水平和科技进步潜力,探寻农业科技进步模式和动力机制,对于促进农业高质量发展意义重大。但在我国的具体研究与实践当中,仍存在诸多问题:一是农业全要素生产率概念不明确;如在我国实际研究中还存在农业科技进步贡献率这一与农业全要素生产率相似的概念(农业科技进步率与农业经济增长率的比值,表示农业科技进步对农业经济增长的贡献程度)。二是测算方法繁多,许多研究方法选取不够合理;如测算农业全要素生产率的宏观方法包括生产前沿面法与非生产前沿面法,微观测算方法包括LP、OP等方法。为此,本研究拟通过对农业全要素生产率演变过程的系统梳理以及对不同农业全要素生产率测算方法的归纳分析,以为政府或学术界合理测算我国农业全要素生产率水平提供依据。

## 1 农业全要素生产率的演化过程

经济增长自《国富论》<sup>[2]</sup>开始,便受到了政府与学术界的广泛关注。古典经济学时期,劳动与资本被认作经济增长的源动力。但随着经济发展,劳动、资本等资源总量是受限的,从而导致要素价格不断上涨,单纯依靠要素投入型的增长模式并不可取,还可能会制约经济与社会发展。为此,必须“转方式,调结构”,从资源堆砌转为效率提高,从而实现经济增长的长期、稳定、可持续。Solow<sup>[3]</sup>基于总量分析和边际贡献的方法,将经济增长中非要素投入部分分解了出来,这一部分被称之为广义的科技进步,具有累积效应(新古典增长模式);然而,这一模型中,非要素投入部分是外生的,且未考虑要素资本的正外部性以及环境因素。为此,Romer<sup>[4]</sup>把科技进步内生到经济增长模型中,以此解释经济持续增长的动力,这一理论被称之为内生增长理论。目前学者

们的聚焦点逐步由投入的增加转向效率的提高。科技进步率(也即全要素生产率增长)是一个“剩余”的概念,即包括所有除了要素投入外的其他部分,包括科技的发展、效率的提高、制度的完善等等。尽管索洛给出了求解科技进步的方法,但科技进步的具体项目(如技术效率、规模效率等)却没有给出。为此,DEA(数据包络分析)这一非参数方法被广泛应用于科技进步率的计算与分解当中<sup>[5]</sup>,可将科技进步划分为技术进步、技术效率以及规模效率3部分。

鉴于改革开放以来农业部门所取得的巨大成就,学术界普遍关注为何中国在面临刚性资源约束情况下,农业能快速实现科技进步。中国农业科学院农业经济与发展研究所朱希刚<sup>[6-7]</sup>研究员属于国内最早一批开展农业全要素生产率(农业科技进步贡献率)研究的学者,对农业科技进步的概念内涵、相关理论、模型方法进行了归纳总结,并以此为基础,根据索洛余值提出了“我国农业科技进步贡献率的测算方法”<sup>[8]</sup>。基于朱希刚<sup>[8]</sup>的研究成果,农业部1997年正式发布《关于规范农业科技进步贡献率测算方法的通知》,将“我国农业科技进步贡献的测算方法”确定为我国农业技术进步评价与比较的统一方法。该方法被广泛应用于我国农业科技进步测度评价及区域比较研究中<sup>[9]</sup>。

长期以来,只追求数量的“采掘式”农业生产方式带来了水土资源低效利用、化肥农药过度投入、畜禽粪污大量排放等问题<sup>[10]</sup>,农业由传统生产方式转为绿色和可持续的生产方式是大势所趋。近年来,“双碳”问题引起了学术界的广泛关注,学者开始考虑环境问题约束下的农业全要素生产率问题。农业绿色全要素生产率是一个反映农业可持续发展的客观指标,指在给定农业投入要素的前提下,实现农业最大产出的同时尽可能减少农业污染排放的生产效率,揭示了环境压力下超出投入要素的可持续增长部分,也即将农业碳排放以及面源污染纳入到农业全要素生产率的测算框架中<sup>[11]</sup>。

## 2 农业科技进步率测算方法

目前,测算农业全要素生产率的方法主要包括

<sup>①</sup> 农业农村部、国家发展改革委、科技部、财政部、商务部、国家市场监督管理总局、国家粮食和物资储备局.《国家质量兴农战略规划(2018—2022年)》. [http://www.gov.cn/xinwen/2019-02/20/content\\_5367181.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2019-02/20/content_5367181.htm), 2019.

非生产前沿面方法与生产前沿面方法两大类。其中非生产前沿面方法主要包括参数估计的生产函数法(C-D生产函数、线性生产函数、CES生产函数等)以及非参数的指数方法;而生产前沿

面方法则包括参数估计的随机前沿分析以及非参数估计的数据包络分析。此外,还包括一些微观层面的方法,常用的如LP、OP等。具体如下(图1):

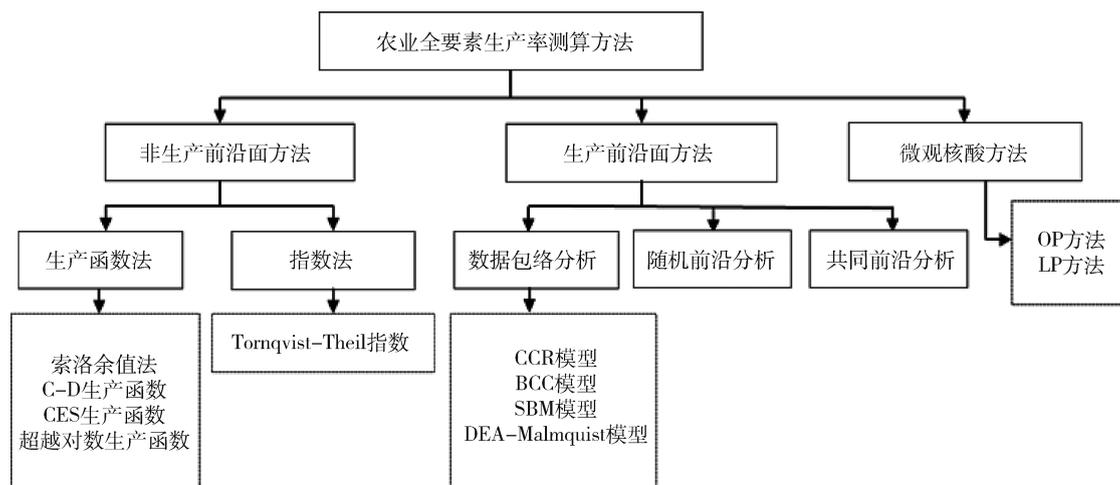


图1 农业科技进度测算方法

Fig. 1 Measurement method of the progress in agricultural science and technology

## 2.1 非生产前沿面方法

### 2.1.1 生产函数法

#### 1) 索洛余值法(增长速度方程)

索洛余值法,也即增长速度方程,是公认的测算科技进步率的经典方法,后续的很多研究也是以索洛余值为基础开展的,因此索洛余值可谓是科技进步率测算的“开山鼻祖”。1957年,美国经济学家索洛将经济增长中劳动、资本以外的剩余部分归因于科技进步的份额,即“索洛剩余”<sup>[3]</sup>。索洛余值法计算得到的科技进步率属于广义的科技进步率,即除了包括技术水平提升、技术体系改革等狭义的科技进步外,还包括管理水平、技术效率、体制机制等软科技的进步。索洛余值法计算便捷,实用性较强,至今仍被学术界广泛使用,希克斯中性技术进步约束下,其形式为:

$$Q_t = A_t f(L_t, K_t) \quad (1)$$

式中:  $Q_t$  为  $t$  时期的总产出;  $L_t$  为  $t$  时期投入的劳动量;  $K_t$  为  $t$  时期投入的资本量;  $A_t$  代表  $t$  时期的技术水平。因此,  $t$  时期总产出的增长率  $GQ$  可以看作技术进步  $GA$ 、劳动增长率  $GL$ 、资本增长率  $GK$  的综合贡献,记作:  $GQ = GA + \alpha GL + \beta GK$  式中:  $\alpha$  和  $\beta$  分别是劳动和资本的产出弹性。其中,劳动增长率  $GL$ 、资本增长率  $GK$  一般是可以进行衡量的,因此经济增长中无法用资本和劳动贡献加以说明的

“余值”则是由科技进步带来的,即:

$$GA = GQ - \alpha GL - \beta GK \quad (2)$$

将科技进步速度作为余值:

$$\Delta A/A = \Delta Y/Y - \Delta K/K - \Delta L/L \quad (3)$$

#### 2) C-D生产函数

C-D生产函数最早由美国数学家柯布和经济学家道格拉斯共同提出,在原有的生产函数基础上加入了技术这一要素,可以用于宏微观产出的模式,是当前应用最为广泛的生产函数形式。其基本形式为:

$$Y = AK^\alpha L^\beta \quad (4)$$

式中:  $Y$  为产出;  $L$  与  $K$  分别为劳动投入量与资本投入量;  $A$  为技术水平;  $\alpha$  为介于  $0 \sim 1$  的常数;  $\beta = 1 - \alpha$ 。在这一模型基础上, Tinbergen<sup>[12]</sup> 将技术水平  $A$  替换成随时间变化的技术水平  $A(t)$ , 于是有:  $Y = A_t K^\alpha L^\beta$ , 因此,  $A_t = Y/K^\alpha L^\beta = A_0 e^{rt}$ 。当基期与第  $t$  年的技术水平已知的情况下,即可求出科技进步系数  $r$ 。

#### 3) CES生产函数

CES即常数替代弹性是某些生产函数或效用函数的重要性质,而具有该性质的生产函数就是所谓的CES生产函数。CES生产函数是Arrow等<sup>[13]</sup>提出的,他们假定工资  $W = A(Y/L)$ , 规模报酬不变,市场完全竞争,从而推导出了投入与产出之间关

系具有不变替代弹性的生产函数。其基本形式为：

$$Y = A_t(\alpha K^{-p} + \beta L^{-p})^{-M/p} \quad (5)$$

式中： $Y$  为产出； $K$ 、 $L$  分别为资金与劳动力投入； $A$  为科技水平； $\alpha$ 、 $\beta$  分别为资金与劳动力的分配率，两者之和等于 1； $p$  为替代参数，其替代弹性  $\sigma = 1/(1+p)$ ； $M$  代表阶次，即规模收益。当然  $A_t$  也可以用  $A_0 e^{rt}$  的指数形式表征，因此只要计算出式中的待估参数，则技术进步系数  $r$  与技术水平  $A_t$  即可求出。

$$Y = A_0 e^{rt} (\alpha K^{-p} + \beta L^{-p})^{-M/p} \quad (6)$$

#### 4) 超越对数生产函数

尽管 CES 生产函数放松了不变替代弹性这一强约束，但仍是常数替代弹性的函数形式，因此 Berndt 等<sup>[14]</sup> 提出了超越对数生产函数，这一生产函数不仅纳入了时间因素，还细化了投入要素。具体形式为：

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \frac{1}{2} \beta_3 (\ln K_{it})^2 + \\ & \frac{1}{2} \beta_4 (\ln L_{it})^2 + \beta_5 (\ln K_{it} * \ln L_{it}) + \\ & \beta_6 t + \beta_7 \ln Kt + \beta_8 \ln Lt + V_{it} - U_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

式中： $Y_{it}$  为  $t$  时期  $i$  单位的产出变量； $x_{it}$  为  $t$  时期  $i$  单位的投入变量； $\beta$  为待估参数； $V_{it}$  为服从  $V_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$  正态分布的随机误差项； $U_{it}$  为技术无效率项，服从  $U_{it} \sim N(m_{it}, \sigma_u^2)$  的零处截尾的正态分布， $V_{it}$ 、 $U_{it}$  互相独立。基于上式，计算出待估参数后，即可核算出全要素生产率。

#### 2.1.2 指数法

指数法，顾名思义其是用指数变动来表征农业科技进步的变化情况，具体讲农业科技进步率 = 产出指数 ÷ 投入的加权平均指数，因此其关键就在于各要素的加总。指数法的本质也是属于一种广义科技进步率的测算方法，常见的指数方法有 Tornqvist-Theil 指数 (TT 指数) 等。

TT 指数属于链式指数，其要素加总公式为：

$$\begin{aligned} \frac{TFP_{it}}{TFP_{i,t-1}} = & \left( \frac{y_{it}}{y_{i,t-1}} \right) / \left( \frac{k_{it}}{k_{i,t-1}} \right)^{(\alpha_{it} + \alpha_{i,t-1})/2} \times \\ & \left( \frac{l_{it}}{l_{i,t-1}} \right)^{(\beta_{it} + \beta_{i,t-1})/2} \end{aligned} \quad (8)$$

式中： $TFP_{it}$  为科技进步贡献率； $y_{it}$ 、 $k_{it}$  与  $l_{it}$  分别为产出、资本投入以及劳动力投入； $\alpha_{it}$  与  $\beta_{it}$  为资本投入与劳动力投入对经济增长贡献的权重值，且两者之和为 1。

指数法本质上属于统计学方法，还有 Divisa 指数、HM 指数、Fisher 指数、Paasche 指数、Laspeyres 指数等，尽管不同方法的表达形式不尽相同，但本质即是用指数变动来表征农业科技进步的变化，在经济合作与发展组织 (OECD) 的《生产效率测算手册》<sup>[15]</sup> 中均有涉及，此处不再赘述。

## 2.2 生产前沿面方法

生产函数法与指数法作为非生产前沿面方法中的典型代表，至今应用仍较为广泛，但非生产前沿面方法暗含完全技术效率的假设，即技术效率，如管理水平、经营水平等，是 100% 的，产出增长完全归因于科技进步，这在实际中显然是不甚合理的，因此生产前沿面方法逐渐受到重视并得以发展。生产前沿面方法根据是否预设生产函数分为参数法与非参数方法，其中参数法以随机前沿生产函数 (SFA) 与共同前沿生产函数 (MFA) 应用最为广泛，非参数法以数据包络分析方法 (DEA) 为主。其余诸如自由分布方法 (DFA)、厚前沿方法 (TFA) 等应用相对较少。

### 2.2.1 数据包络分析 (DEA)

数据包络分析 (DEA) 是一种基于被评价对象 (DMU) 间相对比较的非参数生产前沿面的技术效率测算方法。数据包络分析方法是 1978 年由美国运筹学家 Charnes 等<sup>[16]</sup> 三人共同提出的，因此 DEA 的第一个经典模型亦由三人的名称的首字母命名 (CCR)。DEA 的基本原理即根据不同 DMU 的投入产出组合，构造生产前沿面，进而使用线性规划的方法求解各个 DMU 偏离生产前沿面的程度，从而测算其生产效率。常用的 DEA 模型包括经典的 CCR 模型、BCC 模型以及现有文献常用的 SBM 模型以及 DEA-Malmquist 模型。

#### 1) CCR 模型

假设我们要测算  $n$  个生产单元 (DMU) 的效率，每个生产单元的投入为  $x_i (i=1, 2, 3 \dots n)$ ，权重以  $v_i$  表示；产出为  $y_r (r=1, 2, 3 \dots m)$ ，权重以  $u_r$  表示。产出导向下 CCR 模型 (规模报酬不变) 的规划求解方程为：

$$\min \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \quad (9)$$

$$\text{s. t. } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \leq 0$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1$$

$$i = 1, 2 \dots n; r = 1, 2 \dots q; j = 1, 2 \dots m$$

其对偶方程为:

$$\begin{aligned} & \text{Max}\varphi & (10) \\ \text{s. t. } & \sum_{j=1}^n \rho_j x_{ij} \leq x_{ik} \\ & \sum_{j=1}^n \rho_j y_{rj} \geq \varphi y_{rk} \\ & i = 1, 2, \dots, n; r = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

依据上式,方程的最优解为  $\varphi^*$ ,意思是在既定的技术水平下,增加投入带来的产出增加部分  $(\max)\varphi^* - 1$ ,由于  $\varphi^* \geq 1$ ,因此,效率值多用其倒数表示。

2)BCC 模型

BCC 模型放松了 CCR 模型关于规模收益不变的假定,即规模收益是可变的,因此使用这种方法计算出来的技术效率可以将规模的影响剥离出来,得到“纯技术效率”。产出导向下 BCC 模型表达式为:

$$\begin{aligned} & \text{Min}\phi & (11) \\ \text{s. t. } & \sum_{j=1}^n \rho_j x_{ij} \leq x_{ik} \\ & \sum_{j=1}^n \rho_j y_{rj} \geq \phi y_{rk} \\ & \sum_{j=1}^n \rho_j = 1 \\ & \rho_j \geq 0; i = 1, 2, \dots, n; r = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

3)SBM 模型

传统 DEA 模型(CCR、BCC)基于有效前沿对决策单元(DMU)的投入产出进行评价,从而得出相应效率值,但忽略了径向距离的问题<sup>[17]</sup>。因此选用 SBM 模型可以解决这一问题。模型具体如下:

$$\min \rho_{SE} = (1/m \sum_{i=1}^m \bar{x}_i / x_{ik}) / (1/s \sum_{r=1}^s \bar{y}_r / y_{rk}) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \bar{x}_i \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \theta_j \\ \text{s. t. } & \bar{y}_r \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \theta_j \\ & \bar{x}_i \geq x_{ik}, \bar{y}_r \leq y_{rk} \end{aligned}$$

4)DEA-Malmquist 模型

DEA-Malmquist 模型是 M 指数与 DEA 相结合进行全要素生产率计算的一种模型方法,在规模报酬不变的假设下, Malmquist 生产率指数可以分解为农业技术进步和农业技术效率两部分,即:

$$ML_{t,t+1} = TP \times TE \quad (13)$$

其中:

$$TP_{t,t+1} = \frac{1 + D_0^{i,t}(x_i^{i,t}, y_i^{i,t}, b_i^{i,t}; y_i^{i,t}, -b_i^{i,t})}{1 + D_0^{i,t+1}(x_i^{i,t+1}, y_i^{i,t+1}, b_i^{i,t+1}; y_i^{i,t+1}, -b_i^{i,t+1})}$$

TE<sub>t,t+1</sub> =

$$\left[ \frac{1 + D_0^{i,t+1}(x_i^{i,t+1}, y_i^{i,t+1}, b_i^{i,t+1}; y_i^{i,t+1}, -b_i^{i,t+1})}{1 + D_0^i(x_i^{i,t+1}, y_i^{i,t+1}, b_i^{i,t+1}; y_i^{i,t+1}, -b_i^{i,t+1})} \times \frac{1 + D_0^{i,t+1}(x_i^{i,t}, y_i^{i,t}, b_i^{i,t}; y_i^{i,t}, -b_i^{i,t})}{1 + D_0^i(x_i^{i,t}, y_i^{i,t}, b_i^{i,t}; y_i^{i,t}, -b_i^{i,t})} \right]^{1/2}$$

农业技术效率变化测度的是在  $t$  时期和  $t+1$  时期相对技术效率的改善,反映了对农业技术前沿的追赶程度;农业技术进步测度的是在  $t$  时期和  $t+1$  时期技术的进步,反映了农业全要素生产率变动对农业技术创新的依赖程度。ML、TP、TE 若大于 1,则表示全要素生产率、农业技术效率、农业技术进步实现了增长,反之亦然。

2.2.2 随机前沿分析(SFA)

随机前沿模型(SFA)属于参数生产前沿面方法,需要预先设定函数形式。随机前沿模型不仅放松了对生产函数  $f(x)$  完全效率的假定,还将随机冲击纳入到函数模型中。最先由 Aigner 等<sup>[18]</sup>、Meeusen 等<sup>[19]</sup>在 1977 年提出,具体形式为:

$$y_i = f(x_i, \beta)\epsilon_i \quad (14)$$

式中:  $y$  为农业产出;  $\epsilon_i$  为效率水平,处于  $0 \sim 1$ 。由于农业生产过程中还存在自然因素等的冲击,因此将随机冲击项  $e^{v_i}$  纳入到模型中:

$$y_i = f(x_i, \beta)\epsilon_i e^{v_i} \quad (15)$$

这样一来,由于随机冲击项的存在,  $f(x_i, \beta)\epsilon_i e^{v_i}$  的前沿面是随机的,因此被称之为随机前沿模型(SFA)。对上式取对数有:

$$\ln y_i = \alpha_0 + \sum_{n=1}^N \alpha_n \ln x_{in} + \ln \epsilon_i + v_i \quad (16)$$

式中:  $\ln \epsilon_i$  的负值定义为  $\mu_i$ ,即无效率项,无效率项表示农业生产偏离最优前沿面的程度,这一部分可以通过提高管理水平、经营模式等加以提高改进,在农业生产中是可以控制的;而  $v_i$  表示随机误差项,这部分是在农业生产中无法被控制。此后,针对无效率项  $\mu_i$  分布的探讨,学者又提出了非时变效率<sup>[20]</sup>、时变效率<sup>[21]</sup>等面板随机前沿模型,此处不再具体展开。

2.2.3 共同前沿分析(MFA)

DEA 与 SFA 方法假定所有的生产者处在同一个生产前沿面上,但在实际情况中不同地区、不同经营模式生产者的前沿面可能存在差异。该方法由 Battese 等<sup>[22]</sup>所提出,共同前沿生产函数可以实现技术水平不同集群的效率的测算及比较。共同前沿

生产函数是包络不同技术水平集群前沿的前沿函数,其对应的曲线包络所有不同技术水平集群的随机前沿曲线(图 1),假定在  $X_0$  的投入下,两个技术水平不同集群在其随机前沿曲线上的产出分别是  $Y_1$ 、 $Y_2$ ,共同前沿曲线上的产出是  $Y_3$ ,可以看出,在投入水平  $X_0$  既定的情况下,技术水平不同集群的产出  $Y_1$ 、 $Y_2$  均小于共同前沿曲线上的产出  $Y_3$ ;不同集群的最优产出与共同前沿面上的最优产出之间的比值我们称之为技术差距比(TGR),TGR 的值越大,表明集群前沿和共同前沿的差距越小。假定基于技术条件不同将农业生产者分为两个集群,每个集群包括  $j$  个生产者,每个集群各自技术水平决定的生产函数可表示为:

$$Y_{i(j)} = f(x_{i(j)}, \beta_j \exp[v_{i(j)} - \mu_{i(j)}]) \quad (17)$$

式中: $i=1,2,\dots,n;t=1,2,\dots,T$ ;  $Y_{i(j)}$  为  $t$  时期  $j$  区域农业生产者  $i$  的产出,  $x_{i(j)}$  为  $t$  时期  $j$  区域农业生产者  $i$  的投入; $\beta$  为待估参数;  $v_{it}$  为随机扰动项,服从零均值、不变方差的正态分布;  $\mu_{it}$  为技术非

效率项,服从均值为  $m_{it}$ 、方差为  $\sigma_{it}^2$  服从零处截尾的正态分布;且  $v_{it}$  与  $\mu_{it}$  独立。

农业生产者的共同前沿生产函数如下:

$$Y_{it}^* = f(x_{it}, \beta^*) = \exp(x_{it}, \beta^*) \quad (18)$$

式中:  $\beta^*$  为共同前沿函数的参数向量,且满足技术水平不同集群的产出均小于共同前沿曲线上的产出;

结合上式,  $i$  农业生产者在  $t$  时期的产出  $Y_{it}$  可表示如下:

$$Y_{it} = \exp(-\mu_{i(j)}) \times e(x_{it}\beta_j) / e(x_{it}\beta^*) \times e(x_{it}\beta^* + v_{i(j)}) \quad (19)$$

则不同集群的效率表达式为:

$$TE_{it} = y_{it} / \exp(x_{it}\beta_j + v_{i(j)}) \quad (20)$$

技术差距比值 TGR 的表达式为:

$$TGR_{it} = \exp(x_{it}\beta_j) / \exp(x_{it}\beta^*) \quad (21)$$

综合上述公式,可以得到以共同前沿生产函数来衡量的效率  $TE^*$  的表达式:

$$TE^* = TE_{it} \times TGR_{it} \quad (22)$$

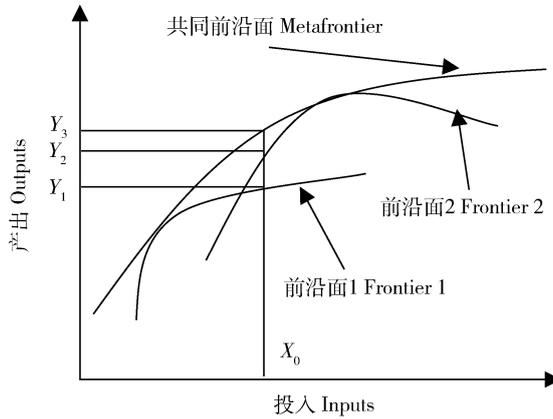


图 2 共同前沿生产函数

Fig. 2 Meta-frontier production function

### 2.3 微观核算方法

随着经济发展水平的不断提高,农户等的微观数据库建设不断趋于完善,加之计量经济学分析方法的不断进步,微观层面的全要素生产率计算成为全要素生产率分析中的重要内容。尽管微观层面的全要素生产率的基本概念与核算框架与宏观层面是一致的,但不同于宏观层面的全要素生产率计算,微观层面(如农户)DMU 之间的异质性更为显著,且其技术水平不同于宏观层面的“未知”,往往是已知的,因此使用宏观层面的核算方法对微观 DMU 进

行全要素生产率核算,往往存在偏误。因此,学者们提出不同方法以缓解此问题:OLS 估计、固定效应法(FE)、工具变量法(IV)、控制函数法,最常用的方法还属控制函数法中的 OP 与 LP 方法。OLS 估计方法的思想是将残差项的估计值作为农业全要素生产率的表征,即:

$$y_{it} = \alpha l_{it} + \beta k_{it} + \mu_{it} \quad (23)$$

式中:  $y_{it}$ 、 $l_{it}$ 、 $k_{it}$  分别表示农业产出、劳动力投入与物质资本投入;  $\mu_{it}$  的估计值则为农业全要素生产率。但农户的效率在一定程度上是能被观测到的,

农户也会根据当前效率适当调整农业生产要素的,因此残差项和回归项相关,从而违背了线性回归的基本假定。为此,Marschak等<sup>[23]</sup>于1944年将残差项进行了拆分:

$$y_{it} = \alpha_{it} + \beta k_{it} + \omega_{it} + \varepsilon_{it} \quad (24)$$

式中: $\omega_{it}$ 是残差项的一部分,表示农户可以观测到的技术水平,影响农户当期要素投入组合; $\varepsilon_{it}$ 是真正的残差项,也即农业全要素生产率。然而,在生产函数估计过程中往往存在样本选择性偏误的问题,从而影响结果的准确性。为此学者提出了固定效应方法(引入农户个体虚拟变量,解决内生性)、OP、LP等方法。其中OP方法是Olley等<sup>[24]</sup>在1996年提出的,其核心在于将DMU的投资水平视作生产率的表征,即生产者DMU会根据自身当前状态进行投资决策,因此可以使用本期的投资水平作为生产率的表征,但由于OP法无法对投资为零的DMU进行生产率核算,LP方法则对OP法进行了改进,不再使用投资水平作为生产率的表征,而是选择使用中间投入。

## 2.4 简要评述

1)非生产前沿面方法。①生产函数法:索洛余值法是最早用于核算农业全要素生产率的方法,也被我国广泛使用,并将其作为农业科技进步的标准测度方法,但这一方法机械的将物质费用、劳动力投入与耕地的系数设定为0.55、0.20和0.25,一定程度上忽略了农业全要素生产率的内涵与实际,且索洛余值法未提出具体的函数假设,因此这一方法的使用有较强的限制。C-D生产函数方法提出了具体的函数假设,但C-D生产函数存在中性技术进步(即资本和劳动的比例与边际替代率不变)以及规模报酬不变的强假定,很大程度与农业的生产实践不符合。CES生产函数的数学表述较为完备,也放松了不变替代弹性这一强约束,但由于模型中的参数多,且参数的估计方法也较为复杂,因此实际操作过程中的误差较大,因此应用并不广泛。可以看出,索洛余值法以及索洛余值法与生产函数的结合测算的是“我们未知的”,即科技进步率测算的结果范围较为宽泛,除去投入要素能够解释的部分外,全部归因于科技进步,并未将真正的技术进步分离出来,因此测量结果与实际情况存在一定程度的偏误。②指数法:指数法作为一种非参数方法,没有明确的函数形式,但存在规模报酬不变、要素完全替代等强约束,同时还要明确科技进步的来源,因此在实际操作中

有一定的不合理性,更多是作为一种概念或者与其他方法结合进行使用。

2)生产前沿面方法。生产前沿面方法包括数据包络分析方法(DEA)、随机前沿分析方法(SFA)以及共同前沿分析(MFA)3种方法。总体来看,这3种方法是现在用于测算农业全要素生产率以及农业绿色全要素生产率时应用最多的,也有其相应的适用条件。随机前沿模型需要预先设定函数形式,但放松了对生产函数 $f(x)$ 完全效率的假定,与此同时,SFA方法可以加入随机扰动项来控制测量误差与不确定性因素对农业生产过程的影响,因此很多学者认为使用SFA测算农业全要素生产率更符合农业生产的本质<sup>[25]</sup>。DEA方法在测算多投入-多产出时的特殊优势,DEA方法被广泛应用到农业全要素生产率测算,尤其是包括非期望产出的农业绿色全要素生产率测算当中,且在测算农业全要素生产率时多会使用DEA-Malmquist方法。考虑到DEA方法的径向距离、松弛性以及截尾值等问题,此后的研究多开始将DDF方向性距离函数、SBM方向性距离函数以及超效率方法与DEA相结合来测算农业全要素生产率。MFA方法则主要是考虑不同样本的技术差异,在样本间存在明显技术差距时测算农业全要素生产率较为合适。

3)微观测算方法。农业全要素生产率的微观测算方法包括OLS估计方法、LP、OP等,其中OLS估计方法是将残差项的估计值作为农业全要素生产率的表征,但农户的效率在一定程度上是能被观测到的,农户也会根据当前效率适当调整农业生产要素的,因此残差项和回归项相关,从而违背了线性回归的基本假定。针对这一问题,后期LP、OP逐渐成为进行微观层面农业全要素生产率测算的主要方法,OP法的前提是投资水平与生产率之间是正相关关系,但在实际生产实践中,并非所有的生产者DMU都会有投资增加,因此OP法便无法对投资为零的DMU进行生产率核算,LP法则对OP法进行了改进,使用中间品投入指标代替投资这一指标,因此LP方法的测算结果与灵活程度更佳。

## 3 研究不足与未来展望

国内外已有相关代表性文献围绕农业全要素生产率测算理论与方法开展了大量研究,为本研究提供了较为丰富的理论参考与学术参考。但还有一些问题值得商榷与讨论:

1)避免过分追求方法的复杂性与先进性。总体来看,农业全要素生产率的测算方法很多,包括生产前沿面方法、非生产前沿面方法以及微观核算的LP、OP等方法。这些方法有其自身的特色,共同构成了农业全要素生产率核算体系。但这些方法的使用有其限制条件,也各有优缺点,并非是普适性的。在计算农业全要素生产率时一定要结合农业产业的特点与实践选择适合的方法,而不是一味的追求方法的复杂性与先进性。

2)避免宏微观方法的混用。当前很多研究在进行农户层面的全要素生产率计算时选择了DEA等宏观测算方法,这是不合理的。正如前文所述,不同于宏观层面的“未知”,农户对自身的技术水平往往是已知的,因此使用宏观层面的核算方法对微观农户进行全要素生产率核算,往往存在偏误。因此应针对样本的不同,合理选择宏微观方法进行全要素生产率的计算。

3)避免指标选取的随意性。投入—产出指标的选取对农业全要素生产率的计算至关重要,遗漏重要的投入—产出指标会带来测算结果的偏误。但现有很多研究中,即便产出指标均选择了农林牧渔总产值,但投入指标却不尽相同,指标选取的随意性过大。此外,折旧率、投入弹性系数的选择也存在差异。近年来农业绿色全要素生产率一直是学术界关注的热点,但对于非期望产出(碳排、面源污染等),已有研究中也存在指标处理的随意性问题。

## 参考文献 References

- [1] Hu R, Huang J, Jin S, Rozelle S. Assessing the contribution of China's research system and CG genetic materials to the total factor productivity of maize in China[J]. *Journal of Rural Development*, 2000, 23(1): 33-70
- [2] Smith A. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*[M]. London: Oxford University Press, 1776
- [3] Solow R. Technical change and the aggregate production function[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3): 312-320
- [4] Romer P M. Increasing returns and long-run growth[J]. *Journal of Political Economy*, 1986, 94: 1002-10037
- [5] Fare R, Grosskopf S, Norris M, Zhang Z Y. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries[J]. *American Economic Review*, 1994: 66-83
- [6] 朱希刚.我国农业技术进步作用测定方法的研究和实践[J].农业技术经济, 1984(6): 37-40  
Zhu X G. Research and practice on the measure method of agricultural technical progress in China[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 1984(6): 37-40 (in Chinese)
- [7] 朱希刚,黄季焜.农业技术进步测定的理论方法[M].北京:中国农业出版社, 1994  
Zhu X G, Huang J K. *Theoretical Method for Determination of Agricultural Technical Progress* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1994 (in Chinese)
- [8] 朱希刚.我国农业科技进步贡献率测算方法[M].北京:中国农业出版社, 1997  
Zhu X G. *Contribution Rate Measurement method of Chinese Agricultural Science and Technology Progress*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997 (in Chinese)
- [9] 胡凯.我国农业科技进步贡献率测算与分析:1978—2010年[J].商业研究, 2013(6): 169-175  
Hu K. Measurement and analysis of contribution rate of agricultural Science and technology in China: 1978—2010[J]. *Commercial Research*, 2013(6): 169-175 (in Chinese)
- [10] Liu D, Zhu X, Wang Y. China's agricultural green total factor productivity based on carbon emission: An analysis of evolution trend and influencing factors[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 278(1): 123692
- [11] Li J, Lin Q. Can the adjustment of China's grain purchase and storage policy improve its green productivity [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19, 6310
- [12] Tinbergen J. *Centralization and Decentralization in Economic Policy* [M]. Amsterdam: North Holland Pub. Co. 1954
- [13] Arrow K, Chenery H, Minhas B, Solow R. Capital labor substitution and economic efficiency[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1961, 43(3): 225-250
- [14] Berndt E, Christensen L. The internal structure of functional relationships: Separability, substitution, and aggregation [J]. *The Review of Economic Studies*, 1973, 40(3): 403-410
- [15] 何锦义,刘晓静. OECD生产率测算手册[M].北京:中国科学技术文献出版社, 2008  
He J Y, Liu X J. *OECD Productivity Measurement Manual* [M]. Beijing: China Science and Technology Literature Publishing House, 2008 (in Chinese)
- [16] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6): 429-444
- [17] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509
- [18] Aigner D, Lovell C, Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models[J]. *Journal of Econometrics*, 1977, 6(1): 21-37
- [19] Meeusen W, Julien V. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error [J]. *International Economic Review*, 1977: 435-444
- [20] Pitt M M, Lee L F. The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry[J]. *Journal of Development Economics*, 1981, 9(1): 43-64
- [21] Battese G E, Coelli T J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 1992, 3(1): 153-169
- [22] Battese G, Greene W, O'Donnell C, Podinovski V. A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies [J]. *Journal of*

*Productivity Analysis*, 2004 (121): 91-103

[23] Marschak J, Andrews, W. Random simultaneous equations and the theory of production[J]. *Econometrica*, 1944, 12(3/4): 143-205

[24] Olley G S, Pakes A. The dynamics of productivity in the telecommunications equipment industry[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 1996, 64

(6): 1263-297

[25] Gong B L. Agricultural reforms and production in China: Changes in provincial production function and productivity in 1978—2015[J].

*Journal of Development Economics*, 2018, 132: 18-31

责任编辑: 王岩



**第一作者简介:** 林青宁, 博士, 中国农业科学院农业经济与发展研究所助理研究员, 青委会主任。主要研究领域为农业技术经济、农业科技创新、农业科技政策等。近年来主持并参与国家级、省部级科研项目近 10 项。以第一作者或通讯作者身份在 *Frontiers in Plant Science*、*Agriculture*、《农业技术经济》《科学学研究》等国内外知名 SCI 及 CSSCI 学术期刊发表论文 30 余篇, 出版专著 1 部。作为主要完成人获得省部级领导肯定性批示 5 项、省部级奖励 2 项。



**通讯作者简介:** 毛世平, 研究员/中国农业科学院农业经济与发展研究所党委书记, 农业技术经济、产业经济专业, 研究领域包括技术经济理论与方法、农业科技创新与政策、公司治理与财务管理。主持国家自然科学基金等研究类课题 16 项, 发表国内外学术论文 60 余篇, 相关论文被《新华文摘》、中国人民大学《复印报刊资料》全文转载, 出版学术专著 3 部; 作为第一完成人获得农业部软科学优秀研究成果一等奖和三等奖各 1 项。