

# 环境约束条件下的中国 粮食全要素生产率增长与分解

——基于省域面板数据与序列 Malmquist - Luenberger 指数的观察

闵锐 李谷成\*

**摘要:** 本文利用 1978 - 2010 年国内省域面板数据,在使用单元调查评估法计算各省份 DMU 粮食生产污染排放量的基础上,利用方向性距离函数和序列 DEA 技术,测度了中国粮食生产是否考虑环境因素两种情形下的全要素生产率指数,并进一步分解为技术效率变化和技术进步。研究结果表明,是否考虑环境污染成本对于测算结果有较大影响,这对于政策导向意义重大;两种情形下全要素生产率增长贡献有限,主要靠技术进步单独贡献,并同时存在技术进步与效率损失并存的现象,粮食增长成本与代价相对高昂;从经济增长、资源与环境的协调程度来看,国内东中西部地区差异明显,东部地区表现最优的同时,西部地区的粮食生产扮演了“双重恶化”与失衡的角色。

**关键词:** 全要素生产率 Malmquist - Luenberger 指数 技术进步 技术效率变化 粮食

## 一、引言

“无农不稳,无粮则乱”对于集传统农业大国及人口大国身份于一体的中国而言,粮食安全问题是其永恒的难题与主题,农业依旧是我国国民经济的薄弱环节,当前粮食安全生产领域的可持续发展出现了增产、资源与环境的“三方制约”新情况:第一,粮食增产是我国粮食安全保障的现实选择。一方面,中国仍存在粮食不安全人口,按照比较权威的世界银行对于贫困线的划定,我国贫困人口将超过 1 亿(公茂刚 2010);另一方面,随着我国经济水平和人口数量的不断提高,作为口粮的直接用粮与食物结构升级的间接用粮双重消费呈刚性增长,至 2020 年我国仍将存在 275.3 万吨的产需缺口<sup>①</sup>,国内粮食增产压力与日俱增。第二,农业生产要素转移。随着国内工业化、城市化的逐步深入,由于粮食种植比较收益下降,以土地、劳动力等为代表的多种要素自发向效益高的生产领域逃逸(王雅鹏 2011),传统生产要素呈刚性约束。第三,生产环境问题日益严重。农药化肥等化学现代生产要素对粮食增产的贡献功不可没,同时也对生态环境造成持续负面影响。生态环境对粮食生产的可持续发展成双向关系,生态环境良好会促进粮食经济的可持续发展,反之亦然。

为实现我国粮食安全的保障与可持续发展,必须协调粮食经济发展、资源利用与生态环境保护三者之间的关系。既要尽可能追求粮食产量和质量的最大化,又要兼顾资源与生态环境的可持续性,即避免“环境专制”和“经济增长专制”两个单目标极端化的产生。无疑,全要素生产率(Total Factor Productivity, TFP)为此

\* 闵锐,中南林业科技大学商学院,邮政编码:410004,电子信箱:minrui727@foxmail.com;李谷成,华中农业大学经济管理学院,邮政编码:430070,电子信箱:lgcabc@yahoo.com.cn。

本文得到国家自然科学基金项目“全要素生产率与转变农业发展方式的理论与实证”(项目编号:70903027)、教育部新世纪优秀人才支持计划项目“中国农业全要素生产率若干专题研究”(项目编号:NCET-11-0647)、教育部人文社会科学研究青年基金项目“中国农业全要素生产率增长及其影响因素的实证研究”(项目编号:09YJC790105)、教育部博士学科点新教师基金项目“中国农业发展方式的转变及其可持续性”(项目编号:20090146120004)和中央高校基本科研业务费专项基金项目“农业全要素生产率研究”(项目编号:2011PY133)的资助。作者衷心感谢匿名审稿人的宝贵意见,当然,文责自负。

<sup>①</sup>《国家粮食安全中长期规划纲要(2008-2020)》。

提供了一个合适的分析框架,传统 TFP 理论重点在于考究经济增长与资源节约综合应用,本文在现有研究成果的基础上,将环境因素纳入粮食生产 TFP 统一的研究框架中,力图回答以下问题:改革开放至今我国粮食生产率的发展历程是怎样的?中国粮食生产践行“两型”理念的绩效如何?其环境约束条件下粮食生产率增长的发展源泉是什么(技术进步抑或技术效率改善)、可持续发展能力如何?这不仅对于保障我国粮食安全具有较为深刻的理论意义与现实意义,更为我国“两型农业”理念提供了替代性分析框架。

## 二、文献回顾

20 世纪 90 年代开始,生产前沿面方法随 TFP 理论研究一并引入中国,国内粮食生产全要素生产率测算及其分解方面的研究成果较多,按照其采用生产前沿面方法主要划分为两大分支,即参数方法(parameter estimation)和非参数方法(non-parameter estimation)。

参数方法的代表为随机前沿面生产函数(Stochastic Frontier Approach, SFA),主要优点在于其统计性特征支持相关检验。如亢霞和刘秀梅(2005)利用 SFA 方法及中国省域粮食生产成本和产量面板数据,测算了 1992-2002 年早籼稻、中籼稻、晚籼稻、粳稻、小麦、玉米和大豆总计 7 个粮食分品种的技术效率及波动趋势;黄金波和周先波(2010)则将研究时间跨度扩展到 1978-2008 年,采用全国 30 个省级行政区面板数据对我国粮食生产进行 SFA 分析,同时分析了 TFP 影响因素。对应地,非参数方法则以数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)为代表,优点在于能对多投入多产出生产方式进行处理,同时避免事先设定生产函数形式和参数分布类别而产生的系统偏误。如王明利和吕新业(2006)对 1990-2003 年分省的早籼稻、中籼稻、晚籼稻和粳稻四种水稻品种,测算了生产率增长及其分解形式的时序变动趋势以及空间分布特征;陈卫平和郑风田(2006)对我国 1953-2003 年的稻谷、小麦和玉米三种主要品种进行生产率测算;杨春和陆文聪(2007)使用省域面板数据分析了 1990-2004 年我国玉米生产率增长情况与收敛性检验,以此考察我国不同地区玉米生产差距的变化。

据此,国内粮食生产领域的全要素生产率研究较为成熟,学者们对我国粮食生产整体或分品种、分区域进行了 TFP 测算与分解,但仍存在一定的局限性,主要体现在以下几个方面:研究方法方面,当前研究主要以当期前沿面方法为主,即在模拟特定 DMU 组的生产前沿面时仅以当期技术水平为参照,往往产生技术进步指数小于 1 的结果,大部分研究对此的解释为“发生了技术退步”,按照 Henderson 等(2001)“过去拥有的技术不会被遗忘”的假定,这一现象在经济现实中是无法理解的。同时,“技术退步”的测算结果也会使得技术效率值“被动”提升,最终造成生产效率测算各指数的界限不甚分明、经济内涵与政策含义含混不清;研究内容方面,传统研究仅考虑粮食产量增长(产出指标)与资源节约(投入指标)之间的关系,而未考虑粮食生产环节的附属产出——污染(即“环境友好”方面)。显然,在当前粮食安全新形势下,仅考虑资源单方面因素是远远不够的,还必须在科学发展观的指导下兼顾生态环境保护,使粮食生产增长步入更为科学、优质、环保的良性循环中。

鉴于此,本文力图从以下方面对现有我国粮食全要素生产率研究进行探索式扩展与深化:研究方法上,采用 Tulkens 和 Van den Eeckhaut(1995)提出的序列 DEA 方法,以克服传统生产前沿面方法产生“技术退步”假象的测算失误,这在当前的文献中较为少见,该方法肯定了技术引进与传承的积累性,在构造生产效率测算基准时,充分考虑当期及以前历史所有可行技术水平,使得生产效率的测算与分解的各指数意义更为明确;在生产技术的刻画和模型设定方面,科学、合理的测算粮食生产过程中产生的污染物并将其作为生产过程中的“非合意产出”,使用基于方向距离函数的 Malmquist-Luenberger 生产效率指数,即环境约束下的粮食生产率指数。值得注意的是,当前文献仅在工业经济中有类似的研究成果,如王兵和王丽(2010)、涂正革和肖耿(2009)、吴军(2009)等,农业经济领域尤其粮食生产研究领域暂未发现相关成果。

## 三、研究方法

### (一) 粮食环境生产技术的数学表达

本文按照社会对于产出的偏好、产出对社会福利的改善方向,将产出分为两类:合意产出(Desirable Output  $y$ ) (如粮食产量、产值等)和非合意产出(Undesirable Output  $\mu$ ) (同时产生的污染“副产品”,如土壤、地下水、产品等方面的污染)。包含这两种产出的生产决策单元(Decision Making Unit, DMU)的所有生产可能性集合称为粮食生产的环境技术(The Environmental Technology),反映了环境约束下的各 DMU 生产过

程中利用技术所能达到的投入产出关系。

在产出导向型( Output - Oriented) 生产类型的基础上,假设特定 DMU 组各自使用  $N$  种要素投入  $x = (x_1, \dots, x_N) \in R_N^+$ , 生产出  $M$  种合意产出  $y = (y_1, \dots, y_M) \in R_M^+$  与  $I$  种非合意产出  $u = (u_1, \dots, u_I) \in R_I^+$ , 则环境技术生产可能性集合为:

$$= \{ (x, y, \mu) : (y, \mu) \in P(x), x \in R_N^+ \} \quad (1)$$

同时,该技术形式满足一定假设条件:

(1) 副产品公理( Byproducts Axiom) 假设: 若  $(y, \mu) \in P(x)$   $y = 0$  则  $u = 0$ 。合意产出  $y$  的产生一定会伴随着相应的非合意产出  $u$  的产生; (2) 投入要素  $x$  与合意产出  $y$  的强可处置性( Strong or Free Disposability) 假设: 当可行投入  $x_1 \leq x_2$  则必有  $P(x_1) \subseteq P(x_2)$ ;  $(y, \mu) \in P(x)$  且  $y_1 \leq y_2$  则必有  $(y_1, \mu) \in P(x)$ ; (3) 合意产出  $y$  与非合意产出  $u$  的联合弱可处置性( Jointly Weak Disposability) 假设: 若  $(y, \mu) \in P(x)$   $0 \leq \theta \leq 1$  则  $(\theta y, \theta \mu) \in P(x)$ 。其规定了减少非合意产出  $u$  也会同比例减少合意产出  $y$ , 此假设也保证了生产可能集的函数凸性。

引入跨期概念之后  $t = 1, \dots, T$  个时期  $k = 1, \dots, K$  个 DMU 的投入产出集合向量  $(x_k^t, y_k^t, \mu_k^t)$ , DEA 方法表达粮食环境技术模型为:

$$P^t(x^t) = \left\{ (y^t, \mu^t) : \sum_{k=1}^K z_k^t y_{km}^t \geq y_m^t, m = 1, \dots, M; \sum_{k=1}^K z_k^t x_{kn}^t \leq x_n^t, n = 1, \dots, N \right. \\ \left. \sum_{k=1}^K z_k^t u_{ki}^t = u_i^t, i = 1, \dots, I; z_k^t \geq 0, k = 1, \dots, K \right\} \quad (2)$$

其中  $z_k$  为密度变量,反映了每一截面各 DMU 赋予的权重,其值为正表明该技术结构满足不变规模报酬( Constant Returns to Scale, CRTS) 假设; (2) 式中前两个有关投入  $x$  与合意产出  $y$  的不等式约束表示前文中二者联合的强可处置性,后一非合意产出  $u$  的等式约束表示  $y$  与  $u$  的联合弱可处置性。另外,在模型中加入对合意产出  $y$  与非合意产出  $u$  的副产品公理的两个假设:

$$\sum_{k=1}^K u_{ki}^t > 0, i = 1, \dots, I \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I u_{ki}^t > 0, k = 1, \dots, K \quad (4)$$

式(3)表示至少有一个 DMU 生产出所有非合意产出品种,式(4)说明每一个 DMU 至少产出一一种非合意产出。

### (二) 方向性距离函数( Directional Distance Functions, DDF)

利用 DDF 即可完成对合意产出与非合意产出不同方向的优化调整,以达到粮食产量增长与污染减少的双产出最优的目的。按照产出期望调整要求定义方向向量  $g = (g_y, -, g_u)$ , 有别于传统谢泼德( Shephard) 距离函数假定合意产出  $y$  与非合意产出  $u$  强可处置性及二者同方向同比例扩展的处理, DDF 将  $y$  与  $u$  做相反方向的调整,即增加  $y$  的同时同比例反方向减少  $u$ , 以保证环境约束条件下粮食增长、资源节约与环境保护三者之间和谐共处。DDF 此时被定义为:

$$\vec{D}_0(x, y, \mu; g_y, -, g_u) = \sup \{ \beta : (y + \beta g_y, \mu - \beta g_u) \in P(x) \} \quad (5)$$

$\beta$  表示产出组合  $(y, \mu)$  沿方向向量  $g$  能同时扩大和缩小的最大比例  $\beta \geq 0$ 。值得说明的是,当  $\beta = 0$  时,表示该 DMU 为“最佳实践者”,否则,其处于生产前沿面内部且该值越大则离  $P(x)$  前沿边界越远。

### (三) Malmquist - Luenberger( ML) 指数的构造

为避免传统生产效率指数测算中产生“技术退步”假象,本文引入序列 DEA 与 DDF 思想,时期  $t$  生产单位  $k$   $(x_k^t, y_k^t, \mu_k^t)$  在当期环境技术下的方向性距离函数(方程(6))可通过线性规划问题求解:

$$\vec{D}_0^t(x_k^t, y_k^t, \mu_k^t; y_k^t, -, u_k^t) = \max \beta \\ \text{s. t. } \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^K z_k^t y_{km}^t \geq (1 + \beta) y_{km}^t, m = 1, \dots, M \\ \sum_{k=1}^K z_k^t u_{ki}^t = (1 - \beta) u_{ki}^t, i = 1, \dots, I \\ \sum_{k=1}^K z_k^t x_{kn}^t \leq x_{kn}^t, n = 1, \dots, N; z_k^t \geq 0, k = 1, \dots, K \end{array} \right. \quad (6)$$

其中  $\bar{x}^t = (x^1, \dots, x^{t-1}, x^t) = (\bar{x}^{t-1}, x^t)$ ,  $\bar{y}^t = (y^1, \dots, y^{t-1}, y^t) = (\bar{y}^{t-1}, y^t)$ ,  $\bar{u}^t = (u^1, \dots, u^{t-1}, u^t) = (\bar{u}^{t-1}, u^t)$ 。

进一步地,在此基础上根据 Chung 等(1997)与传统 Malmquist 生产率指数构造思想,定义融入环境污染因素的全要素生产率指数(Malmquist - Luenberger Index, ML 指数)为:

$$ML\_TFP_o^{t+1} = \sqrt{\frac{1 + \overrightarrow{D}_o^t(x^t, y^t, \mu^t; y^t, -u^t)}{1 + \overrightarrow{D}_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}, \mu^{t+1}; y^{t+1}, -u^{t+1})} \cdot \frac{1 + \overrightarrow{D}_o^{t+1}(x^t, y^t, \mu^t; y^t, -u^t)}{1 + \overrightarrow{D}_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, \mu^{t+1}; y^{t+1}, -u^{t+1})}} \quad (7)$$

类似传统 Malmquist 指数,ML 指数同样可以分解为技术进步指数( $ML\_TECH$ )和技术效率变化指数( $ML\_EFFCH$ )两部分,如下所示:

$$ML\_TFP_o^{t+1} = (ML\_TECH)_o^{t+1} \cdot (ML\_EFFCH)_o^{t+1} \quad (8)$$

$$(ML\_TECH)_o^{t+1} = \sqrt{\frac{1 + \overrightarrow{D}_o^{t+1}(x^t, y^t, \mu^t; y^t, -u^t)}{1 + \overrightarrow{D}_o^t(x^t, y^t, \mu^t; y^t, -u^t)} \cdot \frac{1 + \overrightarrow{D}_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, \mu^{t+1}; y^{t+1}, -u^{t+1})}{1 + \overrightarrow{D}_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}, \mu^{t+1}; y^{t+1}, -u^{t+1})}} \quad (9)$$

$$(ML\_EFFCH)_o^{t+1} = \frac{1 + \overrightarrow{D}_o^t(x^t, y^t, \mu^t; y^t, -u^t)}{1 + \overrightarrow{D}_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, \mu^{t+1}; y^{t+1}, -u^{t+1})} \quad (10)$$

#### 四、变量界定及数据处理

##### (一) 研究对象选取

1. 研究时间跨度。本文确定 1978 - 2010 年为观察期,以考察我国粮食生产的近期全貌。

2. DMU 确定与处理。考虑到研究方法对异常数据的高度敏感性及数据可获得性问题,本文剔除了西藏、香港、台湾、澳门四个省级行政区。另外,鉴于考察期间出现中央对行政区的调整,参照大部分文献,仍旧将 1988 年和 1997 年以前的海南省和重庆市分别归并入广东省和四川省,以便数据处理与分析(如李谷成、冯中朝,2010),最终形成省级行政区 DMU 总数为 28 个<sup>①</sup>。

##### (二) 数据来源及相关处理

本文宏观统计数据主要来自于历年《中国农村统计年鉴》、《新中国五十年农业统计年鉴》、《中国畜牧业年鉴》等。为避免价格因素的干扰,本文尽量选择实物量为主的投入产出指标:

##### 1. 产出指标

本文选取的产出(Output)变量分两类、共四个指标,其中合意产出类指标一个:各分省 DMU 粮食总产量  $Y$ (单位:万吨);非合意产出类指标三个:本文参照赖斯芸、杜鹏飞和陈吉宁(2004)使用的单元调查评估法对国内省域粮食生产活动所排放的特定污染进行核算,即三种污染排放物:污染物化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)、总氮(TN)和总磷(TP),单位:万吨。

##### 2. 投入指标

考虑到基于单位种植面积的粮食成本收益数据主要来自于抽样调查,无法精确反映我国粮食生产总量信息,同时,当前鲜有单独针对粮食的要素总量统计数据,故本文采取马文杰(2010)等多数文献采取的利用权重系数将广义农业中用于粮食生产的要素投入剥离出来。

本文共选取六类投入指标:劳动力投入(单位:万人),采用“各地区按三次产业分就业人数”中的第一产业从业总人数;土地投入(单位:千公顷),按照各 DMU 各年的粮食总播种面积计算;机械动力投入(单位:万千瓦),以农用机械总动力指标进行替代;化肥投入(单位:万吨),采用农用化肥施用的折纯量;水资源投入(单位:千公顷),以每年实际农用土地有效灌溉面积计算;役畜投入(单位:头),各 DMU 拥有的农用役畜总数量为准核算粮食生产耕作、运输等役畜投入。权重系数分两种,即  $A = (\text{农业产值} / \text{农林牧渔总产值}) \times (\text{粮食播种面积} / \text{农作物播种总面积})$ ,  $B = \text{粮食播种面积} / \text{农作物播种总面积}$ 。以上六种投入指标皆为大农业口径统计数据,除劳动力投入乘以  $A$  权数以从农业劳动投入总量中剥离出粮食生产劳动投入以外,其他五种生产要素投入皆乘以  $B$  权数以完成粮食生产要素从大农业投入总量中剥离的处理。

#### 五、实证结果分析

根据上述研究方法与处理手段,笔者选用 MaxDEA 5.0 软件包进行数据分析。为了更全面地研究全国

<sup>①</sup>仅为学术处理,不做他用。

平均及每一省份的粮食生产率及其成分的变化,本文对每一 DMU 进行了两种情形下的生产率测算,前者为仅用序列 DEA 处理的不包含环境和污染因素的传统生产率指数,技术效率变化、技术进步和全要素生产率分别以简称“*EFFCH*、*TECH*、*TFP*”表示(以下简称传统生产率指数),后者为同时采用序列 DEA 与 DDF 函数处理的包含资源、环境因素的 ML 生产率指数,分解方式与前者相同,在此基础上加以 Malmquist - Luenberger (ML) 前缀以示区别(以下皆统称为 ML 生产率指数)。当然,本文的重点仍在于分析我国环境约束下的粮食生产率。

(一) 全要素生产率增长(*TFP*)

如表 1 所示,从两种类型的全国平均 *TFP* 增长来看,1978 - 2010 年国内粮食传统 *TFP* 年均增长率为 1.3%,这与同类文献如黄金波和周先波(2010)测算结果(粮食 *TFP* 年均增长率为 1.17%)、李谷成和冯中朝(2010)测算国内农业整体 *TFP* 增长率为 1.39% 相差无几。但在引入了环境和污染因素后,观察期内我国粮食 ML 生产率增长仅为 0.93%,较传统 *TFP* 增长而言损失了 0.37%。从年度数据结果来看,大部分时间里传统 *TFP* 指数皆大于 ML 生产率的增长,很少发生环境规制与生产率增长并存的“波特双赢”局面。传统 *TFP* 与 *ML\_TFP* 之间的差距衡量了环境因素对生产率乃至粮食增长的影响程度,一方面,传统 *TFP* 与 *ML\_TFP* 的差距可看做粮食生产所产生的成本,即物质生产要素的直接使用成本、对环境产生的污染与治理成本方面的间接机会成本。二者差距越大,说明粮食安全保障成本越高;另一方面,资源和环境不仅是粮食生产的载体和经济增长的内生变量,两种类别的生产率差距越小,说明生态与环境对粮食生产的不良反作用力影响越小,粮食经济的增长与资源、环境之间的关系越和谐。

表 1 1978 - 2010 年中国平均粮食生产率及其成分变动

年份	传统生产率指数			ML 生产率指数		
	<i>EFFCH</i>	<i>TECH</i>	<i>TFP</i>	<i>ML_EFFCH</i>	<i>ML_TECH</i>	<i>ML_TFP</i>
1978 - 1979 年	0.9993	1.0448	1.0440	0.9979	1.0192	1.0170
1979 - 1980 年	0.9458	1.0039	0.9495	0.9772	1.0116	0.9885
1980 - 1981 年	0.9978	1.0006	0.9984	0.9803	1.0023	0.9826
1981 - 1982 年	1.0603	1.0162	1.0775	1.0233	1.0105	1.0340
1982 - 1983 年	1.0241	1.0335	1.0584	1.0161	1.0258	1.0424
1983 - 1984 年	1.0197	1.0504	1.0710	1.0040	1.0371	1.0413
1984 - 1985 年	0.9574	1.0008	0.9582	0.9667	1.0008	0.9675
1985 - 1986 年	1.0012	1.0052	1.0063	1.0058	1.0049	1.0107
1986 - 1987 年	1.0219	1.0046	1.0266	1.0083	1.0079	1.0163
1987 - 1988 年	0.9911	1.0128	1.0038	1.0101	1.0087	1.0189
1988 - 1989 年	0.9930	1.0012	0.9942	0.9924	1.0055	0.9979
1989 - 1990 年	1.0392	1.0208	1.0608	1.0107	1.0086	1.0194
1990 - 1991 年	0.9785	1.0101	0.9884	0.9971	1.0098	1.0069
1991 - 1992 年	1.0102	1.0128	1.0231	1.0060	1.0083	1.0144
1992 - 1993 年	1.0248	1.0111	1.0362	1.0000	1.0081	1.0082
1993 - 1994 年	0.9681	1.0072	0.9750	0.9887	1.0101	0.9986
1994 - 1995 年	1.0111	1.0045	1.0157	1.0068	1.0046	1.0114
1995 - 1996 年	1.0379	1.0205	1.0592	1.0086	1.0211	1.0299
1996 - 1997 年	0.9653	1.0146	0.9794	0.9900	1.0186	1.0084
1997 - 1998 年	1.0275	1.0089	1.0366	0.9956	1.0087	1.0043
1998 - 1999 年	0.9677	1.0008	0.9684	0.9826	1.0017	0.9843
1999 - 2000 年	0.9424	1.0151	0.9567	0.9758	1.0125	0.9880
2000 - 2001 年	1.0101	1.0073	1.0174	1.0030	1.0041	1.0071
2001 - 2002 年	1.0212	1.0006	1.0218	0.9998	1.0021	1.0019
2002 - 2003 年	0.9907	1.0083	0.9989	0.9976	1.0104	1.0081
2003 - 2004 年	1.0522	1.0024	1.0547	1.0193	1.0044	1.0238
2004 - 2005 年	1.0008	1.0126	1.0134	1.0082	1.0055	1.0137
2005 - 2006 年	0.9873	1.0130	1.0001	0.9979	1.0078	1.0056
2006 - 2007 年	1.0232	1.0004	1.0237	1.0227	1.0096	1.0326
2007 - 2008 年	1.0158	1.0202	1.0362	0.9968	1.0144	1.0111
2008 - 2009 年	0.9825	1.0015	0.9840	1.0055	1.0082	1.0138
2009 - 2010 年	0.9869	1.0100	0.9968	0.9820	1.0103	0.9921
年际平均	1.0013	1.0117	1.0130	0.9992	1.0101	1.0093

注:此表中年度及年际生产率指数平均皆为各年份内部 DMU 或所有年份指数的几何平均数。

从表 2 所示的国内按东中西部地区划分区域平均 *TFP* 增长来看,国内东、中、西部各区域粮食生产的传统 *TFP* 年均增长率分别为 1.73%、0.95% 和 1.15%,同期 *ML\_TFP* 指数分别为 1.39%、0.89% 和 0.49%。考虑环境因素后,东、中、西部地区生产率各损失了 0.34、0.06 和 0.66 个百分点,说明包含产粮大省最多的中部地区其粮食生产的资源与环境协调性相对较好。区域 *TFP* 增长比较而言,东部地区几乎主导了观察期国内粮食经济 *TFP* 的增长,西部地区两种情况下的生产率结果皆小于东部沿海地区,本文将这种现象借鉴 Hu 等(2005)的说法称之为中国粮食经济发展中的“双重恶化”。原因可能在于经济发展状态较好的东部地区更容易吸收粮食生产的先进生产物资和生产、管理技术(陈耀邦 2010),同时,经济发展水平较高也使得粮食生产者更注重生态环境的保护。

从时间变动模式来看,两种类型的 *TFP* 增长变迁趋势大体保持一致,且都与农业经济增长的走势及周期大致吻合,其中 *ML\_TFP* 较传统 *TFP* 而言波动较为缓和的同时,也更贴近经济现实,这说明加入环境因素测算有助于修正 *TFP* 对现实经济的描述。

表 2 1978 - 2010 年全国各省份年际平均粮食生产率指数及其成分

地区	传统生产率指数			ML 生产率指数		
	<i>EFFCH</i>	<i>TECH</i>	<i>TFP</i>	<i>ML_EFFCH</i>	<i>ML_TECH</i>	<i>ML_TFP</i>
全国平均	1.0013	1.0117	1.0130	0.9992	1.0101	1.0093
北京	1.0010	1.0128	1.0137	0.9977	1.0107	1.0084
天津	1.0048	1.0157	1.0206	0.9986	1.0057	1.0043
河北	1.0046	1.0064	1.0110	1.0007	1.0031	1.0038
辽宁	0.9946	1.0193	1.0138	0.9976	1.0160	1.0135
上海	1.0000	1.0750	1.0750	1.0000	1.0740	1.0740
江苏	0.9998	1.0114	1.0112	0.9979	1.0068	1.0047
浙江	0.9955	1.0080	1.0035	0.9976	1.0070	1.0046
福建	0.9945	1.0083	1.0028	0.9997	1.0092	1.0089
山东	1.0091	1.0079	1.0171	1.0052	1.0068	1.0121
广东	0.9977	1.0090	1.0067	0.9995	1.0075	1.0069
东部地区平均	1.0001	1.0172	1.0173	0.9995	1.0145	1.0139
山西	0.9986	1.0069	1.0055	0.9961	1.0019	0.9980
吉林	0.9995	1.0293	1.0288	0.9999	1.0234	1.0233
黑龙江	1.0000	1.0148	1.0148	1.0000	1.0133	1.0133
安徽	0.9970	1.0049	1.0019	0.9975	1.0014	0.9989
江西	0.9969	1.0091	1.0059	0.9994	1.0144	1.0138
河南	1.0083	1.0039	1.0122	1.0042	1.0027	1.0069
湖北	0.9982	1.0051	1.0033	1.0000	1.0052	1.0052
湖南	0.9982	1.0059	1.0041	0.9996	1.0128	1.0123
中部地区平均	0.9996	1.0099	1.0095	0.9996	1.0094	1.0089
内蒙古	1.0251	1.0042	1.0293	0.9977	1.0044	1.0021
广西	1.0046	1.0070	1.0117	1.0038	1.0042	1.0081
四川	0.9972	1.0069	1.0040	1.0000	1.0118	1.0118
贵州	0.9910	1.0068	0.9977	0.9934	1.0060	0.9993
云南	0.9952	1.0126	1.0077	0.9993	1.0012	1.0005
陕西	1.0029	1.0110	1.0140	0.9988	1.0028	1.0016
甘肃	1.0076	1.0020	1.0096	0.9986	1.0005	0.9991
青海	1.0041	1.0100	1.0141	0.9922	1.0054	0.9975
宁夏	1.0053	1.0079	1.0133	1.0000	1.0221	1.0221
新疆	1.0056	1.0081	1.0138	1.0022	1.0046	1.0068
西部地区平均	1.0038	1.0076	1.0115	0.9986	1.0063	1.0049

注:此表中年度及年际生产率指数平均皆为各年份内部 DMU 或所有年份指数的几何平均数。

## (二) 技术进步(TECH)

传统技术进步( Technology Change ,TECH) 指标反映了“最佳实践者”DMU 构造的生产前沿面在多期动态演变中发生的位移。广义的技术进步涵盖了有关粮食生产的所有技术及各种知识的积累与改进( 俗称“硬技术”) ,也包含粮食生产经营管理、社会科学方面的技术进步( 俗称为“软技术”) ,而 ML 技术进步( ML\_TECH) 则在此基础之上增加了生态环境因素,即粮食生产环节中减少污染产出与环境副作用力的广义技术的推进。

从全国年均技术进步率来看,两种类型的 TECH 皆为正数,1978 - 2010 年国内粮食总量生产传统 TECH 与 ML\_TECH 年均增长率分别为 1.17% 和 1.01%。一方面,由于技术进步对经济增长促进作用的内涵还包括劳动、资本等生产要素投入的质量提高,这一效用在一定的物化生产要素的质量改善上表现出来,而 TFP 核算的技术进步呈现了希克斯中性特质,无法更有效地将生产要素投入质量提高发挥的作用与抽象的纯技术进步效应完全剥离。而且从增长率角度来看,1978 - 2010 年机械动力与化肥投入的年均增长率分别为 6.14% 和 4.14%,两种类型的平均技术进步率皆小于这些现代生产要素的年均增长率,可见技术进步在粮食增长中的真实贡献比例值得关注;另一方面,技术进步率为正是序列 DEA 方法的特点之一,而传统 TECH 增长远大于 ML\_TECH 说明了国家对于粮食生产技术的研发重点在于以提高粮食产量为目标的粮食生产技术本身,并未兼顾减少生产活动对环境伤害的环保技术方面的投资。

从国内分区域比较来看,东中西部地区的传统 TECH 与 ML\_TECH 平均增长率分别为: 1.72% 和 1.45%、0.99% 和 0.94%、0.76% 和 0.63%。整体上,东部地区确实保持了绝对的技术领先优势地位,观察期内很少出现被超越的现象,但是,东部省份的平均传统 TECH 与 ML\_TECH 增长率之间的差距也是最大的,说明东部地区耗费了大量现代科技力量用于粮食品种的改良、先进经营管理技术的提升等方面,但在如何将环保技术融入粮食生产技术投资方面需要进一步改善,以防止“经济发展至上”的片面技术进步目标偏移;中部地区技术进步表现虽然位于东部地区之后,仅在 2005 年之后起到了引领全国 TECH 增长的作用,但该地区一则保持了两种情形下 TECH 差距最小的优势,二则观察期内 TECH 一直表现最为平稳,较东部地区和西部地区而言较少发生大起大落的剧烈波动。不过,考虑到大部分粮食主产省份位于中部地区,而此区域总粮食播种面积占全国近 43.8%,应重点给予该地区科技支撑发挥其粮食增产的潜力;西部地区 TECH 增长一直处于落后地位,不过,自 1999 年中共十五届四中全会明确提出“要实施西部大开发战略”后,尤其自 2000 年起,该地区 ML\_TECH 表现出明显的加速度运行,并一度超过了中部地区,这说明国家政策与扶持的有效性。

另外,从时空分布角度看,国内粮食生产 TECH 还呈现出以下两个特征: 第一,技术进步发生的年份相对集中,其他年份保持平淡。这说明我国粮食生产技术进步主要靠国家和政府在技术研发和推广方面的公共品供给,而农业自发技术进步能力较为落后。这也是舒尔茨定义传统农业的显著特征之一,注意培养生产领域的种粮能手及加大国内产学研产业体系的经验推广显得尤为重要。第二,新世纪以来,国内三大区域 ML\_TECH 增长率之间的差距相较传统 TECH 而言在缩小,一方面说明了粮食生产技术趋于稳定和成熟,另一方面也暴露了我国粮食生产总体技术研发和推广并没有过多考虑环境保护因素。

## (三) 技术效率变化(EFFCH)

作为 TFP 增长重要来源的技术效率改善( Efficiency Change ,EFFCH) ,主要分析的是 DMU 相对生产前沿面而言的每期相对位置变化。1978 - 2010 年我国粮食生产传统 EFFCH 与 ML\_EFFCH 年均变化率分别为 0.13% 和 -0.08%,从区域角度来看,东中西部地区传统 EFFCH 年均增长率分别为 0.01%、-0.04% 和 0.38%,ML\_EFFCH 年均增长率全部为负,分别为 -0.05%、-0.04%、-0.14%。两种情形下的技术效率变化差距一定程度上反映了粮食生产者采纳环境技术的意愿程度,由于农业生态环境的保护有助于粮食生产的可持续发展,因此,可以将采纳环境技术的行为理解为: 粮农规避了一味追求短期粮食产量最大化的短视行为,代之以对粮田环境可持续发展思考的长期种粮决策行为。两种情形下的 EFFCH 变化率差距越小,则粮食安全指数越高。

但从测算结果来看,全国平均及分区域的 ML\_EFFCH 年均增长率皆为负数,而传统 EFFCH 年均增长率大部分为正,说明国内大部分粮食生产者对于环境技术的采纳并不十分热情,我国农业生产仍处于“先污染,后治理”的粮食增产目标至上阶段。不过,值得欣慰的是,包含有大部分粮食主产省的中部地区,两种类型的 EFFCH 差距最小,这可能与这些地区的农业主体是粮食生产有关,粮农会自发在粮食种植过程中尽量

减少有害物质的使用、增加生产物资的使用效率及采取改善粮田生态环境的措施,以维护粮食生产的可持续。

从时间趋势来看,加入环境因素的  $ML\_EFFCH$  较传统  $EFFCH$  而言走势大体一致但波动幅度相对小一些。大规模  $ML$  技术效率改进发生在新世纪初至今,除了国家的政策扶持推动作用之外,这段时期恰好也是国家加大对科学发展观的践行时期,说明粮食生产作为我国宏观经济的重要组成部分也为资源与环境保护做出了一定贡献。研究结果同时发现,两种情形下的  $EFFCH$  变化方向和趋势发生与  $TECH$  不尽相同甚至背离的现象,这在发生较大的  $TECH$  的情形下尤为突出。可能的原因是,技术效率高与变动方向、幅度由两方面因素决定,一是作为衡量基准(benchmark)的生产前沿面,  $TECH$  与  $EFFCH$  的背离可以看做在当前沿技术推移后,由于  $DMU$  未能及时采取“干中学”的努力跟进“最佳实践者”而遭受的惩罚;二是既定粮食生产技术与环境技术的条件下,  $DMU$  对当前所获资源禀赋与现有技术的掌握程度没有达到最理想的状态。在本文测算出  $TECH$  变化较为缓和的背景下仍发生明显的  $EFFCH$  背离的现象,说明了在市场经济的环境下,提高粮农生产与采纳环境技术的积极性尤为重要,同时也暴露了我国农业科技推广体系的脆弱性。

## 六、结论性评述

本文在使用单元调查评估法测算国内各省份粮食生产污染量的基础上,同时考虑合意产出(粮食产量)最大化、非合意产出(污染)最小化的双重目标,将“资源节约、环境友好”同时纳入全要素生产率考虑范畴,采用基于方向距离函数和序列  $DEA$  技术的 Malmquist - Luenberger 指数方法重新测算了改革开放以来“两型”视角下的我国粮食全要素生产率,并将其进一步分解为环境约束下的粮食生产技术进步( $ML\_TECH$ )及效率改善( $ML\_EFFCH$ ),所得结论如下:

1. 序列  $DEA$  与 Malmquist - Luenberger 指数方法确实对粮食生产率的测算具有一定修正作用,结论更为科学合理。从测算结果来看,两种情形下的技术进步率皆为正数,较当期测算方法而言,该结果更为贴近经济现实;同时,观察期内  $ML$  生产率指数较传统生产率指数而言结果更为稳定,不仅波动幅度较小,而且其发展趋势更符合农业及粮食经济发展历史事实及增长趋势与特征。

2. 环境因素对于  $TFP$  及其成分有较大影响。大部分情况下,全国平均及各省份  $DMU$ ,加入环境因素的  $ML$  生产率指数小于传统方式的测算结果。这说明,第一,国内粮食安全导向仍是以追求产量第一为主,并没有将环境友好提升到与粮食增长同等高度位置;第二,按照“波特假说”,环境约束在增加粮食种植者成本的同时,会激发其自主创新以采用有利于粮食增产和资源节约、环境友好的新技术,产生提高粮食生产率的“创新补偿”效应。但在测算结果的动态发展中,我国粮食生产并没有过多发现“波特双赢”的局面。不过,这一情形在新世纪伊始有所改变,在国家政策的引导下,环境风暴也悄然影响到农业生产领域。

3. 近年来,我国粮食生产率呈增长趋势,为粮食增长做出了一定贡献,但其力量有限:第一,  $TFP$  年均增长值远远小于污染排放和现代科技生产要素(如机械动力、化肥等)的增长速度。第二,两种情形下的  $TFP$  主要贡献来源仍是技术进步,大多时间出现技术进步对  $TFP$  增长的“单驱动”推动力,此类技术进步为主导的经济增长方式成本较高,且通常具有“增长效应”(发散效应),易产生国内粮食生产者个体或省份整体间的差距,造成不稳定因素。同时,技术效率的低下也会引起资源的无谓浪费与环境损伤。第三,技术进步与技术效率变化的背离导致损失,当技术进步推动  $TFP$  增长时常发生技术效率下降,二者较少出现同向变化,说明国内对粮食生产先进管理技术的推广和扩散不太成功,“产学研”三领域存在一定隔离与封闭的断层。

4.  $TFP$  发展地区差异明显。东部地区  $TFP$  及其成分皆处于全国领先地位,作为粮食主产区的中部地区表现一般,而西部地区则同时在传统  $TFP$  和  $ML\_TFP$  结果处于双重劣势地位。一方面,中部地区承担着我国粮食安全主要责任,但其生产率水平不高而无法反映其应有的粮食生产效率优势,说明政府应重点对其进行政策扶持与技术引导。而东部地区在两种情形的测算下均保持优势,经济条件与粮食生产效益的高低会对粮农的生产积极性、新技术采纳产生重要影响;东西部区域差距较大,这一点主要体现在技术效率改善指标上,因此,除了需要发挥东部地区粮食生产“污染光环”作用,将其先进的生产管理技术与环境技术向落后的西部地区转移外,也应适当提高中西部地区粮食生产者的经济效益,以提高粮农生产积极性,促使这些地区内部自发实现  $TFP$  的升级与优化。由于经济增长、资源与环境三者之间的关系并不是对立的,一旦形成均衡关系易产生螺旋状结构,造成经济发展绩效走向加速优化或恶化两种截然不同的循环发展模式。因此,

必须提高中部和西部地区的粮食生产率 避免国内不同区域间差距呈两极化发展趋势 ,以维护国家粮食安全与稳定、实现国内粮食经济步入可持续发展良性循环轨道。

#### 参考文献:

1. 陈卫平、郑风田 2006 《中国的粮食生产力革命——1953 - 2003 年中国主要粮食作物全要素生产率增长及其对产出的贡献》,《经济理论与经济管理》第 4 期。
2. 陈耀邦 2010 《发展中国特色现代农业的思考》,《华中农业大学学报( 社会科学版) 》第 4 期。
3. 公茂刚 2010 《发展中国家粮食安全研究》,东北师范大学博士学位论文。
4. 黄金波、周先波 2010 《中国粮食生产的技术效率与全要素生产率增长: 1978 - 2008》,《南方经济》第 9 期。
5. 亢霞、刘秀梅 2005 《我国粮食生产的技术效率分析——基于随机前沿分析方法》,《中国农村观察》第 4 期。
6. 李谷成、冯中朝 2010 《中国农业全要素生产率增长: 技术推进抑或效率驱动——一项基于随机前沿生产函数的行业比较研究》,《农业技术经济》第 5 期。
7. 赖斯芸、杜鹏飞、陈吉宁 2004 《基于单元分析的非点源污染调查评估方法》,《清华大学学报( 自然科学版) 》第 9 期。
8. 马文杰 2010 《中国粮食综合生产能力研究》,科学出版社。
9. 涂正革、肖耿 2009 《环境约束下的中国工业增长模式研究》,《世界经济》第 11 期。
10. 王兵、王丽 2010 《环境约束下中国区域工业技术效率与生产率及其影响因素实证研究》,《南方经济》第 11 期。
11. 王明利、吕新业 2006 《我国水稻生产率增长、技术进步与效率变化》,《农业技术经济》第 6 期。
12. 吴军 2009 《环境约束下中国地区工业全要素生产率增长及收敛分析》,《数量经济技术经济研究》第 11 期。
13. 王雅鹏 2011 《推进湖北省现代农业发展的思考》,《华中农业大学学报( 社会科学版) 》第 4 期。
14. 杨春、陆文聪 2007 《中国玉米生产率增长、技术进步与效率变化: 1990 - 2004 年》,《农业技术经济》第 4 期。
15. Chung ,Y. H. ,R. Fare ,and S. Grosskopf. 1997. "Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach. " *Journal of Environmental Management* 51( 3) : 229 - 240.
16. Henderson ,D. J. ,and R. R. Russell. 2001. "Human Capital and Convergence: A Production - Frontier Approach. " *Riverside Working Papers* 46( 4) : 1167 - 1205.
17. Hu Jin - Li ,Her - Jiun Sheu ,and Shih - Fang Lo. 2005. "Under the Shadow of Asian Brown Clouds: Unbalanced Regional Productivities in China and Environmental Concerns. " *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* ,12( 4) : 429 - 442.
18. Tulkens ,H. ,and P. Van den Eeckhaut. 1995. "Non - Parametric Efficiency ,Progress and Regress Measures for Panel Data: Methodological Aspects. " *European Journal of Operational Research* 80( 3) : 474 - 499.

## A Study on Growth and Decomposition of China's Grain TFP Growth under Environmental Constrains: Empirical Analysis Based on Provincial Panel Data and Sequential Malmquist - Luenberger Index

Min Rui<sup>1</sup> and Li Gucheng<sup>2</sup>

( 1: Business School of Central South University of Forestry and Technology;

2: College of Economics and Management ,Huazhong Agricultural University)

**Abstract:** By applying directional distance function and sequential DEA ,this paper uses the provincial panel data to calculate both traditional and environmental TFP growth of China's grain ,then decomposes them into technological progress and efficiency changes over the period from 1978 to 2010. The major conclusions are as follows: whether accounting the environmental factors has a significant impact on the calculation results; the contribution of traditional and environmental TFP growth are limited and their sources are technological progress individually ,the effect of technical efficiency improving is relatively limited because of the lacking dynamic and continued deterioration of technical efficiency and the cost of economic growth is high yet; from the point in coordination degree of yield growth ,resources and environment ,the differences among regional TFP growth and its modes are significant ,the eastern region is better than the other two and the western region probably is in the situation of disequilibrium.

**Key Words:** TFP; Malmquist - Luenberger Index; Technological Progress; Technical Efficiency; Grain

**JEL Classification:** D24 ,Q16 ,Q18

( 责任编辑: 彭爽)