

# 中国农业绿色全要素 生产率变化研究: 1992 – 2010 年

王 奇 王 会 陈海丹\*

**摘要:** 基于随机前沿生产函数分析方法,本文将农业生产中的氮磷流失作为一种要素投入测算了中国农业 1992 – 2010 年的绿色全要素生产率( GTFP) 变化指数,并与传统的全要素生产率( TFP) 进行了比较分析。结果表明,全国层面来看,研究期内我国农业 GTFP 年均增长与 TFP 基本相同; 分解分析表明,我国农业 GTFP 和 TFP 的增长均主要依靠技术进步推动,技术效率的降低抵消了部分技术进步的效果,纳入环境要素后技术效率的下降趋势和技术进步的增长趋势都有所放缓。分区域来看,东部地区 GTFP 年均增幅高于其 TFP, 中部地区二者基本相等,西部地区前者年均增幅低于后者。

**关键词:** 农业 绿色全要素生产率 随机前沿分析 Malmquist TFP 指数

## 一、引言与文献综述

改革开放以来,中国农业生产特别是粮食生产取得了举世瞩目的发展成就,根据《中国统计年鉴(2011)》在人口数量持续增加、耕地面积不断减少的情况下,人均粮食占有量从 1978 年的 319 千克上升到 2010 年的 409 千克。同时 粮食生产过程也带来了严重的水体污染。根据环境保护部、国家统计局、农业部联合发布的《第一次全国污染源普查公报》2007 年我国种植业流失的总氮、总磷分别为 159.78 万吨、10.87 万吨,分别占到农林牧渔业和生活氮磷排放总量的 33.8% 和 25.7% 成为我国水体污染的重要来源。如何在进一步提高农业产出的同时减少氮磷污染排放 是我国农业可持续发展的关键问题。

全要素生产率( Total Factor Productivity, TFP) 是衡量生产过程中利用全部要素投入获得产出的能力水平的重要指标。关于我国农业生产的全要素生产率,国内外学者已经进行了较多研究。早期研究多关注 20 世纪 80 年代我国农村制度改革对农业 TFP 增长的影响。20 世纪 80 年代中期农村制度改革基本完成,制度因素在农业发展中的作用逐渐降低,关于我国农业 TFP 的研究开始关注其增长来源,即对 TFP 增长进行分解分析。

对 TFP 增长分解分析的结果,与所采用的方法密切相关。TFP 测算方法主要包括非前沿方法( Non-frontier Approach) 与前沿方法( Frontier Approach)。非前沿方法假定不存在生产技术无效率,主要包括指数法和生产函数估计方法。前沿方法考虑了技术无效率,以实际投入产出与前沿面的距离表征无效率水平,一般构建 Malmquist TFP 指数表征全要素生产率。在假定规模报酬不变时,TFP 变化可以分解为技术进步变化与技术效率变化两部分。前沿面的估计包括非参数的数据包络分析( Data Envelopment Analysis, DEA) 和参数的随机前沿分析( Stochastic Frontier Analysis, SFA) 两种方法。DEA – Malmquist 方法可以进一步将技术效率变化分解为纯技术效率变化和规模效率变化,而 SFA – Malmquist 方法可以将衡量的内容扩展到包括规模效率变化、配置效率变化( Kumbhakar and Lovell 2000)。

\* 王奇,北京大学环境科学与工程学院,邮政编码: 100871,电子信箱: qiwang@ pku. edu. cn; 王会,北京林业大学经济管理学院,邮政编码: 100083,电子信箱: wanghui2438@ 163. com; 陈海丹,北京大学环境科学与工程学院,邮政编码: 100871,电子信箱: diye111@ 126. com。

本文得到国家“十一五”科技支撑计划项目“沿湖地区农业面源污染阻控关键技术研究”(项目编号: 2007BAD87B01) 的资助。非常感谢匿名审稿专家的建设性意见,当然文责自负。

关于中国农业 TFP 的研究 20 世纪 90 年代中期以前多基于非前沿方法 ,之后则多采用前沿方法( 全炯振 2009)。近年来关于中国农业 TFP 增长的主要研究汇总见表 1。从方法来看 ,当前研究多采用前沿方法 ,其中以非参数的 DEA 方法居多。从结果来看 ,几乎全部研究表明中国农业 TFP 呈增长趋势 ,增长率多在 2% ~6% 之间;从 TFP 分解分析来看 ,技术进步多推动了 TFP 增长而技术效率变化则多阻碍 TFP 增长;分地区来看 ,几乎全部研究表明东部地区农业 TFP 增长最快 ,关于中部与西部地区农业 TFP 增速的比较没有得出较为一致的结论。

表 1 近年来关于中国农业 TFP 增长的主要研究结果

时期	方法	农业 TFP 增长率及其构成( %)					不同地区农业 TFP 增长率( %)			作者
		TFP	技术进步	技术效率	规模效率	配置效率	东部地区	中部地区	西部地区	
1978 ~ 2002 年	DEA - Malmquist	1.7	3.2	-1.4			3.7	0.4	1.1	江激宇等(2005)
1978 ~ 2004 年	DEA - HMB TFP	2.2	3.3	-1.4	-0.2	0.5(a)	3.9	1.1	1.2	李静和孟令杰(2006)
1978 ~ 2005 年	DEA - Malmquist	2.8	4.3	-1.4			5.6	1.0	1.5	李谷成(2009)
1978 ~ 2005 年	DEA - Malmquist	3.3	1.7	1.6			4.9	2.4	2.6	周端明(2009)
1978 ~ 2007 年	SFA - Malmquist	0.7	6.5	-5.5			2.4	0.7	-0.9	全炯振(2009)
1980 ~ 2000 年	DEA - Malmquist	6.0	1.5	4.4						Coelli 和 Rao(2005)
1980 ~ 2005 年	DEA - Malmquist	2.2	4.2	-1.9			4.2	1.4	0.7	曾先峰和李国平(2008)
1980 ~ 2006 年	DEA - Malmquist	33.4	41.3	-5.6			44.6	27.6	26.9	李录堂和薛继亮(2008)
1981 ~ 2003 年	DEA - Malmquist	3.7								赵蕾和王怀明(2007)
1990 ~ 2003 年	DEA - Malmquist	2.6	5.5	-2.8			4.8	2.5	0.7	陈卫平(2006)
1990 ~ 2005 年	DEA - Malmquist	2.6	1.5	1.1						车维汉和杨荣(2010)
1991 ~ 2008 年	DEA - Malmquist	4.7	5.0	-0.4			2.7	7.8	12.3	方福前和张艳丽(2010)
1992 ~ 2007 年	SFA - Malmquist	-2.6	2.0	-4.4			1.4	-3.3	-6.0	王珏等(2010)
1997 ~ 2009 年	SFA - Malmquist	5.5(b)	1.0	2.0	10.7	-8.2				田伟和谭朵朵(2011)

注: (1) 此为投入产出混合效应变化; (2) 研究内容为中国棉花生产的 TFP 增长。

当前关于我国农业 TFP 的研究多以农业增加值为产出变量 ,投入变量则多选择土地、资本、劳动力等传统生产要素 具体包括农业劳动力、农业机械总动力、有效灌溉面积、化肥施用量、农作物播种面积和大牲畜数量等。事实上 ,农业生产在获得粮食等经济产出的同时 ,也带来了化肥流失、农药流失等环境污染。由于环境污染往往没有市场价值 ,所以现有农业 TFP 测算研究较少包括环境污染等相关变量。然而 ,环境污染具有负的外部性 给社会带来了福利损失 不包含环境污染的 TFP 测算将使得评估结果存在偏差。

将环境污染等非期望产出纳入 TFP 测算框架是近年来生产率研究中的一个重要方面( Hailu and Veeman 2001) ,通常将考虑了环境因素的 TFP 称为绿色 TFP(Green TFP, GTFP)。将环境污染纳入农业 TFP 测算主要包括两种计算方式 ,一种方式将环境污染作为一种坏的产出 ,另一种方式是将环境污染作为一种要素投入。Oskam(1991) 较早地将环境污染纳入农业 TFP 测算 ,考虑了农业生产带来的大气污染、地表及地下水污染、土壤污染以及农业生产对自然景观破坏等负的外部效应。Reinhard 等(1999) 将环境污染和资本投入、人力投入以及中间投入共同作为农业的生产性投入要素考虑 ,对荷兰奶牛农场的技术效率和环境效率进行评价。Ball 等(2001) 基于 Malmquist - Luenberger( ML) 指数方法 ,对美国 1972 ~ 1993 年农业发展的全要素生产率进行测算 ,将杀虫剂、氮的流失与淋失作为坏的产出 ,发现水污染减少的州的 ML 指数较高。Rezek 和 Perrin(2004) 基于超越对数函数构建 Malmquist TFP 指数对美国四个平原州 1960 ~ 1996 年间的农业 TFP 进行测算 ,将氮素、杀虫剂流失作为一种坏的产出 ,发现纳入环境污染后的 TFP 年均增长率从未纳入的 1.25% 下降到 0.98% ,且 1988 年之前的 GTFP 年际增长率低于 TFP ,之后则前者高于后者。Ball 等(2004) 将农业生产中使用的杀虫剂带来的环境影响作为一种产出构建表征 GTFP 的 Malmquist 指数 ,发现美国农业 1960 ~ 1972 年间 GTFP 年均增长率低于传统 TFP ,而 1973 ~ 1996 年间 GTFP 年均增长率高于传统 TFP 。Nanere 等(2007) 基于增长核算方法将农业生产带来的水土流失作为一种负产出对澳大利亚大农场 1953 ~ 1994 年间的 GTFP 进行了研究。整体来看 ,国外已对农业 GTFP 进行了较多研究 ,研究方法多使用前沿方法;从研究结果来看 ,通常情况下农业 GTFP 增长率多低于 TFP 增长率 ,但是在环境管制较严的地区或者时期 农业 GTFP 增长率高于 TFP 增长率。

国内已有一些研究将环境要素纳入经济增长 TFP 测算中。李俊和徐晋涛(2009) 运用 DEA - Malmquist

指数方法将废水、二氧化硫、固体废弃物排放量作为坏的产出纳入我国经济 TFP 测算,发现 1991–2004 年我国经济传统 TFP 与 GTFP 年均分别增长 0.15% 和 0.30%。杨俊和邵汉华(2009)运用 DEA–Malmquist–Luenberger 指数方法将二氧化硫排放量作为坏的产出纳入工业经济 TFP 测算,发现 1998–2007 年我国工业 TFP 年均增长 11.1%,而 GTFP 年均增长 9.6%。吴军等(2010)运用 DEA–Malmquist–Luenberger 指数方法研究发现 2000–2007 年我国经济传统 TFP 年均增长 4.6%,而 GTFP 年均增长仅 1.3%;王兵等(2010)运用相同方法研究发现 1998–2007 年我国经济传统 TFP 年均增长 1.14%,而 GTFP 年均增长 1.80%。国内对农业 GTFP 研究相对较少,薛建良和李秉龙(2011)运用 Nanere 等(2007)的方法即增长核算方法将化学需氧量、总氮、总磷流失量作为一种坏的产出纳入我国农业 TFP 测算,发现 1990–2008 年我国农业 TFP 年均增长 3.66%,而 GTFP 年均增长率较传统 TFP 低 0.09~0.6 个百分点。整体来看,国内关于 GTFP 的研究主要采用 DEA–Malmquist–Luenberger 指数方法对国民经济或者工业经济展开研究,关于 GTFP 增长率与 TFP 增长率之间的大小关系也没有形成较为一致的结论。薛建良和李秉龙(2011)对农业 GTFP 进行了探索,但其采用的增长核算方法需要对农业生产造成的环境污染价值进行评估,而环境污染价值评估方法尚不成熟,不同的环境价值评价方法往往导致结果相差较大。

综上,国内关于农业全要素生产率的测算研究多为传统 TFP 而未包含环境要素,国内 GTFP 测算研究则多集中于整个国民经济或者工业生产方面。在这样的背景下,本文尝试运用 SFA–Malmquist 指数方法,将农业生产带来的环境污染作为一种要素投入,研究我国农业的绿色全要素生产率,并与传统全要素生产率进行比较。由于农林牧渔业在环境污染方面特征相差较大,种植业主要是氮磷流失,而畜牧业还有化学需氧量排放等,因此这里主要选择种植业研究其绿色全要素生产率。

## 二、模型与数据

### (一) Malmquist TFP 指数

关于农业 TFP 测算方法的选择,考虑到我国农业生产存在技术无效率,选择前沿分析方法。基于前面构建 Malmquist 指数表征全要素生产率。Malmquist TFP 指数以分别基于两个时期 Malmquist TFP 指数变化的几何平均值来表征 TFP 在这两个时期间的变化,并将该指数分解为技术效率变化和技术进步两个部分。一般地,Malmquist TFP 指数可以表示为:

$$M(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \frac{d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d^t(x_t, y_t)} \times \left[ \frac{d^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \times \frac{d^t(x_t, y_t)}{d^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

其中  $x_t, x_{t+1}$  分别为  $t$  年、 $t+1$  年的生产要素投入,  $y_t, y_{t+1}$  分别为  $t$  年、 $t+1$  年的产出。 $d^t, d^{t+1}$  分别为某生产单元实际产出与  $t$  年、 $t+1$  年生产前沿面的距离函数,例如  $d^t(x_{t+1}, y_{t+1})$  表示某生产单元  $t+1$  年的实际产出相对于  $t$  年生产前沿面最优产出的距离。式(1)右边的两项分别表示技术效率变化指数和技术进步指数。

### (二) 随机前沿分析模型

关于生产前沿面估计方法的选择,由于农业生产受气候、天气、自然灾害等自然条件影响较大而具有较大的不确定性,而 DEA 方法对样本异常值较为敏感,因此选择 SFA 方法估计前沿生产函数。这里主要以 Battese 和 Coelli(1992) 构建的随机前沿模型为基础,将种植业生产带来的氮磷流失作为一种要素投入,构建纳入环境要素的农业随机前沿生产函数:

$$Y_{it} = F(X_{it}, Z_{it}, \beta; \beta) \exp(V_{it} - U_{it}) \quad (2)$$

其中,角标  $i$  表示第  $i$  个生产单元,  $t$  表示年份,  $Y_{it}$  为种植业增加值,  $X_{it}$  为种植业传统投入要素向量,  $Z_{it}$  为环境要素投入,  $\beta$  为参数向量;  $V_{it}$  表示随机误差项,假设其服从正态分布  $N(0, \sigma_V^2)$ ;  $U_{it}$  表示非负的无效率项,假定其为时变的,即满足:

$$U_{it} = \exp[-\eta(t-T)] U_i \quad (3)$$

其中  $U_i$  服从截尾正态分布  $N^+(0, \sigma_U^2)$ ,并且与  $V_{it}$  相互独立。 $T$  为时间变量,  $\eta$  表示无效率项的时间变化趋势,如果  $\eta$  大于零则表示生产效率随时间不断升高。定义:

$$\gamma = \frac{\sigma_U^2}{\sigma_U^2 + \sigma_V^2} \quad (4)$$

$\gamma$  表征混合误差项方差中由无效率随机项解释的比例。

这时,生产单元  $i$  在时期  $t$  的技术效率(Technical Efficiency)表达为:

$$TE_i = \exp(-U_{it}) \quad (5)$$

生产单元  $i$  从时期  $t$  到  $t+1$  的技术效率变化指数(Efficiency Change)为:

$$EC_{i(t,t+1)} = \frac{TE_{i(t+1)}}{TE_{it}} \quad (6)$$

生产单元  $i$  在时期  $t$  的即时技术进步率为其生产函数对数对  $t$  的偏导数,其从时期  $t$  到  $t+1$  的技术进步率由其在时期  $t$  和  $t+1$  的即时技术进步率的算数平均得到,进而对技术进步率取指数从而得到技术进步指数:

$$TC_{i(t,t+1)} = \exp\left[\frac{1}{2}\left(\frac{\partial \ln F(X_{it+1}, Z_{it+1}, t+1; \beta)}{\partial(t+1)} + \frac{\partial \ln F(X_{it}, Z_{it}, t; \beta)}{\partial(t)}\right)\right] \quad (7)$$

基于(1)式结合(6)式和(7)式可以得到生产单元  $i$  从  $t$  到  $t+1$  期的 GTFP 变化指数:

$$GTFP_{i(t,t+1)} = EC_{i(t,t+1)} \times TC_{i(t,t+1)} \quad (8)$$

GTFP 变化指数是  $t+1$  时期的绿色全要素生产率水平与  $t$  时期的绿色全要素生产率水平的比值,该指数大于 1 表示绿色全要素生产率水平增长。如果生产函数不包括环境要素,则其度量的为传统的 TFP 变化指数。

### (三) 计量模型选择

关于生产函数的具体形式,这里选择超越对数形式的生产函数,并采用非中性技术进步设定。随机前沿生产函数的具体形式为:

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & \beta_0 + \sum_j \beta_j \ln X_{ij} + \beta_Z \ln Z_{it} + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \beta_{jk} \ln X_{ij} \ln X_{ik} + \sum_j \beta_{jZ} \ln X_{ij} \ln Z_{it} + \\ & \frac{1}{2} \beta_{ZZ} (\ln Z_{it})^2 + \sum_j \beta_{ji} \ln X_{ij} T + \beta_{Zt} (\ln Z_{it}) T + \beta_t T + \frac{1}{2} \beta_u T^2 + V_{it} - U_{it} \end{aligned} \quad (9)$$

可见,需要估计的参数包括(9)式中的系数向量  $\beta$  以及  $\eta, \gamma, \sigma_V^2, \sigma_U^2$ 。

### (四) 数据及其预处理

#### 1. 产出变量

种植业产出变量选择我国各省市 1992–2010 年的种植业增加值,其中为了保持数据的一致性,将 1997 年以后各年重庆市的指标并入了四川省(其他变量同)。为了扣除价格波动因素,采用各年农产品生产价格总指数将种植业增加值调整为以 1990 年不变价计的数据。

#### 2. 投入变量

种植业生产中的投入变量通常包括土地、劳动力、机械、化肥、灌溉等因素,这里将投入要素分为资本投入、劳动力投入两大类。

关于资本投入,目前我国没有直接统计农业资本存量的数据,这里采用石慧等(2008)的方法以固定资产原值近似替代资本投入。首先根据农民家庭平均每户生产性固定资产原值与乡村户数相乘得到某地区的固定资产总值,并假定样本数据期间内的生产性固定资产都是在 5 年前购置,最后以农业生产资料价格总指数将当年价折算为 1990 年不变价,其中,由于农业生产资料价格总指数从 1994 年开始统计,1992–1993 年的价格指数以农村工业品零售价格总指数代替。

关于劳动力投入,理论上应选用种植业生产过程中实际投入的劳动量,此处选用种植业的从业人员数来表征。由于现行统计仅有农林牧渔业从业人员数据,而没有单独的种植业从业人员数据,这里以种植业增加值在农林牧渔业增加值中的比例对农林牧渔业从业人员数进行处理得到种植业从业人员数。

#### 3. 环境污染变量

GTFP 测算需要纳入环境污染变量,这里以种植业生产活动中的氮磷流失量作为环境污染变量。关于种植业氮磷流失量,仅第一次全国污染源普查给出了统计数据,常规统计资料则没有统计数据。首先将污染源普查得到的 2007 年种植业氮磷流失量折算为化肥量,结合当年全国化肥使用量得到 2007 年的化肥流失率,并假定各省各年的化肥流失率与此相同,基于 2007 年的全国化肥流失率和各省历年的化肥使用量得到各省历年的化肥流失量,以此表征氮磷流失量。

最后 将得到的种植业增加值、资本投入、劳动力投入、氮磷流失量数据除以相应的农作物播种面积 ,从而得到亩均变量。数据来源于《改革开放三十年农业统计资料汇编》、《中国农村统计年鉴》、《中国农业年鉴》和《中国统计年鉴》。所选择变量的统计摘要见表 2。

表 2

产出与投入变量描述性统计

统计量	种植业增加值 (元/亩)	资本投入 (元/亩)	劳动力投入 (人/亩)	氮磷流失量 (千克/亩)
样本数	570	570	570	570
平均值	271.6	431.7	0.078	0.62
标准差	133.8	412.0	0.028	0.24
最小值	83.7	91.1	0.025	0.15
最大值	736.7	3 353.6	0.152	1.32

另外 这里比较分析我国东中西部地区农业 GTFP 变化情况 ,东中西部地区的划分采用现行国家统计的划分方法 ,东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南共 11 个省份 ,中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南共 8 个省份 ,西部地区包括内蒙古、广西、四川( 含重庆 )、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆共 11 个省份。

### 三、结果与分析

#### (一) 模型设定形式的检验

对模型设定形式进行了三个检验: 其一 检验超越对数生产函数的适用性; 其二 检验技术进步的非中性特征; 其三 检验环境污染变量的显著性。这些检验均通过构建 LR 似然比统计量( Likelihood – ratio Test Statistics) 进行  $LR = -2(\ln L_0 - \ln L_1)$  ,其中  $\ln L_0$ 、 $\ln L_1$  分别为零假设和备择假设下的对数似然函数值。如果零假设成立 那么检验统计量 LR 服从自由度为 n 的渐进卡方分布 ,其中 n 为约束条件的个数。给定显著性水平  $\alpha$  通过比较 LR 统计量与临界值  $\chi^2_{\alpha}(n)$  来判断是否拒绝零假设。模型的检验结果见表 3。可见 ,在 1% 的显著性水平下 ,所有零假设均被拒绝。

表 3

模型设定形式检验结果

序号	零假设( $H_0$ )	对数似然值	LR 统计量	临界值 $\chi^2_{0.01}(n)$	检验结论
1	$\beta_{jk} = \beta_{jZ} = \beta_{ZZ} = \beta_{jt} = \beta_{Zt} = \beta_{tt} = 0, \forall j, \forall k$	364.6	109.7	23.2	拒绝
2	$\beta_{jt} = \beta_{Zt} = 0, \forall j$	399.8	39.4	11.3	拒绝
3	$\beta_Z = \beta_{jZ} = \beta_{ZZ} = \beta_{Zt} = 0, \forall j$	404.3	30.4	15.1	拒绝

注: 无约束回归的对数似然值为 419.4; 临界值为 1% 显著水平下统计量的临界值。

#### (二) 随机前沿函数估计结果

基于 Stata10.0 对设定的随机前沿函数进行计量分析 ,分别得到包括环境要素和不包括环境要素的随机前沿农业生产函数 ,计量结果见表 4。

从 Wald 统计量及其伴随概率来看 ,两个计量模型整体上显著 ,具有较好解释能力。

从生产函数估计结果考察技术效率特征。表征技术无效率误差项均值的参数  $\mu$  在纳入环境要素和未纳入环境要素时均通过了 1% 显著性水平检验 ,表明我国农业生产中存在技术无效率状况; 比较而言 ,纳入环境要素时的  $\mu$  值较小 ,表明考虑环境要素时技术无效率状况比不考虑环境要素时有所改善。考察技术无效率误差项的方差 ,参数  $\gamma$  在纳入环境要素和未纳入环境要素时分别达到 0.944 和 0.954 ,这表明 1992 – 2010 年我国农业生产中的技术无效率主要由人为可控的因素引起 ,而统计误差等随机因素引起的技术无效率较小。进一步考察技术无效率的时变特征 ,纳入环境要素时参数  $\eta$  不显著 ,表明此时技术效率随时间变化特征不明显; 相比之下 ,纳入环境要素时参数  $\eta$  通过了 1% 显著性水平检验且均小于零 ,表明此时技术效率随着时间推移而不断降低。

考察农业生产函数的技术进步特征 ,两种情况下时间变量的一次项回归系数均通过了 1% 显著性水平检验且均为正 ,二次项回归系数也均通过了 1% 显著性水平检验但均为负 ,这表明随着时间的技术进步在不断变慢。时间变量与劳动力投入、环境要素投入交叉项的回归系数均显著且为正 ,这表明存在明显的技术进

步,而且技术进步呈现出非中性特征。

表4

随机前沿函数估计结果

自变量	GTFP 生产函数			TFP 生产函数		
	回归系数	标准误	伴随概率	回归系数	标准误	伴随概率
lnk	0.664 **	0.260	0.011	0.823 ***	0.255	0.001
lnl	0.251	0.437	0.566	0.754 *	0.437	0.084
lne	-0.304	0.360	0.398			
t	0.101 ***	0.026	0.000	0.109 ***	0.022	0.000
lnk × lnk	-0.050 ***	0.016	0.002	-0.065 ***	0.016	0.000
lnl × lnl	0.107 **	0.053	0.046	0.127 **	0.052	0.015
lne × lne	-0.015	0.050	0.769			
t × t	-0.003 ***	0.001	0.000	-0.002 ***	0.000	0.000
lnk × lnl	0.066	0.049	0.178	0.028	0.050	0.580
lnk × lne	-0.062	0.045	0.170			
lnl × lne	-0.238 ***	0.081	0.003			
t × lnk	0.005	0.003	0.116	0.001	0.003	0.595
t × lnl	0.017 ***	0.005	0.002	0.015 ***	0.004	0.000
t × lne	0.012 **	0.006	0.032			
const	4.372 ***	1.180	0.000	4.542 ***	1.148	0.000
μ	0.720 ***	0.115	0.000	0.804 ***	0.129	0.000
η	-0.002	0.004	0.619	-0.010 ***	0.002	0.000
σ <sub>u</sub> <sup>2</sup>	0.168	0.061		0.220	0.077	
σ <sub>v</sub> <sup>2</sup>	0.010	0.001		0.011	0.001	
γ	0.944	0.020		0.954	0.016	
截面数		30			30	
时期数		19			19	
观测数		570			570	
Wald 统计量		1180.74			1080.47	
Wald 伴随概率		0.000			0.000	
对数似然函数		419.4			404.3	

注: \*\*\*、\*\* 和\* 分别表示在 1%、5% 和 10% 显著性水平下通过检验; k、l、e、t 分别表示资本投入变量、劳动投入变量、环境污染变量、时间变量。

### (三) 我国农业 GTFP 与 TFP 变化比较

#### 1. 全国层面

基于估计得到的随机前沿生产函数,由 Stata 得到各省历年技术效率,通过(6)式得到技术效率变化指数;根据(7)式得到各省历年技术进步指数,进而根据(8)式得到各省历年 GTFP 变化指数和 TFP 变化指数。最后,以各地区种植业增加值占比为权重对其各项变化指数取几何平均得到全国的相应指数,计算结果见表 5。

整体来看,1992–2010 年,我国每相邻两年之间的农业 GTFP 变化指数与 TFP 变化指数均大于 1,即无论是否纳入环境要素,我国农业全要素生产率均在不断增长,这表明我国农业生产的质量整体上不断提升。

考察我国农业 TFP 变化指数。1992–2010 年,我国农业 TFP 年均增长 5.60%,这与大多数研究得出的我国农业 TFP 年均增长率在 2%~6% 之间基本一致。分解分析表明,研究期内我国农业技术效率年均下降 0.76%,而农业技术年均进步 6.40%,即我国农业全要素生产率增长主要是依靠技术进步推动,技术效率的降低抵消了一部分技术进步的效果,这也与当前大多数研究结果基本一致。农业前沿生产技术不断进步和技术效率持续降低并存的现象一定程度上表明,虽然我国在农业生产技术创新方面成效较为显著,然而在农业前沿技术的推广应用方面尚有较大的改进空间。

比较农业 GTFP 变化指数与 TFP 变化指数。1992–2010 年,我国农业 GTFP 年均增长 5.61%,与 TFP 年均增幅基本一致。可见,纳入环境要素后,整体上我国农业全要素生产率增长速度基本未变。但是,农业 GTFP 和 TFP 变化指数的结构却并不相同。纳入环境要素后,我国农业技术效率年均下降 0.15%,同时技术

进步年均增长 5.77%。可见,与未纳入环境要素相比,技术效率的下降趋势和技术进步的增长趋势都放缓了。技术进步增长趋势的减缓,某种程度上表明前沿生产技术对传统要素投入利用水平的提高幅度相对较大,而对环境要素投入利用水平的提高幅度相对较小,这从侧面印证了我国农业生产技术研发对经济效益关注较多而对环境效益关注较少。技术效率下降趋势的减缓,某种程度上表明农业生产中传统要素投入利用效率降低相对较快,而环境要素投入利用效率降低相对较慢。

进一步从时间序列比较农业 GTFP 变化指数与 TFP 变化指数。1992–2010 年间,每相邻两年之间的 GTFP 变化指数与 TFP 变化指数均较为接近。分解来看,每相邻两年之间的考虑环境要素的技术效率变化指数均大于未考虑环境要素时的技术效率变化指数;每相邻两年之间的考虑环境要素的技术进步指数均小于未考虑环境要素之情形。可见,整体上考虑环境要素时技术效率降低较慢、技术进步也较慢的特征在整个研究期内保持不变。

表 5

1992–2010 年我国年际 GTFP 与 TFP 变化指数

年份	包含环境要素			未包含环境要素		
	技术效率变化指数	技术进步指数	GTFP 变化指数	技术效率变化指数	技术进步指数	TFP 变化指数
1992–1993 年	0.9986	1.0744	1.0729	0.9932	1.0818	1.0744
1993–1994 年	0.9986	1.0723	1.0707	0.9931	1.0800	1.0725
1994–1995 年	0.9986	1.0715	1.0699	0.9930	1.0779	1.0704
1995–1996 年	0.9985	1.0701	1.0686	0.9928	1.0758	1.0682
1996–1997 年	0.9985	1.0683	1.0667	0.9927	1.0739	1.0661
1997–1998 年	0.9985	1.0665	1.0649	0.9927	1.0718	1.0640
1998–1999 年	0.9985	1.0645	1.0630	0.9926	1.0699	1.0621
1999–2000 年	0.9985	1.0625	1.0609	0.9926	1.0677	1.0598
2000–2001 年	0.9985	1.0602	1.0586	0.9925	1.0653	1.0573
2001–2002 年	0.9985	1.0574	1.0559	0.9924	1.0633	1.0552
2002–2003 年	0.9985	1.0547	1.0531	0.9924	1.0608	1.0527
2003–2004 年	0.9985	1.0527	1.0511	0.9923	1.0584	1.0502
2004–2005 年	0.9985	1.0500	1.0485	0.9922	1.0562	1.0480
2005–2006 年	0.9985	1.0474	1.0458	0.9921	1.0545	1.0462
2006–2007 年	0.9985	1.0447	1.0431	0.9920	1.0526	1.0441
2007–2008 年	0.9985	1.0429	1.0413	0.9918	1.0500	1.0415
2008–2009 年	0.9985	1.0413	1.0397	0.9917	1.0478	1.0392
2009–2010 年	0.9985	1.0380	1.0365	0.9916	1.0463	1.0376
研究期内平均	0.9985	1.0577	1.0561	0.9924	1.0640	1.0560

## 2. 区域层面

比较我国东、中、西部地区的 GTFP 变化指数与 TFP 变化指数。首先针对每一个地区以其所含省份的种植业增加值占比为权重对各项指数取几何平均,然后对得到的各年指数取几何平均得到东中西部地区平均的 GTFP 和 TFP 变化指数。另外,对各省份历年指数取几何平均得到其平均的 GTFP 和 TFP 变化指数。计算结果见表 6。

1992–2010 年间,东部、中部、西部地区的平均 GTFP 变化指数和 TFP 变化指数均大于 1,这表明无论是否纳入环境要素,三个地区的农业全要素生产率均呈增长趋势。

首先,整体比较东、中、西部地区之间的 GTFP 变化指数和 TFP 变化指数,东部地区最高,GTFP 与 TFP 年均分别增长 6.17% 和 6.01%;西部地区次之,GTFP 与 TFP 年均分别增长 5.27% 和 5.48%;中部地区最低,GTFP 与 TFP 年均分别增长 5.22% 和 5.21%。进一步分解来看,无论是否纳入环境要素,三个地区的全要素生产率增长均由技术进步推动,而技术效率变化不同程度地抵消了技术进步的效果,这与全国层面的结论一致。

其次,分解比较东、中、西部地区之间的 GTFP 变化指数、TFP 变化指数和比较技术效率变化指数,无论是否纳入环境要素,东部地区总是最高,中部地区次之,西部地区最低。比较技术进步指数,当包含环境要素时则东部地区最高,西部地区次之,中部地区最低;当未包含环境要素时西部地区最高,东部地区次之,中部地区最低。某种程度上说明,西部地区由于整体发展水平相对较低从而具有相对较大的发展潜力,随着 20 世纪 90 年代西部开发战略的实施,西部地区技术进步最快,但是其对环境污染的关注相对较少,因此当考虑环境要素后其技术进步指数相对较低;同时,由于西部地区基础设施、管理水平等配套能力相对不足而导致

其技术效率降低最快。

再次,比较东、中、西部地区的 GTFP 变化指数与 TFP 变化指数之间的关系。研究期内,东部、中部地区的 GTFP 年均增幅均高于相应的 TFP,而西部地区的 GTFP 年均增幅均低于其 TFP。东部地区 GTFP 年均增幅比其 TFP 高 0.16 个百分点,中部地区前者比后者仅高 0.01 个百分点,西部地区前者则比后者低 0.21 个百分点。这在一定程度上表明,在东部地区环境要素投入生产率的提高幅度高于传统要素投入生产率的提高幅度,即东部地区不仅农业全要素生产率增长最快,而且更加注重采取相对环境友好的生产技术,这与东部地区农业面源污染较早地恶化并且防治力度较大密切相关。比较而言,中部地区环境要素投入生产率的提高幅度接近于其传统要素投入生产率的提高幅度;西部地区环境要素投入生产率的提高幅度低于其传统要素投入生产率的提高幅度。

表 6 1992–2010 年我国各省份年均 GTFP 和 TFP 变化指数

省份	包含环境要素			未包含环境要素		
	技术效率变化指数	技术进步指数	GTFP 变化指数	技术效率变化指数	技术进步指数	TFP 变化指数
北京	0.9999	1.0568	1.0568	0.9996	1.0606	1.0602
天津	0.9993	1.0525	1.0517	0.9965	1.0605	1.0568
河北	0.9985	1.0580	1.0564	0.9926	1.0638	1.0560
辽宁	0.9992	1.0541	1.0532	0.9957	1.0597	1.0551
上海	0.9993	1.0531	1.0524	0.9971	1.0559	1.0529
江苏	0.9992	1.0636	1.0627	0.9959	1.0625	1.0581
浙江	0.9996	1.0641	1.0637	0.9978	1.0710	1.0686
福建	0.9995	1.0666	1.0660	0.9972	1.0655	1.0625
山东	0.9987	1.0638	1.0625	0.9937	1.0649	1.0582
广东	0.9994	1.0699	1.0693	0.9966	1.0702	1.0666
海南	0.9995	1.0528	1.0522	0.9977	1.0601	1.0576
东部地区平均	0.9991	1.0627	1.0617	0.9954	1.0650	1.0601
山西	0.9973	1.0515	1.0487	0.9865	1.0625	1.0481
吉林	0.9987	1.0480	1.0467	0.9933	1.0557	1.0487
黑龙江	0.9983	1.0270	1.0253	0.9895	1.0492	1.0382
安徽	0.9979	1.0594	1.0572	0.9897	1.0646	1.0536
江西	0.9982	1.0474	1.0455	0.9905	1.0589	1.0488
河南	0.9981	1.0640	1.0620	0.9902	1.0672	1.0568
湖北	0.9986	1.0568	1.0553	0.9933	1.0590	1.0519
湖南	0.9984	1.0589	1.0572	0.9917	1.0670	1.0581
中部地区平均	0.9982	1.0541	1.0522	0.9909	1.0618	1.0521
内蒙古	0.9982	1.0284	1.0265	0.9896	1.0503	1.0394
广西	0.9982	1.0605	1.0586	0.9909	1.0667	1.0570
四川	0.9982	1.0597	1.0578	0.9908	1.0688	1.0590
贵州	0.9972	1.0562	1.0532	0.9857	1.0708	1.0555
云南	0.9976	1.0605	1.0579	0.9878	1.0707	1.0576
西藏	0.9983	1.0494	1.0476	0.9922	1.0719	1.0636
陕西	0.9978	1.0629	1.0606	0.9889	1.0682	1.0563
甘肃	0.9975	1.0498	1.0472	0.9873	1.0652	1.0517
青海	0.9976	1.0405	1.0380	0.9874	1.0617	1.0483
宁夏	0.9975	1.0485	1.0458	0.9871	1.0599	1.0462
新疆	0.9990	1.0439	1.0429	0.9949	1.0547	1.0493
西部地区平均	0.9981	1.0547	1.0527	0.9900	1.0655	1.0548

### 3. 省级层面

比较各省份研究期内平均的 GTFP 变化指数与 TFP 变化指数。比较发现,未纳入环境要素时,TFP 年均增长率超过 6% 的省份分别为浙江、广东、西藏、福建、北京;纳入环境要素时,GTFP 年均增长率超过 6% 的省份分别为广东、福建、浙江、江苏、山东、河南、陕西。可见,GTFP、TFP 增长最快的主要集中在东部经济发达省份。比较各省 GTFP 变化指数与 TFP 变化指数之间的大小关系,共有 14 个省份的 GTFP 指数高于其 TFP 指数,东部、中部地区各有约一半省份的 GTFP 指数高于其 TFP 指数,西部地区仅有四分之一的省份 GTFP 指数高于其 TFP 指数。

进一步考察 GTFP 与 TFP 变化指数之差与 GTFP 变化指数之间的相关关系,发现二者之间呈正相关关

系(见图1),可决系数达到0.60。比较而言,GTFP与TFP变化指数之差与TFP变化指数之间的相关关系较弱,可决系数仅为0.12。GTFP变化指数越高的地区,其GTFP与TFP变化指数之差越大。这在一定程度上说明农业发展质量越高的地区,其环境污染防治力度越大。

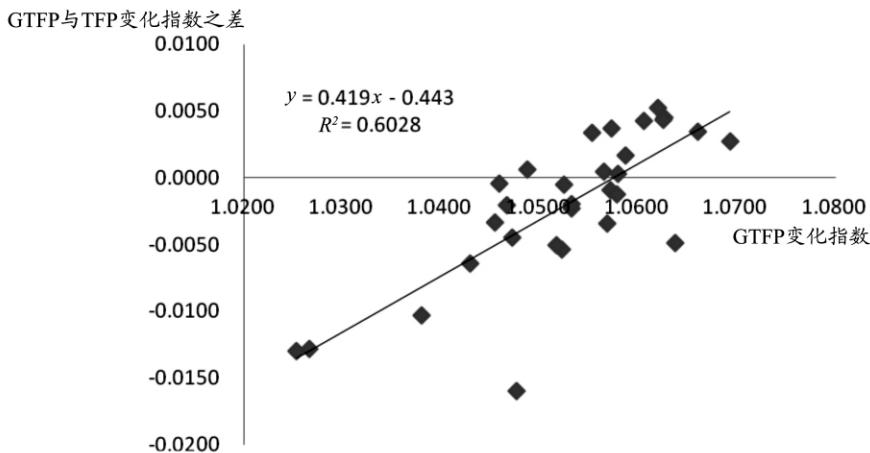


图1 GTFP与TFP变化指数之差与GTFP之间的相关关系

#### 四、结论与启示

由于环境污染的负外部性特征,考察传统生产要素生产率的TFP测算方法未能涵盖环境污染的影响,将环境要素纳入TFP测算框架可以更好地度量经济发展质量。本文基于随机前沿生产函数和Malmquist TFP指数方法,将种植业生产中的氮磷流失与传统的资本、劳动力一起作为要素投入,比较分析了1992—2010年间我国种植业的GTFP与TFP,主要研究结论包括:

其一,研究期内我国整体上每相邻两年之间的农业GTFP变化指数与TFP变化指数均大于1,我国农业发展的质量整体上不断提升,而且我国农业全要素生产率增长主要是依靠技术进步推动,但是技术效率的降低抵消了部分技术进步的效果。因此,我国农业技术创新方面成效较为显著,而在现有农业前沿技术的推广应用方面尚有较大的改进空间。

其二,研究期内我国农业GTFP年均增幅与TFP年均增幅基本相等,二者分别为5.61%和5.60%;但是,考虑环境要素与否对全要素生产率结构的影响并不相同,纳入环境要素后,技术效率的下降趋势和技术进步的增长趋势都有所放缓。

其三,分区域来看,东部地区GTFP年均增幅高于其TFP,中部地区二者基本相等,西部地区的GTFP年均增幅低于其TFP。这表明我国经济较为发达的地区已经开始逐步加大对农业氮磷流失污染的控制力度。

其四,分省份来看,共有14个省份研究期内的平均GTFP变化指数高于其TFP变化指数,其中东部、中部地区各有约一半省份的GTFP指数高于其TFP指数,西部地区仅有四分之一的省份GTFP指数高于其TFP指数。GTFP与TFP变化指数之差与GTFP变化指数呈现较强的正相关关系。

从研究结果来看,我国农业全要素生产率提高主要依靠技术进步而技术效率呈现出不断下降的趋势,因此不仅需要加大农业生产技术研发,更需要加强先进技术的推广与应用。尽管整体上我国GTFP增速与TFP增速基本相同,但是区域差异较大,从东部到中部、西部地区GTFP变化由领先TFP变成基本相等以及落后TFP。因此,中西部地区在进一步提高传统要素投入生产率的同时,也要加大农业面源污染防治力度,研发并推广环境友好型生产技术,从而推动农业GTFP更快增长,促进农业经济绿色发展。

#### 参考文献:

- 车维汉、杨荣 2010《技术效率、技术进步与中国农业全要素生产率的提高——基于国际比较的实证分析》,《财经研究》第3期。
- 陈卫平 2006《中国农业生产率增长、技术进步与效率变化:1990—2003年》,《中国农村观察》第1期。
- 方福前、张艳丽 2010《中国农业全要素生产率的变化及其影响因素分析——基于1991—2008年Malmquist指数方法》,《经济理论与经济管理》第9期。
- 江激宇、李静、孟令杰 2005《中国农业生产率的增长趋势:1978—2002》,《南京农业大学学报》第3期。
- 李谷成 2009《技术效率、技术进步与中国农业生产率增长》,《经济评论》第1期。

6. 李静、孟令杰 2006 《中国农业生产率的变动与分解分析: 1978 – 2004 年——基于非参数的 HMB 生产率指数的实证研究》, 《数量经济技术经济研究》第 5 期。
7. 李俊、徐晋涛 2009 《省际绿色全要素生产率增长趋势的分析——一种非参数方法的应用》, 《北京林业大学学报》第 8 卷第 4 期。
8. 李录堂、薛继亮 2008 《中国农业生产率增长变化趋势研究: 1980 – 2006》, 《上海财经大学学报》第 4 期。
9. 全炯振 2009 《中国农业全要素生产率增长的实证分析: 1978 – 2007 年——基于随机前沿分析( SFA )方法》, 《中国农村经济》第 9 期。
10. 石慧、孟令杰、王怀明 2008 《中国农业生产率的地区差距及波动性研究——基于随机前沿生产函数的分析》, 《经济科学》第 3 期。
11. 田伟、谭朵朵 2011 《中国棉花 TFP 增长率的波动与地区差异分析——基于随机前沿分析方法》, 《农业技术经济》第 5 期。
12. 王兵、吴延瑞、颜鹏飞 2010 《中国区域环境效率与环境全要素生产率增长》, 《经济研究》第 5 期。
13. 王珏、宋文飞、韩先锋 2010 《中国地区农业全要素生产率及其影响因素的空间计量分析——基于 1992 – 2007 年省域空间面板数据》, 《中国农村经济》第 8 期。
14. 吴军、笪凤媛、张建华 2010 《环境管制与中国区域生产率增长》, 《统计研究》第 1 期。
15. 薛建良、李秉龙 2011 《基于环境修正的中国农业全要素生产率度量》, 《中国人口 · 资源与环境》第 5 期。
16. 杨俊、邵汉华 2009 《环境约束下的中国工业增长状况研究——基于 Malmquist – Luenberger 指数的实证分析》, 《数量经济技术经济研究》第 9 期。
17. 赵蕾、王怀明 2007 《中国农业生产率的增长及收敛性分析》, 《农业技术经济》第 2 期。
18. 周端明 2009 《技术进步、技术效率与中国农业生产率增长——基于 DEA 的实证分析》, 《数量经济技术经济研究》第 12 期。
19. 曾先峰、李国平 2008 《我国各地区的农业生产率: 1980 – 2005》, 《数量经济技术经济研究》第 5 期。
20. Ball ,V. E. ,Rolf Fare ,Shawna Grosskopf ,and Richard Nehring. 2001. "Productivity of the U. S. Agricultural Sector: The Case of Undesirable Outputs." In *New Developments in Productivity Analysis* ,ed. C. R. Hulten ,E. Dean and M. J. Harper ,541 – 585. Chicago ,U. S. A. : University of Chicago Press.
21. Ball ,V. E. ,C. A. Knox Lovell ,H. Luu ,and R. Nehring. 2004. "Incorporating Environmental Impacts in the Measurement of Agricultural Productivity Growth." *Journal of Agricultural and Resource Economics* 29( 3) : 436 – 460.
22. Battese ,G. E. ,and T. J. Coelli. 1992. "Frontier Production Functions ,Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India." *Journal of Productivity Analysis* 3( 1) : 153 – 169.
23. Coelli ,T. J. ,and D. S. Prasada Rao. 2005. "Total Factor Productivity Growth in Agriculture: A Malmquist Index Analysis of 93 Countries ,1980 – 2000." *Agricultural Economics* 32( s1) : 115 – 134.
24. Hailu ,A. ,and Terrence S. Veeman. 2001. "Non – Parametric Productivity Analysis with Undesirable Outputs: An Application to the Canadian Pulp and Paper Industry." *American Journal of Agricultural Economics* 83( 3) : 605 – 616.
25. Kumbhakar ,S. C. ,and C. A. Knox Lovell. 2000. *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge UK: Cambridge University Press.
26. Nanere ,M. ,Jain Fraser ,Ali Quazi ,and Clare D. Souza. 2007. "Environmentally Adjusted Productivity Measurement: An Australian Case Study." *Journal of Environmental Management* 85( 2) : 350 – 362.
27. Oskam ,A. J. 1991. "A Productivity Measurement ,Incorporating Environmental Effects of Agricultural Production." In *Agricultural Economics and Policy: International Challenges for the Nineties* ,ed. K. Burger et al. ,186 – 204. Amsterdam: Elsevier.
28. Reinhard ,S. ,C. A. Knox Lovell ,and Geert Thijssen. 1999. "Econometric Estimation of Technical and Environmental Efficiency: An Application to Dutch Dairy Farms." *American Journal of Agricultural Economics* 81( 1) : 44 – 60.
29. Rezek ,J. P. ,and Richard K. Perrin. 2004. "Environmentally Adjusted Agricultural Productivity in the Great Plains." *Journal of Agricultural and Resource Economics* 29( 2) : 346 – 369.

## A Study on Agricultural Green TFP in China: 1992 – 2010

Wang Qi<sup>1</sup> ,Wang Hui<sup>2</sup> and Chen Haidan<sup>1</sup>

( 1: Peking University; 2: Beijing Forestry University)

**Abstract:** Based on stochastic frontier analysis ,with N/P emission variable included ,the agricultural Green TFP in China during 1992 – 2010 was measured and was compared with the traditional TFP. It was shown that the average annual growth rate of agricultural GTFP was almost the same as that of TFP. The growth of agricultural GTFP and TFP were improved by technology progress and were delayed by the descent of technology efficiency. When N/P emission variable was included ,the technology efficiency declined with a lower speed and the technology progress increased with a lower speed too. In eastern area ,the average agricultural GTFP change index was higher than its TFP index ,while in central area these two indices were almost equal and in western area the latter was higher.

**Key Words:** Agriculture; Green Total Factor Productivity; Stochastic Frontier Analysis; Malmquist TFP Index

**JEL Classification:** D24 ,Q47 ,Q16

( 责任编辑: 彭爽)