

小麦生产技术效率的随机前沿分析

——基于超越对数生产函数

孙 昊

(中国农业大学经济管理学院 北京 100083)

内容提要 本文基于随机前沿生产函数模型,运用 2001—2010 年 15 个省的面板数据分析了我国主产区单位面积小麦生产的技术效率的总体状况与变化特征,并对地区间的差异进行了比较。结果发现,10 年间中国小麦单产的平均技术效率为 0.86,年均改善速度为 0.76%,除个别地区外总体技术效率改善并不显著;地区间技术效率及其变化特征存在明显差异,多数地区小麦生产技术效率变化趋于稳定,少数地区年度间变化较大,个别省份还有进一步提高技术效率的潜力。

关键词 技术效率 随机前沿模型 地区差异 小麦
DOI:10.13246/j.cnki.jae.2014.01.005

一、引言

小麦是三大主粮作物之一,在农业生产中占有举足轻重的地位。2010 年我国粮食作物总产量达到了 5.5 亿吨,其中小麦总产量达到了 1.15 亿吨,约占总产量的 20%;播种面积达到 2400 万公顷,占粮食作物总播种面积的 22%。保持小麦生产的稳定持续增长是确保我国粮食安全特别是口粮安全的一个重要方面。

本世纪以来我国小麦生产出现了先抑后扬的形态。2000—2003 年小麦生产出现了连续四年减产,从 1999 年的 1.1 亿吨逐年递减至 2003 年的 8600 万吨。自 2004 年开始我国小麦年产量出现了强劲反弹,从 2004 年至 2012 年,小麦年产量实现了惊人的 9 年连增,2006 年之后年产量一直保持在 1 亿吨以上的水平。但是,我们也应该看到九连增背后的隐忧。从动态变化来看,小麦的边际年产量近两年出现了递减。2009 年比 2008 年增产了 300 万吨,而 2010 年只比 2009 年增产了 6.6 万吨。导致小麦边际年产量下降的原因是什么?在耕地与水资源双重约束条件下如何保证小麦生产的稳定持续增长?回答这些问题就需要对小麦生产相关问题进行研究。

对于生产率的探讨可以发现农业增产的源泉及潜力。发展经济学理论指出,经济的增长率可以被看作要素数量贡献和全要素生产率的贡献之和。而全要素生产率的增长源泉又来自于技术效率变化、技术变化、规模效率变化和分配效率变化等四个方面(Kumbhakur 等 2003)。很多学者都已经对我国农业总体生产率的增长做过研究(林毅夫,1992;樊胜根,1991;顾海等 2002)。这些文献分析并指出了制度创新、技术变迁改善了全要素增长率。其中,Rozelle, S 等(2005)指出我国农业总体增长在 20 世纪最后 20 年主要依靠要素投入,这种方法不可持续,农业发展根本在于依靠全要素生产率的增长。肖洪波等(2012)较为全面的分析了新世纪以来的 10 年间粮食生产全要素生产率的变化,指出虽然在非粮食主产区全要素生产率出现了提高,但主产区技术进步出现了下降。

很多学者则关注粮食作物的生产技术效率变化特征。Tian 等(2000)采用随机前沿生产函数分

析了 1983—1996 年中国水稻、玉米与小麦等粮食作物生产的技术效率,发现劳动投入的边际产出非常低,通过提高技术效率提高粮食产出具有很大潜力。孟令杰(2000)采用数据包络分析法研究了 1985—2000 年中国农业生产的技术效率,指出其间农业生产总体上技术效率存在下降的趋势。张雪梅(1999)测算了 1991—1996 年我国玉米生产的平均技术效率为 0.829,存在着趋势上的提高。张雪莲等(2007)利用 1995—2004 年的总产量、播种面积、化肥投入与农业劳动力数量等数据计算了我国 25 个地区小麦生产的总技术效率,年均达到 0.912,不存在显著的年度变化趋势。陈书章等(2012)利用 DEA 模型分析 1998—2010 年我国小麦主产区综合技术效率,指出纯技术效率的增长显著带动综合技术效率的提高,2004—2010 年均综合技术效率达到 0.9 以上。通过文献综述可以发现以往对于技术效率研究具有以下特点:首先,数据较为陈旧,多为针对 20 世纪 90 年代至本世纪初粮食生产情况的研究。其次,在采用随机前沿方法的文献当中被解释变量多为总产量,解释变量为播种面积、总劳动力与总化肥使用量,总量与播种面积会造成难于被克服的多重共线性问题。第三,文献中模拟的生产函数关键解释变量选择不一致,使得对于技术效率的测算结果存在着差异。虽然这些文献在内容和方法上都给予后续研究以借鉴与启发,但是纵观以上研究,还没有文章对中国小麦生产率在最近 10 年的变化做出系统梳理,尤其是从小麦单位面积生产率角度来探讨技术效率的特征。本文采用 2001—2010 年 15 个小麦生产省的数据,采用随机前沿生产函数方法测算并分析 10 年间我国小麦单位面积生产的技术效率与变化特征。研究目的在于掌握小麦生产最近 10 年单位面积产出的技术效率状况与变化特征,从而为进一步全要素生产率的研究提供基础。

二、模型与数据

(一) 理论模型

在生产率研究中,随机前沿生产函数分析方法被广泛应用于技术效率问题的研究。这种方法通过对前沿生产函数的拟合可以直接估计出生产的技术效率。本文以 Battese 等(1995)提出的随机前沿模型为基础,生产函数选择超越对数生产函数,该函数可作为一般的生产函数的二阶近似,避免了柯布道格拉斯函数对于技术中性与产出固定的假设,使分析更具有一般性。模型的具体形式如下:

$$\begin{aligned} \ln y_{it} = & b_0 + b_1 \ln L_{it} + b_2 \ln F_{it} + b_3 \ln S_{it} + b_4 \ln M_{it} + \frac{1}{2} b_{11} (\ln L_{it})^2 + \frac{1}{2} b_{22} (\ln F_{it})^2 \\ & + \frac{1}{2} b_{33} (\ln S_{it})^2 + \frac{1}{2} b_{44} (\ln M_{it})^2 + \frac{1}{2} b_{12} (\ln L_{it}) (\ln F_{it}) \\ & + b_{13} (\ln L_{it}) (\ln S_{it}) + b_{14} (\ln L_{it}) (\ln M_{it}) + b_{23} (\ln F_{it}) (\ln S_{it}) \\ & + b_{24} (\ln F_{it}) (\ln M_{it}) + b_{34} (\ln S_{it}) (\ln M_{it}) + b_{1t} (\ln L_{it}) + b_{2t} (\ln F_{it}) \\ & + b_{3t} (\ln S_{it}) + b_{4t} (\ln M_{it}) + \frac{1}{2} b_{tt} t^2 + b_{it} + (v_{it} - u_{it}) \end{aligned}$$

其中 y_{it} 表示第 i 个小麦生产省第 t 年的小麦单产,单位是公斤/亩; L_{it} 表示第 i 个小麦生产省第 t 年的劳动力投入,以每亩用工量代表,单位是工日/亩; F_{it} 表示第 i 个小麦生产省第 t 年的化肥投入量,以每亩化肥折纯用量测度,单位是公斤/亩; M_{it} 表示第 i 个小麦生产省第 t 年的机械投入,以机械作业费占直接生产费用的比例加以测度; t 表示技术变化的时间趋势; b_{ij} 表示待估计的系数向量; v_{it} 代表随机误差项; u_{it} 代表技术无效率项, v_{it} 与 u_{it} 相互独立, $v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$, $u_{it} \sim N(\mu, \sigma_u^2)$ 。

本文对解释变量与被解释变量的选择均来自于单位生产的水平,在尽量覆盖生产所涉及的主要要素投入的基础上,此处理可有效避免变量间的内生性问题,增强文章的严谨性。

第 t 年技术效率的实际操作公式则依据 Battese 等(1992)所提出的时变非效率模型,其形式为:

$$TE_i = \left\{ \frac{1 - \phi[\eta_i \sigma_u - (\mu/\sigma_u)]}{1 - \phi[-(\mu/\sigma_u)]} \right\} \exp \left[-\eta_i u + \frac{1}{2} \eta_i^2 \sigma_u^2 \right]$$

其中, $\eta_i = \exp[-\eta(t - T)]$

η_i 为用来测度技术效率随时间变动的参数,若 η 统计显著,则说明 TE 会随着时间出现显著变化。 $\eta > 0$ 、 $\eta < 0$ 、 $\eta = 0$ 分别表示技术效率损失的绝对值随时间变化而变小、变大或不变。T 表示前沿技术进步趋势。如前所示, μ 与 σ_u 分别为技术效率损失的均值与标准差,即 $u \sim N(\mu, \sigma_u^2)$ 。 $\phi[\cdot]$ 为标准正态随机变量的分布函数。

(二) 数据说明

本文采用平衡的面板数据加以估计,所采用的数据来源于国家发改委价格司所编写的《全国主要农产品成本收益资料汇编》。投入与产出选择了 2001—2010 年的河北、山西、内蒙古、黑龙江、江苏、山东、安徽、河南、湖北、四川、云南、陕西、甘肃、宁夏和新疆等 15 个省区的统计资料,样本量为 150。2010 年,以上 15 个省份的小麦产量占中国小麦总产量的 97%,选用这些数据能够全面地反应最近时期全国小麦生产的技术效率水平。

三、估计结果与实证分析

(一) 参数估计结果

本文采用 Frontier41 软件对随机前沿生产函数进行估计。但是 σ_u^2 与 σ_v^2 无法被直接估计出来,需要借助于对 σ^2 与 γ 进行最大似然估计与计算。其中 $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$, $\gamma = \sigma_u^2 / \sigma^2$ 。 μ 与 η 分别为技术效率损失的均值与技术效率随时间变化的参数。如果原假设 $\gamma = \mu = \eta = 0$ 被接受,那么就可以认为 $\sigma_u^2 = 0$,即生产函数中并不存在效率损失。如果 γ 在统计上显著,则认为存在效率损失。表 1 为随机前沿生产函数模型估计结果。

由估计结果可知,似然比单边检验高于 5% 显著性水平下三约束条件的卡方分布,说明 γ 、 μ 、 η 不全为 0。其中 μ 、 η 均不显著,说明技术效率损失的均值为 0,并且没有随时间流逝而发生变化的显著趋势。 γ 项显著,说明样本条件下小麦生产存在效率的损失,总扰动中 70.8% 可以被它所解释。

由结果中 t 项系数分析可知,时间变量 t 的系数为 0.308,大于 0 且统计显著。这说明,小麦单产在 10 年间总体上不断提高,存在技术进步。但是,时间 t 的二次项变量的系数却为 -0.009,趋近于 0 且统计显著。这说明技术进步不但没有随时间的变化而呈现加快增长的趋势,相反技术进步的增长速度基本是停滞并且略有放缓,这部分印证了近两年我国小麦增产量下降的现象。时间变量与化肥投入的交叉项系数为 -0.001,趋近于 0 且不显著,说明在样本期间内小麦生产技术对于化肥的使用不存在显著影响。而时间变量对劳动投入量的交叉项系数为负值,且在统计上显著,这说明小麦的生产技术对劳动投入存在着某种程度的替代效应。由此可以推断,将劳动力从小麦生产中继续转移出去可能会进一步提高劳动生产率。

(二) 小麦生产要素产出弹性

表 2 为根据参数估计结果计算出的要素产出弹性。由要素的平均产出弹性可知,劳动力、化肥、种子与机械四种投入要素中,化肥对单产贡献最大,机械贡献最小。10 年间,化肥的平均产出弹性达到 0.31,最高值逼近了 0.4,是影响产量的最重要因素。劳动与种子投入对于产出的贡献大体相当,但远小于化肥的作用。机械投入对于小麦产出的平均弹性为负值,约为 -0.08,这说明机械技术的使用在提高单产上没有显著贡献,甚至还会带来单产的损失。其部分原因可能是由于我国小麦生产中现行的机械技术主要通过依附耕作面积来影响产出水平,例如机械化大面积播种和收割提高了总生产效率,对单产不但没有带来改善,还造成了损失。通过弹性可以看出,10 年间机械投入对单产造成

的损失呈现出逐步扩大的趋势。

表 1 随机前沿生产函数模型估计结果

项目	系数	估计值	t 统计量
常数项	b_0	-3.181***	-3.326
lnL	b_1	1.732**	2.064
lnF	b_2	1.811**	2.043
lnS	b_3	2.546***	2.945
lnM	b_4	-0.075	-0.078
t	b_t	0.308***	3.502
$(\ln L)^2$	b_{11}	0.336*	1.525
$(\ln F)^2$	b_{22}	0.146	0.362
$(\ln S)^2$	b_{33}	-0.258*	-1.554
$(\ln M)^2$	b_{44}	0.412	0.911
t^2	b_{tt}	-0.009***	-6.706
$(\ln L)(\ln F)$	b_{12}	-0.717***	-3.606
$(\ln L)(\ln S)$	b_{13}	0.310	1.246
$(\ln L)(\ln M)$	b_{14}	0.612*	1.641
$t(\ln L)$	b_{1t}	-0.036***	-3.241
$(\ln F)(\ln S)$	b_{23}	-0.531**	-1.682
$(\ln F)(\ln M)$	b_{24}	-0.579***	-2.325
$t(\ln F)$	b_{2t}	-0.001	-0.086
$(\ln S)(\ln M)$	b_{34}	0.436*	1.510
$t(\ln S)$	b_{3t}	-0.016	-0.705
$t(\ln M)$	b_{4t}	0.057***	3.533
σ^2		0.023	0.903
γ		0.708**	1.741
μ		-0.019	-0.060
η		0.027	0.838

注: ***、**、和* 分别表示 1%、5% 和 10% 的显著性水平

表 2 2001—2010 年小麦要素产出弹性

项目	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	年平均
L	0.050	0.143	0.124	0.126	0.080	0.135	0.150	0.171	0.117	0.116	0.121
F	0.302	0.145	0.279	0.324	0.344	0.309	0.311	0.326	0.398	0.396	0.314
S	0.115	0.115	0.181	0.176	0.144	0.168	0.184	0.183	0.120	0.112	0.150
M	-0.056	0.054	-0.023	-0.040	-0.096	-0.084	-0.098	-0.112	-0.177	-0.198	-0.083

注: 要素产出弹性基于模型估计参数与样本历年要素投入水平均值计算

(三) 小麦单产技术效率分析

表 3 列出了不同小麦生产省份 10 年间的年均技术效率与技术效率的年均变动率。就技术效率而言,从全国水平来看,2001—2010 年平均生产技术效率为 0.86。从省别来看,15 个省份的平均技术效率分布在 0.70~0.98 的范围内。其中 4 个省份的高于 0.9,包括内蒙古、新疆、山东、河南。这些地区自然禀赋较好,有利于进行生产的规范化管理与科技推广。他们或者地势平坦,便于机械化作业;光照条件充足,有利于良种小麦生长,这也许是技术效率较高的原因。技术效率较为落后的省份包括山西、陕西与宁夏,小麦生产技术效率分别为 0.69、0.78 与 0.89。其他省份的小麦年均技术效率均分布于 0.8~0.9 的范围内。从全国平均水平来看,主产区的技术效率已经达到较高水平,其他地区生产效率还有改善潜力。

表 3 小麦生产的年平均技术效率(TE)与年均变动

省别	年平均技术效率	技术效率的年均变动(%)
河北	0.89	-0.85
山西	0.69	2.29
内蒙古	0.91	0.29
黑龙江	0.88	2.70
江苏	0.89	-0.55
安徽	0.84	2.46
山东	0.92	0.00
河南	0.93	0.32
湖北	0.82	3.54
四川	0.87	1.74
云南	0.88	-4.24
陕西	0.78	3.29
甘肃	0.88	0.93
宁夏	0.79	0.15
新疆	0.95	-0.70
全国	0.86	0.76

就技术效率的年均变化而言,全国范围内在 10 年间实现了小麦生产技术效率的改善,但并不显著。全国范围年平均改善率为 0.76%,比 10 年之前技术效率共改善了 7.6%,无论是改善幅度还是改善速度都比较小。这印证了随机前沿函数的模拟结果,即 η 不显著,技术无效率没有显著的时间变化趋势。从省别情况来看,技术效率的变动状况参差不齐(见表 4)。第一,山西、黑龙江、安徽、湖北和陕西五省的年均技术效率增长率较高,多为 2~3.5 个百分点,湖北年均增长率最快(3.54%),其次是陕西(3.29%),他们十年总效率改善幅度分别为 35.4% 与 32.9%,总改善幅度较大。但是,这些速度较快省份的技术效率基数都比较差,5 个省份中有 3 个的年均技术效率水平处在全国垫底位置(山西、陕西和湖北)。第二,内蒙古、河南、山东、江苏、宁夏和新疆年均技术效率改善速度变动不大,都接近 0 或略有降低。他们的技术效率在平均层面基本保持不变,10 年间的总涨跌幅度在 8.5% 之

内。其原因在于,这些省份的技术效率基数都比较高(6个省份中的4个年均技术效率都在0.9以上),技术效率已经处在稳定较高水平,提升的空间不大。他们需要从技术进步和其他外部措施方面下功夫,才能进一步促进全要素生产力的提高。第三,云南的年均变动为-4.24%,其技术效率在10年中出现了恶化。结合表3,可以发现效率变低的原因在于2010年云南发生的严重旱灾导致粮食剧烈减产甚至绝收,从而造成了当年过低的生产率,从而拖累了平均生产技术效率水平。总而言之,2001—2010年全国小麦生产技术效率总体上改善不明显,但部分省份得到了显著改善。

表4 2001—2010年小麦生产的年度技术效率

省份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
河北	0.96	0.87	0.82	0.91	0.90	0.84	0.88	0.92	0.94	0.87
山西	0.62	0.83	0.72	0.81	0.60	0.70	0.57	0.74	0.64	0.64
内蒙古	0.90	0.91	0.83	0.95	0.98	0.93	0.90	0.91	0.92	0.91
黑龙江	0.78	0.94	0.88	0.84	0.86	0.86	0.99	0.86	0.84	0.95
江苏	0.92	0.88	0.77	0.97	0.87	0.92	0.87	0.91	0.91	0.83
安徽	0.84	0.74	0.60	0.93	0.79	0.84	0.89	0.94	0.93	0.90
山东	0.97	0.83	0.91	0.99	0.85	0.92	0.87	0.97	0.99	0.93
河南	0.97	0.85	0.81	0.99	0.82	0.96	0.98	0.99	0.96	0.94
湖北	0.74	0.66	0.69	0.91	0.72	0.83	0.97	0.91	0.83	0.91
四川	0.82	0.91	0.74	0.71	0.98	0.98	0.90	0.93	0.90	0.87
云南	0.97	0.94	0.89	0.89	0.89	0.91	0.89	0.86	0.96	0.59
陕西	0.70	0.71	0.62	0.84	0.78	0.84	0.76	0.84	0.83	0.87
甘肃	0.94	0.86	0.81	0.95	0.87	0.80	0.82	0.88	0.88	0.99
宁夏	0.84	0.80	0.73	0.77	0.71	0.83	0.71	0.85	0.86	0.80
新疆	0.98	0.98	0.92	0.97	0.97	0.97	0.94	0.89	0.96	0.91

四、结论与建议

(一) 结论

本文运用随机前沿生产函数模型,估计了2001—2010年10年间中国15个小麦主产省份单位面积小麦生产技术效率的变化,并在此基础上分析了10年间各省份技术效率的动态变化特征。研究结论如下:(1)最近10年全国平均技术效率水平为0.86,处于较高技术效率水平。(2)从生产区域来看,主产区中除了山西与湖北技术效率相对较低以外,其他地区的技术效率水平均处于较高水平。内蒙古、山东、河南与新疆等地技术效率已经稳定于0.9以上的水平,通过改善技术效率来促进全要素生产力的潜力已经不大。(3)从技术效率变动的速率来看,10年间全国范围内技术效率出现了改善,但改善速度不快,年均只有0.76%。某些省份年均改善速度较高,如陕西与湖北均超过了3%。(4)从要素产出效率来看,劳动、种子、化肥与机械四种投入要素中,化肥对于小麦单产提高的贡献最大,机械的贡献最小。其中,机械投入加剧了耕作的粗放管理,对单产造成了损失。在小麦生产中存在着劳动过量投入现象,这说明如果用其他要素对劳动进行替代,小麦劳动生产率还有上升潜力。

(二) 政策建议

(1) 加强科技投入,提高创新能力。就全国范围来看,较高的绝对水平与十年来较低的改善速率,意味着通过提高技术效率的方式开拓小麦生产潜力是有限的,欲实现生产能力质的提高,推动技术进步是根本。这需要政府进一步提高农业科技投入,稳定农业科技队伍,促进农业科技创新,为小麦生产提供新的技术支撑和保障,通过技术进步与效率改进两方面共同作用,激发出小麦单产潜力。

(2) 加强农机农艺结合,提高机械化水平。播种收割过程中的机械化作业可以对劳动投入进行有效节约,对劳动力向非农领域转移具有一定的推动作用,应当努力坚持推进小麦的机械化生产。但目前小麦生产中机械投入对单产贡献微弱,并加剧了生产的粗放化,甚至会造成单产的损失,因此当务之急在于如何提高农业机械的精细化作业水平。农业科研机构需加强深松深耕、麦田镇压、抗旱浇水、病虫草害防控等配套农业机械的研制、改进和推广,通过农机农艺的紧密结合,在机械精细投入方面挖掘提高生产技术效率的潜力。

(3) 加强监测预警,强化防灾减灾。农业主管部门应立足于抗灾夺丰收的目标要求,做好自然灾害、病虫草害的监测和预警,组织创新和推广应对区域性气候变化的防灾减灾技术,尽可能降低农业生产风险,最大程度减轻自然灾害和病虫草害对生产技术效率带来的损失。

参 考 文 献

1. Battese G. E. : Frontier Production Functions and Technical Efficiency: A Survey of Empirical Applications in Agricultural Economics. *Agricultural Economics* 7(3~4): 185 ~ 208, 1992
2. Battese G. E. ,Coelli T. J. ,Frontier Production Functions ,Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India. *Journal of Productivity Analysis* 3: 153 ~ 169 ,1992
3. Coelli T. J. ,A Guide to FRONTIER Version 4. 1: A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation. CEPA Working Papers Department of Econometrics University of New England ,1996
4. Fan S. ,Effects of Technological Change and Institutional Reform on Production Growth in Chinese Agriculture. *American Journal* 88: 707 ~ 726 ,1978
5. Kumbhakar S. C. and Lovell C. A. : *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press 2000
6. Lin J. Y. ,Rural Reforms and Agricultural Growth in China. *American Economic Review* 82: 34 ~ 51 ,1992
7. Tian W. M. and Wan G. H. : Technical Efficiency and Its Determinants in China's Grain Production. *Journal of Productivity Analysis* ,13 (2): 159 ~ 174 2000
8. 陈书章,徐 峥,任晓静,马恒运. 我国小麦主产区综合技术效率波动及要素投入优化分析. *农业技术经济* 2012(1)
9. 顾 海,孟令杰. 中国农业 TFP 的增长及构成. *数量经济技术经济研究* 2002(10)
10. 孟令杰,张红梅. 中国小麦生产的技术效率的地区差异. *南开农业大学学报(社会科学版)* 2004 4(2)
11. 孟令杰. 中国农业产出技术效率动态研究. *农业技术经济* 2000(5)
12. 余 康,郭 萍,章 立. 我国农业劳动生产率地区差异动态演进的决定因素. *农业经济研究* 2011(8)
13. 肖红波,王济民. 新世纪以来我国粮食综合技术效率和全要素生产率分析. *农业技术经济* 2012(1)
14. 张雪莲,胡进红. 我国小麦生产的技术效率分析. *中州大学学报* 2007(4)

责任编辑 段 艳