

中国小麦生产技术进步及要素需求与替代行为*

陈书章¹ 宋春晓¹ 宋 宁¹ 王济民² 马恒运¹

内容提要：本文基于全国省级小麦生产面板数据，建立小麦生产超越成本对数函数，着重分析了全国及五个小麦主产区的技术进步及要素需求与替代行为。研究结果显示，中国小麦生产技术进步是非中性的，具体而言是劳动力节约型、机械使用型以及化肥使用和节约型的技术进步并存；劳动力和化肥的需求弹性较大，具体表现为，劳动力和化肥的价格提高 10%，其需求将分别减少 5% 和 8%；小麦生产要素之间的替代或补偿弹性较大，说明中国小麦生产要素的替代关系和补偿关系并存。为此，在未来中国小麦生产中，要抓住五个小麦主产区，加强要素投入偏斜技术的开发，利用价格调控要素需求，通过优化要素比价调整要素投入结构。

关键词：小麦 非中性技术进步 要素 需求 替代

一、引言

小麦是中国北方最重要的粮食作物，其生产分布明显表现出区域集中的趋势。中国小麦生产分布较广，遍及十几个省（区、市），由于生产特点和农业生产结构调整，中国小麦生产稳定集中在河南、山东、河北、江苏和安徽五个主产区。20 多年来，中国小麦主产区的产量和种植面积份额大幅度提高，分别从 1990 年的 58.6% 和 51.7%，上升到 2011 年的 74.6% 和 65.1%。河南和山东在中国小麦生产中的重要性更加突出，2011 年，它们的小麦产量份额已经分别达到 26.6% 和 17.9%，而其余三个主产区的产量份额也都在 10% 以上^①。因此，研究中国小麦主产区小麦生产方式转变，对指导全国小麦生产具有重要意义。

中国粮食生产的重要性受到国内外农经学者的重视。特别是本世纪以来，已出现了一系列有关中国粮食生产全要素生产率、技术进步和技术效率的研究文献。黄金波、周先波（2010）研究了中国粮食生产技术效率与全要素生产率的增长；闵锐、李谷成（2012）估计了湖北省粮食生产全要素生产率的变化和技术进步的替代效应；魏丹等（2010）基于中国分省数据，分析了中国粮食生产率增长、技术进步和技术效率。面对许多关于中国粮食生产效率的研究成果，翁玲玲（2012）评述道：这些研究局限于对粮食生产全要素生产率、技术进步和技术效率的分析，而且研究尺度主要集中在全国和省域范围。丁岩、翟印礼（2008）基于 Malmquist 指数比较了辽宁和吉林两省玉米生产全要

* 本文研究得到河南省高校首批哲学社会科学创新团队支持计划“粮食安全与生物质能源经济研究”（编号：2012-CXTD-03）、河南省教育厅科学技术研究重点项目“三化协调背景下中原经济区农业生物质能源产业发展研究”（编号：13A790472）、河南省教育厅哲学社会科学重大课题攻关项目“新时期河南省农地流转与粮食生产的关系研究”（编号：2013-ZG-006）。

^① 根据《中国统计年鉴 1991》和《中国统计年鉴 2012》（国家统计局编，中国统计出版社出版）数据计算。

素生产率；张越杰（2008）实证分析了中国东北地区（吉林省）玉米生产效率；王军等（2010）甚至研究了中国玉米核心优势产区玉米生产效率。本世纪初期以来也有一些关于中国小麦生产效率的研究成果。例如，黄映晖等（2004），孟令杰、张红梅（2004）以及张冬平、张继红（2005）分析了中国小麦生产效率及其地区差异；张冬平等（2005）采用数据包络分析方法分析了河南省小麦生产效率。最后，针对2004年以来中国取消农业税和实施生产要素补贴政策的情况，王姣、肖海峰（2007）分析了中国良种补贴、农机具购置补贴和减免农业税政策的效果；李农、万祎（2010）和陈林兴、方挺（2011）研究了中国农机具购置补贴政策的成效、问题及对策；冷博峰等（2011）调查了中国农作物良种补贴政策实施的现状。

总结本世纪以来关于中国粮食生产全要素生产率和技术效率的研究，大致可以看出：使用非参数 DEA 和参数 SFA 方法研究全要素生产率和技术效率的文献较多，估计生产要素需求和替代弹性，进而研究粮食生产中要素投入行为的文献很少；研究要素价格或农业补贴对粮食生产要素投入结构影响的文献也很少。为此，本文通过建立中国小麦生产超越对数成本函数，估计小麦生产中的技术进步以及要素需求与替代弹性，考察中国特别是小麦主产区小麦生产方式的变化，为指导中国小麦生产稳定发展提供参考。

二、模型与检验

（一）成本函数

超越成本对数函数与超越生产对数函数存在对偶关系。作为二阶泰勒展开取其近似函数而得到的超越成本对数函数在实证研究中被广泛认可，因为运用超越对数成本函数无需设定特定的生产函数形式（Stratopoulos et al., 2000），也不必假设固定或相等的要素替代弹性（Woodland, 1975）。本文在研究中使用截尾三阶泰勒展开式而非通常使用的二阶展开式，其原因有两个（Stevenson, 1980）：首先，三阶泰勒展开式使利用横截面数据估计得到的所有系数可以随着时间从 t 到 $t+j$ 发生变化；其次，使用截尾三阶展开式可以详细说明某些二阶展开式无法处理的检验，例如价格诱导的技术要素偏斜检验。超越对数成本函数的三阶泰勒展开式通常可表示为：

$$\begin{aligned} \ln C_t = & \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \ln P_{it} + \beta_y \ln Y_t + \beta_T T + 0.5 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} \ln P_{it} \ln P_{jt} \\ & + \sum_{i=1}^k \beta_{iy} \ln P_{it} \ln Y_t + \sum_{i=1}^k \beta_{iT} T \ln P_{it} + 0.5 \beta_{yy} (\ln Y_t)^2 \\ & + \beta_{yT} T \ln Y_t + 0.5 \beta_{yyT} T (\ln Y_t)^2 + 0.5 \beta_{TT} T^2 \\ & + 0.5 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ijT} T \ln P_{it} \ln P_{jt} + \sum_{i=1}^k \beta_{iyT} T \ln Y_t \ln P_{it} \end{aligned} \quad (1)$$

（1）式中， C 表示小麦生产每亩总成本； P_{it} 表示在 t 时间要素 i 的价格； $i=1, 2, \dots, k$ ，为要素个数； Y_t 是在 t 时间的产出水平； T 代表时间趋势。给予适当的参数限制条件，（1）式可以用来接近未知成本函数或生产函数。

为满足系统方程估计的要求，对（1）式进行对称性限制，亦即所有交叉微分具有等价性：

$$\beta_{ij} = \beta_{ji} \text{ 和 } \beta_{ijT} = \beta_{jiT}, \text{ 对于所有 } i \neq j \quad (2)$$

同时，进行价格线性同质性（当全部要素价格提高1倍时，总成本也随之增加1倍）限制：

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^k \beta_i &= 1 \\ \sum_{j=1}^k \beta_{ij} &= \sum_{i=1}^k \beta_{iy} = \sum_{i=1}^k \beta_{iT} = 0 \\ \sum_{i=1}^k \beta_{ijT} &= \sum_{j=1}^k \beta_{ijT} = \sum_{i=1}^k \beta_{iyT} = 0\end{aligned}\quad (3)$$

根据Shephard引理, 通过总成本函数对要素价格求偏导, 可得到系统的成本最小化要素需求函数, 从而得到各要素成本份额 (S_{it}) 方程如下:

$$S_{it} = \beta_{iT} + \sum_{j=1}^k \beta_{ij} \text{Ln}P_{jt} + \sum_{j=1}^k \beta_{ijT} \text{TLn}P_{jt} + \beta_{iy} \text{Ln}Y_t + \beta_{iyT} \text{TLn}Y + \beta_{iT}T \quad (4)$$

(二) 技术进步与要素投入偏斜

Stevenson (1980) 提出了几种测量技术进步偏斜的方法。假定要素价格和其它生产状态约束不变, 技术进步允许某小麦产区在较低成本支出水平下仍能达到较高的产量水平。那么, 对于与生产函数有对偶关系的成本函数, 其技术进步率 (TC) 估算公式可表述为:

$$\begin{aligned}TC &= \partial \text{Ln}C_t / \partial T \Big|_{Y,P,Z} \\ &= \beta_T + \sum_{i=1}^k \beta_{iT} \text{Ln}P_{it} + \beta_{yT} \text{Ln}Y_t + 0.5 \beta_{yyT} (\text{Ln}Y)^2 + \beta_{TT}T \\ &\quad + 0.5 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ijT} \text{Ln}P_{it} \text{Ln}P_{jt} + \sum_{i=1}^k \beta_{iyT} \text{Ln}Y_t \text{Ln}P_{it}\end{aligned}\quad (5)$$

(5) 式中, Z 是一个“自然生产状态”变量向量。

技术进步偏斜可能来自于要素投入和生产过程的规模特点。关于技术进步和要素投入偏斜, Hicks的中性技术进步定义意味着技术进步没有改变要素投入比例或要素成本份额。鉴于技术进步的存在, 可以计算要素成本份额对时间的偏导数, 用来衡量要素投入的偏斜程度 (FB_i):

$$FB_i = \partial S_{it} / \partial T \Big|_{Y,P,Z} = \sum_{j=1}^k \beta_{ijT} \text{Ln}P_{jt} + \beta_{iyT} \text{Ln}Y_t + \beta_{iT} \quad (6)$$

对于(6)式, 如果 $FB_i > 0$, 则技术进步是要素 i 使用型的; 如果 $FB_i < 0$, 则技术进步是要素 i 节约型的; 如果 $FB_i = 0$, 则技术进步为中性的。

对(1)式和(4)式施以(3)式的参数限制, 可进行三个经济计量假设检验 (Allen and Urga, 1999; Atkinson and Halvorsen, 1998), 具体经济计量检验是:

如果 $\beta_T = \beta_{iT} = \beta_{yT} = \beta_{TT} = 0$, $\beta_{ijT} = \beta_{iyT} = \beta_{yyT} = 0$, $i = 1, 2, \dots, k$, 则没有技术进步;

如果 $\beta_{iT} = 0$, $\beta_{ijT} = \beta_{iyT} = 0$, $i, j = 1, 2, \dots, k$, 则技术进步无要素偏斜;

如果 $\beta_{ijT} = 0$, $i, j = 1, 2, \dots, k$, 则技术进步无价格诱导的要素偏斜。

(三) 要素可分性和三阶成本函数定义检验

如果 $\beta_{ij} = 0$, $\beta_{ijT} = 0$, $i \neq j$, 则要素 i 无强可分性;

如果 $\beta_{ij} = \beta_{ji}$, $\beta_{ijT} = \beta_{jiT}$, $i \neq j$, 则要素 i 无弱可分性;

如果 $\beta_{ij} = 0$, $\beta_{ijT} = 0$; $i = m, j = n$, 则要素 m 和要素 n 无强可分性;

如果 $\beta_{mp} = \beta_{mq} = 0$, $\beta_{np} = \beta_{nq} = 0$; $\beta_{mpT} = \beta_{mqT} = 0$, $\beta_{npT} = \beta_{nqT} = 0$, 则要素 m 和 n 与要素 p 和 q 无强可分性;

如果 $\beta_{mn} = \beta_{pn}$, $\beta_{mq} = \beta_{nq}$, $\beta_{pn} = \beta_{nn}$, $\beta_{nq} = \beta_{qq}$; $\beta_{mnT} = \beta_{pnT}$, $\beta_{mqT} = \beta_{nqT}$, $\beta_{pnT} = \beta_{nnT}$, $\beta_{nqT} = \beta_{qqT}$, 则要素 m 和 n 与要素 p 和 q 无弱可分性;

如果 $\beta_{yyT} = 0, \beta_{ijT} = 0, \beta_{jiT} = 0$, 则不存在三阶超越成本对数函数定义。

(四) 要素替代和需求弹性

要素替代弹性和要素需求弹性包含重要的经济信息。通常有两种测量要素的价格反应的方法, 即Allen-Uzawa要素替代偏弹性 (σ_{ij}) 和要素需求价格偏弹性 (η_{ij})。根据Uzawa (1962) 和Binswanger (1974), 对于超越对数成本函数, 这些弹性的计算公式如下:

$$\sigma_{ij} = 1 + (\beta_{ij} + \beta_{ijT}T) / S_i S_j ; \forall i \neq j \quad (7)$$

$$\sigma_{ii} = (\beta_{ii} + \beta_{ijT}T + S_i^2 - S_i) / S_i^2$$

$$\eta_{ii} = \sigma_{ii} S_i \quad (8)$$

$$\eta_{ij} = \sigma_{ij} S_j$$

(7) 式和 (8) 式中, S_i 是要素 i 的成本份额, σ_{ij} 是要素 i 和 j 之间的要素替代偏弹性, η_{ii} 是要素 i 自身需求价格弹性, η_{ij} 是要素 i 和 j 之间的交叉需求价格偏弹性。要素替代偏弹性 σ_{ij} 为正, 表明要素 i 和 j 替代的; 要素替代偏弹性 σ_{ij} 为负, 表明要素 i 和 j 是补偿的。

三、数据来源和变量定义

(一) 数据来源

本文所用数据来源于1991~2012年《全国农产品成本收益资料汇编》^①和《中国统计年鉴》^②。其中, 小麦单产、化肥和劳动力投入及其价格来自前者, 主要农业生产资料价格指数来自后者。

(二) 变量定义

首先, 产出和要素投入指标。根据模型估计的要求, 需要确定具体产出和要素投入指标。这里, 产出指标为小麦每亩产量 (公斤, Y); 根据小麦单产主要影响因素, 要素投入分别选择每亩用工投入 (L , 工日)、每亩化肥投入 (F , 公斤)、每亩机械投入 (M , 元) 和每亩其它投入 (O , 元)。一般来说, 增加方程中自变量的个数, 可以提高方程的拟合优度。然而, 要素变量个数增加将导致所估计参数成倍增加。所以, 本文选择上述4种要素, 它们的成本合计占小麦总生产成本的85%以上。

其次, 要素投入价格单位。根据《农产品成本收益资料汇编》, 用劳动力费用除以劳动力投入量 (工日), 得到劳动力价格 (P_1 , 元/工日); 用化肥费用除以化肥投入量 (折纯量, 公斤), 得到化肥价格 (P_2 , 元/公斤)。由于《农产品成本收益资料汇编》没有提供机械投入数量, 这里用农业机械价格指数作为机械价格 (P_3)。其它要素投入内容较多, 无法确定其具体数量, 本文用农业生产资料综合价格指数来代替 (P_4)。为保证要素价格的可比性, 把要素的价值指标转化为以1990年为基期的价格指数。

四、模型估计与经济计量假设检验

(一) 模型估计结果

由于成本份额的可加性, 本文在实际估计时选择总成本方程和3个成本份额方程。根据系统方程参数估计要求, 对参数进行对称限制和价格线性同质性限制。为提高模型参数估计效率, 本文选择

^①国家发展和改革委员会价格司 (编): 《全国农产品成本收益资料汇编》(1991~2012年, 历年), 中国统计出版社。

^②国家统计局 (编): 《中国统计年鉴》(1992~2012年, 历年), 中国统计出版社。

1990~2011年省级小麦单产和要素投入面板数据,共464个观察值。根据系统方程参数估计要求,本文同时估计(1)式和(4)式,得出超越对数成本函数估计结果(见表1)。

表1 中国小麦生产超越成本对数函数估计结果

自变量	系数	z 统计量	虚变量	系数	z 统计量
LnP_1	0.2786**	2.371	D_{2000s}	0.3255**	2.183
LnP_2	-0.1427*	-1.573	D_1 (北京)	0.4063***	7.403
LnP_3	0.1484*	1.391	D_2 (天津)	0.1749***	3.301
LnP_4	0.7158***	5.003	D_3 (河北)	0.3578***	9.816
LnP_1LnP_1	0.0744***	4.483	D_4 (山西)	0.0709**	2.176
LnP_1LnP_2	-0.0289	-3.369	D_5 (内蒙古)	0.1470***	4.573
LnP_1LnP_3	0.0051	0.426	D_6 (辽宁)	0.4431***	7.496
LnP_1LnP_4	-0.0505***	-3.028	D_7 (吉林)	-0.1091**	-1.906
LnP_2LnP_2	-0.0020	-0.202	D_8 (黑龙江)	-0.6470***	-16.064
LnP_2LnP_3	0.0175**	2.227	D_9 (上海)	-0.3413***	-9.172
LnP_2LnP_4	0.0135	1.151	D_{10} (江苏)	0.0385	1.156
LnP_3LnP_3	0.0762***	3.288	D_{11} (浙江)	-0.1954***	-5.260
LnP_3LnP_4	-0.0988***	-4.541	D_{12} (安徽)	0.0373	1.186
LnP_4LnP_4	0.1358***	4.645	D_{13} (福建)	0.2441***	4.963
LnY	0.2235*	1.585	D_{14} (江西)	-0.5411***	-6.689
$LnYLnY$	0.0289	0.795	D_{15} (山东)	0.2898***	9.288
LnP_1LnY	0.0400***	3.318	D_{17} (湖北)	-0.0820**	-2.471
LnP_2LnY	0.0325***	2.986	D_{18} (湖南)	-0.0769*	-1.659
LnP_3LnY	-0.0070	-0.707	D_{22} (重庆)	0.2029***	4.743
LnP_4LnY	-0.0655***	-4.517	D_{23} (四川)	0.1888***	5.493
T	0.1598*	1.865	D_{24} (贵州)	0.0001	0.004
TT	0.0015**	2.371	D_{25} (云南)	0.0473	1.321
$TLnP_1$	0.0072	0.762	D_{26} (西藏)	0.5742***	7.560
$TLnP_2$	0.0248**	2.360	D_{27} (陕西)	0.0241	0.776
$TLnP_3$	0.0117*	1.859	D_{28} (甘肃)	0.2328***	7.591
$TLnP_4$	-0.0437***	-3.018	D_{29} (青海)	-0.2158***	-4.691
$TLnY$	-0.0406*	-1.604	D_{30} (宁夏)	0.3109***	9.401
$TLnYLnY$	0.0051	1.238	D_{31} (新疆)	0.0117	0.384
$TLnP_1LnP_1$	-0.0005	-0.439	总观察值数	464	
$TLnP_1LnP_2$	0.0000	0.025	最大似然函数估计值	2992	
$TLnP_1LnP_3$	0.0002	0.353	$\chi^2_{0.01}$	103***	
$TLnP_1LnP_4$	0.0003	0.218	调整 R^2	0.996	
$TLnP_2LnP_2$	0.0058***	4.012	参数个数	70	

(续表 1)

$TLnP_2LnP_3$	0.0009*	1.760
$TLnP_2LnP_4$	-0.0067***	-4.253
$TLnP_3LnP_3$	-0.0015***	-2.650
$TLnP_3LnP_4$	0.0004	0.588
$TLnP_4LnP_4$	0.0061***	2.566
$TLnP_1LnY$	-0.0023***	-2.377
$TLnP_2LnY$	0.0004	0.468
$TLnP_3LnY$	0.0001	0.171
$TLnP_4LnY$	0.0017	1.481

注：以河南（ D_{16} ）为比较基础； D_{2000s} 为 2001~2011 年虚变量； D 为虚变量。***、**和 * 分别表示 1%、5% 和 10% 的显著性水平。

从模型估计结果看，有 50% 的回归系数达到了显著的水平，主要变量作用的估计结果与理论预期相同。模型总体最大似然函数估计值为 2992， χ^2 统计量为 103，达到 1% 的显著性水平。从地区虚变量的估计结果看，地区间小麦生产成本水平存在显著差异。观察小麦主产区可以发现， D_3 （河北）和 D_{15} （山东）虚变量达到 1% 的显著性水平，说明河北和山东小麦生产成本显著高于河南。实际上，2011 年，河北和山东小麦单位面积生产成本分别为 432.5 元和 436.9 元，而河南只有 372.4 元；相反， D_{10} （江苏）和 D_{12} （安徽）虚变量没有达到显著的水平，说明江苏和安徽小麦生产成本与河南没有显著差异，事实上，2011 年，江苏和安徽小麦单位面积生产成本分别为 360.8 元和 341.6 元，与河南差异不大。这些估计结果说明，本文选择的模型、变量以及估计程序等，能够比较准确地反映中国小麦生产的现实。

（二）经济计量假设检验

1. 三阶超越对数成本函数（无限制性模型）定义。表 2 显示，备择模型的最大似然函数估计值 $L_U=2992.2$ ，二阶超越成本对数函数（限制性模型）的最大似然函数估计值 $L_R=2963.1$ ，根据卡方值计算公式： $\chi^2 = -2 \times (L_R - L_U)$ ， χ^2 等于 58.0，达到 1% 显著性水平。这说明，三阶超越对数成本函数定义在统计上是正确的。

表2 中国小麦生产的经济计量假设检验

假设检验设定	参数限制个数	似然函数估计值 (L)	临界值		χ^2 统计量	显著性水平
			0.05	0.01		
1. 备择模型	—	2992.2	—	—	—	—
2. 没有技术进步	16	2940.1	26.3	32.0	104.1	0.01
3. 无要素偏斜	12	2952.2	21.0	26.2	79.9	0.01
4. 无价格诱导要素偏斜	6	2803.6	12.6	16.8	377.1	0.01
5. 劳动力的强可分性	6	2960.3	12.6	16.8	63.7	0.01
6. 劳动力的弱可分性	4	2989.8	9.5	13.3	4.7	—
7. 化肥的强可分性	6	2938.8	12.6	16.8	106.8	0.01
8. 化肥的弱可分性	4	2947.3	9.5	13.3	89.8	0.01
9. 机械的强可分性	6	2968.7	12.6	16.8	47.0	0.01

(续表2)

10.机械的弱可分性	4	2972.9	9.5	13.3	38.5	0.01
11.其它要素的强可分性	6	2964.8	12.6	16.8	54.6	0.01
12.其它要素的弱可分性	4	2976.4	9.5	13.3	31.4	0.01
13.劳动力和机械的强可分性	2	2991.8	6.0	9.2	0.8	—
14.化肥和其它要素的强可分性	2	2978.5	6.0	9.2	27.4	0.01
15.劳动力和机械与化肥和其它要素的强可分性	8	2957.7	15.5	20.1	68.9	0.01
16.劳动力和机械与化肥和其它要素的弱可分性	8	2944.4	15.5	20.1	95.6	0.01
17.三阶超越成本对数函数定义	10	2963.1	18.3	23.2	58.0	0.01

2.要素的可分性。表2中第5~第16行显示,除了第6行和13行之外, χ^2 统计量均达到1%的显著性水平,说明中国小麦生产要素之间存在显著的不可分性,亦即生产要素之间存在显著的交互效果,它们共同决定小麦单产。事实上,这一发现同小麦生产特点完全一致。

3.劳动力和机械的可分性。表2中第6行和第13行显示, χ^2 统计量均没有达到显著的水平。这两个统计检验结果说明,劳动力和机械存在强烈的可分性,或者说,劳动力和机械之间没有显著的交互作用。这可能是因为劳动力和机械之间存在显著的替代关系。事实上,中国小麦生产实践证明,大规模机械化替代人工作业,并没有降低小麦产量;与之相反,由于机械作业能够降低收获过程中的损耗,它可能还会增加小麦收获量。

4.技术进步和要素偏斜。表2中第2~第4行显示, χ^2 统计量均达到1%的显著性水平。这一检验结果说明,中国小麦生产中存在技术进步,而且是要素偏斜的技术进步,同时,要素偏斜的技术进步是要素价格变化诱导的结果。亦即在中国小麦生产技术进步的过程中,由于生产要素价格的相对变化,小麦生产成本结构发生了变化。有资料显示,近20年来,中国小麦生产成本结构发生了明显的变化。1993年以来,劳动力成本份额下降了10个百分点,其它要素成本份额降低了近20个百分点;与此相反,同期机械成本份额则上升了10个百分点以上^①。

五、技术进步与要素偏斜

基于表1中的模型估计结果以及技术进步和要素偏斜计算公式,本文估计了中国小麦生产技术进步和要素偏斜程度。实际估计时,本文分别取不同时期要素投入和产出变量的平均值。基于表3中技术进步和要素偏斜程度的估计结果,进行如下分析讨论:

(一) 技术进步

从表3可以看出,中国小麦生产中的技术进步率,从上世纪90年代的年均增长不足2.0%,稳定上升到2001~2011年的年均增长2%,而且在主产区之间没有明显差异,说明中国小麦生产中的技术进步呈现明显的趋同性。事实上,2001~2011年,中国小麦总产量年均增长2.26%,种植面积年均下降0.16%,单产年均增长2.43%^②,说明种植面积对总产量影响不大。此外,同期中国小麦生产中每亩劳动力、化肥、机械和其它物质投入年均增长只有0.1%,说明投入增加对单产提高影响很小。可以看出,这里估计出来的技术进步率接近小麦单产增长率。

^①国家发展和改革委员会价格司(编):《全国农产品成本收益资料汇编》(1990~2011年,历年),中国统计出版社。

^②根据《中国统计年鉴2002》和《中国统计年鉴2012》(国家统计局编),中国统计出版社出版)数据计算。

表3 中国小麦生产技术进步和要素偏斜程度(%)

	1990~2000 年	2001~2011 年		1990~2000 年	2001~2011 年
1.技术进步			化肥投入		
全国	1.822	1.981	全国	-0.200	-0.090
河南	1.897	2.022	河南	0.050	0.110
山东	1.976	2.034	山东	0.040	0.120
河北	1.946	2.019	河北	-0.140	-0.050
江苏	1.878	1.993	江苏	-0.190	0.090
安徽	1.821	1.976	安徽	-0.220	-0.050
2.要素投入偏斜			机械投入		
劳动力投入			全国	0.760	0.840
全国	-0.350	-0.540	河南	0.480	0.550
河南	-0.320	-0.520	山东	0.560	0.640
山东	-0.380	-0.550	河北	0.660	0.760
河北	-0.390	-0.560	江苏	0.540	0.630
江苏	-0.290	-0.510	安徽	0.600	0.680
安徽	-0.330	-0.520			

(二) 要素偏斜

1.劳动力投入偏斜。(1) 劳动力节约型技术进步。劳动力偏斜程度均为负值,说明小麦生产中的技术进步是劳动力节约型的。也就是说,随着小麦生产技术进步,劳动力投入越来越少,或者说,劳动力成本份额在降低。事实上,全国小麦生产成本中的劳动力成本份额,从1993年的高达44%,一直下降到2009年的31%^①。

(2) 劳动力节约程度明显加快。就全国平均水平来说,1990~2000年间,小麦生产中劳动力投入平均每年减少0.35%,或者说,劳动力成本份额每年下降0.35%。然而,新世纪以来,小麦生产中劳动力投入每年减少的幅度达到0.54%,亦即劳动力成本份额每年下降0.54%。

(3) 劳动力偏斜地区间趋同。就小麦主产区来讲,劳动力节约的程度都在加快,大约由上世纪90年代年均减少0.30%,上升到2001~2011年均减少0.50%以上。事实上,随着劳动力成本上升,生产者调整了小麦生产要素投入结构,明显减少了劳动力投入数量。

2.机械投入偏斜。(1) 机械使用型技术进步。从表3可以看出,机械的偏斜程度均为正值,说明小麦生产中的技术进步是机械使用型的。也就是说,随着小麦生产技术进步,机械投入越来越多,或者说,机械成本份额在逐年增加。事实上,全国小麦生产成本中的机械成本份额,从1990~2000年间的平均12.88%,上升到2001~2011年间的平均20.71%。

(2) 机械使用程度在加速。就全国平均水平来说,1990~2000年间,机械成本份额年均增加0.76%,或者说,机械使用年均增加0.76%。然而,2000年以来,机械的成本份额每年增加0.84%,或者说,机械使用每年增加的幅度加大。

(3) 机械偏斜地区间趋同。就小麦主产区来讲,技术进步的机械偏斜程度都在提高,基本上从1990~2000年的年均0.50%~0.60%,上升到2001~2011年的年均0.70%左右。

^①注意:前后年份劳动力成本份额出现异常值。

(4) 主产区机械偏斜程度较低。很明显,所有主产区小麦生产技术进步机械偏斜程度(以2001~2011年平均为例,最大值为0.76)均小于全国平均水平(同期为0.84)。这说明,非小麦主产区小麦生产技术进步机械偏斜程度要高于主产区。换句话说,非小麦主产区小麦生产中机械投入的力度在加大。事实上,中国小麦生产中的机械使用型技术进步方式,同机械成本份额的减少基本一致。亦即随着机械使用成本下降,生产者调整了生产要素的投入结构,明显增加了机械投入数量。这一点与目前中国实施的农业机械补贴政策有关。

3. 化肥投入偏斜。(1) 化肥节约型的技术进步。就全国平均水平来说,1990~2000年间,化肥成本份额每年减少0.20%。然而,2001~2011年间,化肥投入平均每年减少0.09%,亦即化肥的成本份额每年只减少0.09%。这说明,尽管小麦生产中的技术进步表现为化肥节约型的,但是,这种类型的技术进步在减弱,可能转向化肥使用型的技术进步。

(2) 化肥偏斜程度差异明显。从各主产区小麦生产技术进步化肥偏斜程度看,有些主产区的偏斜程度是正值,说明这些省份的技术进步是化肥使用型的,例如河南和山东;相反,有些主产区的偏斜程度是负值,说明这些省份的技术进步是化肥节约型的,例如河北和安徽;更有甚者,有些主产区的化肥投入偏斜程度发生了根本性的变化,亦即由负值转为正值,例如江苏,说明该省的技术进步由化肥节约型转向了化肥使用型。这些观察说明,各地区小麦生产技术进步在化肥投入行为上表现出显著的差异。

(3) 要素价格产区间差异。由于要素偏斜型技术进步是要素价格变化诱导的结果,那么,根据上面第二个发现,不难推出地区间要素价格存在相对变动,亦即有些地区化肥价格相对提高了,有些地区化肥价格相对降低了。具体来说,在河北和安徽,化肥价格可能相对提高了;在河南和山东,化肥价格可能相对降低了;而在江苏化肥价格可能由相对提高转向了相对降低。究竟是什么因素导致了各地区化肥价格相对变化?这可能与各地区粮食生产补贴政策和补贴力度有关,但需做进一步分析。

(4) 全国化肥偏斜呈现多样性。例如就全国平均水平来讲,2001~2011年,小麦生产技术进步表现为化肥节约型技术进步。但是,就小麦主产区来讲,在河南、山东和江苏,同期小麦生产技术进步表现为化肥使用型技术进步;相反,在河北和安徽,小麦生产技术进步表现为化肥节约型技术进步。

六、要素需求与替代弹性

(一) 要素需求弹性

同样,基于成本函数的估计结果和要素需求弹性计算公式,可计算出中国小麦生产要素需求弹性。观察和分析这些要素需求弹性的估计结果(见表4),有如下基本结论:

1. 要素需求弹性有预期符号。这说明,要素需求弹性的估计结果符合经济理论;也说明,中国小麦生产要素需求仍处在理性的价格调节区间,亦即属于一般商品的范畴。事实上,对于以追求利润最大化为目的的小麦生产,要素价格始终是调节要素需求的经济杠杆。

2. 不同要素间需求弹性差异明显。就全国平均水平来讲,化肥需求弹性,上世纪90年代平均为-0.7269,2001~2011年平均为-0.7781;劳动力需求弹性,上世纪90年代平均为-0.5201,2001~2011年平均为-0.4907;机械需求弹性,上世纪90年代平均是-0.1895,2001~2011年平均是-0.1252;其它要素需求弹性,上世纪90年代平均为-0.3500,2001~2011年平均为-0.0906。

3. 劳动力和化肥的需求弹性较大。如果根据需求弹性大小,把生产要素需求分为完全没有弹性($|\eta_{ii}| = 0$)、缺乏弹性($|\eta_{ii}| < 1$)、单位弹性($|\eta_{ii}| = 1$)以及富有弹性或无限弹性($|\eta_{ii}| > 1$)。

可以看到,劳动力和化肥需求处在缺乏弹性的上限,这一结果符合农业生产实际。对于小麦生产来说,生产者不会因为劳动力和化肥价格提高,而显著减少这两种生产要素的投入量。因此,劳动力和化肥的需求弹性比较大。

表 4 中国小麦生产要素需求弹性 (η_{ii})

	劳动力	化肥	机械	其它
1990~2000 年				
全国	-0.5201*** (0.0266)	-0.7269*** (0.0266)	-0.1895 (0.1267)	-0.3500*** (0.1071)
河南	-0.5797*** (0.0334)	-0.6667*** (0.0218)	-0.2817** (0.1045)	-0.3405*** (0.1110)
山东	-0.5649*** (0.0312)	-0.6502*** (0.0207)	-0.2884** (0.1027)	-0.2580* (0.1404)
河北	-0.6187*** (0.0422)	-0.6625*** (0.0215)	-0.3932*** (0.0685)	-0.3070** (0.1238)
江苏	-0.5239*** (0.0269)	-0.6906*** (0.0234)	0.0006 (0.1679)	-0.3501*** (0.1070)
安徽	-0.5696*** (0.0319)	-0.6666*** (0.0218)	-0.1167 (0.1430)	-0.3708*** (0.0973)
2001~2011 年				
全国	-0.4907*** (0.0288)	-0.7781*** (0.0269)	-0.1252** (0.0788)	-0.0906 (0.1372)
河南	-0.5743*** (0.0325)	-0.7316*** (0.0270)	-0.3948*** (0.0677)	-0.2898** (0.1298)
山东	-0.5753*** (0.0327)	-0.7270*** (0.0266)	-0.3966*** (0.0666)	-0.2727** (0.1356)
河北	-0.6086*** (0.0392)	-0.7362*** (0.0275)	-0.4071*** (0.0537)	-0.2816** (0.1326)
江苏	-0.6001*** (0.0371)	-0.7153*** (0.0255)	-0.3753*** (0.0764)	-0.3672** (0.0992)
安徽	-0.5802*** (0.0334)	-0.7032*** (0.0244)	-0.3611*** (0.0815)	-0.3305** (0.1150)

注: 括号内的数值为估计误差, 计算公式为: $S.E(\eta_{ii}) = [\text{var}(\beta_{ii}) + T^2 \text{var}(\beta_{iTT}) + 2T \text{cov}(\beta_{ii}, \beta_{iTT})]^{0.5} / S_i$; ***表示 1% 显著性水平。

4. 主产区和非主产区间要素需求弹性差异明显。观察比较全国和主产区的要素需求弹性, 可以发现, 主产区有些要素的需求弹性普遍大于全国这些要素的需求弹性, 相反, 主产区有些要素的需求弹性普遍小于全国这些要素的需求弹性。具体来说, 主产区劳动力需求弹性明显普遍大于全国劳动力需求弹性。例如, 本世纪以来, 全国劳动力需求弹性为-0.49, 而主产区劳动力需求弹性均在-0.60的水平, 说明在中国小麦主产区, 劳动力价格对小麦生产中劳动力投入量影响较大。再者, 主产区机械需求弹性普遍大于全国机械需求弹性。例如, 同期全国机械需求弹性仅有-0.13, 而主产区机械需求弹性在接近-0.40的水平, 同样说明在中国小麦主产区, 机械使用成本对小麦生产中机械投入量影响较大。相反, 同期全国化肥需求弹性高达-0.78, 而所有主产区化肥需求弹性均在这个水平以下, 说明在中国小麦主产区, 化肥价格对小麦生产中化肥投入量影响较小。

5. 主产区间要素需求弹性差异不大。各种生产要素的需求弹性在主产区之间表现出非常一致的同质性特点。这一发现可能意味着, 主产区之间小麦生产要素投入行为差异不大, 小麦生产可能成为当地主导的农业活动。

(二) 要素替代弹性

同样, 基于成本函数的估计结果和要素替代弹性计算公式, 可计算出中国小麦生产要素替代弹性。观察和分析这些要素替代弹性的估计结果 (见表5), 有如下基本结论:

1. 要素的替代和补偿关系并存。根据替代弹性的定义, $\sigma_{ij} > 0$, 说明要素之间存在替代关系; $\sigma_{ij} < 0$, 说明要素之间存在补偿关系。观察表5中的替代弹性估计结果发现, 有些替代弹性大于零,

而有些替代弹性小于零,说明在中国小麦生产中,有些要素之间存在显著的替代关系,而有些要素之间呈现显著的补偿关系。

2.机械和其它要素有补偿关系。机械和其它要素之间不仅存在补偿关系,而且呈现强烈的补偿关系。说明机械投入增加,导致其它投入更大幅度增加,反之亦然。就全国平均水平来讲,1990~2000年,机械投入增加10%,导致其它投入增加22.2%;2001~2011年,机械投入增加10%,导致其它投入增加34.5%。机械和其它要素之间存在补偿关系,主要由于其它要素包括许多机械投入的附加服务,例如农用柴油、机械维护、农机零部件购买等。

3.劳动力和机械有较大替代关系。劳动力和机械的替代弹性大于1,说明劳动力和机械之间存在明显的替代关系。值得注意的是,劳动力和机械的替代弹性接近于1,说明它们之间存在单位替代弹性。实际上,这种劳动力和机械之间的替代关系,可以从其成本份额的变化中得到证实。在全国平均水平上,20年来劳动力成本份额下降了10个百分点,相反,机械成本份额则上升了10个百分点。劳动力和机械成本份额的此消彼长,从另一个侧面反映了它们之间这种替代关系的存在。

表5 中国小麦生产要素替代弹性 (σ_{ij})

	劳动力/化肥	劳动力/机械	劳动力/其它	化肥/机械	化肥/其它	机械/其它
1990~2000年						
全国	0.9006*** (0.0229)	1.0537*** (0.0679)	0.6898*** (0.0559)	0.7961*** (0.0517)	1.3271*** (0.0433)	-2.2234*** (0.0795)
河南	0.8979*** (0.0188)	1.0556*** (0.0560)	0.5966*** (0.0580)	0.8623*** (0.0426)	1.2778*** (0.0449)	-1.7561*** (0.0825)
山东	0.9089*** (0.0179)	1.0512*** (0.0551)	0.5223*** (0.0733)	0.8709*** (0.0419)	1.3347*** (0.0568)	-2.4261*** (0.1043)
河北	0.8724*** (0.0185)	1.0461*** (0.0367)	0.4312*** (0.0647)	0.9108*** (0.0279)	1.3059*** (0.0501)	-1.0137*** (0.0920)
江苏	0.9112*** (0.0202)	1.0721*** (0.0900)	0.6862*** (0.0559)	0.7615*** (0.0685)	1.2886*** (0.0433)	-3.2704*** (0.0795)
安徽	0.9024*** (0.0187)	1.0727*** (0.0766)	0.6621*** (0.0508)	0.8116*** (0.0583)	1.2434*** (0.0394)	-2.3048*** (0.0723)
2001~2011年						
全国	0.6353*** (0.0232)	0.8543*** (0.0423)	0.9097*** (0.0717)	1.3089*** (0.0321)	1.7498*** (0.0555)	-3.4515*** (0.1019)
河南	0.8763*** (0.0233)	1.0351*** (0.0363)	0.5399*** (0.0678)	0.8892*** (0.0276)	1.4034*** (0.0525)	-1.0863*** (0.0964)
山东	0.8778*** (0.0229)	1.0347*** (0.0357)	0.5174*** (0.0708)	0.8928*** (0.0271)	1.4141*** (0.0548)	-1.1448*** (0.1007)
河北	0.8485*** (0.0237)	1.0335*** (0.0288)	0.4345*** (0.0693)	0.9106*** (0.0219)	1.4193*** (0.0536)	-0.6903*** (0.0985)
江苏	0.8670*** (0.0220)	1.0452*** (0.0410)	0.5993*** (0.0518)	0.8821*** (0.0311)	1.2905*** (0.0401)	-0.8001*** (0.0737)

(续表 5)

安徽	0.8851*** (0.0211)	1.0435*** (0.0437)	0.5812*** (0.0601)	0.8792*** (0.0332)	1.3233*** (0.0465)	-1.2286*** (0.0855)
----	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------

注：括号内的数值为估计误差，计算公式为： $SE(\sigma_{ij}) = [\text{var}(\beta_{ij}) + T^2 \text{var}(\beta_{jT}) + 2T \text{cov}(\beta_{ij}, \beta_{jT})]^{0.5} / S_i S_j$ ；

***表示 1% 的显著性水平。

4. 其它要素之间也存在替代关系。同样，劳动力和化肥之间、劳动力和其它要素之间以及化肥和机械之间，也存在很强的替代关系，因为这些要素之间的替代弹性都非常接近 1。例如，劳动力和化肥、化肥和机械的替代弹性在 0.8~0.9 之间，劳动力和其它要素的替代弹性也在 0.4~0.7 之间。这些替代弹性的估计结果说明，在中国小麦生产中，生产要素之间可能普遍存在替代关系。也就是说，随着劳动力非农化转移，劳动力的机会成本增加，生产要素之间的替代关系逐渐增强，结果，小麦生产要素投入的优化重组频繁发生。其实，这一基本结论同 Chen et al. (2013) 发现的生产要素优化调整规律基本一致。

5. 化肥和其它要素有较大替代弹性。例如，进入本世纪以来，有些主产区化肥和其它要素的替代弹性高达 1.4，全国平均水平高达 1.75，说明化肥和其它要素之间存在高度的替代关系。然而，如何解释化肥和其它要素之间的这种高度替代关系，则比较困难。本文认为，最为合理的解释可能是其它要素包括有机肥，特别是 2000 年以来，它们之间的替代关系更加明显。表 5 清楚地显示，2001~2011 年，化肥和其它要素的替代弹性明显增大。事实上，化肥和有机肥之间的替代关系也反映在劳动力投入减少上，因为有机肥和劳动力之间存在明显的补偿关系。

七、研究结论

1. 要素成本结构变化。在中国小麦生产技术进步的过程中，生产要素价格的相对变化，导致了小麦生产成本结构发生变化。换句话说，某些要素价格明显提高，其成本份额显著减少；相反，某些要素价格明显下降，其成本份额显著增加。1990~2011 年间，中国小麦生产成本结构发生了明显变化，其中，劳动力成本份额减少了 10 个百分点，机械成本份额增加了 10 个百分点，其它要素成本份额降低了 20 个百分点，相反，化肥成本份额的变动趋势不明显。

2. 非中性技术进步。中国小麦生产中技术进步客观存在，而且技术进步速度比较稳定，从上世纪 90 年代到本世纪以来，中国小麦生产技术进步率稳定在年均 2.0% 左右。然而，中国小麦生产中的技术进步是非中性的，其主要技术进步类型是劳动力节约型和机械使用型；同时，在小麦主产区，还存在化肥使用型和节约型的技术进步方式。

3. 要素需求缺乏弹性。总体来讲，小麦生产要素需求均缺乏弹性，说明在中国小麦生产实际中，要素投入受要素价格影响不大；但不同要素之间需求弹性差异明显，尤其以劳动力和化肥的需求弹性最大；劳动力和化肥价格提高 10%，其需求量将分别减少 5% 和 8%；同时，在主产区和非主产区之间，要素需求弹性也存在明显差异。具体来说，主产区劳动力和化肥需求弹性要大于非主产区，相反，主产区机械需求弹性要小于非主产区，说明主产区劳动力和化肥投入受其价格影响较大，而主产区机械投入受其价格影响较小。

4. 要素替代富有弹性。总体来讲，小麦生产要素之间的替代弹性较大，说明中国小麦生产要素的替代关系和补偿关系并存。有些生产要素之间的替代弹性大于 1，它们之间存在显著的替代或补偿的可能性。具体来说，劳动力和机械之间存在显著的替代关系，化肥和有机肥之间存在显著的替代关系，而机械和其它要素（包括能源、农机维护等）之间存在显著的补偿关系。这些研究结果说

明, 受生产要素相对价格变化的影响, 小麦生产要素投入的优化重组频繁发生。

参考文献

1. Woodland, A. D.: Substitution of Structure, Equipment and Labor in Canadian Production, *International Economic Review*, 16(1): 171-187, 1975.
2. Stratopoulos, T; Charos, E. and Chaston, K.: A Translog Estimation of the Average Cost Function of the Steel Industry with Financial Accounting Data, *International Advances in Economic Research*, 6(2): 271-286, 2000.
3. Stevenson, R.: Measuring Technological Bias, *American Economic Review*, 70(1): 162-173, 1980.
4. Allen, C. and Urga, G.: Interrelated Factor Demands from Dynamic Cost Functions: An Application to the Non-energy Business Sector of UK Economy, *Economica*, 66(8): 403-413, 1999.
5. Atkinson, S. E. and Halvorsen, R.: Parametric Tests for Static and Dynamic Equilibrium, *Journal of Econometrics*, 85(1): 33-55, 1998.
6. Binswanger, H.: The Measurement of Technical Change Biases with Many Factors of Production, *The American Economic Review*, 64(6): 964-976, 1974.
7. Uzawa, H.: Production Functions with Constant Elasticities of Substitution, *Review of Economic Studies*, 29(4): 291-299, 1962.
8. Chen, Shuzhang; Oxley, L.; Xu, Zheng; Wang, Yanqing and Ma, Hengyun: The Dynamic Adjustments of Factor Inputs in China's Major Wheat Producing Areas, *Economic Modeling*, 33(1): 450-457, 2013.
9. 陈林兴、方挺:《农机购置补贴政策的成效、问题及对策》,《农机化研究》2011年第8期。
10. 丁岩、翟印礼:《辽吉两省玉米全要素生产率的比较研究——基于莫氏指数的研究》,《商业研究》2008年第12期。
11. 黄金波、周先波:《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》2010年第9期。
12. 黄映晖、戎承法、张正河:《DEA方法在小麦生产效率衡量中的应用》,《农业技术经济》2004年第5期。
13. 冷博峰、郭军、王雅鹏:《我国农作物良种补贴政策发展现状探索》,《经济纵横》2011年第1期。
14. 李农、万玮:《我国农机购置补贴的宏观政策效应研究》,《农业经济问题》2010年第12期。
15. 孟令杰、张红梅:《中国小麦生产的技术效率地区差异》,《南京农业大学学报(社会科学版)》2004年第2期。
16. 闵锐、李谷成:《湖北省粮食生产要素生产率变化和技术进步的替代效应及政策建议》,《农业现代化研究》2012年第5期。
17. 王姣、肖海峰:《我国良种补贴、农机补贴和减免农业税政策效果分析》,《农业经济问题》2007年第2期。
18. 王军、徐晓红、王洪丽、姚凤桐:《中国核心优势产区玉米生产效率增长及其分解分析》,《玉米科学》2010年第6期。
19. 魏丹、闵锐、王雅鹏:《粮食生产率增长、技术进步、技术效率——基于中国分省数据的经验分析》,《中国科技论坛》2010年第8期。
20. 翁玲玲:《关于粮食生产效率的文献综述》,《科技和产业》2012年第8期。
21. 张冬平、冯继红、白菊红:《河南小麦生产效率数据包络分析》,《河南农业大学学报》2005年第1期。
22. 张冬平、张继红:《我国小麦生产效率的DEA分析》,《农业技术经济》2005年第3期。
23. 张雪梅:《我国玉米生产增长因素的分析》,《农业技术经济》1999年第12期。
24. 张越杰:《中国东北地区玉米生产效率的实证研究——以吉林省为例》,《吉林农业大学学报》2008年第4期。

(作者单位: ¹河南农业大学经济与管理学院;
²中国农业科学院农业经济与发展研究所)
(责任编辑: 小林)