

何悦, 漆雁斌, 汤建强, 等. 中国粮食生产化肥利用效率的区域差异与收敛性分析[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(3): 729-735.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.03.032

# 中国粮食生产化肥利用效率的区域差异与收敛性分析

何悦<sup>1,2</sup>, 漆雁斌<sup>1</sup>, 汤建强<sup>3</sup>

(1. 四川农业大学经济学院, 四川 成都 611130; 2. 长江师范学院财经学院, 重庆 408001; 3. 重庆市涪陵区第十五中学校, 重庆 408000)

**摘要:** 本研究采用 1998–2016 年全国 31 个省市自治区的面板数据, 运用随机前沿函数, 对中国粮食主产区、主销区和平衡区的粮食生产化肥利用效率进行测算, 并借助  $\sigma$  收敛和  $\beta$  收敛对全国范围及各功能区粮食生产化肥利用效率的收敛性进行检验。中国 3 个粮食功能区粮食生产技术效率和化肥利用效率均呈现上升趋势, 但粮食生产技术效率远远高于化肥利用效率; 三大功能区的化肥利用效率虽存在一定的区域差异, 但均具有收敛特征, 说明这种区域差异会逐渐缩小, 各省市自治区自身的效率水平也逐渐趋于稳态。中国粮食生产化肥利用效率水平较低, 还有较大的提升空间, 且中国不同区域存在较大差异, 建议通过教育培训、技术推广等多途径促使农民合理施肥, 提高化肥利用效率, 促进农业绿色发展。

**关键词:** 化肥利用效率; 粮食生产;  $\sigma$  收敛;  $\beta$  收敛

**中图分类号:** S147.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4440(2019)03-0729-07

## Regional difference and convergence analysis on fertilizer application efficiency of grain production in China

HE Yue<sup>1,2</sup>, QI Yan-bin<sup>1</sup>, TANG Jian-qiang<sup>3</sup>

(1. College of Economics, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Institute of Finance and Economics, Yangze Normal University, Chongqing 408001, China; 3. The 15th Middle School of Fuling District, Chongqing 408000, China)

**Abstract:** Based on the panel data of 31 provinces in China from 1998 to 2016, the stochastic frontier function is used to estimate the fertilizer application efficiency of grain production in China and there functional areas of grain production, and the convergence of the fertilizer application efficiency of grain production in various functional areas was tested by using the classical model. The technical efficiency and fertilizer application efficiency of grain production in China and three food functional areas showed an increasing trend, but the technical efficiency of grain production was much higher than that of fertilizer application efficiency. There are certain regional differences in the utilization efficiency of chemical fertilizers in the three functional areas of grain production, but the fertilizer application efficiency have convergence characteristics in China and there food functional areas, the differences of fertilizer application efficiency in the provinces contained of various regions will gradually narrowed and the efficiency level of the provinces itself gradually tends to the steady state. The efficiency level of fertilizer use in grain production in China is low, and there is still a large room for improvement. Besides, there is a big

difference between different regions in China. Through education training and technology promotion to encouraged farmers are apply fertilizer rationally, and improve the efficiency of fertilizer use and promote the green development of agriculture.

**Key words:** fertilizer application efficiency; grain production; sigma convergence; beta convergence

收稿日期: 2018-10-11

基金项目: 国家社会科学基金项目(14XGL003)、教育部人文社科项目(16XJA79000)、四川省农村发展研究中心资助项目(CR1624、CR1719)

作者简介: 何悦(1988-), 女, 重庆涪陵人, 博士研究生, 研究方向: 农业经济理论与政策研究。

通讯作者: 漆雁斌, (E-mail) heyuework@163.com

在基本自给的粮食安全政策主导下,追求粮食产量成为中国农业生产和发展的首要目标<sup>[1]</sup>。改革开放以来,中国粮食生产发展迅速,用世界十分之一的耕地养活了世界五分之一的人口,创造了粮食生产的奇迹<sup>[2]</sup>。在巨大的粮食需求压力下,化肥成为保障中国粮食安全的重要选择。据中国历年统计年鉴数据显示,中国农业化肥施用折纯量 1978 年为  $1.64 \times 10^7$  t, 到 2016 年为  $5.98 \times 10^7$  t, 年均增长率达到 7%。化肥的施用促使中国粮食产量不断提升,但当化肥施用量达到一定程度后,其对粮食产量增长的边际贡献率却逐渐下降,而且过量施肥会造成生产资源的浪费,农业生产成本的提升,还会带来严重的农业面源污染,不利于中国乡村振兴战略的实施。2016 年中国平均每  $1 \text{ hm}^2$  化肥施用量达  $359 \text{ kg/hm}^2$ , 远远超过国际上为防止水体污染而设置的  $225 \text{ kg/hm}^2$  的安全上限<sup>[3]</sup>, 过量施肥已成为中国农业生产中较为普遍的现象<sup>[4]</sup>。化肥的过量使用也意味着中国农业生产化肥利用效率较低,造成严重的生态环境污染,直接影响到农业的可持续发展。在当前中国推进生态文明建设,迈向高质量发展的背景下,如何在保证粮食安全的同时,减少化肥施用量,提高化肥利用效率,成为中国农业生产和发展的重要议题。

随着环境问题不断涌现,农业面源污染问题逐渐受到社会各界的重视,越来越多的学者围绕化肥施用量和化肥利用效率进行研究。现有文献对于化肥利用效率的研究主要分成 2 类:一是学者们主要从农作物对化肥的吸收率和化肥利用效率进行研究,张福锁等对中国粮食主产区水稻、小麦、玉米 3 种粮食作物的氮肥吸收率进行了测算<sup>[5]</sup>;二是学者们主要是利用统计数据和经济模型来测算化肥利用效率。Reinhard 在测算荷兰奶牛养殖户环境效率时,假设产出和其他要素投入保持不变,用能够实现当前产量的最低施用量除以当前实际施用量,所得到的比值即为环境效率<sup>[6]</sup>。随后,学者们<sup>[7-11]</sup>逐渐将这种思路引用到农业生产化肥利用效率的测算中,学者们普遍认为中国存在过量施肥现象,化肥利用效率偏低。

通过对现有研究结果的梳理,目前研究粮食生产效率的文献较为丰富,研究单一生产要素投入效率的文献相对薄弱,已有化肥利用效率的研究,大多是从全国或者东、中、西部地区划分、水域划分进行分析和比较,缺乏从粮食生产功能区的视角对化肥利用效率的分析。鉴于此,本研究通过 1998–2016

年中国 31 个省市自治区粮食生产的省级面板数据,采用随机前沿生产函数,测算粮食生产主产区、主销区和平衡区的化肥利用效率,详细分析不同区域化肥利用效率的变化及其差异,深入探讨不同功能区的化肥利用效率特点,在此基础上,对全国以及粮食主产区、主销区和平衡区的化肥利用效率的收敛性特征进行分析。

## 1 研究方法、变量与数据

### 1.1 研究方法

参考已有文献,学者们主要从技术方面测算化肥利用效率。当其他要素投入固定,产出不变的情况下,可能的最小化肥使用量和实际使用量之比,即为化肥利用效率<sup>[7, 12-14]</sup>。实际上,是在测算粮食生产技术效率的基础上进一步测算化肥利用效率。

由于农业生产存在一定的特殊性,其受随机性强的自然因素影响较大,因此,本研究采用随机前沿生产函数模型构建中国粮食生产的随机前沿生产函数,设定为 C-D 函数模型,具体如下:

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln A_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln F_{it} + \beta_4 \ln P_{it} + \beta_5 \ln M_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (1)$$

其中,  $Y_{it}$ 、 $A_{it}$ 、 $L_{it}$ 、 $F_{it}$ 、 $P_{it}$ 、 $M_{it}$  分别为第  $i$  个省市自治区在  $t$  时期的粮食产量、粮食播种面积、种粮劳动力数量投入、种粮化肥投入、种粮农药投入和种粮机械投入。 $v_{it}$  反映不可控因素对产量的随机影响,服从  $N(0, \sigma_v^2)$  独立同分布的随机变量; $u_{it}$  表示各省市粮食生产技术效率低所引起的非负随机变量,代表实际产出与潜在产出之间的差距,服从  $N(0, \sigma_u^2)$  分布;且  $v_{it}$  与  $u_{it}$  相互独立。另外,  $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$ 、 $\beta_5$  为待估系数。利用最大似然法对随机前沿生产函数模型进行估计,定义  $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$  和  $\gamma = \sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)$ , 通过对  $\gamma$  的估计反映技术非效率的显著性。

技术效率(Technical efficiency, TE)表示实际产出与潜在产出之比,具体计算公式为:  $TE_{it} = e^{-u_{it}}$ 。当  $u_{it} = 0$  时,  $TE_{it} = 1$ , 表示不存在技术无效率,生产点在生产前沿面上;当  $u_{it} > 0$  时,  $0 < TE_{it} < 1$ , 表示存在技术无效率,生产点在生产前沿的下方。

$TE_{it}$  本质上测量的是生产单位使用所有投入要素的技术效率,为了进一步测算化肥这一单一投入要素的利用效率,假定生产不存在无效率,即公式(1)中  $u_{it} = 0$ , 此时的投入产出将均处于生产前沿面上。并保持产出和其他要素投入不变,减少化肥投入( $F_{it}$ )

直到可能达到的最小投入量( $F'_{it}$ ),由此得到:

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln A_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln F'_{it} + \beta_4 \ln P_{it} + \beta_5 \ln M_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (2)$$

由(1)、(2)二式相减可得到:

$$\beta_3 (\ln F'_{it} - \ln F_{it}) + u_{it} = 0 \quad (3)$$

根据前文的分析,化肥利用效率是指最小化肥使用量与实际使用量的比值,因此可表示为  $EF_{it} = F'_{it}/F_{it}$ , 其对数形式表现为:  $\ln EF_{it} = \ln F'_{it} - \ln F_{it}$ , 结合(3)式,可得到化肥利用效率的计算公式:

$$EF_{it} = e^{-u_{it}/\beta_3} \quad (4)$$

表1 投入产出指标

Table 1 Input and output index

指标	变量	变量说明
产出	粮食产量( $Y$ )	粮食总产量
投入	土地投入( $A$ )	粮食作物播种面积
	劳动力投入( $L$ )	种粮劳动力=农林牧渔从业人员×(农业产值/农林牧渔业总产值)×(粮食作物播种面积/农作物播种面积)
	化肥投入( $F$ )	种粮化肥投入=农用化肥施用折纯量×(粮食作物播种面积/农作物播种面积)
	农药投入( $P$ )	种粮农药投入=农药使用量×(粮食作物播种面积/农作物播种面积)
	机械投入( $M$ )	种粮机械总动力=农业机械总动力×(粮食作物播种面积/农作物播种面积)

### 1.3 数据来源

鉴于中国粮食生产具有明显的区域性特征,本研究参考高鸣等<sup>[16]</sup>将31个省市自治区划分为粮食主产区、平衡区和主销区三大功能区进行比较和分析(表2)。各个变量数据主要来源于《中国农村统计年鉴》、《中国统计年鉴》、《新中国60年统计资料汇编》。

表2 主要变量的描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of the main variables

变量	单位	平均值	标准差	最小值	最大值
$Y$	t	$1.696.07 \times 10^4$	$1.371.30 \times 10^4$	$53.70 \times 10^4$	$6.324.00 \times 10^4$
$A$	hm <sup>2</sup>	$349.70 \times 10^4$	$264.34 \times 10^4$	$8.73 \times 10^4$	$1.180.47 \times 10^4$
$L$	人	$351.47 \times 10^4$	$280.71 \times 10^4$	$8.70 \times 10^4$	$1.565.25 \times 10^4$
$F$	t	$109.86 \times 10^4$	$92.90 \times 10^4$	$2.18 \times 10^4$	$509.70 \times 10^4$
$P$	t	$3.31 \times 10^4$	$2.82 \times 10^4$	$0.04 \times 10^4$	$14.33 \times 10^4$
$M$	kW	$1.716.91 \times 10^4$	$1810.51 \times 10^4$	$39.71 \times 10^4$	$9.072.87 \times 10^4$

## 2 中国粮食生产化肥利用效率的测算与分析

### 2.1 随机前沿生产函数模型估计

本研究利用软件 Frontier4.1,采用极大似然估

### 1.2 变量说明

本研究选取1998–2016年中国31个省市自治区的粮食总产量作为产出指标。投入指标主要从劳动力投入、化肥投入、农药投入和技术投入4个方面进行考量,其中土地投入选取粮食作物播种面积,劳动力投入借鉴王跃梅等<sup>[15]</sup>的测度方法,从事种粮劳动力数量=农林牧渔从业人员×(农业产值/农林牧渔业总产值)×(粮食播种面积/农作物播种面积),与之对应,化肥投入、农药投入和机械投入均采用此方法进行测度。指标说明详见表1。

计方法对随机前沿生产函数模型进行估计(表3)。

表3 随机前沿生产函数模型估计结果

Table 3 Estimation result of the stochastic frontier production function model

变量	估计系数	标准误	T值
$\ln A$	0.855 1 **	0.035 6	24.030 4
$\ln L$	-0.006 1	0.025 2	0.240 0
$\ln F$	0.204 3 **	0.027 3	7.494 2
$\ln P$	0.007 3	0.013 6	0.536 1
$\ln M$	0.001 0	0.012 5	0.082 0
$c$	1.988 2 **	0.068 9	28.845 6
$\sigma^2$	0.894 0 **	0.006 0	6.742 1
$\gamma$	0.381 0 **	0.010 6	84.398 5

\*\*表示在0.01水平上显著。

从回归结果可以看出,通过似然比LR检验,拒绝技术无效率部分各项系数为零的原假设,说明存在技术无效率的情况,所有样本点都处于生产前沿面上的假设是不成立的,因此,采用随机前沿生产函数更适合数据分析。在投入的5种要素中,只有土地投入和化肥投入2种要素在0.01水平显著,土地投入的弹性系数较大,为0.855 1,化肥投入的弹性系数为

0.204 3,说明化肥投入对粮食生产具有一定的影响。

## 2.2 化肥施用效率区域差异分析

本研究运用软件 Frontier4.1,根据 1998–2016 年全国 31 个省市自治区的相关数据测得技术效率  $TE$  的值。根据上文中提到的公式  $TE_{it} = e^{-u_{it}}$  可以求出  $u_{it}$ ,然后利用公式  $FE_{it} = e^{-u_{it}}/\beta_3$  和表 3 中  $\beta_3$  的估计结果(即估计系数)计算可以得到化肥利用效率值  $FE$ ,并基于区域差异的视角对全国及其粮食生产三大功能区进行分析和比较。表 4 给出了全国及粮食主产区、主销区和平衡区 1998–2016 年粮食生产技术效率和化肥利用效率,表中显示的数据是各区域省市自治区每年的效率均值。

从表 4 中我们可以看出,1998–2016 年全国及粮食生产三大功能区粮食生产技术效率均呈现逐步上升的趋势,基本符合中国基本国情。1998–2016 年全国粮食生产技术效率平均值为 0.625 7,其中主产区的粮食生产技术效率平均值为 0.644 3,高于主销区粮食生产技术效率(0.640 0)和平衡区粮食生产技术效率(0.625 0),主产区的粮食生产技术效率高于主销区

和平衡区,中国划分粮食功能区的初衷得到体现。

在环境和资源的双重压力下,国家多次提出提高化肥利用效率。1998–2016 年全国及粮食生产三大功能区化肥利用效率均呈现逐步提高的趋势,但其效率值远远低于粮食生产技术效率值。1998–2016 年全国化肥利用效率平均值为 0.344 6,其中主产区的化肥利用效率为 0.344 2,主销区的化肥利用效率为 0.351 9,平衡区的化肥利用效率为 0.337 7,在研究期内化肥利用效率,主销区>主产区>平衡区。这主要是粮食主销区所包含的省市自治区位于中国东部沿海地区,经济发展水平较高且农业现代化程度较高,大量农业机械得到广泛使用,当地农户为节约劳动力成本,运用机械施肥,采用深耕深施等技术,有效提高化肥的利用效率。而由于粮食平衡区所包含的省市自治区大多位于中国西部地区和贫困地区,农户收入较低,大量农村劳动力外出务工,导致农业劳动力的短缺,通过化肥、农药等农业化学品的大量投入来替代劳动力的趋势已成为农户的普遍选择,化肥施用量的增加导致化肥利用效率处于较低水平。

表 4 1998–2014 年中国粮食功能区粮食生产技术效率和化肥利用效率

Table 4 Food production technical efficiency and fertilizer utilization efficiency in China's grain functional area during 1998–2014

年份	粮食生产技术效率( $TE$ )				化肥利用效率( $FE$ )			
	主产区	主销区	平衡区	全国	主产区	主销区	平衡区	全国
1998	0.598 2	0.594 4	0.578 6	0.579 2	0.291 0	0.298 6	0.286 1	0.291 9
1999	0.603 5	0.599 7	0.584 0	0.584 6	0.296 8	0.304 4	0.291 6	0.297 6
2000	0.608 9	0.604 9	0.589 3	0.589 9	0.302 5	0.310 2	0.297 2	0.303 3
2001	0.614 1	0.610 2	0.594 6	0.595 3	0.308 4	0.316 0	0.302 9	0.309 1
2002	0.629 4	0.615 4	0.599 9	0.600 5	0.314 2	0.321 9	0.308 5	0.314 9
2003	0.624 6	0.620 5	0.605 1	0.605 8	0.320 1	0.327 8	0.314 2	0.320 7
2004	0.629 8	0.625 6	0.610 3	0.611 0	0.326 0	0.333 7	0.320 0	0.326 6
2005	0.634 9	0.630 7	0.615 5	0.616 1	0.332 0	0.339 7	0.325 8	0.332 5
2006	0.640 0	0.635 7	0.620 6	0.621 3	0.337 9	0.345 6	0.331 6	0.338 4
2007	0.645 0	0.640 7	0.625 7	0.626 3	0.343 9	0.351 6	0.337 4	0.344 3
2008	0.640 0	0.645 6	0.630 7	0.631 4	0.349 9	0.357 6	0.343 2	0.350 2
2009	0.654 9	0.650 5	0.635 7	0.636 4	0.355 9	0.363 6	0.349 1	0.356 2
2010	0.659 8	0.655 3	0.640 6	0.641 3	0.362 0	0.369 7	0.355 0	0.362 2
2011	0.664 7	0.660 1	0.645 5	0.646 2	0.368 0	0.375 7	0.360 9	0.368 2
2012	0.669 5	0.664 9	0.650 4	0.651 1	0.374 1	0.381 8	0.366 8	0.374 2
2013	0.674 3	0.669 6	0.655 2	0.655 9	0.380 2	0.387 8	0.372 7	0.380 2
2014	0.669 0	0.674 2	0.659 9	0.660 7	0.386 3	0.393 9	0.378 7	0.386 3
2015	0.683 7	0.678 9	0.664 7	0.665 4	0.392 4	0.400 0	0.384 6	0.392 3
2016	0.688 3	0.683 4	0.669 4	0.670 1	0.398 4	0.406 0	0.390 6	0.398 3
平均	0.644 3	0.640 0	0.625 0	0.625 7	0.344 2	0.351 9	0.337 7	0.344 6

### 2.3 化肥施用效率时间维度分析

图1可以看出,从绝对值来说,无论是粮食生产技术效率还是化肥利用效率,从1998-2016年均呈现上升的趋势,且粮食生产技术效率远远高于化肥利用效率。为了保障人们对于粮食的需求,国家出台政策极力推进粮食产量的增加,逐渐形成农户对化肥等化学品的依赖,化肥过量使用的现象屡见不鲜。但随着生态环境的恶化,国家和社会各界开始

关注过量施肥的危害,并开始引导农户的合理施肥行为。因此,从增长率来看,虽然粮食生产技术效率和化肥利用效率增长率呈现持续下降的趋势,但是化肥利用效率的增长率仍然远远高于粮食生产技术效率的增长率。由于科学技术的研发和推广需要一段时间,而且随着粮食生产技术效率和化肥利用效率基数的增加,虽仍保持效率绝对值的增加,但直接影响到两者增长率的持续增长。

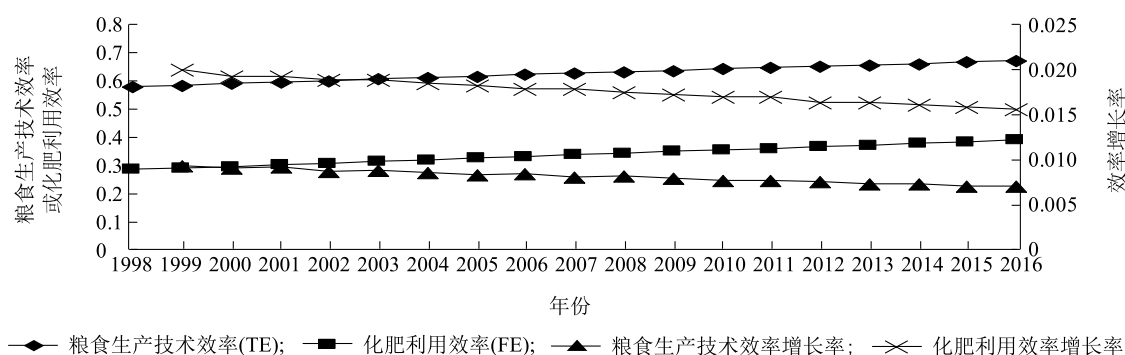


图1 1998-2016年中国粮食生产技术效率和化肥利用效率及其增长率

Fig.1 China's grain production technical efficiency, fertilizer utilization efficiency and its growth rate from 1998 to 2016

## 3 中国粮食生产化肥利用效率收敛性分析

中国粮食生产化肥利用效率存在较大的区域差异,而不同区域化肥利用效率是否趋于相同效率水平,是本部分要研究的重要问题。分别对全国粮食生产三大功能区(主产区、主销区、平衡区)的化肥利用效率进行 $\sigma$ 收敛和 $\beta$ 收敛分析,其中 $\beta$ 收敛又包括绝对 $\beta$ 收敛和条件 $\beta$ 收敛。

### 3.1 $\sigma$ 收敛

随着 $\sigma$ 收敛广泛应用于各领域,其计算方法也越来越丰富,现有研究中主要的计算方法有标准差、

基尼系数、变异系数、泰尔指数等<sup>[17]</sup>,本研究选取变异系数进行测度。

从图2中可以看出,中国化肥利用效率变异系数从1999年的0.0099逐渐下降到2016年的0.0077,说明中国各省市自治区之间的化肥利用效率差距在逐渐缩小。粮食三大功能区化肥利用效率变异系数的线性趋势较明显,均呈现不断下降的趋势,但又存在一定的差异;粮食主产区变异系数从1999年至2016年下降幅度最大,其次是粮食主销区,最后是粮食平衡区。总体来说,全国粮食主产区、粮食主销区和粮食平衡区的化肥利用效率存在不同程度的 $\sigma$ 收敛。

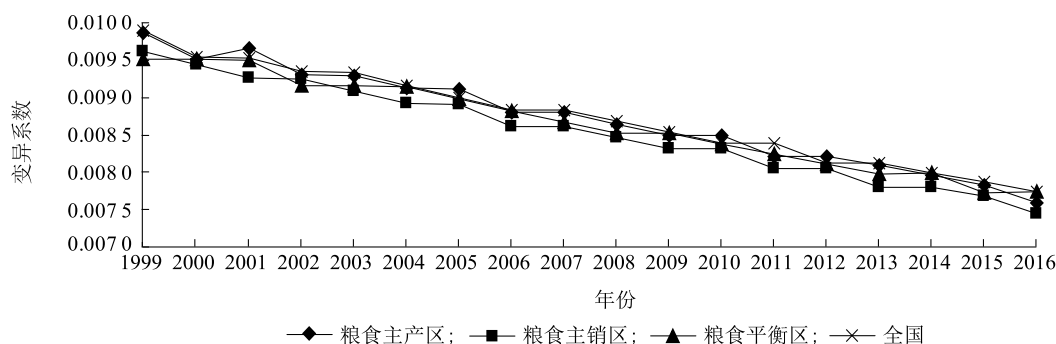


图2 1999-2016年中国粮食生产三大功能区化肥利用效率的变异系数

Fig.2 Variation coefficient of fertilizer use efficiency in three major functional areas of grain production in China from 1999 to 2016

### 3.2 $\beta$ 收敛

3.2.1 绝对  $\beta$  收敛 绝对  $\beta$  收敛是指不同区域化肥利用效率将会达到完全相同的稳态水平,即各区域化肥利用效率最终会趋于一致,表明化肥利用效率低的区域其提升速率快于化肥利用效率高的区域。本研究利用 Robert 等<sup>[18]</sup>提出的检验  $\beta$  收敛的方程:

$$\frac{1}{T} \cdot (\ln FE_{i,t+T} - \ln FE_{i,t}) = \alpha + \beta \ln FE_{i,t} + \varepsilon_{it}$$

其中,  $FE_{i,t}$  和  $FE_{i,t+T}$  分别表示第  $i$  个区域期初和期末的化肥利用效率值,  $T$  表示时间跨度,  $\alpha$  和  $\beta$  为待估系数,  $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项。如果估计结果中  $\beta$  显著并为负值,则表明化肥利用效率存在绝对  $\beta$  收敛,否则表示不存在收敛。

绝对  $\beta$  收敛检验结果(表 5)表明,全国粮食生产三大功能区模型中  $\beta$  系数都为负值且在 0.01 水平显著,表明化肥利用效率低水平的地区增速明显快于高水平地区,其存在的差距逐渐缩小,各地区化肥利用效率最终将达到一个稳态水平。

表 5 全国粮食生产三大功能区化肥利用效率绝对  $\beta$  收敛检验

Table 5 Absolute  $\beta$  convergence test of fertilizer utilization efficiency in three functional areas of grain production in China

地区	主产区	主销区	平衡区	全国
回归系数	-0.184 **	-0.261 **	-0.180 **	-0.184 **
常数项	-0.085 8 **	-0.114 0 **	-0.087 2 **	-0.085 9 **
判定系数	0.283	0.277	0.177	0.233
修正判定系数	0.280	0.271	0.173	0.231
F 检验	69.120	25.170	49.110	141.700

\*\* 表示在 0.01 水平显著。

3.2.2 条件  $\beta$  收敛 条件  $\beta$  收敛指由于每个区域存在不同的特征和条件,从而使化肥利用效率会朝着不同的稳态水平趋近。本研究遵循一般思路,采用固定效应模型对相关条件收敛性进行检验,设定条件收敛的检验方程如下:

$$\ln FE_{i,t} - \ln FE_{i,t-1} = \alpha_1 + \beta_1 \ln FE_{i,t-1} + \xi_{it}$$

从表 6 可知,全国粮食生产三大功能区模型中  $\beta_1$  系数都为负值,且在 0.01 水平通过显著性检验,说明全国粮食生产三大功能区的化肥利用效率均朝着各自的均衡水平调节,存在条件  $\beta$  收敛现象。

结合绝对  $\beta$  收敛和条件  $\beta$  收敛检验结果表明,全国粮食生产三大功能区,其化肥利用效率均具有

收敛特征,这说明粮食主产区、主销区和平衡区所包含省份的化肥利用效率的差异会逐渐缩小,同时各省份自身的效率水平也逐渐趋于稳态。

表 6 全国粮食生产三大功能区化肥利用效率条件  $\beta$  收敛检验

Table 6 Conditional  $\beta$  convergence test of fertilizer utilization efficiency in three functional areas of grain production in China

变量	主产区	主销区	平衡区	全国
回归系数	-0.487 **	-0.405 **	-0.375 **	-0.416 **
常数项	-0.213 **	-0.151 **	-0.184 **	-0.183 **
判定系数	0.279	0.251	0.207	0.237
修正判定系数	0.236	0.206	0.160	0.192
F 检验	85.040	39.520	48.480	163.600

\*\* 表示在 0.01 水平显著。

## 4 讨论

本研究运用中国 31 个省市自治区 1998–2016 年粮食生产的相关数据,采用随机前沿生产函数模型测算全国范围和粮食三大功能区的粮食生产化肥利用效率,并对其收敛性进行检验。研究发现:(1) 粮食生产三大功能区的化肥利用效率存在一定的区域差异,考察期内,粮食主销区化肥利用效率最高,主产区次之,平衡区利用效率最低;(2) 中国三个粮食功能区粮食生产技术效率和化肥利用效率均呈现上升的趋势,但粮食生产技术效率远远高于化肥利用效率;(3) 全国粮食生产三大功能区的化肥利用效率均具有收敛特征,粮食主产区、主销区和平衡区所包含省份的化肥利用效率的差异会逐渐缩小,同时各省份自身的效率水平也逐渐趋于稳态。

在中国深化农业供给侧结构性改革,实施乡村振兴战略的背景下,提高农业生产化肥利用效率势在必行。基于上述研究结论得到以下启示:从整体来看,一是加大对农户的教育和培训,增强他们的绿色生产意识,提高农户对过量施肥和合理施肥的认知,鼓励在粮食生产中用有机肥、农家肥替代化肥,提高化肥利用效率;二是加大农业生产技术的推广力度,促进测土配方施肥技术的采纳和运用,积极引导农户根据不同区域土壤特性和自然环境进行合理施肥。从区域来看,结合中国粮食生产的功能性分区,在充分发挥各区域功能性优势的基础上,不断提高各区域粮食生产化肥利用效率,避免粮食主产区“产量化肥施用量,双量齐飞”、粮食主销区“过量化

肥替代劳动力”、粮食平衡区“认知不够,数量来凑”等现象的发生。

#### 参考文献:

- [1] 付恭华. 中国粮食生产的多维成本研究[D]. 北京:中国农业大学, 2014.
- [2] 闫湘,金继运,梁鸣早. 我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率[J]. 土壤, 2017,49(6):1067-1077.
- [3] 梁流涛,冯淑怡,曲福田. 农业面源污染形成机制:理论与实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2010,20(4):74-80.
- [4] HUANG J, HU R, CAO J, et al. Training programs and in-the-field guidance to reduce China's overuse of fertilizer without hurting profitability[J]. Journal of Soil & Water Conservation, 2008,63(5):165-167.
- [5] 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008,45(5):915-924.
- [6] REINHARD S, THIJSSEN G. Econometric estimation of technical and environmental efficiency: an application to dutch dairy farms[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1999,81(1):44-60.
- [7] 王则宇,李谷成,周晓时. 农业劳动力结构、粮食生产与化肥利用效率提升——基于随机前沿生产函数与Tobit模型的实证研究[J]. 中国农业大学学报, 2018,23(2):158-168.
- [8] 王善高,刘余,田旭,等. 我国农业生产中化肥施用效率的时空变化与提升途径研究[J]. 环境经济研究, 2017(3):101-114.
- [9] 刘德伟,李强,宋孝航. 中国粮食生产化肥施用效率分析——基于随机前沿生产函数[J]. 资源开发与市场, 2017,33(4):401-407.
- [10] 朱宁,马骥. 粮食生产中化肥利用率的测算及其决定因素分析[J]. 技术经济, 2014,33(9):91-96.
- [11] 张波,白秀广. 黄土高原区苹果化肥利用效率及影响因素——基于358个苹果种植户的调查数据[J]. 干旱区资源与环境, 2017,31(11):55-61.
- [12] 李静,李晶瑜. 中国粮食生产的化肥利用效率及决定因素研究[J]. 农业现代化研究, 2011,32(5):565-568.
- [13] 史常亮,朱俊峰,栾江. 我国小麦化肥投入效率及其影响因素分析——基于全国15个小麦主产省的实证[J]. 农业技术经济, 2015(11):69-78.
- [14] 杨增旭,韩洪云. 化肥施用技术效率及影响因素——基于小麦和玉米的实证分析[J]. 中国农业大学学报, 2011,16(1):140-147.
- [15] 王跃梅,姚先国,周明海. 农村劳动力外流、区域差异与粮食生产[J]. 管理世界, 2013(11):67-76.
- [16] 高鸣,宋洪远. 粮食生产技术效率的空间收敛及功能区差异——兼论技术扩散的空间涟漪效应[J]. 管理世界, 2014(7):83-92.
- [17] 庞家幸. 中国农业生态效率研究[D]. 兰州:兰州大学, 2016.
- [18] ROBERT J BARRO, XAVIER SALA-I-MARTIN. Economic Growth[M]. New York:McGraw-Hill College, 1995.

(责任编辑:陈海霞)