

## 我国养猪业环境全要素生产率测算与分解研究 ——基于 SFA-Malmquist 方法

李欣蕊 齐振宏\* 曹丽红

(华中农业大学 经济管理学院/湖北农村发展研究中心,武汉 430070)

**摘要** 为掌握环境制约下我国各地区养猪业经济增长状况,采用随机前沿分析(SFA)和 Malmquist 指数相结合的方法,将养猪业碳排放引入生产效率模型,测算新世纪以来我国养猪业技术效率和环境全要素生产率的变化。研究表明:其他资本投入、用工投入、饲料投入、仔猪投入和养猪业碳排放对生猪产出都有显著影响;在分时期及整个样本期,中部、东部和西部的技术效率逐次降低,且三大地区的差距具有不断拉大的趋势;2001—2012 年除西藏、青海、宁夏和海南 4 省市外的养猪业环境全要素生产率平均指数均 $<1$ ;2006—2012 年全国养猪业环境全要素生产率平均下降速度呈现出由中部、东部、西部逐次递减的格局;2001—2012 年我国养猪业生产出现了普遍的技术倒退现象。

**关键词** 养猪业;技术效率;环境全要素生产率;随机前沿分析(SFA);Malmquist 指数

**中图分类号** F 326.34 **文章编号** 1007-4333(2015)04-0272-09 **文献标志码** A

## Research on measurement and decomposition of environmental TFP of China's pig industry: Based on SFA-malmquist method

LI Xin-rui, QI Zhen-hong\*, CAO Li-hong

(College of Economics and Management /Hubei Rural Development Research Center,  
Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract** To master the economic growth of pig industry under environmental constraints in various regions of China, the Stochastic Frontier Analysis (SFA) and Malmquist Index method were applied in this study to measure the changes of technical efficiency and environmental TFP since the new century, and carbon emissions of pig industry were introduced into the production efficiency model. The results show that, other capital input, labor input, feed input, piglet input and carbon emissions of pig industry had significant impact on pig production; During sub- period and the entire sample period, technical efficiency of central, eastern and western regions decreased successively, and the gap of corresponding technical efficiency level showed a trend of constantly widening; During 2001—2012, average environmental TFP of pig industry in 26 provinces were less than 1 except Tibet, Qinghai, Ningxia and Hainan; During 2006—2012, the average decline rate of the central, eastern, western regions showed a gradually decreasing pattern; During 2001—2012, China's pig production had widespread technical setbacks.

**Key words** pig Industry; technical efficiency; environmental TFP; Stochastic Frontier Analysis (SFA); Malmquist Index

养猪业是我国畜牧业发展的支柱产业。20 世纪以来,我国生猪生产不断提高,2001 年生猪出栏 54 936.7 万头,猪肉产量 4 184.5 万 t,生猪养殖的总产值为 2 109.29 亿元,到 2012 年生猪出栏已达

收稿日期:2015-03-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41171436);国家社会科学基金重大项目(14AZD002)

第一作者:李欣蕊,硕士研究生,E-mail:amerylee12@163.com

通讯作者:齐振宏,教授,博士生导师;主要从事绿色经济、绿色农业与绿色管理研究 E-mail:qizhh@mail.hzau.edu.cn

到 69 789.5 万头,猪肉产量 5 342.7 万 t,生猪养殖的总产值为 12 869.4 亿元<sup>[1]</sup>,占牧业总产值的 47.5%,是我国牧业经济增长的重要来源。但目前我国养猪业整体上仍处于粗放式的发展阶段,生猪养殖环境污染问题日益突出,其生产过程中产生大量甲烷(CH<sub>4</sub>)和氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)等有害气体,而 1 t CH<sub>4</sub> 的温室效应相当于 6.82 t 标准 C,1 t N<sub>2</sub>O 的温室效应相当于 81.27 t 标准 C,不仅危及环境质量和人畜健康,并且影响生猪生产效率<sup>[2-3]</sup>。为此,在对养猪业经济增长问题进行核算与评价时,应充分考虑生猪生产带来的环境消耗,掌握环境消耗对养猪业生产效率的影响,兼顾养猪业经济发展和环境保护。

近年来,养猪业的快速发展已经引起国内外众多学者对养猪业经济增长绩效的关注。从研究视角上来看,在已有的文献中,关于养猪业生产效率的分析主要集中于技术效率、纯技术效率、规模效率以及全要素生产率等方面,如杨湘华<sup>[4]</sup>研究认为我国大部分省份生猪生产的技术效率值较高,但技术效率、技术进步和全要素生产率的增长速度较慢;陈诗波等<sup>[5]</sup>通过对我国不同地区生猪散养户的生产率研究,发现我国生猪生产的技术水平是制约生产率增长的关键因素,技术效率和技术水平下降是养猪业生产规模效率衰退的主要原因;张园园等<sup>[6]</sup>基于 2005—2012 年的统计数据,测算出了我国生猪主产区不同养殖规模的全要素生产率及其分解指标,并从纵向和横向 2 个维度进行了分析对比。Ma 等<sup>[7]</sup>对我国生猪生产调整数据进行实证分析,认为生猪业技术进步是非中性的,饲料份额下降,呈要素节约型,且各个投入要素之间存在替代关系;Nigel 等<sup>[8]</sup>则通过对美国生猪生产增长的分析,发现美国生猪全要素生产率在 1992—2004 年间增长了 109.1%,技术进步和规模效率的改变是全要素生产率增长的主要源泉。从研究方法上来看,关于生产效率的研究,大部分学者采用的是 DEA 方法,如谭莹<sup>[9]</sup>采用 DEA 方法对我国生猪生产效率及其分解进行了区域差异和规模比较;张园园等<sup>[10]</sup>运用 DEA 方法比较分析了不同饲养规模的生猪生产效率;王欢等<sup>[11]</sup>运用三阶段 DEA 与 Bootstrapped-DEA 模型相结合的方法对我国蔬菜生产效率进行测算。但 DEA 方法对测量误差和极端值特别敏感,并且通常会产

生向上偏误的技术变化值和向下偏误的规模效率变化值<sup>[12]</sup>,为此少部分学者采用 SFA 方法对养猪业生产效率及全要素生产率进行了测度,如肖红波<sup>[13]</sup>采用超越对数形式的 SFA 方法对我国生猪生产增长及其波动进行了研究;王明利等<sup>[14]</sup>运用 SFA 方法测算了我国生猪主产区的技术效率,并探讨了生猪生产效率的区域差异及各投入要素的产出弹性。然而以上这些研究大都是在没有考虑养猪业经济增长可能对环境产生较大消耗的情况下进行的。最近几年才极少出现了在考虑环境因素的情况下对我国养猪业生产效率及全要素生产率进行研究的文献,如郑微微等<sup>[15]</sup>采用不变规模报酬的 DEA 模型,对碳排放约束下的生猪养殖业生产效率进行了探讨。

鉴于以上情况,拟从 2 个方面对养猪业技术效率及全要素生产率的研究进行拓展:1)尝试在 SFA 框架下纳入环境因素来全面分析我国养猪业经济增长状况;2)将 Malmquist 指数和 SFA 相结合,对我国区域养猪业环境全要素生产率<sup>①</sup>及其各成分进行研究。根据 2001—2012 年我国 30 个省市生猪生产的投入与产出面板数据,对各地区的技术效率和环境全要素生产率及其分解进行对比分析,更加全面、准确地把握各地区养猪业经济增长状况及其来源,旨在为相关政策的制定提供参考。

## 1 研究方法 with 模型

### 1.1 SFA-Malmquist 模型

Malmquist 指数法被广泛应用于生产效率的测量,Malmquist 全要素生产率指数可以分解为技术效率变化和技术进步变化<sup>[16]</sup>。在实际研究中,可以运用多种方法测算距离函数并对 Malmquist 生产率指数进行分解,随机前沿分析(SFA)法是参数法的一种<sup>[17]</sup>。而超越对数形式的随机前沿生产函数具有灵活、限制条件少和包容性强的优点,它允许可变规模报酬和可变要素替代弹性,更加符合畜牧业生产的实际。因此,本研究在测算养猪业生产效率时采用如下形式的超越对数随机前沿生产函数:

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \sum_{n=1}^N \beta_n \ln x_{nit} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^N \beta_{nj} \ln x_{nit} \ln x_{jit} + \sum_{n=1}^N \beta_{nt} \ln x_{nit} + \beta_t t + \frac{1}{2} \beta_u t^2 + v_{it} - \mu_{it}$$

① 在本研究中,将纳入环境因素下的全要素生产率称为环境全要素生产率。

其中,  $\tilde{v}_i \sim N(0, \sigma_v^2); \tilde{\mu}_i \sim N^+(\mu_i, \sigma_\mu^2)$ ;  
 $\mu_{it} = z_{it}\delta; \sigma_v^2 = \exp(z_{it}\lambda); \sigma_\mu^2 = \exp(z_{it}\theta)$  (1)  
 式中:  $y_{it}$  表示第  $i$  个省份第  $t$  年的产出 ( $i=1, 2, \dots, I$ ;  
 $t=1, 2, \dots, T$ );  $x_{mit}, x_{jit}$  分别表示第  $i$  个省份第  $t$  年  
 第  $n$  种投入要素、第  $j$  种投入要素, 在本研究中其  
 分别代表用工投入  $L$ 、仔猪投入  $P$ 、饲料投入  $F$ 、  
 其他资本投入  $K$  和养猪业碳排放  $C'$  5 种投入 ( $n$ ,  
 $j=1, 2, \dots, 5$ );  $t$  表示技术变化的时间趋势;  $\beta$  为待  
 估计的未知参数向量;  $v_{it}$  表示第  $i$  个省份在第  $t$  年  
 生产过程中产生的随机误差;  $\mu_{it}$  表示生产无效效  
 应, 服从半正态分布, 为非负随机变量, 假定其与  
 $v_{it}$  独立不相关;  $z_{it}$  为影响各省份生产无效率外生变  
 量;  $\delta$  为技术无效率方程的外生变量系数待估计  
 值;  $\theta$  为生产无效率项方差方程系数的待估计值。  
 $(v_{it} - \mu_{it})$  是合成误差项, Aigner 等<sup>[17]</sup> 通过对合成  
 误差项的推导, 得出  $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_\mu^2$ ,  $\gamma = \sigma_\mu^2 / \sigma^2$ , 并且  $\gamma$   
 服从  $(0, 1)$  分布,  $\gamma$  越接近 1, 表明技术非效率是误  
 差产生的主要根源, 越适合运用 SFA 方法进行  
 分析。

在式(1)参数技术情况下, 利用极大似然估计方  
 法可以确定生产效率函数中的参数并同时得出每个  
 省市每年的技术效率值, 第  $i$  个省市在第  $t$  年的技  
 术效率定义为<sup>[18]</sup>:

$$TE_{it} = \exp(-u_{it}), 0 \leq \exp(-u_{it}) \leq 1 \quad (2)$$

从  $t$  到  $t+1$  时期的技术效率变化可以用式(3)  
 衡量:

$$TECH_i^{t+1} = TE_{i,t+1} / TE_{it} \quad (3)$$

技术进步变化值可以用年份  $t$  和  $t+1$  偏导数  
 的几何平均表示。当考虑超越对数函数时, 年份  $t$   
 和年份  $t+1$  的技术进步指数应采用对数求导的算  
 术平均值的指数<sup>[19]</sup>, 即:

$$TPCH_i^{t+1} = \exp\left[\frac{1}{2}\left(\frac{\partial \ln y_{it}}{\partial t} + \frac{\partial \ln y_{i,t+1}}{\partial t+1}\right)\right] \quad (4)$$

至此, 养猪业环境全要素生产率可以表示为:

$$TFP = TECH \times TPCH \quad (5)$$

## 1.2 养猪业碳排放测算方法

世界观察等组织先后指出畜牧业碳排放问题是  
 不容忽视的环境问题。据测算, 畜牧业温室气体排

放占人为温室气体排放的 18%<sup>[20]</sup>, 主要集中在  
 $CH_4$  和  $N_2O$ , 其中  $CH_4$  排放主要来自各畜种的肠  
 胃发酵, 畜禽废弃物同时产生  $CH_4$  和  $N_2O$ <sup>[21]</sup>。而  
 生猪养殖是畜牧业温室气体排放的第二大诱因, 占  
 畜牧业温室气体排放的 13%<sup>[22]</sup>。因此, 本研究将养  
 猪业碳排放引入生产效率模型中, 来分析我国养猪  
 业经济增长。对于养猪业碳排放数据, 由于相关统  
 计资料并未直接给出, 所以需要进行测算。

养猪业碳排放主要来源于生猪肠道发酵产生的  
 $CH_4$ 、粪便管理产生的  $CH_4$  和  $N_2O$ , 为便于比较和  
 分析, 本研究根据温室效应值统一折算成标准 C, 折  
 算方式为 1 t  $CH_4$  = 6.818 2 t C, 1 t  $N_2O$  = 81.272 7 t  
 C。据此, 构建养猪业碳排放计算公式为:

$$E = 6.8182E1_{CH_4} + 6.8182E2_{CH_4} + 81.2727E_{N_2O} \quad (6)$$

式中:  $E$  表示养猪业碳排放总量;  $E1_{CH_4}$ 、 $E2_{CH_4}$  和  
 $E_{N_2O}$  分别表示生猪肠道发酵产生的  $CH_4$  碳排放量、  
 粪便管理产生的  $CH_4$  碳排放量和  $N_2O$  碳排放量。  
 各碳排放量均在相应排放系数乘以生猪年均饲养量  
 的基础上折算得出<sup>①</sup>。

## 2 数据与变量

以省份数据为分析依据, 根据研究目的和数据  
 的可获得性, 选择 2001—2012 年中国大陆 30 个省  
 市 12 年的养猪业投入和产出等数据, 其中重庆作为  
 单独直辖市历史数据较为有限, 故本研究将其合并  
 进四川省进行分析, 这样就构建了一个较大的面板  
 数据集, 基本上能够反映新世纪以来全国及各个省  
 市养猪业的经济增长状况。相关变量的基础数据主  
 要根据历年《中国农村统计年鉴》<sup>[1]</sup>、《中国畜牧业年  
 鉴》<sup>[23]</sup> 和《中国农产品成本收益资料汇编》<sup>[24]</sup> 的数据  
 整理, 各个变量的处理及解释如下:

产出变量  $y$ (亿元)用各省份以 2001 年为基期  
 的养猪业实际总产值表示。投入变量分为 5 种, 分  
 别为用工投入  $L$ 、仔猪投入  $P$ 、饲料投入  $F$ 、其他资  
 本投入  $K$  和代表环境投入的养猪业碳排放  $C'$ 。其  
 中用工投入  $L$ (亿元)等于年出栏数乘以每核算单位  
 人工成本, 主要包括家庭用工折价和雇工费用; 仔猪

① 肠道发酵产生的  $CH_4$ 、粪便管理产生的  $CH_4$  和  $N_2O$  的排放系数分别为 1、3.5 和 0.53 kg/头·年。由于生猪出栏率在绝大部分年份里都 >1, 采用生猪的年出栏量对年均饲养量进行调整, 调整方法为:  $N = \text{Day\_alive} \times \frac{M}{365}$ , 其中  $N$  表示调整后的生猪年均饲养量,  $\text{Day\_alive}$  表示生猪平均生命周期, 为 200 d,  $M$  为年生猪出栏量。

投入  $P$ (亿元)等于年出栏数乘以每核算单位仔猪进价;饲料投入  $F$ (亿元)等于年出栏数乘以每核算单位的总饲料费用,主要包括精饲料费、青粗饲料费和饲料加工费;其他资本投入  $K$ (亿元)等于年出栏数乘以每核算单位其他资本投入,主要包括水费、燃料动力费、医疗防疫费、死亡损失费、技术服务费、固定资产折旧和期间费用等等;环境变量  $C'$ (万 t)是本研究引入的新变量,需要进行特别说明。目前学术界在研究环境因素对各行业技术效率和全要素生产率的影响时,主要有 2 种分析方式,一种是将造成环

境消耗的污染物排放作为非期望产出,与期望产出一起引入生产过程<sup>[9,25-27]</sup>;另一种是将造成环境消耗的污染物排放作为未支付的投入,将其引入生产函数<sup>[13,28-29]</sup>。本研究采用第二种分析方法,将污染物排放作为投入要素进行处理。

### 3 模型估计与结果分析

#### 3.1 随机前沿模型估计结果

表 1 描述了采用 Frontier4.1 软件进行极大似然估计得出的随机前沿生产函数参数估计结果。

表 1 随机前沿生产函数模型极大似然估计结果

Table 1 Maximum likelihood estimation results of stochastic frontier production function model

| 解释变量<br>Explanatory<br>variable           | 模型系数<br>Model<br>coefficients | t 比率<br>t ratio | 解释变量<br>Explanatory<br>variable | 模型系数<br>Model<br>coefficients | t 比率<br>t ratio |
|---|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 常数 Constant                               | 49,238 0***                   | 9.444 2         | $0.5\ln F^2$                    | -18,757 5**                   | -2.208 8        |
| $\ln L$                                   | 23,130 1***                   | 2.375 4         | $0.5\ln F\ln K$                 | -39,479 5***                  | -3.143 7        |
| $\ln P$                                   | -19,844 0**                   | -1.653 4        | $0.5\ln F\ln C'$                | 1,828 6                       | 0.567 5         |
| $\ln F$                                   | -22,616 5***                  | -3.005 9        | $0.5\ln K^2$                    | -22,884 8***                  | -2.400 7        |
| $\ln K$                                   | 26,220 3***                   | 2.392 2         | $0.5\ln K\ln C'$                | -7,654 9***                   | -2.622 9        |
| $\ln C'$                                  | -6,228 2**                    | -2.092 7        | $0.5\ln C'^2$                   | 1,395 8***                    | 5.643 7         |
| $0.5\ln L^2$                              | -12,434 6***                  | -2.456 1        | $\ln L$                         | 2,205 1***                    | 6.316 6         |
| $0.5\ln L\ln P$                           | -53,400 4***                  | -6.577 8        | $\ln P$                         | 0,432 8                       | 1.049 8         |
| $0.5\ln L\ln F$                           | 15,443 9                      | 1.019 5         | $\ln F$                         | 0,966 4**                     | 1.913 5         |
| $0.5\ln L\ln K$                           | 61,947 1***                   | 7.125 0         | $\ln K$                         | -3,500 7***                   | -3.399 5        |
| $0.5\ln L\ln C'$                          | 0,916 4                       | 0.841 7         | $\ln C'$                        | -0,160 4*                     | -1.581 4        |
| $0.5\ln P^2$                              | -19,722 8***                  | -8.340 9        | $t$                             | -1,914 8*                     | -1.598 1        |
| $0.5\ln P\ln F$                           | 61,002 6***                   | 4.295 5         | $0.5t^2$                        | -0,368 8***                   | -3.719 7        |
| $0.5\ln P\ln K$                           | 30,195 0**                    | 2.186 1         | $\sigma^2$                      | 0,679 4***                    | 2.575 9         |
| $0.5\ln P\ln C'$                          | 1,565 2**                     | 2.323 5         | $\gamma$                        | 0,974 4***                    | 92.626 6        |
| 对数似然函数值<br>Log likelihood function        | 154,909 2                     |                 |                                 |                               |                 |
| 单边偏误似然比<br>LR test of the one-sided error | 199,622 3                     |                 |                                 |                               |                 |

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示估计在 0.1、0.05、0.01 可信水平下显著不为 0。

Note: \*, \*\*, \*\*\* means the estimation is not significantly 0 at the confidence level of 0.1, 0.05, 0.01, respectively.

从表 1 的模型参数估计结果可以看出:1)在投入要素中,5 种投入的估计系数统计意义都显著,其

中仔猪投入和饲料投入的估计系数为负值,说明我国养猪业存在仔猪和饲料投入成本过高,生猪繁育

体系建设不健全、饲养技术和饲料科学使用未得到普及,造成仔猪和饲料投入对产出产生负向影响。碳排放量的估计系数为负值,表明我国养猪业碳排放量过大,环境的消耗对生猪生产效率产生了负面影响,这在 Donham<sup>[2]</sup> 和 Lee 等<sup>[3]</sup> 的研究中也得到了证实。2)用工投入的估计系数 $>0$ ,表明我国养猪业目前仍属于劳动密集型产业,用工投入的增加将直接提高生猪产出水平。其他资本投入的估计系数 $>0$ ,表明投入费用(水费、燃料动力费、医疗防疫费和技术服务费等)对产出有正面的影响,增加对养猪业兽医防疫体系和技术服务推广体系等的资金扶持,将有利于生猪产出水平的进一步提高。3)交互项中有多项统计意义显著,说明本研究所选用的超越对数形式的生产函数是非常合理的,而  $\ln F \times \ln K$ 、 $\ln K \times \ln C$  和  $\ln L \times \ln P$  三组交叉项的系数均为负,说明饲料投入与其他资本投入、其他资本投入与碳排放量、用工投入与仔猪投入之间的交互作用是反向的,在研究样本期内,两两之间具有替代效应,一种要素投入的增加会带来另一种要素投入的

减少。

### 3.2 碳排放约束下分时期各区域养猪业技术效率分析

根据 1.1 中介绍的方法和 3.1 中的模型参数估计结果,可以进一步测算我国养猪业技术效率和环境全要素生产率。同时为了便于发现我国养猪业区域经济增长的整体动态变化,在时间上,将研究的样本时间分为 3 个不同的子时期:2001—2004 年、2005—2008 年和 2009—2012 年;在空间上,则依照大多数学者的划分方式把我国分为东、中和西三大区域进行研究<sup>①</sup>。

表 2 描述了各时期我国东、中和西部及每个省市环境制约下的养猪业平均技术效率水平及区域差异。从横向区域比较的角度来看,在整个样本期及分时期阶段,粮食主产区的中部地区技术效率最高,其次是经济发达的沿海地区,西部地区的技术效率最低,三大地区的技术效率水平差距具有不断拉大的趋势,这可能是由于东、西部地区饲料运输成本和环境成本较高。另外,经进一步的比较发现,东、西

表 2 中国养猪业分时期各区域碳排放约束下的技术效率水平状况

Table 2 Sub-period regional technical efficiency of China's pig industry under carbon emission

| 时期<br>Period | 统计量<br>Statistic | 技术效率<br>Technical efficiency |               |               |                |
|--------------|------------------|------------------------------|---------------|---------------|----------------|
|              |                  | 东部<br>Eastern                | 中部<br>Central | 西部<br>Western | 全国<br>National |
| 2001—2004    | 平均值              | 0.846 6                      | 0.924 1       | 0.830 7       | 0.871 9        |
|              | 变异系数             | 0.021 7                      | 0.011 1       | 0.019 5       | 0.016 9        |
| 2005—2008    | 平均值              | 0.812 2                      | 0.903 7       | 0.806 2       | 0.846 7        |
|              | 变异系数             | 0.024 9                      | 0.012 2       | 0.015 5       | 0.015 9        |
| 2009—2012    | 平均值              | 0.771 8                      | 0.874 8       | 0.750 5       | 0.807 2        |
|              | 变异系数             | 0.035 3                      | 0.022 4       | 0.039 0       | 0.030 5        |
| 2001—2012    | 平均值              | 0.809 6                      | 0.900 6       | 0.795 1       | 0.841 5        |
|              | 变异系数             | 0.139 1                      | 0.082 5       | 0.152 8       | 0.115 8        |

注:参照文献[12]的计算方法,表中的平均值以历年各省市 2001 年不变价格实际猪肉总产值占各区域猪肉总产值的份额为权重进行加权平均,最后将各分时期中各年份的加权平均值进行几何平均得出。

Note: According to literature [12] method, the average values in the table are weighted average taking the proportion of all provinces' and cities' 2001 constant price real pork total output value to the regional pork total output value as the weight, finally calculate the geometric mean of yearly weighted average value in each period.

① 东部地区包括北京、天津、上海、河北、辽宁、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南 11 个省区;中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北和湖南 8 个省区;西部地区包括广西、内蒙古、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆和西藏 11 个省区;鉴于数据的可得性,台湾、香港和澳门被排除在分析范围之列。

部与中部的技术效率水平差距具有不断拉大的趋势：2001年，东、中部技术效率平均值相差0.0775，2005年是0.0915，到2009年则扩大到0.1030；同样2001年中、西部平均值的差距为0.0934，到2009年则扩大到了0.1243。从纵向分时期角度来看，三大区域及全国养猪业的技术效率水平均呈现出递减趋势，如就东部地区而言，2001年其技术效率值为0.8466，2005年为0.8122，到2009年则缩小到了0.7718，说明随着时间的变动，全国各省市在生猪养殖过程中，对于现有技术利用的有效程度是逐年递减的。

### 3.3 各省市养猪业环境全要素生产率分析

利用式(1)的估计参数，根据式(2)~式(5)可以计算出2001—2012年中国30个省市碳排放约束下的养猪业技术效率变化指数(TECH)、技术进步变化指数(TPCH)和环境全要素生产率指数

(TFP)。

由图1可知，2001—2012年西藏、青海、宁夏和海南4个省市的养猪业环境全要素生产率平均指数 $>1$ ，表明其环境全要素生产率呈现逐年增加的趋势，尤其是西藏地区的养猪业环境全要素生产率增长明显较快。其余26个省市的养猪业环境全要素生产率平均指数均 $<1$ ，说明其环境全要素生产率呈现逐年递减的趋势，其中下降速度较快的省市有四川、湖南、河南、河北和山东；下降速度较慢的省市有上海、北京、山西、天津和甘肃。此外，从这26个省市的相应数据可以看出，养猪业环境全要素生产率平均指数前10位中东部省份占了3个、中部省份占了3个、西部省份占了4个；在后10位中东部省份分别占了4、5和1个。显然，西部地区碳排放约束下养猪业全要素生产率增长要好于东、中部，而东部又略好于中部地区。

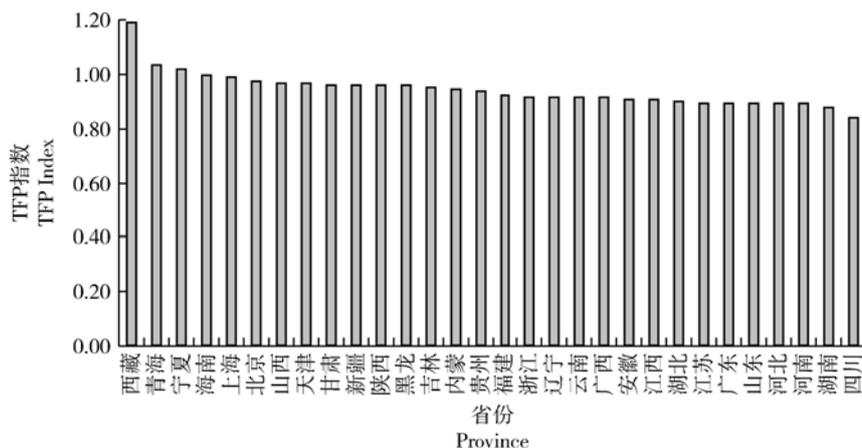


图1 2002—2012年各省份养猪业环境全要素生产率平均指数<sup>①</sup>

Fig. 1 Average environmental TFP of pig industry in each province during 2002—2012

### 3.4 全国及三大区域养猪业环境全要素生产率及分解

各省市的养猪业技术效率变化指数、技术进步变化指数采用几何平均的方法可以计算出全国及东、中、西部地区的技术效率变化指数、技术进步变化指数和环境全要素生产率指数(表3和表4)。

由表3可知，2002—2005年全国养猪业环境全要素生产率指数均 $>1$ ，2006—2012年全国养猪业环境全要素生产率指数均 $<1$ ，2002—2012年整个样本期内的环境全要素生产率指数具有波动性，但

整体上呈现逐年递减的趋势，年均下降5.63%。2002—2005年的环境全要素生产率增长主要得益于技术进步的增长，但整个样本期内技术进步指数整体呈现下降趋势，年均下降2.87%。技术效率变化指数 $<1$ ，呈现逐年下降趋势，年均下降2.84%，表明技术效率提高的速度越来越慢，技术效率并未有效地促进生猪生产效率的提升。

由表4可知，2002—2012年，东部地区养猪业环境全要素生产率年均下降6.62%，中部为6.78%，西部为3.02%，环境全要素生产率平均下

① 平均值为几何平均值。

表3 2002—2012年全国养猪业环境全要素生产率指数平均及分解

Table 3 Average environmental TFP index of national pig industry and its decomposition during 2002—2012

| 年份<br>Year | TECH    | TPCH    | TFP     | 年份<br>Year | TECH    | TPCH    | TFP     |
|------------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|
| 2002       | 0.979 9 | 1.969 8 | 1.930 2 | 2008       | 0.970 3 | 0.787 8 | 0.764 4 |
| 2003       | 0.978 5 | 1.783 7 | 1.745 5 | 2009       | 0.968 3 | 0.664 3 | 0.643 3 |
| 2004       | 0.977 1 | 1.930 0 | 1.885 8 | 2010       | 0.966 2 | 0.531 4 | 0.621 6 |
| 2005       | 0.975 6 | 1.462 9 | 1.427 1 | 2011       | 0.964 0 | 0.566 7 | 0.546 3 |
| 2006       | 0.973 9 | 0.870 0 | 0.847 3 | 2012       | 0.961 6 | 0.727 3 | 0.699 3 |
| 2007       | 0.972 2 | 0.733 4 | 0.713 0 | 平均         | 0.971 6 | 0.971 3 | 0.943 7 |

注:TECH、TPCH的平均值用几何平均值表示,TFP的平均值是TECH与TPCH平均值的乘积。

Note: Average values of TECH, TPCH are geometric mean value, and the mean value of TFP is the product of the average value of TECH and TPCH.

表4 中国养猪业分时期各区域环境全要素生产率及其分解

Table 4 Sub period and regional environmental TFP of pig industry and its decomposition

| 时期<br>Period | 区域<br>Region | 全要素生产率<br>Total factor performance |         |         |
|--------------|--------------|------------------------------------|---------|---------|
|              |              | TECH                               | TPCH    | TFP     |
| 2002—2004    | 东部           | 0.980 8                            | 1.860 5 | 1.824 9 |
|              | 中部           | 0.992 3                            | 1.817 3 | 1.825 2 |
|              | 西部           | 0.966 3                            | 1.983 5 | 1.916 6 |
|              | 全国           | 0.978 5                            | 1.892 8 | 1.852 1 |
| 2005—2008    | 东部           | 0.975 9                            | 0.913 7 | 0.892 1 |
|              | 中部           | 0.990 4                            | 0.890 1 | 0.890 7 |
|              | 西部           | 0.957 7                            | 0.965 8 | 0.925 6 |
|              | 全国           | 0.973 0                            | 0.926 0 | 0.901 4 |
| 2009—2012    | 东部           | 0.968 8                            | 0.610 5 | 0.591 5 |
|              | 中部           | 0.987 5                            | 0.591 3 | 0.589 4 |
|              | 西部           | 0.945 3                            | 0.644 9 | 0.609 6 |
|              | 全国           | 0.965 0                            | 0.617 6 | 0.596 0 |
| 2002—2012    | 东部           | 0.974 6                            | 0.958 0 | 0.933 8 |
|              | 中部           | 0.989 9                            | 0.932 0 | 0.932 2 |
|              | 西部           | 0.955 5                            | 1.014 7 | 0.969 8 |
|              | 全国           | 0.971 6                            | 0.971 2 | 0.943 8 |

注:表中所有数值均为各区域省市对应时期相应指数的平均值,计算方法同表2。

Note: All values in the table are average values of indexes for regional provinces in each corresponding period, and the calculation method is the same as in table 2.

降速度呈现出由中部、东部和西部逐次递减的格局。2002—2005年间,技术进步水平在三大区域环境全要素生产率增长中起主导作用,因为在此期间各地区技术进步变化指数均 $>1$ 。但是2002—2005年间,养猪业技术进步变化指数呈现出逐年递减的趋势,尤其到2005年以后,我国三大区域及全国养猪业的技术进步变化指数均 $<1$ ,说明我国养猪业生产出现了普遍的技术倒退现象,这与已有的大部分相关研究是不同的,这可能是因为各个省市养猪业普遍存在着资本过快深化现象。在2002—2012年,各地区技术效率变化指数均 $<1$ ,呈现逐年下降的趋势,表明我国养猪业在现有技术水平下,各地区现有技术发挥程度较低,并且各地区产出与技术有效生产前沿面的距离,由西部、东部、中部逐渐扩大,技术效率损失比较严重。

最后,本研究发现我国养猪业省级层面的前沿技术出现了较为明显的倒退现象,这和已有的大部分相关研究的结论是相反的,但匡远凤等<sup>[12]</sup>在研究中国环境全要素生产率增长时得到了相似的结论。关于前沿技术,大多数学者认为实际生产中不会出现技术倒退现象<sup>[30-31]</sup>。但这种认识并不具有绝对性,因为由随机前沿分析方法上的基本思想可知,在实际生产中,前沿技术是否进步取决于各决策单元中最佳实践者的投入与产出值所确定的最佳实践面的内陷或外移。这种情况下,当实际生产中最佳实践者的产出-投入比下降时,最佳实践面就会内陷,造成技术的衰退,反之才是技术的进步。而如表5所示,是部分年份我国养猪业各个产出与投入要素的平均增长状况,以及依据本研究的模型估计得到的碳排放约束下的各投入要素的产出弹性系数分布情况。

表5 产出与投入平均增长率及各投入要素的平均产出弹性系数

Table 5 Average growth rate of output and input and average elasticity of each input element

| 年份<br>Year | GDP      | 平均增长率/%<br>Average growth rate |          |          |          |         | 产出弹性系数<br>Output elasticity coefficient |           |           |           |          |
|------------|----------|--------------------------------|----------|----------|----------|---------|---|-----------|-----------|-----------|----------|
|            |          | L                              | P        | F        | K        | C'      | L                                       | P         | F         | K         | C'       |
| 2002       | 0.036 6  | -0.060 1                       | -0.055 6 | -0.019 3 | -0.055 4 | 0.031 8 | 6.593 9                                 | -15.742 6 | -52.762 8 | 3.122 6   | 0.423 6  |
| 2004       | 1.036 9  | 0.193 3                        | 0.554 3  | 0.248 3  | 0.156 7  | 0.025 3 | -0.583 0                                | -21.938 0 | -43.975 3 | 3.917 2   | 0.578 6  |
| 2006       | 0.020 1  | 0.059 6                        | -0.231 6 | 0.061 4  | 0.075 2  | 0.025 3 | 10.27 7                                 | -17.934 4 | -52.418 8 | -4.600 9  | 0.288 4  |
| 2008       | 0.035 4  | 0.141 6                        | 0.564 0  | 0.274 6  | 0.057 9  | 0.079 8 | -7.358 9                                | -28.085 2 | -29.384 8 | -3.565 7  | 0.492 9  |
| 2010       | -0.176 9 | 0.222 9                        | -0.094 5 | 0.112 9  | 0.069 5  | 0.033 3 | 10.240 8                                | -19.896 0 | -46.184 2 | -14.328 6 | -0.120 6 |
| 2012       | 0.386 3  | 0.358 9                        | 0.085 7  | 0.137 2  | 0.056 9  | 0.054 7 | -1.902 8                                | -37.158 4 | -31.584 9 | -3.478 7  | 0.061 6  |

由表5可以看出,我国养猪业的资本增长率在整个样本期内几乎都要高出GDP增长率,且到最近几年这一趋势更为明显,这一情况表明我国养猪业发展存在非常明显的资本过度深化现象。而由表中各投入要素的产出弹性系数可以看出,我国养猪业发展过程中资本占据支配地位,尤其是仔猪投入和饲料投入,在这种情况下,过快的资本投入增长势必造成各省市产出-投入比的下降。在3.3的计算过程中也发现,几乎所有省份(除西藏、青海、宁夏和海南以外)养猪业在2002—2012年间都出现了产出-资本比逐年以较快速度下降的情形。此时由最佳实践者的产出-投入比决定的最佳实践面就会内陷,这难免会导致技术效率的衰退。

#### 4 结论与政策建议

本研究将养猪业碳排放作为环境投入要素引入生产效率模型,利用Malmquist指数与随机前沿生产函数相结合的模型方法,对我国养猪业碳排放约束下的技术效率及其环境全要素生产率的增长与分解进行了研究,得出以下主要结论:1)其他资本投入、用工投入、饲料投入、仔猪投入和养猪业碳排放对生猪产出都有显著影响。2)在分时期及整个样本期,中部、东部、西部的技术效率逐次降低,且三大地区的差距具有不断拉大的趋势。3)2001—2012年,除西藏、青海、宁夏和海南4省市外的养猪业环境全要素生产率平均指数均 $<1$ 。4)2006—2012年全国

养猪业环境全要素生产率平均下降速度呈现出由中部、东部和西部逐次递减的格局。5)2001—2012年我国养猪业生产出现了普遍的技术倒退现象,而技术效率整体上处于较高水平。

针对上述的结论和分析,本研究认为应采取以下措施促进养猪业的健康发展:1)政府应大力扶持基层防疫防控体系建设,加大精粗饲料科学使用技术的推广。同时大力发展低碳养殖,如“鱼-猪-草(菜)”、“猪-沼-X”等立体养殖模式。2)各地区应该充分利用已有的物质基础和资金优势,最大限度的降低各要素的投入成本。3)各个地区尤其是中部各省份可设立培训机构,加大养猪业科技推广力度,同时增加对新技术研发的扶持,依靠科技夯实养猪业基础设施建设,提升养猪业发展的科技水平。

### 参 考 文 献

- [1] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2013
- [2] Donham K J. The Concentration of swine production -effects on swine health, productivity, human health, and the environment[J]. Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice, 2000a, 16(3): 559-598
- [3] Lee C, Giles L R, Bryden W L, et al. Performance and endocrine responses of group housed weaner pigs exposed to the air quality of a commercial environment[J]. Livestock Production Science, 2005, 93(3): 255-262
- [4] 杨湘华. 中国生猪业生产的效率及其影响因素分析[D]. 南京:南京农业大学, 2008
- [5] 陈诗波, 王亚静, 李崇光. 中国生猪生产效率及影响因素分析[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(1): 40-44
- [6] 张园园, 孙世民, 张媛媛. 中国生猪生产效率及区域差异分析: 基于 Malmquist-DEA 模型的省际面板数据[J]. 四川农业大学学报, 2014, 32(2): 224-229
- [7] Ma H, Rae A, Huang J. Livestock Productivity in China: Data Revision and Total Factor Productivity Decomposition [EB/OL]. [2015-04-23]. <http://ageconsearch.umn.edu/handle/23691>.
- [8] Nigel K, William M. The changing economics of U S hog production[J]. Economics Research Report, 2007, 52(2): 1-45
- [9] 谭莹. 我国生猪生产效率及补贴政策评价[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2010, 9(3): 84-90
- [10] 张园园, 孙世民, 季柯辛. 基于 DEA 模型的不同饲养规模生猪生产效率分析: 山东省与全国的比较[J]. 中国管理科学, 2012, 20(11): 720-725
- [11] 王欢, 穆月英. 基于农户视角的我国蔬菜生产资源配置评价: 兼对三阶段 DEA 模型的修正[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(6): 221-231
- [12] 匡远凤, 彭代彦. 中国环境生产效率与环境全要素生产率分析[J]. 经济研究, 2012(7): 62-74
- [13] 肖红波. 我国生猪生产增长与波动研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010
- [14] 王明利, 李威夷. 基于随机前沿函数的中国生猪生产效率研究[J]. 农业技术经济, 2011(12): 32-39
- [15] 郑微微, 胡浩, 周力. 基于碳排放约束的生猪养殖业生产效率研究[J]. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2013, 13(2): 60-67
- [16] Malmquist S. Index numbers and indifference curves [J]. Trabajos de Estadística, 1953, 4(2): 209-242
- [17] Aigner J, Lovell K, Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models[J]. Journal of Econometric, 1977, 6(1): 21-37
- [18] Karagiannis G, Midmore P, Tzouvelekas V. Parametric decomposition of output growth using a stochastic input distance function[J]. Agricultural Economics, 2004, 86(4): 1044-1057
- [19] Coeli T J, Perelman S. Technical efficiency of european railways: A distance function approach[J]. Applied Economics, 2000, 32(5): 1967-1976
- [20] Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel, et al. Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options[M]. Rome: FAO, 2006
- [21] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. Japan: IGES, 2006
- [22] FAO. World Livestock 2011-Livestock in Food Security[M]. Rome: FAO, 2011
- [23] 中国畜牧业年鉴编辑部. 中国畜牧业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013
- [24] 国家发展和改革委员会价格司. 中国农产品成本收益资料汇编[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013
- [25] 吴贤荣, 张俊飏, 田云, 等. 中国省域农业碳排放: 测算、效率变动及影响因素研究: 基于 DEA-Malmquist 指数分解方法与 Tobit 模型运用[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 129-138
- [26] 陈诗一. 中国的绿色工业革命: 基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)[J]. 经济研究, 2010(11): 21-34, 58
- [27] Watanabe M, Tanaka K. Efficiency analysis of Chinese industry: A directional distance function approach[J]. Energy Policy, 2007, 35(12): 6323-6331
- [28] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009(4): 41-55
- [29] Ramanathan R. An analysis of energy consumption and carbon dioxide emissions in countries of the middle East and North Africa[J]. Energy, 2005, 30(15): 2831-2842
- [30] Henderson D J, Russell R R. Human capital and convergence: A production-frontier approach [J]. International Economic Review, 2005, 46(4): 1167-1205
- [31] 林毅夫, 刘培林. 经济发展战略对劳均资本积累和技术进步的影响[J]. 中国社会科学, 2003(4): 18-32, 44

责任编辑: 苏燕