

不同规模生猪养殖绿色全要素生产率的时空差异

——基于非径向、非角度SBM生产率指数模型

杜红梅^a, 王明春^b, 胡梅梅^a

(湖南农业大学 a.商学院, b.理学院, 湖南长沙 410128)

摘要:以生猪养殖排放的主要污染物总氮、总磷和化学需氧量作为非期望产出,基于2004—2016年中国17个生猪主产省的数据,采用非径向、非角度基于松弛变量的方向性距离函数全要素生产率模型,对生猪优势产区 and 主产省大、中、小不同规模养殖的绿色全要素生产率增长及其技术进步率和技术效率变化分解指数进行测度和比较,结果表明:规模化生猪养殖绿色全要素生产率有一定幅度的增长,三种规模均呈现出差异化增长的空间特征和波动性增长的时序变化特征;小规模生产率增长主要源自技术进步,大规模则主要源自技术效率提升,中规模由技术进步与技术效率改善双力驱动;资源禀赋条件和经济发展水平决定的不同规模养殖比较优势、地方政府对本地生猪规模养殖的重视程度等差异是导致区域和省份间差异的重要原因。

关键词: 生猪; 养殖规模; 绿色全要素生产率; 时空差异; SBM模型

中图分类号: F326.34

文献标志码: A

文章编号: 1009-2013(2019)02-0016-08

Spatial-time disparities of green total factor productivity of hog breeding of different scale: Based on non-radial and non-angular SBM productivity rate model

DU Hongmei^a, WANG Mingchun^b, HU Meimei^a

(a.College of Business; b. College of Science, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: This paper takes the main discharging pollutant TN,TP and COD in hog breeding as undesired output, utilizes the total factor productivity model which was expressed by non-radial and non-angular directional distance functions based on slack variable to measure and compare the green productivity increase and its efficiency improvement rate and technical efficiency variation index in 17 major hog breeding provinces and large, middle, small scale farms from 2004 to 2016. The result indicates that: The green total factor productivity of hog breeding has increased to some extent, all the three scales shows the characteristic of differentiation growth in spatial change and volatility growth in time series; the productivity increase in small scale mainly comes from technical progress, the increase in large scale mainly comes from technical efficiency improvement, while the productivity of medium scale increases with the technical progress and technical efficiency improvement. Finally, it points out the comparative advantaged which is determined by the resource endowment and economic development difference, difference of recognition degree of local government to scale hog breeding are the important reasons for the different TFP increase and its source of hog cultivation of disparate scale in different region and provinces.

Keywords: hog; scale breeding; green total factor productivity; spatial-time disparities; SBM model

一、问题的提出

伴随中国工业化、城镇化的推进,生猪规模养

殖获得快速发展。中国畜牧业协会数据显示,2014年中国年出栏500头以上的规模猪场占41.8%;另据农业部综合测算,2015年全国畜禽养殖规模化率为54%^[1]。规模化养殖以其在资源使用效率上的突出优势已经成为中国生猪养殖的主导模式。然而,生猪规模化养殖虽然提高了养殖效率,但所产生的粪便污染对环境的影响也日益突出,成为重要

收稿日期: 2019-02-27

基金项目: 湖南省自然科学基金(2018JJ2190, 2016JJ4041); 湖南省涉农企业发展研究中心项目(920390100027)

作者简介: 杜红梅(1965—),女,湖南长沙人,教授,主要研究方向为农业生态经济、贸易与环境。

的农业面源污染之一。根据第一次全国污染源普查,中国牲畜养殖业排放的化学需氧量达 817.10 万吨,占全国化学需氧量排放总量的 26.99%;氮污染排放量和磷污染排放量分别为 66.02 万吨和 10.33 万吨,分别占全国这两种污染物排放总量的 13.98%和 24.42%^[2]。国家统计局的数据显示,2017 年全国猪肉产量 5340 万吨,占全国肉类总产量的 60%以上,占世界猪肉产量将近一半。根据《全国生猪生产发展规划(2016—2020 年)》,目前生猪粪便产生量超过 6 亿吨,约占畜牧业粪便总量的 1/3,综合利用率却不足一半,生猪养殖是牲畜养殖的主要污染源。中国已进入中等收入国家,产业发展目标不应再仅局限于增加产出,而应同时提升产出的数量与质量,考虑资源环境的承载力和环境成本,实施资源节约、环境保护和农业增长协调的可持续发展模式。因而从资源和环境约束的视角评价中国的生猪规模养殖生产率水平,就显得十分必要和紧迫。

Chung 等^[3]在测度瑞典纸浆厂的全要素生产率时,在方向性距离函数基础上提出了 ML 生产率指数,用以测度存在“非期望”产出时的全要素生产率,首次从方法论上比较合理地体现环境因素对生产过程的制约,使测算真实的经济增长绩效成为可能。国内一些学者借鉴了这一思路与方法,但主要集中于工业和区域的环境全要素生产率研究^[4-8],也有学者将其运用至农业领域开展实证研究,如薛建良、王兵、杨俊等^[9-11]。鉴于生猪生产在中国农村经济系统中的战略地位,生猪生产效率一直是学术界的研究热点。但前期的研究均忽略了环境污染损害对生猪生产效率的影响,如杨湘华、潘国言、谭莹等^[12-18]进行的实证研究。近几年,环境约束下的生猪生产效率问题引起了学者们的重视。张晓恒等^[19]首先采用随机前沿生产函数计算个体的技术效率,然后采用 Kopp 提出的非径向概念,以氮盈余作为污染因子计算了生猪养殖的环境效率。吴学兵等^[20]运用方向性距离函数构建 ML 生产率指数,对环境约束下的中国大规模猪场的生产率进行了实证分析。王德鑫等^[21]采用基于方向性距离函数的 ML 生产率指数法,将规模化生猪的非期望产出纳入生产效率研究框架,对 2006—2013 年环境规制下中国规模

化生猪生产效率进行了实证分析。郑微微等^[22]借助江苏省调研数据,根据绿色创新思想,将碳排放量纳入生产效率模型,采用不变规模报酬的 DEA 模型,以产出最大化原则对生猪养殖的绿色生产效率进行了估算。李欣蕊等^[23]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,测算了新世纪以来中国养猪业技术效率和环境全要素生产率的变化。

上述研究对于探讨环境约束下的中国生猪规模养殖的全要素生产率具有很好的启发意义,但仍存在待完善之处:一是方法上,如果存在投入或者产出的非零松弛变量时,径向的 DEA 会高估评价对象的效率;而角度的 DEA 不能同时考虑投入、产出两个方面,又使得效率值失真;二是养殖污染物的确定与计算欠合理,直接影响到评价结果的准确性和客观性。基于此,本研究拟应用第一次全国污染源普查领导小组办公室发布的《第一次全国污染源普查——畜禽养殖业源产排污系数手册》(以下简称《排污系数手册》)中的方法核算生猪养殖主要污染物总氮(TN)、总磷(TP)和化学需氧量(COD),采用非径向、非角度基于松弛变量的方向性距离函数和 ML 指数,基于 2004—2014 年中国 17 个生猪主产省的大、中、小不同规模养殖数据,对优势产区 and 主产省考虑非期望产出的生产率增长即绿色全要素生产率增长进行核算与分解,为科学指导各地区生猪规模化发展,调整生猪产业支持政策,最终提高生猪规模养殖绿色全要素生产率提供决策参考。

二、测算方法与数据来源

经济增长理论主要致力于分析资源节约与经济增长的关系,其中全要素生产率(Total Factor Productivity, TFP)框架在协调两者的关系方面提供了一个合适分析工具。农业全要素生产率衡量的是农业生产过程中总产出与全要素投入量之比,但由于没有统筹兼顾与可持续发展息息相关的环境要素,扭曲了对社会福利变化和经济绩效的评价,使得基于生产率的政府决策发生偏误,对生产率的增长产生长期的负面影响。随着环境问题日益突出,亟须在考虑发展与资源的基础上

引入环境因素, 综合考虑资源、环境和发展三者关系, 反映真实的经济增长绩效。Chung 等^[3]在谢泼德距离函数基础上, 创造性地引入方向性距离函数, 将 Malmquist 生产率指数发展成为 Malmquist-Luenberger 生产率指数 (ML 指数), 用以测度存在“非期望”产出时的全要素生产率, 从方法论上比较合理地体现了环境因素对生产过程的制约, 从而使评估真实的经济增长绩效成为可能。ML 指数继承了传统 TFP 技术的系统性和结构框架, 具有很好的生产经济学含义, 还可以同时模拟多投入和多产出生产过程, 不需要环境污染的价格数据, 在实际中得到了广泛的应用。本研究据此构建非径向、非角度基于松弛变量的方向性距离函数全要素生产率模型和 ML 指数对优势产区 and 主产省生猪养殖绿色全要素生产率增长进行核算与分解。

1. 绿色生产技术效率及非径向非角度 SBM 方向性距离函数模型

以每个区域作为一个决策单元 (DMU) 来构造每一个时期生猪规模养殖的最佳生产前沿面。根据 Fare 等^[24]的思路, 构造出一个既包含期望产出 (Good Output, g) 又包含非期望产出 (Bad Output, b) 的生产可能性集合, 假定在时期 $t=1, \dots, T$, 有 $j=1, \dots, J$ 个区域, 每个区域使用 M 种投入 $x \in R_M^+$, 生产 S_1 种“期望产出” $y \in R_{S_1}^+$, 产生 S_2 种“非期望产出” $b \in R_{S_2}^+$, 生产可行性满足有界闭集、期望产出和投入的强可处置性、期望产出与非期望产出的零结合性和联合弱可处置性的假设下, 使用 DEA 方法将绿色生产技术模型化为:

$$P^t(x^t) = \left\{ (y^t, b^t) : \sum_{j=1}^J \lambda_j^t Y_{rj}^t \geq y_r^t, r=1, \dots, S_1; \right. \\ \left. \sum_{j=1}^J \lambda_j^t X_{ij}^t \leq x_i^t, i=1, \dots, M; \sum_{j=1}^J \lambda_j^t Y_{kj}^t = y_k^t, k=1, \dots, S_2; \right. \\ \left. \sum_{j=1}^J \lambda_j^t = 1, \lambda_j^t \geq 0, j=1, \dots, J \right\} \quad (1)$$

λ_j^t 为每个决策单元在构造绿色生产技术结构时的权重, 权重变量的和为 1 与权重变量非负两个约束条件表示绿色生产技术为可变规模报酬 (VRS); 若去掉权重变量的和为 1 的约束, 则表示不变规模报酬 (CRS) 的绿色生产技术。绿色生产技术效率与绿色生产前沿技术相关联, 表示“期望产出”的实际产出量与前沿产出量之比, 即:

$$ETE = \frac{1}{1 + \bar{S}_c^t(x^{t,j'}, y^{t,j'}, b^{t,j'}; y^{t,j'}, -b^{t,j'})}$$

绿色生产技术效率为 0~1 之间的指数, 当观测点在绿色生产技术前沿时, 方向性距离函数值为 0, 绿色生产技术效率为 1。绿色生产技术效率值越大, 说明其实际期望产出、非期望产出离前沿产出量距离越近。

方向性距离函数属于径向 DEA 的一种, 它没有考虑投入或产出变量的松弛问题, Tone^[25]通过在目标函数中引入投入和产出松弛变量, 提出了一个非径向、非角度的基于松弛变量的 (slacks-based measure, SBM) 效率模型, 弥补了上述缺陷。本研究借鉴 Tone 的思路, 在 (1) 式基础上, 构造评价区域 $j^t(x_j^t, y_j^{gt}, b_j^{bt})$ 在时期 t 包含非期望产出的非径向、非角度的基于松弛变量的方向性距离函数模型。

$$S_c^t(x_k^t, y_r^t, b_k^t) = \rho = \min \frac{1 - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_m^x}{x_{m0}^t}}{1 + \left[\frac{1}{S_1 + S_2} \left(\sum_{r=1}^{S_1} \frac{S_r^g}{y_{r0}^t} + \sum_{k=1}^{S_2} \frac{S_k^b}{b_{k0}^t} \right) \right]} \quad (2)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^J \lambda_j^t Y_{rj}^t - S_r^g = y_r^t, r=1, \dots, S_1;$$

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j^t b_{kj}^t + S_k^b = b_k^t, k=1, \dots, S_2;$$

$$\sum_{j=1}^J \lambda_j^t X_{mj}^t + S_m^x = x_m^t, m=1, \dots, M;$$

$$\lambda_j^t \geq 0, S_r^g \geq 0, S_k^b \geq 0, S_m^x \geq 0, j=1, \dots, J.$$

(2) 式中, s^x 、 s^g 、 s^b 分别表示投入 x 过剩、期望产出 y^g 的不足、非期望产出 y^b 过剩; M 、 S_1 、 S_2 表示投入、期望产出、非期望产出要素个数; λ 为权重向量。当 $\rho=1$ 时, $S^x = S^g = S^b = 0$, 表示评价区域完全有效率, 不存在投入、非期望产出的过剩和期望产出的不足。当 $0 < \rho < 1$ 时, 表示评价区域存在效率损失, 可以通过消除投入与产出松弛达到有效。

2. 基于 SBM 方向性距离函数的 M 生产率指数

引入跨期动态概念, 按照 Malmquist 指数几何平均值的思路, 构造从时期 t 到 $t+1$ 基于 SBM 方向性距离函数的 TFP 指数, 并定义为绿色全要素生产率指数:

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, x^t, y^t, b^t) = \left(\frac{\bar{S}_c^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\bar{S}_c^t(x^t, y^t, b^t)} \times \frac{\bar{S}_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\bar{S}_c^{t+1}(x^t, y^t, b^t)} \right)^{1/2}$$

$$= \frac{\bar{S}_C^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\bar{S}_C^t(x^t, y^t, b^t)} \times (\frac{\bar{S}_C^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\bar{S}_C^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \frac{\bar{S}_C^t(x^t, y^t, b^t)}{\bar{S}_C^{t+1}(x^t, y^t, b^t)})^{1/2}$$

$$= TEC(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, x^t, y^t, b^t) \times TP(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, x^t, y^t, b^t) \quad (3)$$

(3) 式可以分解为绿色技术效率变化 (TEC) 和绿色技术进步 (TP)。TEC (*) 衡量的是生产单位在 t 到 $t+1$ 期从实际生产点向生产前沿面的逼近; TP (*) 是一个几何平均值, 衡量的则是生产前沿面向外扩张的动态变化。M (*)、TEC (*) 和 TP (*) 大于 (小于) 1 分别表示绿色全要素生产率增长 (下降)、技术进步 (退步) 和技术效率改善 (恶化)。(3) 式的计算涉及四个 SBM 方向性距离函数, 需对应求解四个线性规划模型。

3. 生猪规模养殖绿色全要素生产率评价指标及其数据来源

依据绿色全要素生产率的内涵, 结合生猪规模养殖的特点, 借鉴相关研究成果并加以改进, 同时考虑基础数据可得性, 构建生猪规模养殖绿色全要素生产率评价指标体系如表 1 所示。

表 1 生猪养殖绿色全要素生产率评价指标

| 分类 | 指标 |
|-----|----------------|
| 坏产出 | 化学需氧量排放量(千克/头) |
| | 总氮排放量(千克/头) |
| | 总磷排放量(千克/头) |
| 好产出 | 主产品净产量(千克/头) |
| 投入 | 仔猪重量(千克/头) |
| | 精饲料重量(千克/头) |
| | 用工数量(日/头) |
| | 水及燃料动力费(元/头) |
| | 医疗防疫费(元/头) |

2005 年 7 月国务院发布《关于加快发展循环经济的若干意见》, 提出要以尽可能少的资源消耗和尽可能小的环境代价, 取得最大的经济产出和最少的废物排放, 实现经济、环境和社会效益相统一, 建设资源节约型和环境友好型社会。因此本研究以 2004—2016 年为观察期, 以《全国生猪优势区域布局规划 (2008—2015 年)》中生猪优势产区的 17 个主产省作为研究样本进行分析。全国四个优势产区中还包含江西和福建, 因数据不全被剔除。

数据均来自《全国农产品成本收益资料汇编》(以下简称《资料汇编》)、《中国统计年鉴》以及第一次全国污染源普查领导小组办公室发布的《排污系数手册》。对于缺失的数据采用取平均值方法补齐。本研究根据《资料汇编》和《排污系数手

册》两份资料对规模的定义, 养殖专业户 (养殖规模在 50 头以上) 对应小规模 (年出栏 30~100 头), 规模化养殖场 (养殖规模在 500 头以上) 对应中规模 (年出栏 100~1000 头), 养殖小区 (排污手册中没有具体的规模定义) 对应大规模 (年出栏 1000 头以上), 主要考察不同地区这三种规模化养殖的绿色全要素生产率及其分解。对于水及燃料动力费和医疗防疫费价值指标, 根据 2005—2017 年《中国统计年鉴》中的农业生产资料价格指数以 2003 年为基期进行平减。

生猪养殖的“非期望产出”即每头生猪污染物的排放量。生猪污染排放量的计算方法^[20]为:

$$\text{生猪污染排放量} = \text{平均饲养天数} \times \text{排污系数} \times (\text{实际体重} / \text{参考体重})$$

平均饲养天数和实际体重均来自于《资料汇编》, 排污系数和参考体重均来自于《排污系数手册》。该手册给出的系数是不同区域、不同饲养阶段、不同养殖规模, 并在一定的参考体重下的排污系数。生猪排放的主要污染物 COD、TN、TP, 由生猪粪便和尿液转化而成。由于猪场清粪方式的不同, 干清粪和水冲粪方式导致的 COD、TN、TP 排放量也不同^[26]。根据祝其丽等^[27]的调查, 规模猪场使用的干清粪和水冲粪方式比例为 4:1, 吴学兵等^[20]研究时将各省规模养殖场干清粪和水冲粪两种方式分别赋予 80% 和 20% 的权重。然而实际情况是, 各地的养殖习惯、水和劳动力等资源禀赋差异和经济发展水平不同, 各地规模养殖场采用干清粪和水冲粪方式比例会有所不同, 因此统一用 80% 和 20% 的权重是不合理的。杜红梅等 2011—2014 年对生猪主产区粪污处理方式进行了抽样调查, 整理出了各省的干清粪及水冲粪比例, 本研究据此设定各主产省的干清粪及水冲粪比例, 再根据计算公式得到每头生猪的 COD、TN、TP 排放量^[28]。

三、测算结果及其分析

1. 不同规模生猪养殖绿色全要素生产率及空间特征

中国 17 个生猪主产省 2004—2016 年大、中、小三种规模养殖模式的绿色生产率指数及其分解如表 2 所示。总体来看, 三种规模绿色 TFP 均呈

增长态势,小规模增长较高,其次是大规模,中规模增长最低。小规模绿色全要素生产率增长1.55%,技术进步是其增长的主要源泉(1.71%),技术效率改善的贡献很小(0.29%)。小规模养殖技术进步速度快,这与国家大力扶植小型企业和在农村推广适用养殖清洁技术是分不开的,此外小规模养殖适合我国大多数农村实际情况,养殖方式比较灵活。技术效率提升缓慢制约了小规模生猪养殖绿色TFP的增长,而专业养殖技术与管理人才不足是小规模养殖技术效率改善的瓶颈。现阶段大多数小规模生猪养殖户户主年龄偏大、受教育程度低,接受新技术能力有限,而养殖户多聘用临时人员,专业人才匮乏。缺乏生产与管理经验,疫病和市场风险意识不强,对各种技术规程操作不熟悉,对先进的养殖、管理技术执行不到位等因素严重制约小规模生猪养殖技术效率提升。小规模绿色全要素生产率指数四个区域排名依次是西南优势产区(1.0543)、沿海优势产区(1.0059)、东北优势产区(1.0037)、中部优势产区(0.9886)。西南优势产区由于自身生态环境优势,具有发展小规模养殖的比较优势和潜力。中部优势区2014年前一直是小规模绿色全要素生产率增长最快区域,但随着日趋严格的环境规制,特别是2015年农业部《关于促进南方水网地区生猪养殖布局调整优化的指导意见》发布,小规模绿色全要素增长受到抑制。

中规模养殖绿色全要素生产率增长是三种规模中增速最低的(0.90%),其中技术进步贡献0.51%,技术效率改善贡献0.76%。中规模绿色全要素生产率指数四个区域排名依次是沿海优势产区(1.0345)、西南优势产区(1.0170)、东北优势产区(1.0130)、中部优势产区(0.9874)。沿海优势产区养殖基础好,经济发展水平高,对养殖环保技术投入力度大,且养殖劳动力相对其他地区科技文化素质高,接受新技术能力强,因此呈现技术进步(2.11%)与技术效率提升(2.64%)同步驱动特征;西南优势产区内部差异较大,贵州、四川、重庆等省市绿色TFP增长较为迅速,分别为4.50%、3.07%、1.95%,表现为技术进步推动型增长,而广西、云南两省绿色TFP则出现了不同程度的倒退,主要由技术退步引致。东北

优势产区绿色TFP增长内部差异十分明显,黑龙江省的增长主要源于技术效率的改善,辽宁省的增长主要源于技术进步,吉林省则由于技术退步制约了绿色TFP增长。值得一提的是中规模绿色TFP增长最高的广东省,技术效率改善指数年平均增长达到了6.06%,成为拉动绿色TFP增长的强大动力。总的说来,出现技术倒退的省份应该着力加大清洁养殖技术和废弃物管控技术的投入,促进技术发展以赶上技术先进的省份,而其他省份则可以从改善技术效率方面入手,引进和推广先进的养殖及管理技术,加强污染管控以继续保持优势。

大规模养殖的绿色全要素生产率增长为1.05%,其中技术进步贡献0.62%,技术效率改善贡献1.21%。大规模生猪养殖的绿色全要素生产率指数排名依次是东北优势产区(1.0295)、沿海优势产区(1.0173)、西南优势产区(1.0058)、中部优势产区(1.0014)。东北优势产区居于绝对领先地位,领先全国平均值1.9个百分点,技术进步是其增长的主要源泉(2.30%),技术效率改善的贡献较小(0.97%)。东北地区一方面具有发展大规模养殖的资源禀赋条件,平原广袤,适合建设大型养殖场,有利于集中饲养,且饲料资源充足,增长潜力大;另一方面地方政府高度重视生猪规模养殖,近年引入国内知名大型养殖企业,注重养殖与粪污资源化利用等技术创新,促进了绿色全要素生产率增长。中部优势产区大规模的绿色TFP也处于不利位置,但相较于中小规模,仍是有比较优势的养殖方式,大规模绿色TFP在技术效率改善的拉动之下出现了轻微的增长;从中部优势产区内部看,除位置偏北的河北省外,其余五省均出现了技术退步,根据《全国生猪生产发展规划(2016—2020年)》,包括安徽、湖北、湖南的几个中部省份被列为约束发展区,这可能是导致技术退步的一个重要因素。因此,中部省份在发展生猪规模养殖时必须扭转技术退步的态势。从西南优势产区内部省份看,贵州省的中小规模养殖绿色TFP处于绝对领先地位,但大规模养殖中则排在末位。这是因为贵州地处西南山区,地形崎岖,人口分散,比较适合中小规模或农户散养。可见,规模养殖并非规模越大,生产率就越

高，因地制宜选择规模养殖的发展模式是区域发展生猪业的一个重要原则。

表 2 中国生猪主产省规模养殖绿色全要素生产率指数及排名（2004—2016）

| 省份 | 小规模 | | | | 中规模 | | | | 大规模 | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | M 指数 | TP 指数 | TEC 指数 | 排名 | M 指数 | TP 指数 | TEC 指数 | 排名 | M 指数 | TP 指数 | TEC 指数 | 排名 | |
| 沿海优势区 | 江苏 | 1.0169 | 1.0299 | 0.9944 | 7 | 1.0283 | 1.0326 | 1.0187 | 5 | 1.0136 | 1.0167 | 1.0039 | 7 |
| | 浙江 | 0.9774 | 0.9774 | 1.0000 | 15 | 1.0192 | 1.0197 | 0.9999 | 7 | 1.0120 | 0.9974 | 1.0169 | 9 |
| | 广东 | 1.0234 | 1.0228 | 1.0109 | 5 | 1.0561 | 1.0110 | 1.0606 | 1 | 1.0263 | 1.0058 | 1.0651 | 3 |
| | 平均 | 1.0059 | 1.0100 | 1.0018 | 2 | 1.0345 | 1.0211 | 1.0264 | 1 | 1.0173 | 1.0066 | 1.0286 | 2 |
| 东北优势区 | 辽宁 | 0.9920 | 0.9920 | 1.0000 | 12 | 1.0057 | 1.0057 | 1.0000 | 11 | 1.0359 | 1.0359 | 1.0000 | 1 |
| | 吉林 | 0.9863 | 0.9863 | 1.0000 | 14 | 0.9909 | 0.9909 | 1.0000 | 16 | 1.0295 | 1.0295 | 1.0000 | 2 |
| | 黑龙江 | 1.0329 | 1.0089 | 1.0254 | 4 | 1.0424 | 1.0188 | 1.0320 | 3 | 1.0232 | 1.0037 | 1.0292 | 4 |
| | 平均 | 1.0037 | 0.9957 | 1.0085 | 3 | 1.0130 | 1.0051 | 1.0107 | 3 | 1.0295 | 1.0230 | 1.0097 | 1 |
| 中部优势区 | 河北 | 1.0153 | 1.0153 | 1.0000 | 8 | 1.0086 | 1.0086 | 1.0000 | 9 | 1.0128 | 1.0128 | 1.0000 | 8 |
| | 山东 | 1.0037 | 1.0037 | 1.0000 | 10 | 0.9979 | 0.9979 | 1.0000 | 12 | 0.9974 | 0.9974 | 1.0000 | 15 |
| | 安徽 | 0.9926 | 0.9976 | 0.9956 | 11 | 1.0071 | 1.0048 | 1.0040 | 10 | 0.9996 | 0.9998 | 1.0024 | 14 |
| | 河南 | 0.9904 | 0.9904 | 1.0000 | 13 | 0.9969 | 0.9969 | 1.0000 | 14 | 1.0053 | 0.9916 | 1.0358 | 12 |
| | 湖北 | 0.9763 | 0.9788 | 1.0041 | 16 | 1.0150 | 1.0157 | 1.0060 | 8 | 1.0067 | 0.9816 | 1.0418 | 11 |
| | 湖南 | 0.9542 | 0.9542 | 1.0000 | 17 | 0.8991 | 0.8991 | 1.0000 | 17 | 0.9865 | 0.9865 | 1.0000 | 16 |
| | 平均 | 0.9886 | 0.9900 | 1.0000 | 4 | 0.9874 | 0.9872 | 1.0017 | 4 | 1.0014 | 0.9950 | 1.0133 | 4 |
| | 西南优势区 | 广西 | 1.0202 | 1.0315 | 1.0061 | 6 | 0.9975 | 0.9960 | 1.0039 | 13 | 1.0222 | 1.0405 | 1.0102 |
| 重庆 | 1.0379 | 1.0584 | 1.0126 | 3 | 1.0195 | 1.0204 | 1.0034 | 6 | 1.0008 | 1.0008 | 1.0000 | 13 | |
| 四川 | 1.0594 | 1.0594 | 1.0000 | 2 | 1.0307 | 1.0307 | 1.0000 | 4 | 1.0152 | 1.0152 | 1.0000 | 6 | |
| 贵州 | 1.1406 | 1.1406 | 1.0000 | 1 | 1.0450 | 1.0450 | 1.0000 | 2 | 0.9837 | 0.9837 | 1.0000 | 17 | |
| 云南 | 1.0133 | 1.0133 | 1.0000 | 9 | 0.9923 | 0.9923 | 1.0000 | 15 | 1.0073 | 1.0073 | 1.0000 | 10 | |
| 平均 | 1.0543 | 1.0606 | 1.0037 | 1 | 1.0170 | 1.0169 | 1.0015 | 2 | 1.0058 | 1.0095 | 1.0020 | 3 | |
| 全国平均 | 1.0155 | 1.0171 | 1.0029 | | 1.0090 | 1.0051 | 1.0076 | | 1.0105 | 1.0062 | 1.0121 | | |

2. 不同规模生猪养殖绿色全要素生产率增长的时间序列特征

2004—2016 年生猪规模养殖绿色全要素生产率指数及其构成变化情况如表 3 所示。可以发现，自 2004 年以来，生猪规模养殖绿色 TFP 实现了较快增长，但呈现明显的波动性特征，这种波动性与中国生猪养殖业发展的实际情况基本一致。

小规模养殖绿色 TFP 总体处于低位“下降—上升—下降—上升”波动趋势。2005—2008 年间出现剧烈波动，其中 2006—2007 年急剧提升后又回落到 2008 年的最低值；此后两年出现了轻微的增长，2013 年形成了一个增长的小高峰，增长达 6.60%，但是 2014 年又出现了 1.20% 的小幅下降；2015 年小幅增长 1.12%，2016 年小幅下降 1.27%。生产率增长表现出与“猪周期”同步波动变化的不稳定特征，是小规模“船小好调头”的生动体现。2006 年生猪爆发蓝耳病疫情，随后全行业强化防疫意识，提高防疫技术，使 2007 年生产

率取得 25.06% 高增长。2008 年冰灾、地震等自然灾害，造成生产率下降 6.51%。2009、2010 年这两年中尽管 2009 年上半年爆发甲型 H1N1 流感病毒对生猪生产造成一定影响，但较完备的防疫技术体系和国家启动的猪肉储备机制有效阻止了生产率下降，实现 0.71%、2.97% 的增长。2012 年 3 月份以后养殖利润不断缩水，2013 和 2014 年存栏持续在高位，导致成本投入提高，造成小规模效率损失，制约了生产率增长。值得注意的是，大多数年份小规模绿色 TFP 的增长与技术进步指数一致，两次大的波动均是由技术进步或者倒退引起的。因此对于小规模养殖来说，养殖户应改善经营管理模式，政府应制定针对小规模养殖户的支持政策，双管齐下提升养殖效率。

中规模养殖绿色 TFP 大致呈现 M 型变化趋势。2004—2007 年间逐年增长，年均增长为 1.27%。可能是由于当时生猪产业面临养殖效率低、饲养成本高、收益低、食品安全以及环保压

力等问题,促使生猪产业向提高技术效率、追求商品质量和优化养殖结构的方向转变。随后四年则出现两次较大波动,2008和2010年出现两次高峰,2009年和2011年则出现两次低谷,这种现象可能与资源约束和市场供求等有关。随着国家节能减排政策的贯彻实施,一批清洁生产技术被陆续推广到生猪养殖行业,2008年后全球金融危机致使资源配置的效率受到较大影响,导致技术效率指数出现较大波动。2011年之后中规模绿色TFP增长则表现较为平稳,技术进步与技术效率相互补充,阻止了绿色TFP的下降。中规模在各项投入的调整上存在滞后,加上受政策、技术影响

更大,波动不如小规模频繁,且强度也不大。

大规模养殖绿色TFP增长可以明显分为前后两个阶段,2010年以前波动较为频繁,2010年之后走势较为平稳。2010年前波动的原因与小规模一样,不过2006年蓝耳病疫情造成大规模养殖绿色TFP下降15.58%。疫情过后,整个养殖业对防疫高度重视,强化和健全疫病防疫体系,尤其对大规模养殖场而言,政府方面高度重视养殖环保基础设施建设和科技投入,养殖场方面引进现代管理技术与手段,多方合力发挥效用,提升了大规模养殖的技术效率,拉动了绿色TFP增长。

表3 2004—2016年生猪规模养殖绿色全要素生产率指数及其构成变化

| 时间 | 小规模 | | | 中规模 | | | 大规模 | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | M指数 | TP指数 | TEC指数 | M指数 | TP指数 | TEC指数 | M指数 | TP指数 | TEC指数 |
| 2004/2005 | 0.9767 | 1.0018 | 0.9852 | 1.0292 | 0.9715 | 1.0703 | 1.0389 | 1.0327 | 1.0426 |
| 2005/2006 | 1.0028 | 1.0003 | 1.0029 | 0.9867 | 1.0184 | 0.9692 | 0.8442 | 0.8445 | 1.0164 |
| 2006/2007 | 1.2506 | 1.2371 | 1.0273 | 1.0394 | 1.0317 | 1.0097 | 1.1499 | 1.1992 | 0.9667 |
| 2007/2008 | 0.9349 | 0.9266 | 1.0141 | 1.0728 | 1.0941 | 0.9874 | 1.0262 | 0.9980 | 1.0345 |
| 2008/2009 | 1.0071 | 1.0160 | 0.9921 | 0.9915 | 0.9521 | 1.0436 | 1.0133 | 0.9690 | 1.0544 |
| 2009/2010 | 1.0297 | 1.0177 | 1.0142 | 1.0276 | 1.0450 | 0.9871 | 1.0123 | 1.0098 | 1.0024 |
| 2010/2011 | 0.9701 | 0.9996 | 0.9753 | 0.9232 | 0.9267 | 0.9982 | 0.9982 | 1.0007 | 0.9974 |
| 2011/2012 | 0.9805 | 0.9545 | 1.0297 | 0.9963 | 1.0033 | 0.9955 | 1.0196 | 1.0186 | 1.0028 |
| 2012/2013 | 1.0660 | 1.0628 | 1.0333 | 1.0192 | 1.0029 | 1.0170 | 1.0183 | 0.9963 | 1.0236 |
| 2013/2014 | 0.9880 | 0.9679 | 1.0000 | 0.9856 | 0.9952 | 0.9915 | 0.9953 | 0.9952 | 1.0000 |
| 2014/2015 | 1.0112 | 1.0195 | 0.9927 | 1.0249 | 1.0307 | 0.9960 | 1.0126 | 1.0346 | 0.9800 |
| 2015/2016 | 0.9873 | 0.9914 | 0.9978 | 1.0013 | 0.9896 | 1.0260 | 0.9968 | 0.9762 | 1.0240 |
| 均值 | 1.0155 | 1.0171 | 1.0029 | 1.0090 | 1.0051 | 1.0076 | 1.0105 | 1.0062 | 1.0121 |

四、研究结论与启示

上述研究结果表明:2004—2014年中国生猪优势产区 and 主产省规模化养殖绿色TFP有一定幅度的增长,大、中、小三种规模均呈现出差异化增长的空间特征和波动性增长的时序变化特征;小规模绿色TFP增长主要源自技术进步,大规模则主要源自技术效率提升,中规模由技术进步与技术效率改善双轮驱动;资源禀赋条件和经济发展水平决定的不同规模养殖比较优势、地方政府对本地生猪规模养殖的重视程度等差异是导致区域和省份间差异的重要原因。

上述结论对于提高生猪规模养殖绿色全要素生产率和科学指导各地区生猪规模化发展具有以下启示:第一,未来中国不同规模生猪养殖提升绿色全要素生产率的主攻方向不同,小规模更要注重

提升技术效率,大中规模则应把技术进步作为主攻方向,以技术创新尤其是绿色清洁养殖与管理技术作为重点。养殖场应加强养殖技术与管理人才培养,提升从业人员技术与管理水平和行业技术效率。养殖场可以建立校企互通机制,实现人才订单式培养,不断提高畜牧兽医专业毕业生比例,提高薪金福利待遇,吸引和稳定技术与管理人才,同时聘请一批具有丰富实践经验的养猪教授和养殖污染防治专家进行专业指导。除此以外可开展生猪养殖线上教育,线下培训,加强养殖场内部培训,对猪场关键岗位人员进行培训和派驻,猪场一对一指导,全面协管。第二,政府要对行业实现精细化管理和精准扶持。加大绿色养殖技术的推广和指导,为规模养殖户实现绿色转型提供技术支持;充分利用信息化技术,加强大数据管理与分析,建立价格稳定机制,促使生猪规模养殖户在获得合理收益的

预期后更加关注废弃物处理行为的环境效应；依据各主产区的实际情况和不同规模养殖户的诉求采取差异化的扶持政策，充分发挥各区域、省份及其不同规模养殖场的比较优势，激发发展潜力。

参考文献：

- [1] 金书秦, 韩冬梅, 吴娜伟. 中国畜禽养殖污染防治政策评估[J]. 农业经济问题, 2018(3): 119-126.
- [2] 第一次全国污染源普查资料编纂委员会. 污染源普查技术报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [3] Chung Y H, Fare R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach[J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229-240.
- [4] 胡鞍钢, 郑京海, 高宇宁, 等. 考虑环境因素的省级技术效率排名(1999—2005)[J]. 经济学(季刊), 2008(3): 933-960.
- [5] 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, 44(4): 41-55.
- [6] 程丹润, 李静. 环境约束下的中国省区效率差异研究: 1990—2006[J]. 财贸研究, 2009, 20(1): 13-17, 66.
- [7] 王兵, 吴延瑞, 颜鹏飞. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J]. 经济研究, 2010, 45(5): 95-109.
- [8] 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, 47(7): 62-74.
- [9] 薛建良, 李秉龙. 基于环境修正的中国农业全要素生产率度量[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(5): 113-118.
- [10] 王兵, 杨华, 朱宁. 中国各省份农业效率和全要素生产率增长——基于 SBM 方向性距离函数的实证分析[J]. 南方经济, 2011(10): 12-26.
- [11] 杨俊, 陈怡. 基于环境因素的中国农业生产率增长研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(6): 153-157.
- [12] 杨湘华. 中国生猪业生产的技术效率研究——基于 DEA 方法的运用[J]. 华商, 2008(10): 81-82.
- [13] 潘国言, 龙方, 周发明. 我国区域生猪生产效率的综合评价[J]. 农业技术经济, 2011(3): 58-66.
- [14] 谭莹, 邱俊杰. 中国生猪生产效率及生猪补贴政策优化分析[J]. 统计与信息论坛, 2012(3): 61-66.
- [15] 刘清泉, 周发明. 我国生猪养殖效益的影响因素分析[J]. 中国畜牧杂志, 2012, 48(22): 47-54.
- [16] 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.
- [17] 梁建宏, 刘清泉. 我国生猪生产规模报酬与全要素生产率[J]. 农业技术经济, 2014(8): 44-52.
- [18] 闫振宇, 陶建平, 徐家鹏. 中国生猪生产的区域效率差异及其适度规模选择[J]. 经济地理, 2012, 32(7): 107-112.
- [19] 张晓恒, 周应恒, 张蓬. 中国生猪养殖的环境效率估算——以粪便中氮盈余为例[J]. 农业技术经济, 2015(5): 92-101.
- [20] 吴学兵, 乔娟, 李谷成. 环境约束下的中国规模猪场生产率增长与分解研究[J]. 统计与决策, 2013, 392(20): 118-120.
- [21] 王德鑫, 郑炎成, 李谷成, 等. 环境规制条件下我国规模化生猪生产效率的测度与分析——兼论生猪养殖的适度规模经营[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(5): 818-825.
- [22] 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.
- [23] 李欣蕊, 齐振宏, 曹丽红. 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[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(4): 272-280.
- [24] Fare R, S Grosskopf, C Pasurka. Environmental production functions and environmental directional distance function[J]. Energy, 2007(32): 1055-1066.
- [25] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [26] 吴根义, 廖新佛, 贺德春, 等. 我国畜禽养殖污染防治现状及对策[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(7): 1261-1264.
- [27] 祝其丽, 李清, 胡启春, 等. 猪场清粪方式调查与沼气工程适用性分析[J]. 中国沼气, 2011(1): 27-28.
- [28] 杜红梅, 李孟蕊, 王明春, 等. 基于 SE-DEA 模型的中国生猪规模养殖环境效率时空差异研究[J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53(1): 131-137.

责任编辑: 李东辉