

# 畜禽粪污无害化高值利用的效率评价研究

## ——基于 DEA 模型和 SFA 模型

曾文俊<sup>1,2</sup>, 李悦<sup>3\*</sup>, 冉毅<sup>1,2</sup>

(1. 农业农村部沼气科学研究所, 成都 610041; 2. 农业农村部农村可再生能源开发利用重点实验室, 成都 610041; 3. 四川省农业援外办公室, 成都 610041)

**摘要:** 运用 DEA 模型实证分析了四川省 12 个规模畜禽养殖场粪污无害化高值利用的综合效率、纯技术效率和规模效率, 研究发现基于规模报酬不变的 DEA 实证分析有 5 个 DMU “技术无效”, 且各 DMU 投入调整方向存在明显差异; 基于可变规模报酬的 DEA 实证分析则只有 1 个 DMU “技术无效”, 综合技术效率均值为 0.747, 纯技术效率均值为 0.942, 规模效率均值为 0.785, 超过 20% 的资源投入未发挥效益。而 SFA 模型实证分析表明养殖场畜禽粪污无害化高值利用的技术效率均值只有 0.334, 为提升粪污产品产值, 应当提高清粪人工、垫料和固体堆肥场所建设投入, 同时削减设备运行费用。最后从人才培养、财政金融支持政策、产业化发展方面提出了对策建议。

**关键词:** 畜禽粪污; 无害化; 高值利用; DEA 模型; SFA 模型

中图分类号: X713 文献标志码: A 文章编号: 1000-1166(2022)04-0036-06

DOI: 10.20022/j.cnki.1000-1166.2022040036

**An Efficiency Appraisal Analysis of High-value Use of Innocent Treatment of Livestock Manure——Based on the DEA Model and SFA Model / ZENG Wenjun<sup>1,2</sup>, LI Yue<sup>3\*</sup>, RAN Yi<sup>1,2</sup> / (1. Biogas Institute of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, China; 2. Key Laboratory of Development and Application of Rural Renewable Energy, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, China; 3. Sichuan agricultural foreign aid office, Chengdu 610041, China)**

**Abstract:** This paper analyzes the overall efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency of high-value use of innocent treatment of livestock manure in 12 large-scale in Sichuan Province by DEA model. The evidence-based analysis of DEA model which is based on constant returns to scale found that there are five DMUs which are “technical inefficiencies”, and there are obvious differences in the adjustive direction among each DMU investment. There is only one DMU which is “technical inefficiencies” in the evidence-based analysis of DEA model which is based on variable returns to scale, and the average value of overall technical efficiency is 0.747, the average value of pure technical efficiency is 0.942. The average value of scale efficiency is 0.785, which means more than 20% of resource investment has not brought benefits into play. However, the evidence-analysis of SFA model shows that the average technical efficiency of high-value use of innocent treat of livestock manure is only 0.334. In order to improve the output value of livestock manure products, we should increase the construction investment of the cost of excrement cleaning and labor, cushioning material and solid composting sites. Meanwhile, we should reduce the cost of equipment operation. Finally, this paper puts forward countermeasures and suggestions from the aspects of talent cultivation, financial support policies and industrialization development.

**Key words:** livestock manure; innocent treatment; high-value use; DEA model; SFA model

畜禽粪污无害化高值利用事关农业面源污染防治、农村人居环境提升、生态文明建设和“碳中和”大局, 因此我国不断规制相关工作, 出台了《畜牧法》《畜禽规模养殖污染防治条例》《关于加快推进

畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》等相关政策法规和意见条例; 党的“十九大”报告也指出要着力解决突出环境问题, 加强农业面源污染防治, 加强固体废弃物和垃圾处置。“十四五规划”更是明确提出

收稿日期: 2021-11-10 修回日期: 2022-04-02

项目来源: 四川省科技厅项目(2020JDR0092); 农业农村部项目(2130199); 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2019-BIOMA)。

作者简介: 曾文俊(1993-)男, 四川遂宁人, 助理研究员, 主要从事畜禽粪污综合利用及评价等工作, E-mail: 1406649415@qq.com

通信作者: 李悦, E-mail: 39557413@qq.com

“推进畜禽粪污资源化利用”。但受限于养殖水平参差不齐、环保意识不强、粪污处理设备不完善、畜禽养殖基础差等因素<sup>[1-3]</sup>,水体生态失衡、土壤养分过剩、温室效应加剧、农作物质量和产量下降、有害病原微生物污染、重金属污染等问题时有发生<sup>[4-11]</sup>;更重要的是,畜禽养殖场迫于环保压力,往往被动开展粪污处理工作,难以实现粪污处理利用环节的收支平衡,养殖场业主严重缺乏深入开展的内生动力和积极性,畜禽粪污无害化高值利用举步维艰,而随着社会经济发展、居民消费升级,粪污治理及环保的压力将进一步加大。

从已有的研究来看,关于畜禽粪污无害化处理技术及工艺、存在的问题及对策建议,学者已作了丰富详实的研究,对本研究有重要的启示。但由于养殖场是托举畜禽粪污无害化高值利用的基础单元,关键问题是探明养殖场在畜禽粪污无害化高值利用方面的投入产出效率,有哪些投入产出需要进一步优化以及如何基于效率情况调整畜禽粪污无害化高值利用策略,而这些问题研究还比较薄弱。本文以四川省规模畜禽养殖场为调研对象,通过问卷调查和座谈统计分析养殖场及其经理人的基本特征,基于不同模型,从单个视角和整体视角实证分析了畜禽养殖场粪污无害化高值利用效率,探寻加速畜禽粪污无害化高值利用进程的对策途径,并试图在畜禽粪污利用产业化发展方面做出一点探索。

## 1 数据来源

数据来源于四川省4个地级市12个规模养殖场的实地调查,所选养殖场由样本县农业农村局推荐,粪污处理配套设施均经过农业农村部门和生态环境部门联合验收,且粪污资源化利用基础台账齐全。调研的养殖场最短投产时间为5年,最长为14年,都探索出了适宜的畜禽粪污无害化高值利用运行模式,能够切合课题研究的开展。统计显示,共有11个养殖场平均在畜禽粪污处理方面获得财政支持118.09万元,这说明财政资金发挥了较强的引领作用;养殖场粪污产生量从7.40 t·d<sup>-1</sup>到63.78 t·d<sup>-1</sup>不等,平均为26.32 t·d<sup>-1</sup>,粪污资源化利用量平均为4447.36 t·a<sup>-1</sup>。投入方面,固体堆肥场投入从6~300万元不等;液体厌氧发酵设施体积从150~1500 m<sup>3</sup>不等,平均投入222.42万元,发酵周期平均为59 d,可以保证液体粪污得到充分发酵,灭杀细菌和虫卵;人工投入从1~48万元·a<sup>-1</sup>不等,电

费、水费等运行费用每年合计92万余元,平均为7.67万元·a<sup>-1</sup>。产出方面,发电产出平均为17.66万元·a<sup>-1</sup>,替代化肥折价值平均为32.99万元·a<sup>-1</sup>。

## 2 理论模型及变量选择

### 2.1 理论模型

#### 2.1.1 DEA模型

数据包络分析(DEA)模型是在相对效率评价基础上发展起来的一种非参数检验方法,可以对每一个决策单元(DMU)进行优化<sup>[12]</sup>。针对截面数据,可细分为两种模型,CCR模型假定规模报酬不变,主要用来测量技术效率;而BCC模型在可变规模收益(VRS)情况下,即当部分DMU不是以最佳的规模运行时,技术效率(TE)的测度会受到规模效率(SE)的影响<sup>[13-15]</sup>。

CCR模型设定如下:

$$\begin{aligned} \max h_{j_0} &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}} \\ \text{s. t. } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1 \quad j=1, 2, \dots, n \quad \mu \geq 0 \quad \nu \geq 0 \end{aligned}$$

式中: $x_{ij}$ 为第 $j$ 个DMU对第 $i$ 种投入要素的投放总量; $y_{rj}$ 为第 $j$ 个DMU中第 $r$ 种产品的产出总量; $v_i$ 和 $u_r$ 分别为第 $i$ 种类型投入与第 $r$ 种类型产出的权重系数。

令 $w = \frac{1}{v^T X_0}$ ,  $\mu = \frac{1}{v^T X_0} u$ ,经Charnes-Cooper变换,

然后引入松弛变量 $s^+$ 和剩余变量 $s^-$ ,松弛变量表示达到最优配置需要减少的投入量,剩余变量表示达到最优配置需要增加的产出量。由此,不等式约束会变为等式约束,模型可以简化为:

$$\begin{aligned} \min \theta; \text{ s. t. } \sum_{j=1}^n \beta_j y_{rj} + s^+ &= \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n \beta_j y_{rj} - s^- &= \theta y_0; \beta_j \geq 0 \\ j &= 1, 2, \dots, n; s^+ \geq 0; s^- \leq 0 \end{aligned}$$

可运用CCR模型判定技术有效和规模有效是否同时成立<sup>[16]</sup>。

BCC模型设定如下:BCC模型设定DMU不全是最优的规模收益(VRS),技术效益(TE)的测度会受到规模效率(SE)的影响。构建BCC模型时,假设规模报酬可变,对CCR模型的约束条件增加凸性假设条件: $\sum \beta_j = 1 \quad j=1, 2, \dots, n$ ,即可得:

$$\begin{aligned} \min \theta \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^n \beta_j y_{rj} + S^+ &= \theta x_0 \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^n \beta_j y_j - S^- = \theta y_0$$

$$\sum \beta_j = 1 \quad j=1, 2, \dots, n; s^+ \geq 0, s^- \leq 0$$

### 2.1.2 SFA 模型

SFA 模型相对非参数方法,考虑到了随机因素对于产出的影响,可以度量 n 个 DMU 在 T 期的技术效率(TE),每个 DMU 都是 m 种投入和一种产出<sup>[17-19]</sup>。SFA 模型具体设定如下:

$$Y_i = f(X_i) + v_i + u_i$$

式中:  $f(X_i)$  为由多种因素 X 估计的生产力前沿;  $\beta$  为系数;  $v$  为随机扰动项,服从正态分布  $v \sim N(0, \sigma_v^2)$ 。  $u$  服从截尾分布,即为半正态分布  $u \sim N^+(0, \sigma_u^2)$ 。

技术效率定义为:

$$TE_i = \frac{E(Y_i | u_i, X_i)}{E(Y_i | u_i = 0, X_i)}$$

回归模型设定为:

$$\ln Y_i = \beta_1 \ln X_{1i} + \beta_2 \ln X_{2i} + \dots + \beta_n \ln X_{ni} + v_i - u_i$$

消去对数得:

$$Y = X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_n^{\beta_n} e^{v-u}$$

$$TE_i = \frac{E(Y_i | u_i, X_i)}{E(Y_i | u_i = 0, X_i)} = \frac{X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_n^{\beta_n} e^{v-u}}{X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_n^{\beta_n} e^v}$$

因此技术非效率项  $u_i = -\ln(TE_i)$ <sup>[20]</sup>。

### 2.2 变量选择

DEA 模型采用非随机方法,资料数值变动及要素选择对其评价结果相当敏感,应尽量采用一手资料,因此本研究选取实地调研的 12 个畜禽养殖场作为决策单元(DMU)<sup>[21]</sup>。DEA 模型选取的投入产出变量的单位均为“万元”,投入变量为每年清粪人工投入  $x_1$ 、每年设备运行费用  $x_2$ 、每年垫料投入  $x_3$ 、固体堆肥场所建设投入  $x_4$ 、液体粪肥设施建设投入  $x_5$ ; 产出变量为每年有机肥产值  $y_1$ 、每年发电产值  $y_2$  和替代化肥折舍值  $y_3$ 。为了分析结果的科学性和可比性,SFA 模型沿用以上变量,并增加 3 个产出变量的和值变量“粪污产品产值总和  $y_4$ ”。

表 1 变量统计表

	变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
产出变量	每年有机肥产值( $y_1$ )	12	54.095	72.218	0	179.82
	每年发电产值( $y_2$ )	12	2.943	7.518	0	26.52
	替代化肥折舍值( $y_3$ )	12	32.993	54.423	0	162
	粪污产品产值总和( $y_4$ )	12	90.032	78.750	2.5	221.4
投入变量	每年清粪人工投入( $x_1$ )	12	13.333	13.279	1	48
	每年设备运行费用( $x_2$ )	12	8.938	8.875	0.5	29.6
	每年垫料投入( $x_3$ )	12	10.747	20.589	0	58
	固体堆肥场所投入( $x_4$ )	12	93.417	92.022	0	300
	液体粪肥设施建设投入( $x_5$ )	12	175.833	232.205	0	700

## 3 实证分析

### 3.1 DEA 模型实证分析

#### 3.1.1 CCR 模型实证分析

均运用软件 Stata/SE15.1 进行模型计量分析。CCR 模型分析结果显示(见表 2)效率包络前沿面上的 DMU 有 7 个,属于技术有效,畜禽粪污无害化高值利用的绩效总体状况较好,这得益于严格的养殖环保政策、有效的财政支持政策以及养殖场的重视和大量投入。其余 5 个 DMU 中 2 个绩效值超过 0.8,最低的不足 0.1,属于技术无效。DMU 绩效值平均为 0.770,说明受访养殖场的总体生产效率较高,但仍有一定提升空间,例如“德阳中德”可减少 6.326 单位的  $x_1$ 、33.987 单位的  $x_3$ 、1.060 单位的  $x_4$  和 89.177 单位的  $x_5$  将使得畜禽粪污无害化高值利

用生产活动更加有效率。“巴中隆兴”可减少 0.069 单位的  $x_1$ 、0.998 单位的  $x_4$  或 2.758 单位的  $y_3$  将使得畜禽粪污无害化高值利用生产活动更加有效率。

#### 3.1.2 BCC 模型实证分析

BCC 模型实证分析结果表明技术效率前沿面上的 DMU 有 11 个,属于技术有效,绩效值平均为 0.942,总体水平较高。只有“玉太种鸡”为技术无效,绩效值为 0.306,需要减少 2.288 单位的  $x_1$ 、7.676 单位的  $x_2$  或降低 41.945 单位的  $y_1$ 、0.013 单位的  $y_2$  和 30.76 单位的  $y_3$  才能提高粪污无害化高值利用效率。从综合技术效率来看,均值为 0.747,7 个 DMU 为 1,最低为 0.075,表明调研养殖场畜禽粪污无害化高值利用的效率总体水平较高,但超过 25% 的资源投入未充分发挥效益,且个体差异较大,个别养殖场资源浪费甚至超过 90%。从纯技术效

表 2 CCR 模型分析结果表

DMU	排名	绩效值	松弛变量					剩余变量			
			S <sub>1</sub> <sup>-</sup> 清粪人工投入	S <sub>2</sub> <sup>-</sup> 运行费用	S <sub>3</sub> <sup>-</sup> 垫料投入	S <sub>4</sub> <sup>-</sup> 固体堆肥场所投入	S <sub>5</sub> <sup>-</sup> 液体厌氧发酵设施投入	S <sub>1</sub> <sup>+</sup> 有机肥产值	S <sub>2</sub> <sup>+</sup> 发电产出	S <sub>3</sub> <sup>+</sup> 替代化肥	
德阳肉鸡	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
四川民森	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
德阳兴国	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
德阳中德	3	0.853	6.326	0	33.987	1.060	89.177	0.00002	0	0	
玉太种鸡	6	0.075	0.322	1.886	0	0	0	0	0.099	0.089	
四川万成	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
巴中隆兴	5	0.154	0.069	0	0	0.998	0	0	0	2.758	
遂宁孟桥	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
巴中本味源	2	0.880	0	0	0	13.022	49.032	0	0	0	
四川地震	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
成都知乐	4	0.281	4.050	0	6.863	14.625	30.375	7.61E-06	0	0	
成都宏升	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
均 值		0.770	0.897	0.157	3.404	2.475	14.0486	0.000	0.008	0.237	

率来看,均值为 0.942,其中 11 个均为 1,只有“玉太种鸡”最低为 0.306。从规模效率来看,均值为 0.785,7 个 DMU 为 1,规模效率存在较大差异。另

外,“德阳中德”和“成都知乐”为规模报酬递减,“玉太种鸡”、“巴中隆兴”和“巴中本味源”为规模报酬递增,其余养殖场均为规模报酬不变。

表 3 BCC 模型分析结果表

DMU	综合技术效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬	DMU	综合技术效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
德阳肉鸡	1	1	1	—	巴中隆兴	0.154	1	0.154	irs
四川民森	1	1	1	—	遂宁孟桥	1	1	1	—
德阳兴国	1	1	1	—	巴中本味源	0.880	1	0.880	irs
德阳中德	0.853	1	0.853	drs	四川地震	1	1	1	—
玉太种鸡	0.0755	0.306	0.247	irs	成都知乐	0.281	1	0.281	drs
四川万成	1	1	1	—	成都宏升	1	1	1	—
均 值	0.747	0.942	0.785						

综合来看,综合技术效率、纯技术效率和规模效率均为 1,在技术和规模方面的投入均为有效的 DMU 有 7 个。纯技术效率为 1,而规模效率小于 1 的 DMU 有“德阳中德”、“巴中隆兴”、“巴中本味源”和“成都知乐”,说明这 4 个 DMU 在粪污无害化高值利用的技术投入是有效的,改进的着力点在于如何发挥其规模效益,例如,“德阳中德”和“成都知乐”为规模报酬递减,需要适度缩减现有规模,“巴中隆兴”和“巴中本味源”为规模报酬递增,应当进一步扩大规模。“玉太种鸡”的纯技术效率和规模效率均为低水平,同时处于规模报酬递增阶段,可从技术和规模两个方面同时入手调整。

3.2 SFA 实证模型

对被解释变量分别进行 SFA 模型回归分析(见

表 4) 结果显示对数似然比统计量均较低,LR 统计量较大,且对数似然比检验均在 0.01 的水平上显著,说明模型总体拟合效果较好,能够充分解释变量之间的关系。1) x<sub>1</sub> 负向显著影响 y<sub>1</sub>,通过缩减清粪的人工投入,或以部分机械设备替代人工费用,可以提升有机肥产值;x<sub>3</sub>、x<sub>4</sub> 均正向显著影响 y<sub>1</sub>,提高垫料和固体堆肥场建设的投入将能提升有机肥产值,而 x<sub>2</sub>、x<sub>5</sub> 对 y<sub>1</sub> 的影响均不显著。2) x<sub>1</sub> 正向显著影响 y<sub>2</sub>,表明人工投入的增加会提升发电产出,主要原因是一定的人工投入可以保证沼气工程较高的容积产气率,进而保证发电设备的持续高效运行。3) x<sub>1</sub> 正向显著影响 y<sub>3</sub>,可能原因是粪污相关产品需要大量人力周转、输送和施用,清粪人工的投入将大幅提升养殖场替代化肥的折合值;x<sub>2</sub> 负向显著影响

$y_3$  应尽量降低养殖场在水费、电费和交通运输费等方面的开支,进而提升化肥替代产值。4)  $x_1$ 、 $x_3$ 、 $x_4$  均正向显著影响  $y_4$ ,这表明加大人工、垫料和固体

堆肥场所的投入,可显著提升粪污产品的综合产值; $x_2$  负向显著影响  $y_4$ ,这表明为了保证较高的粪污产品总值,需要进一步缩减设备运行费用。

表4 SFA模型估计结果表

解释变量	模型一			模型二			模型三			模型四		
	每年有机肥产值( $y_1$ )			每年发电产值( $y_2$ )			替代化肥折合值( $y_3$ )			粪污产品产值总和( $y_4$ )		
	系数	标准误	z 值	系数	标准误	z 值	系数	标准误	z 值	系数	标准误	z 值
每年清粪人工投入( $x_1$ )	-2.461***	0.211	-11.640	0.568***	0.133	4.260	3.994***	1.535	2.600	2.334***	0.997	2.340
每年设备运行费用( $x_2$ )	-2.432	1.488	-1.630	-0.162	0.113	-1.440	-2.242*	1.327	-1.690	-5.135***	1.465	-3.500
每年垫料投入( $x_3$ )	0.319***	0.108	2.960	-0.048	0.050	-0.970	-0.153	1.066	-0.140	0.849***	0.236	3.600
固体堆肥场所投入( $x_4$ )	0.731***	0.013	57.530	-0.038	0.030	-1.270	-0.309	0.332	-0.930	0.224***	0.013	17.340
液体粪肥设施建设投入( $x_5$ )	0.002	0.039	0.040	0.009	0.007	1.320	0.021	0.061	0.340	0.000	0.075	0.000
_cons	65.194***	0.638	102.140	1.829	1.778	1.030	26.685	148.687	0.180	107.757***	11.382	9.470
/lnsig2v	-23.051	317.052	-0.070	-29.140	372.299	-0.080	7.013***	0.408	17.170	-25.032	542.315	-0.050
/lnsig2u	7.561	0.408	18.520	2.684***	0.408	6.570	-5.305	5236.209	0.000	7.850***	0.408	19.230
sigma_v	0.000	0.002	—	0.000	0.000	—	33.333	6.806	—	0.000	0.001	—
sigma_u	43.842	8.949	—	3.827	0.781	—	0.070	184.474	—	50.646	10.339	—
sigma2	1922.102	784.695	—	14.645	5.979	—	1111.115	453.912	—	2565.047	1047.242	—
lambda	4439736	8.949	—	8138642	0.781	—	0.002	184.740	—	13800000	10.339	—
对数似然比(Log likelihood)	-54.077			-24.814			-59.106			-55.807		
Prob > chi2	0.000			0.000			0.004			0.000		
Wald chi2(5)	1.40e+09			1.22e+10			17.32			3.61e+09		

表5 SFA模型技术效率值统计表

项目	每年有机肥产值	每年发电产值	替代化肥折合值	粪污产品产值总和
德阳肉鸡	0.9999	0.2666	0.9461	0.0000
四川民森	0.0000	0.9999	0.9462	0.0050
德阳兴国	0.9999	0.0015	0.9461	0.0000
德阳中德	0.9999	0.9999	0.9462	0.9999
玉太种鸡	0.0001	0.0316	0.9462	0.0000
四川万成	0.0000	0.0076	0.9463	0.9999
巴中隆兴	0.0000	0.0261	0.9461	0.0000
遂宁孟桥	0.0000	0.9990	0.9462	0.9999
巴中本味源	0.0000	0.9999	0.9462	0.0000
四川地震	0.9999	0.0001	0.9462	0.0015
成都知乐	0.0000	0.3083	0.9462	0.0000
成都宏升	0.9999	0.5071	0.9462	0.9999
均值	0.4166	0.4290	0.9461	0.3338

从 SFA 模型技术效率值估计结果来看,基于不同目标的效率值差异较大,最高的超过 0.999,最低的不足 0.001。“粪污产品产值总和”效率值的均值为 0.334,8 个养殖场不足 0.01,而剩余 4 个养殖均超过了 0.99,说明大多数养殖场畜禽粪污无害化高值利用的技术效率水平很低,只有 1/3 的养殖场较高。“每年有机肥产值”和“每年发电产值”方面的效率值也有较大差异,只有“替代化肥折合值”的技术

效率较高,均值超过 0.94。

## 4 结论及建议

### 4.1 研究结论

基于四川省规模畜禽养殖场的实地调查,运用 DEA 模型和 SFA 模型实证分析了规模畜禽养殖场粪污无害化高值利用效率,研究结论如下:1) 基于规模报酬不变和规模报酬可变的模型效率分析结果存在一定差异,为提升畜禽粪污无害化高值利用效率,各养殖场投入和产出需要进行差异化调整;2) 清粪人工投入均会显著影响四种产出,应当合理规划清粪人工投入的增减,进而实现总体效率的提升;3) 基于不同投入条件和产出目标的养殖场,需要灵活安排相关投入产出,如追求“每年有机肥产值”的养殖场,应当缩减清粪的人工投入同时提高垫料和固体堆肥场建设的投入;4) 养殖场畜禽粪污无害化高值利用的技术效率均值为 0.334,总体水平较低。

### 4.2 对策建议

#### 4.2.1 进一步推进畜禽粪污无害化高值利用人才培养

研究结果已表明,人工投入会显著影响有机肥产值和发电产值,也显著影响粪污产品总产值,高素质的人才投入是畜禽粪污无害化高值利用水平提升

的有力保障,但是鲜有畜禽粪污无害化高值利用的专业培训课程,相应的人才培养制度没有建立起来。可通过举办培训班、现场实训、经验交流、知识竞赛等多种培训方式,科学设置并适时更新丰富培训内容,既要让相关人员学习先进技术,也要强化最新农业政策解读、法律政策及风险防范、可持续发展、生态环保意识方面的学习,全面提高畜禽粪污处理相关人员的综合素质。

#### 4.2.2 完善财政金融支持政策

畜禽粪污无害化高值利用需要大量的资金支撑,而设备运行费用、垫料投入及堆肥设施建设均会显著影响粪污产品总产值,因此财政金融惠农支农政策应当向规模畜禽养殖场粪污无害化高值利用倾斜,同时协调和指导区域内各金融机构给予贷款优惠,扩大贷款抵押品范围,完善圈舍、设备、活禽、粪污产品预期收入抵押等特色贷款业务,进而结合农作物保险、农业补贴和贷款担保抵押,探索成立畜禽粪污无害化高值利用发展基金,建立国家财政资助的农业专项支持体系。

#### 4.2.3 加快畜禽粪污无害化高值利用的产业化发展步伐

大力培育专门负责处理畜禽粪污收集、转运、无害化处理和资源化利用的第三方主体,发挥承上启下的作用。畜禽养殖场以购买粪污处理服务、粪污原料投入参股等多种形式提供畜禽粪污作为原料,同时约定好相关费用和粪污的浓度、水分等参数,保障持续性运转;另一方面,向种植主体出售或者直接输送有机肥产品,替代部分化肥和农药;另外,通过浓缩肥料制造、沼气发电上网和生物天然气提纯,进一步加快畜禽粪污无害化高值利用的产业化步伐。

#### 参考文献:

[1] 李学军. 畜禽粪污无害化处理和资源化利用[J]. 畜牧兽医科学(电子版) 2019(04): 51-52.  
 [2] 陈德涌,占爱思,闫登峰,等. 畜禽粪污无害化处理和资源化利用新技术研究[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2018 34(01): 115.  
 [3] 陈娴静. 关于畜禽粪污资源化利用模式探讨及对策思考[J]. 畜禽业 2018 29(12): 39-40.  
 [4] 刘子晶. 秦皇岛畜禽粪便无害化处理和资源化利用技术[J]. 农业工程技术 2019 39(14): 48+52.  
 [5] 周轶韬. 规模化养殖污染治理的思考[J]. 内蒙古农业大学学报(社会科学版) 2009 11(01): 117-120.

[6] Hooda G, Emolieva T, Ermoliev Y, et al. Livestock production planning under environmental risks and uncertainties [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering 2001 15(4): 399-418.  
 [7] 丁友根,王庆国,郑飞. 畜禽粪污的无害化处理技术及资源化利用途径[J]. 浙江畜牧兽医 2013 38(06): 12-14.  
 [8] 刘兴华,朱荣生,王怀中. 规模化猪场配合饲料和猪粪中矿物质元素含量特征[J]. 山东农业科学 2019 51(8): 84-90.  
 [9] 宋静,邱坤,罗涛,等. 基于层次分析法的模糊综合评价模型在秸秆沼气工程绩效评价中的运用——以河南省为例[J]. 中国沼气 2016 34(03): 66-70.  
 [10] 邱坤,宋静,蒲晓东,等. 层次分析法结合模糊数学综合评价法在大中型沼气工程绩效评价中的运用[J]. 中国沼气 2016 34(01): 58-61.  
 [11] 曾文俊,李冰峰,李惠斌,等. 地理式沼气工程资源化利用农村有机垃圾技术模式探析[J]. 中国沼气, 2020 38(06): 74-78.  
 [12] 段永瑞,田澎,张卫平. 具有独立子系统的 DEA 模型及其应用[J]. 管理工程学报 2006(01): 27-31.  
 [13] 厉伟,姜玲,华坚. 基于三阶段 DEA 模型的我国省际财政支农绩效分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版) 2014(01): 69-77.  
 [14] 颜鹏飞,王兵. 技术效率、技术进步与生产率增长: 基于 DEA 的实证分析[J]. 经济研究 2004(12): 55-65.  
 [15] 魏权龄. 数据包络分析( DEA) [J]. 科学通报, 2000 (17): 1793-1808.  
 [16] 连玉君. 效率分析 - TFP - SFA - DEA [DB/OL]. <https://www.lianxh.cn/news/6ce6a8adb0c89.html> 2021-03-05.  
 [17] 何枫,陈荣,何炼成. SFA 模型及其在我国技术效率测算中的应用[J]. 系统工程理论与实践 2004(05): 46-50.  
 [18] 朱承亮,师萍,安立仁. 人力资本及其结构与研发创新效率——基于 SFA 模型的检验[J]. 管理工程学报, 2012 26(04): 58-64.  
 [19] 张宗益,周勇,钱灿,等. 基于 SFA 模型的我国区域技术创新效率的实证研究[J]. 软科学 2006(02): 125-128.  
 [20] 连玉君. 随机边界模型: 进展及 Stata 应用[J]. 郑州航空工业管理学院学报 2018 36(01): 97-112.  
 [21] 徐娟. 我国各省高校科研投入产出相对效率评价研究——基于数据包络分析方法[J]. 清华大学教育研究 2009 30(02): 76-80.