

生猪产业生态化及其影响因素分析

——基于湖南省案例

胡梅梅 何倩¹

(湖南农业大学 商学院, 湖南 长沙 410128)

【摘要】: 生猪产业生态化发展是保障猪肉产品质量安全、推动农业绿色发展的内在要求, 正确测度与判断生猪产业生态化水平将直接影响畜牧业高质量发展的决策与实施进程。根据产业生态化内涵, 文章构建了生猪产业生态化评价指标体系, 以湖南省 2009—2018 年的数据为例, 运用熵权法—灰色关联模型对生猪产业生态化水平进行综合评价, 并采用 Tobit 模型进行生猪产业生态化影响因素分析。结果表明: 近十年湖南省生猪产业生态化综合水平整体提升, 其中经济效益和社会效益指数呈波浪式上升趋势, 但生态效益指数却略有下降; 人均 GDP、技术服务投入、排污费征收总额/GDP 对生猪产业生态化发展有显著的正向作用。

【关键词】: 生猪产业 产业生态化 指标体系 影响因素

【中图分类号】: F32; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)07-117-07

改革开放 40 多年来, 生猪产业得到了快速发展, 不但为消费者提供了足够的猪肉产品, 也逐渐成为我国农业的支柱产业。同时, 在生猪产业发展过程中, 产业效益低、市场风险大、疫情防控难、环境污染重、猪肉品质差等一系列问题较为突出。2020 年 9 月, 国务院办公厅印发的《关于促进畜牧业高质量发展的意见》指出, 应形成产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的畜牧业高质量发展新格局。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》指出, 要提高农业质量效益和竞争力, 保障农产品供给安全, 全面提高资源利用效率, 促进经济社会发展全面绿色转型。一方面为生猪产业发展提供了宏观政策支撑, 另一方面也对生猪产业的发展提出了更高的要求。新发展阶段, 生猪产业在注重产业效率的同时, 必须要保障产品质量安全、资源高效利用和环境保护, 走经济、社会、环境协调发展的生态化之路。因此, 研究测度生猪产业的生态化水平, 精准甄别生猪产业高质量发展中的关键问题, 为推动生猪产业的健康发展提供重要决策依据, 具有重要的现实意义。

作为生猪养殖大省, 湖南省承担着全国猪肉供给的重要责任。统计数据表明, 2014—2018 年, 湖南省每年的生猪出栏量均在 6000 万头左右, 2019 年由于非洲猪瘟等因素的影响, 出栏量为 4812.9 万头, 与以往相比有所下降, 但仍位列全国第二, 占全国生猪出栏总量的 8.84%。湖南省生猪产业全产业链的价值已超千亿元, 成为农业发展的优势产业和支柱产业。同时, 生猪养殖废弃物导致的环境污染问题也非常严重, 成为实现农业农村绿色发展的制约因素。在国家相关环境规制下, 特别是中央环保督察制度的实施, 迫使各级政府出台多项污染治理和废弃物资源化利用的政策与措施, 关闭了关键区域的养殖场, 取得了明显成效, 但生猪产业发展中的环境污染、资源消耗等生态问题依然存在。2019 年, 湖南省农业农村厅等 5 部门联合发布了《优质湘猪产业发展规划(2019—2023 年)》, 提出以调结构、转方式为抓手, 以提质量、增效益、护生态为主线, 实现生猪产业链优质高效发展, 实现由“养猪大省”向“生猪强省”转变。本文以湖南省为例, 测度生猪产业生态化水平, 分析影响生猪产业生态

作者简介: 胡梅梅, 博士, 副教授, 研究方向为农业绿色发展。E-mail:humeimei@hunau.edu.cn

基金项目: 国家社会科学基金项目“畜禽粪污资源化利用政策的诱导机理及补偿政策研究”(20BJY046)

化水平的主要因素，并提出相应的对策建议，对促进生猪产业健康发展，助力畜牧业高质量发展和乡村产业振兴，都具有重要的现实意义。

1 文献综述

近年来，产业生态化和生态产业化不仅是政界关注的重点问题，也是学术界研究的热点问题之一。围绕着上述问题，学者们从不同视角进行研究，积累了丰富的理论成果。本文针对产业生态化的概念、生态化水平评价及影响因素等几个方面，对已有文献进行系统梳理，以期探寻本研究可能实现的突破点。

(1) 关于产业生态化的概念界定方面。

从理论思想起源来看，产业生态化来自 Ayres^[1]提出的“产业代谢”理论和 Frosch & Gallopoulos^[2]提出的“产业生态系统”理论，通过生产方式革新实现减少工业对环境不利影响的目的，由此催生了产业生态学。产业生态化则是产业生态理论与产业生态学等理论的具体应用，也是可持续发展在产业层面的具体体现。产业生态化概念尽管没有统一的界定，但袁增伟等^[3]提出的概念得到较多认可，即产业生态化是依据生态经济学原理，运用生态、经济规律和系统工程的方法来经营和管理传统产业，以实现社会、经济效益最大化、资源高效利用、生态环境损害最小化和废弃物多层次利用的目标。基于产业生态化的概念，本文认为生猪产业生态化是指在绿色发展理念指导下，注重投入品的生态化、集约化，以先进技术为支撑，充分运用循环经济原理与模式实现养殖废弃物的资源化利用，保障生猪产品高质量的同时，防范环境污染，以实现经济、社会和生态协调发展目标的产业发展模式。

(2) 关于产业生态化水平的评价方面。

当前，对产业生态化水平的评价，主要采取生态效率分析^[4-5]、物质流分析^[6]、能值分析^[7-8]、综合评价指标^[9]等方法。对产业生态化水平进行科学评价是一项复杂的系统工程，选择评价指标体系更能够全面反映产业生态化的内涵。为此，研究人员从不同角度、不同层面构建了综合评价指标体系，并采用熵权法、因子分析法、加权平均法、层次分析法及灰色关联法等方法，对不同区域尺度、不同产业的生态化水平进行了评价，如张乃明等^[10]从资源节约、环境友好、乡村发展、产品安全四个维度，构建了包含 10 个量化指标的区域农业绿色发展评价指标体系，采用层次分析法在县域尺度上进行了验证与应用。王宝义^[11]则从农业生态效率和支撑约束条件两个维度，构建了农业生态化发展的综合评价指标体系，采用熵值法对 1996—2015 年中国农业生态化发展水平进行了综合评价分析。

(3) 关于产业生态化的机制和影响因素方面。

赵普^[12]从政府与企业间的治污关系、政府对企业环境成本控制的干预、企业内部管理的环境成本控制、企业环境成本分担的组织模式创新等四个方面，对重污染行业产业生态化的环境成本分担机制进行了研究。张媛媛等^[13]、郭付友等^[14]研究了 GDP、产业结构、环境污染治理投资额等因素对产业生态化的影响。也有学者对具体产业生态化的影响因素进行了研究，如钢铁产业^[15]、煤炭产业^[16]。

(4) 关于生猪产业生态化方面。

学术界主要围绕着生猪养殖的生态效率、绿色健康养殖行为、粪污废弃物的资源化利用等方面开展了研究，如王善高等^[17]、于连超等^[18]分别测算了不同规模生猪养殖的环境效率和我国生猪养殖业绿色全要素生产率；吴一平等^[19]分析了政府规制、行业自律等因素对养殖户绿色健康养殖行为的影响；于法稳^[20]、陈秋红和张宽^[21]、王建华等^[22]研究了生猪养殖废弃物资源化利用的影响因素及相应的对策建议。

综上所述，已有文献为本研究提供了理论借鉴和方法参考，但存在一些值得进一步深入探讨的空间。特别是，针对具体的某个产业的生态化问题，如生猪产业，目前尚未构建一套完整的综合评价指标体系，对影响生猪产业生态化的因素方面的研究也有待加强。基于此，本文拟从经济、生态以及社会效益三个维度构建综合评价指标体系，对湖南省 2009—2018 年生猪产业生态化水平进行评价，运用 Tobit 模型实证分析生猪养殖产业生态化水平的主要影响因素，并提出推动生猪产业生态化的对策建议。

2 生猪产业生态化评价指标体系构建与评价方法

2.1 评价指标体系构建

充分考虑生猪产业发展的实际，依据系统性、独立性、可操作性、导向性的原则，本文从经济效益、社会效益、生态效益三个维度，构建了生猪产业生态化水平评价指标体系，如表 1 所示。

表 1 生猪产业生态化水平评价指标体系及权重

一级指标	二级指标	三级指标	指标解释	单位	属性	权重
生猪产业生态化水平	经济效益	成本效益	生猪平均成本	元/头	-	0.0773
			成本利润率	%	+	0.0824
		产业发展	人均生猪产值	元/人	+	0.0839
		产业结构	生猪产值占 GDP 比重	%	+	0.0754
		生产效率	生猪出栏率	%	+	0.0901
	生态效益	资源节约与利用	头均水消耗	元/头	-	0.0432
			精饲料消耗	元/头	+	0.0423
		污染控制	污染物排放总量	千克/头	-	0.0730
		种养循环	畜禽粪污土地承载力	万头	+	0.0510
			农用化肥施用量	万吨	-	0.1189
	社会效益	就业机会	畜牧兽医机构大学本科以上学历	人	+	0.0583
			畜牧业就业人数	人	+	0.0798
		收入水平	畜牧业就业人员平均工资	元	+	0.1241

2.2 指标解释

2.2.1 经济效益维度

经济效益是产业发展的内在动力。生猪产业生态化发展的经济效益体现在产业的成本效益、产业发展、产业结构、生产效

率四个方面，分别用以下指标来测度。涉及价值形态的指标，考虑到价格波动的影响，均以 2009 年为基期的生猪生产价格指数对生猪饲养产值进行平减。

(1) 成本效益用生猪平均成本和成本利润率两个指标来度量，数据来源于《全国农产品成本收益资料汇编》，本文采取加权平均法对散养、小规模、中规模和大规模养殖模式的平均成本和成本利润率进行计算。

(2) 产业发展用人均生猪产值来表征，是指生猪饲养产值/湖南省人口数。

(3) 产业结构用生猪产值占 GDP 比重来表征。

(4) 生产效率用生猪出栏率来表征，其计算公式如下：

$$\text{生猪出栏率} = \frac{\text{出栏头数}}{\text{期初头数 (可用上期末数代替)}} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2 生态效益维度

生猪产业的生态效益则体现在资源节约与利用、污染控制、种养循环三个方面。

(1) 资源节约与利用水平用头均水消耗和精饲料消耗情况来反映。

头均水消耗指猪场每头猪平均消耗水的费用(元/头)。精饲料消耗是指平均每头生猪消耗精饲料的费用，相对青粗饲料而言，精饲料粗纤维含量低，有利于生猪吸收营养成分，饲料转化率相对较高，能够减少生猪排泄，对环境友好。因此，精饲料消耗越多，生猪产业生态化水平越高。

(2) 用污染物排放总量来表征污染控制力度。

一般而言，生猪产业污染物是指排泄物，本研究采用排泄物系数计算污染物。由于《全国农产品成本收益资料汇编》将生猪规模养殖划分为三类：年出栏量 30~100 头的小规模养殖、年出栏量 100~1000 头的中规模养殖以及年出栏量 1000 头以上的大规模养殖，而《第一次全国污染源普查系数手册》中将生猪规模养殖划分为三类，但划分标准有所差异，分别是养殖 50 头以上的养殖专业户、养殖 500 头以上的规模化养殖场以及养殖小区(未公布养殖标准)。借鉴大多数学者的做法^[23]，将小规模与养殖专业户、中规模与规模化养殖场、大规模与养殖小区分别对应起来进行研究，同时为了防止多个污染物可能引起的效率测量偏差，本文将污染物加总折算为一个变量，并以此来反映污染程度，具体计算公式如下：

$$\text{污染物总量} = \sum_{i=1}^5 \text{污染物}_i = \sum_{i=1}^5 \text{各污染物}_i \text{排污系数} \times \text{平均饲养天数} \times \frac{\text{实际体重}}{\text{参考体重}} \quad (2)$$

式中：i 为污染物种类，本文主要指化学需氧量、全氮、全磷、铜和锌。此外，这五种污染物的排污系数、参考体重均来自《第一次全国污染源普查系数手册》，而平均饲养天数、实际体重则来自《全国农产品成本收益资料汇编》。

(3)用农用化肥施用量和畜禽粪污土地承载力来表征种养循环情况。

农用化肥施用量是指用于农业生产的化肥数量(折纯量),包括氮肥、磷肥、钾肥和复合肥。目前全国深入推进化肥使用量零增长行动,用畜禽粪便有机肥替代部分化肥,推进种植业和养殖业的结合,采取循环型生态农业发展模式。因此,本文用农用化肥施用量来反映畜禽粪便资源化利用情况。畜禽粪污土地承载力是以区域作物粪肥养分需求量和单位猪当量粪肥养分供给量为基础进行核算,具体计算方法为:首先根据区域作物种植类型和总产量,计算出区域作物养分总需求量;然后根据施肥供给养分占比、粪肥当季利用率等参数,计算出区域作物粪肥养分需求量;最后根据单位猪当量粪肥养分供给量,得出区域畜禽粪污土地承载力。其中:

$$\text{区域作物养分需求量} = \sum \text{每种作物总产量} \times \text{单位产量养分需求量} \quad (3)$$

$$\text{区域作物粪肥养分需求量} = \frac{\text{作物养分需求量} \times \text{施肥供给养分占比} \times \text{粪肥占施肥比例}}{\text{粪肥当季利用率}} \quad (4)$$

$$\text{畜禽粪污土地承载力} = \frac{\text{区域作物粪肥养分需求量}}{\text{单位猪当量粪肥养分供给量}} \quad (5)$$

本文选取小麦、水稻、玉米、大豆、棉花、马铃薯、蔬菜、桃、葡萄、梨、柑橘、油料、甘蔗、烟叶、茶叶等15种主要作物来计算区域作物养分需求量。作物单位产量养分需求量来自《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》提供的“不同作物形成100千克产量需要吸收氮磷量推荐值”。同时,假定土壤氮磷养分分级为Ⅱ级,施肥供给养分占比为45%,粪肥占施肥比例为50%;粪肥中氮素当季利用率为25%,磷素当季利用率为30%。

2.2.3 社会效益维度

生猪产业是技术要求极严、科技含量极高的产业,人才是第一要素。无论是科学规划生猪产业的空间布局,还是运用核心养殖技术,都需要高素质的人才做支撑;同时,在提高抗疫病风险能力、提升市场驾驭能力等方面,专业人才也可以发挥重要作用,因此,生猪产业的发展需要提高各个管理环节的专业化程度。生猪产业的发展可以为所在区域提供一定的就业机会,增加农民收入,承担一定的社会责任。因此,社会效益主要从就业机会和收入水平两方面选取指标,用畜牧兽医机构大学本科以上学历、畜牧业就业人数来反应就业机会,用畜牧业就业人员平均工资来表征收入水平。

2.3 评价方法与数据来源

本文采用熵权法对指标体系权重进行赋值,并以该权重作为计算关联度的权重赋值,运用灰色关联模型计算关联度值,作为生猪产业生态化水平的评价结果。

2.3.1 熵权法确定权重

熵权法(entropy method)利用熵值来判断相关指标的离散程度,进而确定各指标的权重,该方法能充分利用原始数据所蕴含的有用信息,更好地体现评价的科学性、客观性。

本文对2009—2018年湖南省生猪产业生态化水平进行评价,因此,评价对象总数(研究年份)为 $k(k=10)$ 、指标数为 $n(n=13)$ 。基于各指标单位的不统一,采用极值标准法进行归一化和无量纲处理,再计算各指标的熵权值,计算步骤如下:

(1) 根据评价对象和评价个数构造决策矩阵:

$$R = (R_{ij})_{n \times k} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k) \quad (6)$$

(2) 对决策矩阵中的各元素进行归一化处理, 得到标准化矩阵:

$$Z_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^k R_{ij}} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k) \quad (7)$$

(3) 计算第 i 项指标的熵值 e_i :

$$e_i = -\frac{1}{\ln k} \sum_{j=1}^k Z_{ij} \ln Z_{ij} \quad (8)$$

(4) 计算各评价指标的熵权值 h_i :

$$h_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^n 1 - e_i} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

将同一层次指标所有熵权值进行归集, 最终得到熵权权重向量:

$$H = (h_1, h_2, \dots, h_{13}) \quad (10)$$

权重的计算结果见表 1。

2.3.2 灰色关联模型

由于熵权法只能确定指标权重, 而不能反映指标之间的相关性, 灰色关联度分析则可以通过衡量各因素间的关联度来判断生猪产业生态化水平, 处理过程如下:

(1) 对选取的数据进行处理, 由于指标体系中存在负向指标, 指标值越大, 生猪产业生态化水平越低, 故在计算中采用极值标准法处理, 以消除指标单位不统一的影响。

(2) 选取最大数作为参考数列 x'_0 , 往往有数个比较数列

(3) 求差序列, 记为:

$$\Delta i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)|, \Delta i = [\Delta i(1), \Delta i(2), \dots, \Delta i(n)] \quad (11)$$

(4)求两级最大差和最小差，记为：

$$\Delta i(\max)=\max i \max k \Delta i(k) \tag{12}$$

$$\Delta i(\min)=\min i \min k \Delta i(k) \tag{13}$$

(5)求关联系数：

$$\zeta_i(k)=\frac{\Delta i(\min)+\rho \bullet \Delta i(\max)}{\Delta i(k)+\rho \bullet \Delta i(\max)}(i=0, 1, 2, \cdots, n) \tag{14}$$

式中：ρ 为分辨系数，ρ=0.1~1.0，一般取 ρ=0.5。

(6)计算灰色关联度：

$$\zeta_i=\sum_{k=1}^a a_k \zeta_i(k) \tag{15}$$

式中：a_i为第 i 项指标的权重，其取值直接影响生猪产业生态化关联度值的大小。因此，将权重取为熵值法的权重，可以提高评价结果的准确性。

关联度得分排序。关联度即两个序列关联性大小的度量，关联度数值越大(越接近于 1.000)，表明生猪产业生态化水平越接近于最优值，即生态化水平越高。

2.3.3 数据来源

本文数据来源于 2010—2019 年的《全国农产品成本收益资料汇编》《湖南统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》《中国统计年鉴》，其中，生猪养殖污染物的排放系数来自《第一次全国污染源普查系数手册》。由于 2019 年版的《中国科技统计年鉴》和《中国劳动统计年鉴》未出版，对于缺失的数据本文采取均值插补法补全。

3 评价结果及分析

3.1 湖南省生猪产业生态化的总体水平

表 2 为湖南省 2009—2018 年生猪产业生态化水平的评价结果，指数值越大，表示生猪产业生态化水平越高。

表 2 湖南省生猪产业生态化水平评价结果

年份	综合效益指数	经济效益指数	生态效益指数	社会效益指数
2009	0.558	0.198	0.266	0.094

2010	0.489	0.181	0.200	0.107
2011	0.53	0.224	0.192	0.114
2012	0.482	0.200	0.169	0.114
2013	0.497	0.214	0.169	0.114
2014	0.514	0.232	0.175	0.108
2015	0.583	0.195	0.180	0.207
2016	0.594	0.231	0.163	0.201
2017	0.715	0.314	0.167	0.235
2018	0.677	0.255	0.166	0.256

由图 1 可以看出，2009—2018 年，湖南省生猪产业生态化水平总体呈现出提升的态势。除 2011 年外，综合效益指数从 2009 年到 2012 年总体呈递减趋势，2012 年之后一直持续增加，到 2017 年实现了达峰，为 0.715。此后的 2018 年，由于经济效益指数下降，导致综合效益指数的小幅度下降。

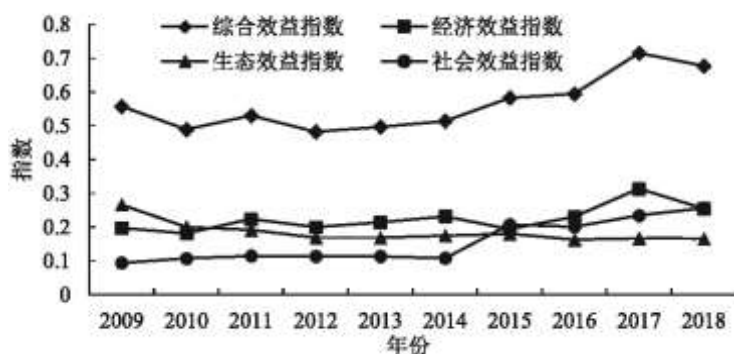


图 1 湖南省生猪产业生态化水平指数

从分项指数来看，2009—2014 年，经济效益指数和社会效益指数都比较平稳；2015—2017 年，经济效益指数快速增长，2018 年有所回落，而社会效益指数则逐年增长。生态效益指数在 2009—2012 年有所下降，之后则比较平稳。

3.2 各维度指数解析

3.2.1 经济效益指数分析

(1)2015—2017 年，人均生猪产值从 1322.01 元/人上升到 1582.73 元/人，增加了 260.72 元/人，增长 19.72%；同期，生猪产值占 GDP 比重从 3.34%上升到 3.41%，增加了 0.07 个百分点；生猪出栏率从 132%上升到 141%，增加了 9 个百分点。出现在这种变化的主要原因可能在于 2016 年湖南省政府颁布了《关于加快转型升级推进现代畜牧业发展的意见》，推动了生猪产业的转型升级，生猪产业保持了健康、稳定发展的态势。同时，散户退出、规模养殖主体的理性补栏，使得生猪出栏量明显增长，

生猪产业对经济发展的贡献在增加。

(2)2017—2018 年,生猪产业的平均成本由 1508.54 元/头上涨到 1570.50 元/头,每头增加了 61.96 元,增长 4.11%。相应地,生猪产业的成本利润率由 2.33%下降到 1.74%,下降了 0.59 个百分点。其主要原因是非洲猪瘟导致了能繁母猪的大量死亡,继而引起全省生猪产业中繁育率的显著下降,随之而来的就是仔畜费的上升,防疫成本的增加,以及生猪死亡带来的损失。此外,人均生猪产值、生猪产值占 GDP 比重以及生猪出栏率也大幅度下降,人均生猪产值由 1582.73 元/人下降到 1449.24 元/人,减少了 133.49 元/人,减少 8.43%;生猪产值占 GDP 比重由 5.67%下降到 2.9%,下降了 2.77 个百分点;生猪出栏率由 141%下降到 137%,下降了 4 个百分点。

3.2.2 生态效益指数分析

2009—2018 年,湖南省生猪产业的生态效益指数总体上呈现出缓慢下降的态势,期间也有所波动。

(1)2009—2012 年,生态效益指数呈下降趋势。

从具体指标变化来看:①头均水消耗从 0.67 元/头增加到 1 元/头,每头增加了 0.33 元,增长 49.25%。主要原因是三年间生猪出栏和存栏量共增加了 583.5 万头,大部分规模化养殖场采用的依然是传统水冲式清粪方式,耗水量巨大,且污水后续处理困难。②污染物排放总量从 61.77 千克/头增加到 70.86 千克/头,每头增加了 9.09 公斤,增长 14.72%。期间,由于平均饲养天数有所增加,尤其是大规模养殖场的平均饲养天数增加 24.64 天,增加了生猪的饲养周期,导致污染物排放量的增加,因此生猪产业生态化水平降低。③农用化肥施用量从 231.6 万吨增加到 249.1 万吨,增加了 17.5 万吨,增长 7.56%。作为粮食主产省,要实现粮食产量的持续增长,需要依靠增大化肥用量^[24],从而形成“化肥过量使用—土壤肥力下降—加大化肥用量”的恶性循环^[25]。

(2)2013—2015 年,生态效益指数略微上升。

从指标变化来看:①头均水消耗从 1 元/头下降到 0.8 元/头,主要归功于粪污处理工艺的改造,特别是干清粪工艺、发酵处理工艺在全省养殖企业的大范围试验与推广,与传统工艺相比,干清粪工艺的用水量可减少 2/3。②畜禽粪污土地承载力从 2013 年的 2552.67 万头上升到 2015 年的 2657.89 万头,由于作物产量的增加,作物的养分需求量增加,从而使得有更多的土地承载生猪粪便,而生猪粪便可作为有机肥料供作物吸收利用,因此畜禽粪污土地承载力增加,生猪产业生态化水平提高。③农用化肥施用量从 248.2 万吨下降到 246.5 万吨,由于 2013 年湖南省农业农村厅大力鼓励和引导畜禽养殖进山入林,采取种植和养殖相结合的方式就地就近消纳利用,形成畜禽—沼—鱼/果/菜/粮等生态养殖模式,畜禽粪污有机肥替代化肥,减少了农用化肥使用量。

(3)2016 年生态效益指数明显下降。

从指标变化来看:①精饲料消耗从 2015 年的 1061.21 元/头下降到 2016 年的 996.26 元/头,下降的原因主要是散小养猪场和中型养猪场的精饲料消耗减少,青粗饲料消耗的增加。②污染物排放总量从 2015 年的 77.64 千克/头增加到 2016 年的 79.36 千克/头,主要是大规模养猪场的每头生猪主产品产量增加了 5.89 千克,且每头生猪平均饲养天数增加了 5.58 天,饲养周期的增加导致生猪污染物排放量的增加。

3.2.3 社会效益指数分析

2009—2018 年,湖南省生猪产业的社会效益指数呈上升趋势。其中,2009—2014 年的社会效益指数在 0.1 左右,2015 年快

速上升到 0.207，之后升速放缓，在 2018 年达到 0.256。

(1)2014—2015 年各指标变化较大，主要原因是：①畜牧业就业人数从 457 人增加到 1612 人，为推广生猪产业科技提供了智力支撑。2015 年，湖南省确定了 52 个生猪良种补贴项目县，共建设种猪站 123 个；同时，全省创建了 22 个国家级畜禽标准化示范场和 68 个省级示范场，畜牧业就业人数显著增加。②畜牧业就业人员平均工资从 19211 元增加到 36113 元。2015 年，根据《关于促进创新创业带动就业工作的实施意见》，构建了具有湖南特色的“1+3+X”就业创业政策体系，对工资收入分配制度进行了改革，调整了基本工资标准，畜牧业就业人员平均工资也有一定幅度的增加。③畜牧兽医机构大学本科以上学历人数从 131 人增加到 154 人，根据“1+3+X”就业创业政策，启动了畜牧产业领域的新一轮专业技术人才知识更新工程，提升了广大专业技术人才综合素质和教育水平，这使得畜牧兽医机构大学本科以上学历人数大幅增加。

(2)2015 年以后社会效益指数缓慢上升。全省持续坚持就业优先战略，扩大畜牧业就业人员队伍，解决了当地就业问题，畜牧业人员收入水平持续向好，同时人才队伍建设也为生猪产业的发展提供了技术保障，到 2018 年生猪产业生态化水平的社会效益达到峰值。

4 湖南省生猪产业生态化水平影响因素分析

4.1 变量选取与数据来源

在生猪产业生态化评价的基础上，综合学者们的研究成果，本文选取经济发展水平、教育水平、技术服务投入以及环境规制 4 个变量，实证分析其对湖南生猪产业生态化水平的影响。其中，目前环境规制工具主要包括命令控制型环境规制和市场激励型环境规制两类，前者参考蔡乌赶和周小亮^[26]的做法，使用地方性环保法规与规章个数进行衡量，后者使用地区排污费征收总额/GDP 进行衡量；技术服务投入用头均技术服务费用来表示，是指生猪养殖主体参加技术培训、咨询等技术性服务的费用。以上全部指标数据来源于历年《全国农产品成本收益资料汇编》《中国环境年鉴》《中国统计年鉴》，具体指标选取见表 3。

表 3 生猪产业生态化水平影响因素指标

变量	变量名称	变量的测度指标
因变量	湖南省生猪产业生态化水平	湖南省生猪产业生态化综合指数
自变量	经济发展水平	人均 GDPX ₁
	受教育水平	平均受教育年限 X ₂
	技术服务投入	技术服务投入 X ₃
	环境规制	地方性环保法规与规章个数 X ₄
		排污费征收总额/GDPX ₅

4.2 模型构建

由于生猪产业生态化水平范围为 0~1，如果直接使用简单线性回归将导致估计结果的偏差，本文采取 Tobit 模型分析影响因素，模型如下：

$$Y = \begin{cases} Y^* = \alpha + \beta X + \varepsilon, & Y^* > 0 \\ 0, & Y^* \leq 0 \end{cases} \quad (16)$$

式中：Y 表示生猪养殖生态化水平综合指数，X 为自变量，a 是常数项，β 表示回归系数，ε 为误差项。

4.3 回归结果分析

根据上述模型，利用 Stata 软件进行 Tobit 模型的多元线性回归分析，结果见表 4。由此可以看出，对生猪产业生态化水平有显著影响的是人均 GDP、技术服务投入以及排污费征收总额/GDP；另外，平均受教育年限、环境规制地方性环保法规与规章个数等两个指标未通过显著性检验。

表 4 生猪产业生态化水平影响因素回归结果

自变量	β	标准差	t 值	P 值
常数项	-1.6278	0.6506	-2.50	0.054
X ₁	0.2073	0.0995	2.08	0.092
X ₂	0.1087	0.0738	1.47	0.201
X ₃	0.1620	0.0335	4.84	0.005
X ₄	0.0013	0.0007	1.80	0.132
X ₅	0.6340	0.2866	2.21	0.078

(1)代表经济发展水平的人均 GDP 对生猪产业生态化水平的影响为正值，回归系数为 0.2073，说明经济发展对生猪产业生态化的提高具有显著的促进作用。一方面，较高的经济发展水平意味着有较好的财力投入资源和要素到生猪产业生态化推进中；另一方面，居民收入水平的提升带来对优质肉产品的需求、对环境质量的要求也是推动生猪产业生态化水平提升的重要因素。

(2)技术服务投入对生猪产业生态化水平有显著的正向影响，说明技术服务投入越高，生猪养殖主体养殖技术越高，资源配置的效率也越高。生猪养殖可通过技术的改进、资源的优化配置，实现畜禽废弃物的源头减排和资源化利用，同时促进资源投入“减量化”，从而降低生产成本，增加经济效益，提高生猪产业生态化水平。

(3)环境规制变量中，地方性环保法规与规章个数的系数不显著，说明该指标代表的命令控制型环境规制对生猪产业生态化水平不具有影响。这可能源于环境规制中的环保政策大多是针对畜牧大县、流域以及规模化养殖场的畜禽粪污治理，这对于提高规模化养殖场的粪污治理水平有较大影响，但湖南省非规模散户以及小型养猪场的基数庞大，现有政策对此类养猪场的规范和约束有限，也未能将其纳入监管体系，导致其粪污治理陷入困境。因此，政府需出台适用于“非规模化”生猪养殖户的环保政策。排污费征收总额/GDP 的系数显著为正，该指标代表的是市场激励型环境规制，说明该类环境规制对引导生猪产业生态化水平起到了正向作用。原因是湖南省生猪产业整体市场化程度高，市场机制较为健全，依靠市场激励型环境规制对养殖企业积极进行环境技术创新产生了激励效应，能够确保养殖企业科学地进行生猪养殖废弃物资源化利用，达到减排的效果，从而有助于产业生态化水平提升。

5 结论与建议

本文从经济效益、生态效益、社会效益三个维度构建了生猪产业生态化水平的综合评价指标体系，运用熵权法—灰色关联度模型，对湖南省 2009—2018 年生猪产业的生态化水平进行综合测度，随后采用 Tobit 模型分析了生猪产业生态化影响因素，结果显示：2009—2018 年，湖南省生猪产业生态化综合水平整体提升。其中，经济效益和社会效益指数呈波浪式上升趋势，但生态效益指数近年来却略有下降，因此应着重提升生猪产业生态效益。在猪场用水方面，采用干清粪工艺可减少水资源的消耗。在猪饲料喂养方面，应增加精饲料在饲料喂养中的占比，提高饲料转化率，减少生猪排泄。在粪污资源化利用方面，首先应加大生猪养殖源头减排技术的推广应用；其次将生猪粪污通过发酵床养殖、堆积发酵等方式处理成有机肥，用于农业还田，实现畜禽有机肥替代化肥，最终实现农牧循环一体化。

在外部影响因素方面，对生猪产业生态化水平有显著正向影响的是人均 GDP、技术服务投入以及排污费征收总额/GDP，但地方性环保法规与规章个数和平均受教育年限对生猪产业生态化水平的影响不显著。由此，本文建议：

加大政府财政资金支持，建设生猪产业一体化链接合作体系。首先，加大政府对龙头企业试点项目的财政资金支持，创新龙头企业联农带农模式，推进“龙头企业+合作社+养殖户”产业化经营模式的发展。其次，进一步推进产业融合，发展种养结合的一体化产业。种养结合是粪污资源化利用的最佳方式，应以农牧结合、种养平衡为核心，统筹区域种植业和养殖业一体化的规划布局，构建产业互为循环的生态农业系统。

优化市场激励型环境规制工具，完善与命令控制型环境规制相关的配套政策。首先，应积极开展排污权有偿使用和交易试点，合理确定污染物排放收费标准，深化环境税费改革，增加环境税税种，扩大增收范围。其次，利用收取的畜禽粪污排污费、环保经费设立粪污资源化利用专项基金，专用于粪污资源化利用项目。最后，完善与命令控制型环境规制相关的配套政策。

加强宣传培训力度，提高技术服务水平。加强环保宣传培训力度，提高生猪养殖领域从业人员的素质，拓宽从业人员的养殖经验、污染治理、精细养殖智能化技术等知识面，从而改善生猪养殖过程中产生的污染暴露行为。

参考文献：

- [1] Ayres R U. Industrial metabolism[C]// Ausubel J H, Slavonic H E. Technology and environment. Washington DC: National Academy Press, 1989.
- [2] Frosch R A, Gallopoulos N E. Strategies for manufacturing[J]. Scientific American, 1989, 261(3): 144-152.
- [3] 袁增伟, 毕军, 张炳, 等. 传统产业生态化模式研究及应用[J]. 中国人口·资源与环境, 2004(2): 109-112.
- [4] Martin Willison J H, Côté R P. Counting biodiversity waste in industrial eco-efficiency: Fisheries case study[J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(3): 348-353.
- [5] Sarkis J, Dijkshoorn J. Eco-efficiency of solid waste management in Welsh SMEs[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2005. DOI:10.1117/12.631778.
- [6] Risku-Norja H, Mäenpää I. MFA model to assess economic and environmental consequences of food production and consumption[J]. Ecological Economics, 2006, 60(4): 700-711.

-
- [7]Odum H T,Peterson N.Simulation and evaluation with energy systems blocks[J].Ecological Modelling,1996,93(1-3):155-173.
- [8]姜秋香,赵岫竹,王子龙,等.基于系统动力学的黑龙江省农业生态系统能值分析[J].应用基础与工程科学学报,2019(4):780-793.
- [9]曾令秋,王芳.农业产业化发展水平评价研究——以四川省为例[J].农村经济,2018(11):53-60.
- [10]张乃明,张丽,赵宏,等.农业绿色发展评价指标体系的构建与应用[J].生态经济,2018(11):21-24,46.
- [11]王宝义.中国农业生态化发展的综合评价与系统诊断[J].财经科学,2018(8):107-120.
- [12]赵普.重污染行业产业生态化的环境成本分担机制与路径研究[J].价格理论与实践,2019(10):4-8.
- [13]张媛媛,袁奋强,刘东皇,等.产业生态化水平的测度及其影响因素研究[J].长江流域资源与环境,2019(10):2331-2339.
- [14]郭付友,佟连军,刘志刚,等.山东省产业生态化时空分异特征与影响因素——基于 17 地市时空面板数据[J].地理研究,2019(9):2226-2238.
- [15]魏政福,陈伟.我国钢铁产业生态化的影响因素分析[J].商业时代,2014(12):134-135.
- [16]黄万华,卢盈.资源环境约束下煤炭产业生态效率测评及其影响因素分析[J].资源开发与市场,2018(1):28-34.
- [17]王善高,田旭,张晓恒.生猪养殖产业集聚对环境效率影响的研究[J].农业现代化研究,2019(3):459-469.
- [18]于连超,张卫国,毕茜,等.中国生猪养殖业绿色全要素生产率的测算[J].统计与决策,2020(13):107-110.
- [19]吴一平,俞洋,刘向华,等.规模化猪场绿色健康养殖行为分析——基于三维协同分析框架[J].农业技术经济,2020(6):116-130.
- [20]于法稳.新时代生态农业发展亟需解决哪些问题[J].人民论坛·学术前沿,2019(19):14-23.
- [21]陈秋红,张宽.新中国 70 年畜禽养殖废弃物资源化利用演进[J].中国人口·资源与环境,2020(6):166-176.
- [22]王建华,陶君颖,陈璐.养殖户畜禽废弃物资源化处理方式及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2019(5):127-137.
- [23]朱宁,秦富.畜禽废弃物处理对规模养殖环境效率的影响——基于蛋鸡粪便处理的视角[J].中国环境科学,2015(6):1901-1910.
- [24]曾鸣,谢淑娟.我国农业生态环境恶化的制度成因探析[J].广东社会科学,2007(4):59-64
- [25]许英杰,Keld Storm.丹麦农业生产中的肥料使用及其对中国的启示[J].中国农学通报,2010(16):180-183.

[26]蔡乌赶, 周小亮. 中国环境规制对绿色全要素生产率的双重效应[J]. 经济学家, 2017(9): 27-35.