

引用格式: 刘浩, 彭华, 余泽田, 等. 规模化奶牛养殖场粪污资源化利用技术采纳及其经济效应评价[J]. 资源科学, 2023, 45(8): 1560–1576. [Liu H, Peng H, Yu Z T, et al. Adoption of manure resource utilization technologies and its economic effects on large-scale dairy farms[J]. Resources Science, 2023, 45(8): 1560–1576.] DOI: 10.18402/resci.2023.08.06

规模化奶牛养殖场粪污资源化利用技术采纳及其经济效应评价

刘浩, 彭华, 余泽田, 夏千童, 董晓霞

(中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081)

摘要:【目的】畜禽养殖粪污污染、粪污资源化利用的高成本投入问题已经成为制约中国规模化奶牛养殖场可持续发展的重要因素。探究养殖场粪污资源化利用技术采纳机制及其经济效应, 对于技术推广、节能减排具有重要促进作用。【方法】本文基于全国15个省份218个规模化奶牛养殖场的调研数据, 以净收益和环境效率综合反映粪污资源化利用技术的经济效应, 运用Probit、PSM模型考察了不同规模养殖场粪污资源化利用技术采纳决策的影响因素, 并评价了不同规模养殖场采纳粪污资源化利用技术的经济效应差异。【结果】技术采纳决策方面, 适度规模养殖场粪污资源化利用技术采纳与养殖场负责人年龄、养殖密度、技术人员比重、挤奶机类型、养殖场性质、环境规制等因素显著相关; 大规模养殖场粪污资源化利用技术采纳主要受环保约束、激励政策等环境规制以及养殖密度的影响。经济效应方面, 采纳粪污资源化利用技术可使适度规模养殖场的净收益和环境效率分别提高约26%和6%, 可使大规模养殖场环境效率提升约4%, 而对其净收益影响不大。【结论】通过健全畜禽粪污监管和支持体系、加强养殖人员技术培训、推广适度规模养殖等方式可有效缓解粪污处理压力。未来仍需通过科技创新和技术推广为粪污资源化利用提供基础支撑, 促进畜牧业高质量发展。

关键词: 粪污资源化利用技术; 采纳决策; 经济效应; SBM-Undesirable模型; PSM模型

DOI: 10.18402/resci.2023.08.06

1 引言

随着存栏规模的不断扩大和规模化饲养方式为主的畜禽养殖业迅速发展, 畜禽粪污环境污染问题已经成为制约奶牛养殖业稳定健康发展的关键因素之一。粪污资源化利用作为奶牛养殖的关键技术环节, 不仅可以提高牧场资源循环利用水平, 降低生产成本, 而且能减少动物粪便对生态环境的损害。大力发展畜禽粪污资源化利用成为产业升级、环境改善以及奶牛养殖可持续发展的必要途径之一。据FAO统计, 畜牧业产生了全球约14.5%的温室气体, 其中65%的温室气体来自于牛养殖, 是畜牧业排放的主要贡献者, 畜禽粪污资源化利用是

减排固碳的重要措施。另据测算, 2020年中国奶牛年粪污产生量约为4亿t, 若用于生产有机肥每年经济效益可达11.9亿元, 若用于生产卧床垫料每年可减少7824.7万t碳排放^[1]。然而, 当前奶牛养殖主体粪污资源化利用仍存在相关设施不完备、内生动力不足、利益联结不紧密等问题。粪污处理设施通常需要较高的成本投入, 很多养殖户出于自身经济效益考量, 污染物处理设施配置不足^[2]。多数养殖场只考虑解决污染问题, 没有推动粪肥科学还田的积极性; 且粪肥田间施用和养殖场粪肥收运等社会化服务组织发育程度低, 经营规模小, 技术水平低, 对接种、养主体的桥梁纽带作用发挥不足。中国农户

收稿日期: 2022-08-29, 修订日期: 2023-05-16

基金项目: 农业农村部政府购买服务项目(A170202)。

作者简介: 刘浩, 男, 陕西咸阳人, 博士研究生, 研究方向为农业信息分析。E-mail: 82101211327@caas.cn

通讯作者: 董晓霞, 女, 江苏东台人, 研究员, 研究方向农产品市场与畜牧业经济。E-mail: dongxiaoxia@caas.cn

2023年8月

使用的肥料中,粪肥仅占20%,与欧美发达国家50%左右的使用比例存在较大差距。就粪肥施用方式而言,固体粪肥仍以人工施撒为主,占比达94.5%;液体粪肥以漫灌施用为主,占比达76.5%^①;机械化施用方式严重缺乏。且养殖主体对粪污资源化利用产生的经济效益认识不足,导致粪污资源化利用积极性较低。因此,实证考察影响奶牛养殖场采纳粪污资源化利用技术的因素,并定量判断粪污资源化利用技术的经济效应,对于推广粪污资源化利用技术、提升奶牛养殖户粪污资源化利用的积极性具有重要意义。

目前,学术界对畜禽养殖粪污资源化利用问题已经开展了大量研究。关于畜禽粪污资源化利用技术采纳影响因素研究主要集中在生猪、蛋鸡、肉鸡等行业,分为4个方面:①养殖户个人和养殖特征因素,主要有年龄、受教育程度、是否参加农民合作组织、养殖规模、养殖年限、人均耕地面积等^[3-7]。其中,年龄较大、受教育程度较低、中小规模的养殖户对采纳粪污资源化利用技术的积极性较低。②认知因素,养殖户对粪便危害的认知和畜禽粪便价值的感知程度越高,对采纳粪污资源化利用技术的积极性越高^[5,8,9]。③外部环境因素,包括地区经济发展水平、劳动力成本、农地肥力、农产品商品率、技术支持和粪肥交易市场等^[10-13]。其中,地区经济发展水平、技术支持、交易市场等外部环境建设越发达完善,养殖户采纳粪污资源化利用技术的积极性就越高。④政策因素,一方面体现在激励性政策,如沼气补贴、设备设施补贴等,刺激养殖户的环保投资,对其采纳粪污资源化利用技术具有显著正向影响;另一方面体现在约束性政策,如排污费征收、排污标准设定能够刺激养殖者更加重视粪污处理^[5,11,12]。尽管相关研究较多,但对于奶牛养殖粪污资源化利用技术采纳研究较少。而奶牛作为大型反刍动物,不仅粪污产生量较多,而且在养殖场性质^[14]、粪污资源化利用方式^[15]方面也区别于其他畜禽。

随着中国奶牛养殖规模化程度提升,国营、集体和合资养殖场占比越来越高^[14],相比私营养殖场,其社会责任意识更强,粪污处理积极性更高。同时,挤奶机类型选择与养殖效率密切相关^[16],影响养

殖场粪污处理设施投资积极性,因此,有必要进一步深入探讨养殖场性质和挤奶机类型这两个因素与粪污资源化利用技术采纳的关系,有利于粪污资源化利用技术推广。

部分学者对畜禽粪污资源化利用的经济效应进行了研究,且主要集中在经济收益方面。相较于达标排放,粪污资源化利用可减少养殖场环保投资72.4%以上^[17],不同规模养殖场经济效益差异显著^[18]。就不同养殖规模的经济效应而言,有研究发现,中规模养殖户粪污处理的成本和收益高于小规模和大规模^[19]。就不同粪污处理工艺的经济效应而言,好氧堆肥工艺下每功能单位固体粪污经济效益为92.03元;黑膜沼气工艺下每功能单位液态粪污处理成本为0.10元,不产生经济效益^[20]。就不同畜禽粪污利用途径的利弊而言,能源化利用可以通过生产沼气发电、产生热能获得收益,且能减少排污罚款支出、节本增效,但具有前期投资较高、收益不稳定等问题^[21];肥料化利用可以通过制造有机肥获得收益,但加工成本较高,且受季节、库存成本等因素影响,再加上企业与养殖场关系不稳定易导致有机肥加工企业相对较少且生产积极性较低^[22-25]。除了考察粪污资源化利用的成本收益外,粪污资源化利用行为可持续性也是实现畜牧业可持续发展的重要一环。可持续性常以环境效率来衡量^[26]。环境效率是资源环境投入与人类活动产出之间相互协调的关系^[27],从宏观角度看,考虑了污染物排放等非期望产出的环境效率能有效反映经济的可持续性^[28],环境效率的提高能够促进技术的可持续发展^[29]。通常认为,环境规制、养殖户资源禀赋^[30]、养殖规模^[31]等因素与环境效率相关。但前人研究少有关关注粪污资源化利用技术采纳决策对养殖场环境效率的影响,对于粪污资源化利用技术采纳行为可持续性探索性不足。

因此,本文基于2021年对全国218家牧场的调研数据,在规模异质性视角下,探究奶牛养殖场粪污资源化利用技术采纳的影响因素及其经济效应(经济收益和可持续性)差异,这对提升粪污资源化利用效率、了解和挖掘粪污资源化利用潜力、提高养殖户粪污资源化处理积极性具有理论和现实

① 数据来源于“十四五”农业绿色发展项目系列交流会《“十四五”期间畜禽粪污资源化利用存在的问题及建议》。

意义。

2 理论基础与研究假设

2.1 理论基础

学术界关于农户技术采纳行为的研究理论众多,在已有研究基础上,罗杰斯^[32]提出了创新扩散理论,该理论融合了信息传播、技术推广等已有研究成果,能更好地解释人们对新技术、新模式接受的过程,其认为农业技术创新扩散是一种农业技术、发明,通过某种渠道向周围传播,并被广大农户(养殖场)、涉农企业采纳、使用的过程。在农业技术创新扩散过程中会受到一系列内外部因素的制约和影响,内部驱动因素是决定农户技术采用的根本因素,主要包括年龄、受教育程度、经营规模等;而外部因素是农户技术采用的具体依据,主要包括经济发展水平、政策环境、农户间相互作用等方面^[33]。该理论认为技术扩散经历获知、说服、决定、实施、确认5个阶段,整个过程受内外部因素影响,并且对内外部因素类型给出划分框架,本文以此为依据进行理论分析。

2.2 研究假设

以创新扩散理论为基础,将影响养殖场采纳粪污资源化利用技术行为的因素进行分类,其中,内部驱动因素包括养殖场负责人特征(年龄、文化程度)和养殖场经营特征(技术人员占比、养殖密度、养殖场性质、挤奶机类型),外部驱动因素为政府颁布的环境规制政策和养殖区域。

内部驱动因素中技术采用者特征(养殖场负责人特征)对技术推广具有直接作用^[32],主要表现在:①年龄。养殖场负责人年龄增加,对新事物接受、好奇心会降低,更习惯沿用传统养殖经验,采纳新技术的积极性将降低;但也有可能养殖场负责人年龄越大,更能理解传统技术的弊端,所以对新技术需求越强^[34-36]。②文化程度。文化程度越高,养殖场负责人收集、理解和掌握新技术的能力越强,技术认知也会越高,对采用粪污处理技术有利于提升生产效率、降低生产成本的判断更加科学,采用的可能性越大^[37]。因此,本文提出假设:

H1:养殖场负责人年龄对粪污资源化利用技术采纳影响方向不确定。

H2:养殖场负责人文化程度对粪污资源化利用

技术采纳具有积极影响。

内部驱动因素中养殖场经营特征为创新技术传播创造了条件。主要表现在:①技术人员占比。一定范围内,技术人员数量越多,使用新技术的成本越低,从而引进新技术的意愿越强烈^[38]。②养殖密度。同时,养殖密度反映了养殖场处理畜禽粪便的压力,养殖密度越大,选择出售粪便的可能性越小,越有机会采用粪污处理技术。因此,本文假设养殖密度对粪污资源化利用技术采纳有正向影响^[39]。③养殖场性质。养殖场性质主要分为国营、集体、合资和私营独资性质养殖场,其中国营、集体和大部分合资养殖一般委托代理人来负责,而独资和部分合资养殖场一般由法人直接负责养殖场管理,根据委托代理理论,代理人 and 法人之间存在信息不对称,由于环保压力大,代理养殖场更愿意采纳粪污资源化利用技术,避免因为养殖环保问题影响正常生产经营,保证代理人职业生涯稳定,而且国营、集体和大部分合资养殖场的管理更加科学、规范,采纳粪污资源化利用技术的积极性更高^[40]。该技术具有较强外部性,非代理养殖场一般规模较小,粪污排放较少,在一定程度内,愿意承担环保惩罚风险,减少粪污资源化利用技术投入,以避免增加养殖成本,从而对于采纳粪污资源化利用技术意愿可能较低。④挤奶机类型。中国奶牛养殖挤奶机的应用从提桶式、管道式到鱼骨式、并列式、转盘式,再到机器人挤奶,挤奶技术不断更新,为了发挥奶牛的生产潜能,养殖场一般会配套其他先进技术,以发挥技术间的互补效应^[41],例如生产卧床垫料、好氧处理污水等粪污资源化利用技术。但由于技术适配性不同,转盘式挤奶机更适用于大规模养殖场,并列式、鱼骨式更适用于小规模养殖场^[42],良好的适配性有助于提高养殖收益,增加粪污资源化利用投入,因此,本文提出假设:

H3:技术人员占比对粪污资源化利用技术采纳具有积极影响。

H4:养殖密度对粪污资源化利用技术采纳具有积极影响。

H5:相比于非代理养殖场,代理养殖场粪污资源化利用技术采纳积极性更高。

H6:挤奶机类型越先进,养殖场采纳粪污资源

化利用技术积极性越高。

外部驱动因素是创新技术推广的重要保障,主要表现在:①环境规制强度。奶牛养殖场实施环境保护具有较强的外部性,需要政策和法律的干预以有效配置资源,环境规制强度越高,养殖场在政策法规约束下,往往越容易采取相关行为措施。②养殖产区。不同区域资源禀赋差异较大,例如,东北、西北地区土地资源丰富,可消纳大量粪污,粪污资源化利用的投入成本更低,收益更高;而南方地区土地资源相对紧缺,面对严格环保政策,主要目的是对粪污无害化处理,粪污资源化利用成本较高^[43],相关技术采纳意愿会较低。本文提出假设:

H7:环境规制强度对粪污资源化利用技术采纳具有积极影响。

H8:相较于东北、西北地区,南方地区养殖场粪污资源化利用技术采纳积极性更低。

经济性一般从净利润和效率两方面考虑,成本投入变化,不仅影响净利润,也影响效率大小;纳入环境效率更能反映可持续性发展,使效率指标更为全面,因此,本文采用净利润和环境效率。当粪污资源化利用技术使用后产生正的经济效应,可有效

抵消引进相关设备设施的投入成本,并且进一步对内外驱动产生积极作用,促进粪污资源化利用技术采纳;当粪污资源化利用技术产生负的经济效应时,养殖场将停止采纳粪污资源化利用技术,由于环保压力或者养殖成本过高可能退养。不同规模来看,一般对于小规模或散养户,选择该技术的成本压力太大,环保约束下可能会退养;而对于规模较大养殖场,粪污产生量较大,采纳粪污资源化利用技术的经济效用更高,产生的收益相对更有可能抵消引进该技术的投入成本,并且能避免粪污污染带来的行政处罚,保证稳定生产经营。

基于以上理论分析和研究假设,得到图1所示的假说模型。

3 研究方法 with 数据来源

3.1 研究方法

3.1.1 SBM-Undesirable 模型

当前国内外对环境效率的研究已较为丰富,运用的方法主要有随机前沿分析法^[44]、生态足迹法^[45]、能值分析法^[46]以及数据包络分析法^[47]等,结合数据情况以及研究内容,数据包络法更适合本研究。

鉴于此,将采用包含非期望产出的数据包络分

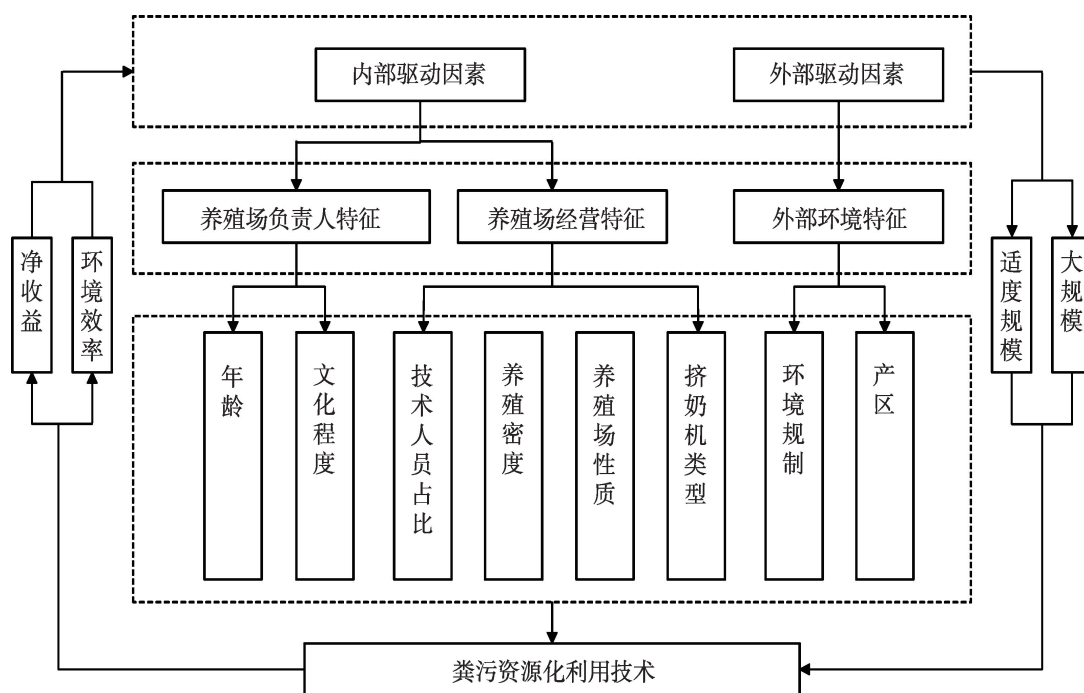


图1 养殖场采纳粪污资源化利用技术的理论框架

Figure 1 Analytical framework for the adoption of manure resource utilization technologies by dairy farms

析法(SBM-Undesirable)测算奶牛养殖的环境效率。SBM模型在规模报酬不变(CRS)和规模报酬可变(VRS)的不同假设下所测得的效率值是不同的,当两种技术假设下出现结果差异时,应优先考虑运用VRS下得到的结果^[48],因此,采用规模报酬可变情况下的SBM-Undesirable模型测度环境效率。

3.1.2 行为决策方程和产出供给方程

参考国内外相关学者对农户技术采纳及经济效益影响的综述,需要构建养殖户行为决策方程和产出供给方程,解释变量主要包括:养殖场负责人特征、养殖场特征、外部环境特征等因素,方程简化形式如下:

$$F=f(\mathbf{Z}^{\text{ma}}, \mathbf{Z}^{\text{fe}}, \mathbf{Z}^{\text{en}}) \quad (1)$$

$$Y_1=f(\mathbf{Z}^{\text{ma}}, \mathbf{Z}^{\text{fe}}, \mathbf{Z}^{\text{en}}) \quad (2)$$

$$Y_2=f(\mathbf{Z}^{\text{ma}}, \mathbf{Z}^{\text{fe}}, \mathbf{Z}^{\text{en}}) \quad (3)$$

式中: F 表示养殖场粪污资源化利用技术采纳决策; \mathbf{Z}^{ma} 表示养殖场负责人特征; \mathbf{Z}^{fe} 表示养殖场特征; \mathbf{Z}^{en} 表示外部环境特征; Y_1 表示养殖场净收益; Y_2 表示养殖场环境效率。

3.1.3 PSM模型

采用PSM模型,假定粪污资源化利用养殖场与未资源化利用养殖场能够被一组共同影响因素完美解释,就可以利用这些共同因素进行分层匹配,每层内都有这两类养殖场,且这些养殖场在每层中唯一的区别就是是否采纳粪污资源化利用技术,以考察两类养殖场净利润和环境效率的差异。同时,该方法近似自然实验,可以有效克服样本选择可能带来的结果偏差和内生性问题。

为了避免结果误差,需要对选择结果产生影响的所有变量进行控制。反映不同匹配方式特点不同,当几种不同匹配方法结果相近,表示结果较为稳健^[49,50]。因此,分别将近邻匹配、半径匹配、核匹配法的估计结果进行对比,若结果相近,则表示结果较为稳健。

3.2 估计方法

当养殖场采纳粪污资源化利用技术时,即认为这是根据自身条件进行理性选择的结果,粪污资源化利用技术采纳作为一个二值选择问题,首先,利用Probit模型估计不同规模奶牛养殖场粪污资源化

利用技术采纳行为方程(2);然后,分别利用普通最小二乘法(OLS)和Tobit模型估计养殖场净利润和环境效率影响因素,即方程(3)和(4);最后,利用平均处理效应(ATT)考察粪污资源化利用技术采纳对净收益和环境效率的影响。

3.3 数据来源

本文数据主要来源于课题组2021年对中国奶牛养殖的南方产区(安徽、上海、云南)、东北内蒙古产区(内蒙古、黑龙江、辽宁)、华北产区(山西、山东、河北、河南、北京、天津)和西北产区(陕西、新疆、甘肃)15个省(市、区)224家规模化奶牛养殖户(场)(100头以上)的调研数据。经过对数据的检查、筛选后,有效样本数据为218份,样本有效率达到97.32%;调研样本最小存栏105头,最大存栏19697头,平均存栏2523头。按照《关于实施奶业生产能力提升整县推进项目的通知》,并结合调研数据情况,本文将规模类型划分为适度规模奶牛养殖场($100 \leq \text{头数} \leq 3000$)和大规模奶牛养殖场(头数 > 3000),样本数分别为141个和77个。调研内容主要包含养殖场负责人特征、养殖场特征、饲料成本、人工成本、折旧、其他成本、养殖场收益情况以及精准饲喂系统使用、粪污处理设备情况等,部分缺失数据通过国家统计局官方网站及相关省(直辖市、自治区)官方公布的统计数据补充。

3.4 指标说明

3.4.1 投入产出指标

借鉴学者对畜禽养殖效率、环境效率的指标选取情况^[51-53],选取养殖场场主产品产量和污染物排放量作分别作为期望产出和非期望产出指标,选取用工数量、饲料用量和固定资产折旧作为投入指标。

产出指标:①期望产出,以生鲜乳产量表示。由表1可以看出,总样本每头牛每月的生鲜乳产量达到了963.24 kg;从不同规模来看,适度规模养殖场的单位牛每月生鲜乳产量较少,比大规模少了68.92 kg。②非期望产出,以污染物排放总量表示。根据《第二次全国污染源普查》中对奶牛养殖排放污染物的界定,不同地区采用的不同粪污处理设施后排放的主要污染物有化学需氧量(COD)、全氮(TN)、氨氮含量($\text{NH}_3\text{-N}$)、全磷(TP),这些是产生 NH_3 、 CH_4 、 CO_2 、 H_2S 等有害气体的源头。本文将奶

表1 规模奶牛养殖场投入产出指标

Table 1 Input-output indicators of large-scale dairy farms							
指标类型	指标名称	含义	样本分类	均值	最小值	最大值	标准差
期望产出	生鲜乳产量/ (kg/(头·月))	每头牛每月的生鲜乳产量	总样本	963.24	452.30	1339.93	154.06
			适度规模	938.90	452.31	1339.93	166.27
			大规模	1007.82	585.09	1238.80	117.18
非期望产出	污染物排放总量/(kg/(头·月))	经不同粪污处理方式后每头牛每月COD、TN、NH ₃ -N、TP排放量总和	总样本	1176.01	576.90	8646.60	1432.57
			适度规模	1343.33	576.90	8646.60	1755.80
			大规模	869.62	576.90	1126.5	183.87
投入指标	用工数量/日	平均每头牛的用工数量	总样本	0.87	0.23	1.74	0.27
			适度规模	0.95	0.31	1.74	0.28
			大规模	0.71	0.23	1.16	0.15
	饲料用量/ (kg/(头·月))	每头牛每月的精饲料和粗饲料饲喂量总和	总样本	1897.60	780.00	8342.16	515.05
			适度规模	1825.59	780.00	2376.00	260.93
			大规模	2029.46	1219.20	8342.16	777.68
	固定资产折旧/ (元/头)	平均每头牛固定资产折旧	总样本	257.78	28.74	1623.14	134.25
			适度规模	257.15	43.75	650.52	103.61
			大规模	258.93	28.74	1623.14	177.99

牛养殖排放上述污染物进行加总整合为一个指标,防止多个非期望产出导入引起的测算偏差^[54]。根据《第二次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册》中的产排污系数,测算不同规模、区域奶牛养殖的污染物排放总量:

$$UO_j = \sum_i FD_{ij} \times T_i \tag{4}$$

式中: UO_j 表示第 j 种粪污排放总量; FD_{ij} 表示奶牛第 i 种粪污处理方式中第 j 种污染物排放系数; T_i 表示奶牛饲养周期。指标结果见表1。

投入指标:①劳动力投入,以奶牛养殖过程中单头牛投入的用工数量表示。②科学、合理的饲料投入(精粗饲料投入比例和时间)不仅是增强奶牛产出能力的决定性因素之一,也是减少奶牛粪便污染物排放的重要因素^[55],因此,饲料投入以每头牛每月的饲料用量总和表示。③固定资产投入以建筑物折旧、运输工具折旧、机械设备折旧等固定资产折旧的总和表示。

3.4.2 经济效应指标

结合已有研究,对粪污资源化利用技术采用的经济效应评价,既要考虑其经济性,也要重视其可持续性。因此,将通过净收益和环境效率两个指标来综合评价不同规模奶牛养殖场粪污资源化利用

技术采纳的经济效应。

结合模型(1),利用MaxDEA5.2软件测算环境效率,适度规模和大规模牧场的环境效率分别为0.78、0.85,表示整体环境效率较高,且规模越大养殖场的粪污处理能力越强。净收益指标用养殖场平均每头牛每月的净利润^②表示,从图2可以看出适度规模养殖场净收益较低,为469.85元,比大规模少了208.55元。

3.4.3 变量选取

结合已有文献,本文中相关变量的描述性统计见表2。

畜禽养殖过程中产生的粪便、尿液和粪便冲洗

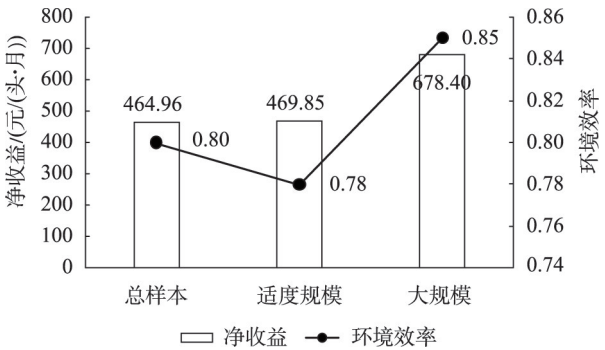


图2 不同规模奶牛养殖场经济效应

Figure 2 Economic effects of dairy farms of different sizes

② 净利润=主产品(生鲜乳)收益+副产品(粪肥、淘汰牛、育肥牛)收益+补贴收益-养殖总成本。

表2 变量描述性统计
Table 2 Descriptive statistics of variables

变量	含义	总样本			适度规模			大规模		
		频率	均值	标准差	频率	均值	标准差	频率	均值	标准差
是否采纳粪污处理技术	0=否	18.35	0.81	0.38	20.57	0.79	0.41	14.29	0.85	0.35
	1=是	81.65			79.43			85.71		
净收益	元/(头·月),取对数		6.12	0.87		6.10	0.85		6.17	0.90
环境效率	—		0.80	0.11		0.77	0.11		0.84	0.09
内部驱动因素										
养殖场负责人特征										
年龄	岁		46.96	9.53		48.70	9.76		43.76	8.24
文化程度	1=高中(中专)及以下	36.70	3.59	0.78	50.35	1.49	0.50	11.69	1.88	0.32
	2=大专及以上	63.30			49.65			85.31		
养殖场经营特征										
技术人员占比	—		0.20	0.11		0.18	0.09		0.23	0.13
养殖密度	亩/头		0.18	0.15		0.19	0.18		0.14	0.07
养殖场性质	0=代理养殖场	52.75	0.53	0.50	46.10	0.46	0.50	64.94	0.64	0.48
	1=非代理养殖场	47.25			53.90			35.06		
挤奶机类型	1=转盘式	26.15	2.06	0.75	12.06	2.36	0.68	51.95	1.51	0.57
	2=并列式	41.28			39.72			44.16		
	3=鱼骨式及其他	32.57			48.23			3.90		
外部驱动因素										
外部环境特征										
环境规制	政策文件数量		34.80	17.96		34.38	18.62		35.57	16.79
产区	1=南方产区	12.39	2.54	0.95	12.06	2.41	0.87	12.99	2.77	1.04
	2=华北产区	41.28			48.23			28.57		
	3=东北和内蒙古产区	26.15			26.24			25.97		
	4=西北产区	20.18			13.48			32.47		

污水等粪污在养殖废弃物中占比最大,对生态环境的影响也最大^[43,56]。本文研究对象主要为分布在中国不同地区的规模化奶牛养殖场,采纳的粪污资源化利用技术主要是粪便资源化处理技术(堆肥发酵、沼气池处理、生产卧床垫料、养殖蚯蚓)和污水资源化处理技术(沼气池处理、氧化塘处理、好氧处理),研究对象中采纳粪污资源化利用技术的养殖场有178个,其中适度规模112个,大规模66个;未采纳粪污资源化利用技术的养殖场有40个,其中适度规模29个,大规模11个,采纳粪污资源化利用技术的大规模养殖场数量比重明显高于适度规模,主要是因为大规模养殖场粪污产生量更多,采纳粪污资源化利用技术的收益更大。

养殖场负责人个人特征变量主要包括年龄、文

化程度。

养殖场经营特征主要包括技术人员占比、养殖密度、养殖场性质和挤奶机类型^[57]。需要说明的是,本文养殖密度由平均单头牛占地面积表征,此为反向指标,平均单头牛占地面积越小,养殖密度越大。

外部环境特征包含环境规制和所在产区。环境规制以相关法制规章文件数量度量^③,中国环境规制政策多以行政法规及规范性文件、地方性法规、部门规章和地方政策规章文件的形式出现,尽管地方政府当下发布的政策文件可能是对已有政策文件执行不力的补充或修订,但在已有政策文件继续生效的情况下,政策文件数量的增加更多体现了政府环境规制的增强,因此,以法制规章数量度量环境规制。

③ 本文处理方式借鉴了韩永辉等^[58]对产业政策处理方式,区别在于,本文对所有样本省级和市级环境规制政策不作删除。

4 结果与分析

运用 Stata16.0 软件对模型进行了估计,不同规模奶牛养殖场粪污资源化利用技术采纳决策的影响因素及其对养殖场每月单头奶牛净收益和环境效率影响的估计结果见表3、表4。卡方检验和 *F* 检验的结果表明模型有效,同时模型的拟合优度在 0.14 以上,模型整体估计结果是可信的。

4.1 粪污资源化利用技术采纳决策影响因素分析

从表3可以看出,对于适度规模养殖场,负责人年龄对粪污资源化利用技术采纳决策的影响显著为负,表明在其他条件不变的情况下,负责人越年轻,采纳粪污资源化利用技术的可能性越大;而对于大规模牧场来说不显著,H1 得到验证。可能原因是,大规模牧场经营管理制度较为完善,且负责人

更多是代理人身份,对生产经营决策的影响较小。负责人文化程度对技术采纳决策不显著,表明 H2 不成立。可能原因是,虽然部分养殖场负责人文化程度不高,但随着养殖年限的增加,养殖经验越来越丰富,养殖技术认知水平越来越高,技术采纳决策受文化程度的影响减弱。

适度规模养殖场技术人员占比与粪污资源化利用技术采纳决策在 5%显著性水平上呈正相关,H3 得到验证。表明技术人员越多,对先进技术的认知程度越高,学习成本越小,从而采用粪污资源化利用技术的机会越大。不管是适度规模还是大规模养殖场,奶牛养殖密度都与粪污资源化利用技术采纳呈显著负相关,H4 得到验证。表明养殖密度越大,粪污排放压力越大,越有可能采用粪污资源化

表3 粪污资源化利用技术采纳决策影响因素估计结果

Table 3 Estimated results of factors influencing the adoption decision of manure resource utilization technologies

解释变量	粪污资源化利用技术采纳行为					
	总样本		适度规模		大规模	
	系数	边际效应	系数	边际效应	系数	边际效应
内部驱动因素						
养殖场负责人特征						
年龄	-0.004(0.011)	-0.001	-0.007*(0.014)	0.002	-0.015(0.024)	0.001
文化程度	-0.112(0.242)	-0.031	-0.297(0.307)	-0.084	0.561(0.588)	0.126
养殖场经营特征						
技术人员占比	0.348(0.910)	0.099	0.163*(1.373)	0.046	-1.054(1.351)	-0.238
养殖密度	-1.812**(0.771)	-0.514	-1.263**(0.945)	-0.356	-3.761**(2.740)	-0.850
养殖场性质	-0.001*(0.210)	-0.059	-0.036**(0.268)	-0.010	0.141(0.383)	0.032
挤奶机类型虚拟变量 (转盘式=1)						
并列式	-0.498*(0.265)	-0.498	1.284**(0.577)	-0.262	-0.079(0.407)	-0.017
鱼骨式及其他	-0.518*(0.311)	-0.618	1.217(0.563)	-0.241	-0.673(0.991)	-0.186
外部驱动因素						
外部环境特征						
环境规制	0.007*(0.05)	0.007	0.011**(0.007)	0.002	0.006*** (0.014)	0.001
产区虚拟变量 (南方产区=1)						
华北产区	0.220(0.315)	0.220	0.554(0.391)	0.185	-0.464(0.820)	-0.083
东北内蒙古产区	0.475(0.352)	0.475	1.045**(0.505)	0.309	-0.847(0.866)	-0.185
西北产区	0.227(0.379)	0.227	0.045(0.519)	0.016	-0.273(0.885)	-0.044
常数项	1.444*** (0.871)		1.880** (1.152)		1.645*** (2.047)	
LR <i>chi</i> ²	19.694		24.750		10.080	
Pseudo <i>R</i> ²	0.497		0.148		0.259	

注: *、**和***分别表示在 10%、5%和 1%的水平上显著,括号内为模型结果稳健标准差。下同。

表4 不同规模奶牛养殖场净收益和环境效率的影响因素估计结果

Table 4 Estimated results of factors influencing the net returns and environmental efficiency of dairy farms of different sizes

指标	净收益(1)			环境效率(2)		
	总样本	适度规模	大规模	总样本	适度规模	大规模
养殖场负责人特征						
年龄	-0.008(0.007)	-0.007(0.008)	-0.010(0.013)	-0.007(0.007)	0.0001(0.001)	-0.001(0.001)
文化程度	-0.079(0.157)	-0.192*(0.181)	0.045*(0.347)	-0.025(0.017)	-0.040*(0.020)	-0.008(0.032)
养殖场经营特征						
技术人员占比	-0.727(0.559)	-1.300*(0.850)	-0.038(0.739)	0.102*(0.063)	0.085***(0.100)	0.109(0.068)
养殖密度	0.294*(0.436)	0.085*(0.502)	0.380*(1.485)	-0.085*(0.048)	-0.059***(0.060)	-0.155*(0.135)
养殖场性质	-0.033***(0.133)	-0.071*(0.168)	0.075(0.209)	-0.015*(0.014)	-0.008*(0.019)	0.026(0.019)
挤奶机类型虚拟变量						
(转盘式=1)						
并列式	-0.050(0.158)	-0.158(0.017)	0.361*(0.211)	-0.051****(0.017)	-0.011***(0.030)	-0.042*(0.019)
鱼骨式及其他	0.177(0.176)	0.230 (0.248)	-0.611(0.545)	-0.066****(0.019)	-0.017***(0.029)	-0.085*(0.050)
外部环境特征						
环境规制	0.004*(0.003)	0.002*(0.004)	0.020****(0.007)	0.001*(0.003)	0.001*(0.001)	0.0003*(0.001)
产区虚拟变量						
(南方产区=1)						
华北产区	-0.419*(0.217)	-0.223(0.022)	-0.458(0.342)	-0.027(0.022)	-0.025(0.030)	-0.027(0.031)
东北内蒙古产区	-0.413*(0.228)	-0.015***(0.295)	-0.854***(0.351)	-0.048***(0.024)	-0.043(0.032)	-0.059*(0.032)
西北产区	-0.483***(0.245)	0.078(0.359)	-0.840***(0.346)	0.019(0.026)	0.019(0.040)	0.001(0.033)
常数项	6.958****(0.558)	7.154****(0.715)	6.180****(1.018)	0.944****(0.061)	0.903****(0.081)	0.926****(0.094)
F	1.380	1.030	2.570			
R ²	0.673	0.272	0.322			
LR χ^2				37.264	14.072	18.873

注:(1)为OLS模型估计结果,(2)为Tobit模型估计结果。

利用技术。而且从边际效应来看,养殖密度每增加1%,大规模养殖场采用粪污资源化利用技术可能性增加值分别比总样本和适度规模养殖场高0.42%和0.57%,表明大规模养殖场粪污治理压力更大。养殖场性质与养殖场采纳粪污资源化利用技术行为相关,相比非代理养殖场,代理人负责的养殖场采纳粪污资源化利用技术的积极性更高,H5得到验证。主要原因是在环保压力下,代理人负责的养殖场对粪污资源化利用设备的资金投入往往较高,通过采纳粪污资源化利用技术进行达标排放,使得牧场正常生产,从而保证个人职业生涯的稳定,且代理人负责养殖场管理更加系统科学;而对于法人直接负责的养殖场,由于粪污资源化利用技术具有较强外部性,且投入成本高,因此,常有宁愿受到环保惩罚,也不愿意采纳该技术的情况。大规模养殖性质与技术采纳不相关,可能原因是相比适度规模养

殖,大规模养殖粪污排放量更大,大多数牧场都会选择粪污资源化利用技术,无关养殖场性质。从不同挤奶机类型来看,使用转盘式挤奶机的规模化养殖场比使用并列式挤奶机的规模化养殖场更倾向于采纳粪污资源化利用技术,且显著相关。而对于适度规模来说,养殖场使用并列式挤奶机的收益高于使用转盘式挤奶机^[34],因此使用并列式挤奶机的养殖场采纳粪污资源化利用技术的积极性更强,H6得到验证。

适度规模和大规模奶牛养殖场粪污资源化利用采纳行为都受到环境规制的影响,呈显著正相关关系,H7得到验证。表明一定条件下,相关约束政策、激励政策等文件出台越多,养殖场采纳粪污资源化利用技术的可能性越高,尤其是大规模养殖场,其粪污资源化利用行为主要受环保监管、设施设备补贴等环境规制影响,养殖场规模越大,管理

2023年8月

越规范,违反相关环保规定而关停的代价越大。对于适度规模养殖场,不同产区资源禀赋、气候环境存在明显差异,相对于南方产区,东北内蒙古产区的适度规模养殖场采纳粪污资源化利用技术意愿更大。南方产区土地分散,土地资源较为紧缺,粪污资源化利用成本高,且受空气潮湿、雨水多影响,粪污处理方式受限,主要以堆肥和沼气池处理为主,生产卧床垫料难度大,污水处理主要以达标排放为主;相比之下,东北内蒙古产区粪污资源化利用方式更为多样,使用意愿更强,H8得到验证。对于大规模牧场,产区变化对粪污资源化利用技术采纳影响不大,主要是因为,养殖场规模越大,粪污产生量越大,选择粪污资源化利用技术受补贴、环保处罚等环境规制政策影响较大。

4.2 粪污资源化利用经济效应影响因素及异质性分析

不同规模养殖场的负责人特征对奶牛养殖净收益有一定影响。大规模养殖场负责人文化程度与净收益关系显著为正,可能是由于,大规模养殖场管理更规范,员工及负责人文化程度均较高,相关技术引进后,使用成本更低,规章制度出台后,执行效果更好,因而养殖效益更高。而适度规模养殖场负责人文化程度与净收益呈显著负相关,可能是由于,虽然负责人文化程度高,能够引进先进技术设备、制定科学制度,但适度规模养殖场员工文化程度整体较低,设备和制度学习成本较高,因此,可能出现负责人文化程度越高,养殖收益和养殖效率越低的现象。

养殖场经营特征中技术人员占比越高,适度规模养殖场净收益越少,环境效率越高,分别在10%和5%水平上显著相关,这可能是由于,养殖场为了满足环保要求,引进技术人员越多,提升环境效率的同时会增加养殖场人工支出,降低了净收益。养殖密度与养殖场净收益和环境效率均呈显著相关,养殖密度越大,即土地支出成本越少,收益越高,但环境效率越低,因此适度规模养殖场和大规模养殖场应控制合理养殖密度。总样本和适度规模养殖场的性质与净收益和环境效率均显著负相关,表明

代理养殖场净收益和环境效率明显高于非代理养殖场,一般来讲,代理养殖场管理更加规范、科学,响应环保政策的积极性更高,因此净收益和环境效率也较高。同时,代理人负责的养殖场大多为规模较大养殖场,规模效应更好,且更愿意采纳粪污资源化利用技术,因而环境效率更高。挤奶机类型选择也对养殖场净收益和环境效率具有显著影响。由于转盘式挤奶机投资成本较高,更适合具有高投入高产出特点的大规模养殖场,有利于提高其生产效率,减少治污投入压力,实现“创新补偿”高于“遵循成本”的可能性更大,从而有利于提高养殖环境效率。

养殖场所在地区环境规制能显著提高适度规模和大规模养殖场的净收益和环境效率水平。环境规制促进养殖场采用粪污资源化利用技术,减少了粪污等非期望产出,将被动治污支出逐渐转变为主动“粪污创收”,在“创新补偿”作用下促进养殖场可持续发展。大规模养殖场所在产区与其净收益显著相关,对环境效率影响不大。相较于南方产区,东北内蒙产区和西北产区的大规模牧场净收益水平更低,主要是因为南方地区原料奶需求更大,价格较高,在单产较为接近的情况下^④,其净收益水平更高(表4)。

4.3 平均处理效应分析

结合SBM-Undesirable模型的估计结果,分别用近邻匹配、半径匹配、核匹配3种方法估计了适度规模和大规模养殖场粪污资源化利用技术采纳决策对养殖场净收益和环境效率的平均处理效应(表5)。3种方法得到的ATT值较为相近,且除了大规模养殖场净收益外,其他指标的ATT值都具有显著性,意味着解决了变量自选择导致的结果偏误后,粪污资源化利用技术采纳对规模化和适度规模养殖场净收益和环境效率,即经济效应具有显著促进作用,对大规模养殖场环境效率具有积极影响,匹配结果较为稳健。对于养殖场总样本,采用粪污资源化利用技术对将使净收益和环境效率分别提高约20%和6%;对于适度规模养殖场,采用粪污资源化利用技术对将使净收益和环境效率分别提高约

④ 根据农业农村部公布数据,2021年南方产区平均年生鲜乳产量为3.3 t/年,平均生鲜乳价格为4.2元/kg;其他产区平均为3.4 t/年,平均生鲜乳价格为3.8元/kg;即南方产区公斤奶收益高于其他产区。

表5 粪污资源化利用技术采纳对养殖场净收益和环境效率的平均处理效应

Table 5 Average treatment effects of the adoption of manure resource utilization technologies on the net benefit and environmental efficiency of dairy farms

匹配方法		结果变量	处理组	对照组	ATT值	标准误	t-test
近邻匹配	净收益	总样本	6.11	5.84	0.28*	0.21	1.83
		适度规模	6.11	5.91	0.19*	0.25	1.95
		大规模	6.26	6.06	0.19	0.27	0.71
	环境效率	总样本	0.80	0.73	0.07**	0.03	2.26
		适度规模	0.77	0.70	0.06*	0.04	1.70
		大规模	0.85	0.81	0.04*	0.04	1.88
半径匹配 (Caliper=0.05)	净收益	总样本	6.10	5.93	0.17**	0.18	1.96
		适度规模	6.14	5.85	0.28*	0.25	1.91
		大规模	6.16	5.99	0.17	0.27	0.64
	环境效率	总样本	0.81	0.75	0.06**	0.02	2.48
		适度规模	0.78	0.71	0.07**	0.03	2.13
		大规模	0.85	0.81	0.04*	0.03	1.82
核匹配	净收益	总样本	6.10	5.94	0.14**	0.18	1.97
		适度规模	6.25	5.96	0.29*	0.23	1.98
		大规模	6.25	6.12	0.13	0.24	0.55
	环境效率	总样本	0.80	0.73	0.06*	0.02	1.86
		适度规模	0.78	0.73	0.05*	0.03	1.97
		大规模	0.85	0.82	0.04*	0.03	1.89
均值	净收益	总样本	6.10	5.90			
		适度规模	6.17	5.91			
		大规模	6.22	6.06			
	环境效率	整体	0.80	0.74			
		适度规模	0.78	0.71			
		大规模	0.85	0.81			

26%和7%;对于大规模养殖场,采用粪污资源化利用技术对将使环境效率提高约4%,而对其净收益不具有显著促进作用。

从适度规模和大规模养殖场对比来看,采用粪污资源化利用技术能显著提升适度规模养殖场净收益和环境效率,具有经济性和可持续性;而大规模养殖场粪污资源化利用对其净收益影响不大,且对环境效率的影响程度(4%)也小于适度规模养殖场(7%)。主要原因可能是,大规模养殖场粪污产生量较大,必然需要较高的治污投入,影响生产投入,同时,研究认为养殖规模每扩大1%,粪污处理效率下降0.09%^[59]。因此,随着规模越大,采用粪污资源户利用技术投入的成本也越高,需要消纳粪污的土地面积也越大,受周边可用土地限制,规模扩大将加剧粪污处理面临的现实约束,放大粪污污染的

“外部性”,导致粪污处理的不经济。总的来说,适度规模养殖场采用粪污资源化利用技术的经济效应更好,既具有经济性,又具有可持续性。

4.4 双重检验

4.4.1 平衡性检验

平衡性检验结果表明,匹配前文化程度、技术人员占比、养殖密度、挤奶机类型、环境规制和产区存在显著差异,匹配后除了年龄以外,其他变量的标准偏误都在10%以内,且不存在显著性差异(表6)。表明匹配方法较好地平衡了数据。

4.4.2 核密度函数图

为了保证匹配质量,进一步检验处理组和控制组的共同支撑区域,图3是不同规模倾向得分匹配后的核密度函数图,可以看出,匹配后规模化、适度规模和大规模的倾向得分值大部分重叠,重叠区域

表6 平衡性检验结果

Table 6 Balance test results

变量	匹配状态	均值		标准偏差/%	误差消减	t-test	
		处理组	控制组			t	p> t
年龄	匹配前	47.01	46.75	2.60	-469.80	0.16	0.88
	匹配后	47.13	48.62	-14.70		-1.27	0.21
文化程度	匹配前	1.62	1.70	-17.20	86.00	-0.97	0.03
	匹配后	1.61	1.60	2.40		0.22	0.83
技术人员占比	匹配前	0.20	0.19	17.80	73.50	0.96	0.07
	匹配后	0.20	0.20	4.70		0.45	0.34
养殖密度	匹配前	0.16	0.28	-58.00	83.00	-4.77	0.00
	匹配后	0.16	0.14	9.80		2.54	0.11
养殖场性质	匹配前	0.56	0.46	1.23	56.44	0.01	0.02
	匹配后	0.54	0.55	0.11		1.07	0.00
挤奶机类型	匹配前	2.01	2.33	-42.80	94.60	-2.41	0.83
	匹配后	2.03	2.05	-2.30		-0.22	0.02
环境规制	匹配前	35.81	30.33	32.30	27.60	1.75	0.08
	匹配后	34.99	31.02	3.40		1.92	0.56
产区	匹配前	2.51	2.70	-19.30	-62.60	-1.17	0.00
	匹配后	2.53	2.22	1.40		2.92	0.24

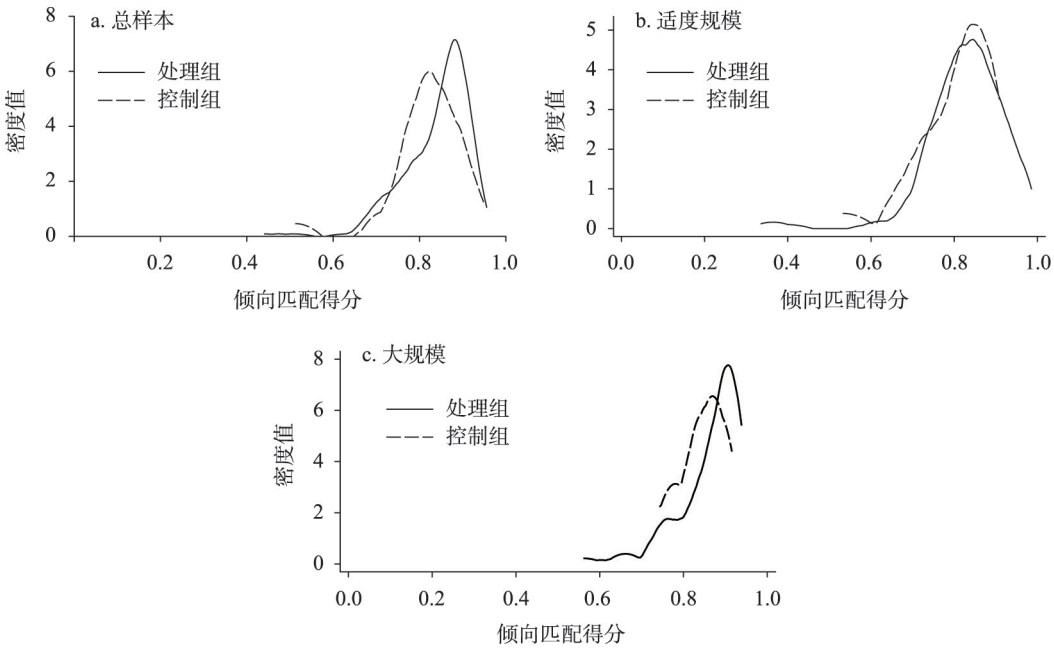


图3 不同规模样本匹配后核密度函数图

Figuer 3 Plot of kernel density function at different scales

为共同支撑区域,处理组和控制组的核密度函数图较为接近,大多数观测值在共同取值范围内,匹配样本损失较少,估计结果较为可信。

5 结论与政策启示

5.1 结论

本文基于全国218个规模化奶牛养殖场调研数

据,实证分析了适度规模和大规模养殖场采纳粪污资源化利用技术的影响因素,并对采纳该技术的养殖场的净收益和环境效率进行了评价,研究结论如下:

(1)技术采纳决策的影响因素分析结果表明,养殖密度、养殖场性质和环境规制是养殖场采纳粪污资源化利用技术的主要影响因素。降低养殖密度、加强环境监管、提高政策激励水平能显著提高养殖场粪污资源化利用技术采纳积极性,但不同规模养殖场存在明显异质性。

(2)经济效应测算结果表明,大规模养殖场环境效率和净收益水平明显高于适度规模养殖场和整体规模牧场。控制其他因素不变时,采用粪污资源化利用技术将使适度规模养殖场净收益和环境效率分别增加约26%和6%,使大规模养殖场环境效率增加约4%。经济效应影响因素分析结果表明,文化程度、养殖密度以及挤奶机类型选择是影响两类养殖场净收益的主要因素,但不同规模养殖场存在明显异质性。

5.2 政策启示

应针对不同规模养殖采纳不同措施,以促进粪污资源化利用技术应用:

(1)在适度规模奶牛养殖场应进一步加强粪污资源化利用技术推广,加强养殖技术人员的培养,提升养殖技术水平,促进粪污科学处理和利用。

(2)对于大规模养殖场,尽管粪污资源化利用技术采纳对其净收益影响不大,但更应该关注到粪污资源化利用带来的非经济价值,不断提升养殖场土地资源利用率,减少因消纳粪污带来的成本压力和环境压力,提高粪污处理效率。

当然,不管是适度规模还是大规模养殖场,粪污资源化处理都具有较强的“外部性”,要提高牧场管理科学水平,加强政府监督,并给予政策、资金和技术上的支持,降低行为“外部性”,提高养殖主体粪污资源化利用的积极性,实现绿色可持续发展。

参考文献(References):

[1] 杨永军,刘霞,张佐忠,等. 规模化奶牛场牛粪资源化利用的效益分析[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(2): 72-74. [Yang Y J, Liu X, Zhang Z Z, et al. Benefit analysis of manure utilization in

large-scale dairy farms[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2019, 37(2): 72-74.]

- [2] 光少宇,秦涛. 规模化猪场粪污处理存在问题及措施[J]. 畜牧兽医科学(电子版), 2020, (11): 32-33. [Guang S Y, Qin T. Problems and measures of manure treatment in large-scale pig farm[J]. Graziery Veterinary Sciences (Electronic Version), 2020, (11): 32-33.]
- [3] 潘丹,孔凡斌. 养殖户环境友好型畜禽粪便处理方式选择行为分析: 以生猪养殖为例[J]. 中国农村经济, 2015, (9): 17-29. [Pan D, Kong F B. Analysis of farmers' behavior in choosing environmentally friendly livestock manure treatment methods: A case study of pig farming[J]. China Rural Economy, 2015, (9): 17-29.]
- [4] Norber S, Gunnar B, Uwe L. Assessing farmers' willingness to accept "greening": Insights from a discrete choice experiment in Germany[J]. Journal of Agricultural Economics, 2014, 65(1): 26-48.
- [5] 杨福霞,郑欣. 价值感知视角下生态补偿方式对农户绿色生产行为的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(4): 164-171. [Yang F X, Zheng X. Impact of ecological compensation methods on farmers' green production behavior from the perspective of value perception[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(4): 164-171.]
- [6] 舒畅,乔娟,耿宁. 畜禽养殖废弃物资源化的纵向关系选择研究: 基于北京市养殖户视角[J]. 资源科学, 2017, 39(7): 1338-1348. [Shu C, Qiao J, Geng N. The vertical relationship selection of livestock and poultry breeding waste recycling based on the perspective of farmers in Beijing[J]. Resources Science, 2017, 39(7): 1338-1348.]
- [7] 赵俊伟,姜昊,陈永福,等. 生猪规模养殖粪污治理行为影响因素分析: 基于意愿转化行为视角[J]. 自然资源学报, 2019, 34(8): 1708-1719. [Zhao J W, Jiang H, Chen Y F, et al. Analysis of influencing factors of manure pollution treatment in scale pig breeding: Based on the perspective of willingness-to-behavior transformation[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(8): 1708-1719.]
- [8] 张化楠,葛颜祥. 内在感知、外部环境对农户绿色施肥技术采纳行为的影响研究[J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(2): 166-173. [Zhang H N, Ge Y X. Research on the influence of internal perception and external environment on green fertilization technology adoption behavior of farmers[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2023, 39(2): 166-173.]
- [9] 饶静,张燕琴. 从规模到类型: 生猪养殖污染治理和资源化利用研究: 以河北LP县为例[J]. 农业经济问题, 2018, (4): 121-130. [Rao J, Zhang Y Q. An analysis of pollution control and utilization of manure of pig raising farms of different scales and types in China: Take LP county of Hebei Province as an example[J]. Issues in Agricultural Economy, 2018, (4): 121-130.]
- [10] 莫海霞,仇焕广,王金霞,等. 我国畜禽排泄物处理方式及其影

2023年8月

- 响因素[J]. 农业资源与环境学报, 2011, 28(6): 59-64. [Mo H X, Qiu H G, Wang J X, et al. The study of livestock and poultry excreta disposal methods and influencing factors in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2011, 28(6): 59-64.]
- [11] 朱润, 何可, 张俊飏. 环境规制如何影响规模养猪户的生猪粪便资源化利用决策? 基于规模养猪户感知视角[J]. 中国农村观察, 2021, (6): 85-107. [Zhu R, He K, Zhang J B. How do environmental regulations affects farmers' decision-making of utilizing livestock and poultry manure as resources? From the perspective of perceptions of large-scale pig farmers[J]. China Rural Survey, 2021, (6): 85-107.]
- [12] 潘丹. 基于农户偏好的牲畜粪便污染治理政策选择: 以生猪养殖为例[J]. 中国农村观察, 2016, (2): 68-83. [Pan D. Farmers' preferences for manure pollution control policies: The case of pig breeding[J]. China Rural Survey, 2016, (2): 68-83.]
- [13] 赵俊伟, 陈永福, 尹昌斌. 生猪养殖粪污处理社会化服务的支付意愿与支付水平分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2019, (4): 90-97. [Zhao J W, Chen Y F, Yin C B. Analysis of willingness to pay and payment level of socialized services of manure treatment in pig breeding[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Science Edition), 2019, (4): 90-97.]
- [14] 王建华, 陶君颖, 陈璐. 养殖户畜禽废弃物资源化利用受偿意愿及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(9): 144-155. [Wang J H, Tao J Y, Chen L. Research on farmers' willingness to be paid for livestock waste resource treatment and the factors influencing it[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(9): 144-155.]
- [15] 宣梦, 许振成, 吴根义, 等. 我国规模化畜禽养殖粪污资源化利用分析[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(2): 126-132. [Xuan M, Xu Z C, Wu G Y, et al. Analysis of resource utilization of large-scale livestock and poultry farming manure in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2018, 35(2): 126-132.]
- [16] 李源源, 许桢子, 陈蕾. 我国挤奶设备的应用现状与发展分析[J]. 农业科技与装备, 2013, DOI: 10.16313/j.cnki.nykjyzb.2013.09.037. [Li Y Y, Xu Z Z, Chen L. Analysis of the application status and development of milking equipment in China[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment, 2013, DOI: 10.16313/j.cnki.nykjyzb.2013.09.037.]
- [17] 张晨, 李永涛, 李强, 等. 中国畜禽粪污资源化种养循环现状与效益分析[J]. 化工管理, 2022, 16: 99-103. [Zhang C, Li Y T, Li Q, et al. Analysis of the current situation and benefits of resource-based livestock manure breeding cycle in China[J]. Chemical Management, 2022, 16: 99-103.]
- [18] 陈菲菲, 张崇尚, 王艺诺, 等. 规模化生猪养殖粪便处理与成本收益分析[J]. 中国环境科学, 2017, 37(9): 3455-3463. [Chen F F, Zhang C S, Wang Y N, et al. Analysis of manure treatment and cost-benefit of large-scale pig farming[J]. China Environmental Science, 2017, 37(9): 3455-3463.]
- [19] 刘晨阳, 马广旭, 刘春, 等. 畜禽粪便资源化处理及成本收益分析: 以6省(区)251户肉鸡养殖场户为例[J]. 世界农业, 2021, (2): 45-53. [Liu C Y, Ma G X, Liu C, et al. Resource treatment and cost-benefit analysis of livestock manure: In case of 251 broiler farming households in 6 provinces[J]. World Agriculture, 2021, (2): 45-53.]
- [20] 董红敏, 左玲玲, 魏莎, 等. 建立畜禽废弃物养分管理制度 促进种养结合绿色发展[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(2): 180-189. [Dong H M, Zuo L L, Wei S, et al. Establishing a nutrient management system for livestock and poultry waste to promote the green development of plantation integration[J]. Proceedings of the Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(2): 180-189.]
- [21] 刘春, 刘晨阳, 王济民, 等. 我国畜禽粪便资源化利用现状与对策建议[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(2): 35-43. [Liu C, Liu C Y, Wang J M, et al. The current situation of resource utilization of livestock and poultry manure in China and the countermeasures and suggestions[J]. China Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(2): 35-43.]
- [22] 陈俊红, 刘合光, 秦富, 等. 蛋鸡粪循环利用模式评价与政策建议[J]. 农业环境与发展, 2011, 28(2): 30-35, 39. [Chen J H, Liu H G, Qin F, et al. Evaluation of egg-laying chicken manure recycling model and policy recommendations[J]. Agricultural Environment and Development, 2011, 28(2): 30-35, 39]
- [23] 林志贤. 蛋鸡粪产业链各环节成本与收益分析[J]. 中国农业信息, 2014, (15): 86-96. [Lin Z X. Analysis of cost and revenue of each link in the egg manure industry chain[J]. China Agricultural Informatics, 2014, (15): 86-96.]
- [24] Schenider U A, Mccarl B A. Potential of U.S. Agriculture and Forestry to Mitigate Greenhouse Gas Emissions: An Agricultural Sector Analysis[R/OL]. (2002-05)[2023-06-30]. <https://dr.lib.iastate.edu/server/api/core/bitstreams/3df5abc0-cdde-4ac8-881c-8183b8ae0ab8/content>.
- [25] Haase M, R. Sch C, Ulrici O. Feasibility study on the processing of surplus livestock manure into an organic fertilizer by thermal concentration: The case study of Les Plennes in Wallonia[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 161: 896-907.
- [26] 刘蒙罢, 张安录, 文高辉. 长江中下游粮食主产区耕地利用生态效率区域差异与空间收敛[J]. 自然资源学报, 2022, 37(2): 477-493. [Liu M B, Zhang A L, Wen G H. Regional differences and spatial convergence in ecological efficiency of cultivated land use in the main grain producing areas in the Yangtze River[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(2): 477-493.]
- [27] Schaltegger S, Ökologische R. Ansatzpunkte zur ausgestaltung von ökologieorientierten managementinstrumenten[J]. Die Unternehmung, 1990, 44(4): 273-290.
- [28] 马欣雨, 穆月英. 碳视角下的粮食生产环境技术效率评价: 基于超效率SBM-Undesirable模型[J]. 中国农业资源与区划, 2023, (6): 1-11. [Ma X Y, Mu Y Y. Evaluation of the environmental and

- technical efficiency of food production from a carbon perspective: Based on the super-efficient SBM-Undesirable model[J]. *China Agricultural Resources and Zoning*, 2023, (6): 1-11.]
- [29] 夏衣热·肖开提, 张红丽. 家庭禀赋、技术价值认知对养殖户畜禽粪污资源化利用技术采纳行为的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2023, (10): 12-18. [Xiaokaiti X Y R, Zhang H L. The influence of household endowment and technology value perception on farmers' adoption behavior of livestock manure resource utilization technology[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2023, (10): 12-18.]
- [30] 王明利, 李鹏程, 马晓萍. 规模化选择对畜牧业高质量发展的影响及其路径优化: 基于生猪养殖规模化视角[J]. *中国农村经济*, 2022, (3): 12-35. [Wang M L, Li P C, Ma X P. The impact of scale selection on the high-quality development of animal husbandry and its path optimization: Based on the perspective of pig farming scale[J]. *China Rural Economy*, 2022, (3): 12-35.]
- [31] 张士云, 程晓娜, 黄琦, 等. 中国规模生猪养殖的环境效率分析: 基于SE-SBM模型[J]. *云南农业大学学报(社会科学)*, 2023, 17(3): 62-70. [Zhang S Y, Cheng X N, Huang Q, et al. Environmental efficiency analysis of large-scale pig farming in China: Based on SE-SBM model[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Social Sciences)*, 2023, 17(3): 62-70.]
- [32] 埃弗雷特·M·罗杰斯, 著. 创新的扩散[M]. 辛欣, 译. 北京: 中央编译出版社, 2002. [Rogers E M. *The Diffusion of Innovation*[M]. Xin X, Trans. Beijing: Central Compilation Press, 2002.]
- [33] 晋荣荣, 李世平, 南灵. 资本禀赋、感知价值、政府补贴对农户清洁取暖采纳行为的影响[J]. *资源科学*, 2022, 44(4): 809-819. [Jin R R, Li S P, Nan L. Effects of capital endowment, perceived value, and government subsidies on farming households' adoption behavior of clean heating[J]. *Resources Science*, 2022, 44(4): 809-819.]
- [34] 朱月季, 杨倩, 王芳. 社会网络对蕉农采纳资源节约型技术的影响机制: 以水肥一体化技术为例[J]. *资源科学*, 2021, 43(6): 1099-1114. [Zhu Y J, Yang Q, Wang F. Mechanism of influence of social networks on banana farmers' adoption of resource conservation technologies: A case study of the drip fertigation system[J]. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1099-1114.]
- [35] 郭清卉, 李世平, 南灵. 环境素养视角下的农户亲环境行为[J]. *资源科学*, 2020, 42(5): 856-869. [Guo Q H, Li S P, Nan L. Farming households' pro-environmental behaviors from the perspective of environmental literacy[J]. *Resources Science*, 2020, 42(5): 856-869.]
- [36] Burton J. The influence of farmer demographic characteristics on environmental behavior: A review[J]. *Journal of Environmental Management*, 2014, 135: 19-26.
- [37] 孔祥智, 方松海, 庞晓鹏, 等. 西部地区农户禀赋对农业技术采纳的影响分析[J]. *经济研究*, 2004, (12): 85-95. [Kong X Z, Fang S H, Pang X P, et al. Analysis of the effect of household endowments on the agricultural technology adoption decision in west China[J]. *Economic Research Journal*, 2004, (12): 85-95.]
- [38] 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, 29(5): 127-137. [Wang J H, Tao J Y, Chen L. Resource utilization method and influencing factors of farmers' behaviors towards livestock and poultry waste[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(5): 127-137.]
- [39] 畅华仪, 何可, 张俊飏. 治理情景感知与养殖户环境治理参与意愿研究: 一个经验依赖的视角[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2021, (2): 49-59. [Chang H Y, He K, Zhang J B. Farmers' willingness to participate in environmental management: From the perspective of experience-dependent decision[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Science Edition)*, 2021, (2): 49-59.]
- [40] 郭贯成, 崔久富, 李学增. 全民所有自然资源资产“三权分置”产权体系研究: 基于委托代理理论的视角[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(10): 2684-2693. [Guo G C, Cui J F, Li X Z. Design of property rights system of “three separate rights” of natural resource assets of the whole people: From the perspective of principal-agent theory[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(10): 2684-2693.]
- [41] 任秋鸿, 彭华, 董晓霞, 等. 奶农采用精准奶业技术行为的影响因素分析[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(11): 231-238. [Ren Q H, Peng H, Dong X X, et al. Analysis of factors influencing dairy farmers' behavior in adopting precision dairy technology[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(11): 231-238.]
- [42] 于焱, 李鑫. 挤奶设备终端发展概况[J]. *中国奶牛*, 2022, (6): 38-43. [Yu Y, Li X. Overview of milking equipment terminal development[J]. *China Dairy Cattle*, 2022, (6): 38-43.]
- [43] 于婷, 于法稳. 环境规制政策情境下畜禽养殖废弃物资源化利用认知对养殖户参与意愿的影响分析[J]. *中国农村经济*, 2019, (8): 91-108. [Yu T, Yu F W. Analysis of the impact of the perception of resource utilization of livestock and poultry farm wastes on farmers' willingness to participate in the context of environmental regulation policies[J]. *China Rural Economy*, 2019, (8): 91-108.]
- [44] Muhammad A, Amjath T S, Sreejitha A, et al. Climatic variability and thermal stress in Pakistan's rice and wheat systems: A stochastic frontier and quantile regression analysis of economic efficiency[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 89: 496-506.
- [45] 李姣, 周翠烟, 张灿明, 等. 基于生态足迹的湖南省洞庭湖生态经济区全要素生态效率研究[J]. *经济地理*, 2019, 39(2): 199-206. [Li J, Zhou C Y, Zhang C M, et al. Total-factor ecological efficiency of Dongting Lake Ecological Economic Zone in Hunan Province on the basis of ecological footprint[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(2): 199-206.]

2023年8月

- [46] 王一超, 赵桂慎, 彭澎, 等. 基于能值与生命周期评价耦合模型的农业系统生态效率评估: 以北京市郊区为例[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(6): 1311–1320. [Wang Y C, Zhao G S, Peng P, et al. Evaluation of agrosystem eco-efficiency using a coupling model of energy analysis and life cycle assessment: A case study in the suburbs of Beijing City, China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2018, 37(6): 1311–1320.]
- [47] Rashidi K, Shabani A, Saen R F. Using data envelopment analysis for estimating energy saving and undesirable output abatement: A case study in the Organization for Economic Co-operation and Development(OECD) countries[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 105: 241–252.
- [48] Zheng J, Liu X, Bigsten A. Ownership structure and determinants of technical efficiency: An application of data envelopment analysis to Chinese enterprises (1986–1990)[J]. Journal of Comparative Economics, 1998, 26(3): 465–484.
- [49] 关士琪, 赵孟琳, 唐增, 等. 草地流转的收入效应: 来自青藏高原牧区的证据[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(3): 1–8. [Guan S Q, Zhao M L, Tang Z, et al. Effect of grassland transfer on herder's income: Evidence from pastoral areas on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2023, 37(3): 1–8.]
- [50] Gilligan D O, Hoddinott J. Using community targeting to provide drought relief: Evidence from Ethiopia[J]. International Food Policy Research Institute, 2006, 34(8): 117–143.
- [51] 魏艳骄, 朱晶. 乳制品进口对中国不同规模奶牛养殖效率的影响[J]. 资源科学, 2019, 41(8): 1475–1487. [Wei Y J, Zhu J. Effects of dairy imports on the efficiency of cow farming operations of different scales in China[J]. Resources Science, 2019, 41(8): 1475–1487.]
- [52] 马梅, 杨欣悦. 牧户在极端气候下的适应性行为对畜牧业生产效率影响的实证研究: 基于内蒙古中西部牧户的调查数据[J]. 草地学报, 2022, 30(12): 3381–3391. [Ma M, Yang X Y. Empirical study on the impact of herdsmen's adaptive behavior under extreme climate on animal husbandry production efficiency: Based on the survey data of herdsmen in midwestern of Inner Mongolia[J]. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(12): 3381–3391.]
- [53] 李翠霞, 曹亚楠. 中国奶牛养殖环境效率测算分析[J]. 农业经济问题, 2017, (3): 80–88. [Li C X, Cao Y N. Analysis of environmental efficiency measurement of dairy farming in China[J]. Agricultural Economic Issues, 2017, (3): 80–88.]
- [54] 闫诗璇, 孙继雅, 张园园. “南猪北养”的效率证据: 基于Malmquist指数和超效率SBM模型的分析[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(5): 335–340. [Yan S X, Sun J Y, Zhang Y Y. Evidence on the efficiency of “South-North pig farming”: An analysis based on Malmquist index and super-efficient SBM model[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2023, 59(5): 335–340.]
- [55] 李文欢. 社会资本对生猪养殖场户粪污资源化利用技术采纳的影响研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020. [Li W H. Study on the Influence of Social Capital on the Adoption of Pig Manure Resource Utilization Technology from Pig Raiser[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2020.]
- [56] 陈秀萍, 梁启东. 东北三省生猪养殖业发展影响因素及政策选择[J]. 经济纵横, 2020, (9): 120–128. [Chen X P, Liang Q D. The analysis of influencing factors and the choice of policy direction on development of pig breeding industry in three provinces of Northeast China[J]. Economic Review Journal, 2020, (9): 120–128.]
- [57] 刘文. 规模化奶牛场常用挤奶机的分类[R/OL]. (2022-06-04) [2022-08-29]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzAxNjM1NDk0Ng==&mid=2653019452&idx=1&sn=cec8772f220edbf37f25fe337da0c76a&chksm=802366d1b754efc704801ebde97f4483ce22d1c9eabd17c1dd7c2c4c156d1c1970de2ed944e0&scene=27. [Liu W. Classification of Milking Machines Commonly Used in Large-scale Dairy Farms[R/OL]. (2022-06-04)[2022-08-29]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzAxNjM1NDk0Ng==&mid=2653019452&idx=1&sn=cec8772f220edbf37f25fe337da0c76a&chksm=802366d1b754efc704801ebde97f4483ce22d1c9eabd17c1dd7c2c4c156d1c1970de2ed944e0&scene=27.]
- [58] 韩永辉. 中国省域生态治理绩效评价研究[J]. 统计研究, 2017, 34(11): 69–78. [Han Y H. Performance evaluation of China's provincial ecological management[J]. Statistical Research, 2017, 34(11): 69–79.]
- [59] 李鹏程, 王明利, 王淑彬. 中国生猪养殖粪污处理现状及经济福利效应分析[J]. 农业经济与管理, 2020, (5): 90–102. [Li P C, Wang M L, Wang S B. Analysis on current situation and economic welfare effect of pig manure treatment in China[J]. Agricultural Economics and Management, 2020, (5): 90–102.]

Adoption of manure resource utilization technologies and its economic effects on large-scale dairy farms

LIU Hao, PENG Hua, YU Zetian, XIA Qiantong, DONG Xiaoxia

(Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: [Objective] Livestock and poultry farming manure pollution, the high cost of manure resource use of input problems has become an important constraint on the sustainable development of large-scale dairy farms in China, through the exploration of farm manure resource use technology adoption behavioural mechanisms and their economic effects, for technology promotion, energy saving and emission reduction has an important role in promoting. [Methods] Based on the survey data of 218 large-scale dairy farms in 15 provinces in China and using net income and environmental efficiency to comprehensively reflect the economic effects of manure resource utilization technology adoption, this study used the Probit and propensity score matching (PSM) models to investigate the influencing factors of manure resource utilization technology adoption behavior of farms of different scales, and evaluate the economic effects of the adoption of manure resource utilization technologies in different scale farms. [Results] In terms of technology adoption decisions, the adoption of faecal resource utilisation technology on moderate farms was significantly associated with the age of the farm manager, farming density, proportion of technicians, type of milking machine, nature of the farm, and environmental regulations; the adoption of faecal resource utilisation technology on large-scale farms was mainly affected by environmental regulations such as environmental constraints and incentive policies, as well as by farming density. In terms of economic effects, the environmental efficiency and net returns of large-scale farms were higher than those of moderate-scale farms, and the adoption of manure resource utilisation technology could increase the net returns and environmental efficiency of moderate-scale farms by about 26% and 6%, respectively, and could improve the environmental efficiency of large-scale farms by about 4%, with little effect on their net returns. [Conclusion] The pressure of manure treatment can be effectively alleviated by improving the supervision and support system of livestock and poultry manure, strengthening the technical training of breeding personnel, and promoting moderate scale breeding. In the future, it is still necessary to provide basic support for the utilization of fecal waste resources through scientific and technological innovation and technology promotion, and promote the high-quality development of animal husbandry.

Key words: manure resource utilization technologies; adoption decision; economic effects; SBM-undesirable model; PSM model