



刘浩,彭华,孙志华,余泽田,董晓霞. 全过程粪污资源化利用的技术采纳逻辑与提升策略:基于规模奶牛养殖场的多案例分析[J]. 中国农业大学学报,2025,30(11):233-245.

LIU Hao, PENG Hua, SUN Zhihua, YU Zetian, DONG Xiaoxia. Technology adoption logic and enhancement strategies for whole-process manure resource utilization: A multi-case analysis based on large-scale dairy farms[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(11): 233-245.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.11.19

全过程粪污资源化利用的技术采纳逻辑与提升策略:基于规模奶牛养殖场的多案例分析

刘浩¹ 彭华² 孙志华³ 余泽田² 董晓霞^{2*}

(1. 湖南农业大学 经济学院,长沙 410128;

2. 中国农业科学院 农业信息研究所,北京 100081;

3. 全国畜牧总站,北京 100085)

摘要 本研究旨在解决规模奶牛养殖场在全过程粪污资源化利用技术采纳过程中的行为逻辑与实施困境问题,运用多案例分析法揭示不同规模养殖场在技术应用上的差异和影响因素,并提出优化策略,助力畜牧业绿色高效可持续发展。结果表明:1)不同规模养殖场根据资源禀赋和成本条件,通过优化粪污资源化利用末端治理技术组合,逐步完善源头减量和过程控制技术体系,以及制定科学的技术应用、管理方法,能显著提高粪污资源化利用效率,增加养殖收益;2)粪污资源化利用效果方面,小规模、中规模养殖场粪污资源化利用节能增效明显高于大规模和超大规模养殖场,养殖场与社会化服务组织合作是实施粪污资源化利用的重要途径;3)由于全过程粪污资源化利用技术体系不完善,养殖主体对全过程粪污资源化利用技术价值认知不足,导致技术应用体系不完善,且相关奖惩机制和社会化服务组织仍不健全。因此,应避免粪污资源化利用技术模式的盲目复制和推广,因地制宜选择适应不同规模的技术模式,促进养殖主体、政府和社会化服务组织的协同发展,提升产业体系韧性和可持续性。

关键词 全过程粪污资源化利用;技术采纳逻辑;粪污资源化利用模式;典型案例;实践困境

中图分类号 F205

文章编号 1007-4333(2025)11-0233-13

文献标志码 A

Technology adoption logic and enhancement strategies for whole-process manure resource utilization: A multi-case analysis based on large-scale dairy farms

LIU Hao¹, PENG Hua², SUN Zhihua³, YU Zetian², DONG Xiaoxia^{2*}

(1. School of Economics, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

3. National Animal Husbandry Station, Beijing 100085)

Abstract This study aims to address the behavioral logic and practical challenges in the adoption of whole-process manure resource utilization technologies in large-scale dairy farms. Multi-case analysis approach is adopted reveals the differences and influencing factors in technology application across farms of different scales and proposes optimization strategies is proposed to promote the green, efficient, and sustainable development of animal husbandry. The results found that: According to the resource endowment and cost conditions, different

收稿日期: 2024-10-23

基金项目: 农业农村部政府购买服务项目(08240172)

第一作者: 刘浩(ORCID:0000-0001-5885-2204), 讲师, 主要从事农业资源与环境经济研究, E-mail: 863772856@qq.com

通讯作者: 董晓霞(ORCID:0000-0001-9249-0809), 研究员, 主要从事畜牧业经济、农产品市场信息研究; E-mail: dongxiaoxia@caas.cn

scale farms can significantly improve the efficiency of manure resource utilization and increase the farming income by optimising the combination of end-of-pipe management technologies for manure resource utilization, gradually perfecting the system of source reduction and process control technologies, and formulating the scientific technology application and management methods; In terms of the effect of manure resource utilization, the energy saving and efficiency increase of manure resource utilization is significantly higher in small-scale and medium-scale farms than in large-scale and ultra-large-scale farms. In terms of the effect of utilization of manure resources, small-scale, medium-scale farms utilize manure resources significantly more than large-scale and super-large-scale farms, and cooperation between large-scale farms and socialised service organisations is an important way to carry out the utilization of manure resources. Due to the imperfection in the whole process of manure resource utilization technology system, the main body of the farming community does not have sufficient knowledge of the value of the whole process of manure resource utilization technology, resulting in an imperfect system of technology application, and the relevant incentive and punishment mechanisms and social service organisations are still unsound. Therefore, we should avoid the blind copying and promotion of the technology model of manure resource utilization, choose the technology model adapted to different scales according to local conditions, promote the synergistic development of the main body of farming, the government and social service organisations, and improve the resilience and sustainability of the industrial system.

Keywords total process manure resource utilization; technology adoption logic; manure resource utilisation model; typical case; practical dilemmas

随着畜牧业发展受资源环境约束不断加强,促进畜禽养殖方式由传统粗放向绿色高效模式转变,对推进畜牧业可持续发展、加快畜牧业现代化进程的现实意义越发凸显。促进养殖场技术采纳源头减量、过程控制和末端治理的全过程粪污资源化利用技术,是畜禽养殖业绿色健康发展的微观基础。理论上讲,农业技术能提高成本收益率,与农户生产目标相一致。但粪污资源化利用技术由于高成本与高风险、作用周期长、见效慢等特点很难得到农户的青睐^[1]。且养殖场在粪污自行处理,市场主体和社会资本的参与程度较低情况下,存在经济效益低、后续运作维护能力不足、资金短缺等问题,使得养殖场粪污治理不仅成本高,还影响污染治理效果。因此,理清养殖场采纳粪污资源化利用技术的行为逻辑,探究技术采纳背后的高成本门槛和应用风险,对技术广泛推广和生产效率提高具有重要现实意义。

当前我国粪污资源化利用的经济性和生态性既存在主体目标不一致的现实挑战,也存在资源限制的客观事实。首先,政府监管面临着成本与难度的双重压力,经常出现“一刀切”^[2]。虽然短期内能够解决环境污染问题,但长期来看,它损害了养殖主体的利益,进而削弱了政府的公信力。目前,政策法规对粪污资源化利用的全过程行为缺乏足够的关注,一定程度上抑制了相关主体参与资源化利

用的积极性。其次,与种植业相比,畜禽养殖业的社会化服务体系建设尚处于初级阶段^[3]。多数社会化服务组织持观望态度,同时政府支持体系尚不完善,制约了社会化服务体系的快速发展。再者,养殖主体对粪污资源化利用技术的认知和价值感知不足^[4-5],受传统经济思维的影响,他们更追求经济利益而非环境保护,且对社会化服务组织了解较少^[6]。这些现实挑战本质上是不同主体在目标上存在差异的结果,那么不同主体在推动粪污资源化利用过程中具体存在哪些障碍?不同规模养殖场粪污资源化利用技术采纳逻辑有何差异,受不同主体影响大小如何?要为突破这些困境,需要政府、养殖主体和社会化服务组织等多元主体怎样改进?

奶业作为农业现代化的标志性产业,也是畜禽养殖污染物排放大户^[7],开展奶牛养殖粪污资源化利用技术采纳逻辑及实践困境分析,具有广泛代表性。随着奶牛养殖场粪污资源化利用行动的持续推进、技术采纳情景的复杂多变以及政策环境和市场体系的不完善,而粪污资源化利用技术体系也已发生了多种多样的变化,仅仅重视末端治理单一环节开展粪污治理不能有效实现降本增效,且在规模化程度日趋加强背景下,受养殖成本、资源禀赋、管理水平、政策环境等因素影响,不同规模养殖场采纳不同粪污资源化利用技术模式背后的逻辑和实施效果必然有所差异,而鲜有研究客观深入分析源

头减量、过程控制和末端治理技术采纳行为逻辑、实施效果及实践困境。本研究从实际案例出发,一是试图从行为演进过程视角来观察规模奶牛养殖场粪污资源化利用技术采纳过程是如何进行的以及其行为效果如何,以期为完善规模奶牛养殖场粪污资源化利用技术体系提供更加详实的参考依据。二是基于典型案例粪污资源化利用技术采纳强度提升过程中面临的实践困境,提出相应改进策略。

1 文献综述与理论分析

1.1 养殖场全过程粪污资源化利用技术采纳理论逻辑

奶牛养殖粪污资源化利用技术分为源头减量、过程控制和末端治理 3 个环节。源头减量主要是通过干清粪、雨污分离、环保饲料投入、自动喷淋设施等技术从源头预防粪污产生^[8];过程控制主要是通过除臭剂、粪水处理菌剂、堆肥发酵剂等技术从生产过程中减少粪污产生,提高粪污处理效率^[9];末端治理技术主要是通过粪污肥料、制沼气、生产卧床垫料、养殖蚯蚓等技术实现资源化利用,从而减少污染物排放,达到减少资源浪费、保护生态环境的目的。

畜禽粪污处理具有较强的外部性,需要政府进行干预,养殖场在接收政府规制信息后,会处理这些信息并形成自我认知,进而做出决策。政府规制能增强农户的自觉行为控制能力,对农户行为有正向引导作用^[10]。首先,政府通过宣传增加技术可获得性,传递全面信息,破解信息约束,提高养殖场的技术认知水平,进而激发采纳技术的积极性^[11-12];其次,政府通过监管和处罚等约束型环境规制方式,合理管制造成环境污染的养殖场,强调粪污排放的危害,突出资源化利用技术的优越性,从而提高养殖场采纳技术的积极性和主动性;最后,养殖场作为追求经济效益的实体,是否采纳该技术取决于新技术成本与预期收益之间的权衡^[13-14]。干清粪、粪污生产卧床垫料、制沼气等粪污资源化利用技术大都需要通过购买设施设备来实现,财政支持能缓解粪污资源化利用成本压力,提高相关技术采纳积极性^[15]。另外,养殖场对粪污资源化利用行为的生态环保作用、社会公共利益情况感知也可能促进粪污资源化利用技术的采纳^[16]。基于感知价值理论^[17],养殖场粪污资源化利用技术采纳行为决策是个体

对行为价值感知综合权衡后的结果。若养殖场认为粪污资源化利用技术能提升收益、减少排污、优化环境,则其价值感知会增强,进而促进技术采纳;反之,若感知该技术可能带来经营损失或环境改善有限,价值感知将减弱,抑制技术采纳。

1.2 国内外不同规模养殖场粪污资源化利用模式

国内粪污资源化利用模式因养殖规模的不同呈现显著差异。在小规模养殖场,由于资金与技术限制,主要依靠政府主导和社会化服务组织,以粪污肥料化还田为主,通过合作社模式解决粪污收运和技术推广问题。采纳技术如干湿分离、氧化塘发酵等,投入低,操作简便,适合资源有限的农户^[18-19]。中型养殖场倾向于采用更精细化的技术,如堆肥发酵、沼液沼渣还田等,进一步提升肥效利用率^[4,20]。对于大规模和超大规模养殖场,粪污处理模式以闭环利用为主,包括粪污制沼气发电、卧床垫料生产、污水处理及资源化还田等技术组合模式^[21-22]。总体而言,国内模式生态效益显著,例如减少氮磷污染,提高耕地有机质,但经济效益的可持续性因市场需求不稳定而受到限制。国外粪污资源化利用模式以法规驱动、市场化服务体系完善为特点,技术应用和生态效果显著优于国内。在美国,通过《清洁水法案》和粪便养分综合管理计划(CNMP),强制要求养殖场主采取粪污全量还田和精准施肥等措施,并结合环保饲料、堆肥发酵剂等技术,实现粪污资源的高效利用^[23-24]。欧盟通过《硝酸盐指令》明确养分平衡的利用模式,要求签订粪污使用合同并对粪肥施用量和时间进行严格控制^[25-26]。技术采纳机理显示,国外的法规与经济效益驱动协同作用显著。大型养殖场通常选择沼气发电、有机肥加工等回报周期长但效益稳定的技术,而中小规模养殖场则依赖社会化服务体系降低粪污处理和技术应用的门槛^[5, 27-28]。这些措施大幅减少了温室气体排放及水体富营养化问题,同时通过技术推广提升了粪污资源化的经济收益。

国内外在粪污资源化利用方面的研究与实践存在显著差异。国内研究多聚焦于政策补贴对末端治理技术的推动作用,较少关注源头减量和过程控制技术的整合应用,且缺乏对技术经济性与长期生态效益的系统评估。国外则通过法规强制性约束和市场激励机制,构建了成熟的社会化服务体系,并通过多主体协作保障技术推广的效果。然

而,其对中小规模养殖场的区域适应性研究仍存在不足。本研究采用多案例分析方法,从源头减量、过程控制和末端治理3个环节入手,系统解析不同规模奶牛养殖场粪污资源化利用技术的采纳逻辑与实施效果,探讨粪污资源化利用技术推广过程中面临的实践困境及多元主体的改进路径,以期为提升粪污资源化利用技术的采纳强度与应用效果提供理论依据和实践指导,为推进畜禽养殖业绿色、高效、可持续发展提供优化策略与政策建议。

2 研究设计

2.1 案例选择

规模奶牛养殖场粪污资源化利用技术的实施是一个动态过程,受政策压力和养殖效益影响,养殖场可能减少技术投入,偏离生态环保与高质量发展的目标。这反映出粪污资源化利用技术的复杂性,不同阶段和情境下养殖场的理解与实践会有所不同。

本研究采用案例研究法,通过分析典型案例,探讨“怎么做”“做得怎么样”“为什么”等问题。案例选择注重典型性,涵盖小规模(100~1 000头)、中规模(1 001~3 000头)、大规模(3 001~10 000头)和超大规模(10 000头以上)养殖场,以反映不同规模下粪污资源化利用的行为特征。区域选择方面,研究选取内蒙古、黑龙江、河北和广东4省,在全国或各个产区(东北内蒙古产区、华北产区、西北产区、南方产区)^①都具有代表性,2022年奶牛存栏量占全国比重分别为13.10%、10.02%、12.35%和0.57%。研究旨在揭示粪污资源化利用技术采纳的内在逻辑与实践困境,为优化政策路径提供实践依据。

2.2 资料搜集

本研究的资料搜集主要以实地调查(座谈会、核心主体访谈、参观考察)为主,辅以公开发表资料下载、线上访谈等形式。2023年7月,课题组派驻两名博士生(含本人)到现代牧业衡水二牧进行了为期14天的驻场学习,首先,与场长面对面访谈了解养殖场发展的历程、成本收益情况、产业链上下游利益联结、粪污资源化利用不同环节技术采纳历程、技术的优劣性以及技术使用后的效果等;然后,参考学习了粪污资源化利用技术的实际应用情况,

与粪污处理负责人、技术人员交流了解技术使用的感受;其次,与周边村民、普通员工等进行交流,了解该奶牛养殖场建厂后周边生产、生活环境的变化以及养殖场粪污资源化利用技术使用前后养殖场生产环境的变化;最后,根据参观考察产生的疑问,与副场长进行面对面访谈,了解技术引进的理由、存在的困难、政策的支持和约束情况等。基于驻场调查,梳理访谈过程的要点,为后续案例资料收集提供经验,拟定调查资料提纲(以被访对象粪污资源化利用行为为主线,搜集粪污资源化利用行为发生过程、行为实施效果、后续粪污资源化利用实施计划以及行为实施困难等方面资料)。2023年10—12月,分别对黑河市特瑞奶牛养殖专业合作社、海拉尔农牧场管理局谢尔塔拉农牧场、黑龙江省九三农垦鑫源奶牛养殖专业合作社、陆丰市新澳良种奶牛养殖有限公司通过线下面对面访谈、线上访谈、实地参观等方式进行了材料搜集(表1)。

通过多种形式的调查,最终搜集了覆盖“政府、养殖主体、社会服务组织、村民”等全方位资料。通过整理录音,形成了约6万字的第一手资料,为开展多案例研究奠定了坚实的资料基础。此外,课题组还通过搜集与案例主体相关的网络信息、政策文件、论文、著作等,形成第三方资料,以进一步充实本研究的数据库。

2.3 案例基本情况说明

本研究的4个养殖场案例分别位于河北省、内蒙古自治区、黑龙江省和广东省,涵盖了不同的养殖规模和地理特点。案例A位于河北省衡水市,养殖规模大,主要养殖奶牛,占地15 000 hm²,粪污处理通过第三方公司进行沼气发电和厌氧型氧化塘处理,实行“能源化+卧床垫料生产+肥料化”模式。案例B位于内蒙古呼伦贝尔市,养殖规模为3 500头牛,占地90 000 hm²,粪污消纳压力小,政府提供设备补贴,采用“能源化+卧床垫料生产+肥料化”模式。案例C位于黑龙江省虎林市,养殖规模为1 600头奶牛,占地4 500 hm²,采用“粪便垫料回用+水肥一体化”模式,减轻了粪污处理压力。案例D位于广东省汕尾市,占地10 125 hm²,养殖规模为900头牛,年产原料奶2 800 t。由于土地资源有限,养殖场通过粪污干湿分离和堆肥回填实现资源化利用(表2)。

^①2017年,五部委联合发布《全国奶业发展规划(2016—2020年)》中将全国奶牛养殖划分为五大产区。

表 1 案例材料收集情况							
Table 1 Collection of case materials							
代码 Code	案例名称 Name of the case	规模 Scale	调研地点 Research location	调研时间 Research time	访谈对象 Interviewees	内容 Content	方式 Method
A	现代牧业衡水二牧	10 000 头（超大规模）	河北省衡水市	2023-07-23	场长、副场长、技术员、粪污处理负责人、村民		驻场深度访谈、线上访谈、参观考察
B	海拉尔农牧场管理局谢尔塔拉农场	3 500 头（大规模）	内蒙古自治区呼伦贝尔市	2023-10-27	场长、技术员、粪污处理负责人、兼职员工	养殖场成本收益、粪污资源化利用技术成本收益、技术	面对面访谈、线上访谈、参观考察
C	黑龙江省九三农垦鑫源奶牛养殖专业合作社	1 600 头（中规模）	黑龙江省齐齐哈尔市	2023-10-23	场长、技术员、粪污处理负责人、兼职员工	（源头减量、过程控制、末端治理技术）发展历程	面对面访谈、线上访谈、参观考察
D	陆丰市新澳良种奶牛养殖有限公司	800 头（小规模）	广东省汕头市	2023-12-28	场长、粪污处理负责人		线上访谈

表 2 案例基本情况								
Table 2 Basic information of the case								
代码 Code	产区 Producing areas	性质 Character	建场时间 Establishment time	年单产 /t Annual yield	单头牛月粪污产量 /t Monthly manure yield per cow	种植品种及面积 /hm ² Planting varieties and area	粪污处理补贴 Subsidies for manure disposal	粪污资源化利用模式 Manure resource utilization model
A	华北产区（河北）	私营	2015 年	9.3	1.2	玉米青贮 75 000	无，土地租金补贴	粪污能源化＋生产卧床垫料＋肥料化
B	东北内蒙古产区（内蒙古）	国有	1955 年	8.0	1.2	玉米青贮、牧草 300 000 以上	未享受，2021 年后引进技术给予补贴	能源化＋生产卧床垫料＋肥料化
C	东北内蒙古产区（黑龙江）	集体	2017 年	9.5	1.2	玉米、大豆、高粱 150 000 以上	还田补贴，项目补贴申请繁琐、审批难度大	肥料化
D	南方产区（广东）	私营	2014 年	8.8	1.4	玉米青贮、蔬菜 13 500	平均每年 80 多万元粪污处理补贴	生产卧床垫料＋肥料化

3 粪污资源化利用技术采纳逻辑与综合效果

3.1 不同规模奶牛养殖场粪污资源化利用技术采纳逻辑

超大规模养殖场以“技术整合与资本合作”为核心，依托多项末端治理技术实现粪污资源化高效利用。案例 A 采用“粪污能源化＋生产卧床垫料＋

肥料化”模式，通过与第三方合作，利用沼气发电和沼渣资源化，解决了粪污过剩问题。该模式提升了粪污处理效率并有效分担了高昂成本。在源头减量和过程控制上，超大规模养殖场采取逐步优化措施提升管理水平。案例 A 通过引入雨污分离和自动刮板清粪系统，大幅减少污水产生量，同时使用微生物菌剂提高污水处理效率。这些措施体现了其对粪污治理系统性的高度重视(图 1)。

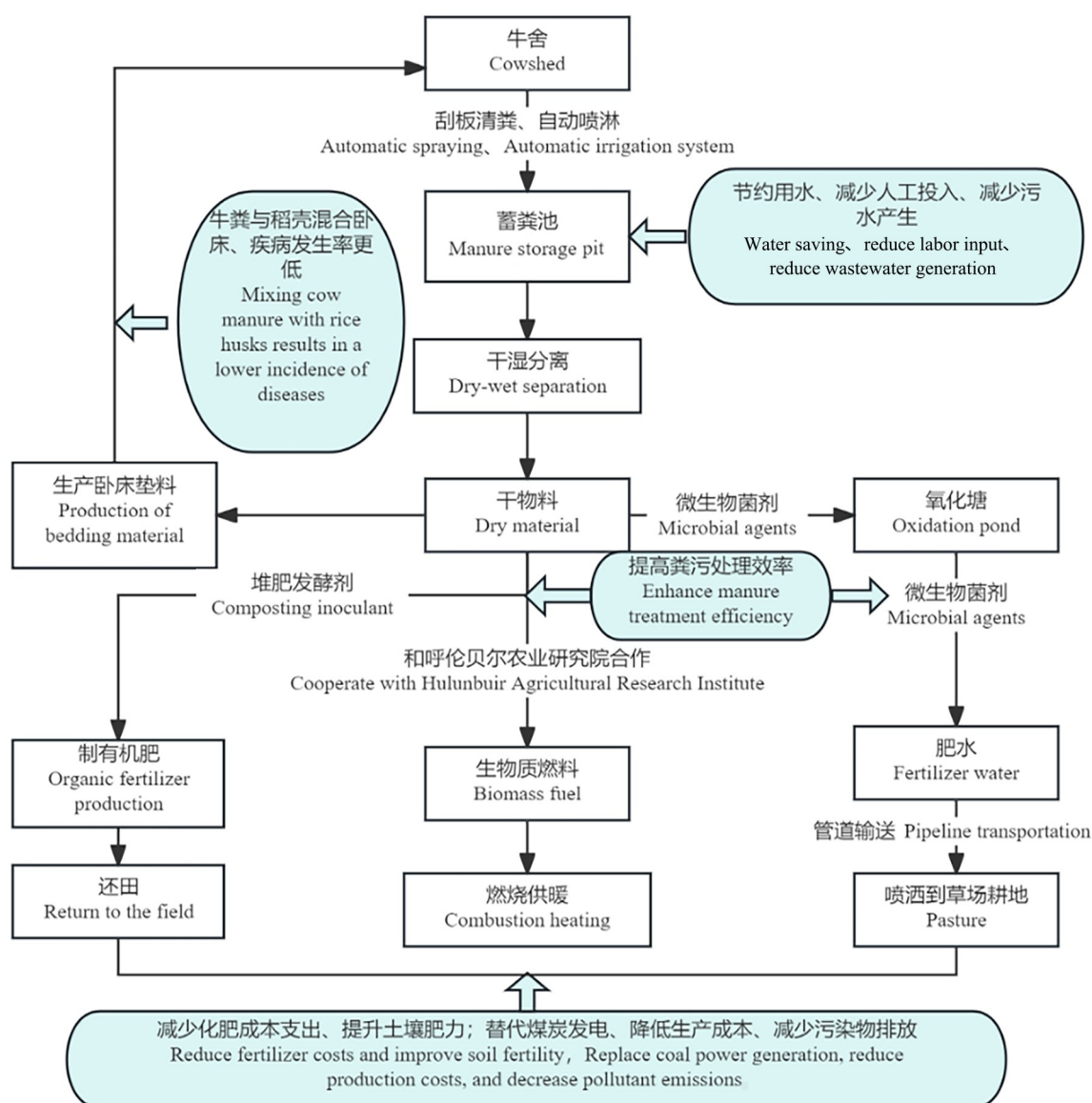


图2 大规模奶牛养殖场粪污资源化利用模式

Fig.2 Manure resource utilization model for large-scale dairy farms

元。同时,自动化提升了生产效率和奶牛舒适度,显著增加经济效益。在生态效应方面,超大规模养殖场通过系统治理显著降低了环境污染。案例A实施雨污分离、污水回收和沼气处理技术,粪污资源化利用率达83.2%,有效减少了土地污染和水体负担,促进生态保护与资源循环。

大规模养殖场通过多元化技术实现长期经济效益的可持续增长。案例B在粪污资源化利用上初期投入1500万元,每年节约煤炭费用80万元,并通过粪肥提升牧草质量,间接提高奶牛产量和收益。同时,自动化清粪和喷淋系统进一步降低了运营成本。

本。生态效应上,大规模养殖场结合种养循环有效改善土壤质量。案例B通过精准粪肥施用和固液分离技术减少土地板结,全年运输5095t有机肥还田,既改善耕地质量,又减少环境污染,体现了资源循环的生态效益。

中规模养殖场的粪污资源化利用呈现出“低成本、高收益”的特点。案例C初期投入500万~600万元,通过粪肥还田实现直接收益,每吨粪肥带来14元收入,同时减少农民化肥支出。堆肥发酵剂和微生物菌剂加速粪污转化,提升了资源利用效率。生态效应上,中规模养殖场有效平衡了粪污处

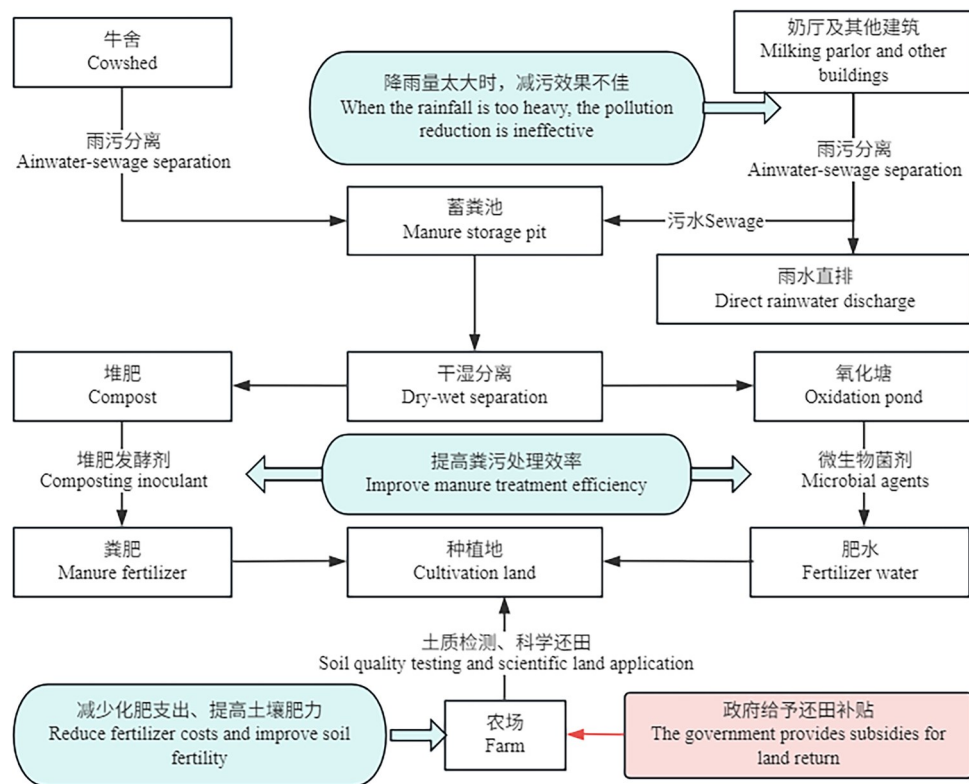


图3 中规模奶牛养殖场粪污资源化利用模式

Fig.3 Manure resource utilization model for medium-scale dairy farms

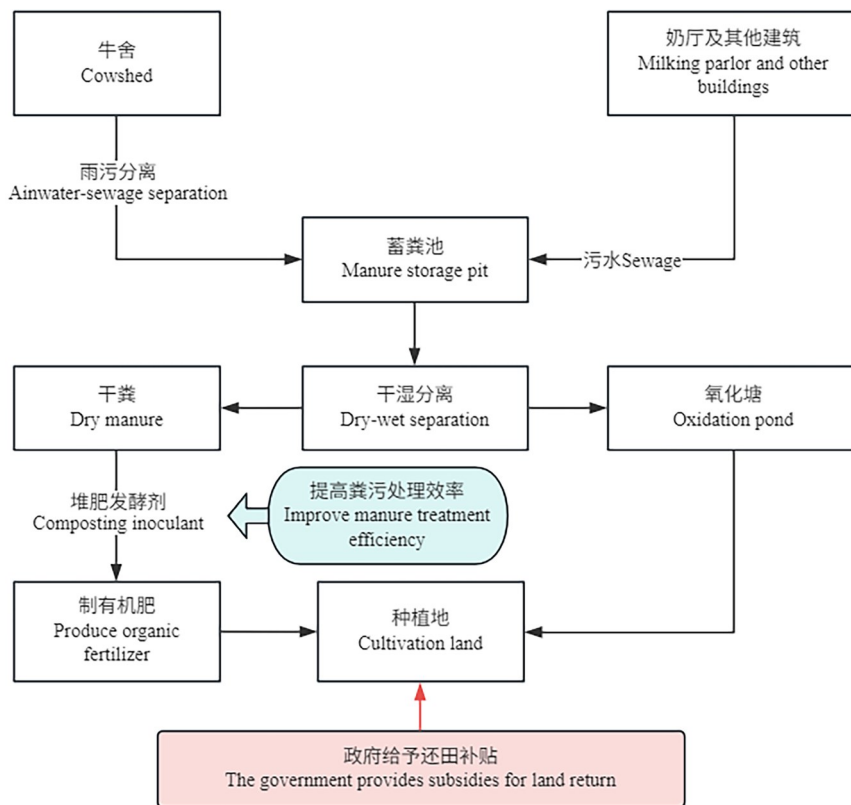


图4 小规模奶牛养殖场粪污资源化利用模式

Fig.4 Manure resource utilization model for small-scale dairy farms

理与土地保护。案例 C 通过封闭式氧化塘处理减少气体污染,粪污资源化利用率达 85.3%。精准施用农家肥改善了土壤质量,减少化肥过量施用对环境的负面影响。

小规模养殖场依托政策支持与低投入技术实现经济效益最大化。案例 D 前期投入仅 200 万元,通过粪肥还田每年减少化肥支出 20 万元,并通过政府补贴进一步降低设施维护成本。自动刮板清粪和喷淋系统节省水费和人工成本,总体收益水平较高。生态效应方面,小规模养殖场通过高效治理显著改善环境质量。案例 D 的粪污资源化利用率高达 87.6%,通过液体粪污封闭处理和干粪堆肥减少气体污染排放,同时粪肥还田提升了土壤肥力,为区域生态环境保护贡献了积极作用。

不同规模奶牛养殖场粪污资源化利用技术采纳情况及行为效果见表 3。

4 粪污资源化利用技术采纳的实践困境

4.1 粪污资源化利用技术体系不完善,绿色养殖责任意识较低

一是技术感知价值有限、绿色养殖责任意识低。规模奶牛养殖场对粪污资源化利用技术的认知多停留在末端治理环节,对源头减量和过程控制价值感知不足。例如,案例 C 认为雨污分离作用不大,尤其在降雨量大时,设施效果有限,因而不愿继续维护使用。同时,养殖场负责人绿色养殖责任意识较低,多为被动实施技术,对污染防治政策和技术效益感知不足,技术采纳积极性不高。

二是种养结合长效机制缺乏、粪肥利用竞争力低。畜禽养殖场产业链不完善,粪污治理成本高、产品市场需求波动、运输费用大、养分利用低效等问题突出。例如,超大规模养殖场 A 和大规模养殖场 B 粪污量大,粪肥还田需要大量土地,但远距离运输成本高,竞争力不如化肥^[29]。同时,部分地区粪肥处理要求严格,如案例 D 将肥水处理至灌溉水标准,增加成本且损失养分,进一步削弱粪肥吸引力。

三是粪肥施用方式不科学、养分利用效率低。我国每年产生 1 400 万 t 动物有机肥,但因养分含量低、体积大、贮存和施用设施不足,利用效率较低^[30]。调研发现,多数养殖场凭经验施肥,配比不合理,案例 A 中沼渣、沼液表施甚至可能减产并污染环境,削弱粪肥还田积极性。

4.2 奶牛养殖场环境规制体系仍不完善,奖惩机制效度较低

一是财政支持不足。奶牛养殖粪污资源化利用亟需财政支持,但地方补贴落实不到位,重点偏向粪污还田等末端治理技术,而对雨污分离、自动喷淋等源头减量和过程控制技术支持较少。这些技术成本高,尤其是小规模或建场较早的养殖场难以承担,影响技术采纳。此外,政府对第三方处理企业和社会化服务组织的支持不足,限制了养殖场专注养殖和粪污资源化利用的推进。

二是环境污染监管机制不完善。当前环保检查标准和频次不合理,效果不佳。例如,B 牧场因环保检查警告除臭剂未用,但后续缺乏跟进,导致臭味问题反复。同时,频繁检查影响养殖场正常生产,惩罚机制也多为约谈和警告,整改跟进不足,问题易反复发生。这反映了政策缺乏明确性和针对性,难以满足实际需求。

三是技术宣传与推广力度不足。粪污资源化利用需整合源头减量、过程控制和末端治理技术,但政策宣传中未详细说明技术关系,导致养殖场对技术理解不清、采纳积极性不高。尽管政策文件提出整体利用方案,但地方落实缓慢,如案例 A 所在地区 2022 年才具体说明技术目标与实施方案,造成养殖场技术改造成本高、实施难度大。

4.3 社会化服务组织体系不健全,服务范围小

一是社会化服务组织经营管理能力不足。规模化奶牛养殖场粪污量大,对社会化服务组织提出高要求,既需有效处理粪污,又要实现盈利,经营管理面临挑战。一方面,社会化服务组织规划与整合能力不足,需制定长期战略规划,整合周边资源,扩展服务半径,形成“一对多”稳定服务模式。另一方面,“一对一”服务模式中业务拓展能力较弱,如案例 A 中,社会化服务组织仅通过沼气发电盈利,在沼渣制有机肥方面技术和市场开发不足,未与高校和企业形成长期合作,有机肥竞争力弱,大量沼渣难以处理,制约企业可持续发展。

二是支持体系不健全。相比种植业,畜禽粪污资源化利用服务发展较慢,支持体系欠缺^[31]。首先,缺乏金融保险支持,前期投入高、回款周期长,如案例 A 的社会化服务组织需至少 8 000 头存栏、投入 4 000 万元及每年 500 万元维护费用,业务扩展还需更多资金,金融保险支持尤为重要。其次,信息传播渠道不畅,社

表3 不同规模奶牛养殖场粪污资源化利用技术采纳情况及行为效果
Table 3 Adoption and behavioral effects of manure resource utilization technology in dairy farms of different scales

代码 Code	规模类型 Scale type	粪污资源化利用技术采纳 Adoption of manure waste resource utilization technology			经济效应 Economic effect		生态效应 Ecological effect	
		源头减量技术 Source reduction technology	过程控制技术 Process control technology	末端治理技术 End-of-pipe management technology	2022年公斤奶利润/元 2022 Milk profit per kg	节能降耗增效/(元/(年•头)) (节水、节电等) Energy saving, consumption reduction, and efficiency improvement (Water and electricity savings, etc.)	粪污资源化利用率/% Manure resource utilization rate	其他 Others
A	超大规模	自动刮板清粪、雨污分离、污水循环利用、自动喷淋	粪水处理菌剂	制沼气(第三方)、水肥、生产卧床垫料	0.41	146.0	83.2	减少发电用煤, 提供清洁能源
B	大规模	刮板清粪、铲车清粪、自动喷淋、自动饮水	堆肥发酵剂	生产生物物质颗粒、水肥	0.33	571.7	81.7	提供清洁能源, 减少化肥使用
C	中规模	刮板清粪、雨污分离、自动喷淋、自动饮水	堆肥发酵剂	制肥料	0.45	703.1	85.3	减少化肥使用
D	小规模	环保饲料、刮板清粪、水冲粪、自动喷淋、污水循环利用、自动饮水	除臭剂(2022年开始使用)、粪水处理菌剂、堆肥发酵剂	生产卧床垫料、水肥	0.42	625.0	87.6	减少化肥使用

会化服务组织获取服务需求、市场价格等信息较慢,影响服务与产品供给,削弱市场竞争力。

5 粪污资源化利用的典型经验与优化策略

结合规模奶牛养殖场粪污资源化利用典型案例,分析其粪污资源化利用技术采纳的逻辑及其效果,总结了行为实施的典型经验,并对目前技术实践在个体层面(养殖主体)、市场层面(社会化服务组织)和政府层面(环境规制)存在的困境,以典型案例的先进经验为基础,提出实现粪污资源化利用的提升策略。

5.1 粪污资源化利用典型经验

一是发挥社会化服务组织的作用,实现粪污资源化利用技术应用的集中化。大规模养殖场尤其是超大规模养殖场粪污处理压力大,万头奶牛养殖场 A 通过入股方式和第三方公司合作,对养殖场粪污资源化利用末端治理部分由第三方公司负责,并对粪污资源化利用源头减量、过程控制技术进行专业化的指导,以完善粪污资源化利用技术体系。同时,通过技术示范不断扩大第三方公司服务范围,促进粪污资源化利用规模化发展,有助于养殖场生产专业化和绿色可持续发展。

二是根据资源禀赋和成本条件,优化粪污资源化利用技术组合。1)根据资源禀赋选择技术组合方式。A 养殖场所在华北产区,粪肥还田一年一次,相比东北内蒙古产区一年两次,相同粪污还田需要的配套土地更多。因此,A 养殖场选择粪污制沼气发电、沼渣生产卧床垫料、沼液还田 3 种技术组合,在有限资源情况下,实现粪污资源化利用率最大化。2)成本投入有限情况下,逐步完善源头减量和过程控制技术配套设备。大部分源头减量和过程控制技术不受环境规制限制,而养殖场建场初期可能未配备相关设备,例如自动刮板、自动喷淋、雨污分离、污水回收循环利用等,后续引进需要对现有牛场设计进行改造,A 养殖场规模较大,源头减量技术引进一次性改造成本较大,为了减轻成本压力,同时提高粪污资源化利用率,A 养殖场选择分阶段对目前各个牛舍的铲车清粪、手动喷淋等设施系统进行改造。

三是制定科学的粪污资源化利用技术应用、管理方法,提高了技术使用效率。1)科学使用末端治理技术。C 养殖场站在防止农田粪肥过量施用、控制水体污染的角度,每次还田之前对粪便和土壤进行检测,科学制定粪肥施用时间、施用方法和施肥

量,让粪肥还田更具科学性。2)建立粪污资源化利用技术实施台账制度。大规模养殖场粪污产生量大,B 养殖场粪污资源化末端治理选择“粪污能源化+生产卧床垫料+制肥料”三种技术组合,因此,建立《畜禽规模养殖场粪污资源化利用台账》,详细记录每日固液粪污产生量、流动取向等情况,科学分析、监测粪污处理情况,并以此精准调整养殖场粪污处理设施及奶牛养殖技术,提高了奶牛养殖效率。3)重视自动化技术应用,同时实现粪污资源化利用和提高养殖效率。B 养殖场对于源头减量和过程控制技术在提高养殖效率方面的作用具有更清晰的认知,为此,B 养殖场配置自动喷淋、自动饮水、自动刮板清粪设施以及微生物菌剂等,显著降低了人工劳动强度,提高了养殖效率。

5.2 粪污资源化利用提升策略

一是激发技术价值感知水平,完善种养结合系统。1)通过新媒体、科技小院等模式加强技术宣传、引导,提升奶牛养殖主体对粪污资源化利用多重价值的认知。同时,探索降低感知风险的新途径,如利用互联网和手机通讯建立信息互通网络,减少防备心理,并通过交流与讨论分享粪污资源化利用经验。此外,通过继续教育深化养殖主体对绿色转型重要性的认识,以简明方式解释粪污排放的危害,促进其对粪污资源化利用的深入了解和积极参与。2)建立粪污资源化利用产品使用指导手册。畜禽粪污资源化利用是连接种植与养殖的绿色桥梁,应实现种养结合与循环利用。农田利用畜禽粪便需科学管理,考虑作物养分需求、粪污养分供给和土壤养分含量,并结合生态环境参数。采用科学粪肥施用方式,提升粪肥利用效率。

二是完善社会化服务组织体系,建立市场服务组织嵌入机制。1)建立社会化服务组织与奶牛养殖主体的紧密沟通机制,利用信息技术确保双方有效交流,解决奶牛养殖场在粪污资源化利用中遇到的难题,同时维护双方的信任关系,避免信息不对称引发的信任危机,保障服务效能。2)构建第三方企业或社会化服务组织与奶牛养殖场之间的动态反馈机制,及时传递问题和需求,调整技术策略,完善技术体系,提升粪污资源化利用效率,这是合作的基础和持续性的关键。3)建立服务于第三方企业或社会化服务组织的金融保险体系,整合社会资源,设计适宜的金融和保险产品,满足其资金信贷

和保险需求,确保社会化服务组织的稳健发展。

三是优化奶牛养殖环境规制体系,提升奖惩机制的促进作用。1)加大对奶牛养殖粪污资源化利用的财政支持力度。奶牛养殖场粪污资源化利用离不开政府的财政补贴,要进一步优化当前补贴政策,明确资金扶持重点。对种养循环模式、粪污收集、运输以及新兴经营组织提高补贴力度。优化农机购置补贴机具的种类和范围,将粪污资源化利用源头减量和过程控制所需的设备设施纳入补贴范围。同时,要增加对第三方处理企业、社会化服务组织建设粪污处理设施的资金支持。2)优化奶牛养殖场检查、监督与惩罚机制。确立季度检查标准与频次,由县级主管部门制定并逐级上报备案,通知养殖场按标准规范环境。联合多部门负责检查、监督与指导。执行严格惩罚机制,发现问题及时约谈超标养殖场,要求整改并公示承诺。加大被约谈场检查频次,评估整改效果。对约谈无果者采取经济惩罚、列入黑名单或强制关停。公开执法程序与职责,公布案件办理情况,强化社会监督。建立环境违法曝光体系,引入新媒体监督,提升监督效果与环境规制效率。

参考文献 References

- [1] 谭永凤,陆迁,张淑霞. 契约农业能否促进养殖户绿色生产转型[J]. 农业技术经济. 2022(7): 16-33
Tan Y F, Lu Q, Zhang S X. Can contract farming promote the green production transformation of livestock farmers[J]. *Agricultural Technology Economics*, 2022(7): 16-33 (in Chinese)
- [2] 王鸿儒. 中央环保督察何以赋予地方政府环境治理的主动性:基于环保督察在G省H市的实证研究[J]. 社会科学家. 2023(8): 77-83
Wang H R. How does central environmental inspection empower local governments with proactive environmental governance: An empirical study based on environmental inspection in G Province, H City[J]. *Social Scientist*, 2023(8): 77-83 (in Chinese)
- [3] 何向育. 农业废弃物资源化利用的经济学研究[J]. 中国生态农业学报(中英文). 2024, 32(8): 1432-1440
He X Y. Economic research on the resource utilization of agricultural waste [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2024, 32(8): 1432-1440 (in Chinese)
- [4] 刘浩,彭华,余泽田,夏千童,董晓霞. 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, Xia Q T, Dong X X. Evaluation of the adoption of manure resource utilization technologies and their economic effects in large-scale dairy farms[J]. *Resources Science*, 2023, 45(8): 1560-1576 (in Chinese)
- [5] Schulz N, Breustedt G, Lohmann U 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
- [6] 熊飞雪,彭元元,刘雨萱,朱述斌. 数字信息能力对农户绿色生产采纳的影响研究:基于技术生态认知的中介效应[J]. 长江流域资源与环境. 2024: 1-14
Xiong F X, Peng Y Y, Liu Y X, Zhu S B. The impact of digital information capacity on farmers' adoption of green production technologies: Based on the mediating effect of technological ecological cognition [J]. *Resources and Environment in the Yangtze River Basin*, 2024: 1-14 (in Chinese)
- [7] 许佳彬,李翠霞. "规模效应"还是"拥挤效应":奶牛养殖产业集聚对环境效率的非线性影响研究[J]. 农业技术经济. 2023(10): 22-43
Xu J B, Li C X. "Scale effect" or "crowding effect": Non-linear impact of dairy farming industry agglomeration on environmental efficiency [J]. *Agricultural Technology Economics*, 2023(10): 22-43 (in Chinese)
- [8] 于超. 规模养猪场户清洁生产行为研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2019
Yu C. Research on the clean production behavior of large-scale pig farms[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2019 (in Chinese)
- [9] 吴浩玮,孙小淇,梁博文,陈佳斌,周雪飞. 我国畜禽粪便污染现状及处理与资源化利用分析[J]. 农业环境科学学报. 2020, 39(6): 1168-1176
Wu H W, Sun X Q, Liang B W, Chen J B, Zhou X F. Current status of livestock and poultry manure pollution and analysis of its treatment and resource utilization in China [J]. *Journal of Agricultural Environmental Sciences*, 2020, 39(6): 1168-1176 (in Chinese)
- [10] 纪金雄,谢屹. 多主体治理对农户绿色生产行为的影响:基于福建省872户茶农调查数据的实证研究[J]. 林业经济. 2023, 45(4): 5-28
Ji J X, Xie Y. The impact of multi-stakeholder governance on farmers' green production behavior: Based on an empirical study of 872 tea farmers in Fujian Province [J]. *Forestry Economics*, 2023, 45(4): 5-28 (in Chinese)
- [11] 党国英,郭宇星,张连刚. 地理标志引领民族山区和美乡村建设的机制与路径:基于新内源发展视角的分析[J]. 中国农村经济. 2024(7): 96-118
Dang G Y, Guo Y X, Zhang L G. Mechanism and path of leading the construction of beautiful villages in ethnic minority mountainous areas through geographical indications: An analysis from the perspective of endogenous development [J]. *China Rural Economy*, 2024(7): 96-118 (in Chinese)
- [12] 李晓晓,胡永浩,胡南燕,武拉平. 信息能力能促进农户有机肥持续采纳吗:基于收入不确定性视角[J]. 中国农业大学学报. 2023, 28(7): 238-250
Li X X, Hu Y H, Hu N Y, Wu L P. Can information capacity promote farmers' continuous adoption of organic fertilizer: Based on the perspective of income uncertainty [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(7): 238-250 (in Chinese)
- [13] Kassie G W. Agroforestry and farm income diversification: synergy or trade-off: The case of Ethiopia [J]. *Environmental Systems Research*. 2018, 6(1): 8-18. DOI:10.1186/s40068-017-0085-6
- [14] Li W J, Ruiz-Menjivar J, Zhang L, Zhang J B. Climate change perceptions and the adoption of low-carbon agricultural technologies: Evidence from rice production systems in the Yangtze River Basin [J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 756 (3): 143554. DOI: 10.1016/j.scitotenv. 2020.143554
- [15] Mallory A, Holm R, Parker A. A review of the financial value of faecal sludge reuse in low-income countries [J]. *Sustainability*. 2020, 12(20):8334. DOI: 10.3390/su12208334
- [16] Jani P L, Miiikka S, Maija F, Heli S, Sampsa H, Karoliina A, Satu L, Tatu M. Citizen energy lost in sustainability transitions: Knowledge co-production in a complex governance context [J]. *Energy Research & Social Science*. 2023, 96(2): 102932. DOI:10.1016/j.erss.2022.102932
- [17] Woodruff R B. Customer value: The next source for competitive advantage [J]. *Journal of the Academy of Marketing Science*. 1997, 25(3): 139-153

- [18] 周海宾, 丁京涛, 孟海波, 沈玉君, 王健, 张曦, 程红胜, 宋立秋, 徐鹏翔, 张鹏月, 王鑫宇. 中国畜禽粪污资源化利用技术应用调研与发展分析[J]. 农业工程学报. 2022, 38(9): 237-246
- Zhou H B, Ding J T, Meng H B, Shen Y J, Wang J, Zhang X, Cheng H S, Song L Q, Xu P X, Zhang P Y, Wang X Y. Survey and development analysis of livestock manure resource utilization technologies in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38 (9): 237-246 (in Chinese)
- [19] 刘宇璇, 魏海涛, 周俊言, 吴春阳, 鲁琳. 规模化牛场粪污资源化技术研究及应用进展[J]. 中国乳业. 2023(4): 41-46
- Liu Y X, Wei H T, Zhou J Y, Wu C Y, Lu L. Research and application progress of manure resource utilization technologies in large-scale dairy farms [J]. *China Dairy Industry*, 2023(4): 41-46 (in Chinese)
- [20] 吴根义, 廖新伟, 贺德春, 李季. 我国畜禽养殖污染防治现状及对策[J]. 环境科学学报, 2014, 33(7): 1261-1264
- Wu G Y, Liao X D, He D C, Li J. Current status and countermeasures of livestock and poultry farming pollution prevention and control in China[J]. *Journal of Agricultural Environmental Sciences*, 2014, 33(7): 1261-1264 (in Chinese)
- [21] Hou Y, Gerard V, Oenema O. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: A meta-analysis and integrated assessment[J]. *Global Change Biology*. 2015, 21(3): 1293-1312
- [22] Aguirre-Villegas H A, Larson R A. Evaluating greenhouse gas emissions from dairy manure management practices using survey data and lifecycle tools [J]. *Journal of Cleaner Production*. 2016, 143: 169-179
- [23] Melse R W, Verdoes N. Evaluation of four farm-scale systems for the treatment of liquid pig manure[J]. *Biosystems Engineering*. 2005, 92(1): 47-57
- [24] Amon B, Kryvoruchko V, Amon T, Zechmeister-Boltenstern S. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2005, 112(2): 153-162
- [25] Petersen S O, Sommer S G. Ammonia and nitrous oxide interactions: Roles of manure organic matter management [J]. *Animal Feed Science and Technology*. 2011, 166-167: 503-513
- [26] Montes F, Rotz C A, Chaoui H. Process modeling of ammonia volatilization from ammonium solution and manure surfaces: A review with recommended models[J]. *Transactions of the ASABE*. 2009, 52(5): 1707-1720
- [27] Hansen M N, Henriksen K, Sommer S G. Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: Effects of covering[J]. *Atmospheric Environment*. 2006, 40(22): 4172-4181
- [28] Petersen S O, Ambus P. Methane oxidation in pig and cattle slurry storages, and effects of surface crust moisture and methane availability[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2006, 74(1): 1-11
- [29] 叶思菁, 宋长青, 程昌秀, 高培超, 沈石, 穆望舒. 中国耕地资源利用的“五化”态势与治理对策[J]. 中国科学院院刊. 2023, 38(12): 1962-1976
- Ye S J, Song C Q, Cheng C X, Gao P C, Shen S, Mu W S. The “Five Modernizations” trend and governance strategies of China’s arable land resource utilization[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2023, 38(12): 1962-1976 (in Chinese)
- [30] 董红敏, 左玲玲, 魏莎, 朱志平, 伊福斌. 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, Zhu Z P, Yi F B. Establishing a nutrient management system for livestock and poultry waste to promote green development through crop-livestock integration[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2019, 34(2): 180-189 (in Chinese)
- [31] 周元清, 鲁帆, 李鹏程, 浦华. 影响生猪粪污全量还田利用的经济视角分析: 基于 10 省份的实证研究[J]. 中国畜牧杂志. 2023, 59(9): 349-352
- Zhou Y Q, Lu F, Li P C, Pu H. Economic analysis of the full utilization of pig manure for land application: An empirical study based on 10 provinces[J]. *Chinese Journal of Animal Husbandry*, 2023, 59(9): 349-352 (in Chinese)

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 刘浩, 湖南农业大学经济学院讲师。主要从事农产品市场信息分析、农业资源与环境经济研究, 共发表相关论文 10 余篇, 在 SCI、CSSCI 等主要期刊发表 4 篇。曾获得湖南省优秀毕业生、北京市优秀毕业生、优秀学生干部等荣誉称号。



通讯作者简介: 董晓霞, 研究员, 中国农科院农业信息研究所农业传播与期刊平台管理办公室主任、《中国乳业》杂志社社长、淄博数字农业农村研究院院长。长期从事奶业经济、农产品价格等科研工作。主持国家自然科学基金、现代农业产业技术体系北京市奶牛创新团队、农业农村部委托、中国农科院创新工程、基本科研业务费以及横向合作课题等 40 多项, 参加国家科技支撑计划项目、科技部基础条件平台项目、发展改革委重点软科学项目、农业农村部专项、948 项目、FAO 国际合作项目等 20 余项。曾获得科技成果奖励 2 项, 其中神农中华农业科技奖 2 项。发表科技论文 100 余篇, 其中英文论文 15 篇。