

基于规模奶牛养殖场的案例分析

全过程粪污资源化利用的实践困境与提升策略

□刘浩 彭华 孙志华 余泽田 董晓霞

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。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,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,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的行为逻辑、实施效果及实践困境。

文献综述与理论分析

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;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;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,进而作出决策。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。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,进而激发其采纳技术的积极性;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。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。另外,养殖场对粪污资源化利用行为的生态环保作用、社会公共利益感知也可能促进粪污资源化利用技术的采纳。基于感知价值理论,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。

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。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,进一步提升肥料利用率。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。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。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。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。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效益。

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采纳的可持续性。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,为提升粪污资源化利用技术的采纳率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。

研究设计

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方法,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—1000头)、中规模(1001—3000头)、大规模(3001—10000头)和超大规模(10000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省区,在全国各个产区(东北内蒙古产区、华北产区、西北产区、南方产区)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。

本研究的资料搜集以实地调查(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。通过多种形式的调查,最终搜集了覆盖“政府、养殖主体、社会化服务组织、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。

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15000公顷,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3500头牛,占地90000公顷,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1600头奶牛,占地4500公顷,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10125公顷,养殖



资料图片

规模为900头牛,年产原奶2800吨。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。

粪污资源化利用技术采纳逻辑与综合效果

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。

大规模养殖场强调技术选择与生产需求相匹配,并充分利用政策支持降低处理成本。案例B探索“生产卧床垫料+制生物质颗粒+液体肥料”模式,通过技术调整减少燃料和肥料成本,同时实现土地资源的充分利用,为粪污资源化奠定经济基础。在源头和过程控制方面,大规模养殖场优先考虑成本效益平衡。案例B采用自动喷淋和刮板清粪系统,减少人工和水资源消耗,同时通过微生物菌剂提高粪污转化效率。尽管某些措施有所中断,但整体技术应用符合当地环保要求与经济目标。

中规模养殖场依托合作模式和低成本技术实现粪污资源化利用。案例C采用“粪便垫料回用+水肥一体化”模式,通过与农场合作,将粪肥还田作为主要治理手段,有效降低了处理成本和土地盐碱化风险,呈现出较强的经济适用性。源头减量和过程控制的技术采纳率较低,主要因认知不足和投入成本受限。案例C虽配备雨污分离设施,但实际效果有限,污水循环利用未被采纳。总体上,该规模养殖场更倾向选择成本较低、收益直接的末端治理技术。

小规模养殖场以政策扶持和成熟技术为依托,通过简易化处理模式实现粪污资源化。案例D采用“粪便垫料回用+水肥一体化”模式,结合政府补贴支持,通过干湿分离、氧化塘处理和粪肥还田,有效处理粪污并实现循环利用。源头减量和过程控制技术主要基于环境需求而非政策强制。案例D引入雨污分离和刮板清粪系统,减少污水混排,同时通过除臭剂降低恶臭气体扩散。这些措施在政策补贴下帮助养殖场实现经济效益与环境改善的双赢。

不同规模奶牛养殖场粪污资源化利用综合效果

超大规模养殖场展现了“高投入、高回报”的经济规律。案例A通过粪污治理初期投入610万元,结合自动化设施和第三方合作,每年减少水电和化肥支出约86万元,生鲜乳利润从0.32元增至0.41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。在生态效益方面,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。生态效益上,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5095吨有机肥还田,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。生态效益上,中规模养殖场有效平衡了粪污处理与土地保护。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。生态效益方面,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。

粪污资源化利用技术采纳的实践困境

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,对污染防治政策和经济效益感知不足,技术采纳率较低。

二是种养结合长效机制缺乏,粪肥利用竞争力低。畜禽养殖产业链不完善,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。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1400万吨动物有机肥,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。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。

奶牛养殖场环境规制体系仍不完善,奖惩机制效率较低

一是财政支持不足。奶牛养殖粪污资源化利用亟须财政支持,但地方补贴落实到位,重点偏向粪肥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的支持较少。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年才具体说明技术改造目标与实施方案,造成养殖场技术改造成本高、实施难度大。

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和发电盈利,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。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8000头存栏、投入4000万元及每年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。

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,针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策略。

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,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。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产粪管、

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,每次还田之前对粪肥和土壤进行检测,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、流动去向等情况,科学分析、监测粪污处理情况,并以此精准调整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。

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、科技小院等形式加强技术宣传、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信建立信息互通网络,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。农田利用畜禽粪肥需科学管理,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产品,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、运输以及新型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。加大对约谈养殖场检查频次,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闭。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。

(刘浩单位:湖南农业大学经济学院;彭华 余泽田 董晓霞单位:中国农业科学院农业信息研究所;孙志华单位:全国畜牧总站)

(据《中国畜牧兽医报》)