

Research on Optimization of Manure Treatment Processes and Environmental Impact in Large-Scale Livestock Farms

Yujie Liu

Agricultural and Rural Comprehensive Service Center, Zhufang Township, Nayong County, Bijie, Guizhou, 553312, China

Abstract

The rapid expansion of large-scale livestock farming has not only boosted production capacity but also led to increased manure discharge, intensified non-point source pollution, and odor emission dispersion, making livestock waste treatment a critical environmental governance issue. Manure contains complex components including organic matter, nitrogen-phosphorus nutrients, and microorganisms. Improper treatment can significantly impact soil, water bodies, and atmospheric systems. Establishing a scientific, efficient, and economically viable treatment process system can achieve dual goals of resource utilization and pollution reduction. This study analyzes the characteristics of manure from large-scale farms, typical treatment technologies, process optimization pathways, and environmental impact assessments, aiming to identify comprehensive management models suitable for modern livestock farming. The results demonstrate that through process combinations, multi-stage treatment, and intelligent management, significant improvements in manure reduction and stabilization can be achieved, reducing environmental risks and providing technical support for the green development of large-scale livestock farms.

Keywords

large-scale farming; manure treatment; process optimization; resource utilization; environmental impact

规模化养殖场粪污处理工艺优化及环境影响研究

刘宇杰

纳雍县猪场乡农业农村综合服务中心, 中国·贵州 毕节 553312

摘要

规模化养殖业的快速扩张在推动畜牧业产能提升的同时,也带来了粪污排放量增大、面源污染加剧与臭气排放扩散等环境压力,使养殖废弃物处理问题成为环境治理的重要议题。粪污成分复杂,含有大量有机物、氮磷营养盐及微生物,若处理不当会对土壤、水体与大气系统造成显著影响。通过构建科学、高效、经济可行的处理工艺体系,可实现资源化利用与污染减排的同步目标。本研究围绕规模化养殖场粪污特性、典型处理技术、工艺优化路径与环境影响评价展开分析,旨在寻找适应现代养殖业发展需求的综合治理模式。研究表明,通过工艺组合、多级处理与智能化管理等方式,可显著提升粪污减量与稳定化水平,降低环境风险,为规模化养殖场的绿色发展提供技术支撑。

关键词

规模化养殖; 粪污处理; 工艺优化; 资源化利用; 环境影响

1 引言

规模化养殖业在农业现代化背景下发展迅速,产业结构不断扩大,粪污产量呈持续增长趋势,使环境承载能力承受更大压力。粪污中富含有机质与氮磷元素,可作为农业生产的潜在资源,但未经处理直接排放会导致水体富营养化、土壤盐分累积与温室气体排放增加等问题,影响区域生态系统稳定性。随着环保政策持续强化,粪污治理已从末端处理向全过程控制转变,对技术体系、运行管理与资源回用提出

更高要求。针对不同地区、不同养殖规模及污染特征的差异,构建可推广、可持续的处理工艺体系已成为研究重点。本文从粪污产生特点、工艺机理与环境风险三个维度展开分析,为规模化养殖场的粪污治理提供系统化技术框架与优化思路。

2 规模化养殖场粪污特性及处理需求分析

2.1 粪污成分与理化特性

规模化养殖场排放的粪污具有高含水率、高有机负荷与高营养盐含量等特征,其成分因动物种类、饲料组成及管理方式差异而存在变化。粪污中含有大量挥发性固体、蛋白质、纤维素及脂类物质,使其在厌氧条件下容易产生恶臭气体。氮主要以铵态存在,磷多以颗粒态结合形式存在,与固

【作者简介】刘宇杰(1994-),男,中国贵州毕节人,本科,兽医师,从事畜牧兽医研究。

体部分联系紧密。这些特性决定了粪污处理不仅需要去除有机污染物,还必须控制氮磷排放以减少对环境的负荷。粪污中还含有一定数量的细菌与寄生虫卵,若未处理便直接农用,会对农业生产安全构成威胁,因此消毒与稳定化处理同样不可忽视。

2.2 粪污产生量与排放规律

规模化养殖场粪污排放具有连续性、数量大与波动性强等特征。在集约化管理条件下,日常用水量、清洗方式及季节变化会影响粪污的浓度与总量,使其在时间上呈现周期性的变化。在密闭养殖建筑中,通风系统会带走部分氨气和硫化物,使污染物在空气中扩散,加剧周边居民区的环境压力。对粪污排放规律的掌握有助于设计合理的处理工艺及贮存设施,使系统具有更高的适应性。

2.3 处理目标与治理需求

粪污处理的目标包括稳定化、无害化、减量化与资源化四个方面。在稳定化方面,需要减少固液混合物中不稳定成分,降低恶臭产生速率;在无害化方面,需要通过工艺控制减少病原体数量;减量化旨在降低运输与储存成本;资源化强调将氮磷养分与有机质转化为可利用的肥料或能源。规模化养殖场治理需求呈现多元化趋势,既要求工艺运行稳定,又需要兼顾经济可行性与环保标准,使治理系统具备长期运转能力。

3 典型粪污处理技术及工艺特征

3.1 固液分离技术

固液分离作为养殖场粪污处理流程的起始步骤,对后续工艺的运行稳定性具有重要影响。粪污中固态部分含有高比例有机质和纤维物质,若不提前分离,会导致后续生物处理负荷增加,使系统运行不稳定。机械挤压、螺旋压滤、离心分离和重力沉降等多种技术能够根据颗粒大小与含水量实现不同程度的固液分离。固体部分在含水率降低后,可进入堆肥系统,通过微生物作用进一步稳定化;部分养殖场会将干化后的固体用作基肥或土壤改良材料。液体部分的污染物浓度下降,为厌氧消化和好氧处理提供较低的有机负荷,使生物反应过程更易维持。不同设备在能耗、处理能力和维护需求方面差异显著,需要依据粪污组成、排放量及运营条件进行选择。固液分离效率直接影响系统能耗及整体处理质量,是保障粪污处理链条顺畅运行的关键环节。

3.2 厌氧消化技术

厌氧消化是粪污稳定化与能源回收过程中最具代表性的技术,通过厌氧微生物将复杂有机物降解为甲烷和二氧化碳,使有机污染物得到显著削减。整个过程包括水解、产酸、产乙酸和产甲烷等阶段,每一阶段均依赖微生物之间的动态平衡。温度、pH、进料浓度及搅拌方式等参数会影响微生物活性,使甲烷产量在不同条件下出现明显波动。维持反应器的稳定性对系统运行意义重大,通过控制进料节奏和适当

添加缓冲剂能够稳定酸碱环境,使反应过程平稳进行。沼气作为可再生能源,可用于发电、供热或升级为生物天然气,提高养殖场能源自给水平,减少外部能源依赖。厌氧消化还能显著降低臭气释放,减少固体部分体积,是粪污减量化和资源化利用的核心工艺之一,为后续好氧处理或土地利用提供稳定的前处理条件。

3.3 好氧处理与深度净化工艺

好氧处理在粪污处理链中主要针对厌氧处理后的液体部分,通过曝气促进有机污染物进一步氧化,使氨氮转化为硝酸盐,从而改善水质指数。常见工艺包括生物滤池、氧化塘、活性污泥法和序批式反应器等,可根据养殖场面积及处理规模进行灵活配置。好氧系统对溶解氧要求较高,曝气设备的选择与运行控制对氮素去除具有决定性作用。为了达到更严格的排放或回用标准,需要对好氧出水实施深度净化,如化学沉淀用于磷去除,砂滤或膜处理用于悬浮物削减,氯消毒或紫外消毒用于控制微生物数量。深度处理的加入使粪污处理在生态安全与公共卫生层面达到更高标准,为农业灌溉、景观补水或回用提供可能。为了保持处理效果稳定,系统运行需严格管理曝气量、污泥浓度及碳源添加,使好氧反应处于高效状态。

4 粪污处理工艺优化路径研究

4.1 工艺组合的协同作用

粪污的成分结构复杂,单一处理技术往往难以兼顾减量化、无害化与资源化等多重目标,因此构建协同组合工艺成为提升处理效率的重要路径。固液分离能够快速降低悬浮物含量,为厌氧消化创造更适宜的进料条件,使反应器避免因固体负荷过高而出现酸化或运行不稳的风险。厌氧消化经过充分发酵后,液体部分仍含有一定量氮磷,需要与好氧处理形成互补,使有机物进一步氧化、氨氮转化效率提升,从而达到排放与回用要求。对于氮磷浓度较高的粪污液,可引入化学沉淀、生态湿地或膜处理等深度净化技术,增强营养盐去除效果,并使出水具有农业灌溉或循环利用的潜力。固体部分在厌氧或堆肥稳定化后,可与土地利用方式结合,转化为具有肥效的有机肥料。工艺组合的设计不仅需要关注污染削减效果,也要依据地域环境承载力、气候条件及养殖规模进行调整,使处理链条形成顺畅的物质流动与能量转化路径,实现系统协同效应最大化。

4.2 运行参数与设备性能优化

粪污处理系统的稳定运行受到多项参数控制的影响,运行条件的微小变化都会对微生物活性、反应速率与整体能效造成影响。在厌氧消化过程中,温度保持在中温或高温范围能够维持微生物代谢的持续性,温度波动过大则易导致酸化与产气效率下降。pH值需要维持在适宜区间,使产酸菌与产甲烷菌保持动态平衡;固体浓度过高会影响传质过程,降低消化效率。好氧处理单元对氧供给方式依赖较强,曝气

量、曝气模式及溶解氧浓度对氨氮氧化与有机物降解具有直接影响。同时,设备性能的优化关系到整个系统的能耗水平与运行经济性,包括厌氧罐搅拌系统的效率、曝气设备的氧传质能力、固液分离设备的机械可靠性等。通过定期维护、合理选型与能耗监测,可减少故障发生频率,使设备在长期运行中保持稳定状态。通过优化运行参数与设备性能,粪污处理系统能够在减少能耗的同时提升处理质量,使整体流程逐步向高效、可控方向发展。

4.3 智能化管控技术的引入

粪污处理系统逐渐从传统人工经验管理向数字化、智能化管理模式转变,物联网与自动化监测技术的应用为系统的稳定运行提供可靠支撑。通过在关键节点设置在线监测仪器,可以实时获得COD、氨氮、pH、温度、气体产量与设备能耗等参数,使运行状态具备可视化特征。监测数据在平台端集中处理后,可以通过大数据分析识别异常趋势,提前发现温度下降、酸化倾向或曝气不足等潜在风险,实现主动预警与动态调控。一些智能系统通过算法调整曝气频率、优化沼气利用策略或自动调节固液分离运行参数,使系统运行更加精准高效。智能化管控还能够对能耗结构进行分析,为能效优化提供依据,减少不必要的能量损耗。通过构建智能监控平台,管理人员可以远程查看系统运行状态,提高管理效率,使粪污处理从被动运维向实时调控的方向转变。智能化技术的引入不仅提升了工艺稳定性,也为粪污处理体系的长期可持续运行奠定基础。

5 粪污处理的环境影响及风险评估

5.1 水环境影响评估

未经有效处理的粪污进入自然水体后,会造成溶解氧显著下降,使水体自净能力减弱。粪污中的氮、磷以溶解态或颗粒态形式进入水域,会促进浮游藻类和水生植物的快速繁殖,使水体呈现富营养化趋势。随着藻类在死亡后大量沉降,腐败分解过程会进一步消耗溶解氧,使水体逐渐向厌氧状态转变,黑臭现象随之出现,对生态系统的食物链结构造成冲击。农业灌溉若使用受污染水源,会引起土壤盐分累积、农作物品质下降等连锁效应。针对这些风险,需要对粪污外排实施源头和过程控制,通过建设拦截渠、沉淀塘及生态缓冲带,使污染物在进入水体前得到削减。部分地区推广人工湿地与生物滤床等措施,通过植物吸收与微生物转化作用提升净化效率,使水体环境维持在可恢复状态,为养殖区周边农业与生态系统提供更稳定的保障。

5.2 大气环境影响分析

粪污在储存、发酵和处理环节中会释放氨气、硫化氢、

挥发性有机物以及甲烷等多种气体,其中氨气和硫化氢具有强烈刺激性,会对周边居民健康及空气质量造成直接影响。甲烷作为温室气体的全球增温潜能较高,大量排放会对区域气候变化产生长期影响。粪污在厌氧环境中不稳定分解时,臭气、温室气体与颗粒物可能同步释放,使污染传播距离增大。管理不当时,储存池渗漏或覆盖设施损坏也会引起气体集中排放。通过建设密封式贮存设施、配置沼气回收系统及使用生物滤池等技术,可有效降低气体逸散,使污染物在源头得到截留。完善气体收集与净化体系,对提升养殖场周边的大气质量具有重要意义。

5.3 土壤环境风险控制

粪污中含有氮、磷、有机质及微量元素,以适当方式施用于农田具有明显的改良效果,但施用方式不当会引发土壤环境风险。高浓度粪污在长期施用后可能造成土壤盐分累积,使土壤结构变得紧实,影响作物根系发育。部分养殖场粪污中含有微量重金属,若积累超过安全阈值,会对作物品质与土壤微生物群落结构造成影响。粪污中病原体若未经处理,也可能通过土壤传播,引起农田生态系统安全隐患。为降低这些风险,需要依据土壤类型、作物需肥规律与环境容量制定科学施肥制度,通过分次施用、稀释施用或与化肥配合使用,使土壤保持合理的养分平衡。对施用区域开展周期性监测,评估重金属含量、有机质变化及微生物群落结构,可判断土壤是否出现退化趋势,及时调整施肥策略。通过耕作制度优化与土地轮作,可进一步提升土壤恢复能力,使资源化利用过程更加安全可靠。

6 结语

规模化养殖场粪污处理是环境治理与农业可持续发展的核心环节,处理工艺的选择与优化对污染控制效果具有决定性意义。通过系统分析粪污特性、典型工艺及其协同作用,可构建适应不同规模养殖场需求的综合治理体系。工艺优化应兼顾稳定性、经济性与资源化潜力,使粪污处理从单一减排向循环利用转变。未来的粪污治理将更加依赖智能监测、精准控制与多工艺协同发展,使粪污处理系统在减少环境负荷的同时,实现能源与养分的可持续利用,为养殖业绿色发展提供持久动力。

参考文献

- [1] 陈达年.甘肃省规模化养殖场粪污处理技术应用效果与优化建议[J].畜牧业环境,2025,(18):25-27.
- [2] 魏敦满.规模化养猪场粪污处理工艺优化及运行效果[J].中国沼气,2020,38(03):65-71.
- [3] 张峰.规模化养殖场粪污高效处理与资源化利用策略[J].畜牧业环境,2025,(10):42-43.