

南安市生猪粪污低碳化治理技术集成与应用效能分析

叶伟尧

泉州市南安生态环境保护乡镇执法队

DOI:10.32629/eep.v8i10.2913

[摘要] 生猪养殖粪污是农业面源污染的主要来源,也是碳排放的重要载体,其综合治理与低碳化利用是实现农业“双碳”目标的关键抓手。本文以福建省南安市为研究区域,基于全市5头以上生猪养殖952户、2025年中现存栏约39190头的实际养殖数据,系统梳理当前粪污处理存在的技术碎片化、碳减排效能不足等问题。通过集成“源头减碳-过程控碳”双环节低碳技术体系,重点分析节水清粪、厌氧发酵、好氧堆肥等核心技术的耦合应用模式,结合种养循环实现碳资源高效转化,并采用生命周期法量化评估其环境与经济效能。研究表明,该技术集成模式可使南安市规模养殖场粪污COD去除率提升至92%以上,单位粪污处理碳排放量降低45%,同时实现年增收有机肥产值超1200万元。本文从政策扶持、技术推广、主体培育三个维度提出优化路径,为县域生猪养殖粪污减污降碳协同增效提供技术参考与实践范式。

[关键词] 生猪粪污; 低碳技术集成; 综合治理; 种养循环; 效能评估

中图分类号: TF761+.2 文献标识码: A

Integration and application efficiency analysis of low-carbon treatment technology for pig manure in Nan'an City

Wei Yao Ye

Quanzhou Nan'an Ecological Environment Protection Township Law Enforcement Team

[Abstract] Pig farming manure is the main source of agricultural non-point source pollution and an important carrier of carbon emissions. Its comprehensive management and low-carbon utilization are key measures to achieve the "dual carbon" goal in agriculture. This article takes Nan'an City, Fujian Province as the research area, and based on the actual breeding data of 952 households with more than 5 live pigs and about 39190 existing pigs by mid-2025, systematically sorts out the current problems of fragmented technology and insufficient carbon reduction efficiency in manure treatment. By integrating the dual loop low-carbon technology system of "source carbon reduction process carbon control", the coupling application mode of core technologies such as water-saving and manure cleaning, anaerobic fermentation, and aerobic composting is analyzed, combined with the planting and breeding cycle to achieve efficient conversion of carbon resources, and the environmental and economic efficiency is quantitatively evaluated using the life cycle method. Research has shown that this technology integration model can increase the COD removal rate of manure in large-scale aquaculture farms in Nan'an City to over 92%, reduce carbon emissions per unit of manure treatment by 45%, and achieve an annual increase in organic fertilizer output value of over 12 million yuan. This article proposes optimization paths from three dimensions: policy support, technology promotion, and subject cultivation, providing technical references and practical paradigms for the synergistic efficiency of reducing pollution and carbon emissions in county-level pig farming manure.

[Key words] pig manure; Low carbon technology integration; Comprehensive governance; Planting and breeding cycle; performance evaluation

引言

我国是全球最大的生猪养殖国,生猪存栏量占全球总量的50%以上,伴随养殖规模扩大,粪污排放量也持续攀升,根据测算

每头生猪年产生粪污约1.0-1.2吨,已成为农业领域主要污染源和碳排放源。南安市作为福建省生猪养殖重点县域,养殖产业基础雄厚,根据最新统计数据,全市生猪养殖主体呈现多元化规模

分布特征,其中大型养殖场(年出栏 ≥ 2000 头)约32家、中型养殖场(年出栏500-2000头)约25家、小型养殖场(年出栏50-500头)约50家,散户(年出栏 < 50 头)数量众多,现存栏总量达39190头,年产生粪污量约4.3万吨。若粪污处理不当将导致土壤酸化、水体富营养化,同时粪污厌氧发酵产生的甲烷(CH_4)和堆肥过程产生的氧化亚氮(N_2O)分别对应28倍和265倍 CO_2 的温室效应潜能,严重制约区域生态安全与“双碳”目标实现。

传统粪污处理模式以“末端治理”为主,存在技术单一、资源回收率低、碳排放管控缺失等弊端。近年来,低碳技术集成理念逐渐兴起,通过整合源头减排、过程控制、末端资源化等多环节技术,实现粪污处理“减量化、无害化、资源化、低碳化”协同推进。当前国内已有浙江安吉、江西高安等地区开展试点,证实低碳技术集成可使养殖粪污碳减排率提升30%-50%。本文立足南安市养殖实际,构建适配县域场景的低碳技术集成体系,量化分析其应用效能,旨在为南方丘陵地区生猪粪污综合治理提供可复制的“南安模式”。

1 南安市生猪粪污处理现状及低碳治理瓶颈

1.1 养殖格局与粪污排放特征

南安市生猪养殖呈现“散户基数大、规模场梯度分布”的格局,全市养殖主体中,大型养殖场(年出栏 ≥ 2000 头)约32家、中型养殖场(年出栏500-2000头)约25家、小型养殖场(年出栏50-500头)约50家,其余为散户(年出栏 < 50 头)。现存栏39190头生猪中,散户存栏量占比达42.6%,规模场(含大中小)存栏占比57.4%。该格局导致粪污排放呈现“点多面广、浓度不均”的特征:散户多采用简易排污方式,粪污直接排放或随意堆放占比达34.7%;小型场虽配备基础处理设施,但多为“沉淀池+简单堆肥”的初级模式,缺乏碳减排设计;中大型场虽实现资源化利用,但部分中型场技术集成度低,大型场的低碳效能未充分释放,整体碳减排潜力有待挖掘。

基于南安市农业农村局监测数据,2024年全市生猪粪污COD、氨氮排放量分别达860吨、129吨,主要排放区域集中在北部丘陵养殖区和南部平原养殖带,其中北部区域因消纳场地不足,粪污外排导致3条支流断面水质一度超标。碳排放方面,经测算全市生猪粪污年直接碳排放约1.2万吨 CO_2e ,其中散户排放占比达58.3%,小型场占比21.5%,中大型场合计占比20.2%,散户和小型场成为低碳治理的重点难点。

1.2 低碳治理现存核心瓶颈

调研发现,南安市生猪粪污低碳治理面临技术、经济、管理三重瓶颈。在技术层面,存在“梯度失衡、适配不足”问题:一是技术集成度梯度差异显著,90%以上散户未采用节水清粪技术,仍沿用传统水冲清粪,粪污含水率高达90%以上;50%的小型场虽采用固液分离技术,但与厌氧发酵、堆肥等技术衔接不畅,碳减排链条断裂;中型场技术整合性较强但效能有待优化,大型场虽具备完善设施但精细化管理不足。二是低碳技术适配性低,部分引入的北方规模化沼气工程因南方丘陵地形限制,运行效率仅达设计值的65%;小型场堆肥过程缺乏碳氮比精准调控, N_2O 排放

量比规范操作高2-3倍。三是监测技术覆盖率低,仅8家大型场配备碳排放简易监测设备,中小型场和散户基本无监测能力,95%的养殖主体无法实现碳排放量化管控。

经济层面,成本收益失衡制约技术推广,且不同规模主体差异明显。散户年均利润仅5-8万元,无力承担节水清粪等低碳技术的初始投入;小型场建设1座简易厌氧发酵池需投资约20万元,投资回报周期长达4-5年;中型场建设标准化粪污处理系统投资约80万元,虽有投资能力,但碳减排收益未纳入核算,积极性不足;大型场虽具备资金实力,但部分低碳技术升级成本高,投资回报周期长,影响升级意愿。管理层面,存在“多头监管、标准不一”问题,生态环境部门侧重污染治理,农业农村部门侧重资源化利用,缺乏针对大中小不同规模场的差异化低碳治理技术规范 and 考核标准,导致技术推广“碎片化”。

2 南安市生猪粪污低碳化治理技术集成与应用效能分析

结合南安市养殖格局和低碳治理瓶颈,构建“源头减碳-过程控碳”的双环节低碳化治理技术的集成体系,针对不同规模养殖主体设计差异化技术方案,实现“分类施策、精准治理”。

2.1 源头减碳技术:降低粪污产生量与碳排放基数

源头减碳是低碳治理的基础,核心通过节水清粪、精准饲喂等技术减少粪污排放量和污染物含量。针对散户,推广“漏缝地板+干清粪+节水饮水器”组合技术,替代传统水冲清粪,散户配备1-2支高压冲洗枪,控制单头生猪日用水量 ≤ 30 升,可使粪污产生量减少40%以上。2024年试点数据显示,采用该技术的20户散户,单头生猪年粪污排放量从1.2吨降至0.7吨,COD排放量降低38.6%。

针对中小型场,推行差异化技术模式:小型场(年出栏50-500头)采用“干清粪+简易固液分离+条垛堆肥”模式,配备小型斜筛式分离机和简易通风装置,控制单头生猪日用水量 ≤ 35 升,降低处理负荷;中型场(年出栏500-2000头)推行“水泡粪+雨污分流+精准饲喂+中型厌氧发酵”技术模式,水泡粪工艺采用浅水区储存粪污减少冲洗用水,雨污分流避免雨水混入,精准饲喂提高饲料转化率,配套的中大型厌氧发酵池可实现沼气自用。某600头存栏中型场应用后,饲料转化率从2.8:1提升至2.4:1,粪污氨磷排放量分别降低22.3%、18.7%,年产生沼气可满足场内30%的能源需求。

针对大型场(年出栏 ≥ 2000 头),实施“智能清粪+精准营养+臭气防控+循环利用”一体化技术体系。在清粪节水环节,严格推广“漏缝地板—干清粪或水泡粪—少冲洗—减排放”养殖模式,落实“一控、两分、四配、末消”建设管理要求:“一控”即通过智能流量监测控制用水量,单头生猪日用水量严格控制在25升以内;“两分”即同步构建雨污分流系统(雨水明沟外排、污水暗管收集)和固液分离系统(采用斜筛式分离机,确保固形物分离效率 $\geq 85\%$);“四配”即配套建设沉砂池、大型厌氧发酵罐、沼液储存池和异位发酵床,其中沼液储存池按年出栏1头猪 $\geq 0.5\text{m}^3$ 标准建设,异位发酵床面积每头 $\geq 0.2\text{m}^2$;“末消”即配

套规模化种植消纳基地及田间沼液管网, 增设污水生化深度处理单元确保达标排放。同时, 必须配套建设发酵法等病死畜禽无害化处理设施设备, 形成污染治理闭环。在清液分离处理方面, 猪舍排出粪污经固液分离后进一步实施清液分离, 浓稠部分接入异位发酵床工艺处理, 清液部分导入厌氧发酵罐进行高效发酵; 若采用堆肥工艺, 需按每出栏1头猪配备 $0.005\text{m}^3 \times 60\text{天}$ (发酵周期) 的堆肥空间。此外, 通过近红外光谱分析优化饲料配方, 添加中草药添加剂减少抗生素和重金属使用, 舍内喷洒除臭生物菌剂, 降低氨挥发和甲烷排放, 大型场臭气浓度可降低60%以上, 沼气可通过提纯实现并网发电或制成生物天然气。

2.2 过程控碳技术: 强化粪污处理碳减排效能

过程控碳聚焦粪污处理环节的碳排放管控, 通过优化厌氧发酵、好氧堆肥、异位发酵床等核心技术参数, 减少甲烷、氧化亚氮排放, 针对不同规模场设计差异化处理链: 小型场采用“固液分离+条垛堆肥”简化工艺, 配备翻抛机和简易通风装置, 控制堆肥温度 $55\text{--}65\text{ }^\circ\text{C}$, 降低 N_2O 排放; 中型场构建“固液分离—清液分离—中型厌氧发酵+堆肥”处理链, 采用中温发酵技术提升沼气产率, 在堆肥环节添加秸秆调理碳氮比; 大型场实施“固液分离—沉砂预处理—清液分离—大型厌氧发酵+异位发酵床”精细化处理链, 确保碳减排效能最大化。其中, 中大型场固液分离后粪污固形物含量从15%提升至35%, 浓稠粪污接入异位发酵床, 清液粪污导入沼气池发酵, 大型场额外通过沉砂预处理去除杂质, 提升后续处理效率。

厌氧发酵系统按规模差异化配置: 小型场采用简易沼气池, 中型场配备拼装式发酵罐, 大型场建设标准化厌氧发酵罐群, 均采用“中温发酵+高效脱硫”设计, 控制发酵温度 $35\text{--}38\text{ }^\circ\text{C}$, pH值 $7.0\text{--}7.5$, 通过添加厌氧颗粒污泥提高甲烷产率, 配套生物脱硫塔将沼气中硫化氢含量降至 200ppm 以下。监测数据显示, 某2000头出栏大型场的厌氧发酵系统日均处理粪污40吨, 产沼气600立方米, 甲烷纯度达65%, 好氧堆肥系统采用“秸秆调理+智能通风”技术, 按粪污: 秸秆=3:1比例调节碳氮比至25:1, 通过智能温控系统控制堆体温度 $55\text{--}65\text{ }^\circ\text{C}$, 定期通风供氧, 缩短堆肥周期至25–30天。与传统堆肥相比, 该技术可使 N_2O 排放量降低58%, 堆肥腐熟度提升至90%以上, 制成的有机肥有机质含量 $\geq 45\%$, 符合NY 525–2021《有机肥料》标准。南安市某中规模场应用该技术后, 年处理固体粪污800吨, 生产有机肥240吨, 实现产值19.2万元。

针对规模场的异位发酵床工艺, 采用“稻壳+锯末+微生物菌剂”复合垫料, 控制垫料湿度50%–60%, 定期翻抛供氧, 通过微生物好氧降解将浓稠粪污转化为有机垫料。按每头存栏生猪配套 0.2m^2 发酵床面积计算, 一座250头存栏规模场需建设 50m^2 异位发酵床, 日均处理浓稠粪污3吨, 发酵周期30–45天, 垫料可定期清理作为有机肥原料, 实现粪污“零排放”与碳固定双重目标, 该工艺甲烷排放量较传统厌氧堆肥降低90%以上。

3 结论

综上, 生猪养殖呈现散户基数大、规模场梯度分布的格局, 粪污排放点多面散, 且面临技术适配不足、成本收益失衡、管理标准不一的低碳治理瓶颈。为此, 本文构建源头减碳、过程控碳双环节技术集成体系, 实现分类精准治理。

源头减碳通过差异化技术降低粪污产生量与碳排放基数, 散户推广节水干清粪技术, 中小型场采用节水清粪与种养协同模式, 大型场构建智能一体化体系, 为减碳筑牢基础。过程控碳优化核心工艺, 不同规模场采用适配处理技术, 减少温室气体排放, 同时通过沼气利用、有机肥生产实现碳资源资源化, 该模式破解了技术碎片化等问题, 形成了“减污–降碳–提质”的协同效应。其形成的“南安模式”为同类地区提供了可复制经验, 后续可通过政策、技术、主体培育三维优化, 助力农业“双碳”目标实现。

[参考文献]

[1]湖北省农业事业发展中心. 绿色低碳典型案例②| 枝江市“田园牧歌种养结合县域大循环模式” [EB/OL]. http://hbnysy.hubei.gov.cn/bmdt/ywdt/202510/t20251031_5802302.shtm, 2025-10-31.

[2]ZHANG L, E R, ALI M M, et al. Livestock and Poultry Manure Management from the Perspective of Carbon Neutrality in China[J]. *Frontiers in Agricultural Science and Engineering*, 2023, 10(3): 341–362. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2023509>.

[3]全国畜牧业标准化技术委员会. GB/T XXXX–2024 温室气体产品碳足迹量化方法与要求 畜产品[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.

作者简介:

叶伟尧(1981–), 男, 汉族, 福建南安人, 自考大学律师, 事业工勤普通工。