DOI:10.13300/j.cnki.cn42-1648/s.2026.10.030

云南山区规模化猪场粪污全量资源化利用模式研究

董应光[1],毛玉严[1],杨立东[1],余赵民[2],杨志忠[2],李朝震[2],赵朝[1*]
1.施甸县何元乡综合保障和技术服务中心,云南施甸 678201;2.施甸县畜牧兽医中心,云南施甸 678200

摘要 [目的]针对滇西山区因土地碎片化、运输成本高导致的种养脱节问题,探索1种适配山地特征的粪污全量化资源化利用模式,为山区规模化猪场种养循环提供技术参考。[方法]2025年12月—2026年4月,以云南省施甸县某6 000头基础母猪规模化猪场为研究对象,共获得有效监测记录180组、粪污样本120份,系统分析了“固液分离—UASB厌氧发酵—二级A/O生化处理—高温生物降解”集成工艺、“固定管网+罐车组合运输+地形系数修正”的山地适配模式,以及“企业+合作社+农户”利益联结机制。[结果]化学需氧量(COD)进水均值18 200 mg/L,出水均值182 mg/L,去除率达99.0%,尾水指标符合GB 5084—2021《农田灌溉水质标准》要求;固废减量率63%;沼液替代化肥实现化肥减量42%,折合节约种植成本750元/hm^2;日均产气1 185 m^3,沼气替代燃煤年减排二氧化碳(CO_2)562 t。在碳价50元/t、有机肥价格下降20%、电费上涨15%的背景下,项目内部收益率(IRR)仍可维持在6.2%,高于行业基准收益率。与传统模式相比,单批次粪污处理时间缩短43.3%,处理成本降低45.7%,COD去除率提升21百分点($P<0.05$)。[结论]该模式初步实现了“能源化减碳+资源化还田”双重路径,技术特征与CCER方法学(CCER-15-001-V01)要求一致,经盈亏平衡分析,项目处理负荷降至设计能力的62%时仍可保本运行,抗风险能力较强。建议在存栏规模较大、具备消纳土地和合作社基础的山区规模化猪场优先推广。

关键词 山区种养循环;粪污资源化利用;沼气工程;碳减排;碳交易;资源化还田

The model for full-scale utilization of manure resource in large-scale pig farms in mountainous areas in Yunnan Province

Dong Yingguang[1], Mao Yuyan[1], Yang Lidong[1], Yu Zhaomin[2], Yang Zhizhong[2], Li Chaozhen[2], Zhao Chao[1*]
1.Heyuan Township Comprehensive Support and Technology Service Center, Shidian County, Yunnan Province, Shidian 678201, China; 2.Shidian County Animal Husbandry and Veterinary Medicine Center, Yunnan Province, Shidian 678200, China

Abstract [Objectives]A mountainous areas-adapted model for the full-scale utilization of manure resource was established to solve the problems of the disconnection between planting and farming in the mountainous areas of western Yunnan Province due to the fragmentation of land and the high costs of transportation to provide technical references for the cycling of planting and farming in large-scale pig farms in mountainous areas.[Methods]180 valid records of monitoring and 120 samples of manure were obtained from continuously

收稿日期:2026-05-09
作者简介:董应光,男,1972年生,高级兽医师。*通信作者:赵朝,男,1980年生,高级畜牧师。

monitoring a large-scale pig farm with 6 000 sows in Shidian County, Yunnan Province from December 2025 to April 2026. The integrated process of "solid-liquid separation-up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) anaerobic digestion - secondary anoxic/oxic (A/O) biochemical treatment - high-temperature biodegradation", the mountain-adapted model of "fixed pipeline + tanker combined transport + terrain coefficient correction", and the "enterprise + cooperative + farmer" benefit-linked mechanism was systematically analyzed.[Results]The average chemical oxygen demand (COD) of the influent and effluent was18 200 mg/L and 182 mg/L, achieving a removal rate of 99.0% with a standard deviation (SD) of 1.2% and the index of tail water treated meeting the standard GB 5084—2021 (Farmland Irrigation Water Quality Standard). The reduction rate of solid waste reached 63%. The substitution of chemical fertilizers with biogas slurry achieved a 42% reduction in fertilizer usage, equivalent to a savings of 750 yuan/hm² in the costs of planting. The average daily production of biogas was 1,185 m³, and replacing coal with biogas reduced carbon dioxide (CO_2) emissions by 562 t annually. The results of sensitivity analysis showed that the internal rate of return (IRR) of the project maintained at 6.2%, higher than the industry benchmark rate of return against the backdrop of a carbon price of 50 yuan/t, a 20% decrease in the price of organic fertilizer, and a 15% increase in electricity bills. Compared with the traditional models, the processing time for a single batch of manure was reduced by 43.3%, the cost of treatment was reduced by 45.7%, and the removal rate of COD increased by 21%($P<0.05$).[Conclusions]The model established has preliminarily achieved the dual pathway of "energy-based carbon reduction + resource-based return to the field". Its technical characteristics are consistent with the requirements of the Methodology for Greenhouse Gas Voluntary Emission Reduction Projects - Biogas Recovery and Utilization Project for Manure from Large-scale Pig Farms (CCER-15-001-V01). The project can still operate at break even when the load of processing is reduced to 62% of the capacity designed according to the break-even analysis, indicating that the resistance to risk is strong. It is recommended to prioritize the promotion of the model established in large-scale pig farms in mountainous areas with a relatively large sow inventory, sufficient land for nutrient assimilation, and a cooperative organizational foundation.

Keywords cycling of planting and farming in mountainous areas; utilization of manure resource; biogas project; reduction of carbon emission; carbon trading; resource-based return to field

随着我国畜牧业规模化、集约化程度不断提高，畜禽粪污年产生量已超过3.8×10⁹ t，其无害化处理与全量化资源化利用已成为制约产业可持续发展的核心瓶颈。2025年12月发布的《温室气体自愿减排项目方法学 规模化猪场粪污沼气回收利用工程》（CCER-15-001-V01）为养殖粪污低碳资源化利用提供了重要的政策支撑[1]。然而，滇西山区受土地碎片化、运输成本高及产业结构单一等因素制约，规模化养殖粪污“集中产生、分散消纳”的矛盾尤为突出，现有种养循环模式在工艺集成度、粪污全量化处理及碳减排衔接方面仍有提升空间[2-4]。

为系统性破解养殖与种植脱节难题，农业农村部联合国家发展改革委印发的《“十四五”全国畜禽粪肥利用种养结合建设规划》明确提出，坚持种养结合原则，指导各地强化“以地定畜”，推动畜禽粪肥就地消纳、就近还田，重点在畜禽养殖大县和粮食主产区完善粪污处理利用设施，培育粪肥还田社会化服务组织[5-6]。该规划为山区猪场突破资源环境约束、构建种养循环体系提供了政策框架和行动指南。国内山区猪场粪污处理已有贵州思南“固液分离+简单厌氧”、云南保山“沼气池+氧化塘”等模式[3,7]，但普遍存在工艺集成度不高、病死畜处理不闭环、碳交易衔接不足等问题。

本研究以云南省施甸县某6 000头基础母猪规模化猪场（以下简称“案例猪场”）为对象，分析“固液分离—升流式厌氧污泥床（UASB）厌氧发酵—二级缺氧/好氧（A/O）生化处理—高温生物降解”的成套工艺，并在山区运输中探索“固定管网+罐车组合运输”与“地形分级折算系数”的协同应用，同时构建“企业+合作社+农户”三方联动机制，开展敏感性

分析和盈亏平衡分析，以期为西南山区生猪养殖绿色低碳转型提供实践参考。

1　材料与方法

1.1　研究区域与对象

案例猪场养殖基地位于云南省保山市施甸县何元乡大坡脚村。该场设计存栏基础母猪 6 000 头，配套公猪 150 头，设计每头母猪年提供断奶仔猪（PSY）为 30 头，年可供仔猪 18 万头。项目于 2025 年 11 月建成投产，本研究监测时段为 2025 年 12 月 1 日至 2026 年 4 月 30 日，为期 5 个月。在此期间，猪群平均存栏基础母猪 5 950 头，日均粪污产生量约 185 t（含冲洗水）。监测计划涵盖沼气产气量、有机肥产量、尾水水质、沼液还田量等核心指标，监测频率为：水质参数每日 1 次，产气量连续计量，有机肥产量按每周统计。

1.2　研究方法

本研究遵循“源头减量、过程控制、末端利用”原则[8]，采用实地连续监测、工程参数记录、对照试验与类比分析相结合的方法。粪污全量资源化处理工艺流程见图 1。猪舍粪污经密闭管道收集后，依次进入固液分离、UASB 厌氧发酵、二级 A/O 生化处理、混凝沉淀、臭氧消毒和沼液还田单元；固液分离后的粪渣进入好氧发酵制有机肥，病死畜禽进入高温生物降解单元。

集成工艺设计参考了相关工程实例和研究进展[9-13]；地形系数修正参照《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》[14]，引入分级折算系数：坡度 5°～15° 区域按 0.85 折算有效消纳面积，15°～25° 区域按 0.70 折算，大于 25° 区域不纳入。

种养耦合机制和氮磷循环测算参考相关研究[15-16]；环境效益核算依据 CCER-15-001-V01 方法学。

氮（磷）循环利用率依据物质平衡原理测算，计算公式为：氮（磷）循环利用率=还田氮（磷）总量/粪污产出氮（磷）总量×100%。

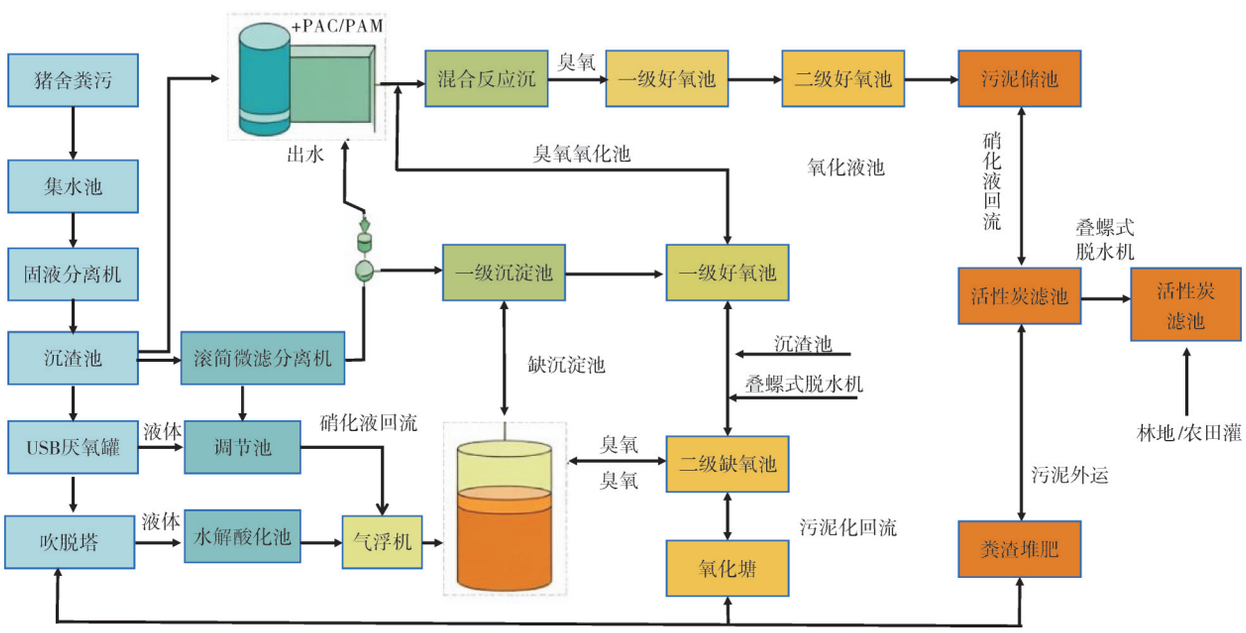


图 1　粪污全量资源化处理工艺流程

1）对粪污处理全工艺流程进行每日运行参数记录。采集进水、各处理单元出水、最终尾水水样共 120 份，按照《水和废水监测分析方法》（第 4 版）测定 COD、氨氮、总磷等指标。

2）选择滇西地区 3 个同等规模但采用传统种养分离模式（固液分离+简单厌氧处理）的猪场作为对照。对比处理效率、成本和环境效益；对照场选取遵循"同质性最大化"原则，4 项关键指标（存栏规模、海拔、年均温、监测频率）变异系数均＜10%，满足对照试验设计要求。选取该 3 个猪场的依据为：①存栏规模与本案例猪场相近（基础母猪为 5 000～6 000 头）；②均位于滇西山区，地形、气候条件相似（海拔 1 500～1 800 m，年均温 14～16 ℃）；③粪污处理方式均为“固液分离+简单厌氧”或无处理直接还田，无 UASB、二级 A/O 等深度处理工艺；④均有连续 2 年以上的运行记录，数据可获取。

为确保可比性，对照场与本案例猪场在同一监测期（2025年12月—2026年4月）内运行，并采用相同的监测频率（每日1次）。各场基本特征见相似性矩阵（表1）。剖析“企业+合作社+农户”种养耦合利益联结机制的运行逻辑，并归纳该模式在山区推广的适用条件。

表1　对照猪场与本案例猪场相似性矩阵

指标	对照场A	对照场B	对照场C	本案例猪场
基础母猪存栏/头	5 600	5 200	5 900	5 950
海拔/m	1 680	1 720	1 590	1 650
年均温/℃	15.1	14.8	15.5	15.2
粪污处理方式	固液分离+简单厌氧	固液分离+简单厌氧	简单厌氧	UASB+二级A/O+高温降解
监测时段/（年-月）	2025-12—2026-04	2025-12—2026-04	2025-12—2026-04	2025-12—2026-04
监测频率/（次/d）	1	1	1	1

1.3　数据统计分析

采用SPSS 26.0进行统计分析，组间比较采用独立样本t检验。

2　结果与分析

2.1　粪污全量资源化处理效果

1）污水处理工艺。猪舍粪污经密闭管道输送至集水池，经格栅、机械固液分离（筛网间隙0.5 mm）实现干湿分流。分离后的污水进入水解酸化池，实测进水COD质量浓度范围为16 500～21 200 mg/L，均值为18 200 mg/L（n=180）。污水依次进入12组UASB厌氧罐（单罐有效容积为150 m³，总容积为1 800 m³），水力停留时间（HRT）控制为8.5～9.5 d，中温发酵（35±1 ℃），在复合微生物菌剂作用下实现有机物降解。连续监测显示，日均产气量为1 185 m³（范围1 020～1 410 m³），甲烷体积分数为62%～68%。厌氧出水经二级A/O生化处理、混凝沉淀及臭氧消毒后，出水COD质量浓度均值182 mg/L（范围138～215 mg/L），去除率99.0%（SD=1.2%），氨氮去除率96.5%，尾水全面达到GB 5084—2021《农田灌溉水质标准》，沼液稀释后还田利用。各单元主要设计及运行参数见表2。

表2　粪污处理主要工艺参数与运行实测值

单元	设计参数	实测值（n=180）	达标情况	检测方法
进水COD	15 000～20 000 mg/L	（18 200±1 850）mg/L	符合	HJ 828—2017《水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法》
UASB HRT	8～10 d	8.9±0.4 d	符合	流量计+有效容积计算
UASB温度	35±2 ℃	35.2±0.8 ℃	符合	在线温度传感器
日产气量	1 246 m³	1 185±112 m³	达设计值的95.1%	气体流量计
出水COD	≤200 mg/L	182±19 mg/L	达标	HJ 828—2017《水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法》
出水氨氮	≤30 mg/L	（25±3.5）mg/L	达标	HJ 535—2009《水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法》

2）固废处理工艺。固液分离后的粪渣（含水率约65%）送入好氧发酵车间，经20 d好氧发酵加工为固态有机肥对外销售；病死畜禽经密闭破碎机粉碎后添加专用益生菌（枯草芽孢杆菌+地衣芽孢杆菌，接种量0.5%），通过高温生物降解设备（温度120～150 ℃，处理时间18 h）实现无害化处置。连续运行5个月统计：固体废弃物总减量率达63%（进料总量约32 t，残余约11.8 t），抗生素（土霉素、四环素）降解率实测为88%～93%，病原微生物（大肠杆菌、沙门氏菌）杀灭率≥99.9%（平板计数法）。病死畜高温生物降解处理原理示意图见图2。

3）山区适配性设计。该模式采用了“固定管网+罐车”的组合运输方式。集中连片种植区铺设总长9.2 km的灌溉主管网与支管网，实现水肥一体化灌溉；分散地块采用罐车拉运，粪污运输半径设计控制在≤5 km。地形系数修正按本文“1.2”方法执行。经修正，项目与周边合作社、种植大户签订的750 hm²消纳协议等效折算为实际有效消纳用地约

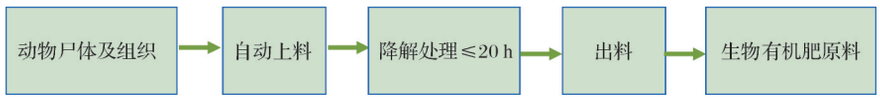


图2　病死畜高温生物降解处理原理示意图

520 hm²。实际运行中，管网覆盖面积约280 hm²，罐车补充覆盖440 hm²（含多次转运），能够基本满足粪污全量还田需求。

2.2　种养耦合利益联结机制

项目建立了“企业+合作社+农户”三方协同利益联结机制。2025年12月—2026年4月，企业免费提供沼液约3.2万m³，以优惠价（300元/t）供应固态有机肥420 t；合作社组织农户还田面积累计520 hm²，农户化肥每667 m²均成本从180元降至105元（即从2 700元/hm²降至1 575元/hm²）。反向循环中，合作社共回收玉米秸秆2 100 t，加工青贮饲料1 600 t，企业外购饲料成本降低约45万元。测算显示，系统氮素循环利用率达73%，磷素利用率达68%。

2.3　应用效果对比

将本模式与3个传统种养分离模式猪场（平均存栏基础母猪5 800头）的平均值进行对比，结果如表3所示。统计检验显示，除粪污直排风险为定性指标外，其余定量指标差异均达到显著水平（$P<0.05$）。

表3　传统模式与本模式的应用效果对比

测试指标	传统模式（n=3场）	本模式（n=180 d）
单批次处理100 t粪污时间/h	6.0±0.5	3.4±0.3
处理成本/（元/t）	35±4	19±2
人力投入/（人·次/批）	5±0	2±0
化肥替代率/%	5±3	42±6
COD去除率/%	78±5	99.0±1.2
粪污直排事件/（次/年）	2～4	0
年碳减排量/t CO_2	未统计	562±52

与传统模式相比，本模式单批次处理100 t粪污时间缩短43.3%，处理成本降低45.7%，人力投入减少60%，化肥替代率提高37百分点，COD去除率提高21百分点；粪污直排事件由2～4次/年降为0，年碳减排量为（562±52）t CO_2。

2.4　效益分析

1）经济影响。运行5个月统计如下：沼液替代化肥在300 hm²种植区内节约成本22.5万元（折合750元/hm²）；固态有机肥外销420 t，收入12.6万元；沼气替代燃煤节约能源成本9.8万元。以上3项合计44.9万元，据此推算年化综合效益约为108万元（基于5个月数据线性推算，未考虑冬季效率波动）。若考虑后续纳入CCER碳汇交易，参照方法学CCER-15-001-V01及本项目减排水平（每年562 t CO_2），假设碳汇价格为80元/t，则每年可新增碳汇收益约4.5万元。

敏感性分析如下：设定碳价50元/t（保守情景）、有机肥价格下降20%、电费上涨15%的三重不利条件，经测算，项目IRR仍可维持在6.2%，高于行业基准收益率5%，表明模式具备较强的抗风险能力（表4）。

表4　项目敏感性分析结果

情景	碳价/（元/t）	有机肥价格变动/%	电费变动/%	IRR/%	评价
基准情景	80	0	0	8.7	可行
碳价下降	50	0	0	7.8	可行
有机肥降价	80	−20	0	7.5	可行
电费上涨	80	0	15	8.1	可行
三重不利	50	−20	15	6.2	仍可行

盈亏平衡分析如下：以年运行成本145万元（折旧85万元+运行费60万元）为固定成本基准，单位处理收益19元/t，计算得项目保本运行所需最低处理量为113 t/d，相当于设计处理能力（185 t/d）的61.1%，即处理负荷降至设计能力的62%时仍可保本运行。

2）环境效益。养殖尾水达标后专业化还田，监测期间未发生1次直排事件。固体废弃物经高温降解后减量率63%，病原微生物杀灭率≥99.9%。沼气替代燃煤供热，年减排CO_2 562 t（依照CCER-15-001-V01方法学详细计算：基准线排放包括粪便管理系统甲烷排放，采用方法学默认值，粪便最大甲烷产生能力B_0=0.29 m³ CH_4/kg，甲烷转化因子MCF按滇西气候取0.07；项目排放计及沼气火炬燃烧不完全排放，逃逸率取0.1%；同时计算替代电网和燃煤的排放因子，最终核定年减排量为562 t CO_2当量。冬季中温发酵需消耗部分沼气增温，实测加热

能耗约占日产气量的8%，相应扣减后净减排量依然稳定在520 t以上。计算依据：日均产气1 185 m³，年运行365 d，年总产气量约432 525 m³。按每立方米沼气替代0.5 kg标准煤、每千克标准煤燃烧排放2.6 kg CO_2计算。沼液还田替代化肥，同步年减少化肥氮施用量约12.6 t，磷约3.2 t。

2.5 疫病风险防控

通过本模式实现了粪污的全量、无害化处理，从源头切断了病原体传播链。监测期内，养殖场周边土壤中致病性大肠杆菌检出率从22%下降至2%（$P<0.01$），沙门氏菌检出率从15%下降至1%（$P<0.01$），表明该模式可有效降低疫病流行风险。

2.6 经济可行性补充分析

本案例中，猪场粪污处理及资源化系统总投资约1 350万元（含设备、管网和施工），设备折旧年限按15年、管网按20年计，年均折旧约85万元；年运行维护成本（人工、电费、菌剂、维修）约60万元。以沼液替代化肥、有机肥销售、沼气替代能源及潜在CCER收益合计，年化综合收益约112.5万元。取折现率6%，项目运行周期15年，计算得净现值NPV约298万元，内部收益率IRR约为8.7%，高于行业基准收益率。该分析进一步印证了模式在经济上的可持续性，但需关注有机肥市场价格波动。推广条件清单见表5。

表5 山区规模化猪场粪污资源化利用模式推广条件清单

序号	条件类别	具体要求	备注
1	存栏规模	基础母猪≥3 000头	保证粪污产生量足以支撑设施运行
2	消纳土地	折算后有效消纳用地≥200 hm^2	按地形系数修正后的实际面积
3	运输半径	≤5 km	管网+罐车组合覆盖
4	组织基础	具备合作社或社会化服务组织	负责资源化还田组织与秸秆回收
5	地形条件	坡度<25°区域占比≥60%	>25°区域不纳入消纳面积
6	气候条件	年均温≥12 ℃	保证UASB中温发酵效率
7	政策环境	纳入地方畜禽粪污治理规划	便于申请项目补贴和CCER核证

3 讨 论

3.1 技术优势与集成创新

钟子楠等[16]关于低温厌氧发酵中适当延长HRT可维持产甲烷菌活性的结论，支持本案例冬季稳定产气。本模式在COD去除、处理效率、成本控制等方面较传统模式具有集成优势，并与国内同类工程形成可比结果。姜铖等[17]在四川屏山县年出栏4 000头猪场采用“固液分离—UASB—二级A/O”，日处理废水40 m³，出水COD 180～190 mg/L、NH_3-N 20～25 mg/L，与本案例出水水平相近，表明该工艺在丘陵山区和滇西山区均具适用性；但本研究进一步将病死畜禽高温降解纳入闭环，并配套沼气计量、尾水还田和碳减排监测，集成度更高。本研究将厌氧产沼气、好氧堆肥和种养结合组合，并以地形系数修正、“管网+罐车”组合运输将750 hm^2消纳协议折算为520 hm^2有效消纳地，从而缓解了山区沼液运输和消纳的难题。但本研究中好氧发酵约20 d，超出于何伟[18]所述智能化堆肥7～10 d，后续可通过自动翻堆、强制通风和温湿度传感器优化；同时，何伟[18]研究指出，厌氧发酵重金属难去除，本研究虽实现抗生素降解率88%～93%、病原微生物杀灭率≥99.9%，但未系统监测重金属和抗性基因，长期还田安全性仍需补充。本案例COD去除率99.0%，与覃筱琦[19]的UASB+两级AO+深度氧化工艺（99.1%）基本持平；但其运行成本仅3.84 元/m³，低于本案例19元/t（约19元/m³，含折旧），差异主要在于其未核算折旧和固废处理环节。刘娘等[20]的社会化服务模式则与本案例“管网+罐车”组织机制一致，而本研究进一步引入地形分级折算系数，使消纳面积核算更贴近滇西山区实际。综上，本模式具有集成优势，但深度脱碳除氮、堆肥提效及长期还田安全仍需优化。

3.2 不确定性分析

本研究仍存在以下局限性：一是监测周期仅5个月（2025年12月—2026年4月），虽已涵盖冬季低温期，但缺乏对最冷时段（如1月极端低温）及夏季高温高湿条件的系统数据，UASB中温发酵需消耗部分沼气用于增温，该部分能耗在碳减排核算中已做扣减，后续仍需开展至少1个完整年度的连续监测以验证工艺稳定性；二是有机肥销售受市场价格波动影响较大；三是罐车运输在雨季效率可能降低。四是对照猪场仅选取滇西地区3个传统模式猪场，未涵盖其他山区类型，对照结果的区域外推性

存在一定局限。但本研究通过敏感性分析和盈亏平衡分析，已在一定程度上量化了关键风险因素。

3.3　碳交易应用前景

随着《温室气体自愿减排项目方法学 规模化猪场粪污沼气回收利用工程（CCER-15-001-V01）》的正式实施，本案例在技术上符合方法学适用条件（存栏量≥3 000头、沼气回收利用、避免甲烷直接排放）。按核定的年减排量估算，若未来CCER价格回升，项目可获得一定碳汇收益。建议新建、改扩建的规模化猪场在规划阶段同步配套碳减排监测与核证体系，以利于对接全国温室气体自愿减排交易市场。何伟[18]建议简化碳汇项目申报流程，支持中小企业联合申报，并按减排比例分配收益。本研究年减排CO_2约562 t，在碳价50元/t、有机肥价格下降20%、电费上涨15%的三重不利情景下，IRR仍可维持6.2%，高于行业基准收益率，具备参与碳交易的基础。建议在规划阶段同步建设沼气计量、火炬燃烧、沼液还田量和替代化肥量等监测体系，并探索与周边猪场联合申报，以提升碳交易议价能力和抗风险能力。

4　结　论

采用的“固液分离—UASB厌氧发酵（HRT 8~10 d）—二级A/O生化处理—高温生物降解”集成工艺，经连续监测，COD去除、尾水达标还田和固废减量效果良好，初步验证了其在滇西山区的适用性，具体数据见第二部分。沼气替代燃煤、沼液替代化肥，形成了“能源化减碳+资源化还田”的双重路径，具体减排与减施数据见第二部分。“企业+合作社+农户”的三方联结机制有助于贯通种养循环的上下游，监测期内氮素循环利用和农户化肥成本降低效果明显。所构建的粪污全量资源化利用模式，系统回应了《“十四五”全国畜禽粪肥利用种养结合建设规划》关于“以地定畜”、粪肥就地就近还田的核心要求。建议优先在基础母猪存栏3 000头以上、配套消纳非耕地折算后实际用地200 hm^2以上、具备合作社组织基础且粪污运输半径控制在5 km以内的山区规模化猪场进行推广。后续需开展至少1个完整年度的监测（覆盖冬季），以进一步校准低温季节运行参数与碳减排量。

参 考 文 献

[1]　生态环境部办公厅,农业农村部办公厅.关于发布《温室气体自愿减排项目方法学 规模化猪场粪污沼气回收利用工程（CCER-15-001-V01）》等2项方法学的通知:环办气候函〔2025〕473号[EB/OL].(2025-12-17)[2026-05-09].https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202512/t20251217_1138026.html.

[2]　李志雄.山区节水型生猪绿色循环养殖模式分析[J].中国畜牧业,2023(21):64-65.

[3]　李洪英,梅永红,熊勇.贵州省思南县生猪养殖场粪污固液分离技术及资源化利用[J].贵州畜牧兽医,2024,48(1):75-77.

[4]　吴玓彤,张雄,杨齐心,等.贵州生猪产业先进实用技术的应用效果调查[J].贵州畜牧兽医,2024,48(4):13-16.

[5]　农业农村部办公厅.对十三届全国人大五次会议第7058号建议的答复摘要:农办议〔2022〕317号[EB/OL].(2022-09-19). https://www. moa. gov. cn/govpublic/xmsyj/202209/t20220922_6411372.htm.

[6]　农业农村部办公厅.对十四届全国人大二次会议第7075号建议的答复摘要[EB/OL].(2024-08-29)[2026-05-09]. http://www.agri.cn/zx/hxgg/202408/t20240829_8666244.htm.

[7]　董发翔.规模化猪场种养结合生态循环发展模式探讨:以云南保山市山田万头生猪标准化规模养殖场为例[J].养殖与饲料,2025,24(4):121-124.

[8]　周海宾,丁京涛,孟海波,等.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.

[9]　明杰,栗勇田.UASB-两级A/O-混凝工艺处理生猪养殖污水工程实例[J].工业用水与废水,2024,55(1):81-85.

[10]　姜刚村,赵正丹.固液分离—气浮系统—UASB—二级A/O工艺处理生猪养殖废水工程实例[J].山东化工,2023,52(13):255-257.

[11]　李明章,李彦明,王珏,等.好氧堆肥去除畜禽粪便病原体的研究进展[J].农业资源与环境学报,2023,40(4):864-872.

[12]　陈铭泽,吴昊鹏,冯晨,等.染疫动物尸体无害化与资源化利用研究进展[J].华中农业大学学报,2022,41(6):10-19.

[13]　余苹,王昊,王铭愉,等.畜禽粪污抗性基因污染和消减技术研究进展[J].中国沼气,2024,42(3):3-13.

[14]　农业农村部办公厅.畜禽粪污土地承载力测算技术指南:农办牧〔2018〕1号[EB/OL]. (2018-01-15)[2026-05-09]. https://www.moa.gov.cn/govpublic/XMYS/201801/t20180122_6135486.htm.

[15]　周元清,鲁帆,李鹏程,等.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.

[16]　钟子楠,于高扬,黄琳琳.猪粪低温厌氧发酵体系中微生物群落的特征[J].黑龙江科技大学学报,2025,35(4):587-591.

[17]　姜铖,汤颖力,胡陈君,等.丘陵山区中小型规模化养猪场粪污处理工程工艺优化研究[J].现代农业科技,2023(18):162-165.

[18]　何伟.规模化猪场粪污全量资源化利用模式比较与优化[J].今日养猪业,2026,(2):53-54.

[19]　覃筱琦.养猪废水的UASB+两级AO+深度氧化工艺应用研究[J].广州化工,2026,54(3):159-161.

[20]　刘烺,王梅,成胤.镇雄县赤水河流域绿色种养循环农业模式[J].云南农业科技,2025(1):49-50.

【责任编辑:赵琳琳】