

猪-沼-草-鱼循环模式下沼液种草养鱼及鱼类提质增值技术综述

李世坤¹, 廖劲松², 黎华亮²

¹广东润田肥业有限公司, 广东 云浮

²广东益康生环保科技有限公司, 广东 云浮

收稿日期: 2026年9月25日; 录用日期: 2026年10月23日; 发布日期: 2026年10月30日

摘要

规模化生猪养殖粪污废水是我国南方农业面源污染重要来源。传统高密度全配合饲料养殖草鱼, 普遍存在养殖成本高、鱼体脂肪过度沉积、肌肉质地松散、土腥味突出、产品同质化、市场附加值偏低等问题。猪-沼-草-鱼生态循环模式以沼气工程为枢纽, 构建“生猪养殖-粪污厌氧发酵-沼液资源化种草-青绿牧草生态养鱼-成鱼瘦身提质增值”闭环产业链。本文基于现有公开文献, 系统梳理该模式技术框架, 归纳沼液无害化预处理、沼液水肥一体化牧草栽培、牧草生态养鱼、成鱼生态瘦身提质等关键工艺的已有研究结论; 对比不同文献报道的生态、经济效果, 辨析现有研究分歧与局限, 剖析模式推广现实障碍, 并提出未来研究方向。综合文献表明, 规范化运行条件下, 该循环体系具备削减化肥、饲料投入, 改善草鱼肌肉品质, 实现产品市场溢价的潜力, 但各项效益受沼液预处理水平、牧草投喂比例、瘦身工艺参数等条件约束, 并非普适最优方案, 适宜在广东丘陵农牧区因地制宜开展推广实践。

关键词

种养循环, 沼液资源化, 牧草栽培, 草鱼养殖, 瘦身提质, 生态农业

Review on Technologies of Forage Cultivation and Fish Culture Using Biogas Slurry and Fish Quality Improvement in Pig-Biogas-Grass-Fish Circular Model

Shikun Li¹, Jinsong Liao², Hualiang Li²

¹Guangdong Runtian Fertilizer Co., Ltd., Yunfu Guangdong

²Guangdong Yikangsheng Environmental Technology Co., Ltd., Yunfu Guangdong

文章引用: 李世坤, 廖劲松, 黎华亮. 猪-沼-草-鱼循环模式下沼液种草养鱼及鱼类提质增值技术综述[J]. 农业科学, 2026, 16(10): 1607-1613. DOI: 10.12677/hjas.2026.1610191

Abstract

Large-scale pig breeding produces massive manure wastewater, which constitutes an important source of agricultural non-point-source pollution in South China. Conventional high-density grass carp culture totally relying on compound feed faces prominent drawbacks such as high production cost, excessive fat deposition, loose muscle texture, obvious earthy off-flavor, product homogenization and low market added-value. Centered on biogas projects, the pig-biogas-grass-fish circular model builds a closed-loop industrial chain of “pig breeding, anaerobic fermentation of livestock manure, forage cultivation with biogas slurry, grass-based ecological grass carp culture and quality improvement via pre-marketing fasting conditioning”. Based on published literatures, this review systematically sorts out its technical framework, summarizes existing research findings of key processes including harmless pretreatment of biogas slurry, integrated water-fertilizer forage cultivation, grass-fed aquaculture and fasting-induced quality improvement of grass carp. Differences and contradictions among previous studies are analyzed, practical bottlenecks are discussed, and further research directions are proposed. Synthesized from existing literature, standardized circular system shows potential to reduce chemical fertilizer and feed input and improve flesh quality with market premium. Nevertheless, its comprehensive benefits are strongly constrained by pretreatment quality of biogas slurry, forage feeding ratio and fasting parameters. This model is not universally applicable and should be popularized according to local conditions in hilly agricultural-pastoral regions of Guangdong Province.

Keywords

Planting-Breeding Circulation, Biogas Slurry Resource Utilization, Forage Cultivation, Grass Carp Culture, Downsizing and Quality Enhancement, Ecological Agriculture

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国生猪养殖产业规模化、集约化水平持续提升，粪污产出规模随之增大。种养空间分离导致部分区域畜禽粪污无法就地消纳，诱发土壤次生盐渍化、水体氮磷富集等农业面源污染问题[1]。畜禽粪污经厌氧发酵得到的沼液富含速效氮磷钾、氨基酸及有益微生物，是优质液态有机水肥，经无害化处理后可替代化肥用于饲草生产，为种养循环提供物质基础[2]。

在草鱼养殖生产中，传统模式高度依赖高蛋白商品配合饲料。高强度投喂带来残饵淤积、水体负荷升高，进一步诱发藻相失衡、病害频发、渔药使用量增加等风险。长期摄食高蛋白人工饲料还会造成草鱼腹腔脂肪大量沉积，表现为肉质松散、土腥味较重，商品鱼市场竞争力不足、溢价空间有限[3]。

猪-沼-草-鱼循环模式将粪污处置、饲草种植、生态养殖、水产品提质增值进行系统耦合。通过沼液资源化消纳猪场粪污，利用青绿牧草替代部分人工饲料改善鱼体生理状态，依托上市前清水静养实现肉质升级，是华南农牧交错区技术成熟、可复制性强、综合效益突出的循环农业模式[4]。

但现有研究大多为小尺度试验与生产案例总结，不同文献得到的技术参数、效益结果存在明显差异，缺少系统综述与批判性对比。本文基于已公开发表的研究文献，对该模式技术环节、效益表现、现存短

板进行梳理评述，为后续研究与产业应用提供参考。

2. 猪 - 沼 - 草 - 鱼循环体系构建

本模式构建四级闭环生态链条，生猪粪污厌氧发酵为核心枢纽，串联沼液无害化预处理、水肥一体化牧草种植、牧草生态养鱼、成鱼上市前瘦身静养提质，形成畜禽废弃物资源化、种养耦合联动、产品提质增值的闭环系统，同步实现污染防控、资源循环与产业增效[5][6] (见图 1)。第一，生猪粪污经密闭厌氧发酵，实现病原微生物与虫卵灭活、有机质稳定化，副产物包括沼气、沼液与沼渣；第二，沼液依次经过固液分离、沉降过滤、理化指标调控后用于苏丹草、甜象草、黑麦草等高产牧草栽培，实现养殖废水就地资源化消纳；第三，以沼液培育的高蛋白青绿牧草作为主饵料，辅以少量精补饲料开展草鱼生态养殖，降低池塘氮磷输入负荷；第四，达到上市规格的成鱼转入瘦身单元，开展 15~30 d 停料瘦身处理，消耗体内多余脂肪、降解风味异味物质，完成提质增值后进入市场。

整套循环体系可实现污染物近零外排、养分高效循环、种养降本增效以及水产品提质，契合无废农业建设与渔业高质量发展的政策导向。

但模式运行高度依赖各环节工艺标准化，任一环节管控缺失均会带来环境风险或经济效益下降[7][8]。

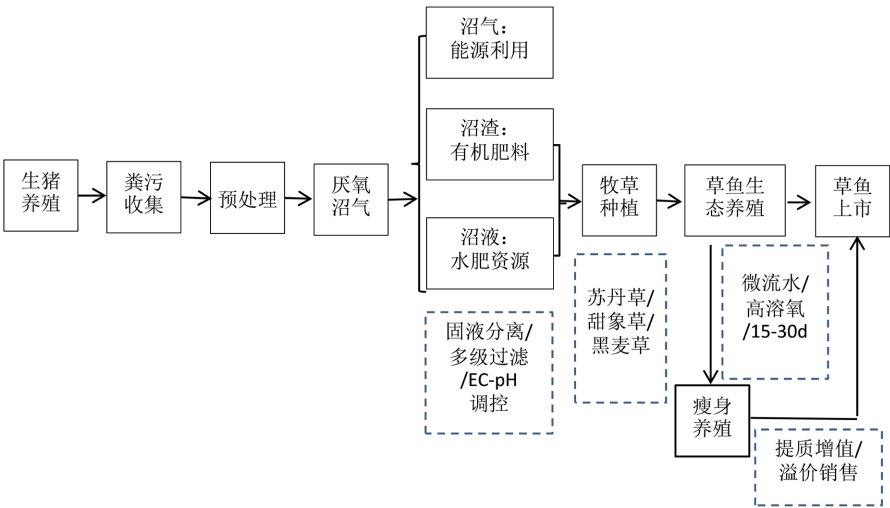


Figure 1. Technical route of the pig-biogas-grass-fish ecological circular model
图 1. 猪 - 沼 - 草 - 鱼生态循环模式技术路线

3. 核心关键技术

3.1. 沼液无害化预处理技术

新鲜沼液悬浮物含量高、理化性质不稳定、盐分存在波动，直接施用易造成牧草烧苗、土壤积盐，还会带来次生水产养殖风险[9]。标准化预处理工艺为：厌氧发酵腐熟 ≥ 15 d $\rightarrow$ 固液分离 $\rightarrow$ 均质沉降 $\rightarrow$ 多级过滤 $\rightarrow$ EC、pH 调控储存。

不同研究对预处理后的沼液指标报道存在差异。薄录吉等指出充分厌氧发酵可以显著降低沼液中病原微生物数量，但仅依靠发酵不能完全去除重金属与抗生素类物质，必须配合固液分离与过滤工序[9]。部分文献试验结果显示完整预处理可将悬浮物 SS 降至较低水平，病原菌去除效果提升，但去除率与发酵温度、停留时间、过滤工艺强相关，不存在统一固定数值[10]-[13]。现有文献尚未形成统一的沼液农用准入阈值，这也是制约模式标准化推广的重要因素。

缓解土壤板结与次生盐渍化风险；牧草的净水效应降低池塘富营养化压力，构建种养协同的稳定生态系统[27]。

但风险同样不可忽视：若沼液预处理不达标，沼液带入的盐分、重金属、抗性菌会在土壤－牧草－养殖系统内迁移累积，带来潜在生态风险[7][9]。现有研究大多侧重报道正向生态效益，对长期连续运行条件下土壤、池塘介质的污染物累积研究较为缺乏。

4.2. 经济效益

文献显示(见表 2)，理想条件下沼液替代化肥降低种植农资投入，牧草替代精饲料压缩养殖饲料成本，产品溢价进一步拉高收益。但多篇文献提醒，循环模式会新增牧草种植收割、沼液管网运维、瘦身单元的人工成本；当人工成本走高或者生态鱼溢价无法兑现时，该模式经济效益可能不及传统养殖[4][28][29]。

Table 2. Cost-benefit comparison between the pig-biogas-forage-fish model and traditional farming practices
表 2. 猪－沼－草－鱼模式与传统养殖模式成本－收益对比

项目	传统饲料草鱼养殖 [4][26]	猪－沼－草－鱼 循环模式[4][20]	核算说明
种植端化肥投入(元/亩·a)	260~320	70~110	沼液替代化肥，需计沼液输送运维成本[4]
养殖端饲料投入(元/kg 鱼)	4.8~5.4	3.2~3.8	牧草实现 30~60%质量替代[20]
人工运维投入(元/kg 鱼)	0.7~0.9	1.0~1.3	循环模式增加牧草收割、沼液管控、 瘦身单元运维[26]
单位总投入(元/kg 鱼)	6.8~7.6	5.3~6.0	未计入土地、设施折旧[4]
成鱼销售均价(元/kg)	8.5~9.5	10.2~13.3	生态溢价仅在特定渠道实现[26]
单位毛利(元/kg 鱼)	1.7~2.1	4.9~7.3	毛利区间随市场价格波动极大

4.3. 社会效益

模式可复制推广，适配华南畜禽、水产、果蔬复合产业区；推动水产养殖由产量导向向品质价值导向转型，为乡村产业振兴、农业绿色发展提供技术支撑[19]。

但现有文献缺少对农户采纳门槛、劳动强度变化、不同经营规模适应性的系统社会学调研。

5. 现存问题

现阶段该循环模式产业化应用仍存在若干短板：(1) 部分生产基地简化沼液预处理工序，过滤、稳定化处理不到位，带来土壤、牧草及养殖水体的安全风险；(2) 牧草沼液施用策略、牧草投喂比例多依靠经验操作，缺少统一量化技术参数；(3) 草鱼瘦身阶段的周期、溶氧、水质管控尚未形成标准化规程，产品品质稳定性有待加强；(4) 种养循环配套智能监测装备普及率低，规模化基地管控难度较高。

综合现有文献，该模式推广应用的短板可分为技术研究缺口与产业化落地障碍两个层面。

5.1. 沼液安全利用参数体系缺失

不同文献沼液预处理工艺、施用阈值差异大；缺乏规模化条件下沼液中重金属、抗生素、病原微生物在土壤－牧草－鱼类链条迁移累积的长期定位研究[7][9]。

5.2. 关键工艺参数不统一

牧草沼液施用策略、牧草投喂替代比例大多来自小试与经验总结，不同文献最优替代率结果不一致，缺少标准化规程；草鱼瘦身静养周期、溶氧、水温的耦合参数尚未形成统一规范，产品品质稳定性难以

保障[30] [31]。

5.3. 种养环节衔接的量化研究不足

猪场粪污产生量、牧草消纳沼液能力、草鱼牧草需求量三者的匹配关系缺少量化模型；容易出现沼液过剩消纳不完，或者牧草供给不足，无法实现设计替代率[4] [8]。

5.4. 配套装备与评价体系短板

适合中小型基地的低成本沼液水肥、水质智能监测装备相关研究偏少；现有评价大多单独算生态效益或经济效益，缺少“经济－环境－安全”多维度耦合综合评价体系[28]。

6. 结论与展望

6.1. 模式见解

综合已发表相关文献可以看出：猪－沼－草－鱼循环模式，在沼液预处理到位、种养规模匹配、能够实现生态产品溢价销售的前提下，可以实现粪污资源化、化肥饲料减量、草鱼肉质改善多重目标，适合华南丘陵农牧区因地制宜开展应用。但现有证据表明，该模式存在明确适用边界：沼液预处理缺失、种养规模不匹配、人工成本高企、产品无法实现溢价时，其生态风险上升，经济优势消失。现有研究多集中小试、示范基地，大规模产业化长期实证仍然不足，技术参数尚未标准化，不能无条件大面积推广。

6.2. 未来可操作研究方向

6.2.1. 构建标准化技术参数集，统一评价口径

明确沼液预处理后的安全施用阈值；统一饲料替代率的计算规范，区分质量替代率、蛋白替代率；建立草鱼瘦身工艺(水温、溶氧、时间、体重损耗、肉质)耦合参数，便于不同研究之间横向对比[30] [31]。

6.2.2. 开展链条式风险评估研究

开展中长期定位试验，研究沼液中重金属、抗生素、抗性微生物在土壤－牧草－鱼的迁移富集规律，完善全链条安全风险评价[9] [32]。

6.2.3. 强化规模化中试实证研究

现有数据多来自小池塘示范，未来应推进不同规模的中试与产业化实证；建立猪场粪污产出－牧草消纳－草鱼饲草需求的量化匹配模型，解决种养衔接粗放的痛点[4]。

6.2.4. 建立经济－环境－安全耦合综合评价方法

现有研究常忽略设施折旧、牧草人工收割成本；后续需要把环境代价、安全风险纳入评价，客观评估模式综合效益，避免只关注正向收益。

6.2.5. 开发低成本适配装备

研发面向中小经营主体的沼液简易净化、水肥管控、池塘水质低成本监测装备，降低模式技术门槛；同时开展农户、合作社的技术采纳与社会经济调研，为政策推广提供依据[28]。

总体而言，猪－沼－草－鱼是具备潜力的绿色循环模式，但仍需要填补上述研究缺口，形成标准化规程之后，才能够实现稳定可复制的产业化推广。

参考文献

- [1] 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.

- [2] 荆丹丹, 陈一良, 戴成, 等. 沼液养鱼的研究现状及发展趋势[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(22): 5886-5890, 5906.
- [3] 毛东东, 张凯, 欧红霞, 等. 2 种饲料投喂下草鱼肌肉品质的比较分析[J]. 动物营养学报, 2018, 30(6): 2226-2234.
- [4] 刘琼峰, 周峻宇, 吴海勇, 等. 国内种养复合循环农业模式应用现状[J]. 农学学报, 2022, 12(7): 81-88.
- [5] 游建涵. 池塘鱼猪草沼综合生态高效养殖技术[J]. 水产养殖, 2009, 30(8): 15-17.
- [6] 高海义, 刘辅俊. 草、猪、鱼综合种养模式探索[J]. 畜牧兽医杂志, 2009, 28(3): 106.
- [7] 王小彬, 闫湘, 李秀英. 畜禽粪污厌氧发酵沼液农用之环境安全风险[J]. 中国农业科学, 2021, 54(1): 110-139.
- [8] 任佳佳, 尤滨乾, 徐陈钰, 等. “猪-沼-葡”生态模式的构建探索与实践[J]. 安徽农学通报, 2025, 31(15): 25-29.
- [9] 薄录吉, 李彦, 等. 我国规模化养猪场粪便重金属污染特征与农用风险评价[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 258-267.
- [10] 夏耘, 余德光, 谢骏, 等. 短期饥饿对草鱼肌肉质构的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(9): 102-107.
- [11] 陈腾, 董红敏, 张万钦, 等. 猪场沼液热处理对病原微生物杀灭的关键因素研究[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(6): 91-99.
- [12] 王妙玲, 文美君, 杨钙仁, 等. 凤眼莲基质对猪场沼液污染物的吸附及其肥料化利用[J]. 福建农业学报, 2022, 37(8): 1092-1099.
- [13] 刘艳丽, 赵娜娜, 范贝贝, 等. 浓缩沼液中添加芽孢杆菌对促生和抑菌功能的强化效应[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(7): 68-78.
- [14] 孙廪, 邓荟芬, 李彩军, 等. 南方三种暖季型牧草品种的比较研究[J]. 家畜生态学报, 2013, 34(2): 58-60.
- [15] 张杏艳, 陈中华, 邓海明, 等. 沼液微生物与小球藻净化及鱼养殖效果研究[J]. 天津农业科学, 2018, 24(5): 21-25.
- [16] 赵恭文, 徐延熙, 朱长华, 等. 牛粪沼液对 6 种植物病原真菌的抑制作用[J]. 中国沼气, 2012, 30(5): 35-37.
- [17] 黄春红, 杨琦, 韩庆, 等. 营养模式对草鱼特定生长率、肌肉及肝胰脏营养成分与组织结构的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(6): 2898-2906.
- [18] 侯玉洁, 邹新建, 熊林武, 等. 青绿饲料在草鱼养殖中的应用研究进展[J]. 科学养鱼, 2016(9): 70-71.
- [19] 赵华林. 草鱼幼鱼实用日粮中添加紫花苜蓿草粉效果评价[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [20] 曲兆凯, 田军仓, 沈晖, 等. “稻-沼-鱼”模式下沼液施量对草鱼和水稻生长、产量、品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(21): 100-107.
- [21] 吴晓梅, 叶美锋, 吴飞龙, 等. 饲料中添加穗花狐尾藻对草鱼生长、肌肉品质和安全性的影响[J]. 福建农业科技, 2023, 54(10): 1-5.
- [22] 蔡卓, 廖新梯, 吴银宝. 猪粪对淡水养殖水质及罗非鱼安全的影响[J]. 广东农业科学, 2009(3): 135-138.
- [23] 张玮岚, 叶元土, 杜瑞雪, 等. 短期禁食改善池塘养殖草鱼的食用品质[J]. 水产学报, 2023, 47(10): 184-196.
- [24] 杜瑞雪, 叶元土, 张玮岚, 等. 循环水系统短期禁食改善草鱼和斑点叉尾鮰肌肉品质[J]. 中国渔业质量与标准, 2023, 13(5): 17-30.
- [25] 马恒甲, 黄辉, 郭炜, 等. 上市前禁食暂养对鱼类影响的研究进展[J]. 科学养鱼, 2023(2): 77-79.
- [26] 樊海平, 薛凌展, 吴斌. “猪-沼-萍-鱼”草鱼池塘高效生态养殖模式[J]. 科学养鱼, 2011, 35(5): 43-44.
- [27] 董红敏, 左玲玲, 魏莎, 等. 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.
- [28] 王健, 张辉, 沈玉君, 等. 中国循环农业发展实践与推进路径探究[J]. 农业工程学报, 2024, 40(22): 12-21.
- [29] 刘子萌. 淄博禾丰生态循环农场运行模式及经济效益分析[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2023.
- [30] 张凯, 王金林, 谢骏, 等. “猪-草-鱼”生态循环养殖池塘水体营养盐及浮游植物群落结构研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(20): 51-56.
- [31] 王小波, 胡启山. “猪-鱼结合”养殖模式的生态效应面临质疑[J]. 湖南饲料, 2009(4): 22.
- [32] 尹芳, 张无敌, 宋洪川, 等. 沼液对某些植物病原菌抑制作用的研究[J]. 可再生能源, 2005, 32(2): 9-11.