

牛粪资源化利用技术体系研究综述

张悦¹, 张馨蕊¹, 张德俊¹, 刘知远¹, 刘鑫奇¹, 刘奕贤¹, 高子喻², 张润芝^{1,*}

1. 大庆师范学院, 生物工程学院, 黑龙江 大庆, 163712

2. 大庆市铁人学校, 黑龙江 大庆, 163411

摘要: 随着养牛业规模化发展, 奶牛养殖产生的粪污量持续增加, 环境污染问题日益突出。本文系统综述了奶牛粪污资源化利用的主要技术路径, 包括肥料化、能源化、饲料化、基质化、垫料化及燃料化利用, 分析了各技术的原理、工艺与应用效果, 并探讨了当前面临的问题与未来发展方向, 旨在为粪污治理提供技术参考, 推动养牛业向绿色、可持续方向转型。

关键词: 牛粪污; 资源化利用; 循环农业; 环境治理

Review on the Technological System of Cow Dung Resource Utilization

Yue Zhang¹, Xinrui Zhang¹, Dejun Zhang¹, Zhiyuan Liu¹, Xinqi Liu¹, Yixian Liu¹, Ziyu Gao²,
Runzhi Zhang^{1,*}

1. School of Biological Engineering, Daqing Normal University, Daqing, Heilongjiang,
163712

2. Daqing Iron Man School, Daqing, Heilongjiang, 163411

Abstract: With the large-scale development of the cattle industry, the increasing amount of dairy cow manure has led to prominent environmental concerns. This paper systematically reviews the main technological pathways for the resource utilization of dairy cow manure, including its use as fertilizer, bio-energy, feed, substrate, bedding material, and bio-fuel. The principles, processes, and application effects of each technology are analyzed. Current challenges and future development directions are also discussed. This review aims to provide a technical reference for manure management and promote the transformation of the cattle industry towards a green and sustainable model.

Keywords: Cow manure; Resource utilization; Circular agriculture; Environmental governance

近年来, 我国养牛业快速发展, 在提升经济效益的同时也带来了日益突出的环境污染问题。第二次全国污染普查数据显示, 畜禽规模养殖业排放的化学需氧量、氨氮、总氮和总磷分别占全国相应污染物排放量的46.67%、11.51%、19.61%和37.95%, 对环境构成显著压力^[1]。随着“双碳”目标与乡村振兴战略的深度融合, 畜禽粪污治理已从“末端处置”转向“源头减量+资源化循环”的综合模式。牛粪作为产量最大的畜禽粪污之一, 其资源化效率直接影响养殖行业的绿色转型进程。

因此,系统研究并推广牛粪资源化利用技术,对减轻养殖污染、促进农业生态循环具有重要意义。本文聚焦奶牛粪污,综述其资源化利用途径,以期奶牛养殖业的粪污治理提供借鉴。

1 我国牛粪污染现状与处理分析

1.1 牛粪污染现状

随着养殖规模扩大,牛粪产生量不断增加,而配套处理设施与能力相对滞后,导致环境污染问题日益突出。规模化养殖场单场日排放量可达数百吨,而中小规模养殖场因分布分散、处理设施不足,污染贡献率占比超过60%^[2]。部分小规模养殖场常将粪污随意倾倒,对周边水体、土壤及大气环境造成污染。

1.2 主要处理方式概述

目前,牛粪处理与资源化利用主要采用以下方式^[3-9]:①堆肥处理法:将牛粪与其他有机物料混合堆放,通过调控水分、温度及定期翻堆促进好氧发酵,最终转化为稳定无害的有机肥。②厌氧消化法:在密闭厌氧环境中,利用微生物分解有机物产生沼气,实现能源回收与污染减排。③蚯蚓养殖协同处理:利用腐熟牛粪养殖蚯蚓,蚯蚓消化粪污产出高蛋白饲料和优质有机肥,实现养分循环。④基质化利用:将牛粪与秸秆等物料堆肥腐熟后,配制为栽培基质,用于蔬菜、花卉等作物育苗,替代草炭等不可再生资源。⑤垫料化利用:通过固液分离、发酵、干燥等工艺,将牛粪转化为奶牛卧床垫料,提升奶牛舒适度与产奶性能。⑥燃料化利用:将干化牛粪直接燃烧或与煤掺混制成复合燃料,用于发电或供热,实现生物质能回收。

2 粪污资源化利用途径详述

2.1 肥料化利用

牛粪经堆肥腐熟后制成有机肥,是当前最普遍的资源化途径。腐熟后的有机肥能有效提升土壤有机质含量,改善土壤结构。牛粪有机肥还田应遵循“测土施肥”原则,我国建议粪便施用量不超过30 t/hm²,氮素控制在150~180 kg/hm²。某规模化奶牛场年处理牛粪3万吨,制成有机肥后供应周边2万亩麦田,使小麦平均亩产提升12%,土壤有机质含量三年间从1.2%提升至1.8%。研究表明,施用牛粪有机肥可显著改良盐渍化土壤,提高土壤活性有机碳含量,促进作物增产。

2.2 能源化利用

厌氧消化技术是牛粪能源化利用的核心,通过微生物群落分解有机物,依次经历水解、产酸和产甲烷三个阶段,最终形成沼气(甲烷含量50%~70%)。沼气可用于发电、供热或作为民用燃气,消化后的沼渣与沼液是优良的有机肥料。近年来新型高效厌氧反应器的容积产气率已提升至1.5~2.5 m³/(m³·d),较传统反应器提高30%~50%^[10]。该技术形成了“养殖-沼气-种植”循环模式,兼顾环境、能源与农业效益,助力“双碳”目标实现。

2.3 饲料化利用

以腐熟牛粪为基质开展蚯蚓养殖,是将粪污转化为高蛋白饲料的资源化途径。蚯蚓能够高效分解牛粪中的有机质,常用品种为赤子爱胜蚓,其日摄食量可达自身重量的0.8~1.2倍,虫体粗蛋白含量高达50%~60%。虫体可作为水产和禽类养殖的优质蛋白源,蚓粪则是养分全面的有机肥。通过利用腐熟牛粪养殖蚯蚓,综合经济效益较单纯堆肥可提升4~6倍,为牛粪无害化处理与高值化利用提供了可行路径。

2.4 基质化利用

腐熟牛粪富含氮、磷、钾及有机质,经适当配比后可制成优良的栽培基质,适用于蔬菜、花卉及林木育苗。牛粪与秸秆按3:1的体积比混合堆肥,调节碳氮比至25:1左右,发酵腐熟后添加5%~10%的珍珠岩可显著提升基质透气性,适用于番茄、辣椒等茄果类育苗。研究表明,牛粪与秸秆按一定比例堆肥腐熟后,可作为黄瓜等作物的无土栽培基质,显著提高种子发芽率与幼苗生长质量。试验表明,该配比基质培育的黄瓜幼苗株高、茎粗较草炭基质分别提高15.3%和12.7%,育苗成本降低30%以上^[11-13]。基质化利用通常包括原料混合、堆肥发酵、腐熟筛分等工序。合理调节碳氮比、控制堆体温度和湿度,是保证基质安全性与肥效的关键。该技术既能消纳牛粪,又可替代草炭等不可再生资源,具有较好的经济与环境效益。

2.5 垫料化利用

将牛粪通过固液分离、发酵、干燥等工艺加工成奶牛卧床垫料,是近年来兴起的资源化方式。固液分离后牛粪含水率需降至60%~70%,经高温发酵7~10天杀灭病原菌,再通过滚筒干燥机将含水率控制在30%~40%,最后粉碎筛分至粒径2~5 mm。相比传统垫料(如沙子、稻壳),牛粪垫料成本更低,且具有一定的保温与吸湿性能,有助于提高奶牛舒适度与产奶效率。内蒙古某奶牛场采用牛粪垫料后,奶牛蹄病发生率从8.5%降至3.2%,日均产奶量提升1.8kg,年节约垫料采购成本超百万元^[14, 15]。各国对牛粪垫料的使用规范不一,部分国家已推广使用并制定了相应标准。该工艺简单易行,尤其适合具备粪污处理设施的规模化养殖场,既能降低垫料采购成本,又可实现粪污的场内循环利用。

2.6 燃料化利用

干化牛粪可直接作为生物质燃料,或与煤炭掺混制成复合燃料,用于发电或供热。牛粪干化至含水率低于15%后,可通过成型燃料机压制成颗粒燃料,密度达1.1~1.3 g/cm³,燃烧效率较散状干牛粪提高20%~30%,且污染物排放符合GB 13271-2014《锅炉大气污染物排放标准》。研究表明,牛粪复合燃料的热值可达14.65~16.74 MJ/kg,具备良好的燃烧特性。某热电联产项目年掺烧牛粪颗粒燃料5万吨,替代原煤3.5万吨,减少二氧化碳排放8.6万吨,实现了养殖废弃物与能源生产的协同发展。该方式适用于周边具备供热或发电设施的养殖区,能够实现废弃物的能源化回收,减少化石能源消耗与温室气体排放。

3 结论与展望

奶牛牛粪的资源化利用主要包括肥料化、能源化、饲料化、基质化、垫料化与燃料化等六类途径,分别通过堆肥、厌氧消化、蚯蚓转化、基质配制、垫料加工及燃料制备等技术,实现粪污的无害化处理与资源循环。这些方式不仅有效缓解了养殖污染问题,还提升了农业系统的资源效率与生态韧性。当前牛粪资源化利用仍面临区域技术推广不均衡、中小规模养殖场处理成本偏高、产品质量标准体系有待完善等问题。

未来应进一步优化各类资源化技术的工艺参数,降低成本、提高转化效率,推动技术集成与模式创新。可重点研发低成本粪污预处理技术、多功能复合产品(如肥能一体化产品),并构建“粪污-产品-销售”的全产业链模式,结合数字化管理平台实现粪污处理全程可追溯。同时,加强政策引导与示范推广,促进养殖业与种植业、能源业的深度融合,构建区域循环农业体系,助力畜牧业绿色转型与国家“双碳”战略实施。

参考文献

- [1] 聂林文, 令幸幸, 尚明玉. 中国奶牛产业发展存在的问题及建议[J]. 中国牛业科学, 2025(03): 46-50.
- [2] 赵万余, 田娟. 固原市肉牛产业发展和粪污资源化利用现状及建议[J]. 广东畜牧兽医科技, 2025, 50(04): 116-120.
- [3] 王时雄. 绿色畜牧业背景下牛粪资源化利用技术研究[J]. 新疆畜牧业, 2025(04): 14-17.
- [4] 孔蕊. 牛粪厌氧消化产沼气工艺研究[D]. 山东大学, 2012.
- [5] 肖玉贵, 甘小波, 朱海波. 蚯蚓养殖与牛粪污资源化利用高效结合技术[J]. 畜禽业, 2025(03): 29-31.
- [6] 解明浩, 陈国双, 朴世领, 等. 不同粒径火山岩与牛粪秸秆腐熟料育苗基质利用及效果分析[J]. 北方园艺, 2024(20): 73-82.
- [7] 杨丽娜, 邵淑娟, 陈建琼, 等. 不同卧床垫料对奶牛泌乳性能的影响[J]. 今日畜牧兽医, 2025(02): 14-16.
- [8] 张文成. 燃煤机组中新型生物质牛粪直燃技术的效益与关键技术研究[J]. 能源科技, 2025, 23(03): 36-39.
- [9] 张琪, 刘彦波, 丁金鹏, 等. 炭基牛粪有机肥对盐渍化水稻土水稳性团聚体组成和有机碳分布的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2025, 42(05): 1237-1246.
- [10] 中国循环经济协会. 畜禽粪污高效清洁转化高值利用技术及应用通过科技成果评价[EB/OL]. [2025-06-10]. <https://www.chinacace.org/cace/xhdt/view?id=1010>.
- [11] 潘思宇. 基于数字孪生技术的制造业生产线智能化建设研究[J]. 互联网周刊, 2024, 21: 37-39.
- [12] 杨龙元. 牛粪堆肥制备成型基质及其育苗试验研究[D]. 华中农业大学, 2017.
- [13] 刘国强, 洪庆红. 利用沼液和秸秆制备园艺栽培基质关键技术研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2024, 42(12): 173-175, 157.
- [14] 王振, 张淑芬, 丁昕颖, 等. 牛粪牛床垫料可行性及经济效益分析[J]. 当代畜牧, 2023(3): 61-62.
- [15] 王文凯, 隋洁, 许怡静, 等. 奶牛场厌氧发酵牛粪生产垫料工艺中菌群变化的研究[J]. 中国畜牧兽医, 2024, 51(9): 4182-4189.

项目资助: 黑龙江省大学生创新训练计划项目 (S202510235015), 大庆师范学院横向项目 (HX2024020)。

¹第一作者简介: 张悦 (2004-), 女, 本科生, 从事土壤生态学研究。E-mail: 316188331@qq.com。

*通讯作者简介: 张润芝 (1991-), 女, 博士研究生, 讲师, 主要从事农业资源可持续利用、土壤生态等研究。E-mail: zhangrunzhi06@163.com。