粪污循环利用技术在奶牛场的应用
——以潍坊市寒亭区为例

王乃健[1]，于春凤[1]，陈　勇[1]，管圣昌[1]，高德峰[2]

1 潍坊市寒亭区畜牧业中心，山东潍坊 261100
2 昌邑市畜牧业发展中心，山东潍坊 261300

摘　要：伴随规模化奶牛场发展，养殖过程中产生的粪污及其处理成为农牧业碳减排面临的重要课题。为解决这一问题，本文以潍坊市寒亭区为例，介绍粪污循环利用模式的沼气发酵技术、曝氧发酵技术的机理、操作方法、应用效果等，以便为奶牛场进行粪污循环利用提供参考。调研发现，两项技术能够实现奶牛场粪污零排放，增加奶牛场经济效益，助推奶牛养殖业健康、可持续发展。沼气发酵技术所需占地面积和投入资金较大，在夏季使用效果较好，在冬季使用效果较差。曝氧发酵技术不需很大占地面积，较沼气发酵技术投入资金少，能在短时间内将奶牛粪污无害化处理，解决沼气发酵因消耗时间过长导致效率低下问题，解决沼气发酵在冬天因产气量大幅降低而无法持续运营问题，适合各类大、中、小型奶牛场。

关键词：奶牛场；粪污循环利用；沼气发酵技术；曝氧发酵技术

文章编号：1671–4393（2025）01–0025–05　　DOI:10.12377/1671–4393.25.01.05

0 引言

近年来，为满足人民群众对牛奶日益增长的需求量，国家各级政府出台多项优惠政策和措施，大力发展奶牛养殖业。目前，我国奶牛养殖已从散养户向规模场转变[1]。在转变过程中，虽然保证了牛奶充足供应，但也带来了粪污处理难题[2, 3]。据了解，一头成年奶牛每天排粪量约40 kg，排尿量约20 kg。一头奶牛在整个生命周期内，排泄粪污量可达100 吨左右。据统计，全国约40% 畜禽粪污未有效利用[4]。可见， 畜禽粪污资源化处理是养殖业发展到一定阶

作者简介：王乃健（1974–），男，山东潍坊人，本科，高级兽医师，研究方向为畜牧养殖；
于春凤（1989–），女，山东潍坊人，硕士，兽医师，研究方向为临床兽医；
陈　勇（1979–），男，山东潍坊人，本科，兽医师，研究方向为动物疫病防控；
管圣昌（1974–），男，山东潍坊人，大专，兽医师，研究方向为临床兽医；
高德峰（1973–），男，山东潍坊人，大专，兽医师，研究方向为临床兽医。

中国乳业线上阅读

段的重要产物，也是中国实现“双碳”目标、农业绿色升级面临的重大考验[5]。奶牛场如何处理粪污，使其成为可利用资源，实现奶牛养殖粪污零排放，既保护生态环境，又推动奶业可持续、健康发展，成为人们关注的焦点。从长期来看，奶牛场粪污循环利用不仅有利于保护生态环境，还可提高养殖端经济效益，是一种双赢策略[6]。

1 寒亭区粪污利用基本情况

潍坊市寒亭区现有规模奶牛场17 家，奶牛存栏约2 万头。其中，1 家为存栏1 万头以上的大型牧场，16 家为家庭牧场，存栏数量200～2 000 头（1 001～2 000 头的家庭牧场2 家，500～1 000 头的家庭牧场6 家，500 头以下的家庭牧场8 家）。全区规模奶牛场中，寒亭优然牧业有限责任公司、潍坊恒祥养殖有限公司为代表的多家奶牛场将奶牛养殖业、种植业紧密结合，大力发展种养循环一体化农业，基本实现奶牛场粪污零排放。调研发现，这些奶牛场处理粪污的基本做法是将奶牛产生粪污在设定条件下厌氧发酵或好氧发酵，使其中的有机物质分解并转化为无害物质，达到除臭、消灭有害病原微生物及寄生虫卵的目的。发酵后的奶牛粪污经过干湿分离机分离，产生固体经晾晒或烘干工序后回填用作卧床垫料。产生的液体部分用作循环水冲洗粪沟，部分用作有机肥种植粮食和果蔬。

2 粪污循环利用技术

2.1 沼气发酵技术

该技术将奶牛产生粪污置于密闭环境，提供合适酸碱度、温度、湿度等，经过厌氧微生物一系列生化作用，生成沼气、沼液和沼渣。沼气发酵技术利用沼气生产设备对奶牛场粪污发酵处理，发酵后粪水干湿分离，固体、液体分别利用[7]。

2.1.1 技术机理

奶牛粪污在沼气罐发酵需经过3 个阶段，即液化（水解）阶段、产酸阶段、产气阶段。

（1）液化（水解）阶段

进入沼气罐的奶牛粪污起初为大分子碳水化合物，经过厌氧微生物分泌的肽酶、纤维素酶、脂肪酶等胞外酶进行酶解后，快速变为甘油、脂肪酸、单糖、双糖、肽、氨基酸等可溶于水的小分子化合物，最终被厌氧微生物直接吸收利用。

（2）产酸阶段

在厌氧微生物群持续作用下，可吸收的能溶于水的小分子化合物被分解成简单的甲醇、甲酸、乙醇、乙酸、丙酸、乳酸等有机物质，以乙酸为主。

（3）产气阶段

产甲烷菌大量生长繁殖，将分解的有机物质作用成甲烷和二氧化碳，或通过氢还原将二氧化碳生成甲烷，或利用别的细菌产生甲酸生成甲烷。这种以甲烷为主的气体是沼气。

2.1.2 操作方法

将牛舍内的奶牛粪便经刮粪板投入粪沟，然后用沼液或挤奶厅清洗废水冲洗粪沟，使粪水一起进入收集池，将粪水搅拌均匀后，投入沼气罐发酵，最终产生沼气用于发电。

发酵的粪污从发酵罐排出后，经过固液分离机分离。分离出的固体为沼渣，将其通过晾晒或烘干工序后储存，用作卧床垫料。晾晒或烘干沼渣含水量≤45%时，可直接回填卧床。含水量＞45%时，可将沼渣、稻壳按比例混合，含水量小于≤45%后用作卧床垫料。试验证明，垫料水分≤45%，卧床使用率高，奶牛趴卧时间长。随着垫料含水量加大，卧床使用率降低，奶牛趴卧时间短。

分离出的液体为沼液，可泵入氧化塘，部分冲洗粪沟，部分稀释后用作肥料种植粮食和果蔬。

将干燥的沼渣或沼渣与稻壳混合物用抛洒车均匀撒到奶牛卧床表面，保持一定厚度，根据自然损耗情况随时添加，有利于减少奶牛乳房炎、肢蹄病发生概率，提高牛奶产量。

分离出的液体为沼液，可泵入氧化塘，部分用作冲洗粪沟，部分按照1∶5比例用水稀释后，用作

中国乳业线上阅读

肥料浇灌粮食和果蔬。

2.2 曝氧发酵技术

该技术是使用特定的复合菌剂，在氧气充足的条件下将奶牛粪污中的有机物质快速分解并转化为无害物质的一种技术。曝氧发酵具有杀灭病原体彻底、发酵效率高的特点[8, 9]。

2.2.1 技术机理

好氧微生物如乳酸菌、酵母菌、放线菌等在合适温度、湿度以及充足的氧气环境中，将奶牛粪污中的有机物、残留蛋白等充分利用，快速生长并大量繁殖。在此过程中，它们通过自身的生命活动，将奶牛粪污中的有机物质氧化合成所需的能量以及其他营养物质，同时产生二氧化碳和水，并释放大量热量，使发酵罐（仓）内的温度升高。当发酵罐（仓）内的温度升高到50～75 ℃时，进一步加快乳酸菌、酵母菌、放线菌等有益微生物繁殖与生长，同时杀死粪污的有害微生物和寄生虫卵。送风曝氧系统持续、均匀输送氧气，既满足发酵过程微生物对氧气量需求，又优化好氧微生物生存环境。随着氧气输入，罐内乳酸菌、酵母菌、放线菌等好氧微生物快速、大量生长繁殖，奶牛粪污在短时间内充分分解，实现无害化处理。

2.2.2 操作方法

（1）将牛舍内的奶牛粪便经刮粪板投入粪沟，然后用收集池内的液体或清洗奶厅废水冲洗粪沟，使粪水一起进入收集池（图1）。

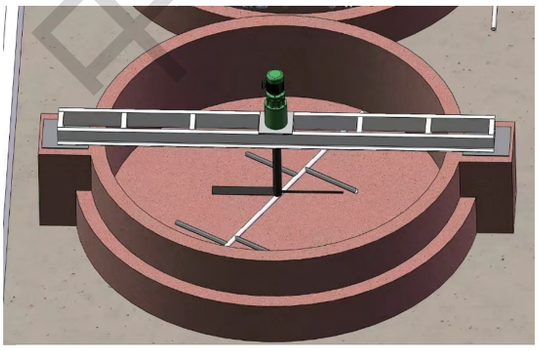


图 1 收集池示意图

（2）向收集池内添加复合菌剂，将粪水搅拌均匀并曝氧后，用固液分离机分离，分离出的固体进入发酵仓，48 h内完成发酵，然后晾晒至水分≤45%，直接回填卧床。如果水分过大，可将其与稻壳按比例混合均匀，水分≤45%后使用（图2）。

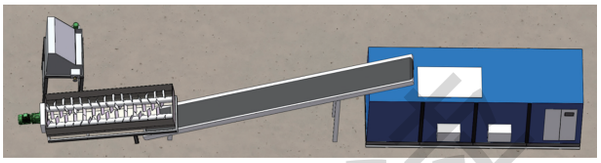


图 2 固体进入发酵仓示意图

（3）将分离出的液体泵入立式搅拌罐，发酵完成（冬季：搅拌+曝氧3～7 天发酵完成；夏季：搅拌+曝氧48 h发酵完成）后排出，直接用作有机肥种植粮食和果蔬（图3）。

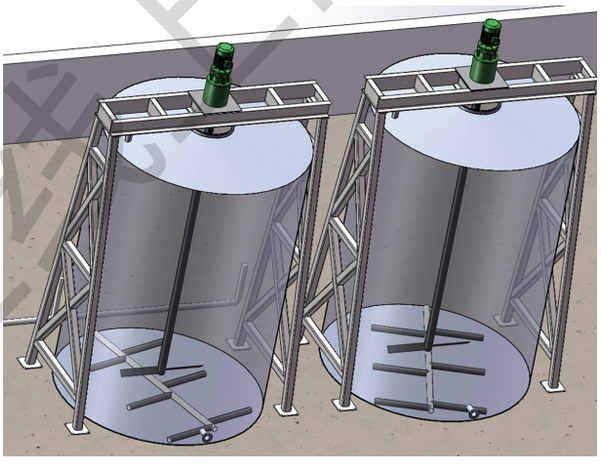


图 3 液体立式发酵罐示意图

3 粪污循环应用成效

3.1 寒亭优然牧业有限责任公司沼气发电项目

该公司建设面积1 518.7 亩，规划养殖奶牛1.5 万头，日产鲜奶270 吨。目前存栏奶牛1.2 万头，建有26 000 m^3沼气发酵罐，同时配套发热装置，不受冷暖气候影响，可全天候持续发电。每年通过沼气发电740 万度，可节约电费近384.8 万元（0.52 元/度）。

产生沼渣经过干湿分离机分离，投入烘干机烘干后回填卧床，每年可节约购买稻壳费用1 680 万元（700 元/吨×2 000 吨/月×12 个月）。

中国乳业编辑部

产生的沼液免费供应周边农民种植小麦和玉米，玉米成熟后由公司统一回收进行青贮，有效保障奶牛优质饲料供应。

3.2 潍坊恒祥养殖有限公司粪水曝氧发酵项目

该公司现存栏奶牛1 900 头。2023年建成粪污曝氧发酵工程，利用奶牛养殖产生的粪污进行曝氧发酵，产生的固体晾晒后回填卧床垫料，每年可节约购买稻壳费用56 万余元（700 元/吨×100 吨/月×8 个月。每年4—11月气温高，固体晾晒后易干燥，水分含量低，可不添加稻壳；12月至次年3月气温低，固体晾晒后不易干燥，水分含量高，需添加稻壳。

另外，该公司流转土地2 000 亩，其中1 600 亩种植小麦和玉米，400 亩种植土豆和萝卜。利用曝氧发酵产生液体还田，全程不用化肥，年可节省开支40 万元。技术每年共增加收入96 万元。目前，该公司种植的土豆和萝卜已获有机认证。

4 讨论

随着我国经济发展、人民生活水平的提高，人们更关注身体健康、周边生活环境，既对肉、蛋、奶等增强体质的畜产品需求量越来越大，又对保护生态环境提出更高要求。2020年9月，我国在第七十五届联合国大会上提出2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和。中共中央、国务院《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》指出，加快形成节约资源和保护环境的产业结构、生产方式、生活方式、空间格局，坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路，确保如期实现碳达峰、碳中和。绿色、低碳是我国奶业发展必由之路，沼气发酵技术和曝氧发酵技术为发展绿色、低碳奶业架起科技桥梁。通过实际生产应用发现，两项技术实现“奶牛养殖–沼液–植物–奶牛养殖”绿色循环发展，奶牛场粪污零排放，养殖业与种植业结合也更紧密[10]。沼气发酵技术利用厌氧微生物分泌的胞外酶将奶牛产生的粪污中的有机物分解，经过液化（水解）阶段、产酸阶段、产气阶段，最终产生沼气并用于发电。曝氧发酵技术由好氧微生物如乳酸菌、酵母菌、放线菌等通过自身生命活动，将奶牛产生的粪污的有机物质氧化合成自身所需能量以及其他营养物质，最终实现粪污无害化处理。实际生产中，沼气发酵技术所需占地面积和投入资金较大，除需建设收集池、发酵罐、储气罐、输气管道等设施外，还需配套发电机组等设备发电。该技术在夏季使用效果较好，产生沼气较多；在冬季使用效果较差，产生沼气较少甚至不产生沼气（如果投资配套发热装置，冬季产气不受影响）。另外，该技术在实际生产过程产生沼气易引起爆炸，应特别注意做好安全生产工作。曝氧发酵技术不需很大占地面积，较沼气发酵技术投入资金少，不产生沼气，安全系数高，能在短时间内将奶牛粪污无害化处理，解决厌氧发酵因消耗时间过长导致效率低下问题。在气温低的冬季，该技术解决厌氧发酵产气量大幅降低而无法持续运营问题，适合各类大、中、小型奶牛场。

5 结语

奶牛场产生粪污经过沼气发酵技术或曝氧发酵技术处理后，既实现零排放，又增加经济效益，助推养殖业健康、可持续发展。人们越来越重视环境质量、身体健康，各类畜牧养殖场推广普及沼气发酵技术或曝氧发酵技术等粪污循环利用模式，有利于发展绿色养殖、种养循环农业，解决发展畜牧业、保护生态环境的矛盾，有利于我国早日实现“双碳”目标。

参考文献

[1] 李莲贵.畜禽粪污处理和资源化利用问题探讨[J].畜禽业，2021，32：26–27.

[2] 牛统娟，王智，胡建宏.畜禽粪污资源化利用方式研究进展[J].畜牧兽医杂志，2021，40：19–22，25.

[3] 姚升，王光宇.基于分区视角的畜禽养殖粪便农田负荷量估

中国乳业线上阅读

算及预警分析[J].华中农业大学学报（社会科学版），2016（1）：72–84，130.
[4] 赵娜娜，滕婧杰，陈瑛.中国农业废物管理现状及分析[J].世界环境，2018（4）：44–47.
[5] 董刚，黄洁，盛清凯，等.种养结合关键技术在农业循环经济发展的应用与展望[J].现代农业科技，2024（1）：209–212.
[6] 余佳洋.种养循环典型模式应用及推广价值分析[J].南方农业，2022，16（11）：131–135.
[7] 王百胜，赵守山，孙红霞，等.畜禽粪污资源化处理技术应用推广[J].畜牧业环境，2020（4）：16.
[8] 马蔷.城市生活垃圾好氧堆肥用滚筒式生物反应器的研制[D].北京：北京化工大学，2013.
[9] 马蔷，王奎升，李秀金，等.用于城市生活垃圾好氧堆肥的滚筒式生物反应器研制[J].环境工程，2013，31（3）：110–112，138.
[10] 苏淑娴，郑冰.“双碳”背景下中国乳业发展现状及对策研究[J].中国乳业，2024（9）：21–25.

中国乳业线上阅读

Application of Manure Recycling Technology in Dairy Farms ––Taking Hanting District of Weifang City as an Example

WANG Naijian[1]，YU Chunfeng[1]，CHEN Yong[1]，GUAN Shengchang[1]，GAO Defeng[2]
[1]Weifang Hanting District Animal development Center，Weifang Shandong 261100
[2]Changyi Animal development Centre，Weifang Shandong 261300

Abstract：With the development of large-scale dairy farms， manure generated during the breeding process and its treatment have become an important issue for the carbon reduction of agriculture and livestock. In order to solve this problem， taking Hanting District of Weifang City as an example， this paper introduced the mechanism，operation method and application effect of biogas fermentation technology and aeration fermentation technology in order to provide reference for dairy farm. Research showed that both technologies can achieve zero emissions of dung on dairy farms， increase the economic benefits of dairy farming， and promote the healthy and sustainable development of dairy industry. Biogas fermentation technology requires a large area and investment funds， and its effectiveness is better in summer and less in winter. Aerobic fermentation technology does not require a large area of land and invests less money than biogas fermentation technology. It can treat cow manure harmlessly in a short time， solve the problem of inefficiency caused by the excessive consumption time of biogas fermentation， and solve the problem that biogas fermenting cannot continue to operate because the output of gas is greatly reduced in winter. It is suitable for various large， medium and small dairy farms.

Keywords：dairy farm；manure recycling；biogas fermentation technology；aeration fermentation technology