

引用本文格式 孙文, 刘春生, 陈海林, 等. 畜禽养殖废弃物生产有机肥发酵技术及设备研究现状[J]. 农业工程, 2024, 14(4): 9-13. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.04.002. SUN Wen, LIU Chunsheng, CHEN Hailin, et al. Research status of fermentation technology and equipment for producing organic fertilizer from livestock and poultry breeding waste[J]. Agricultural Engineering, 2024, 14(4): 9-13.

畜禽养殖废弃物生产有机肥发酵技术及设备研究现状

孙 文, 刘春生, 陈海林, 王小阳

(山西省农业机械发展中心, 山西 太原 030002)

摘 要: 随着畜牧业快速发展, 畜禽养殖废弃物急需无害化处理。针对养殖粪污能源化处理方式、养殖粪污制取有机肥生产工艺、生产有机肥发酵技术, 以及发酵设备分类、组成和工作原理, 总结了有机肥生产技术与设备优缺点及研究现状, 对有机肥设备发展方向进行了展望。

关键词: 畜禽粪污; 养殖废弃物; 有机肥; 发酵; 翻堆机; 生物发酵罐

中图分类号: S224.2 文献标识码: A 文章编号: 2095-1795(2024)04-0009-05

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.04.002

Research Status of Fermentation Technology and Equipment for Producing Organic Fertilizer from Livestock and Poultry Breeding Waste

SUN Wen, LIU Chunsheng, CHEN Hailin, WANG Xiaoyang

(Shanxi Agricultural Machinery Development Center, Taiyuan Shanxi 030002, China)

Abstract: With rapid development of animal husbandry, there is an urgent need for harmless treatment of livestock and poultry breeding waste. Targeting energy-saving treatment methods for livestock and poultry breeding waste, production process of organic fertilizer from livestock and poultry breeding waste, fermentation technology for organic fertilizer production, and classification, composition, and working principle of fermentation equipment, advantages, disadvantages, and research status of organic fertilizer production technology and equipment were summarized, and prospects for development direction of organic fertilizer equipment were provided.

Keywords: livestock and poultry manure, breeding waste, organic fertilizer, fermentation, flipping machine, biological fermentation tank

0 引言

随着生活水平不断提高, 人们对肉蛋奶的需求越来越高, 畜禽养殖场数量逐年增加, 规模不断扩大, 并不断向规模化、集约化发展, 规模化养殖场所产生的畜禽粪便也成倍增加, 并以年均 3% 的速度递增^[1]。畜禽养殖废弃物排放显著递增, 对周边的大气、土壤、水体等均造成环境污染与生态恶化。畜禽养殖废弃物急需无害化处理。

养殖废弃物无害化处理方式之一是能源化处理, 粪污能源化处理主要是利用微生物的增殖作用进行发酵, 发酵方式有厌氧发酵和好氧发酵。厌氧发酵将废弃物有机质转化为二氧化碳、甲烷等无机化合物, 其沼渣再进行下一步处理; 好氧发酵通过好氧发酵菌种

将有机物质氧化分解为二氧化碳和水, 并释放能量, 发酵后的腐殖物肥力强, 可作为有机肥料使用。好氧发酵能够杀死大部分有害病菌, 因而在粪污处理生产有机肥时, 若不考虑生产沼气, 大多采用好氧发酵法^[2]。

我国自古代开始就将人畜粪尿和植物茎秆等混合进行堆肥处理, 也就是利用微生物进行发酵处理, 直到 20 世纪 70 年代, 粪污处理还是堆肥方式^[3]。从 20 世纪 70 年代开始, 优化堆肥工艺及研究堆肥处理配套的设备, 目前堆肥已经形成成熟的工艺路线和配套设备。从 90 年代开始, 研发生物发酵罐设备, 并且研究人员开始将自动控制和人工智能相结合的智能控制用于发酵过程控制, 发酵罐控制系统开始进行系统性研究^[4]。随着微生物菌种的筛选和培养, 以及大型发酵罐智能化控制的发展, 以人工智能、动力学和热力学

等学科为基础,通过计算机研究发酵过程,使发酵过程的工艺控制更加合理,现已研发了相对成熟的生物发酵罐设备进行粪污处理[5]。

国外发酵设备的研究更早,技术更加成熟。1982年,德国 B.Bran 公司发布了其最早的以 PC 机为核心机的微生物发酵控制系统[5]。DUTTA J R 等[6]以改进的发酵过程 Monod 方程为基础,用算法解决了产量最大化问题。ODETUNJI O A 等[7]采用模糊控制算法,与过程变量结合构建模糊控制器,应用于发酵过程变量的自动控制中,进行了仿真模拟,提高了控制精度。

畜禽养殖废弃物的处理和利用,从古到今,从国内到国外,无论是理论、工艺还是应用,都在不断进步和长足发展,尤其是畜禽养殖废弃物在生产有机肥方面。研究畜禽养殖废弃物生产有机肥工艺,发展相关设备,既可解决养殖场环境问题,又具有时代前瞻性,助力畜牧业绿色发展。

1 生产工艺

有机肥是指来源于植物(或动物),经过发酵腐熟的含碳有机物料,其功能是改善土壤肥力、提供植物营养及提高作物品质[8]。畜禽养殖废弃物生产有机肥是解决畜禽养殖废弃物污染的重要途径,也是废弃物资源化利用的有效手段。

畜禽养殖废弃物多由粪尿、饲料、土块和秸秆等组成,经过堆积踩压,形成各种不规则形状,作为有机肥生产的主要原料可根据需要添加秸秆、锯末等其他废弃物进行好氧发酵。

畜禽养殖废弃物生产有机肥的原理主要是利用微生物的好氧发酵,在有氧的环境下,微生物在合适的通风供氧、pH 值、温度、C/N 比及含水率等参数下,利用粪污中有机质和其他营养组分,通过自身增殖作用,氧化发酵基质中小分子有机物质,分解废弃物原料中大分子物质,将有机质氧化成为稳定的有机肥料。有机肥能供各种植物和农作物吸收,并且产出二氧化碳、水和其他小分子无机物。微生物消化分解过程如图 1 所示。

畜禽养殖废弃物生产有机肥工艺根据养殖规模的

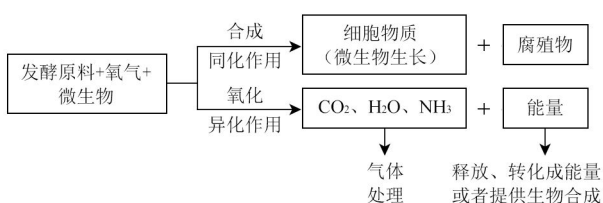


图 1 微生物消化分解

Fig. 1 Microbial digestion and decomposition

不同而采取不同的生产工艺。小型养殖场多采用堆肥发酵,投资较小,技术也容易掌握。中型养殖杨采用发酵罐发酵,需要一定的投资,主要生产粉末状有机肥。大型养殖厂和专门的有机肥生产企业采用完整的有机肥生产工艺,最终生产出商品有机肥。

我国养殖废弃物发酵技术根据配套设备的差异主要有堆肥发酵和生物发酵罐发酵两种方式,工艺路线大同小异,有机肥发酵工艺流程如图 2 所示[6]。堆肥发酵工艺简单,如果畜禽粪污水分太大,发酵前需经固液分离处理,否则直接进行条垛式或槽式发酵,再经过腐熟就可形成有机肥料。生物发酵罐发酵在发酵前需在粪污中添加秸秆、锯末等,并与微生物菌剂一起装入发酵罐,发酵过程中为加快发酵还需对发酵工艺进行控制,发酵完成后可形成粉末状有机肥,或者对粉末状有机肥再进行造粒,最后包装形成商品有机肥。

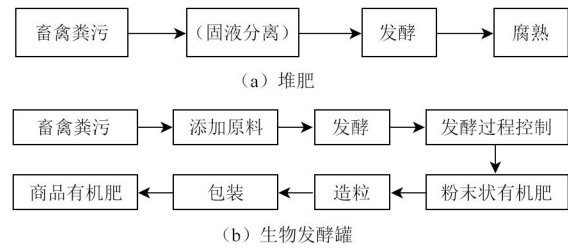


图 2 有机肥发酵工艺流程

Fig. 2 Fermentation process flow of composting organic fertilizer

2 发酵技术及装备

目前有机肥生产产业还未达到规范化、产业化,生产企业以小型化居多,大多数企业依附养殖企业,为本养殖企业处理养殖废弃物,机械化水平较低,有机肥生产的专业机械设备种类也较少,主要原因是有机肥生产原料多种多样,性状差异较大。目前发酵方法有两大类,一种为堆肥发酵法,属于传统发酵方法,主要分为条垛式发酵和槽式发酵;另一种为生物发酵罐发酵法,主要有立式发酵罐和卧式发酵罐。

2.1 堆肥发酵设备

堆肥发酵是传统的发酵工艺,与农家肥腐熟原理和过程相似。原理是养殖废弃物在微生物作用下,将养殖废弃物中有机物质进行分解,转化成肥力更好的腐熟肥料过程,同时杀灭废弃物中有害微生物。堆肥发酵主要有两种方式,分为条垛式发酵和槽式发酵,如图 3 所示。条垛式发酵是将粪污堆放成长条型或码垛型,堆放在地面上,垛体或堆体之间隔出一定距离,增加空气流通,使其加快发酵,这种方法发酵周期一般 3~4 周。槽式发酵是建造发酵室进行发酵,又细分为棚室堆肥和隧道式堆肥,棚式发酵是建造阳光棚,隧道式发酵是建造水泥隔间,在间隔墙的上部根据隔

间的布置铺设导轨，翻堆机在导轨上行走，移动的同时不断翻搅槽内原料，使原料破碎并搅拌，加快发酵过程^[7]。



(a) 条垛式发酵



(b) 槽式发酵

图3 堆肥发酵工艺技术

Fig. 3 Composting and fermentation technology

不论是条垛式还是槽式发酵，整个发酵过程中，需要通过相应设备对堆体进行翻堆。翻堆的作用除通风外，对粪污的含水率和温度等关键参数也进行改变与优化。翻堆机或翻抛机主要有轮式翻抛机、螺旋式翻堆机和履带式翻堆机等，如图4所示。

堆肥发酵一般发酵不充分、周期长，温度、含水率等参数控制不精确；生产的有机肥由于发酵不均匀，导致肥力不均匀；占地面积大，发酵过程中臭气难以消除，造成二次污染。

2.2 生物发酵罐设备

国外在20世纪60年代开始研究生物发酵罐技术，目前生物发酵罐系统比较成熟^[8]。我国2003年开始将控制技术运用到发酵有机肥中，徐光宪等^[9]、赵煜^[10]从不同方向研究生物发酵罐技术。目前技术也较为成熟，运用了各种传感器、PLC和单片机等控制技术，在发酵工艺中加入了模糊控制算法并运用了各种数学模型等^[11]。

生物发酵罐系统是在密闭的发酵室内利用微生物增殖将发酵原料进行发酵转化、降解有机物，发酵过程中可随时对物料进行搅拌、通气、升温 and 降温等操作，随时改善微生物的增殖条件，有效提高发酵速度。生物发酵罐技术利用各种传感器，运用单片机或PLC等控制元件，将各种技术集成起来，可精确地控制发酵罐内的温度、湿度、pH值、C/N比等条件，机械化



(a) 轮式翻抛机



(b) 螺旋式翻堆机



(c) 履带式翻堆机

图4 堆体翻抛设备

Fig. 4 Pile flipping and throwing equipment

和自动化程度比较高^[12]。

生物发酵罐系统主要由发酵室、进出料系统、动力传动系统、搅拌系统、液压动力系统、电气控制系统及加热系统等组成^[13]。工作时由上料系统将粪污等原料输送至发酵室内，开启动力系统后，物料在发酵室内搅拌，同时开启曝气装置（送风系统）和加热系统，维持微生物发酵条件。

生物发酵罐按照物料的流向可以分为立式发酵罐和卧式发酵罐，如图5所示。立式发酵罐物料流向和搅拌轴为竖直垂式，容积大、原料处理量大，设备主要包含进出料系统、翻搅系统、传动系统和保温系统，设备可添加5t以上原料，适用于大规模废弃物发酵^[14]。立式发酵罐优点是处理量大，缺点是发酵慢；搅拌轴为竖直式搅拌，利用轴上的叶片翻搅原料，因为容积大，翻搅难以搅拌完全，空气与设备内部的上下层原料接触不充分、不均匀，发酵的腐熟度也不均匀、不充分。立式发酵罐适合发酵物料均匀、容易混合的原料^[15]。



(a) 立式发酵罐



(b) 卧式发酵罐

图5 生物发酵罐

Fig. 5 Biological fermentation tank

卧式发酵罐也称为滚筒式发酵设备,原料流向和搅拌轴方向为横向,一般容积 $6\sim 30\text{ m}^3$ 。物料在滚筒内可以左右螺旋搅动,物料旋转时也可以上下置换,搅拌充分。卧式发酵罐比立式发酵罐研发早,技术也更成熟,由于卧式发酵罐的环境控制参数,基本能达到完全监测,因而能产出质量更好的有机肥^[16]。

3 存在问题

我国有机肥产业起步较晚,粪污生产有机肥设备种类较多。堆肥发酵设备中,中小型翻堆机多为国产,技术水平较低,价格也较低;大型翻堆机以进口为主,价格较高,以液压传动为动力。应加大科研投入,早日实现大型堆肥翻堆机械国产化。

生物发酵罐设备占地面积小、自动化程度高,一次操作可完成全程发酵,但是设备技术含量高、投资大、耗能高及维护成本高,在中小型养殖企业推广应用难度较高。

4 结束语

从畜牧业的可持续发展来看,当前畜牧养殖存在的环境污染和生态安全等问题,或多或少都与养殖粪污的处理环节有关。畜禽粪污生产有机肥的模式多样,堆肥发酵技术和设备还需规范化、标准化;生物发酵设备投资大、耗能高、操作复杂及维护成本高。传感技术、PLC技术和单片机等电气控制技术,以及模糊

算法、数学模型在生物发酵罐系统中不断地应用与完善,优化其控制工艺,降低其成本和能耗,使生物发酵罐技术不断普及应用。

参考文献

- [1] 陈明波,汪玉璋. 畜禽粪污资源化利用与存在问题[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24(22): 110-111, 123.
CHEN Mingbo, WANG Yuzhang. Energy use and problems of livestock and poultry manure[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2018, 24(22): 110-111, 123.
- [2] 廖青,韦广波,江泽普,等. 畜禽粪便资源化利用研究进展[J]. *南方农业学报*, 2013, 44(2): 338-343.
LIAO Qing, WEI Guangpo, JIANG Zepu, et al. Research progress on resource utilization of livestock and poultry manure[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2013, 44(2): 338-343.
- [3] 康健. 浅谈畜禽养殖对环境的污染[J]. *新农村(黑龙江)*, 2015(10): 87.
- [4] 蔡颖萍,岳佳,杜志雄. 家庭农场畜禽粪污处理方式及其影响因素分析:基于全国养殖型与种养结合型家庭农场监测数据[J]. *生态经济*, 2020, 36(1): 178-185.
CAI Yingping, YUE Jia, DU Zhixiong. Analysis on the treatment of livestock and poultry manure and its influencing factors in family farm and combination of planting and breeding farm: based on the monitoring data of the aquaculture and combination family farms in China[J]. *Ecological Economy*, 2020, 36(1): 178-185.
- [5] NIU Q, TAKEMURA Y, KUBOTA K, et al. Comparing mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of chicken manure: microbial community dynamics and process resilience[J]. *Waste Management*, 2015, 43: 114-122.
- [6] DUTTA J R, DUTTA P K, BANERJEE R. Modeling and optimization of protease production by a newly isolated *Pseudomonas* sp. using a genetic algorithm[J]. *Process Biochemistry*, 2005, 40(2): 879-884.
- [7] ODETUNJI O A, KEHINDE O O. Computer simulation of fuzzy control system for gari fermentation plant[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 68(2): 197-207.
- [8] 张家才,胡荣桂,雷明刚,等. 畜禽粪便无害化处理技术研究进展[J]. *家畜生态学报*, 2017, 38(1): 85-90.
ZHANG Jiakai, HU Ronggui, LEI Minggang, et al. Research progress on innocuous treatment technique of livestock and poultry manure[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2017, 38(1): 85-90.
- [9] 徐光宪,刘建辉,冀常鹏. 啤酒发酵过程监控系统研究[J]. *控制工程*, 2003, 10(5): 450-452.
XU Guangxian, LIU Jianhui, JI Changpeng. Research on micro-computer monitoring system for the fermentation process in beer production[J]. *Control Engineering of China*, 2003, 10(5): 450-452.
- [10] 赵煜. 基于嵌入式技术的微生物发酵罐控制系统研究及实现[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007.
ZHAO Yu. Study and implementation of control system for ferment pot of microorganism based on embedded-system[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2007.

- [11] 马娟, 赵超, 李浩, 等. 浅谈牛场粪污生产有机肥工艺及设备现状[J]. [新疆畜牧业](#), 2015, 30(10): 9-11.
- [12] 于海涵. 滚筒发酵实验设备研制[D]. 北京: 北京林业大学, 2021.
YU Haihan. Research on drum fermentation experiment[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2021.
- [13] 李国学, 李玉春, 李彦富. 固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. [农业环境科学学报](#), 2003, 22(2): 252-256.
LI Guoxue, LI Yuchun, LI Yanfu. Advance on composting of solid waste and utilization of additives[J]. [Journal of Agro-Environment Science](#), 2003, 22(2): 252-256.
- [14] 景显晟. 死畜禽堆肥反应器的研究设计[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2018.
JING Xiansheng. Research and design of mortality composter[D]. Beijing: China Academy of Agricultural Mechanization Science, 2018.
- [15] 李杰. 环保立式发酵罐控制系统研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2019.
LI Jie. Research on environment-friendly vertical fermenter control system[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2019.
- [16] 王岩, 李玉红, 李清飞. 添加微生物菌剂对牛粪高温堆肥腐熟的影响[J]. [农业工程学报](#), 2006, 22(S2): 220-223.
WANG Yan, LI Yuhong, LI Qingfei. Effect of inoculating microbes on cattle manure composting with high temperature[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(S2): 220-223.