DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2024.01.008

畜禽粪污卧式发酵滚筒设计与试验

陈海林, 孙文, 刘春生, 王小阳

(山西省农业机械发展中心,山西太原,030021)

摘要:随着我国养殖业的规模化、集约化发展,畜禽粪污排放量显著递增,对周边大气、土壤、水体等造成严重污染,影响到人类的生存健康,同时也阻碍了养殖业的可持续发展。国家出台了一系列环保和鼓励使用有机肥的政策,鼓励使用畜禽废弃物生产有机肥,用有机肥替代化肥。为响应国家环保政策的要求和破解养殖业畜禽粪污处理的难题,研制了畜禽粪污卧式发酵滚筒,将畜禽粪污与发酵菌种等辅料混合后上料到滚筒内,并辅助加热、曝气、翻搅,实时监测物料温度并可设置电加热和滚筒的启停及运行时长,有利于畜禽粪污完成好氧发酵过程,达到无害化处理的目的。阐述了滚筒的结构组成、工作原理及主要技术参数,根据好氧发酵原理和注意事项,设计了牛粪好氧发酵工艺流程,并按流程完成了粪污卧式发酵滚筒牛粪发酵性能试验。试验结果显示,有机质含量为5.2%、总养分($N+P_2O_5+K_2O$)含量为5.1%,各指标均符合NY525—2012《有机肥料》标准,蛔虫卵死亡率和大肠菌群数都在NY884—2012《生物有机肥》标准范围内。该卧式发酵滚筒结构简单,粪污处理效果好,处理周期短,操作简便、经济适用,可满足中小型养殖企业畜禽粪污的无害化处理和资源化利用。

关键词:畜禽粪污;好氧发酵;滚筒;牛粪;含水率;菌种筛选

中图分类号:S817.3 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-7217(2024)01-0064-07

陈海林, 孙文, 刘春生, 王小阳. 畜禽粪污卧式发酵滚筒设计与试验[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2024, 5(1): 64-70

CHEN Hailin, SUN Wen, LIU Chunsheng, WANG Xiaoyang. Design and experiment on horizontal fermentation drum for livestock and poultry manure [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2024, 5(1): 64-70

0 引言

随着我国养殖业规模化、标准化、集约化的发展,促进了畜牧业发展进程的同时,也带来了畜禽粪污排放量的增加。如果不能及时消纳养殖业带来的大量畜禽粪污,将造成严重的环境污染甚至破坏生态环境。早在2014年执行的《畜禽规模养殖污染防治条例》中指出,国家鼓励和支持畜禽养殖污染防治和畜禽养殖废弃物综合利用和无害化处理的科学技术研究和装备研发[1]。2017年,国务院办公厅印发《关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》(国办发〔2017〕48号),要求畜牧大县制定种养循环发展规划,明确粪肥利用的目标、途径和任务。2020年农业农村部办公厅、生态环境部办公厅联合印发《关于进一步明确畜禽粪污还田利用要求强化养殖污染监管的通知》(农办牧〔2020〕23号),明确应根据畜禽粪污排放去向或利用方式执行相应的标准规范[2]。为防治畜禽养殖造成的环境污染,保护和改善环境,保障公众身体健康,对养殖业畜禽粪污进行科学处理越来越迫切。

畜禽粪污是放错位置的宝藏,其中含有大量的有机质,但未经腐熟的畜禽粪污中含有影响植物生长的有害物质,直接当作肥料施用于土壤,会对农作物产生负面影响。传统的畜禽粪污处理方法是堆肥发酵法,堆肥发酵法是将粪污原料堆砌成长方形条垛直接存放于水平地面上,或将粪污原料存放在预制好的槽内,在微生物的作用下,将有机物进行腐化和无害化处理。国外从20世纪30年代已经开始研究并应用好氧发酵技术进行堆肥,好氧堆肥又称高温堆肥,堆肥的物料温度可达到70 ℃以上,物料分解较彻底,几乎所有的病菌、杂草种子和寄生虫卵均被杀死,现代的堆肥工艺基本都是好氧堆肥[3]。当有机物质通过微生物自身的氧化还原等作用,将有机物完全降解,并杀死内部病原体,转化为稳定、无害、便于运输和储存的有机肥料,可以作为农作物生长所需要的营养物质,既解决了环境污染问题,又实现了种养结合、循环发展。我国的畜禽养殖业近年来已处于世界领先水平,养殖量快速增长,

收稿日期:2023-12-01 修回日期:2024-01-23

基金项目:山西省重点研发计划项目(201803D221027-1)

第一作者:陈海林,男,1974年生,山西人,高级工程师;研究方向为畜牧机械研究与推广。E-mail: 879219695@qq.com

畜禽粪污带来的农业面源污染等环境问题也变得越来越突出。2017年，农业部印发《畜禽粪污资源化利用行动方案（2017—2020年）》《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》，2018—2020年，国家发展和改革委员会和农业农村部加大投入力度，支持200多个畜牧大县整县推进畜禽粪污资源化利用工作。另外各有关部门和相关企业都不断加大科研投入，研发专业设备来减少养殖废弃物的污染，将畜禽养殖废弃物进行能源化处理[4]。后来，随着自动控制技术的发展和微生物菌种的筛选培养与广泛应用，以及大型发酵罐智能化的发展，一些企业和科研人员开始学习和借鉴国外的技术，对畜禽粪污好氧发酵设备进行研究和设计，经过近40年发展，形成了多种实用的有机肥加工方法和装备。

养殖业要兼顾生产与生态两大目标，畜禽粪污无害化处理资源化利用成为各大养殖场迫切需要解决的问题，为他们提供操作简单、处理周期短、处理效果好的设备是当前面临的主要课题。好氧堆肥发酵是粪污发酵最常用的一种发酵方式，世界各国都在使好氧堆肥技术向机械化，高效化发展[5]。随着好氧堆肥发酵技术的不断发展，国内外研制出了很多不同种类的好氧堆肥发酵设备，这些设备在发酵过程机械化，发酵处理规模化以及缩短发酵周期、降低劳动强度等方面体现出很多优点。好氧发酵设备按物料的流向分为立式发酵罐和卧式发酵罐两种，卧式发酵设备可以对粒度大小不均，质地不易混合的物料进行上下翻搅和左右扰动，不留死角，搅拌更均匀，更易于发酵腐熟。西安建筑科技大学的迟文慧等[6]设计了一款梨形筒式好氧堆肥设备，这款滚筒发酵设备没有搅拌装置，是在筒体的内壁上安装了无轴螺旋导板，在滚筒滚动时，螺旋导板会对物料进行切割和翻搅，使其内的物料分布均匀，能够节省制造成本。但是设备没有曝气装置和自动监测及控制系统，无法对发酵物料各指标进行监测并进行实时调整。本课题提出适用于中小养殖场的畜禽粪污无害化处理设备，设计开发了畜禽粪污卧式发酵滚筒，通过将畜禽粪污与发酵菌种等辅料混合后上料到滚筒内并辅助加热、曝气、翻搅，完成好氧发酵过程。可实时监测物料温度并设置电加热和滚筒的启停及运行时长，更有利于畜禽粪污完成好氧发酵，达到无害化处理的目的。

1　畜禽粪污的处理模式

国内外利用好氧发酵法对畜禽粪污的处理方法有很多，其中将畜禽粪污加工为有机肥料主要有两种方式，一种为堆肥发酵法（主要为条垛式发酵），一种为生物发酵罐发酵法。堆肥发酵法的优点是操作简单，投入少；缺点是占地面积大，发酵周期长、肥力差，除臭成本高，二次污染大，冬季发酵效率差[7-8]。发酵罐发酵是在封闭或半封闭的罐体内放置发酵物料，控制罐体内的温度、湿度等条件，将发酵物进行转化的一种技术。发酵罐发酵法的机械化和自动化程度较高，采用动态发酵工艺，从改善微生物增殖条件、提高微生物增殖速度和活性，来加快有机质的分解，缩短发酵时间。

2　卧式发酵滚筒整体结构、工作原理及主要技术参数

2.1　整体结构

卧式发酵滚筒主要包括底座、前后端板、进出料系统、发酵滚筒、驱动系统、电加热系统、曝气系统、电气控制柜等（如图1）。电加热装置、空压机、进料绞龙装在柜体内。

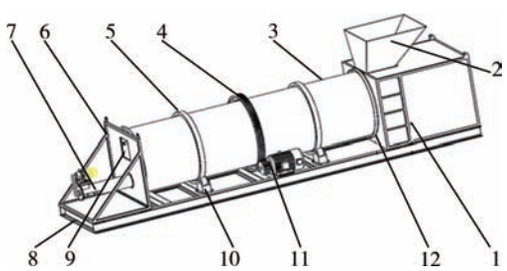


图1　粪污发酵滚筒结构示意图

Figure 1　Structure diagram of manure fermentation drum

1. 柜体　2. 进料斗　3. 滚筒筒体　4. 驱动齿圈　5. 支撑圈　6. 后端板　7. 出料绞龙　8. 底座　9. 观察口　10. 支撑座　11. 减速电机　12. 前端板

2.2　工作原理及主要技术参数

工作原理：启动系统，经预处理的畜禽粪污与菌种原料均匀混合后上料送入发酵滚筒，电机驱动滚筒进行旋转进料，当进料达到滚筒填充系数60%～70%时，卧式搅拌器的填充系数一般为0.6～0.8，发酵效果较好[9]，此时停止进料，启动电加热设备，设置滚筒转动频率与时长，设置空压机曝气的频率后，设备自动运行，定时监测滚筒内物料温度变化情况。

好氧发酵过程分为：升温（开始发酵）、持续高温（快速发酵）、降温（腐熟期）3个阶段（如图2）。

滚筒内混合物料在电加热和微生物菌群活动所产生的热量两种热能叠加作用下，温度可达到70 ℃以上，在驱动系统、曝气系统、电器控制系统协同作用下，滚筒内物料进入最佳发酵状态，持续2～3 d时间，直至控制柜温度显示屏显示滚筒内物料温度开始下降，通过观察口看到物料明显减量，发酵就进入腐熟期，在这一期间，微生物基本分解完发酵原料，发酵环境中的温度逐渐下降，微生物的活性降低，发酵结束[10]，出料后堆置陈化10～15 d，在自然通风状态下水分降低至

20%～30%,即完全腐熟成有机肥。滚筒主要技术参数如表1。

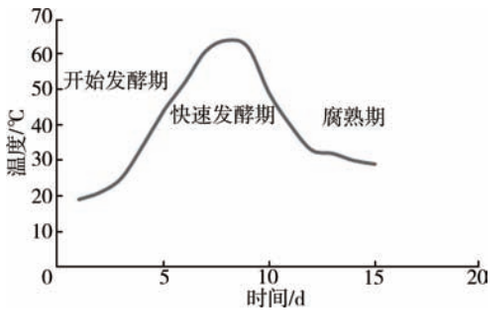


图2 好氧发酵温度变化示意图

Figure 2 Schematic diagram of temperature change of aerobic fermentation

表1 发酵滚筒主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of fermentation drum

主要设计要求	参数
结构形式	罐式
配套动力总功率/kW	39
日均处理能力/(m^3·d^{-1})	≥3.5
外形尺寸/(mm×mm×mm)	8 000×2 000×2 500
盛料容器容积/m^3	12
处理周期/d	5～7
滚筒长度/mm	6 000

3 卧式发酵滚筒的设计

3.1 滚筒设计

滚筒筒体是发酵滚筒的主要部分,是物料进行好氧发酵的主要场所,为发酵过程提供稳定的发酵环境,根据设计经验并考虑设计的合理性和适用性,设计发酵滚筒为圆柱形筒体,考虑中小型养殖企业粪污的产生量,设计筒体的有效容积为8 L。设滚筒的有效容积为V_0,总体积为V,物料的填充系数为η,取η=0.67,有$V=V_0/\eta$,计算得总体积V=12 L。

设滚筒内直径为D,长度为H,一般发酵滚筒筒体的长径比H/D的合适范围为2～5[11],所以取直径D为1 600 mm,长度为6 000 mm,由公式$V=0.25\pi D^2H$,计算得总体积为12 L,有效容积约为8 L,符合设计要求。

为保证筒体的强度和刚度及耐腐性,以便在滚动过程中不发生变形或破裂,筒体壁采用厚度为10 mm钢板。采用单边可调的双支撑结构,将滚筒放置于由工字钢焊接成的长方形底座上。前后端设置有进出料装置,筒体与前后端板之间采用特殊密封装置密封,防止漏料同时能将废水从缝隙导出。由于发酵过程中,周围环境的温度对发酵的速度有很大的影响,外部环境温度过低时,温度很容易散失,造成滚筒内部温度降低,减慢发酵速度[12]。因此在滚筒外壁采用50 mm保温材料进行包裹,以减少热量散失,保证内部物料正常发酵。

3.2 滚筒的支承和驱动系统

滚筒为高负荷、大扭矩、低转速的装置,驱动齿圈固定在滚筒长度中心位置与滚筒外圈焊接于一体,齿圈两旁焊接支撑圈,支撑圈与固定在底座上的四个支撑座上的托轮承接,在滚筒回转过程中托轮起定位和支撑作用。通过减速电机带动小齿轮,小齿轮啮合齿圈,进而驱动滚筒旋转。驱动电机为变频调速电机,功率为4 kW,滚筒转速约为0.2 r/min,倾角为2°。机架是设备的支撑,承载进料装置、滚筒、出料装置,以及其他配套设备的安装空间,并承担整套设备的全部重量。机架在设计时需满足配套设备便于安装与拆卸,并便于维修和配件更换,机架在合理设计同时,要求有较强的刚度、强度与稳定性,并具备一定的抗震性能[13]。

3.3 进出料装置

设备进出料均采用螺旋输送机,进料出料装置筒体直径为300 mm,内有螺旋绞龙,配备2.2 kW电机。物料经上料斗滑落到进料绞龙后被送入滚筒前端,在滚筒内壁设置长度不同,方向相同的导流板,促使进入滚筒的物料在滚筒转动下缓慢向前推进,使进入的物料均匀地分布在滚筒内,保证滚筒转动平稳。

出料绞龙装在滚筒出料端端板下方,接料口端伸入滚筒内,出料时,随着滚筒的缓慢旋转,物料落入接料口后经绞龙排出。接料口配有破拱装置,防止滚筒内粗大块堆肥封拱后无法出料。在尾部端板上部开有观察孔,方便观察内部物料分布及发酵情况。

3.4 搅拌加热装置

好氧发酵是一个相对静态的过程,在滚筒内不同位置,原料的发酵速度并不一致,如果搅拌不均匀,物料发酵不完全,发酵速度不一致,会降低整体的发酵处理速度[14]。在前后端板之间固定有加热搅拌装置(如图3),外部与电加热装置的管道相连接,管道内部装防冻液或煤油,在物料好氧发酵过程中起辅助加热作用,在滚筒带着物料缓慢旋转过程中,该装置固定不动又起搅拌作用,保证滚筒内物料混合均匀。

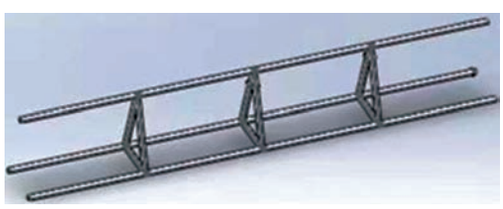


图3 物料搅拌加热装置

Figure 3 Material stirring heating device

3.5　曝气装置

该设备为好氧发酵设备，在发酵过程中需保证物料发酵所需的氧气量，考虑到滚筒内曝气管处压强较大，鼓风机无法满足送气要求，故选择空压机来完成通气操作[15]。空压机通过布置在滚筒底部的管道，定期对滚筒内部进行曝气。通过曝气增加通风量，有以下两个好处：一是增加发酵系统的氧气含量，满足微生物好氧菌种增殖发酵所需的氧气量；二是通过曝气增加通风量，加速滚筒中的空气流动，加速水分的挥发。

曝气管与空气压缩机气管相连接后，固定在前端板上，伸入滚筒内加热管下方，另一端通过连接板与加热管固定，曝气管为二根六分钢管，每根曝气管上设计三根支管为曝气口，小管与水平成30°夹角，每组小管对称分布，如图4所示。在滚筒工作时，曝气管是被埋在物料下面的，当需要曝气的时候，由控制系统发布指令，高压气体就会通过管路从曝气口喷出进行曝气，将新鲜空气送入筒内。

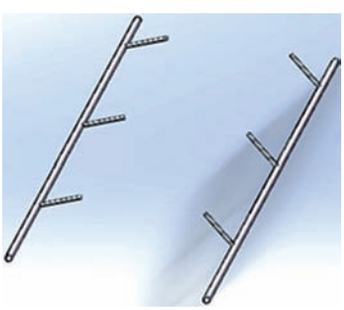


图4　曝气装置

Figure 4　Aeration device

3.6　滤水装置

在滚筒内壁沿滚筒轴向均匀分布着8个端面呈梯形状，长度接近滚筒长度的滤水槽，滤水槽与滚筒内壁焊合后形成滤水腔，滤水槽顶部为网状筛孔，便于物料发酵过程中产生的废水进入滤水腔，进入的废水沿滤水腔内壁流向滚筒低端废水口（如图5）排出滚筒，保证物料中多余水分的散失。

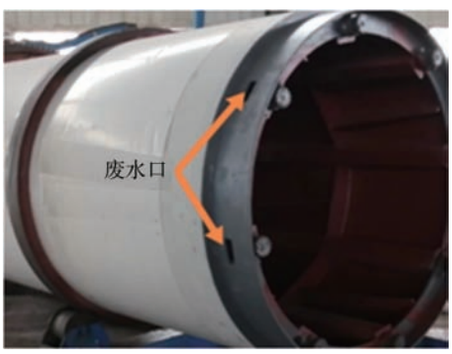


图5　滚筒上的废水口

Figure 5　Waste water outlet on drum

为了防止粪污碎屑通过筛孔进入堵塞滤水腔，在滤水腔内设计了螺旋绞龙，绞龙首端齿轮在滚筒旋转过程中与前端板上固定的一段弧形齿条啮合后随动，实现断续转动排出滤水腔内沉积的粪污碎屑，保证滤水腔通畅。

3.7　温度传感器的安装

根据发酵过程控制的要求，本套设备选用热电偶温度传感器，测温范围为：0～100 ℃，为保证温度测量的准确性与代表性，设备设置3个温度测定点，从滚筒进料端板伸入一根六分钢管，一端与端板焊接，另一端通过连接板与加热管固定，平行于加热管，管内放置温度传感器，从端面伸入，距端面的距离分别为近端、中端、远端，也就是测温点分布在滚筒两端和中间3个点。测温传感器将温度信号送至数显温度仪显示物料内部实时温度。

3.8　滚筒控制系统

发酵工艺主要分为上料、发酵、出料3个过程，发酵过程中设置温度和曝气等工艺。有机肥发酵罐的控制系统按照控制要求进行控制，才能保证实现机械系统的功能性和控制系统的准确性[15]。根据发酵滚筒控制系统的功能需求，设计了发酵滚筒控制系统主电路和控制电路。主电路由断路器、交流接触器、进料电机、主滚筒电机、出料电机、电加热器、空压机电机等组成。

1）温度独立调节，温度控制范围为：0～100 ℃，控制精度±2%。

2）输入开关量有：滚筒、进出料电机、电加热设备、空压机等启动按钮。

3）输出开关量有：指示灯与报警器，经由交流接触器控制电机。

4　卧式发酵滚筒牛粪好氧发酵试验

4.1　试验条件与材料

对于罐内好氧发酵来说，有很多因素都会影响发酵过程，主要分为内在因素和外在因素，内在因素包含粪污原料种类和微生物菌种，外在因素包含温度、含水率、pH值、通氧量、颗粒度、C/N比等环境参数[16]。试验材料为鲜牛粪，牛粪来自吕梁市文水县南安镇南安村肉牛养殖场，性状为淡黄色，含水率72%，pH值为7，环境温度26 ℃左右。

畜禽粪污好氧发酵的最佳发酵温度为65 ℃～70 ℃。当温度达到高点并开始下降时，微生物的发酵速度开始减慢，发酵物料处于腐熟期，当温度下降至基本不变时，可以判断发酵基本结束，物料基本发酵完全[17]。畜禽粪污发酵物料的含水率通常为55%～

65%为宜,水分的流动可使微生物菌体和养分均匀分布,物料均匀腐熟。水分过少会限制微生物的运动及代谢,物料温度达不到腐熟所需温度,而降低反应速率。碳氮比是发酵原料中碳元素与氮元素的比例,对微生物的代谢起着重要作用。综合各方面因素,发酵初期的碳氮比应在30～35:1比较适合。在发酵结束后,碳氮比也可以作为是否腐熟的标志,有研究表明,碳氮比在15～25:1之间,可认为发酵较为完全[18]。pH值也是影响发酵过程的一个关键因素,发酵菌种最适合在中性或偏碱性的环境下进行增殖。因而一般发酵物料的pH在6～8之间,微生物具有较强的生物活性。

4.2 牛粪好氧发酵工艺流程

发酵罐好氧发酵的工艺流程主要有两个阶段:第一阶段是发酵准备阶段,主要进行发酵前的准备,包括粪污原料含水率的测定与调节及碳氮比的配比,发酵菌种的活化与添加;第二阶段为发酵阶段[19]。将第一阶段处理好的原料进入至发酵滚筒,利用微生物的增殖来分解物料,同时发酵滚筒为发酵提供温度和氧气等条件,发酵完全完成后开始出料陈化,最终得到腐熟的有机肥。牛粪好氧发酵腐熟工艺如图6。

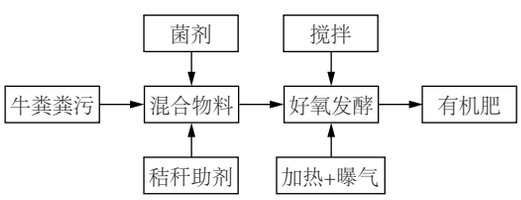


图6 牛粪好氧发酵工艺流程

Figure 6 Process flow of aerobic fermentation of cow manure

4.3 试验方法

4.3.1 筛选菌剂

从市场采购常用的好氧发酵菌剂,环境净化菌剂、秸秆粪便腐熟剂、复合有机肥发酵剂3种菌种分别按照各自的使用说明进行预处理并接种至准备好的牛粪中,其中环境净化菌剂为液体菌剂直接拌入牛粪中混合均匀;秸秆粪便腐熟剂为粉末状菌剂,添加适量玉米面混合均匀后拌入牛粪中;复合有机肥发酵剂需发酵剂、红糖和玉米面按一定比例混合于水中,经3 h完成菌种活化后,再接种至新鲜牛粪中。接种3种菌种时,分别将新鲜牛粪拌入预处理好的菌种,并堆成长方形条垛状,进行预发酵试验,试验选择静态发酵,每天翻堆一次。发酵前记录牛粪温度与环境温度,发酵期间每隔3 h检测温度、含水率以及pH值。发酵完全后对比发酵结果如表2。

4.3.2 试验过程

经过比较,确定“复合有机肥发酵剂”为试验发酵生物菌剂,将“复合有机肥发酵剂”按照使用说明书要求配比活化后,与牛粪、秸秆混合搅拌均匀,测试含水率71.5%,pH值为6,碳氮比30:1。

表2 预发酵菌种筛选对比记录表

Table 2 Records of pre-fermentation strains screening and comparison

接种菌种名称	发酵试验时间/d	发酵最高温度/℃	发酵结果
环境净化菌剂	4	38	发酵效果差,未完成发酵
秸秆粪便腐熟剂	3	45	发酵升温慢,大部分完成发酵
复合有机肥发酵剂	3	68	发酵升温迅速,大部分完成发酵

通过上料斗将混合物料按进料量进料到滚筒后,启动电加热装置,管道内热水(试验用自来水)开始对滚筒内混合物料预加热,设置滚筒为间歇式运动,每2 h旋转1次,每次5 min,曝气装置每5 min曝气一次,每天记录3次温度和含水率变化情况取平均值(如图7、图8)。

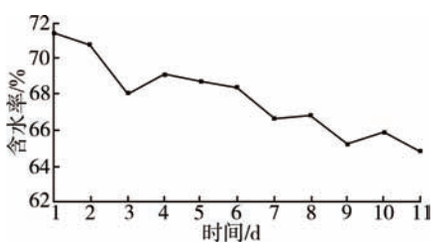


图7 全程发酵含水率变化

Figure 7 Change of moisture content in the whole fermentation process

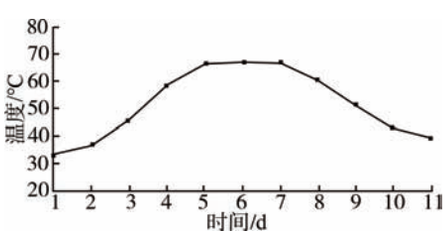


图8 发酵温度变化曲线

Figure 8 Fermentation temperature curve

直到第3 d物料温度开始上升到43 ℃,含水率降到68%,此时为了避免搅拌过程散失热量,影响温度升高,调整滚筒为1 d旋转1次,每次5 min,曝气装置仍按每5 min曝气一次,第4 d温度达到61 ℃,含水率上升到69%,到第5 d物料温度上升到最佳发酵温度65 ℃时,关闭滚筒旋转和电加热装置,物料依靠自身发酵所发热量进行快速发酵,大量污水从废水口流出。

到第6 d、第7 d、第8 d温度保持在67 ℃左右,第9 d温度开始下降为61 ℃,含水率降到65%,可见物料已

进入腐熟阶段，到第 11 d 温度下降到 40 ℃，含水率到 64%，按工艺流程启动出料装置开始出料，出料后物料（如图 9）进行堆置陈化后成为有机肥。



图 9　牛粪好氧发酵出料后

Figure 9　After aerobic fermentation of cattle manure

4.3.3　试验结果分析

从牛粪物料进入到发酵滚筒运行开始，到物料完成好氧发酵出料共用时 10 d，超过设计处理周期 3 d，考虑两方面因素：一是参与发酵物料含水率太高，降低了微生物菌的生物活性；二是加热装置的热效率不够高，影响物料起初换热，温度上升较慢。

对发酵产物进行取样化验，化验结果如表 3。从表 3 看出牛粪经发酵滚筒处理后的有机肥达到无害化处理要求，各项指标均高于 NY525—2012《有机肥料》标准，蛔虫卵死亡率和大肠菌群数都在 NY884—2012《生物有机肥》标准范围内。

表 3　发酵产物的化验结果

Table 3　Assay results of fermentation products

检验项目	标准值	测试结果
有机质含量（以干基计）	≥45%	52%
总养分（$N+P_2O_5+K_2O$）含量（以干基计）	≥5.0%	5.1%
水分含量（鲜样）	≤30%	30%
酸碱度（pH 值）	5.5～8.0	6.8
蛔虫卵死亡率	≥95%	100%
粪大肠菌群数/（个·g^{-1}）	≤100	3

5　结论

1）设计的畜禽粪污无害化处理设备结构简单，操作简便，自动化程度高，处理周期短，粪污处理效果好，可根据好氧发酵工艺要求，设置发酵流程，如设置滚筒转动频率与时长、设置加热温度与时长、设置曝气频率等，可满足中小型养殖企业粪污的无害化处理资源化利用。

2）该禽粪污好氧发酵设备可用于鸡粪、牛粪、猪粪以及作物秸秆等有机废弃物的处理，设备填充系数 60%～70%，发酵物料的含水率为 55%～65%，pH 在 6～8 之间为宜，最佳发酵温度为 65 ℃～70 ℃，可在 5～7 d 完成粪污的好氧发酵过程。

3）试验结果表明，牛粪物料按照好氧发酵工艺流程，经该卧式发酵滚筒发酵处理后，能够达到无害化处理要求，各项指标符合 NY525—2012《有机肥料》。

参　考　文　献

[1] 国务院．畜禽规模养殖污染防治条例[EB/OL]．https://flk.npc.gov.cn/detail2.html?ZmY4MDgwODE2ZjNjYmIzYzAxNmY0MTIwMmZlYzE4YmY，2024－01－01.

[2] 农业农村部.《农业农村部关于进一步加快畜禽粪污资源化利用的建议答复》[EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/xmsyj/202010/t20201014_6354212.htm, 2024－01－01.

[3] 宋国英，牛静波．国外城市固体废弃物处理技术的进展[J]．国外环境科学技术，1993(2)：53－57.

[4] 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]．家禽生态学报，2017，38(1)：85－90.
ZHANG Jaicai，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.

[5] 曾庆东，刘孟夫．好氧堆肥技术与装备在农业废弃物资源化中的应用[J]．现代农业装备，2018(2)：53－57.

[6] 迟文慧，任勇翔，陈威，等．梨形筒式好氧堆肥反应器的开发与应用[J]．环境工程学报，2013(9)：3561－3566.
CHI Wenhui，REN Yongxiang，CHEN Wei，et al. Development and application of a pyriform rotating drum reactor for aerobic composting [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering，2013(9)：3561－3566.

[7] 罗维，陈同斌．湿度对堆肥理化性质的影响[J]．生态学报，2004，24(11)：2656－2663.
LUO Wei，CHEN Tongbin. Effects of moisture content of compost on its physical and chemical properties [J]. Acta Ecologica Sinica，2004，24(11)：2656－2663.

[8] 张俊超．立式好氧发酵罐在处理城市固体废弃物中的实践应用[J]安徽农业科学，2015,43(3):280－281.
ZHANG Junchao. Application and development of vertical aerobic fermentation tank in processing city solid waste [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences，2015，43(3)：280－281.

[9] 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(10)：9－11.

[10] 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(3)：110－112，138.
MA Qiang，WANG Kuisheng，LI Xiujin，et al. Design of the rotary drum biological reactor used in municipal solid waste composting [J]. Environmental Engineering，2013(3)：110－112，138.

[11] 王书婧，陈国安，曹斌祥．卧式滚筒发酵处理设备设计[J].

农业机械, 2018(11): 102－106.
[12] 于海涵. 滚筒发酵实验设备研制[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
YU Haihan. Research on drum fermentation experiment equipment[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.
[13] 黄军. 养殖废弃物好氧发酵罐研究与设计[D]. 南宁: 广西大学, 2018.
[14] 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(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(2): 252－256.
[15] 何贵生. 有机废弃物好氧发酵设备开发研究[D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2015.
HE Guisheng. The development and research on aerobic fermentation equipment for organic waste [D]. Ma′anshan: Anhui University of Technology, 2015.
[16] NY 525—2012, 有机肥料[S].
[17] 张海涛, 任景明. 我国畜禽养殖业污染防治问题及国外经验启示[J]. 环境影响评价, 2015, 37(6): 30－33.
ZHANG Haitao, REN Jingming. Pollution prevention issues and foreign experience of livestock production in China [J]. Environmental Impact Assessment, 2015, 37(6): 30－33.
[18] 杨茜, 李维尊, 鞠美庭. 微生物降解木质纤维素类生物质固废的研究进展[J]. 微生物学通报, 2015, 42(8): 1569－1583.
YANG Qian, LI Weizun, JU Meiting. Advances in microbial degradation of lignocelluloses biomass solid waste－A review[J]. Microbiology China, 2015, 42(8): 1569－1583.
[19] 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(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(S2): 220－223.

Design and experiment on horizontal fermentation drum for livestock and poultry manure

CHEN Hailin, SUN Wen, LIU Chunsheng, WANG Xiaoyang

(*Shanxi Agricultural Machinery Development Center, Taiyuan* 030021, *China*)

Abstract: With the large-scale and intensive development of China′s aquaculture industry, the discharge of livestock and poultry manure has increased significantly, causing serious pollution to the surrounding atmosphere, soil, water, etc., affecting the survival and health of human beings, and hindering the sustainable development of aquaculture industry. China has issued a series of policies to protect environment and encourage the use of organic fertilizers, encourage the use of livestock and poultry waste to produce organic fertilizers, and replace chemical fertilizers with organic fertilizers. In response to the requirements of national environmental protection policies and solve the problem of livestock and poultry manure treatment, a horizontal fermentation drum for livestock and poultry manure was developed. The drum is helpful for livestock and poultry manure to complete the aerobic fermentation process and achieve the purpose of harmless treatment by mixing livestock and poultry manure with fermentation strains and other auxiliary materials, assistance in heating, aeration and stirring, monitoring the temperature of the material in real time, and the setting of electric heating, the start and stop of the drum and the running time. The structure, working principle and main technical parameters of the roller were described. The technological process of aerobic fermentation of cow manure was designed according to the principle and precautions of aerobic fermentation, and the fermentation performance test of manure horizontal fermentation roller was completed according to the process. The results showed that the organic matter content was 5.2% and the total nutrient ($N+P_2O_5+K_2O$) content was 5.1%, all of which exceeded the standard values of NY525—2012《Organic fertilizer》. The mortality rate of ascaris eggs and the number of coliform bacteria were both within the standard range of NY884—2012《Microbial organic fertilizers》. The horizontal fermentation roller has the advantages of simple structure, good manure treatment effects, short treatment period, simple operation and economical applicability, and it can meet the harmless treatment and resource utilization of livestock and poultry manure in small and medium-sized breeding enterprises.

Keywords: ivestock and poultry manure; aerobic fermentation; drum; cow manure; moisture content; strain screening