

我国畜禽粪便肥料化利用现状与发展趋势

张玉海¹, 涂岳², 陈苏², 张华龙¹, 胡海东¹, 郜建英^{1*}

(1. 廊坊职业技术学院, 河北 廊坊 065001; 2. 山东菏泽三仪生物工程有限公司, 山东 菏泽 274000)

摘要: 养殖场粪污处理是环境治理的重要环节, 文章结合相关文献及课题组成员对畜禽粪污处理的实践经验, 对我国畜禽粪污肥料化利用现状进行总结并提出了畜禽粪便肥料化利用的发展趋势, 以期养殖场粪污治理工作和有机肥生产提供参考。

关键词: 畜禽粪便; 肥料化; 利用现状; 发展趋势

中图分类号: X713

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2019)05-0053-05

Current and Development Trend of Fertilizer Utilization of Livestock and Poultry Manure in China

ZHANG Yuhai¹, TU Yue², CHEN Su², ZHANG Hualong¹, HU Haidong¹, GAO Jianying^{1*}

(1. Langfang Polytechnic Institute, Langfang 065001; 2. Shandong Heze Sanyi BioEngineering Co., Ltd. Heze 274000, China)

Abstract: The manure treatment of farm is an important link of the environmental governance. Combined the practical experience of the members of the task group on the treatment of livestock manure, the related references published on China National Knowledge Infrastructure in recent years were combed in the paper. The current situation and development trends of the technology for the use of livestock manure fertilizer were summarized. The aim was to provide reference for manure treatment and organic fertilizer production in farm.

Key words: Livestock and poultry excrement; Fertilizer; Utilization status; Trend of development

人民生活水平的不断提高, 直接推动着畜牧业的快速发展。据统计, 2018年我国畜牧业总产值为 28 697.40 亿元^[1], 畜牧业已经成为我国农业经济的支柱产业。同时, 畜禽养殖过程中产生的大量粪便对环境造成的严重污染引发社会广泛关注, 成为我国养殖业可持续发展中迫切需要解决的重大问题。国家相继出台《国务院办公厅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)、《关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》(中发[2018]17号)等系列文件, 从政策层面为进一步做好畜禽粪便污染治理指明方向。农业农村部进行了具体部署, 全国畜牧总站牵头成立的“国家畜禽养殖废弃物资源化利用科技创新联盟”针对畜禽养殖废弃物治理, 从源头减量、过程控制、

末端利用三个方向开展协同攻关。其中末端利用的重点是畜禽粪污资源化利用, 包括肥料化利用、饲料化利用及能源化利用^[2]。深入开展粪污肥料化利用研究不仅有利于养殖场环境治理, 并对推动农业部关于“到2020年化肥使用量零增长行动方案”(农发[2015]2号)工作的实现也有积极意义。本文结合相关文献及课题组成员粪污处理的实践经验, 就畜禽粪污肥料化利用技术的现状及发展趋势进行总结, 以期养殖场粪污处理和有机肥生产提供参考。

1 畜禽粪便污染对环境的影响

据报道, 目前我国常年产生的畜禽粪污总量近 40 亿 t, 畜禽养殖业排放物化学需氧量达到 1 268 万 t, 占农业源排放总量的 96%, 是造成农业面源污染的重要原因^[3]。粪便所含有有机物及其露天堆放发酵产生的 CH₄ 等温室气体和 H₂S、NH₃、醇类、胺类、吡啶等恶臭物质^[4] 对水体、土壤、大气等环境安全构成严重威胁。

污染水体。畜禽粪便的随意堆放, 使所含有

收稿日期: 2019-05-13

基金项目: 河北省科技厅农业关键共性技术攻关专项(17227311)

作者简介: 张玉海(1962-), 男, 教授, 主要从事农业技术推广。

通讯作者: 郜建英, 女, 博士, 教授, E-mail: 1132204457@qq.com

机污染物进入水体达2%~8%,粪污随雨水流入江河湖泊,使水体富营养化、有毒有害藻类大量繁殖,这也是江河湖泊化学需氧量、N、P等主要污染指标严重超标的重要原因之一^[4]。宋大平等^[5]研究表明,安徽省水环境污染负荷指数为7.03,畜禽粪便对水体污染严重。

污染土壤。主要指饲料中未被畜禽利用的微量元素或抗生素等添加剂的污染^[6-7],这些物质过腹后以粪便形式被排出体外。据报道,我国每年使用微量元素添加剂为 $15 \times 10^4 \sim 18 \times 10^4$ t,而大约有 10×10^4 t左右的重金属元素未被畜禽吸收而随粪便排出体外进入土壤。猪粪中Cu、Zn、Mn、Ni含量较高,鸡粪中Cr含量较高,牛粪中重金属含量低于其它粪便,其中猪粪中Cu、Zn超标严重^[8]。有机肥料的施入增加了土壤中Cr和Cd这两种重金属的累积,特别是农家肥和化肥配施更进一步提高了重金属Cr、Cd以及Cu、Zn超标的风险^[9],对土壤污染进一步加重。当重金属含量超出土壤的缓冲能力,土壤中心微生物先被破坏,从而影响土壤物理、化学环境及养分的转化。

同时畜禽粪便还通过病原微生物污染土壤,杜芬^[10]对土壤生物污染情况研究研究表明,土壤全年受到弓形虫卵囊的污染,各季节之间差异极显著($P < 0.01$),土壤可能是人和动物感染弓形虫的传染源之一;根据大肠杆菌判定有41.86%的土壤被粪便污染,大肠菌群已超出我国畜禽养殖业污染物排放标准规定的 $10 \sim 10\ 000$ 倍,土壤中肠道致病菌严重超标。粪便中的寄生虫、大肠杆菌等病原微生物是土壤生物污染的主要来源。

污染大气。郭娇等^[11]对中国畜牧业温室气体排放的组成进行分析,结果表明,粪便中的 N_2O 和 CH_4 排放比例分别为18.23%和15.16%。养牛业和养猪业成为中国畜牧业温室气体的主要排放源。畜禽粪便若通过露天堆肥存放,对大气环境污染更大。

畜禽粪便若不及时有效处理,通过污染环境将直接或间接对人类生命安全构成威胁。

2 畜禽粪便肥料化利用现状及研究进展

2.1 肥料化利用模式

《全国畜禽粪污资源化利用整县推进项目工作方案(2018~2020年)》,从政策上重点支持我国畜牧大县畜禽粪污资源化利用工作的开展。畜牧总站组织专家根据当前我国粪污资源化利用现

状,确定了九种主推技术模式^[12]。其中涉及粪污肥料化利用模式主要包括五个方面,在实际使用中各有优缺点。

一是“粪污全量还田模式”,虽然设施建设及粪污处理成本低,但存在粪便贮存时间长、占用土地面积大、粪污施用范围受限等不足;二是“粪水肥料化利用模式”此模式虽可解决污水处理问题,但需要周围有一定面积的农田与之配套且处理成本较高;三是“粪水达标排放模式”,此模式虽然降低了污染风险、减少用地要求,但设施投入大、技术要求高、成本高,一般养殖企业难以接受;四是“异位发酵床模式”,粪便和尿液通过漏缝地板进入下层垫料或转移到舍外垫料发酵槽中进行充分发酵后,可直接作为肥料应用,其优点是不产生污水且处理成本低,不足之处是受垫料收购限制及成本较高等因素影响,此模式大面积推广有一定难度;五是“粪污堆肥利用模式”,由于对粪污无害化处理比较彻底、粪便附加值高、经济效益好,虽然堆肥过程易产生较多臭气,但若采用现代科技手段处理可有效减少二次污染。堆肥是目前应用最广泛的粪污处理模式。

2.2 粪污堆肥现状及研究进展

2.2.1 堆肥条件

(1)堆肥是人们处理畜禽粪便最原始也是最简单的方法,是利用堆料中的微生物发酵降解粪中有机物质并产生高温,促进粪便腐熟并杀灭其中的病原微生物及杂草种子等,最后形成有利于植物利用的化合物及腐殖质的一种生物化学过程^[13]。经堆肥处理过的粪便可使其中的重金属活性降低、养分更有利于植物吸收利用^[14]。目前生产上广泛采用好氧堆肥。

(2)许多学者^[15-17]认为,堆料的含水率、C/N值、氧气浓度、堆料颗粒浓度及pH等是实现满意堆肥的条件,其中堆料的含水率、C/N值是关键因素。通过向基质预混合系统中添加辅料进行调节,使堆料中水分含量控制在55%~65%、C/N值在20:1~40:1、堆体温度保持在55~60℃、pH为5.5~9.0范围内有利于堆肥过程进行。同时在堆料中可接种适宜的发酵菌种、添加某些矿物质等能更好满足好氧发酵技术条件要求,有效缩短发酵周期并为堆肥腐熟创造最佳条件。

2.2.2 堆肥用添加剂

(1)微生物菌剂。研究表明,同等条件下在堆料中添加微生物菌剂可减少堆肥时间并提高堆肥产品质量^[18-20]。李舒清等^[21]在牛粪好氧堆肥中接

种由解淀粉芽孢杆菌和灰绿曲霉组成的混合菌剂,结果发现,堆体升温速度、高温保持时间及堆料pH值等指标均有所提升,堆肥提前22 d进入腐熟并降低了CH₄等温室气体排放量。李尚民等^[22]选择市场上应用效果较好的微生物菌剂,分别按3%比例向鲜鸡粪和麦秸组成的堆料中添加进行好氧堆肥试验,结果在堆料含水率约为60%、C/N比约为25:1条件下,堆料温度仅4 d即达峰值,且连续16 d保持55℃以上温度,堆料保氮效果好。此外,某些嗜高温微生物能够在超高温状态下加快堆肥进程,实现快速堆肥。例如,从猪粪中筛选出的嗜粪嗜高温细菌,可在24 h内将猪粪发酵成熟^[23];曹云等^[24]通过向鸡粪中添加嗜热菌并利用外源加热使鸡粪温度在短小时内升高到85℃且维持4 h,堆料的容重、可溶性碳、铵态氮质量分数有较大幅度上升,之后进行常规堆肥,结果堆肥周期缩短10 d;钱玉婷等^[25]对超高温堆肥中的嗜热菌在物料中的接种比例进行研究,结果在以鸡粪、稻秸与梧桐叶组成的原料中接种5%嗜热菌,取得了最佳堆肥效果。曹云等^[13]还采用超高温快速堆肥产物对小白菜生长影响进行了研究,结果发现,试验组小白菜生长良好,分别比对照组高出20.4%和51.9%。进一步说明嗜热菌在超高温堆肥中的应用前景。

(2) 矿物质添加剂。由于沸石对阳离子具有较高的吸附性,魏宗强等^[26]向鸡粪与秸秆为2.5:1的混合堆料中加入10%沸石粉进行试验。添加沸石可促进高温发酵过程并有效减少高温堆肥中氨的损失达26.9%,提高了堆肥品质。黄峻豪^[27]将膨润土和活性炭以不高于2.5%比例,均匀添加到牛粪和甘蔗秸秆为原料的堆体中进行研究,结果表明,膨润土与生物炭对堆料中有机质的降解、氮素保留均具有促进作用,并小幅提升堆肥腐熟度。

(3) 菌酶复合添加剂。菌酶协同可以有效降解畜禽粪便中的大分子物质,改善C/N比,加强产热效果,减少发酵时间,24 h即可使粪肥腐熟并保留较多氮元素。复合添加剂^[28]一般由碱性蛋白酶、脂肪酶、纤维素酶、果胶酶、枯草芽孢杆菌菌粉、巨大芽孢杆菌菌粉、固氮芽孢杆菌GD菌粉、JF芽孢杆菌菌粉、粪肠球菌菌粉、假丝酵母菌菌粉及沼泽红假单胞菌菌粉等原料组成,总酶活至少30万U/g,活菌总数至少10¹² CFU/kg。目前该类添加剂在有机肥生产中被广泛应用。

2.3 堆肥形式研究进展

2.3.1 传统堆肥

一是简单堆沤。主要利用粪便中现有的微生物降解粪污中有机物,完成堆体的矿质化和腐殖化过程^[29]。一般是在养殖场附近的空旷场地或建一简易粪池,把畜舍内清出的粪污直接露天堆放3个月以上,该法虽氮素保留多一点,但对环境污染较大。二是传统堆肥。最常采用条垛式堆肥,将粪便和堆肥辅料按照适当比例混合均匀后制成条垛形。每次发酵都要向堆垛中添加菌种,堆制后10天左右翻倒一次,以提高微生物的发酵速度,一般需要25~30天完成堆肥。这种堆肥方式虽投入少、操作简单,但堆体升温慢、堆肥时间长并需要人工翻垛,费时费力,且粪便露天堆放发酵产生的气体及粪中所含污水或与雨水混合直接排放,对环境污染大。同时堆沤的肥料需要大量土地就近消纳,此方法不适于集约化畜禽养殖场。

2.3.2 强制供氧堆肥

为克服传统好氧堆肥缺陷,在堆肥中对堆料进行强制供氧、利用机械设备搅拌以及采用添加剂对堆料成分进行调节^[30-32]等多种形式加快堆肥进程。发明了条垛式供氧堆肥技术、发酵槽堆肥技术、发酵塔堆肥技术^[33]等多种堆肥技术。其中条垛式供氧堆肥就是依靠鼓风机将氧气送入堆体中,以增加堆料中氧气含量促进好氧微生物降解有机物,经15~20天即可完成发酵过程。此技术投资少,适合中小型畜牧场的粪污处理。发酵槽堆肥是将混合后的物料放入发酵槽内,发酵槽内预先设置供氧管道,由宽幅链板翻抛机进行物料动态翻抛结合静态供氧,改善物料的通风供氧,为微生物活动创造有利条件。一般2~3天堆料温度达55℃左右,2周左右完成腐熟发酵。

上述堆肥技术虽然机械化水平高、节省人力,但发酵槽(塔)等堆肥方法因设备不能做到全密封,且需添加大量辅料混合以防漏料,在粪污处理过程中有臭气外排,不能做到完全环保。进一步缩短堆肥周期、加快粪便腐熟程度、减少堆肥时间,仍是学者们关注的课题^[34]。

2.3.3 反应器堆肥

反应器堆肥是有氧堆肥技术的升级,该技术通过调控堆肥所需要的各种条件实现人为掌控堆料发酵进程。其最大特点是高效快速,为工厂化快速生成有机肥奠定基础并为有机肥生产实现产业化提供可能,该技术一经问世即得到广泛关注,堆肥反应器功能及堆料控制装置也在不断改进。如第一代卧式或立式反应器虽然占地面积

小,堆料发酵周期也符合要求。但由于机器设计存在不足,物料在重力作用下出现原料呈压实块状,导致通气性能差、通风阻力大、产品难以均质化等缺点^[35],同时该设备能耗高且立式反应器运行中一旦停电则难以再次启动,存在很大弊端。

目前应用的堆肥反应器,堆料发酵完全在密闭条件下进行,有效减少粪便处理中的二次污染,推动畜禽粪便无害化处理产业链的形成和生态农业、循环经济的健康发展。目前常用堆肥反应器包括筒仓式、滚筒式等多种类型。国内涌现多家有机肥设备制造企业并各具特色,现以山东菏泽三仪生物工程有限公司制造的畜禽粪便快速再生有机肥系统进行说明。

(1)生产工艺流程(图1所示)

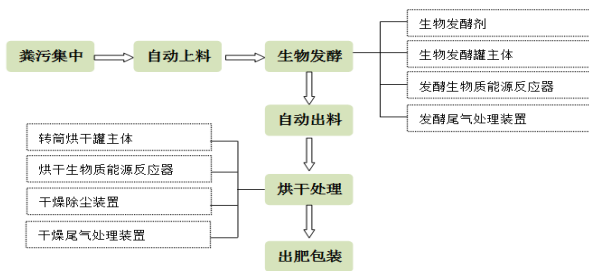


图1 畜禽粪便快速再生有机肥系统工艺流程

(2)反应器结构示意图(图2所示)。该反应器具有占地面积小、结构简洁、自成系统、无需厂房、便于安装运输等特色。

(3)反应器主要特点。一是组合罐体,罐体为双层结构,内、外层分别为不锈钢和碳钢板材,中间保温结构采用硅酸铝针刺毯;配备加热系统,确保低温下正常运行。二是处理过程全封闭,尾气集中收集处理,不产生二次污染。三是采用无轴螺旋出料,防止堵塞;四是采用PLC控制,实时

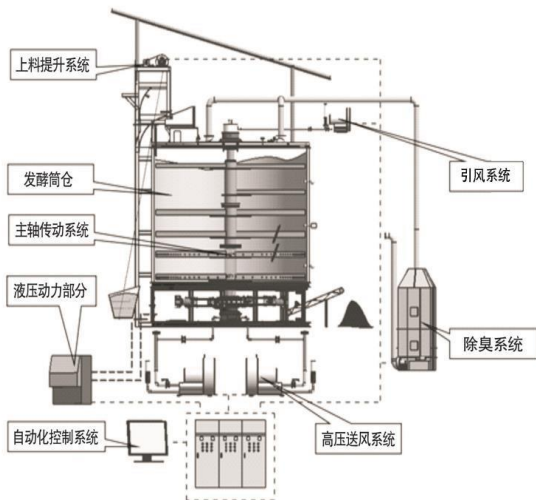


图2 畜禽粪便反应器主要部分结构示意图

显示运行过程参数,自动化程度高。该系统生产的成品有机肥经农业农村部微生物产品质量监督检验测试中心(武汉)检测符合相关标准。目前该系统已在山东、江苏、河南等地区多家大型养殖企业平稳运行。

3 畜禽粪便肥料化利用技术小结与发展趋势

3.1 小结

畜禽粪便肥料化利用包括对畜禽粪便、养殖场污水及沼液等方面的利用,处理形式多种多样,但对固态畜禽粪污最常用且实用的处理方式仍然是堆肥。采用高温及超高温技术、并配合使用适宜的添加剂进行有氧堆肥成为人们关注的热点并被广泛采用。反应器堆肥具有生产效率高、节约人力成本、无二次污染等特点越来越受到人们的重视,正在引领堆肥技术及有机肥生产的发展方向。对于养殖污水则通过厌氧生物发酵等系列技术进行无害化处理后直接还田,为农作物生长提供营养。沼气的生产工艺已相当成熟,有关沼气化利用的研究主要集中在规模与工艺,沼气、沼液、沼渣的利用方式以及效益分析^[36]。宫国辉等^[37]研究表明,沼肥与化肥配施对能有效促进蔬菜作物根系发育和植株生长,提高辣椒和番茄的产量并改善蔬菜的品质,为沼液、沼渣用于蔬菜生产提供了理论依据。

3.2 发展趋势

(1)针对养殖粪污处理,深入研究粪便堆肥的新技术、新方法,开发效率更高的粪污专用添加剂及粪污处理专用设备(反应器),在满足有机肥达标前提下,尽量缩短堆肥时间以减少氮素损失,进一步提高有机肥质量仍然是大家研究的重点。同时,将工业制造与养殖业进一步融合,把机械、微电子、机器人、大数据等技术进行集成,进一步提升堆肥技术的自动化、智能化水平。

(2)针对养殖污水处理,以畜禽养殖废水的资源化利用与达标排放思路为指导,研发精准智能调控养殖污水低能耗安全回用新技术、新方法,通过深化养殖污水厌氧生物处理技术研究,提升畜禽养殖废水厌氧膜生物反应器效率,开发畜禽养殖废水处理短流程关键技术与成套设备,推进设备运行智能化和自动化。

(3)种养结合是畜禽粪便肥料化利用的关键环节,进一步深化种养结合模式研究。一是树立“以种带养、以养促种”种养结合的循环发展理

念;二是完善与之配套的相关政策,按照“合规有奖、违规必究”原则,实行测土配方科学施肥,根据土地对粪肥的消纳量决定畜禽饲养量,避免盲目扩大饲养量给粪污处理带来的压力,推动种养结合工作扎实开展。

参考文献:

- [1] 《中华人民共和国国家统计局农、林、牧、渔业总产值及指数》. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>. 2019.06.25.
- [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.
- [3] 彭华, 张洪宇, 张晶. 畜禽粪污治理利用主要进展及问题对策[J]. 中国猪业, 2018, 13(9): 53-57.
- [4] 蔡火炮, 蔡伟强, 谢侃. 畜禽粪便污染的危害性及防治对策[J]. 福建畜牧兽医, 2017, 39(4): 35-36.
- [5] 宋大平, 庄大方, 陈巍. 安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价[J]. 环境科学, 2012, 33(1): 110-116.
- [6] 陈忆, 王勇. 我国畜禽粪便污染与资源化利用现状[J]. 资源节约与环保, 2016(6): 262.
- [7] 孙铁珩, 宋雪英. 中国农业环境问题与对策[J]. 农业现代化研究, 2008(6): 646-648, 652.
- [8] 沈秀丽, 杨增玲, 韩鲁佳. 畜禽粪便引发的重金属污染的研究现状[A]. 中国农业工程学会2011年学术年会论文集[C]. 中国农业工程学会, 2011: 6.
- [9] 曹铁华, 梁烜赫, 高洪军, 等. 不同施肥模式下土壤-玉米中重金属累积规律及安全性分析[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(5): 37-41, 62.
- [10] 杜芬. 土壤环境弓形虫与细菌污染的检测与修复[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [11] 郭娇, 齐德生, 张妮娅, 等. 中国畜牧业温室气体排放现状及峰值预测[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(10): 2106-2113.
- [12] 农业部. 畜禽粪污资源化利用因地制宜确定主推技术模式[J]. 北方牧业, 2017(14): 5, 8.
- [13] 曹云, 黄红英, 吴华山, 等. 畜禽粪便超高温堆肥产物理化性质及其对小白菜生长的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 251-257.
- [14] 周海柱, 王军, 张涛, 等. 不同堆储方式对牛粪中氮磷含量变化的影响[A]. 2010年家畜环境与生态学术研讨会论文集[C]. 中国畜牧兽医学学会家畜环境卫生学分会, 2010: 6.
- [15] 李吉进. 畜禽粪便高温堆肥机理与应用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [16] 王权. 添加剂对猪粪好氧堆肥过程的影响及其机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [17] 马怀良, 许修宏. 畜禽粪便高温堆肥化处理技术[J]. 东北农业大学学报, 2005(4): 536-540.
- [18] 秦莉, 高茹英, 李国学, 等. 外源复合菌系对堆肥纤维素和金霉素降解效果的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(4): 820-823.
- [19] 宁志刚, 王维, 刘畅. 复合微生物菌剂在猪粪堆肥中的试验研究[J]. 安徽农学通报(上半月刊), 2010, 16(1): 59-62.
- [20] 宋文忠. 不同有机肥及微生物菌剂对园林植物废弃物堆肥效果影响研究[J]. 菏泽学院学报, 2018, 40(2): 66-70.
- [21] 李舒清, 张镜丹, 纪程, 等. 接种复合菌剂对牛粪好氧堆肥进程及温室气体(CH₄和N₂O)排放的影响[J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(6): 1041-1050.
- [22] 李尚民, 范建华, 蒋一秀, 等. 不同微生物菌剂对鸡粪堆肥发酵效果的影响[J]. 中国家禽, 2018, 40(22): 45-47.
- [23] 杨虹, 李道棠, 朱章玉. 高温嗜粪菌的选育和猪粪发酵研究[J]. 上海环境科学, 1999(4): 170-172.
- [24] 曹云, 黄红英, 钱玉婷, 等. 超高温预处理装置及其促进鸡粪稻秸好氧堆肥腐熟效果[J]. 农业工程学报, 2017, 33(13): 243-250.
- [25] 钱玉婷, 杜静, 曹云, 等. 接种嗜热菌促进鸡粪超高温堆肥处理的效果[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 321-325.
- [26] 魏宗强, 罗一鸣, 吴绍华, 等. 添加沸石对鸡粪高温堆肥磷钾径流及淋洗损失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(12): 2486-2492.
- [27] 黄峻豪. 添加剂对牛粪堆肥过程理化性质及细菌群落结构影响的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2017.
- [28] 江国托, 刘艳, 单春乔, 等. 用于发酵畜禽粪便生产生物有机肥的复合制剂[P]. 中国: 201710811347.8, 2017.
- [29] 张阅, 王磊, 陈金海. 物料预处理对堆肥减量化、腐殖化和稳定化的影响及其微生物机制[J]. 工业微生物, 2015, 45(1): 7-14.
- [30] 韦小庆. 玉米秸秆与畜禽粪便堆料发酵技术研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [31] 方亚曼. 复合微生物菌剂的研制及其在堆肥上的应用研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2011.
- [32] 徐大勇, 黄为一. 人工接种堆肥和自然堆肥微生物区系变化的比较[J]. 安徽农业科学, 2007(23): 7219-7220, 7223.
- [33] 成锦霞, 穆秀梅. 浅谈畜禽粪便堆肥技术[J]. 中国畜禽种业, 2018, 14(10): 124-125.
- [34] 王艳, 沈春红, 李国学, 等. 倒仓破碎对缩短发酵周期后生活垃圾堆肥腐熟度的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(5): 1053-1059.
- [35] 缪宏, 杨铮, 王蒙, 等. 螺旋带-螺杆式搅拌好氧堆肥反应器研制及应用效果[J]. 农业工程学报, 2018, 34(24): 232-238.
- [36] 魏志强, 黄群招, 周春火, 等. 我国畜禽废弃物资源化利用现状及沼气化利用关键技术[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2018(5): 1-3.
- [37] 宫国辉, 孙凯, 姜淑兰, 等. 沼肥与化肥配施对辣椒和番茄生长发育及品质的影响[J]. 东北农业科学, 2017, 42(2): 34-38.