

农村厨余垃圾处理的特征性技术： 问题及改进途径

何晶晶

同济大学固体废物处理与资源化研究所,上海污染控制与生态安全研究院,上海 200092

摘要 厨余垃圾已成为法定分类处理的垃圾组分。农村厨余垃圾产生点分散,适合就近处理和产物就地利用,实现有机质还田和植物养分循环。因此,农村厨余垃圾的处理方式区别于城市。中国通过实践已形成了一系列特征性的农村厨余垃圾处理技术。采用实地调查的方法,结合技术原理,分析了这些处理技术存在的原料预处理、转化条件和产物利用问题,提出了针对性改进建议。

关键词 农村生活垃圾;农村环境整治;厨余垃圾;资源利用

2020年9月1日,新修订的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(以下简称“新《固废法》”)开始实施,在总则第六条明确规定“国家推行生活垃圾分类制度”。2019年以来,以上海市为代表,国内46个地级以上城市颁布了生活垃圾分类的地方性法规,将在所辖城乡全面推行生活垃圾分类处理。

依据中国城乡生活垃圾的组成特点,厨余垃圾是质量占比最大的垃圾类别,新《固废法》第五十七条规定须分类资源化和无害化的垃圾组分。因此,厨余垃圾资源化利用是生活垃圾分类处理体系不

可或缺的组成部分,优化选择处理及后续资源利用技术路线是影响生活垃圾分类全过程效益的关键因素。

目前,中国城市建成区已形成了厨余垃圾的主导性处理技术路线^[1],将餐饮业餐厨垃圾和居民厨余垃圾分别收运后集中处理,主要技术环节为预处理、生物转化(大多是厌氧消化)、产物分离、产物利用或处置及臭气控制等(图1)。

然而,农村区域厨余垃圾产生分散^[2],集中处理运输距离长、成本高、易释放臭气^[3];更重要的是,实现厨余垃圾资源化价值的关键是产物土地利用,农

收稿日期:2020-09-25;修回日期:2021-05-20

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD1100600)

作者简介:何晶晶,教授,研究方向为固体废物处理处置与资源化利用过程、技术和理论,电子信箱:solidwaste@tongji.edu.cn

引用格式:何晶晶.农村厨余垃圾处理的特征性技术:问题及改进途径[J].科技导报,2021,39(23):88-93;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.

2021.23.013

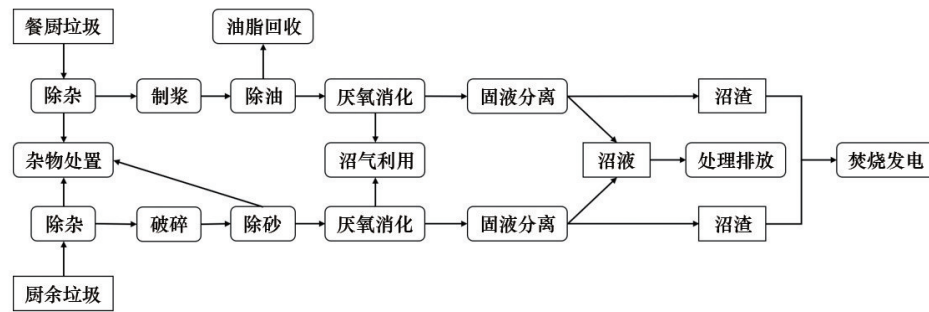


图1 城市厨余垃圾处理技术路线

村社区与农田、林地交错分布,就近处理后产物可就地利用^[4];仿照城市集中处理后再分散到农田利用,物流组织极不合理^[5]。

农村厨余垃圾就近处理技术的基本特征是处理规模小,必须简化技术环节以弥补规模经济缺陷,由此形成了特征性的处理技术。目前,国内已有一定应用规模的农村厨余垃圾处理技术,包括:好氧降解、厌氧消化和虫类饲养3类^[6];现有技术存在的普遍问题是,对技术蕴含的科学原理解析不够深入,影响应用效果,甚至产生不利的环境卫生影响。本研究在归纳农村厨余垃圾特征性处理技术现状的基础上,分析各项技术的关键科学问题,讨论技术完善的方向和途径。下文未引述文献的数据均源自笔者未公开发表的研究报告,测试方法符合相关标准规定。

1 好氧降解技术

农村厨余垃圾好氧降解技术基于堆肥处理的原理,主要工艺形式有2种,分别为动态的堆肥机和静态的阳光堆肥房^[7-8]。

1.1 动态堆肥机

1.1.1 工艺技术特征

动态堆肥机有生化处理机、快速成肥机、生态处理机等商品名称,原型源于滚筒式堆肥反应器和国外的家用厨余堆肥机,主体构造为圆形或半圆形截面的卧式筒体;筒体内配置搅拌桨叶,翻动、拌和物料;筒外壁嵌套加热瓦等加热装置,可将筒内物料加热至高温堆肥温度(50~70℃)。

动态堆肥机每天进料,厨余垃圾经预处理或直

接投入堆肥机,机内处理周期6~72 h,每次出料比例30%~50%(存料70%~50%)。堆肥机启动时均需投加菌剂,运行期间也需定期投加(大约从1天1次至7天1次)。

1.1.2 技术问题

1) 原料性质优化。堆肥机购置和运行成本较高(容积5 m³左右的处理机加热功率即在20 kW左右),为此,提高单位容积的厨余垃圾降解效率,优化原料性质是关键。按照堆肥处理原理和厨余垃圾的特性,原料应具有较大的堆积空隙率及较高的颗粒比表面积,颗粒含水率应低于其极限(饱和)含水率。原料优化的可行方法为破碎和挤压脱水组合预处理;相反,混合低含水率生物质(如秸秆)的方法,因其均匀尺度不能达到1 cm颗粒的水平,无法符合原料优化要求。

2) 土生菌种替代菌剂。在运行成本中,堆肥机菌剂费用一般占20%左右,替代菌剂是提高处理性价比的重要途径。堆肥机处于高温(≥50℃)恒温运行环境,厨余垃圾中丰富的土生菌种不能如常规堆肥那样在升温过程中自发形成高温优势菌群^[9],启动时需要投加配置的高温优势菌剂。用土生菌种替代菌剂的可行方法,是启动时加热装置采用略低于物料温度的保温运行方式,使物料完成自发升温过程形成高温优势菌群。运行期间只要每次出料时在处理机内保留60%左右的存料,就可以维持优势菌群,一般无需周期性补充。

3) 处理周期控制。有机物分解稳定是好氧降解的核心,厨余颗粒降解遵循微生物生长和代谢动力学规律^[10],并符合固相非催化缩核反应模型^[11],同时,新鲜厨余有机物降解衍生具有植物毒性的中

间产物,需通过中温微生物才能进一步分解^[12]。为此,厨余垃圾应采用两段处理方式,在堆肥机内完成微生物指数增殖和含水率调整,使物料堆积空隙率和颗粒孔隙率适合静态堆肥的需要;在堆肥机出料后继续静态发酵直至消除植物毒性(图2)。

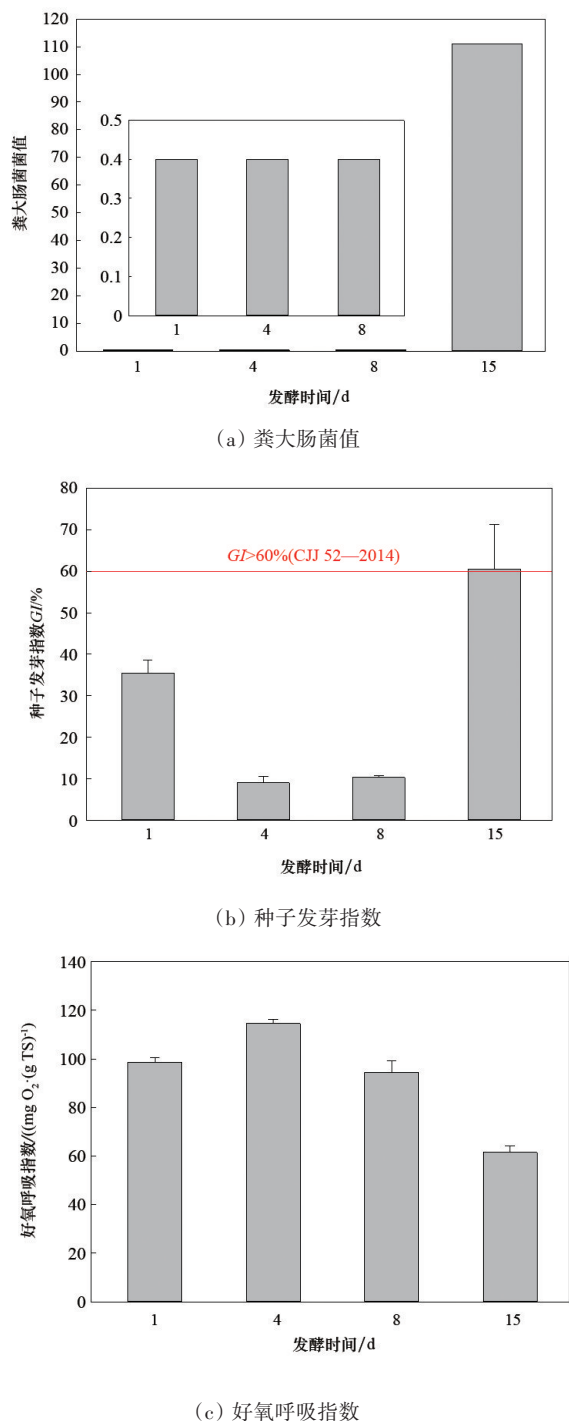


图2 堆肥机处理36 h出料静态发酵时间与产物指标

1.2 阳光堆肥房

1.2.1 工艺技术特征

阳光堆肥房(图3)一般为顶部配透光玻璃的密闭构筑物,通常多仓成组联建,每仓设有独立的进出料门(口),阳光堆肥房适合小规模处理,一组堆肥房的处理量通常小于1 t/d。目前,大部分阳光堆肥房操作较为粗放,只是每日一次或数次将厨余垃圾投入其中,自然堆置、自发发酵,一般也没有确定的出料时间,即使出料也因厨余垃圾腐烂而非腐熟、含水率过高^[13],使得产物不能有效利用。

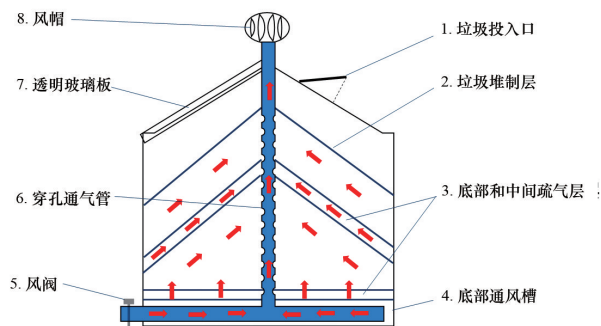


图3 阳光堆肥房剖面示意

1.2.2 技术问题

1) 通风气流组织。阳光堆肥房厨余垃圾的充分腐熟仍需遵循堆肥处理的好氧降解原理,通风供氧是基本的条件。为避免含臭气体大量释放,简化非作业时段的管理需要,阳光堆肥房不宜采用强制通风,而应强化利用自然通风。阳光堆肥房非强制通风的动力源是垃圾堆体与外界温度差形成的压力差,充分利用压力差通风的气流组织要点为:穿过堆体高温位置并与环境空气连通的主通风通道,驱动空气通过堆体引入氧气^[14];分层填充与主通风通道连接的疏气层(如秸秆),使氧气在堆体内全面扩散、充分利用。一种阳光堆肥房通风气流组织方式参见图3,该类阳光房堆体的测试结果见表1。

2) 原料性质调整。与堆肥机比较,阳光堆肥房通风压差小,也没有搅拌条件,对原料孔隙率和含水率的要求更严;原生厨余垃圾含水率大于75%,孔隙被水分完全饱和,阻碍氧气传质,不利于好氧降解。为此,原料性质调整是阳光堆肥房优化运行的主要途径;调整方法同样是破碎和挤压脱水,而且脱水的要求比堆肥机预处理更高。

表1 强化自然通风阳光堆肥房堆体测试结果

测试位置/m	强化自然通风阳光房		传统阳光房		
	温度/°C	氧含量/%	温度/°C	氧含量/%	
堆体表层	0	48.9	20.8	46.7	20.7
堆体中部	0.6	66.2	11.9	60.9	6.8
堆体底层	1.3	63.4	8.5	64.0	0.2

2 厌氧消化技术

中国小规模(≤ 1 t/d)的农村厨余垃圾厌氧消化主要采用传统的水压式沼气池,较大规模(≥ 20 t/d)的可采用机械搅拌的反应器式消化工艺。

2.1 工艺技术特征

水压式沼气池为中国农村户用沼气池的基本形式,包括地理式沼气池、液封进料管和水压间等主要构造^[5]。沼气池具有储气功能,气体出口与用具直接连接,运行中因相对恒定的产气过程和周期性波动的用气,使沼气池气压和液位周期性波动,与水压间的储液功能配合,对沼气池物料周期性搅拌。产物也通过水压间排出,经脱气、沉降分离后还田利用。

农村厨余机械搅拌的反应器式厌氧消化的主体工艺与城市建成区的工艺类似,但是预处理和消化产物的利用可以相对简化。

2.2 技术问题

2.2.1 物料酸化缓冲

与传统的沼气池处理的粪便类物料比较,厨余垃圾快速易降解有机物比例高、易水解酸化,而使沼气池环境酸化影响产气和有机物降解^[16]。稳定沼气池消化需要能缓冲物料酸化的手段,其中,适用于水压式沼气池的主要是更有效的搅拌和原料调配。强化水压式沼气池搅拌的方法,是设置可主

动调节气压的储气装置,周期性改变储气压力,使沼气池液位随之变化以驱动沼气池与水压间物料流动,从而强化搅拌。原料调配采用化粪池粪渣共处理的方法,化粪池粪渣的蛋白化合物水解较为充分,碳氮比高于鲜粪,有机物水解速率也较低,可以起到酸化缓冲作用,也可控制因氨累积造成的产气抑制,同时还可以解决农村普遍改厕后粪便的有效利用问题。

2.2.2 原料物理性质调整

影响沼气池消化效果的主要原料物理性质为颗粒度、沉渣物质(砂)和温度。颗粒度影响沼气池搅拌效果和消化速率;沉渣物质同样影响搅拌,还可能阻塞连接管道;温度影响厌氧微生物代谢速率,冬季沼气池散热量大,需要补充热量维持沼气池温度。

为了保证沼气池运行效果,需要通过预处理调整原料性质,具体包括:破碎匀浆、保证颗粒悬浮,破碎匀浆物料沉砂除杂、避免在沼气池内沉积;物料进入沼气池前加热是最简单有效的沼气池温度控制方法^[17]。

2.2.3 产物后处理完善

排出沼气池的产物需要脱气保证施用安全,然后固液分离便于田间施用。农村常见的三格式化粪池即可满足产物的后处理需要。集成相关单元后的厨余垃圾沼气池处理体系见图4。

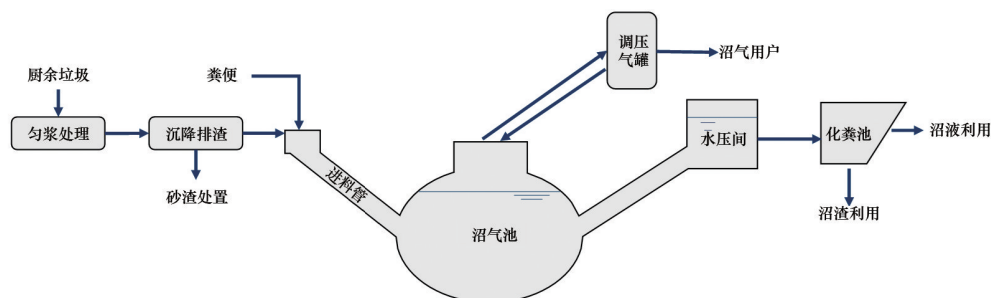


图4 厨余垃圾沼气池处理体系

3 虫类饲养技术

利用腐生性虫类摄食处理厨余垃圾,具有产物价值高,弥补处理成本的可能。目前,常见的养殖虫类为黑水虻和苍蝇幼体及蚯蚓^[18]。

3.1 工艺技术特征

厨余垃圾虫类饲养由原料腐化预处理、虫类饲养、虫体分离和残渣腐熟等处理环节组成。

虫类饲养设施在处理量低于0.1 t/d时,可以采用坑式养殖等简易设施,顺序完成预腐化、虫类饲养、虫体收获和残渣腐熟的过程;处理量更大时普遍采用立体叠放的盘式饲养,厨余垃圾经预发酵腐化后,分盘饲养虫类;完成后分离虫体和残渣分别利用。

3.2 技术问题

1) 原料腐化程度控制。各种虫类虽然均为腐食类别,但对饵料腐化程度也有不同的选择性,应根据饲养物种针对性控制原料腐化程度。

2) 环境影响控制。厨余垃圾经预发酵腐化后分盘饲养虫类,加之饲养温度一般控制在25~30℃,饵料处于兼性发酵状态,产气强度高、散发面积大,饲养空间是极强的臭气源,根据通风条件不同,空间的臭气浓度可达数万至数十万的水平,一般的总体通风和气体收集处理难以控制对周边的恶臭影响,应根据建筑空间和饲养盘分布,设计近源收集体系,才能有效收集并处理臭气。

3) 产物卫生控制。虫类饲养的环境条件使其同时成为各种致病生物的培养源,在应用前,必须对虫体和残渣(也称虫粪沙)进行卫生无害化处理,其中,虫体应消毒,残渣应通过高温堆肥杀灭致病生物。

4 结论

随着乡村振兴战略的落实、农村人居环境整治行动的深入及生活垃圾分类在城乡的推行,农村厨余垃圾处理技术的需求日渐增长;但是,农村厨余垃圾处理的技术支撑力量薄弱,技术研发、集成和各类专业人员均相对稀缺,造成一些不成熟的技术

被快速复制,处理过程和产物利用易产生不利的环境卫生影响,不仅造成公私财产损失,也不利于生活垃圾分类和农村环境治理的推进。为此,需要从科学原理上把握技术关键,据此完善日常操作运行方法,形成技术标准体系,强化操作人员培训,保证技术的环境资源效益并使成本合理化。

参考文献(References)

- [1] 吕凡, 章骅, 邵立明, 等. 基于物质流分析餐厨垃圾厌氧消化工艺的问题与对策[J]. 环境卫生工程, 2017, 25(1): 1-9.
- [2] 何晶晶, 章骅, 吕凡, 等. 我国小城镇生活垃圾处理的现状、基础条件与适宜模式[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(2): 116-120.
- [3] 何晶晶, 曾阳, 唐家富, 等. 城市生活垃圾初期降解挥发性有机物释放特征[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(6): 854-858, 869.
- [4] 何晶晶, 章骅, 吕凡, 等. 村镇生活垃圾处理模式及技术路线探讨[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(3): 409-414.
- [5] He P J. Municipal solid waste in rural areas of developing country: Do we need special treatment mode? [J]. Waste Management, 2012, 32(7): 1289-1290.
- [6] 吕凡, 章骅, 郝丽萍, 等. 易腐垃圾就近就地处理技术浅析[J]. 环境卫生工程, 2020, 28(5): 1-7.
- [7] 毕峰, 李相儒, 韩泽东, 等. 我国农村易腐垃圾机器成肥产品质量评价——以杭州市为例[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(5): 1016-1022.
- [8] Lin H, Ye J, Sun W C, et al. Solar composting greenhouse for organic waste treatment in fed-batch mode: Physicochemical and microbiological dynamics[J]. Waste Management, 2020, 113: 1-11.
- [9] Hassen A, Belguith K, Jedidi N, et al. Microbial characterization during composting of municipal solid waste[J]. Bioresource Technology, 2001, 80(3): 217-225.
- [10] 陈活虎, 何晶晶, 吕凡, 等. 腐熟堆肥接种对蔬菜废物中高温好氧降解过程的影响[J]. 环境化学, 2006, 25(4): 444-448.
- [11] 朱炳辰. 化学反应工程[M]. 5版. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [12] 黄得扬, 陆文静, 王洪涛. 有机固体废物堆肥化处理的微生物学机理研究[J]. 污染治理技术与设备, 2004, 5(1): 12-18.
- [13] 张玉成, 朱建林, 李兵. 太阳能-生物反应器处理厨余

- 垃圾的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 588-590.
- [14] 何晶晶, 邵立明, 宗兵年, 等. 一种强制与自然通风结合的废弃物高温堆肥化方法: ZL 200410016078.9[P]. 2004-02-04.
- [15] 中华人民共和国农业部. NY/T 90-2014: 农村户用沼气发酵工艺规程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [16] Lü F, Hao L P, Guan D X, et al. Synergetic stress of acids and ammonium on the shift in the methanogenic pathways during thermophilic anaerobic digestion of organics[J]. *Water Research*, 2013, 47(7): 2297-2306.
- [17] 韩睿, 朱德锐, 陈来生. 青海户用沼气池料液温度变化特征及对产气的影响[J]. *中国沼气*, 2016, 34(6): 95-100.
- [18] Čižková H, Newton G L, Lacy R C, et al. The use of fly larvae for organic waste treatment[J]. *Waste Management*, 2015, 35: 68-80.

Characteristic treatment technologies for rural food waste: Problems and roadmap for improvement

HE Pinjing

Institute of Waste Treatment and Reclamation, Tongji University; Shanghai Institute of Pollution Control and Ecological Security, Shanghai 200092, China

Abstract The recent amendment to the Law of the People's Republic of China on Prevention and Control of Solid Waste Pollution clearly states in the General Rules that the whole country implements the policy of municipal solid waste source segregation. Additionally, considering the 57th article that the local administration in charge of environment and sanitation is responsible for the resource recovery and pollution control of food waste, food waste then formally becomes a formal physical component in the waste management system. Since the generation sources of rural food waste disperse it is more preferable to treat rural food waste and utilize the treatment product in situ for returning organics into fields and nutrients recycling. Therefore, a series of treatment technologies special for rural food waste have been developed. However, these technologies lead to some new problems related to environmental sanitation and economic efficiency. This study analyzes the technical features and problems involved in the scale-up treatment facilities for rural food waste, and puts forward some suggestions for improvement so as to establish a basis for improvement and standardization of the related technologies.

Keywords rural household waste; remediation of rural environment; food waste; resource utilization ●



(责任编辑 刘志远)