

好氧堆肥的研究进展

陈 聪 林伟腾 李 钰

(华南理工大学 化工学院, 广东 广州 510640)

摘要:随着城市化进程的加快,城市产生的生活固体垃圾、绿化废弃物、人畜粪便等有机固体废物日益增多。为顺应城市生态循环发展的潮流,将此类有机固体废物进行堆肥化处理受到了全社会的关注与运用。将有机固体废物进行堆肥化处理过程,即利用嗜氧菌在有氧条件下,对废弃物进行氧化、吸收而后分解,以达到将有机固体废物资源化、无害化及减量化的处理效果。基于此生物反应过程,近年来,国内部分城市已开始使用不同的有氧堆肥装置来处理有机固体废物。目前,我国针对堆肥装置原理的深入研究较少,而科学合理的使用堆肥装置及优化堆肥工艺是有机固体废物能否发酵成功的关键。本文拟对现有的氧堆肥装置性能及存在的问题进行探讨、总结,并提出一套行之有效的优化堆肥装置控制其通风、湿度、温度等条件的方法。

关键词:好氧堆肥;有机固体

中图分类号:TQ216

文献标识码:A

一、有氧堆肥工艺及基本反应装置

有氧堆肥是利用自然界中广泛分布的放线菌、真菌、细菌等微生物,以及人工培养的微生物菌群等,通过人为调节和控制,在一定的条件下,促进固体废物中可生物降解的有机物向稳定的腐殖质转化的生物化学过程,其实质是一种发酵过程。有机固体废物经堆肥化处理后制得的成品叫做堆肥,为一类腐殖质含量很高的疏松物质,也称“腐殖土”。

有氧堆肥在通风给氧充足的条件下进行有氧发酵,利用嗜氧性微生物的生命活动来分解有机质,通常有氧堆肥温度较高,一般在 50 - 60℃,极

限温度可达 80 - 90℃。有机固体废物有氧堆肥过程依靠好氧微生物菌群腐殖化过程,堆肥过程如图 1-1 所示。

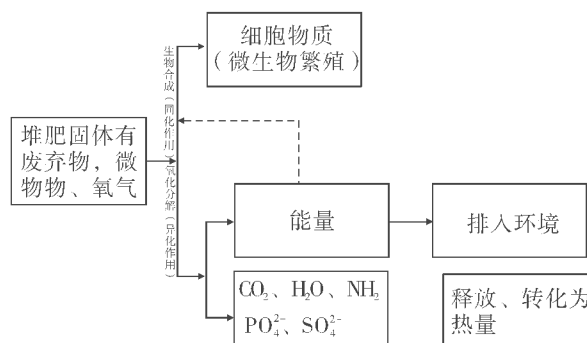


图 1-1 有氧堆肥有机质氧化分解示意图
(一) 升温阶段

理工前沿

升温阶段是指堆体温度维持在常温 - 45℃ 的中温阶段,此时嗜温性微生物活性较强,主要以糖类、淀粉类等可溶性有机质为发酵基质。

(二) 高温阶段

高温阶段是指堆体温度升至 45℃ 以上的发酵阶段,此时嗜温性微生物活性降低,嗜热性微生物活动增强,成为发酵降解主体,对堆肥中未降解以及新降解而成的有机质继续分解。

(三) 降温阶段

当温度降至 45℃ 以下时进入降温阶段,此时堆肥物料中保留一部分难以分解的有机质以及新生成的腐殖质。在此阶段,嗜热性微生物活性迅速下降,分解速率随温度的进一步降低而下降,产热量逐渐减少,腐殖化程度加深。

二、有氧堆肥工艺

目前有关于堆肥工艺的研究均处于常温和高温堆肥阶段,现代化的有机肥生产多数采用好氧堆肥工艺。目前,市面上形形色色的堆肥装置采用的堆肥基本工序均由原料预处理、主发酵(一次发酵)、后发酵(二次发酵)、除臭和成品收集等组成。典型的好氧堆肥工艺包括:好氧静态堆肥工艺,间歇式好氧动态堆肥工艺,连续式好氧动态堆肥工艺,其中连续式动态堆肥在一些发达国家广泛采用,如 DANO 回转式滚筒发酵反应装置、桨叶立式发酵反应装置。堆肥反应器设备需具有改善与促进微生物新陈代谢的功能,在发酵过程中要运行翻堆、曝气、搅拌、混合、协助通风等设施或操作来控制堆体的温度和含水率,同时在反应器堆肥中还要解决物料移动、出料的问题,最终达到提高发酵速度、缩短发酵周期,实现机械化生产的目的。

不同堆肥技术的主要区别在于维持堆体物料均匀及通气条件所使用的技术手段的不同。堆肥系统可按堆制方式分为间歇堆积法、连续堆积法;可按需氧程度分为好氧堆肥、厌氧堆肥;可按温度分为中温堆肥、高温堆肥;可按技术分为露天堆肥

(野积式堆肥)、机械密封堆肥(工厂化机械堆肥);可按原料发酵所处状态分为静态发酵法、动态发酵法。

若根据堆肥工艺的不同,可将堆肥系统分为条垛式堆肥系统、通风静态垛堆肥系统、反应器(发酵仓)堆肥系统。条垛式与静态垛堆肥系统所需设备简单,投资相对较低。其缺点是所需占地面积大;堆腐周期长;需要大量的翻堆机械和人力;需要更频繁的监测,才能保证通气和温度要求;易有臭味散发,影响周围环境;运行操作受气候影响大,雨季会破坏堆体结构,冬季则使堆体热量大量散失、温度降低。故现有市面上,有机化肥厂、社区、学校以及家用式的堆肥发酵工艺多采用反应器(发酵仓)堆肥系统进行生活有机固体废弃物的堆肥发酵。该类型堆肥系统占地面积小,能很好地控制堆肥物料含氧量、含水率等发酵条件,其优点为不受气候条件的影响;可对废气进行统一收集处理,防止环境的二次污染;可对热量进行回收利用;高度机械自动化以及电子控制化等。该系统缺点是堆肥的投资、运行、维护费用高;堆肥周期较短,堆肥产品会有潜在的不稳定性,堆肥的后熟期相对延长;由于机械化程度高,一旦设备出现问题,堆肥过程即受影响。根据反应仓内堆肥物料的流向类型,该类装置分为静止式反应器系统、竖直流向反应器系统、水平或倾斜流向反应器系统等。

三、静止式反应器系统

该系统采用强制通风的方式为堆体供氧,不必对物料进行搅拌和翻堆。该系统可控制装置内通气流量,从而为物料提供充足的氧气,通常该类反应器系统结构设置简单、操作简便、体积较大、生产力较强。目前市面上有多种静止式反应器系统,如英国 TEG 公司开发的 TEG Silo - Cage 系统,美国公益组织 Open Road 开发的 Hot Box 系统。但多数静止式反应器系统不能做到有效的通风控制,容易造成堆肥物料局部缺氧,易导致局部进行

厌氧发酵,产生有毒有害气体,使得堆肥过程中产生臭气;由于该系统在发酵过程中缺少翻堆设备,堆肥物料在仓内得不到充分的混合均匀,因此需在进入仓室前进行物料混合配比的操作。

(一) 竖直流向反应器系统

此类堆肥反应器为反应器上部进料,下部出料。堆肥物料的流动过程是自上而下的。根据堆肥固体物料与通风方式可分为立式多层搅拌反应器(气固逆流式)和筒仓式反应器系统(气固错流式)。国外运用较多的立式多层搅拌堆肥反应器系统有 Earth Tub 系统、Wright 系统等。该类系统一般包括物料仓、通风系统、搅拌器等,是集废弃物贮存、堆肥腐熟功能为一体的系统,其特点在于自动化程度高、可靠性强、高效环保。

(二) 水平或倾斜流向反应器系统

该类堆肥反应器是使用水平滚筒来混合、通风以及输出物料的堆肥系统。此类系统一般横向放置在水平地面或与地面呈一定角度倾斜放置。进料口设置在物料仓一端,堆肥物料经过设置在进料口的粉碎装置将物料粉碎成一定的粒径大小,再经搅拌器将物料混合搅拌以达到合适的堆肥物料比,最后经传送带传输至物料仓进行发酵。市面上该类系统可分为滚动式堆肥反应器系统、卧式搅拌堆肥反应器系统、静态推进式和输送式堆肥反应器系统。在运行过程中,通常利用水平滚筒的出料端提供通气,使得原料在滚筒中翻动时与空气充分混合。空气流动方向和原料运动方向相反。滚筒旋转速度以及旋转时滚筒中轴线的倾斜度决定了堆肥停留的时间。该类系统可通过实时监测物料含水率,物料仓通气流量、实时监测温度来控制堆肥过程的高效进行。部分装置通过在罐体外设置隔热材料、在空气注入堆体前设置空气加热器、改变发酵仓内搅拌叶片的形状等方式提高堆肥效率与质量。其优点在于高度机械自动化、电子控制化、发酵高效环保。

四、堆肥质量影响因素

好氧堆肥是一种复杂的生物化学反应,堆肥腐熟度的影响因素包括发酵过程中堆体的温度、堆料的含水率、氧含量、堆料的碳氮比(C/N)、堆料pH值、有机质等,这些因素影响着堆肥成品的质量。不同的堆肥系统通过不同的机械装置有控制的改变以上影响因素,从而影响最终堆肥成品质量。以下介绍各种影响因素:

(一) 含水率

含水率的大小是微生物在降解有机物过程中能否最大程度地摄取溶解性养料地关键因素,通常最适含水率在45% - 60%之间,过少会影响微生物的生长繁殖,过多会产生局部厌氧环境,产生臭气,降低堆肥速度,影响堆肥质量。

(二) 含氧量

含氧量是堆肥过程中重要指标之一,堆肥过程中最适宜氧浓度为18%,适宜的氧浓度有利于好氧微生物的生长繁殖,促进微生物有氧呼吸作用,加速堆肥腐熟的速度,提高堆肥成品质量

(三) 温度

温度在堆肥过程中对微生物生长繁殖起重要作用,通常堆肥最佳温度为50℃ - 60℃,嗜热微生物对有机物的降解效率要高于嗜温微生物。温度在55℃以上时能杀灭堆料中大多数的病菌与虫卵

(四) 碳氮比

C/N是评价堆肥腐熟质量的重要指标之一,通常用C/N从25 - 35下降到15左右时,堆料被认为是腐熟良好。

(五) pH值

pH是微生物降解活动所需要的环境条件,微生物降解活动最佳pH值为5.5 - 8.5,堆肥腐熟后的pH值在8 - 9之间时,说明堆肥产品腐熟度良好。

五、总结

应根据堆肥物料的物理性质,设计好氧堆肥反应装置,结合搅拌与曝气原理,设计曝气搅拌反

理工前沿

应装置,利用流体力学和相似原理设计搅拌器,选择动力装置与传动装置等。具有定期监测堆体内温度、含水率、pH值、C/N、有机质。以下提出堆肥设备应如何控制以上影响因素:

(一)有机质含量控制

最适为20% - 80%,过低则产热不足,过高则易导致供氧不足。堆肥设备应具有对堆肥物料进行预处理的仓室,调和堆肥物料比,将有机物含量提高至50%以上。(可在发酵前向堆肥原料中掺入一定比例的稀粪、城市污水、污泥、畜粪等。)

(二)通风供氧量控制

通过向堆体强制通风以达到供氧、调温、去水分的作用。堆肥设备应具有对O₂、CO₂含量反馈控制装置、曝气控制装置、翻堆搅拌装置,在实际运行时,通过对O₂、CO₂含量的评价,设备自动对堆体进行通风供氧调节,以达到最佳O₂、CO₂浓度。通过搅拌器搅拌物料,可使堆肥物料径向流动,从而使物料与空气充分接触,增强物料有氧发酵的彻底性与均匀性。

含水率控制:堆肥设备通过调整堆体含水率,促进水分溶解堆体有机物,参与微生物新陈代谢,调节堆肥温度,加速发酵过程。堆肥装置应具有可对堆体水分进行实时监测的装置,并在水分较低时加入水或含水率高的添加剂,在堆体水分过高时,进行翻堆通风或添加松散吸水物以减少堆体含水率。

温度控制:设备应具有温度感应器以实时监测堆体各部温度,并通过温度-供气反馈系统、温度-翻堆反馈系统来调节堆体温度。在发酵仓外增设保温控制层,通过对罐体的保温,保证有氧堆肥高温阶段时温度稳定维持在50℃以上。

(三)堆肥过程中C/N比控制

堆肥过程中,当C/N比为25 - 35:1时发酵最快。过低(<20:1),微生物的繁殖会因能量不足而受到抑制,导致有机物降解缓慢且不彻底;另由于可供消耗的碳素少,氮素相对过剩,将导致生成

氨气挥发,肥效降低。过高(>40:1),则堆肥施入土壤后,将会产生“氮饥饿”状态,对作物生长产生不良影响。故设备应允许堆肥过程中对堆体进行取样,检测堆体C/N比,通过加入不同物料以调和C/N比。

(四)堆肥过程中pH值控制

设备应允许堆肥过程中对堆体进行取样,实时监测堆体pH值,并通过添加中和剂如石灰、磷酸盐、钾盐等来调和pH值。(通常堆肥会通过自身调节以保证pH值正常)

参考文献:

- [1]孙睿,张宇,苍晶. 高温菌群接种生活垃圾好氧堆肥的实验[J]. 东北农业大学学报,2007,38(1):35—38.
- [2] Timothy R, Cavagnaro. Impacts of compost application on the formation and functioning of arbuscular mycorrhizas [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2014, 78(2014)38 - 44.
- [3]赵由才,宋玉. 生活垃圾处理与资源化技术手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2007.
- [4] Suzelle Barrington, Denis Choiniere. Maher Trigui, et al. Compost Convective Airflow under Passive Aeration. Bioresource Technology, 2003, 86(1): 259—266.
- [5] Chiumenti, A, Da Borso, F, Rodar, T, et al, Swine manure composting by means of experimental turning equipment [Y]. Pergamon - Elsevier Science Ltd, 2007, 27(12):1774 - 1782,
- [6] Robert Rynk. Contained composting systems review [J]. BioCycle, 2000a, 41(3):30 - 36.
- [7] Micaela A. R. Soares, Margarida M - J. Quina, Rosa M. Quinta - Ferreira, Co - composting of eggshell waste in self - heating reactors: Monitoring and end product quality [J]. Biore source Technology, 2013, 148(2013), 293 - 301.

- [8] E. A. Phillip, O. G. Clark, A Pilot - Scale Reactor for the Study of Gas Emissions from Composting, *Biological Engineering Transactions*, 2012, 5 (2012): 3 - 17.
- [9] N. Blocycle Equipment and systems directory 2004 [J]. *BioCycle*, 2004, 45(4): 56—64.
- [10] 夏炜林, 黄宏坤, 杨尧, 等. 粪便高温堆肥及其施用效果研究综述 [J]. *四川环境*, 2007, 26 (4): 103. 105.
- [11] Bernal MP, Sanchez MA, Paredes C, et al. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil [J]. 2008, 34(4): 85 - 65.
- [12] 朱桂英, 夏吉庆, 施灿璨等. 基于模糊聚类方法的沼气工程综合评价指标体系的构建 [J]. *东北农业大学学报*, 2015, 46(6): 104. 108.