

堆肥反应器对人粪便中不同有机成分的降解特性

王洪波^{1,2}, 盛守福², 王晓昌², 韩光辉²

(1 山东建筑大学 市政与环境工程学院, 山东 济南 250101; 2 西安建筑科技大学
环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 以锯末作为微生物载体, 每天定时、定量投加人粪便, 考察了好氧堆肥反应器对人粪便中不同有机成分的降解特性, 同时分析了反应器内自由空域 (FAS) 随时间的变化规律。在 33 d 的试验周期内, 好氧堆肥反应器可有效降解人粪便中的有机物, 脂类和总糖含量逐渐降低, 半纤维素含量则先快速下降后缓慢上升, 三者的最终含量分别为 1.04、3.39 和 51.9 mg/g, 总降解率分别达到 94.70%、78.89% 和 68%; 灰分含量随着反应时间的延长而不断增加。FAS 值从反应初期的 0.77 缓慢下降到末期的 0.69, 表明在试验周期内始终处于好氧堆肥条件。

关键词: 锯末; 好氧堆肥反应器; 人粪便; 自由空域

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2011)03-0081-03

Degradation Characteristics of Different Organic Components in Human Feces by Composting Reactor

WANG Hong-bo^{1,2}, SHENG Shou-fu², WANG Xiaochang², HAN Guang-hui²

(1 School of Municipal and Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China; 2 School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract The degradation characteristics of different organic components in human feces by aerobic composting reactor were investigated using sawdust as microbial carrier and by daily timing and quantitative addition of human feces. Meanwhile, the variation principle of free air space (FAS) with time in the composting reactor was analyzed. In an experimental period of 33 days, the composting reactor can effectively degrade organic matters in human feces. The contents of lipid and total sugar are gradually reduced, and the content of hemicellulose has an initial rapid decrease and subsequent slow increase. Their final contents are 1.04 mg/g, 3.39 mg/g and 51.9 mg/g, and their degradation rates are 94.70%, 78.89% and 68% respectively. The ash content is continuously increased with prolonging reaction time. The value of FAS is gradually reduced from the initial 0.77 to 0.69, indicating that the aerobic composting condition is maintained throughout the experimental period.

Key words sawdust; aerobic composting reactor; human feces; free air space (FAS)

生态厕所(堆肥反应器)是一种新型卫生设施, 是分散式污水处理系统重要的子系统^[1]。近年来

有关该类堆肥厕所的推广应用和深入研究也日渐增多, Lopez 等人^[2,3]在序批式操作条件下研究了温

基金项目: 国家自然科学基金资助重大国际合作项目 (50621140001); 山东建筑大学博士基金资助项目 (XNBS0914)

度、含水率对人粪便堆肥的影响。王洪波等人^[4]在序批式操作条件下研究了粪便堆肥反应器对病原微生物的灭活作用。Nakagawa 则对该生态卫生设备进行了健康风险评价^[5]。虽然 Lopez 等人^[6]在强制通风的条件下对粪便中有机物的降解进行了研究,但并没有对粪便中易降解和不可降解的有机物进行分类研究。同时,在序批式操作条件下,自由空域(FAS)是有机物堆肥是否处于好氧条件的重要衡量指标,而这方面的研究还未见报道。为此,笔者在前期研究^[4-7]的基础上,以小试规模研究了堆肥反应器对人粪便中不同有机组分的降解情况,并通过 FAS 的变化特性对反应器的堆肥条件进行分析,以期为提高反应器效率和堆肥产品的质量提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验用堆肥反应器由有机玻璃制成,内装不锈钢搅拌桨,手动搅拌,容积为 1.2 L(见图 1)。反应器两端是 140 目的不锈钢筛网,其中一端装有小型排气扇,目的是使反应器内的空气流动。温控采用水浴恒温。

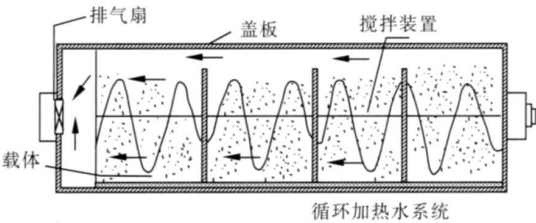


图 1 堆肥反应器结构示意图

Fig 1 Structure sketch of composting reactor

1.2 试验材料

采用锯末作为微生物载体,由木材加工厂提供,其含水率为 11%,使用前过 100 目筛,试验中的投量为 150 g(干质量)。试验用人粪便取自学生公寓,其含水率为 83.7%,每天定量投加,投量为 1.5 g。取来的粪便搅拌均匀后冷冻待用,以保证在一个试验周期(33 d)内投加的粪便性质相同。两种堆肥原料的成分见表 1。

表 1 堆肥原料的成分

Tab 1 Components of saw dust and human feces

项目	g·g ⁻¹					
	脂类	总糖	半纤维素	纤维素	灰分	其他(蛋白质、木质素等)
人粪便	0.085	0.038	0.039	0.012	0.124	0.702
锯末	0.006	0.010	0.157	0.426	0.025	0.376

1.3 试验条件控制

在堆肥过程中由于水分的蒸发,堆肥原料的含水率不断下降,当含水率降至近 50% 时,加蒸馏水调节,使其含水率始终保持在 50% ~ 60% 之间。反应器中混合物的温度通过水浴维持在 50℃ 左右。堆肥原料每天进行搅拌,以确保人粪便和锯末充分混合并保证堆料与空气充分接触。

1.4 分析方法

每天投加粪便前取堆料样品进行检测。其中,含水率、灰分、总固体含量(TS)、挥发固体含量(VS)采用烘干灼烧法测定,堆料的湿密度采用称重法测定。

1.4.1 有机成分分析方法

取 10 g 经冷冻干燥的样品放入索氏脱脂仪中,用 200 mL 无水乙醚浸泡 24 h 以提取脂类,提取液在 80℃ 下干燥 12 h 以去除多余无水乙醚,冷却后测定脂类质量。将脱脂后的样品干燥,取 5 g 干燥样品放在 500 mL 烧杯中,加入 250 mL 蒸馏水,在 150℃ 下煮 2 h 以提取总糖,然后用 0.45 μm 滤膜过滤,采用 TOC 仪测定滤液中的总糖含量。而后依次提取样品中的半纤维素和纤维素,其中,半纤维素的提取条件:用 500 mL、2% 的盐酸在 150℃ 下煮 5 h;纤维素的提取条件:用 1 000 mL、2% 的硫酸在 150℃ 下煮 5 h。测定方法与总糖类类似。有机物中的蛋白质、木质素等其他成分的含量通过从总固体中减去脂类、总糖、半纤维素、纤维素和灰分而得到。

1.4.2 自由空域的测定方法

FAS 定义为堆料中气体体积与堆料总体积之比,其是好氧堆肥工艺的重要参数,也是衡量堆料中空气含量的重要指标^[8]。适宜的 FAS 不仅有利于为好氧微生物供氧、减少厌氧发酵、提高腐熟度,而且有利于控制堆肥温度、缩短堆肥周期。试验中 FAS 值的测定方法参考文献[8]。

2 结果与分析

2.1 堆料中不同有机物成分的降解特性

在试验初期,脂类和总糖含量分别为 5.9 和 8.6 mg/g。随着堆肥的进行,两者含量逐渐降低,至试验结束时分别降至 1.04 和 3.39 mg/g。半纤维素含量在试验初期时较高,为 57.5 mg/g。随着反应的进行,半纤维素含量逐渐下降,至第 11 天时其含量降至最低,为 42.7 mg/g。而后其含量缓慢上升,至试验结束时达到 51.9 mg/g。在整个堆肥过程中,纤

纤维素含量缓慢上升,由反应初期的 328.8 mg/g 逐渐升至末期的 341.6 mg/g 而灰分含量的增长明显,由反应初期的 94.8 mg/g 升至末期的 170 mg/g。以上结果表明,经过一个堆肥周期后,堆料中易降解的脂类和总糖含量下降明显,而纤维素等难降解有机物及灰分在反应器中逐渐积累。另外,有机物中其他成分的含量亦随着时间的延长而逐渐降低,由反应初期的 504.3 mg/g 逐渐降至末期的 431.7 mg/g 这主要是由于在堆肥过程中部分蛋白质等被微生物降解。

对堆料中有机物各成分的降解率如图 2 所示。

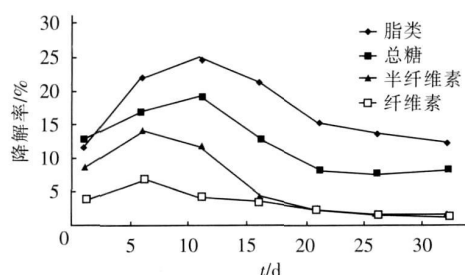


图 2 对堆料中有机物各成分的降解率

Fig. 2 Degradation rates of different components of organic matter in composting mixture

脂类、总糖、半纤维素等易降解有机物在反应器运行的前半段降解迅速,堆肥初期对脂类和总糖的降解率分别为 11% 和 12%,反应到第 11 天时,对两者的降解率分别增至 25% 和 19%。尽管每天都投入人粪便,但有机物仍然被不断降解;随着反应的进行,对有机物的降解速率减慢,至反应末期时对脂类和总糖的降解率分别为 12.5% 和 7.9%,而对纤维素和半纤维素的降解几乎停滞,其降解率分别为 0.9% 和 1.5%。在整个堆肥过程中,对脂类、总糖和半纤维素的总降解率分别为 94.70%、78.89% 和 68%。由此表明,堆肥中的微生物从反应开始到试验中期快速增殖,活性逐渐增强,对有机物的降解率较高;而到试验后期,微生物数量逐渐减少,活性相应降低,对有机物的降解率亦逐渐降低。

2.2 FAS 值随堆肥时间的变化特性

Jeris 等人^[9]的研究表明,当 FAS > 0.3 时,对大多数好氧底物和堆肥系统都是适合的,他们认为较高的 FAS 值源于充分的搅拌。本试验中,在反应初期, FAS 值为 0.77,随着反应的进行, FAS 值缓慢降低,至试验结束时 FAS 值为 0.69,说明在堆肥过程中好氧条件逐渐变差,但 FAS 值始终高于 0.6 仍然

处于好氧条件。另外,由于灰分和难降解有机物在反应器中的不断积累,导致堆料的湿密度逐渐增大,这是导致 FAS 值下降的主要原因。

3 结论

人粪便中大部分的易降解有机物在序批式堆肥反应器中能被降解,最终堆肥产品中的易降解有机物含量较低,难降解有机物和灰分在反应器中不断积累;运行过程中,堆肥体积逐渐减少, FAS 值逐渐降低,好氧微生物的生存条件越来越恶劣,但堆肥仍然处于好氧条件下。运行过程中反应器无臭无味,具有良好的卫生条件。因此,好氧堆肥反应器是一种可行的粪便处理设施,适合在干旱缺水地区进行推广应用。

参考文献:

- [1] Lopez Zavala M A. Design and operation of the bio-toilet system[J]. Water Sci Technol 2006, 53(9): 55-61.
- [2] Lopez Zavala M A, Funamizu N, Takakuwa T. Temperature effect on aerobic biodegradation of feces using sawdust as a matrix[J]. Water Res 2004, 38(9): 2406-2416.
- [3] Lopez Zavala M A, Funamizu N. Effect of moisture content on the composting process in a bio-toilet system[J]. Compost Sci Util 2005, 13(3): 208-216.
- [4] 王洪波,王晓昌. 新型堆肥生物反应堆人粪便堆肥功效的评价[J]. 环境工程学报, 2008, 2(1): 97-100.
- [5] Nakagawa N, Oe H, Otake M, et al. Application of microbial risk assessment on a residentially-operated bio-toilet[J]. J Water Health 2006, 4(4): 479-486.
- [6] Lopez Zavala M A, Funamizu N, Takakuwa T. Biological activity in the composting reactor of the bio-toilet system[J]. Bioresour Technol 2005, 96(7): 805-812.
- [7] 王洪波,孙龚,王晓昌. 以锯末为微生物载体的好氧堆肥反应器对人粪便降解特性的研究[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(2): 43-46.
- [8] 陈同斌,罗维,高定,等. 混合堆肥过程中自由空域(FAS)的层次效应及动态变化[J]. 环境科学, 2004, 25(6): 150-153.
- [9] Jeris JS, Regan RW. Controlling environmental parameters for optimum composting part II—moisture, free air space and recycle[J]. Compost Sci 1973, 14(2): 8-15.

E-mail wanghb661228@ yahoo. com. cn

收稿日期: 2010-08-04