

免水资源综合利用型生态厕所试验研究

高良敏¹, 宁桂兴¹, 钱新², 陆根法², 梅艳¹, 黄周满¹, 盛保华¹

(1. 安徽理工大学资源与环境工程系, 安徽 淮南 232001; 2. 南京大学环境学院污染控制与资源化国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘要:利用豆秸秆和木屑形成体积比 1:1 作为生态厕所反应基质处理人粪便, 得到一种副产品——有机肥料。与传统好氧堆肥过程相比较, 获得这种副产品的过程优于传统好氧堆肥过程。通过进行氮、磷、钾、有机物和 pH 值的检测, 结果表明, 免水资源综合利用型生态厕所最终产物成分含量: 氮 4.30%, 磷 1.06%, 钾 2.03%, 有机物总量 79.2%, pH 值 8.25。这说明最终产物是一种高效的有机肥料。

关键词:好氧堆肥; 有机肥料; 人粪便; 生态厕所

中图分类号: X712 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2008)01-0359-04

Eco-Toilet with Comprehensive Utilization of Water-Free Resources

GAO Liang-min¹, NING Gui-xing¹, QIAN Xin², LU Gen-fa², MEI Yan¹, HUANG Zhou-man¹, SHENG Bao-hua¹

(1. Department of Resource and Environmental Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Using mixed material that is composed of 1:1 beanstalk and sawdust in volume as matrix of eco-toilet, automatic heating and mixing systems can keep a continuous thermophilic-aerobic biodegradation process and a uniform temperature in the eco-toilet. So microorganism could be better to treat human feces, the human feces and urine could be composted to produce organic fertilizer as by-products rich in N, P and K. Compared to traditional aerobic composting, the process to get organic fertilizer was superior to traditional aerobic composting. Change of pH value was divided into three phases: acid phase, alkaline phase, stable phase, with pH value of final products in eco-toilet being 8.25. The temperate in the eco-toilet was between 40 °C and 50 °C, water content was 40%~60%, the total reduction rate of dry weight increased gradually from 46.9% to 92.2%. T-N, T-P and T-K contents were increased with feces and urine inputted generally, with their contents being 4.30%, 1.06% and 2.03% respectively finally, and the organic matter content was evidently decreased from 95.6% to 79.2%. The high-efficient organic fertilizer was got finally.

Keywords: aerobic compost; organic fertilizer; human feces; eco-toilet

我国是一个农业大国, 秸秆是丰富的自然资源, 每年产农作物秸秆约 5.8 亿 t, 占世界秸秆总产量的 20%~30%^[1]。每年生产的各种农作物秸秆及脚料达数十亿 t。过去这一巨大的生物资源, 除了少部分作为薪材和家畜饲料外, 只有很少一部分过腹还田或直接还

田^[2]。现在随着人们生活水平的提高, 大部分秸秆被遗弃或野外露天焚烧, 这样不仅浪费大量可贵的资源^[3], 使大量的营养元素流失, 而且会造成环境污染。

农村传统的堆肥方式为好氧和厌氧兼性堆肥方式, 俗称“沤粪”, 主要将废弃秸秆和粪便混合露天堆肥。传统农村堆肥方式不仅给人们带来感官上污染, 而且堆肥过程中产生甲烷等气体, 严重污染了空气质量。

生态厕所为人类提供了一种新型的堆肥方式, 不仅将废弃的秸秆等原料作为反应基质处理人粪便加以利用, 而且同传统的好氧堆肥过程相比, 具有明显的优越性。

收稿日期: 2007-01-07

基金项目: 日本科学技术振兴机构(JST)课题“可持续发展卫生系统的开发及其在水循环中的应用”; 江苏省自然科学基金课题“新型生态厕所的研制与有机废弃物的资源化技术(BK2004089)”

作者简介: 高良敏(1963—), 男, 博士, 副教授。主要从事水污染控制、固体废物处理、环境规划、管理与评价等方面的研究。

E-mail: gaolmin@163.com

1 实验装置与方法

1.1 实验设备

实验采用 S15 型生态厕所, 其体积为 $1.00 \text{ m} \times 0.62 \text{ m} \times 0.62 \text{ m}$, 其有效容积为 $0.90 \text{ m} \times 0.46 \text{ m} \times 0.46 \text{ m}$, 电源 100 V, 为了保持微生物正常降解温度、反应物均匀混合和充足氧气, 设有自动控温系统和自动搅拌装置如图 1。温度控制系统的加热条功率 200 W, 搅拌齿轮转动功率 40 W, 反应过程产生的气体经过排气装置排到室外。

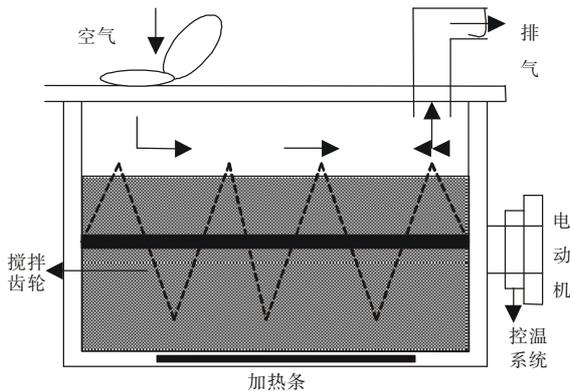


图 1 生态厕所结构图

Figure 1 Structure graph of ecological toilet

1.2 实验方法

1.2.1 原料理化性质

豆秸秆和木屑来源于郊区的农村, 豆秸秆和木屑按其体积比为 1:1 形成复混物, 具有疏松、多孔, 易于搅拌、易于被微生物吸收养分的特点, 可作为生态厕所的反应基质。复混物成分含量氮 3.7%、磷 0.16%、钾 1.32%、有机物总量 95.6%, pH 值 6.63。

1.2.2 检测方法

温度为每天上午 8~9 点和下午 3~4 点用数字温度计取 6 点测定, 取其平均值。pH 值、含水率、有机物总量、全氮、全磷、全钾分别参照 PHS-3C 型精密 pH 计, NY/T 302—1995, NY/T 304—1995, NY/T 297—1995, NY/T 298—1995, NY/T 299—1995。

1.2.3 实验设计

(1) 粪便来源于每天使用生态厕所的学生和老师, 每天使用人数不同, 投入的量也不同, 一般每天可供 5~10 人使用。

(2) 实验时间 2005-11-16—2006-04-30, 中间去除 4 周寒假 (寒假期间控温系统和搅拌装置仍工作, 保持一定温度)。初始加入体积比为 1:1 豆秸秆和木屑的混合物 16.5 kg, 约占生态厕所反应器体积 2/3,

加水调节含水率, 测定此时平均含水率为 65.63%。

(3) 生态厕所内设定 6 个点 (如图 2), 每天上午 8~9 点、下午 2~3 点两次记录生态厕所这 6 个点温度值。

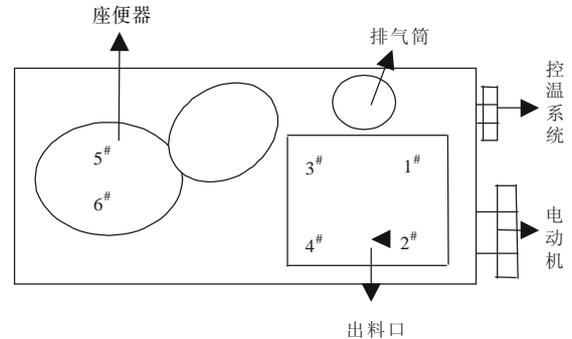


图 2 生态厕所测温、取样点 (生态厕所俯视图)

Figure 2 Temperature measurement and sample points of ecological toilet (vertical view of ecological toilet)

(4) 每周一下午 3~4 点称重并取样, 取 6 点样品混合—搅拌—6 点取样混合—搅拌—6 点取样混合, 然后 3 次取样后混合均匀, 用四分法取 50~100 g 对比样品, 100~150 g 实验样品。

(5) 取实验样品后立即测定 pH 值, 参照商品有机肥料标准^[4]即称取试样 5.0 g 于 100 mL 烧杯中, 加 50 mL 水 (经煮沸驱除二氧化碳), 搅动 15 min, 静置 30 min, 用 PHS-3C 型精密 pH 计测定。并且其他参数依据检测标准方法进行测定。

2 实验数据分析

2.1 pH 值和含水率

pH 值的变化对微生物活动有重要影响, 变化趋势与一般好氧堆肥有所不同, 传统好氧堆肥制取有机肥料, 需要调节 pH 值; 但是新型有机制肥不需要调节, 每天投加人粪便和尿液, 间接调节 pH 值。

pH 值变化可分 3 个阶段。第一阶段: 在第一周内, 复混物的 pH 始终小于 7, 由于加入粉碎的豆秸秆和木屑的复混物, 呈弱酸性。开始微生物活动能力强, 能够获得充足的碳源、氮源、能源、无机盐等营养因子^[5], 微生物繁殖能力快, 其活动产生的有机酸使 pH 值下降, 大约 pH 值在 6~7 之间, 呈弱酸性; 第二阶段: 随着时间的推移, 加入粪便量逐渐累积, 带入微生物增多, 微生物降解人粪便活动能力加强, 有机酸进一步分解, 温度升高也使有机酸挥发, 同时粪便和尿液中含氮物质产生氨气, 因此 pH 值升高, 在 8.0~9.28 之间波动 (第二周到第十周), 反应物呈弱碱性; 第三

个阶段:粪便量的投入,反应基质的减少,微生物活动能力不同程度的减弱。最后 pH 值稳定在 8.0~9.0 之间,呈弱碱性。一般认为肥料的 pH 值 8.0~9.0^[6],而本实验最终产物的 pH 值为 8.25, 可以作为有机肥料。水分是维持微生物活动的重要因素,为适宜微生物生长,堆肥含水率变化一般处于 40%~60%,可以保证人粪便有氧降解^[6],除了开始和第三周含水率高于 60%,其他时间含水率均处于 40%~60%之间(如图 3、图 4,“0”表示初始值)。

2.2 温度和减量化

传统好氧堆肥经过中温阶段—高温阶段—降温阶段,免水资源综合利用型生态厕所制肥过程处于中温阶段和高温阶段之间波动。生态厕所内部温度主要由控温系统和搅拌装置控制,温度过高,自动搅拌散热;温度过低,加热条自动加热升温。图 5 可以看出生态厕所内部温度变化范围集中在 40~50 ℃之间,经研究表明堆肥温度在 35~55 ℃时效果最佳^[7],这样为微生物的新陈代谢提供适宜环境。这主要因为一方面温度较高有利于反应速度加快;另一方面,微生物生存和分解有机物能力有一定的适宜温度范围,温度过高或者过低都会使微生物失去活性。所以生态厕所内部

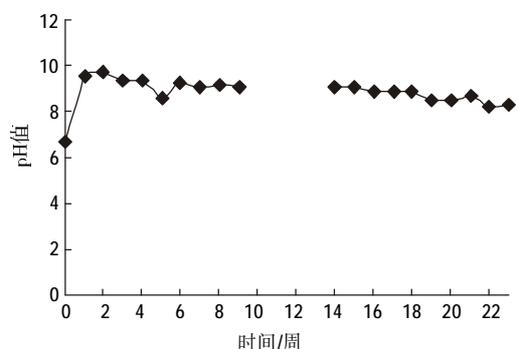


图 3 pH 值变化
Figure 3 Change of pH value

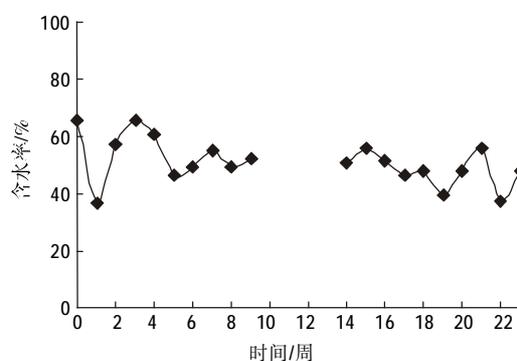


图 4 含水率变化
Figure 4 Change of water content

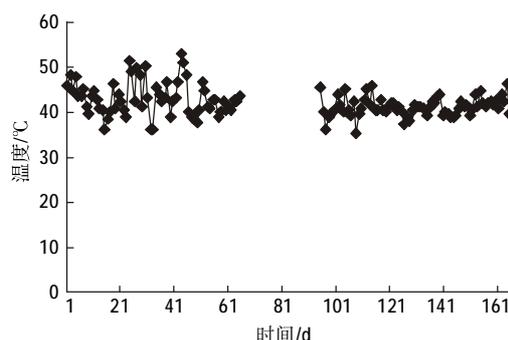


图 5 生态厕所内温度变化
Figure 5 Change of temperature in eco-toilet

温度适宜微生物生长,有利于堆肥进行。但惟一不足是温度没有达到 60 ℃以上,未达到有机肥料的卫生化程度,需要进一步处理^[6]。

根据减量化研究,下列公式可以计算出随着人粪便不断投入以及适宜的微生物生存环境促使累积减少率不断增加,第一周混合物干重减少率 46.9%,最终稳定在 92.2%。图 6 表明,开始阶段有机物含量高,适宜的条件下,微生物活性高,微生物分解干物质能力强,故混合物干重累积减少率增大速度快;随着有机质含量降低,微生物需要的营养元素逐渐下降,微生物分解干物质的能力降低,混合物干重累积减少率趋于平缓,逐渐稳定,因此免水资源综合利用型生态厕所堆肥有明显的减量化作用。

$$W = \frac{(M-N)}{M} \times 100\%$$

式中:W 为干重累积减少率,%;M 为初始投加复混合物重与每周累积干重之和,kg;N 为每周称重混合物干重,kg。

2.3 有机物总量和养分含量变化

有机物总量含量变化对微生物降解人粪便有一定影响,微生物吸收反应基质营养元素维持正常的生

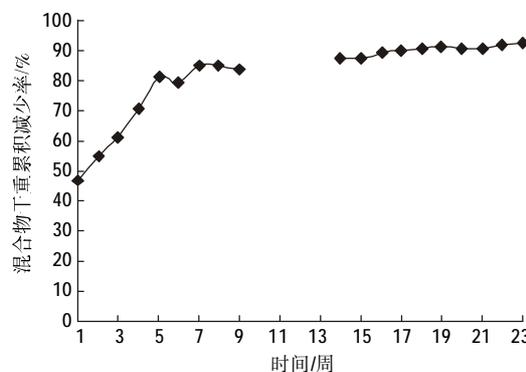


图 6 干重累积减少率变化
Figure 6 Change of decrease rate of dry weight in accumulation

命活动^④。混合物有机物总量含量很大,微生物在活动中需要充足的氧气,来源于搅拌系统,维持正常代谢。混合物中有机物含量逐渐减少,最终趋于平缓,表明微生物吸收可溶性有机总量中碳源等营养物质,高含量的有机物促进了堆肥化(如图 7,“0”表示初始值)。

微生物降解过程中氮、磷、钾等营养元素的含量总体上是增加的,这是由于每天投入人粪便,人粪便中含有一定量的氮、磷、钾等营养元素,这些元素不断地积累富集。但并没有相继增加,而上下波动较大,盘旋上升。特别是氮含量波动很大,主要由于随着人粪便投入多少而上升幅度逐渐变化,微生物不断吸收氮源供自身生命活动和温度维持在 40~50 ℃ 之间产生氨气挥发损失一部分氮造成的。最终氮含量为 4.3%, 磷的含量 1.06%, 钾的含量为 2.03%, 生态厕所停用 1 d 后,未检测出粪肠菌存在,符合堆肥产品的

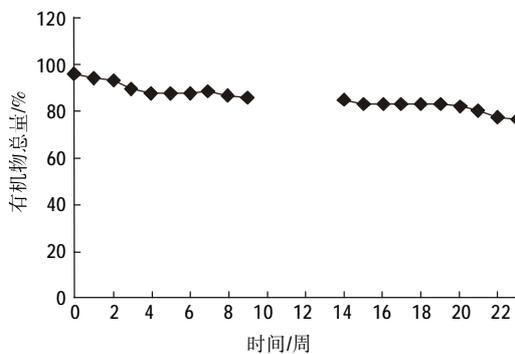


图 7 有机物总量变化

Figure 7 Change of organic matter

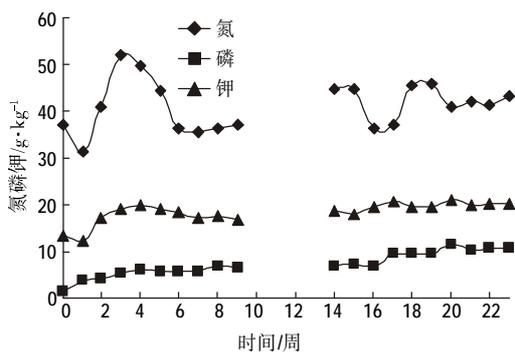


图 8 全氮、全磷、全钾变化

Figure 8 Change of total nitrogen, total phosphorus and total potassium

质量要求(如图 8,“0”表示初始值)。

3 结论

(1)生态厕所有机制肥,其 pH 值为 8.25,氮含量为 4.30%, 磷含量 1.06%, 钾含量为 2.03%, 有机物 79.2%,符合堆肥产品质量。

(2)生态厕所有机制肥完全给微生物提供适宜的生存环境,每天投入的粪便相当于给微生物增加所需要营养元素,这样累积减少量不断增加,最终减少率达 92.2%,这种每天投入式降解更加适宜于微生物活动。

(3)生态厕所式有机制肥,维持一定的温度范围,更加适宜中高温型微生物降解,把传统好氧堆肥三过程合并为一个过程,这样加剧了有机肥料卫生化程度要求。

(4)生态厕所停用 1 d 后,未检测出粪肠菌存在。但并未排除其他菌存在,需要进一步深入研究。

(5)生态厕所有机制肥为传统好氧堆肥提供了一种新的方法,推广生态厕所应用到农村以及广阔的旅游地区,不仅为人类解决废弃资源提供了一种新的途径,更重要的是提供了一种新的好氧堆肥方式。

参考文献:

- [1] 曹玉凤,李建国.生物技术在处理农作物秸秆饲料中的应用[J].饲料研究,1999,22(1):25-26.
- [2] 刘天学,纪秀娥.焚烧秸秆对土壤有机质和微生物的影响研究[J].土壤,2003,35(4):347-348.
- [3] 徐 靓,安莲英.农作物秸秆中钾元素的回收与利用[J].广州微量元素科学,2006,13(1):7-11.
- [4] <http://news.jgny.net/2005/4-18/173438.htm>
- [5] 杨朝晖,曾光明,蒋晓云,等.城市垃圾堆肥过程中的生物学问题研究[J].微生物学杂志,2005,25(3):57-61.
- [6] 李国学,张福锁.固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M].北京:化学工业出版社,2000.130-170.
- [7] 张兰英,刘 娜,孙立波,等.现代环境微生物技术[M].北京:清华大学出版社,2005.263-274.
- [8] 段丽杰,盛连喜.序批好氧堆肥处理法对家畜粪便减量化研究[J].农业环境科学学报,2005,24(4):805-808.
- [9] 朱能武.有机固体废物好氧堆肥的生态因子及其调控[J].环境卫生工程,2005,13(5):3-6.