

时间温度联合控制的强制通风污泥堆肥技术

徐红, 樊耀波, 贾智萍, 李艳霞, 王敏健\* (中国科学院生态环境研究中心 北京 100085)

摘要: 采用强制通风高温堆肥技术对生活污水处理厂的污泥进行堆肥化处理, 通风系统采用时间和温度联合自动化控制. 对堆肥过程中不同的堆料配比, 通风量对堆温的影响, 堆肥过程中水分、有机质、pH 值、种子发芽率的变化趋势及卫生学指标进行了研究. 在堆料配比, 污泥: 木片: 回流污泥为 1: 1: 1~3: 1: 1, 通风量为  $3.3\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{t})$  的条件下, 堆温可达  $60^\circ\text{C}$ , 并维持 3d 以上; 堆肥的含水率可降低约 40%; 有机质降解率为 25%~40%; 种子发芽率 > 80%; 大肠菌值 > 0.111, 蛔虫卵的杀灭率 > 100%.

关键词: 污泥堆肥; 填充料; 强制通风; 通风控制

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)06-05-0051

Forced Aeration Composting of Sewage Sludge Controlled by Time and Temperature Controller

Hong Xu, Yaobo Fan, Zhiping Jia, Yanxia Li, Minjian Wang (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Science, Beijing 100085, China)

**Abstract:** The forced aeration composting technique was used for disposing of sewage sludge of wastewater treatment plant. Both time and temperature controllers were used to control the air blower of the composting equipment, so the composting system could operate automatically. The variations of composting temperature caused by different ratio of bulking agent and aeration rate and the index of water content were discussed and the variations of composting on organism, pH value, seed germination percentage and healthy index were detected. When the ratios of sewage sludge, wooden piece and recycled sludge were from 1: 1: 1 to 3: 1: 1 and the aeration rate was  $3.3\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{t})$ , the composting temperature could raise to 60 centigrade and keep up for above 3 days. The water content of composting was dropped off 40 percent and organism was degraded 25~40 percent. The seed germination Percentage could be > 80%. The coliform index was > 0.111 and the roundworm eggs were all killed in compost.

**Keywords:** composting; sewage sludge; bulking agent; forced aeration; aeration control

堆肥技术在国外已有很多的研究<sup>[1~4]</sup>, 在我国污泥堆肥技术也有许多报道<sup>[5,6]</sup>, 但还有许多关键性技术问题有待解决, 如堆肥工艺、堆肥温度及通风控制技术、廉价适用的堆肥填充料的选择、工艺参数优化及堆肥腐熟度指标的探索等.

本研究采用通风静态垛式堆肥工艺, 对通风系统的控制技术和以木片为填充料的堆料配比及堆肥效果进行了研究和实验. 目的是通过实验探索所研制的通风控制方式、系统及所选用的填充料在技术上的可行性和实用性; 进行堆肥运行参数的优化研究; 为开发适合我国国

情的污泥高效低耗堆肥技术提供科学依据和技术参考.

1 试验材料与方法

1.1 实验装置

所用通风静态垛式堆肥工艺, 共建有 3 个堆肥池, 每个堆肥池长 1.25m, 宽 1m, 高 0.8m, 即容积  $3\times 1\text{ m}^3$ . 在堆肥池底部有 3 条穿孔管通

---

基金项目: 国家“九五”科技攻关课题(96-909-01-05)  
作者简介: 徐红(1972~), 女, 北京人, 硕士, 主要研究方向污水处理和污泥堆肥技术.  
收稿日期: 1999-12-08  
\* 通讯联系人

风管道, 埋设在宽和高均为 0.1 m 的沟槽中, 沟槽表面覆盖 1 层金属网格。根据流体力学的原理, 为使气体在堆体中均匀流通, 3 条风道均按相同的服务半径排布且通风路上的开孔均匀分布。堆肥装置的工艺流程图如图 1 所示:

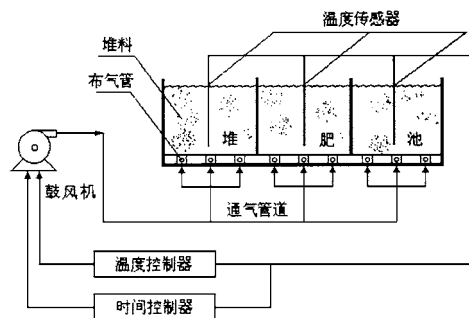


图 1 堆肥装置工艺流程简图

## 1.2 堆肥控制过程

将某生活污水处理厂的生污泥和回流污泥(已腐熟的污泥堆肥)及填充料木片按不同的配比(体积比)混合均匀后上堆, 池底用木片铺设垫层, 表层用木片封堆。所用木片为木材加工厂的废料, 选用木片为填充料的目的是希望找到 1 种数量可以保证, 且可以多次回用的填充料。

采用鼓风机向堆肥池内进行强制通风供氧, 采用自行设计的温度和时间联合控制系统对鼓风机进行控制。当温度未达到高温 55℃ 时, 由时间控制器控制鼓风机的通断。当温度升到高温 55℃ 后, 自动转为由温度控制器控制鼓风机的通断, 使堆肥过程避免出现 60℃ 以上的高温。60℃ 以上的高温会抑制微生物的活性, 不利于堆肥的发酵过程。本试验采用温度控制器和时间控制器对鼓风机的联合控制, 可使堆温的高温段保持在设定的温度范围 55℃ ~ 60℃, 防止了 60℃ 以上高温的出现, 实现了温度自动采集记录。堆肥现场无需人员监控, 大大降低了堆肥操作人员的劳动强度。

## 1.3 实验参数

选择温度、通风量为运行控制参数; 选择含水率、pH 值、有机质含量、粪大肠菌值、种子发芽率作为堆肥的稳定化、无害化质量控制参数。

堆温由温度传感器及温度控制仪定时自动记录堆体温度, 并且玻璃温度计进行校正与检验。通风量由气体流量计测定; 含水率和有机质含量由灼烧法测定; pH 值用 pH S-3 数字型 pH 计测定; 粪大肠菌值参照国家《粪便无害化卫生标准(GB 7959-87)》; 种子发芽率采用英国购买的 Cress 草种进行实验测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 堆体温度的变化及影响因素

(1) 通风量大小对堆体升温的影响 通过实验选定了较为合适的配比, 污泥: 回流污泥: 木片为 1: 1: 1, 然后对 3 个堆肥池的堆料采用不同的通气量进行实验。实验结果如图 2 所示。图中曲线 1、曲线 2、曲线 3 分别为 1.6 m<sup>3</sup>/(h·t)、3.3 m<sup>3</sup>/(h·t)、5 m<sup>3</sup>/(h·t) 通风速率条件下堆体温度的变化情况。从图 2 可以看出, 曲线 2 最先升到 55℃, 曲线 3 次之, 而曲线 1 最慢。这是因为堆肥 1 的供气量不足, 不能满足好氧的要求, 出现了局部的厌氧发酵, 抑制了反应的进行。曲线 3 的堆体中通风量过大, 使堆体产生的热量散失过快, 从而影响了堆体的升温。对本实验来说, 曲线 2 所示的通气量 3.3 m<sup>3</sup>/(h·t) 是较合适的通气量。

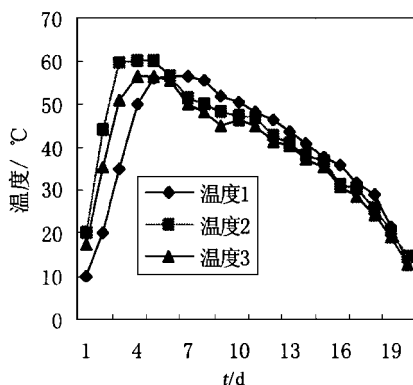


图 2 堆肥过程中不同通气量条件下的升温曲线

(2) 堆料配比对堆体升温的影响 在相同的通气量条件下, 3 个堆肥池的堆料采用不同的配比进行实验, 实验结果见图 3。图 3 中曲线 1、曲线 2、曲线 3 分别对应的污泥与木片的配

比为 3: 1、1: 1、1: 5、1: 1、1: 1 配比的堆肥升温最快, 2d 后升到 55℃; 3: 1 的次之, 4d 后升到 55℃ 并均能保持高温 3d 以上. 5/1 的配比未使堆温升到 55℃, 这是因为较低的配比不能为堆体提供足够的孔隙率, 氧气不能在堆体中很好地流通为堆肥发酵提供足够的氧气. 同时填充料还起着调节堆体初始含水率的作用, 若填充料不足, 混合后的堆料含水率将较高, 热量散失增大, 使堆温上升变慢. 曲线 1 的初始含水率为 60%, 曲线 2 的初始含水率为 55%, 曲线 3 的初始含水率为 65%. 由此可知, 堆体的初始含水率应控制在 60% 以下. 这就需要加入适量的填充料来调节. 从本实验结果看, 污泥: 木片: 回流污泥的比例在 1: 1: 1~ 3: 1: 1 较合适. 此外, 从堆腐完成的堆肥中可以看出, 木片基本不腐烂, 可以分离出来循环使用.

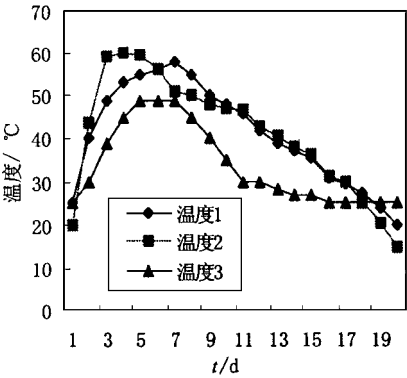


图 3 堆肥过程中不同配比填充料的升温曲线

(3) 堆肥温度与环境温度的对比 本次堆肥试验在秋、冬季节进行, 外界环境条件比较恶劣, 气温呈下降趋势. 但是, 由于采用了时间控制器和温度控制器联合控制鼓风机, 并当堆料配比及通风量合适时, 即使在环境温度低于 10℃ 甚至 0℃ 的条件下, 堆温也能在 1 至 2d 后上升到 55℃, 并保持在 55℃ 以上 3d, 最高达 60℃. 高温持续期达 3d, 这为病原菌的杀灭提供了足够的时间. 在图 4 中, 曲线 1 为堆体温度, 曲线 2 为环境温度. 可以看出, 当外界环境温度较低时, 甚至在夜间降到 0℃ 以下时, 堆温仍可顺利升高. 图 4 的温度曲线还表明堆温并

不明显受外界气温的影响, 而是按自身发酵和腐熟过程变化. 还特别注意到, 由于温度的控制作用, 堆温在 60℃ 高温段时出现了平台, 其防止了堆温的过度升高, 保证了堆肥的良好效果和质量.

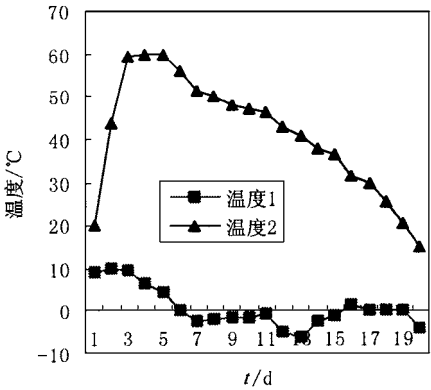


图 4 堆肥过程中堆温随时间变化曲线

2.2 堆肥质量控制指标的变化及堆肥质量

本次堆肥试验的一次发酵期共持续 20d, 2 次发酵期(后熟期)为 40d, 在这一过程中, 经堆肥处理污泥的物理化学性质发生了很大的变化.

(1) pH 值 堆肥过程中 pH 随时间变化见图 5. 堆肥初始时, pH 值为 6.8, 堆体略偏酸性. 随着堆肥过程的发展, 堆料的 pH 在前 10d 呈上升趋势, 在 10d 左右到达一个最高值 8.12, 然后逐渐下降最终变为中性. 这一变化趋势是因为在高温堆肥的前期阶段, 随着全量成分与速效成分的相应转化, 尤其是氨态氮等有效成分的积累, 堆体的碱性逐渐增强, 从而使堆体 pH 值明显增大, 最高可升至 8 左右. 随着有机质分解基本完成, pH 值逐渐下降, 最终降为 7 左右, 如图 5 曲线 1(其配比和通风量分别为 1: 1: 1 和  $3.3\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$ )所示. 但若在堆肥过程中, 有厌氧现象发生时, 会有大量硫化氢等酸性气体生成, 使 pH 值下降. 这时加大通风量, 可阻止厌氧现象的继续发生, 随着通气量的加大, pH 值逐步上升, 如图 5 曲线 2(其配比为 5: 1, 通风量为  $3.3\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$ )所示.

(2) 含水率 图 6 给出了不同污泥: 填充

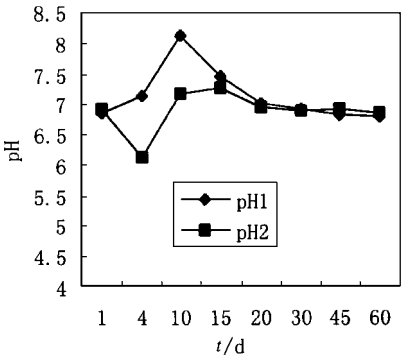


图 5 堆肥过程中 pH 随时间变化曲线

料情况下堆肥含水率的变化曲线。强制通风堆肥过程中,堆体含水率的变化幅度较大。至堆肥结束,含水率可下降 40% 左右,丢失的水分,主要是被鼓风机鼓进的空气带出。在温度升至高温期之前,水分有一个升高的趋势,这主要是由于有机物分解产生水分造成,之后水分逐渐散失含水率降低。从图 6 中可以看出,填充料的配比越高,水分的下降速率越快,说明填充料的配比越高,堆体孔隙率越高,通风效果越好,越有利于水分的散失。

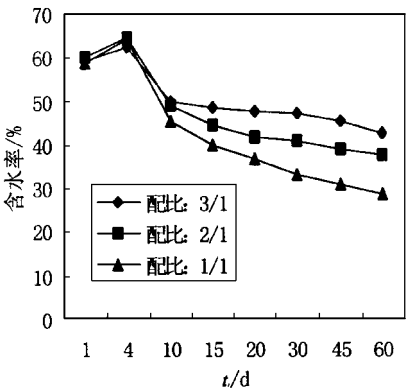


图 6 不同污泥与填充料配比的堆肥含水率变化

(3) 有机质含量 在堆肥过程中,有机质逐渐降解,尤其是在高温期降解比较迅速,与水分的变化规律基本一致,见图 7。从图 7 中还可以看到,有机质的降解率在 25% ~ 40% 之间。污泥:木片为 1:1 比例的配比比较有利于有机

质的分解。在本实验的污泥与填充料的比例范围内,填充料比例越高,越有利于有机质的分解。

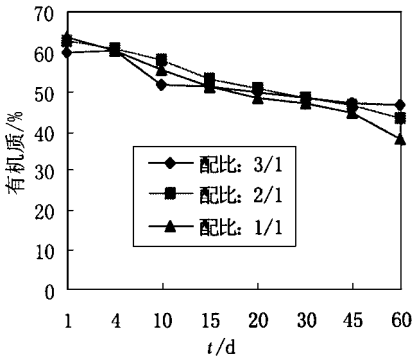


图 7 有机质随时间变化曲线

(4) 种子发芽率 种子发芽率是一种通过检验堆肥对植物是否产生生长抑制来评价堆肥无害化、稳定化的指标。在一般状况下,当发芽指数达到 80% ~ 85% 时,就可以认为这种堆肥没有了植物毒性或者说堆肥已经腐熟。本研究将配比为 1:1 和通风量为  $3.3\text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$  的堆肥样品进行发芽率实验,结果见图 8。从图 8 可以看出,种子发芽率随堆肥的堆腐时间而不断增加,种子发芽率在前 20d 增加较快,30d 后,种子发芽率变化趋缓,最后种子发芽率达到了 83%,可以说堆肥对植物的毒性基本消失。

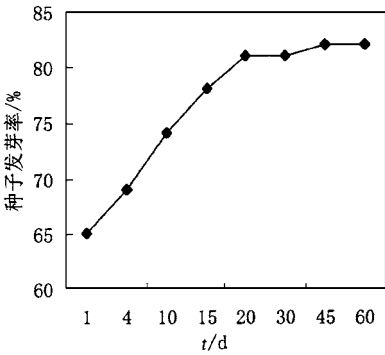


图 8 堆肥过程中种子发芽率随堆肥时间变化

(5) 卫生学指标 主要选择粪大肠菌作为检测对象,测定结果表明所有经过 55℃ 以上高温 3d

的堆肥都能达到国家(GB7959-87)卫生学指标要求。所有堆肥产品的大肠菌群的含量均为  $0.111 > 0.11$ , 对蛔虫卵的杀灭率达到了 100%。

3 结论

(1) 时间-温度联合控制通风强度的方法可以作为强制通风静态堆肥系统通风自动化控制的一种方式。该种通风控制方式简单、可靠、易行, 可大大减小堆肥操作的劳动强度和保证堆肥的质量, 提高了该堆肥技术的实用性。

(2) 木片可以作为一种污泥堆肥处理的填充料。回流污泥可作为堆料的生物接种材料, 并同木片一起作为堆料水分和孔隙度的调节材料。堆料的配比一般应在生污泥比木片比回流污泥为 1: 1: 1~ 3: 1: 1。木片不会很快腐烂, 在堆肥中可以多次重复使用。

(3) 在堆料配比合适的条件下, 通风量一般应控制在  $3.3\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{t})$  左右, 过高过低的通风量都会造成堆温上升困难。

(4) 腐熟的堆肥水分含量减少了 40%, 有机质的降解率为 25%~ 40%。

(5) 采用该工艺进行堆肥, 腐熟的污泥可使

种子发芽率达到 80%~ 83%; 粪大肠菌群值达到国家堆肥卫生学质量标准。表明该堆肥工艺技术可行, 堆肥产品质量达到稳定化, 无害化。

(6) 对于类似的堆肥实验或工程应用, 参考参数为, 堆料配比: 污泥: 回流污泥: 木片 = 1: 1: 1~ 3: 1: 1; 进料有机物含量: 45%~ 65%; 进料含水率: 55%~ 60%; 供风量:  $3.3\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{t})$ ; 一次发酵期: 20~ 30d; 二次发酵期: 25~ 40d。

参考文献:

- 1 Special Report. Sludge composting trends and opportunities, Water and Waste Treatment, 1995, 38(11): 44~ 47.
- 2 Furhacker M, Haberl R. Composting of sewage sludge in a rotating vessel. Water Science Technology, 1995, 32(11): 121~ 125.
- 3 Goldstein N, Struteville R. Biosolids composting makes healthy progress. Biocycle, 1993, December, 48~ 57.
- 4 Lutz W. International perspective on composting. Biocycle, 1984, 25(2): 222~ 225.
- 5 赵子定, 常玉海. 污泥堆肥技术研究. 国外农业环境保护, 1992, 34: 7~ 10.
- 6 陈世和. 城市生活垃圾堆肥化处理的微生物特性研究. 上海环境科学, 1989, 8: 17~ 21.

关于提供垃圾处理技术和产业政策专题文献调研服务的启事

近年来, 垃圾处理和垃圾产业成为我国科技和产业相关单位及人员关注的热点, 我中心对此进行了专题文献调研, 可为用户提供专门的资料集一册, A4 纸约 300 页, 70 余万字, 定价 300 元(包括邮费)。内容包括我国环保状况与形势、环保产业状况与对策、环境管理的相关政策、国外与我国(包括港澳台地区)垃圾处

理状况、对策与技术等五大部分, 需要者请与中国科学院生态环境研究中心情报编辑室范秀英联系, 或直接汇款。

电话: 010-62932252,

通讯地址: 北京市海淀区双清路 18 号中国科学院生态环境研究中心(2871 信箱), 邮编 100085。