

环境温度对污泥堆肥的影响*

李艳霞^{1,2} 王敏健¹ 王菊思¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心水化学国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院地理研究所农业生态与环境技术试验站, 北京 100101 E-mail: Liyx@dls.iog.ac.cn)

摘要 堆体温度受各种理化参数的影响, 也与环境温度有密切关系。试验表明, 环境温度对污泥堆肥的起始升温影响不大, 5.8℃以上的环境温度污泥堆肥均可以顺利升温; 但是达到高温期的污泥堆肥, 因为易降解有机质含量的减少, 使其产热量减少。环境温度的剧烈变化会影响堆肥过程的进行, 环境温度降低至 5℃以下时, 本试验堆量的污泥堆肥已难以进行, 环境温度在 10℃以上时, 经过通气等的调节堆肥可以进行。

关键词 堆肥, 污泥, 环境温度。

Effect of Air Temperature on Sewage Sludge Composting*

Li Yanxia^{1,2} Wang Minjian¹ Wang Jusi¹

(1. SKLEAC, The Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences;

2. Station for Agro-Ecology and Environmental Technology, The Institution of Geography, CAS, Beijing 100101, China E-mail: Liyx@dls.iog.ac.cn)

Abstract Temperature is reflection of composting microorganism activity, which is an important factor to affect microorganism and composting. The composting temperature can be affected by several of physical and chemical parameters, and also can be affected by air temperature. In this experiment, the surrounding temperature had a little affect on the initial composting temperature when the surrounding temperature was above 5.8℃, the piles temperature can rise smoothly. But when the pile temperature reached the stage of high temperature and last for few days and the decrease of surrounding temperature was below 5℃, the composting failed.

Keywords compost, sewage sludge, air temperature

温度是堆肥系统微生物活动的反映, 影响微生物活动和堆肥工艺过程成败的重要因素^[1,2]。堆体的温度会受到堆体内各种理化参数: 堆肥原料、有机质含量、pH 值、C/N 比、通气量、水分含量等的影响^[3~7]; 同时堆体的温度还会受到环境温度变化的影响。当环境温度发生变化或者环境温度过低时, 堆体的温度也会发生变化, 尤其是当堆体体积较小时, 环境温度的改变对其的影响就会更大。本试验通过计算堆体的产热和散热平衡, 得出了最小的污泥堆肥体积, 同时进行了不同季节的污泥堆肥试验, 以验证环境条件对污泥堆肥的影响。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验用污泥来源于北京市北小河污水处理厂的脱水污泥。填充料为截短至 3~5cm 左右的玉米芯。

1.2 试验方法

堆肥系统采用通气静态垛式堆肥; 通气系统采用双延时时间继电器和阀门控制, 气体流量通过流量计监测; 堆体的温度通过埋设在不同深度的温度计测定(图 1、图 2)。堆肥的物料配比见表 1。

* 国家“九五”科技攻关项目(The National Key Science and Technology Project during the Ninth Five-year Plan Period): 96-909-01-05

作者简介: 李艳霞(1971~), 女, 博士, 助研

收稿日期: 1999-01-25

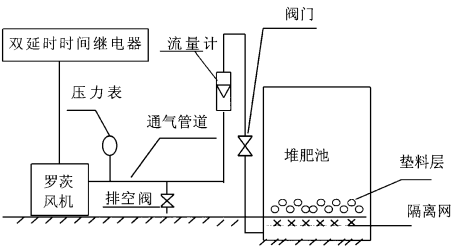


图 1 通气系统工艺流程图

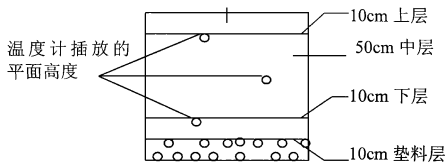


图 2 堆体温度监测示意图

表 1 不同处理的物料配比(体积比)

轮次	堆肥处理	污泥：玉米芯	堆腐时间/d
第一轮	AI	1：1	20
	AII	2：1	20
	AIII	3：1	30
第二轮	BI	2：1	30
	BII	5：1	30
	BIII	8：1	30

2 结果与讨论

2.1 污泥堆肥最小堆体体积的计算

污泥堆腐时产生热量, 相对环境来讲是个高温体. 由于水的蒸发、不断通气和环境的热传递, 会损失一部分热量. 因此, 堆体的操作温度, 应是在发酵生化反应温度达到一定值前提下, 堆肥产热与环境散热的平衡温度, 当产热量不足以平衡散热量时, 堆体就需要保温. 最小的堆腐量推求如下. 首先假定:

- (1) 进料污泥的有机质 Y_0 含量为 0.4g/g , 经堆腐后污泥中有机质降解率 ΔY 为 25% ^[8, 9].
- (2) 发酵停留时间 $R_t = 20\text{d}$.
- (3) 进料污泥湿度 55% , 出料污泥湿度 40% .

(4) 堆体操作温度 55°C , 环境温度 0°C (最不利条件).

(5) 堆料容重 $\rho = 0.7\text{t/m}^3$ ^[7].

需要保温的先决条件是^[7]:

$$Q_{in} < Q_{out, air} + Q_{out, W} + Q_{out, E} + Q_{out, S} \quad (1)$$

式中, Q_{in} 为系统能量输入 (即堆肥发热量), $Q_{out, air}$ 为通风供氧带走的热量, $Q_{out, W}$ 为水分蒸发带走的热量, $Q_{out, E}$ 为损失于周围环境的热量, $Q_{out, S}$ 为堆料升温所需热量.

假定 $Q_{out, air} \ll Q_{out, E} + Q_{out, S} + Q_{out, W}$, 忽略不计.

(1) 式可以简化为:

$$Q_{in} < Q_{out, E} + Q_{out, S} + Q_{out, W} \quad (2)$$

根据堆肥反应热力学, 堆肥发热量:

$$H_0 = 14.2 \pm 0.8 (\text{kJ/g 有机质})^{[7]}$$

则日平均发热量:

$$Q_{in} = H_0 \times Y_0 \times \Delta Y \times W \times 10^6 (\text{kJ})$$

$$\begin{aligned} Q_{in} &= H_0 \times (0.45W_0 \times Y_0 \times \Delta Y) \\ &= 14.2 \times 10^6 \times W_0 \times \\ &\quad (0.45 \times 0.4 \times 0.25) \\ &= 6.39 \times 10^5 W_0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$Q_{out, W} = \Delta H \times (W_0 \times M_0 - W_{出} \times M_{出})$$

$$\begin{aligned} W_{出} &= W_0 \times 0.45 \times (1 - 0.4 \times 0.25) / 0.6 \\ &= 0.675W_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{out, W} &= 0.23 \times 10^6 \times (W_0 \times 0.55 \\ &\quad - 0.675 \times W_0 \times 0.4) \\ &= 0.64 \times 10^5 W_0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$Q_{out, E} = \alpha \times S(T - T_{环}) / D^{[9]}$$

$$\begin{aligned} Q_{out, E} &= 4.87 \times (55 - 0) \times S / 0.12 \\ &= 2.23 \times 10^3 S \end{aligned} \quad (5)$$

上式中, $\alpha = 4.87\text{kJ/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, 为散热系数^[9], S 为堆体表面积, D 为散热距离, 假定为 0.12m , W_0 为堆料总重量, ΔH 为热焓 ($0.23 \times 10^6\text{kJ/t}$)^[7]; M 为湿度.

假定进料温度 $T_{进} = 10^\circ\text{C}$, 堆料比热 $c_p = 2.34 \times 10^3\text{kJ/t}$ ^[7], 则

$$\begin{aligned} Q_{out, S} &= W_0 \times c_p(T - T_{进}) \\ Q_{out, S} &= W_0 \times 2.34 \times 10^3 \times (55 - 10) \\ &= 1.05 \times 10^5 W_0 \end{aligned} \quad (6)$$

将(3)、(4)、(5)、(6)式代入(2)式得:

$$6.39 \times 10^5 W_0 > 0.64 \times 10^5 \times W_0$$
$$+ 2.23 \times 10^3 S + 1.05 \times 10^5 W_0$$

假定堆体为正方形, $S = 6L^2$, 上式为:

$$W_0 > 2.23 \times 10^3 \times 6L^2 \div [(6.39 - 0.64$$
$$- 1.05) \times 10^5]$$
$$W_0 > 0.03L^2 \tag{7}$$

$$W_0 = L^3 \times 1/RT \times \rho$$
$$= L^3 \times 1/20 \times 0.7 \tag{8}$$

将(7)式代入(8)式得:

$$L^3 \times 1/20 \times 0.7 > 0.03 \times L^2$$
$$L > 0.86(\text{m})$$

若 $L > 0.86\text{m}$ 时, 即 $L^3 > 0.64\text{m}^3$ 时堆体就不需要保温。

根据计算, 把本实验规模设定为堆体体积长×宽×高= $1.25 \times 1 \times 0.8 = 1\text{m}^3$, 除掉堆体底部的垫料层 0.2m^3 , 实际的堆体体积为 0.8m^3 。

2.2 堆肥升温的环境温度

实验处于秋、冬季节, 研究了环境温度对堆肥起始温升的影响(表2)。

表2 环境温度与堆体起始温升关系

处理	AI	AII	AIII	BI	BII	BIII
环境温度/℃	23	27.8	22.3	6.8	5.8	5.8
达到高温时间/h	15.8	16	92	28	50	93

从表2可以看出, 对于本实验的污泥堆肥, 环境温度会影响堆体的起始温升, 但是本实验的6个处理均在15.8~93h内达到了55℃的高温。2个物料配比相同的处理BI、AII, 开始堆腐时, 2处理的环境温度相差20℃以上, AII处理在16h达到高温, BI处理在28h也达到高温。

说明在堆肥的启动阶段, 堆料中有较多易降解有机物存在, 微生物集中进行有机质的降解, 从而使产热量大于散热量, 只要水分含量、通气条件等合适, 在相对稳定的环境条件、5.8℃以上的环境温度下, 污泥堆肥完全可以达到高温。

2.3 堆体高温期的环境温度

对堆腐量小的堆体而言, 本身的产热量不大, 外界的气温波动会造成堆体散热量的波动。在2轮堆肥过程中, 都出现了外界气温较大的波动, 使堆腐过程除本身的生物降解规律外, 又掺杂了外界气候的影响(图3)。

从图3中可以看出, 环境温度的骤然降低, 对处于堆腐高温期的堆体温度有很大影响。处于高温堆腐期时, 如果环境温度有较大的下降, 会导致堆体的急剧降温, 甚至于无法再恢复。

2轮试验中, 第2轮的3个处理受环境温

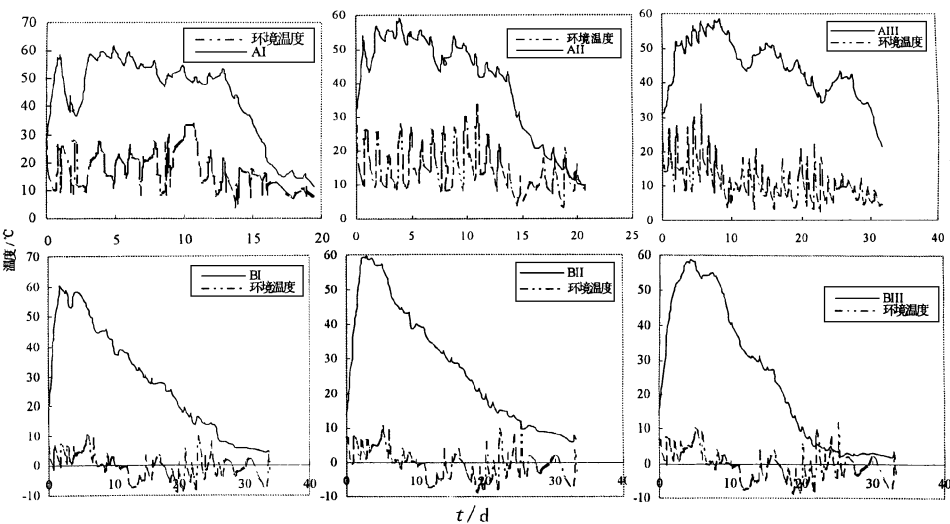


图3 堆体温度与环境温度关系曲线

度的影响明显。3个处理均在高温期内经历了环境温度的骤然降低, 使堆体温度也随之下

降,直至堆肥最终停止.说明堆体的起始升温期和经过一段时间高温堆腐期的堆体产热强度已经不同.经过几天高温堆腐的物料,易降解有机物减少,微生物降解有机物产生的热量与堆体的散热量相当,进而维持堆体的高温,一旦环境温度发生了变化,使堆体的散热量加大,堆体的温度就会下降,造成高温分解微生物死亡.如果环境温度的降低仍然在堆肥散热量的范围内,经过调节,堆体温度还可以回升,这从第1轮的3个处理中可以看出.第1轮的3个处理在高温阶段,环境温度的波动造成了堆体温度的波动,以AIII处理较为明显.AIII处理在堆腐的第8d左右,环境温度降低 10°C ,而且延续了2d,造成AIII堆体温度的急剧下降.但是这时的环境温度仍然比第2轮堆肥的起始环境温度高,因此通过通气量的调节,AIII处理堆体温度再次提高.说明本试验条件下,环境温度在 10°C 左右,污泥堆肥是可以进行的.

如果这时的环境条件持续不理想,堆体温度就无法再次恢复.本试验条件下第2轮堆肥的3个处理,在环境温度持续低于 5°C 的情况下,堆体温度亦持续下降,无法回升.但这只是在本试验堆体体积较小的情况下,实际生产中堆体规模会远大于本试验,散热面积会相对减小,产热量也必然增大,因此抵御低温环境的能力将增强.

3 小结

(1) 通过污泥产热及散热量的估算,得出最小的堆肥体积为 0.64m^3 .

(2) 环境温度对起始升温的影响不象其它堆肥参数那么严重.在稳定的外界环境温度、

合适的参数条件下, 5.8°C 以上的环境温度均可以使污泥堆肥顺利升温.

(3) 经过升温期的堆料,因为易降解有机物的减少,如果堆体体积较小且堆体的保温差时,堆体温度会受到环境温度变化的影响;在本试验条件下,环境温度产生波动但仍在 10°C 以上时,通过调节,堆体温度还可以回升,但是当环境温度在 5°C 以下时,堆肥已无法进行.

参 考 文 献

- 1 Wat P. The principal of composition and utilization in practise. *Control Tech.*, 1975, **47**(4): 741
- 2 李艳霞,王敏健,王菊思. 有机固体废弃物堆肥的腐熟度参数及指标. *环境科学*, 1999, **20**(2): 97~103
- 3 Strom P G. Effect of temperature on bacterial speedies diversity in thermophilic solid-waste composting. *Applied Environmental Microbiology*, 1985, **50**: 899~905
- 4 Mackinley V L and Vestal J R. Effects of different temperature regimes on microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge. *Canadian Journal of Microbiology*, 1985, **31**: 919~925
- 5 Mackinley V L and Vestal J R. Physical and chemical correlates of microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge. *Applied Environmental Microbiology*, 1985, **50**: 1395~1403
- 6 MacGregor S T et al. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. *Applied Environmental Microbiology*, 1981, **41**: 1321~1330.
- 7 Bertoldi M de, Vallini G and Pera A. The Biology of Composting: a Review. *Waste Management & Research*, 1983, **1**: 157~176
- 8 陈世和, 谌建宇. DANO 动态堆肥装置的特性研究. *上海环境科学*, 1991, **10**(12): 10~13
- 9 Robert C W and David R L. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc. 1990. 5~7