

# 城市生活垃圾隧道式静态好氧堆肥试验研究

逯延军, 吴星五 (同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

**摘要** [目的]更好地处理城市生活垃圾。[方法]采用大型隧道仓,对未分类收集的高含水率的城市生活垃圾进行强制通风的静态高温好氧堆肥试验,观察氧浓度、温度、耗氧速率、含水率等指标的变化。[结果]大体积物料含量 $\leq 50\%$  (体积比)、含水率 $\geq 65\%$  (WB)、堆高2m的原垃圾堆,静置沥水3d后通风,堆体中起始平均氧浓度 $\geq 17\%$ ,4d后温度达 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 以上, $55\text{ }^\circ\text{C}$ 以上的高温持续7d,满足卫生化要求,第10~25天耗氧速率都较高,最高达 $1\%$  ( $\Delta\text{O}_2$ )/min;堆肥前期含水率略有上升,后期下降。物料发酵20d左右出仓,有机质含量 $350\text{ g/kg}$ 左右,含水率 $\leq 50\%$  (WB),有利于后续机械筛分和二次发酵。氧浓度的较低区和耗氧速率较高时段及高温段都有极好的相关性。[结论]直接用隧道仓进行城市生活垃圾高温好氧发酵是可行的。

**关键词** 城市生活垃圾;隧道式;静态好氧堆肥

中图分类号 Q143.79 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)02-00644-02

Experimental Research on Static Aerobic Composting in Tunnels Type of Municipal Domestic Refuse

LU Yan-jun et al (College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract** [Objective] The study aimed to dispose municipal domestic refuse better. [Method] The large-scale tunnel silo was used to conduct static high-temperature aerobic composting test with forcing ventilation on the municipal domestic refuse (high water content) collected without classification to observe the changes of indices such as oxygen concentration, temperature, consumption rate of oxygen and water content. [Result] The original refuse pile with plastic bags content less than or equal to  $50\%$  (volume rate), water content bigger than or equal to  $65\%$  (WB) and pile height of 2 m was ventilated after static dewatering for 3 d. The initial average oxygen concentration in the compost was bigger than or equal to  $17\%$ . The compost temperature was higher than  $50\text{ }^\circ\text{C}$  after 4 d and the high temperature over  $55\text{ }^\circ\text{C}$  continued for 7 d, which satisfied sanitating request. The consumption rates of oxygen in the 10th~25th d were higher and the highest rate reached  $1\%$  ( $\Delta\text{O}_2$ )/min. The water content increased a little in the prophase and decreased in the anaphase of compost. After fermentation for about 20 d, the material was exported from silo with organic matter content being about  $350\text{ g/kg}$  and water content lower than or equal to  $50\%$  (WB), which was in favor of subsequent mechanic screening and the twice fermentation. The area with lower oxygen concentration had extremely good relativity with the period of time with higher consumption rate of oxygen and the period with high temperature. [Conclusion] Directly using tunnel silo to conduct aerobic fermentation with high temperature on municipal domestic refuse was feasible.

**Key words** Municipal domestic refuse; Tunnel type; Static aerobic composting

高温好氧堆肥是处理生活垃圾的方法之一,具有保护环境、节约原材料和能源、投资少、运行费用低等优点<sup>[1]</sup>。对于环境敏感程度较高的地方,为防止臭气外泄,堆肥反应器则应采用封闭式的,隧道式发酵仓是较好的选择。隧道仓设有专门收集废气和垃圾渗滤液的通道,同时其保温效果好,水分不易快速散失,处理过程不需要额外添加水分。

虽然目前对城市生活垃圾隧道式堆肥工艺有较详细的报道<sup>[2-4]</sup>,但是由于城市垃圾成分因地区的不同而有很大差异,造成生产中的运行条件不同。我国大部分的城市垃圾还未实现分类收集,高含水率的原垃圾堆肥处理之前,一般都要经过破碎和滚筒筛筛分。由于生活垃圾含水率比较高,尤其是夏季雨水较多时,很容易堵塞筛孔影响生产。而垃圾中的易腐败物质需要及时处理,否则会产生臭气,污染环境。

笔者针对未分类收集、仅经过人工拣去大体积物件、夏季高含水率的城市生活垃圾,试验探讨直接用隧道仓进行高温好氧发酵的可行性和影响因素,一是让更多的原垃圾经过高温消毒达到卫生化;二是使原垃圾一定程度稳定化,减少产生臭气和招惹苍蝇的成分;三是适当降低垃圾的含水率,提高后续机械筛选的效率。试验主要通过降低原料中塑料袋含量,调整堆高和静置沥水等手段,解决堆体中氧气浓度低、发酵程度不均匀等问题。同时试验过程中还监测了温度、氧浓度、耗氧速率、有机物、含水率等指标的变化规律。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 试验材料为上海市嘉定区的生活垃圾,特点是

未分类,水分含量高(含水率 $\geq 65\%$ ),含有大量体积较大的塑料袋和丝织物等。

**1.2 测试方法** 氧含量和耗氧速率为前5d每天测1次,之后每天测2次,测定仪器为上海嘉定学联仪表厂生产的CYS-1型数字测氧仪。样品每3d取1次,测定含水率和有机质。含水率的测定在温度 $103\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干24h,有机质的测定采用高温灼烧法<sup>[5]</sup>。

**1.3 试验方法** 试验中运行参数的改变所采用的主要方法为:①降低堆高;②去掉大体积的丝织物和塑料袋;③放置3d去除水分后开始通风。其目的是降低堆体阻力,使得空气能够顺利进入堆体中,保证好氧状态,同时保持适中的水分含量。

**1.4 工艺参数** 采用仓式强制通风方式进行高温静态堆肥,发酵仓为钢筋混凝土结构,其尺寸为 $28\text{ m}\times 9\text{ m}\times 6\text{ m}$ ,发酵仓的底部设有通风和排水管道,作为空气和垃圾渗滤液的通道,并通过控制系统向底部通风管道发酵仓内供风,仓顶部设有废气收集管道;风机额定风量为 $10\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ ,同时供3个仓,额定风压为 $4.5\text{ kPa}$ 。

## 2 结果与分析

**2.1 初始含氧量** 堆体中的氧浓度直接关系到好氧能否顺利进行,如果堆体中的氧含量过低,好氧微生物的生长就会受限,同时还会有厌氧现象的产生,产生硫化氢等有害气体。因此,保证氧气充足是好氧堆肥顺利进行的前提之一。在风机一定的条件下,达到好氧要求的方法之一就是降低堆体对进风的阻力。堆体过高,大体积的塑料袋和丝织物过多,以及过高的水分含量都能对进风产生阻力,阻碍氧的传

**作者简介** 逯延军(1980-),女,河南南召人,博士研究生,研究方向:固废资源化。

**收稿日期** 2007-09-18

表 1 堆体中氧浓度和其他参数之间的关系 (平均值)

Table 1 The relationship between oxygen concentration and other parameters in compost

试验处理 Experimental treatment	堆体中氧气平均含量//% Average content of oxygen in compost	风压 Wind pressure	供风量 m <sup>3</sup> /h·m <sup>3</sup> 物料) Air volume	物料含水量//% Water content in materials	堆高 Compost height	大体积物料含量 (V/V)//% Water content in large volume of materials
1	2.9	6.0	2.49	68	3	50~80
2	10.2	5.7	4.49	65	2	50~80
3	12.0	5.1	5.16	55	2	50~80
4	17.6	4.3	6.63	55	2	40~50
5	18.1	4.6	6.56	57	2	2~5

注: 试验 3、4、5 为静置沥水 3 d 后。

Note: Experiment treatment 3, 4 and 5 are placed 3d for water volatile.

递。试验中采用不同的工艺参数进行研究, 结果见表 1。

从表 1 可以看出, 堆高的降低可以减小堆体对风的阻力, 堆体中的氧含量有明显的增加; 将高含水率的物料放置沥水 3 d 后含水量有显著的下落, 可从 65% 降到 55%, 并且进行的通风试验, 风量和堆体中的氧上升。试验 3、4 和 5 主要的不同点是大体积物料含量不一样, 当大体积物料含量  $\leq 50\%$  时, 堆体中平均氧浓度  $\geq 17\%$ , 都可达到好氧的要求, 因此笔者对试验 4 和 5 这 2 种工况堆肥过程中相应各理化指标进行了测试。

**2.2 温度** 从图 1 可以看出, 初期温度逐渐上升, 4 d 之后可达到 50℃ 以上, 55℃ 以上的高温天数达 7 d 以上, 能够满足卫生化要求, 同时也印证了隧道式发酵仓良好的保温功能。在 25 d 左右温度呈下降趋势, 30 d 后基本可以达到起始温度。比较试验 4 和 5 还可以看出, 大体积物料占堆料总体积的比例较少, 升温速度要快些, 并且到达最高温度的时间及降温时间都要比大体积物料占比例大的堆料要提前。

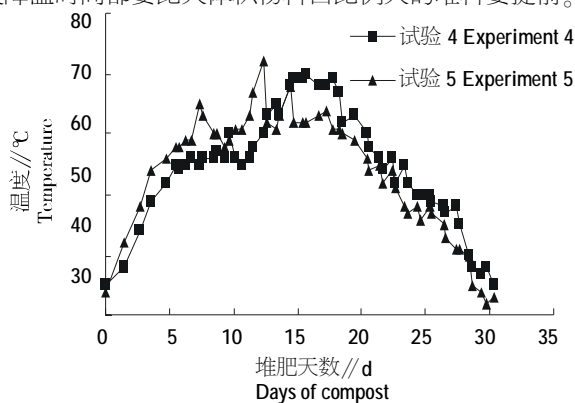


图 1 堆体温度和堆肥天数的关系

Fig. 1 The relationship between temperature and days after compost

**2.3 耗氧速率** 耗氧速率是用来指示微生物活性的指标之一, 用单位时间内氧浓度百分比的下降速率来表示。当微生物的活性高、数量大时, 对氧的消耗速度就快, 同时对有机物的降解速度就快。由图 2 可见, 在堆肥初期, 由于微生物的数量较少, 耗氧速率较低; 随着堆肥过程的进行, 10~25 d 耗氧速率都较高, 最高可达 1%  $\Delta O_2$ /min, 这段时期和高温期是一致的。随着有机物不断被降解以及微生物数量的减少, 微生物对氧的利用量也越来越少, 当堆肥结束时, 微生物的耗氧速率基本降到起始速度。

**2.4 最大氧浓度** 堆肥过程中, 堆体中的氧浓度在一定程度上可以反映微生物对氧气的利用及产生其他气体的情况。由图 3 可见, 氧浓度在堆肥初期基本保持不变, 说明微生物数量较少, 对氧的利用率不高, 随着堆肥过程的进展, 微生物不断增加, 氧浓度剧烈下降, 一方面说明微生物对氧

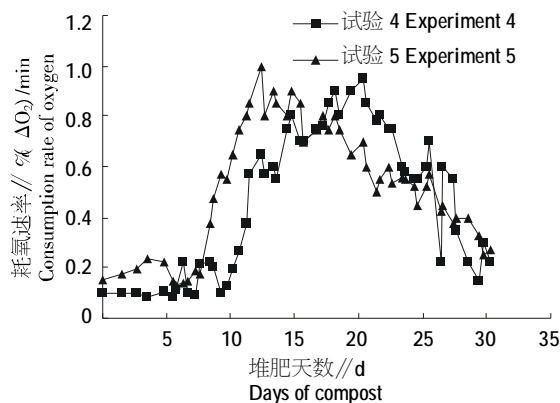


图 2 堆体耗氧速率和堆肥天数的关系

Fig. 2 The relationship between consumption rate of oxygen and days of compost

的利用, 另一方面说明产生其他气体的比例增加。在堆肥进行到 25 d 左右时, 氧浓度逐渐上升, 在堆肥结束时可以达到起始水平。同时氧浓度的较低区和耗氧速率较高时段以及高温段都有极好的相关性。

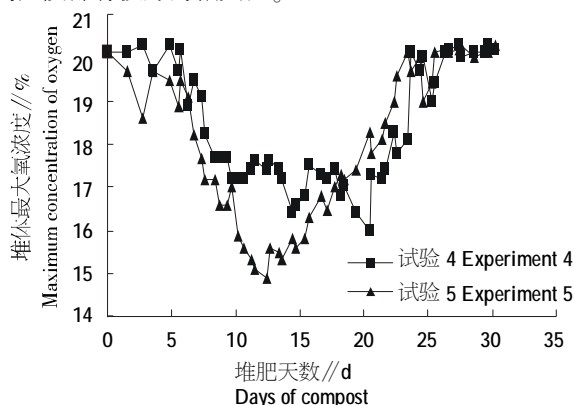


图 3 堆体最大氧浓度和堆肥天数的关系

Fig. 3 The relationship between the maximum concentration of oxygen and days of compost

**2.5 含水率和有机质** 含水率在堆肥前期略有上升, 这是由于隧道式仓的密闭性较好, 除了物料本身的水分外, 堆肥过程中微生物降解有机物也会产生水分, 水蒸气没有及时被排出, 遇到发酵仓顶部冷凝下来又重新落回到物料上而造成的。随着微生物产生水分的减少及水蒸气的逐渐排出, 水分在后期呈下降状态。在高温段过程中, 水分没有降低很多, 基本上保持在 50%~60%, 而不用考虑因水分不足而影响发酵的问题。

堆肥过程中有机质的降低主要是一些易降解的物质, 降解的时段主要发生在高温期, 即 5~20 d 这一时期。有机物的含量下降到 350 g/kg 左右时, 降解的速度就比较缓慢

(下转第 682 页)

利用规划中切实保护基本农田,为此给出了一些建议。

(1) 自然灾害的发生和生态环境脆弱,基本农田数量减少在所难免,因此要进行生态环境建设。由于新疆地处亚欧大陆腹地,年降水量平均为 150 mm,降水总量只占全国的 4.00%,森林草甸植被主要分布在山区,广大平原为荒漠植被和沙漠、戈壁,生态环境脆弱,土地极易沙漠化。在平原地区年大风的次数多达 10~20 d,这为土地沙化提供了动力条件,加上南、北疆两大沙漠盆地,一旦土地植被遭到破坏,沙漠化就相当严重。因而首先要建设的是生态环境,退耕还林就是生态环境建设的一项非常重要的措施。

(2) 加快建立耕地储备库,实现耕地占补动态平衡。为保证新疆生态环境的改善、经济健康发展的需要,将后备宜农耕地资源作为资产进行适当的储备,并时序盘活、持续利用。新一轮的土地利用总体规划修编应做到实现大区域保持耕地动态平衡,将各地州新增加的耕地纳入耕地储备库,以备区内或区际耕地占补平衡之用。这样既有利于全国耕地总量的动态平衡,也有利于新疆经济可持续发展。

(3) 把中低产田改造与占用耕地指标有机结合,加大土地整理、开发和复垦。新疆中低产农田数量占全部的 81.53%<sup>[6]</sup>,所以要鼓励积极进行中低产田改造,并划为基本农田,走可持续发展的道路。土地整理、开发和复垦是增加和补充基本农田数量的有效途径,应在保证水资源的情况下加大土地

整理、开发和复垦力度。

(4) 严格控制建设占用基本农田,运用先进的科学技术手段管理土地。经济社会发展必然导致对土地需求的增加,进而难免会占用耕地甚至是基本农田,因而从公共利益出发,经过合法程序、占补平衡和合理安置,适当地占用耕地和基本农田是允许的。可以利用 GIS 等手段建立土地资源管理信息系统,建立耕地保护动态监测网络、耕地预警制度等,增加耕地管理的科技含量,运用现代信息技术,提高对耕地利用的监测能力。

参考文献

- [1] 谭荣,吴丽梅.耕地数量变化驱动力分析[J].国土资源科技管理,2004 (6): 125-129.
- [2] 新疆统计局.新疆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2005.
- [3] 新疆维吾尔自治区国土资源厅.新疆维吾尔自治区土地利用总体规划实施评价[Z].2005.
- [4] 新疆维吾尔自治区国土资源厅.2000~2005 年新疆维吾尔自治区国土资源综合统计资料册[Z].2005.
- [5] 新疆维吾尔自治区国土资源厅.新疆维吾尔自治区土地开发整理规划(2001~2010 年)[Z].2003.
- [6] 曹银贵,王静.三峡库区开县 30 年耕地变化分析[J].中国土地科学,2007 (1): 43-47.
- [7] 新疆维吾尔自治区国土资源厅.2000 年新疆维吾尔自治区农用地分等技术报告[R].2000.
- [8] 新疆维吾尔自治区人民政府.1997-2010 年新疆维吾尔自治区土地利用总体规划[Z].1999.

(上接第 645 页)

了。因此,可以考虑物料在发酵仓内发酵 20 d 左右出仓,此时的含水率在 50%左右,可以满足筛分的要求,经筛分后进行二次发酵,使垃圾彻底腐熟。

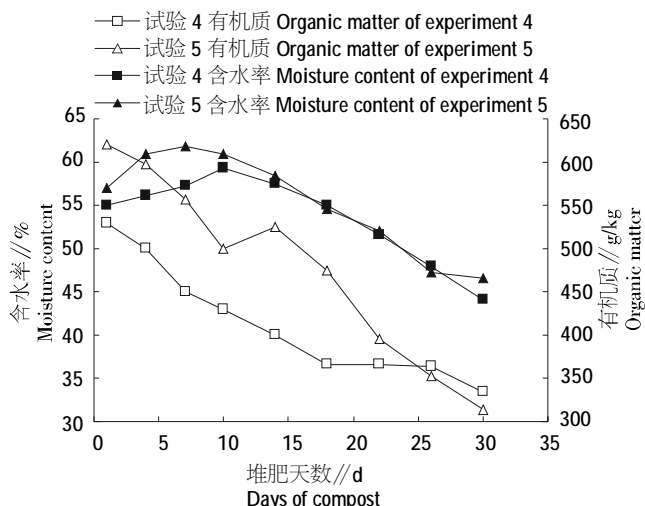


图 4 堆体含水率和有机质与堆肥天数的关系  
Fig. 4 The relationship between water and organic matter contents in compost and days of compost

3 小结与讨论

该试验结果表明,初始堆料的性质影响堆体中的氧含量,堆体高度过高、水分过高以及大体积物料过多都将造成风机不能正常将风送进堆体中。对未分类收集、高含水率的

城市生活垃圾,大体积物料含量 ≤ 50% (体积比)、含水率 ≥ 65% (WB)、堆高约 2 m 的原垃圾堆,静置沥水 3 d 后通风,堆体中平均氧浓度 ≥ 17%,最高耗氧速率约 1% ΔO<sub>2</sub>/min,温度 ≥ 55℃ 可达 7 d 以上,达到卫生化要求;出料含水率 ≤ 50% (WB),有利于后续机械筛分和二次发酵。发酵前期水分的变化不大,而不用考虑因水分不足而影响发酵的问题,但是值得注意的是排风问题,避免在密闭性较好的隧道式发酵仓内,因排风力度不够造成水分过高的问题。同时建议物料可在发酵 20 d 左右时出仓,筛分后进行二次发酵,使垃圾彻底腐熟。在该工艺条件下,如何提高升温的启动速度和确定最佳的通风量有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王宁.上海市生活垃圾处理现状及存在的问题[J].上海节能,2006 (2): 41-43.
- [2] 黄得扬,陆文静,王洪涛.有机固体废物堆肥化处理的微生物学机理研究[J].环境污染治理技术与设备,2004,5 (1): 12-18.
- [3] 徐文龙,章菁,乌鲁斯·莱德,等.关于垃圾堆肥的作用及工艺优化的探讨——堆肥中氧、温度和湿度的控制[J].环境工程,2006,22 (4): 50-55.
- [4] WINSER MARK.First year experiences at the Hastings tunnel composting plant[J].BioCycle,2002,43 (12): 63-64.
- [5] HAYES MATTHEW.Tunnel composting biosolids and yard trimmings[J].BioCycle,1998,39 (2): 72.
- [6] ANON.Tunnel approach to MSW composting [J].BioCycle,1990,31 (10): 74-75.
- [7] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:中国科学出版社,1983.