

# 高水分蔬菜和花卉废物序批式进料联合堆肥的中试

张相锋, 王洪涛, 聂永丰(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

**摘要:**以滇池流域典型蔬菜废物(西芹、白菜)和花卉废物(石竹)为原料,进行了序批式联合堆肥的试验研究.以西芹和石竹作为初始物料,控制初始混合物料的含水率在 60%~70%,每隔 4d 添加一次白菜;采用温度反馈通气量控制的好氧静态堆肥技术,在堆体温度 40℃左右时停止通风.试验分析了堆肥过程中堆体温度、通风速率、水分、pH 值、有机质、灰分、体积、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  等指标随时间的变化特征.结果表明:采用序批式进料、温度反馈通气量控制的静态好氧堆肥技术进行蔬菜和花卉废物联合堆肥可以有效控制堆肥过程,实现有机物料的快速稳定和去除水分,解决了滇池流域蔬菜废物量远大于花卉废物量时堆肥难以有效进行的技术难题.

**关键词:**高水分蔬菜废物;花卉废物;联合堆肥;温度反馈通气量控制;序批式进料

中图分类号:X712 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2003)06-04-0148

## Co-composting High Moisture Vegetable Waste and Flower Waste in a Sequential Fed Operation

Zhang Xiangfeng, Wang Hongtao, Nie Yongfeng(Dept. of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:**Co-composting of high moisture vegetable wastes (celery and cabbage) and flower wastes (carnation) were studied in a sequential fed bed. The preliminary materials of composting were celery and carnation wastes. The sequential fed materials of composting were cabbage wastes and were fed every 4 days. Moisture content of mixture materials was between 60% and 70%. Composting was done in an aerobic static bed of composting based temperature feedback and control via aeration rate regulation. Aeration was ended when temperature of the pile was about 40℃. Changes of composting of temperature, aeration rate, water content, organic matter, ash, pH, volume,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ , and  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  were studied. Results show that co-composting of high moisture vegetable wastes and flower wastes, in a sequential fed aerobic static bed based temperature feedback and control via aeration rate regulation, can stabilize organic matter and removal water rapidly. The sequential fed operation are effective to overcome the difficult which traditional composting cannot applied successfully where high moisture vegetable wastes in more excess of flower wastes, such as Dianchi coastal.

**Key words:**high moisture vegetable wastes; flower wastes; co-composting; temperature feedback and control via aeration rate regulation; sequential fed

采用低成本堆肥技术有望实现蔬菜、花卉废物的污染控制<sup>[1]</sup>.其中物料水分是实现成功堆肥的关键物理因素之一,堆体过高或过低的水分含量都会对堆肥过程造成不利影响<sup>[2]</sup>.传统的堆肥方法是将混合的初始含水率控制在 65%左右,通过适当的堆肥过程控制实现底物的稳定化和多余水分去除<sup>[3]</sup>.对于滇池流域而言,花卉废物可以作为廉价且易于获得的结构调理剂,然而其产生量与蔬菜废物产生量的比例约为 1:4,合适的比例约为 1:1,远远不能满足堆肥的要求,按照传统方法堆肥需要外购大量锯末和稻草,增加堆肥操作的风险<sup>[4]</sup>.序批式堆肥可以在显著减少结构调理剂用量的同时实

现水分的快速有效去除,近年来已经有一些成功试验的报道<sup>[5-7]</sup>.然而目前研究采用的反应器,运行成本较高,且无法实现过程优化控制,使得该工艺至今未有大规模工程应用的报道.本文针对滇池流域蔬菜废物和花卉废物的非点源污染性质,采用序批式进料反应床(Sequential Fed Bed)堆肥工艺,进行了西芹、白菜等蔬菜废物混合石竹等花卉废物的中试研究.

基金项目:国家重大科技攻关专项(K99-05-35-02)

作者简介:张相锋(1973~),男,博士研究生,主要从事固体废物污染控制与资源化研究.

收稿日期:2002-09-24;修订日期:2002-11-29

## 1 材料和方法

试验原料取自“滇池流域面源污染控制技术”项目示范区.选择滇池流域典型种植业的西芹、白菜和石竹废物作为试验材料,西芹和白菜用农用青饲料粉碎机预处理,石竹用爪式破碎机预处理(表 1).前期的试验表明,蔬菜废物和花卉废物混合后的初始物料含水率 65%~70%,最大粒径控制在 50 mm 以内,在堆肥过程中不需添加水分即可实现成功堆肥<sup>[1,4]</sup>.西芹:石竹为 50:50(W/W)可以使混合物料初始水分保持在 70%左右,作为本次中试的物料配比.

表 1 试验材料性质

Table 1 Properties of experimental materials

原料	有机质/ %	粒径/ mm	灰分/ %	含水率/ %
西芹	69.7	<10	30.3	82.5
白菜	79.6	<10	20.4	90.8
石竹	78.7	<50	21.3	37.8

堆肥试验在自制的温度反馈通气量半自动控制的静态好氧床内进行,试验进料方式采用序批式,初始物料为西芹和石竹,每隔 4 天加一次白菜,每次加料量按含水率 60%~70%反算(表 2)<sup>[1]</sup>.试验分 3 个阶段:0~4d,4~8d,8~18d,不同阶段采用不同的控制方法.文献报道,堆料在 60℃左右时降解速率和水分去除速率最大<sup>[5]</sup>.通风量控制分为脉冲式和步进式,步进式便于手动操作,本实验采用步进式.0~8d 分为 1 号和 2 号均采用温度反馈的通风量手动控制,控制堆体温度在 55~65℃之间<sup>[8]</sup>;在 8~18d,由于 1 号和 2 号的体积减少较多,将 1 号和 2 号的物料合在一起堆肥,作为 3 号处理,这可以提高反应床的使用效率,3 号采用首先控制温度在 70℃保持 1d,彻底杀灭致病菌,然后固定通风速率直到温度降到 40℃左右<sup>[9]</sup>.每个实验为 3 个重复,取平均值作为实验值.

测温采用热电偶式温度传感器,测温点位于堆体的竖向中心,在平面上的左、中、右布置 3 个传感器,每天测试 3 次,取平均值作为当天的堆体温度.根据不同堆肥阶段对温度的要求人工调节供风量,使堆肥过程尽可能在理想状态下运行.通气量的测定采用转子流量计.

表 2 顺序加料量 / kg

Table 2 Sequential fed materials / kg

时间/ d		0	4	8
1 号	石竹	300		
	西芹	300		
	白菜		300	150
2 号	石竹	300		
	西芹	300		
	白菜		300	65

堆肥样品分析:含水率(70℃,18~24h 至恒重);重量(采用磅秤称量);体积(用卷尺测量并计算得到);有机质(马弗炉 500℃灼烧 10h 至恒重);pH 值(物料:去离子水=1:10(W/V)用 pH 计测试);NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N(采用 1 mol/L KCl 振荡 1h 浸提后,先用快速滤纸过滤,再用 0.45 μm 滤膜过滤后,用紫外分光光度计测试<sup>[10]</sup>).

## 2 结果与讨论

### 2.1 温度与通风速率

采用间歇式供风,风机通断时间为 30 min 开,15 min 关,通气量按照 1h 为周期折算.在堆肥期间周围空气温度在小范围里波动(图 1a),因为滇池的平均气温 4 季变化不大,1 号和 2 号堆体温度随时间的变化基本保持在控制范围内,但对于 2 号,在第 2 天降低通气量导致温度产生下降趋势,可能是氧气限制,在第 3 天恢复到原来的通气量,目的是加强供氧,第 4 天温度快速上升到 70℃,这说明步进式通风控制温度比脉冲通风控制的灵敏度差,更容易出现控制偏差.在 0~4d,2 号的温度普遍高于 1 号,最高达 70℃,导致物料软化、水分去除、体积减少等均较 1 号迅速;4~8d,在加入新的物料后,2 号物料得到更有效地降解,因此在 8d 后,2 号不能添加更多的物料.控制温度在 60℃能有效保持物料的孔隙结构,避免较早的软化,有助于水分的蒸发.

### 2.2 水分、有机质、灰分和体积

每次加料后,水分、有机质和灰分的变化都是开始缓慢,后来迅速,体积变化相反(图 2).这可能是因为加入新的物料后,微生物的生长有适应期,随着度过适应期,微生物快速生长,

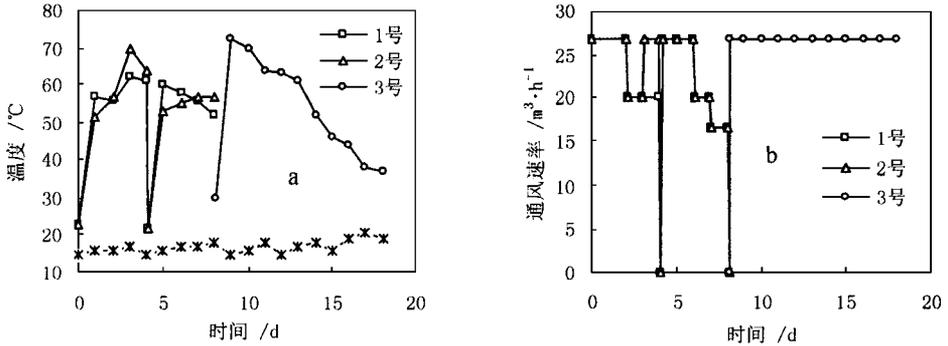


图 1 堆肥过程中堆体温度和通风速率随时间的变化

Fig.1 Changes of temperature and aeration rate of piles with time in composting process

降解加速.在整个堆肥期间,4~8d 有机质减少最快,0~4d 水分减少最快,这说明在堆肥初期物料降解较慢,物料的物理结构维持较好(0~4d),再加上升温迅速,堆体与空气间传热传质较好,水分去除较快;随着降解纤维素类微生物的生长,花卉秸秆也遭到攻击,物料的物理结构

开始破坏,有机质降解明显(4~12d);在后期,随着蔬菜等易降解成分的耗尽,纤维素降解所占比例越来越大,有机质降解缓慢(13~18d).灰分在整个堆肥中总量不变,但由于有机质的降解,灰分含量整体上处于上升趋势(图 2c).在堆肥前期(0~10d),由于新鲜物料的顺序加入

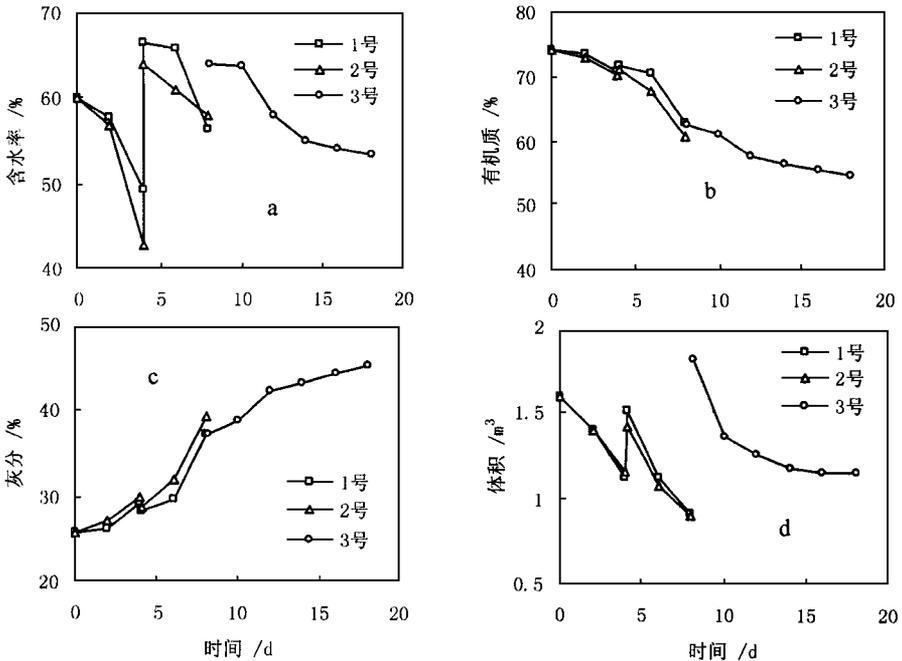


图 2 堆肥过程中物料含水率、有机质、灰分和堆体体积随时间的变化

Fig.2 Changes of moisture content, organic matter, ash and volume of piles with time in composting process

及每次加入时的充分搅拌,在初期由于物料自重压缩作用和降解作用,物料体积的减少非常明显,达 40%左右(图 2d).

2.3 pH, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

从堆肥中 pH 值的变化可以看出(图 3a),1

号和 2 号的趋势类似,从 0d 的 pH6,上升到 4d 的 pH7 以上,随着白菜的顺序加入,pH 值有短暂的回落,在微生物分解有机氮的作用下,又快速升高,最高达 8 左右;在堆肥后期(14~18d),随着堆体温度的降低和易降解有机物的耗尽,

微生物分解速率趋缓, pH 值快速回落并稳定在 7 左右.

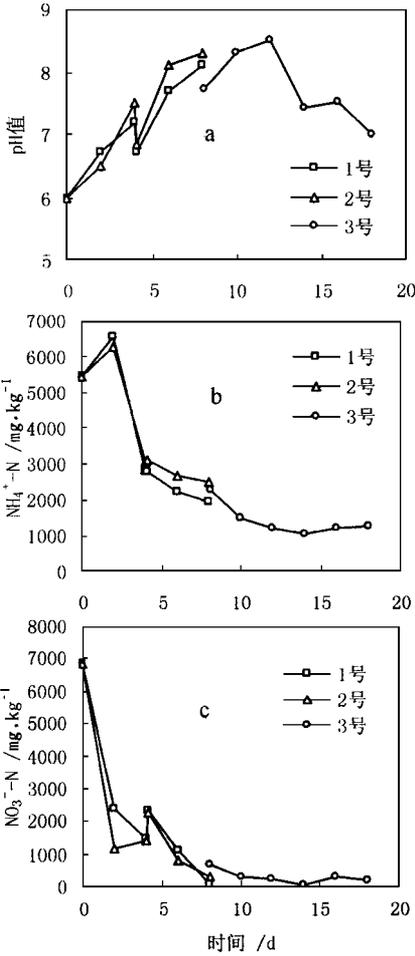


图 3 堆肥过程中堆体 pH 值、物料  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  随时间的变化

Fig.3 Changes of pH value,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  and  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  of piles with time in composting process

$\text{NO}_3^- - \text{N}$  的变化对于整个实验基本上是逐步回落, 但回落幅度越来越小. 从 0d 的 7000  $\text{mg}/\text{kg}$ , 快速下降到第 4d 的 1000  $\text{mg}/\text{kg}$  左右, 在添加白菜后, 升到 2300  $\text{mg}/\text{kg}$  左右, 在第 8d 又回到 300  $\text{mg}/\text{kg}$  左右, 第 18d 稳定在 200  $\text{mg}/\text{kg}$  左右.  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  在初期从 0d 的 5500  $\text{mg}/\text{kg}$  左右, 短暂升高至 6500  $\text{mg}/\text{kg}$  左右 (第 2d), 此后迅速下降到第 4d 的 3000  $\text{mg}/\text{kg}$  左右, 在添加白菜后, 略有上升, 随后缓慢下降 2000  $\text{mg}/\text{kg}$  (第 8d), 在最后稳定在 1300  $\text{mg}/\text{kg}$

左右 (第 18d). 由于实验材料的初始硝酸盐含量较高, 达 7000  $\text{mg}/\text{kg}$ , 而堆肥温度较高, 硝化作用基本可以忽略.

### 3 结论与建议

本试验研究表明, 进料方式采用序批式, 过程采用温度反馈的通气量控制进行蔬菜废物和花卉废物堆肥, 可以有效实现可降解废物的快速稳定和物料水分的快速去除. 和间歇式堆肥相比, 序批式堆肥显著减少了骨料的需求, 缩短了堆肥的启动时间, 提高了设备的处理能力, 可以实现滇池流域种植业有机固体废物非点源污染的有效控制. 在本工艺条件下, 从理论和试验方面实现最佳水分去除和底物降解是下一阶段应着重进行的工作.

#### 参考文献:

- 1 张相锋, 王洪涛, 聂永丰等. 高水分蔬菜废物和花卉、鸡舍废物联合堆肥的中试研究. 环境科学, 2003, 24(2): 147 ~ 151.
- 2 Jeris J S, Regan R W. Controlling environmental parameters for optimum composting II: moisture, free air space and recycle. Compost Science, 1973, 14(2): 8 ~ 15.
- 3 Haug R T. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, USA, 1993.
- 4 张相锋, 王洪涛, 聂永丰. 高水分蔬菜废物和花卉废物批式进料联合堆肥的中试研究. 环境科学, 2003, 24(5): 146 ~ 150.
- 5 Richard T L, Choi H L. Optimizing the composting process for moisture removal: theoretical analysis and experimental results. Presented at the ASAE 1996 International Meeting in Phoenix, AZ. ASAE, St. Joseph, MI. ASAE Paper No. 964014.
- 6 Choi H L, Richard T L, Ahn H K. Composting high moisture materials: biodrying poultry manure in a sequentially fed reactor. Compost science & utilization, 2001, 9(4): 303 ~ 311.
- 7 Nakasaki K, Akakura N, Atsumi K et al. Degradation patterns of organic material in batch and fed-batch composting operations. Waste Management Research, 1998, 16: 484 ~ 489.
- 8 MacGregor S T, Miller F C, Psarianos K M, Finstein M S. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. Applied and Environmental Microbiology, 1981, 41(6): 1321 ~ 1330.
- 9 Stentiford E I. Composting control: principles and practice. In: De Bertoldi M, Sequi P, Lemmes B, Papi T, editors. The Science of Composting. Part I. London: Chapman and Hall, 1996: 49 ~ 59.
- 10 Leege P B, Thompson W H eds. Test Methods for the Examination of Composting and Compost. U. S. Composting Council, Bethesda, Maryland: 1997.