

高水分蔬菜废物和花卉 鸡舍废物联合堆肥的中试研究

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

摘要:以滇池流域的典型农业废物蔬菜、花卉废物和鸡舍废物为原料,进行了不同配比的联合堆肥中试研究。一次发酵采用温度反馈通气量控制的静态好氧堆肥系统,二次发酵采用周期性翻堆自然腐熟。在一次发酵阶段,堆体温度在 55℃ 以上保持至少 3d,最高温度达 73.3℃,可有效杀灭致病菌;堆体含水率从 75% 降低到 56%,多余水分得到快速去除;有机质从 65% 降低到 50%,pH 值稳定在 8。二次发酵后堆肥产物的腐熟度和养分分析结果表明,产物稳定性好,养分含量高。通过堆肥工艺的优化控制,蔬菜废物、花卉废物和鸡舍废物联合堆肥可以获得高质量的堆肥产品,废物还田能有效减少固体废物非点源污染,提高土壤肥力。

关键词:高水分蔬菜废物;花卉废物;鸡舍废物;联合堆肥;非点源污染

中图分类号:X71 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2003)02-05-0147

Co-composting of High Moisture Vegetable Waste, Flower Waste and Chicken Litter in Pilot Scale

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

Abstract: Co-composting of different mixture made of vegetable waste, flower waste and chicken litter were studied. The first stage of composting was aerobic static bed based to temperature feedback and control via aeration rate regulation. The second stage was window composting. At first stage, the pile was insulated and temperatures of at least 55℃ were maintained for a minimum of 3 days. The highest temperature was up to 73.3℃. This is enough to kill pathogens. Moisture of pile decreased from 75% to 56% and organic matter was degraded from 65% to 50% during composting. The value of pH was stable at 8. Analysis of maturity and nutrition of compost showed that end-products of composting were bio-stable and had abundant nutrition. This shows that co-composting of vegetable waste, flower waste and chicken litter can get high quality compost by optimizing composting process during 45 days. Composting can decrease non-point resource of organic solid waste by recycling nutrition to soil and improve fertility of soil.

Key words: high moisture vegetable waste; flower waste; chicken litter; co-composting; non-point resource pollution

堆肥作为一种传统的废物资源化技术,国内外许多学者进行了大量的研究,研究对象主要包括生活垃圾、粪便、污泥、鸡舍废物、猪舍废物等^[1~5],研究内容涉及堆肥过程腐熟度^[6];微生物群落演替和活性变化^[7];堆肥中的物理化学变化^[8,9];堆肥过程控制^[10]等。其中,高水分蔬菜废物含有较高的初始水分和较少的骨料,花卉废物的骨料在高温条件下易软化造成孔隙度减少,2种废物的联合堆肥尚未得到有效解决。将2种废物添加一定量的鸡舍废物作为结构调理剂联合堆肥,堆肥过程采用基于温度反馈的通气量控制,有望实现此类有机废物的快速生物稳定。本研究以滇池流域的典型种植业固体废物为试验原料,以鸡舍废物为结构调

剂,从中试水平系统研究了雨季蔬菜废物和花卉废物联合堆肥技术,获得了腐熟、稳定、养分含量高的优质堆肥产品,取得了在滇池流域具有较好应用前景的研究成果。

1 试验系统与方法

1.1 中试试验系统

中试系统主要由发酵系统和通风系统2部分构成。发酵系统由一次发酵池、渗滤液收集池和二次发酵场地构成。一次发酵池共有6组,每组分为上下2个部分,上部为发酵仓,长2m,宽

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技术研究。

收稿日期:2002-04-15;修订日期:2002-05-17

1 m,深1 m,容积为 2 m³;下部为通气沟,用于供气和收集渗滤液.仓底铺设铁丝网,防止物料颗粒落入通气沟堵塞.通气沟的前端为通风管,后端为渗滤液收集管.二次发酵场地采用混凝土硬化,在雨天采用塑料布遮盖堆料表面.通风系统由 6 套通风机组构成,每套包括 1 台鼓风机、1 部气体流量计、1 部球形阀门和配套的通风管道.

最初按研究区废物的产生比率进行混合堆肥,结果不够理想.在总结前期初步试验研究结果的基础上,实验中侧重考虑:①蔬菜花卉废物的不协同发酵;②堆体体积减少显著;③堆肥初级产物物理性状不好.制定新的试验方案:①提高花卉废物的比例到 50 %左右,添加少量鸡舍

废物,提高物料的孔隙度减少初始物料含水率;②发酵物料上、下表面各设 10cm 厚的锯末保温层,减少散热及吸附堆肥气体;③添加时间控制器,实现通风的温度反馈控制,强化堆肥的过程控制.

1.2 试验材料

试验原料取自“滇池流域面源污染控制技术研 究”项目示范区.选择滇池流域典型种植业的芹菜废物和石竹废物作为试验材料,养殖场的鸡舍废物作为调理剂进行了试验研究.芹菜和石竹采用农用青饲料粉碎机进行预处理.物料的基本物理化学指标见表 1.本次中试共进行了 3 种不同配比的物料堆肥试验,试验组合见表 2.

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/ %	C/ %	TN/ %	C/N	TP/ %	TK/ %
芹菜	70	<10	30	85~90	41	2.7	15	1.5	2.3
石竹	80	<50	20	55~65	60	2	30	1.2	2.5
鸡舍废物	90	<20	10	20~30	75	1.6	47	1.0	1.5

表 2 试验物料配比
Table 2 Ratio of experimental materials

试验编号	芹菜	石竹	鸡舍废物
1	65	35	10
2	50	50	10
3	80	20	10

1.3 堆肥过程

堆肥过程采用二阶段发酵,发酵周期为 45 d.其中,一次发酵 15 d,供风采用离心风机正压间歇式鼓风.发酵过程控制采用温度反馈人工手动控制^[10].待温度升高到 65℃左右,通过调节风门将堆体温度控制在第 1 温度段(60℃~70℃),保持此温度段 3 d,彻底杀灭病原菌.然后,调节进风量,使堆体温度保持在第 2 温度段(50℃~60℃),使堆体物料在较多的微生物作用下快速降解.二次发酵采用条垛式,堆高约 50 cm,正常情况下每周翻堆一次;一旦堆体温度超过 60℃立即翻堆,发酵周期 30 d.二次发酵完成后分析堆肥物的腐熟度和养分指标.研究表明,堆肥过程的不同温度段微生物的量和种类

有很大差异,其中 50℃~60℃微生物量和种类最为丰富,降解速率最大;65℃~70℃微生物种类少,但杀灭致病菌的效果好^[5].也有研究显示,在 60℃~80℃时,堆体仍保持丰富的微生物群落^[11].

1.4 堆肥过程检测与样品检测

堆肥过程中主要检测堆体不同平面位置(左、中、右)的温度变化,取温度平均值作为堆体的温度值,并根据不同温度段的要求人工调节供风量,使堆肥过程在理想状态下运行.测温采用热电偶式温度传感器,精度为 1℃,在堆肥的前 72 h,每 3 h 测试一次,此后每天测试 2 次.对堆肥过程进行采样监测分析,主要包括有机质、pH 值、含水率等.有机质为 Muffle 炉 550℃灼烧 10 h 至恒重;pH 用 pH 计测试;含水率采用 105℃烘 24 h 至恒重^[9].

1.5 堆肥腐熟度测试

堆肥腐熟度的指标很多,国际上至今没有统一的标准,这里采用耗氧速率(SOUR)、NH₄⁺-N、NH₄⁺/NO₃⁻作为腐熟度的指标^[6,12].

SOUR 的测试采用 Stentiford 法^[12], $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 采用 1 mol/L KCl 振荡 1 h 浸提后,用滤纸过滤,再用 0.45 μm 滤膜过滤后用比色法测试^[9].

2 结果与讨论

2.1 原料的可堆肥特性

研究表明,理想的堆肥原料含水率为 55 % ~ 75 %, C/N 为 20 ~ 30,有机质含量大于 40 %^[5].从表 1 可以看出,芹菜、石竹和鸡舍废物的总氮磷钾的含量均达 4 % 以上,有机质达 70 以上,含有丰富的营养.然而,芹菜含水率较高,达 85 % 以上,破碎后有粘结,孔隙度很小,无法进行氧的快速传递;石竹的含水率稍低,为 55 % ~ 65 %,破碎后孔隙度较大;鸡舍废物主要是刨花和鸡粪在鸡舍内相互混合作用后的产物,含水率 25 % ~ 30 %,有良好的吸水性能.将芹菜、石竹和鸡舍废物进行不同配比的联合堆肥,能获得满意的初始含水率、有机质、C/N 和孔隙度,有助于高温堆肥的快速启动.

2.2 温度改变

堆肥体温度变化是堆肥进程的宏观反映,也是堆肥过程控制的重要指标.3 种配比 1 号、2 号和 3 号的堆肥温度变化曲线见图 1.美国国家环保局(USEPA)规定对于静态好氧堆肥,堆体温度达 55 $^{\circ}\text{C}$ 以上的时间应至少 3 d,以杀灭致病菌^[13].由图 1 可知,1 号、2 号、3 号堆体温度达 55 $^{\circ}\text{C}$ 以上的天数分别为 5 d、4 d、3 d,均可以满足杀灭致病菌的要求.3 种配比的物料在堆肥最初 24 h 内温度迅速升高到 55 $^{\circ}\text{C}$ 以上.1 号的温度在第 4 天达到最高 66.4 $^{\circ}\text{C}$,2 号在第 2 天达到最高 73.3 $^{\circ}\text{C}$,3 号在第 2 天达到最高 70 $^{\circ}\text{C}$.在一次发酵时,堆体温度为 30 $^{\circ}\text{C}$ 左右.由于二次发酵的翻堆,物料得到再次混合,堆体温度有短时的升高,然后逐步回落.二次发酵结束时,1 号和 2 号堆温为 30 $^{\circ}\text{C}$,3 号堆温为 20 $^{\circ}\text{C}$,基本接近室温.和 1 号、2 号堆体相比,3 号堆体的 60 ~ 70 $^{\circ}\text{C}$ 高温段只有 2 d,说明该堆体内易降解有机物含量较高,在一次发酵的初期降解迅速.易降解物质消耗完毕,微生物降解剩余的有机物不能产生足够的热量,导致堆体温度持续下降,这

与试验中测试的有机质变化趋势相一致.温度反馈的 2 阶段高温堆肥由于采用人工控制,所控制的温度段还不够准确,如 2 号堆体的最高温度超过了控制上限 70 $^{\circ}\text{C}$,需要开发温度反馈的堆肥自动控制系统.此外,由于一次发酵为静态好氧床,发酵过程中物料不再混合,若原始物料混合不均匀,就会导致降解不均匀,在二次发酵开始的初期堆体温度会有回升(图 1).

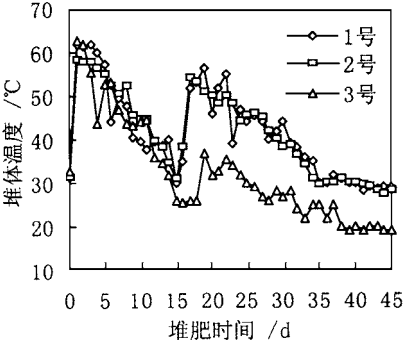


图 1 堆肥温度的变化

Fig. 1 Temperature changes in piles during composting process

2.3 水分改变和渗出水的产生

好氧堆肥过程也是从堆体内去除多余水分的过程.在一次发酵中,由于堆体的自产热作用,反应在高温状态下进行,鼓风机强制鼓入堆体的空气经过堆体后能带走大量水分.二次发酵的翻堆能加速堆体内饱和气体与周围大气的对流传质,从而带走更多的水分.堆肥物料含水率的变化见图 2.1 号物料水分含量从最初的 65.4 %,经一次发酵结束时下降为 48.2 %,在二次发酵结束时,降低为 40 %.2 号物料含水率最初为 75 %,一次发酵后下降为 56 % (一次发酵期间加水一次以保持正常发酵的进行),二次发酵后为 45 %.3 号物料含水率最初为 80 %,一次发酵后为 61 % (一次发酵期间加水一次),二次发酵后为 53 %.上述结果表明水分去除主要发生在一次发酵阶段.水分散失量不仅与物料初始含水率有关,而且与其中易降解有机物含量有关.3 号物料中易降解有机物含量高,由于在堆肥中被迅速降解消耗,所以堆体高温期较短,水分散失能力降低,产物含水率高.1 号物料中易降解有机物含量较低而中等降解的有机

物含量较高,堆肥高温期较长,从而水分散失量也大,产生含水率低.2号介于两者之间.

2号和3号在堆肥开始的2d内产生少量的渗出水,1号则没有产生.这主要是因为2号和3号的物料中含水率较高的芹菜的比例高,导致原料初始含水率高.当含水率超过物料的持水能力时,将在孔隙中形成连续渗压,有自由水产出.试验表明,当物料的含水率大于75%~80%时,将产生渗出水.产生的渗出水被返回到堆体中.

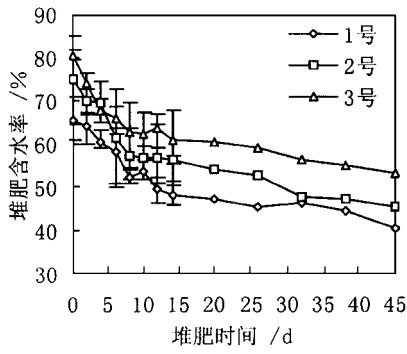


图2 堆肥含水率的变化

Fig.2 Moisture content changes in piles during composting process

2.4 pH 值改变

本次试验中堆肥物料的pH值从接近中性迅速改变为碱性,最高达8.9,最后稳定在8左右(图3).这可能是堆肥初期供氧充分,产生的有机酸来不及累积而转化为CO₂和H₂O释放,而蛋白质不断分解产生氨态氮,造成pH值的升高,当pH值升高到9左右会导致氨态氮的大量挥发,最后形成一个动态平衡.当地的土壤为酸性红壤土,施加略显碱性的堆肥物可以改善土壤的酸碱度,所以堆肥产物的pH值是合适的.

2.5 有机质降解

本次中试的1号2号和3号堆体在堆肥过程中的有机质变化见图4.在堆肥的一次发酵阶段,有机质的降解主要是在好氧微生物的作用下逐步分解为小分子的有机物,其中约1/5用于微生物细胞的合成,其余的4/5通过好氧微生物的分解代谢转化为CO₂排入大气,这一阶段的有机质降解较快;在二次发酵阶段,由于

剩余的主要是稍难降解的有机物,有机质的降解较为缓慢.和1号2号相比,3号物料所含芹菜废物的比率最高.由于芹菜的易降解成分较多,纤维素含量低,几乎不含木质素,所以在堆肥过程中,有机质降解速度较快.有机质在一次发酵的前2天从64%降低为约50%,此后变化很少;1号2号物料中石竹的含量较高,而石竹中含有较多的类纤维素和木质素,经过一次发酵,有机质从初始的64%下降为约50%.在二次发酵阶段,在真菌、放线菌等微生物的作用下,纤维素类物质继续分解,至二次发酵完成有机质降低为45%.

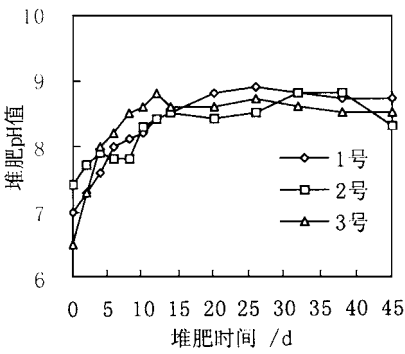


图3 堆肥pH值的变化

Fig.3 pH value changes in piles during composting process

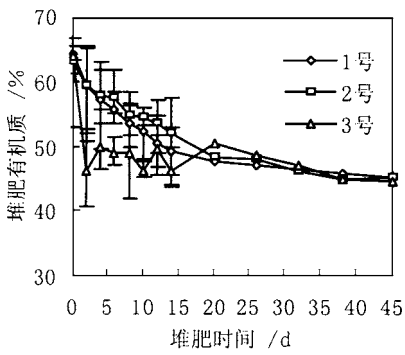


图4 堆肥有机质的变化

Fig.4 Organic matter changes in piles during composting process

2.6 腐熟度与养分测试结果分析

通过中试得到了棕黑色的堆肥产物,其透气性强,结构适宜,物理性状好.二次发酵产物的腐熟度指标和养分测试结果见表3和表4.1号2号和3号的腐熟度指标均达到要求,养分含量与腐殖酸较高,有利于作物吸收.其中蔬菜废物含量最高的3号物料,堆肥后最终产品中

的养分含量最低但腐熟程度最高,2 号物料蔬菜废物含量最低,但养分含量(特别是 N、P)最高,腐熟度居中,蔬菜废物中易降解有机成分含量很高,在堆肥过程中很快得到降解,可能会造成营养成分的损失(如氨态氮的挥发和硝态氮

的反硝化等),这需要对堆肥过程中的生物化学变化机理做进一步的研究.示范区农田土质粘土含量高、粘性大、透气性差,急需透气性好的肥料,堆肥产物良好的透气性和物理性状,有利于改善土壤结构并增加土壤吸收养分的能力,

表 3 堆肥物腐熟度测试结果

Table 3 Experimental results of compost maturity

试验编号	耗氧速率/ $\text{mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$		$\text{NH}_4^+ - \text{N} / \%$		$\text{NO}_3^- - \text{N} / \%$		$\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$	
	测试	要求 ^[12]	测试	要求 ^[6]	测试	要求	测试	要求 ^[6]
1	0.85		320.85		575.05		0.16	
2	0.5	<1	283.44	<400	724.8794	无	0.11	<0.16
3	0.2		71.91		1008.24		0.02	

表 4 堆肥产品养分测试结果 / %

Table 4 Experimental results of compost nutrient/ %

试验编号	TN	TP	TK	腐殖酸总量	胡敏酸	富里酸
1	1.702	1.516	2.63	6.701	3.341	3.360
2	1.906	2.103	2.6	6.728	3.291	3.437
3	1.211	0.823	2.878	5.90	2.38	3.52

是品质良好的有机肥料。

3 结论与建议

3 种配比的蔬菜、花卉和鸡舍废物的堆肥中试表明,混合物料的性质和含水率是配比设计的关键参数,初始含水率以 65 % ~ 75 % 为宜.在设计好物料初始配比的条件下,一次发酵采用温度反馈控制的静态床、二次发酵采用条垛式的好氧堆肥技术,经过 45 d 可以有效地将混合废物中的有机成分转化为稳定类的腐殖质,堆肥物的腐熟度良好,可以作为土壤改良剂或进一步深加工的主要原料.堆肥产物的养分和腐熟度指标测试结果表明,2 号配比的物料堆肥后最终产品中的养分含量最高、腐熟度适中,是本次试验获得的最佳配比.然而,和蔬菜、花卉废物相比,滇池流域内鸡舍废物产生量较小,不足以满足本工艺的需求,需要进一步进行蔬菜和花卉不同配比及工艺的试验研究.

参考文献:

1 李国学,黄懿梅,姜华.不同堆肥材料及引入外源微生物对高温堆肥腐熟度影响的研究.应用与环境生物学报,1999,5(Suppl):139~142.

2 徐红,樊耀波,贾晋萍等.时间温度联合控制的强制通风污泥堆肥技术.环境科学,2000,21(6):51~55.

3 Mallena Imbeah. Composting piggery waste: a review. Bioresource Technology, 1998, 63: 197~203.

4 李雨松,王洪涛.动态好氧堆肥模拟模型研究与应用.中国环境科学,2001,21(3):240~244.

5 Haug R T. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, 1993, USA.

6 Bernal M P, C Paredes et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. Bioresource Technology, 1998, 63: 91~99.

7 Abdennaceur Hassen, Kaouala Belguith, Naceur Jedidi et al. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. Bioresource Technology, 2001, 80: 217~225.

8 Francis J Larney et al. Physical changes during active and passive composting of beef feedlot manure in winter and summer. Bioresource Technology, 2000, 75: 139~148.

9 Tiquia S M, N F Y Tam, I J Hodgkiss. Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1998, 67: 79~89.

10 Stentiford EI. 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.

11 Trello Beffa, Michel Blanc, Laurent Marilley et al. Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting. In: De Bertoldi M, Sequi P, Lemmes B, Papi T editors. The science of composting. Part I. London: Chapman and Hall, 1996. 149~161.

12 Katia E Lasaridi, ED I Stentiford. A simple respirometric technique for assessing compost stability. Wat. Res., 1998, 32(12): 3717~3723.

13 USEPA530-R-94-003. Composting: yard and municipal solid waste. 1994, 78.