

温度控制对蔬菜废物和花卉秸秆共堆肥的影响

张相锋^{1,2}, 王洪涛^{2*}, 聂永丰²

(1. 北京师范大学环境学院环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 以农业蔬菜和花卉废物为原料, 进行了不同堆肥控制温度水平的共堆肥。试验在 2m³ 的静态好氧床中试装置中, 采用静态好氧工艺进行, 研究分析了 55℃, 60℃, 65℃ 3 个温度控制水平下的废物减量化、底物降解、水分去除等的随时间的变化特征: 总废物减量率分别为 45.8%, 63% 和 58.1%; 有机质的降解率分别为 23.4%、41.4% 和 23.8%; 水分去除率分别为 59.9%、79.1% 和 78%。60℃ 控温工艺的废物减量化效果最好, 65℃ 次之, 55℃ 最差; 60℃ 控温工艺的底物降解能力最强, 65℃ 和 55℃ 工艺的底物降解效果相差不大; 60℃ 和 65℃ 控温工艺的水分去除能力最强, 55℃ 条件下的水分去除能力较弱。

关键词: 蔬菜废物; 共堆肥; 温度控制; 废物减量化; 水分去除

中图分类号: X712 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)01-0171-04

Effect of Temperature Control on Vegetable Waste and Flower Straw Co-Composting

ZHANG Xiang-feng^{1,2}, WANG Hong-tao², NIE Yong-feng²

(1. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The effect of temperature control on vegetable waste and flower straw co-composting was investigated in pilot scale. The mixture of shredded vegetable waste and flower straw was composting in 2 m³ static aerobic bed on the controls of three different temperature level (55℃, 60℃, 65℃). Of these trials, temperature, organic matter, moisture content were measured in order to research effect of temperature control on wastes reduction, biodegradation and moisture removal. As the control levels of temperature was 55℃, 60℃, 65℃ during composting, the ratios of wastes reduction were 45.8%, 63% and 58.1%, respectively. And the ratios of wastes biodegradation were 23.4%, 41.4% and 23.8%, respectively. And the ratios of water removal were 59.9%, 79.1% and 78%, respectively. It was the most effective to control temperature of composting on about 60℃ among the three control levels of temperature trials, either base of biodegradation or moisture removal. The control temperature of 65℃ also have a powerful ability of moisture removal, but its biodegradation is not so efficient as that of 60℃. The control temperature of 55℃ have the worst ability to reducing wastes, degrading organic matter and removing water during the co-composting of vegetable and flower wastes.

Key words: vegetable waste; co-composting; temperature control; wastes reduction; moisture removal

随着我国农业产业结构的调整, 蔬菜产业迅速发展, 1999 年全国蔬菜种植面积达 1 334.69 × 10⁴hm²^[1]. 由此产生的大量蔬菜废物因缺乏有效地回收利用技术往往随意丢弃, 高负荷的有机物经降雨产生的地面径流、冲刷及地下渗漏污染地表水和地下水, 极大地威胁着水环境及人类健康安全。堆肥作为一种有效的有机废物资源化技术, 正在全世界引起人们的兴趣, 但众多的研究集中于城市污水厂污泥、畜禽粪便及生活垃圾的堆肥^[2]. 蔬菜和花卉废物共堆肥的研究相对较少^[3,4].

温度是堆肥中非常重要的变量, 微生物活动促进了温度的升高, 不同的温度反过来又决定了堆肥中微生物的群落结构^[5]. 控温试验的目的在于为微生物营造一个适合的温度环境, 以利于其繁殖, 降解

更多的底物^[6]. 同时, 堆肥温度也是杀灭致病菌、去除水分的关键技术手段^[7,8]. 然而, 控温目的不同, 废物类型不同, 堆肥时的最佳温度也各不相同^[9]. 本研究以滇池流域的典型种植业固体废物芹菜和石竹为试验原料, 采用静态好氧床, 从中试的水平上研究了控制不同温度的条件下, 蔬菜废物和花卉秸秆共堆肥中水分去除、废物降解及减量化。

1 材料与方法

试验系统采用自制的 2m³ 静态好氧床^[10]. 试验原料选择废弃芹菜植株作为蔬菜废物, 废弃石竹植

收稿日期: 2004-11-24; 修订日期: 2005-01-12

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, 讲师, 主要从事固体废物生物转化技术研究。

* 通讯联系人

株作为花卉废物,均取自云南省呈贡县集约农业示范区.芹菜和石竹分别用 MA-250 青饲料粉碎机粉碎,将芹菜和石竹秸秆按质量比 1:1 各称量 400kg 后人工混合 6 遍作为堆肥的初始物料.初始物料的含水率和有机质含量分别为 67.3% 和 71.8%.

美国环保署(USEPA)规定对于静态好氧堆肥,堆体温度达 55℃ 以上应至少 3d,以杀灭致病菌,而堆肥中 70℃ 以上高温比较罕见^[8].本研究选择了 55℃, 60℃, 65℃, 70℃ 作为控制温度,进行了 4 种工况的堆肥控温试验.试验采用间歇进料,堆肥周期 15d.

测温采用热电阻式温度传感器(Cu50),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 1d 测试 3 次,取平均值作为当天的堆体温度.含水率采用电热鼓风干燥箱烘至恒重(105℃, 24h);有机质为 Muffle 炉灼烧至恒重(550℃, 10h);初始物料重量用 TG-100 台秤称量^[10].

由于在堆肥过程中灰分保持不变,因此可用下式估算堆肥中物料的灰分质量、总质量、干质量及水质量:

$$M_{\text{Ash}} = M_{\text{Tol}} \cdot (1 - MC) \cdot (1 - OM) \quad (1)$$

$$M_{\text{Dry}} = \frac{M_{\text{Ash}}}{1 - OM} \quad (2)$$

$$M_{\text{Tol}} = \frac{M_{\text{Dry}}}{1 - MC} \quad (3)$$

$$M_{\text{Wat}} = M_{\text{Tol}} - M_{\text{Dry}} \quad (4)$$

式中, M_{Ash} 为物料灰分质量, kg; MC 为物料含水率, %; OM 为物料有机质含量, %; M_{Tol} 为物料总质量, %; M_{Dry} 为物料干质量, %; M_{Wat} 为物料水质量, %.

堆肥控温的方式采用改装后的 XMZ-100 数字式温度显示仪,控制方法如下:在堆体温度高于设置的控温温度时,温控仪给交流接触器直接加电,风机于是连续通风,速率为 $30\text{m}^3/(\text{t} \cdot \text{h})$;在低于设置的控温温度时,温控仪给时间继电器加电,在时间继电器上可设定交流接触器的开闭时间(闭 3min, 开 12min),间接控制风机的开关频率,堆肥时的通风速率可保持在 $6\text{m}^3/(\text{t} \cdot \text{h})$ 水平.控制原理见图 1.

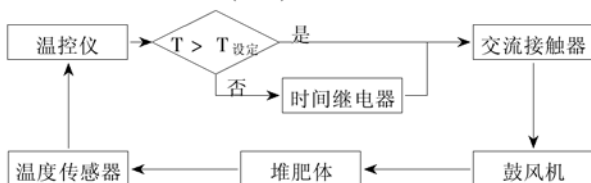


图 1 堆肥过程的温度控制

Fig. 1 Flow chart of temperature control during composting

2 结果与讨论

2.1 堆体温度的控制

4 种控温条件下,堆肥过程中堆体温度随时间的变化见图 2.

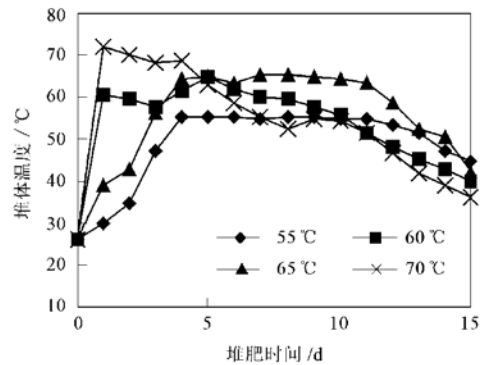


图 2 不同控温水平堆肥中的温度变化

Fig. 2 Changes of temperature in different temperature control levels during composting

55℃, 60℃ 和 65℃ 的控温比较令人满意, 分别保持了 8d, 7d 和 8d, 后期由于堆体内微生物容易降解的组分的不断减少, 微生物生长受到底物可用性的限制, 堆体温度逐渐下降(图 2). 但 70℃ 的温度控制仅保持了 4d, 这可能是在 70℃ 的高温条件下, 真菌和许多细菌无法有效生长, 活跃的微生物主要是嗜热细菌, 不足长久的维持高温状态, 也说明在本工艺条件下堆肥 70℃ 的高温控制难以很好实现. 在 15d 的堆肥期间, 70℃ 的控温试验中大部分时段堆体温度处于 70℃ 以下, 其底物降解、水分去处不足以反映 70℃ 的工况, 本文主要讨论 55℃、60℃ 和 65℃ 的控温条件下的堆肥过程中各指标的变化.

2.2 堆体含水率和有机质随时间的变化

55℃、60℃ 和 65℃ 的控温条件下, 堆肥过程中堆体含水率及有机质随时间的变化见图 3 和图 4.

在堆肥开始的前 4d, 堆体含水率的变化没有太大差异, 此后, 由于不同的控温状态含水率变化差异开始加大, 控温 55℃ 时的含水率下降最慢, 控温 65℃ 时的含水率下降最快, 至一次发酵末期控温 55℃, 60℃ 和 65℃ 的堆体含水率分别为 49.8%, 37.9% 和 35.4%. 这说明控制温度越高, 水分去除效果越好(图 3). 3 种控温条件下, 堆体有机质均呈下降趋势, 在不同的阶段呈现不同的规律: 在堆肥初期, 微生物处于生长期, 表现为温度的迅速升高, 但有机质降解速度并不快, 不同控温水平间差异不明显; 在堆肥中期, 底物不是限制性因子的条件下, 底

物中有机质降解速率与控制温度明显相关,控温 60℃的试验有机质降解最快,控温 55℃的试验降解最慢,这说明对蔬菜花卉废物共堆肥而言,控制 60℃的堆肥更有利于废物的降解;到堆肥后期,60℃的试验中,底物可利用性逐渐成为限制性因子,堆体温度难以保持在理想水平,有机质降解趋缓;控温 55℃的试验由于前期底物降解慢,所以降解仍在持续;控温 65℃的试验则由于堆体在前期长时间保持在较高温度,中温微生物生长受抑制,导致后来嗜热微生物由于底物限制不再占统治地位,堆体温度将下降到中温区,而相应的嗜温微生物活性难以快速恢复,有机质的降解几乎停滞(图 4)。

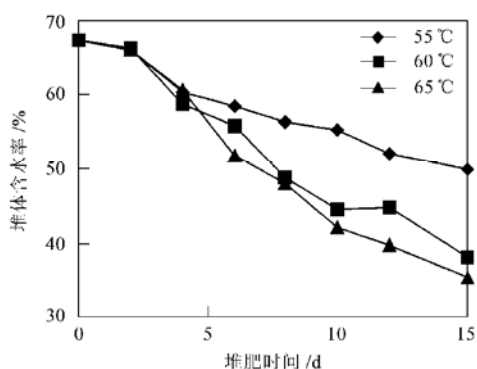


图 3 不同控温水平堆肥中堆体含水率的变化

Fig. 3 Changes moisture content of mixture in different temperature control levels during composting

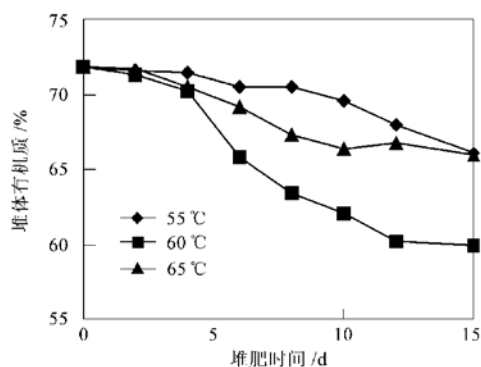


图 4 不同控温水平堆肥中堆体有机质的变化

Fig. 4 Changes organic matter of mixture in different temperature control levels during composting

2.3 堆体中物料总质量随时间的变化

含水率和有机质含量只是一个相对值,从堆肥过程中物料绝对值(如总质量、干质量、水质量等)的变化规律能更准确的看出不同控温水平对底物降解和水分去除的控制能力。其中废物总质量的变化代

表了堆肥处理对蔬菜废物和花卉秸秆的减量化效果。55℃、60℃和 65℃的控温条件下,堆肥过程中堆体总质量随时间的变化情况见图 5。可以看出,堆肥对减少物料的重量的作用非常明显,在经过初期微生物的繁殖期后,堆体的总质量开始快速降低,至一次发酵完成,控温 55℃、60℃和 65℃的试验物料从初始的 800kg 分别减少为 434kg、296kg 和 336kg,总废物减量率分别为 45.8%、63% 和 58.1% (图 5)。因此,从废物减量化的角度看,60℃控温工艺达到的效果最好,65℃次之,55℃最差。

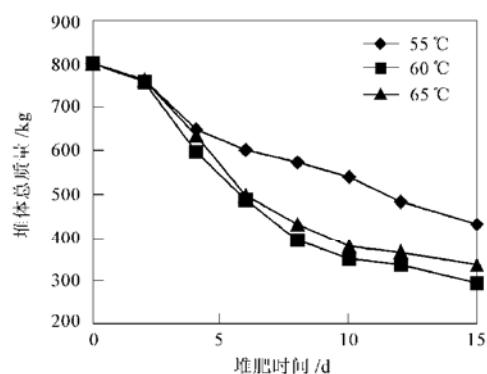


图 5 不同控温水平堆肥中堆体总质量的变化

Fig. 5 Changes in total mass of mixture in different temperature control levels during composting

2.4 堆体干质量随时间的变化

55℃、60℃和 65℃的控温条件下,堆肥过程中堆体干质量随时间的变化情况见图 6。从图 6 可以看出,在堆肥初期,物料的干重变化都不大,底物降解作用不明显,这也和温度及有机质变化规律一致(图 3 和图 4)。55℃的控温条件下在堆肥后期的干重减少比中期的,60℃和 65℃的控温条件下在堆肥中期的干重减少比后期的大,这是因为 55℃的控温条件下的物料含水率在后期仍保持比较合适的水平,约在 50%~60%;而 60℃和 65℃控温条件下的含水率都下降到 50% 以下,水分限制了底物的降解^[11]。从总体上看,至堆肥末期,60℃控温条件下的干重累计损失率达 30%,而 55℃和 65℃控温条件下的干重累计损失率约为 15%。若扣除灰分因素,可得到在 55℃、60℃和 65℃的控温条件下,有机质的降解率分别为 23.4%、41.4% 和 23.8%。从废物降解的角度看,60℃控温工艺达到的效果最好,而 65℃和 55℃控温条件的底物降解效果相差不大。值得注意的是,60℃和 65℃控温条件下的堆肥后期,底物有干化趋势,水分成为堆肥的限制性因子,需要

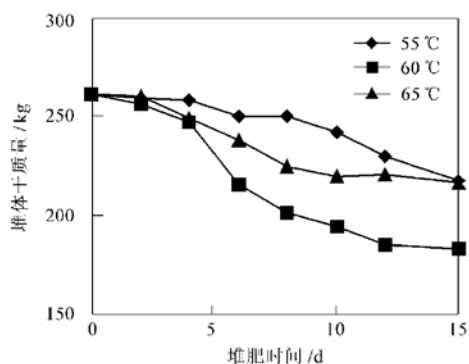


图 6 不同控温水平堆肥中堆体干质量的变化

Fig. 6 Changes dry mass of mixture in different temperature control levels during composting

适当的加水。

2.5 堆体中的水质量随时间的变化

55 °C、60 °C和 65 °C的控温条件下,堆肥过程中堆体中水质量随时间的变化情况见图 7。

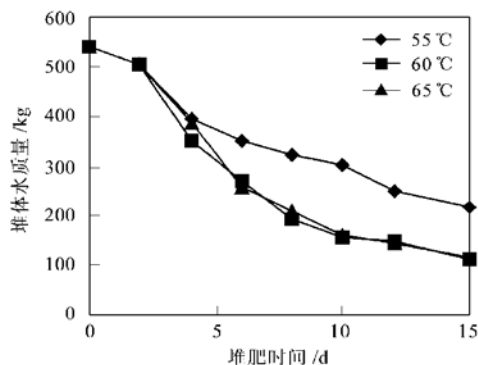


图 7 不同控温水平堆肥中堆体水质量的变化

Fig. 7 Changes water mass of mixture in different temperature control levels during composting

3 种工况的水分去除能力都很强,从初始的 538.4kg 减少分别为 216.2kg、112.4kg 和 118.6kg,累计水分去除率达 60% 以上。其中,60 °C和 65 °C的控制条件下的水质量变化基本相同,去除率分别达 79.1% 和 78%,说明 60~ 65 °C去除水分的能力基本相同,但 55 °C的控温条件下的去除率为 59.9%,明显少于 60 °C和 65 °C的控温条件。从图中还可看出,60 °C和 65 °C去除速率最大的时间基本都发生在控温

较好的时段,这说明控温对提高堆肥过程的水分去除能力十分重要,在 60~ 65 °C水分去除能力最强。

3 结论

对蔬菜废物和花卉秸秆共堆肥的最佳控制温度分别从废物减量化、降解能力及水分去除能力 3 方面进行了试验及分析。结果表明:60 °C控温工艺的废物减量化效果最好,65 °C次之,55 °C最差;60 °C控温工艺的底物降解能力最强,而 65 °C和 55 °C工艺的底物降解效果相差不大;60 °C和 65 °C控温工艺的水分去除能力最强,而 55 °C条件下的水分去除能力较弱。

参考文献:

- [1] 国家统计局,中国农村统计年鉴-2000[M]. 北京:中国统计出版社,2000. 126.
- [2] Haug R T. The Practical Handbook of Compost Engineering [M]. Florida: Lewis Publishers, 1993. 3~ 9.
- [3] 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[J]. 环境科学,2003, 24 (5): 146~ 150.
- [4] 张相锋,王洪涛,聂永丰. 高水分蔬菜和花卉废物序批式进料联合堆肥的中试[J]. 环境科学,2003, 24 (6): 148~ 151.
- [5] Klammer M, Baath E. Microbial community dynamics during composting of straw material studied using phospholipid fatty acid analysis [J]. FEMS Microbiology Ecology, 1998, 27: 9~ 20.
- [6] Nogueira W A, Nogueira F N, Devens D C. Temperature and pH control in composting of coffee and agricultural wastes[J]. Wat. Sci. Tech., 1999, 40: 113~ 119.
- [7] Choi H L, Richard T L, Ahn H K. Composting high moisture materials: biodrying poultry manure in a sequentially fed reactor [J]. Compost Science & Utilization, 2001, 9 (4): 303~ 311.
- [8] USEPA530-R-94-003. Composting: yard and municipal solid waste[R]. 1994, 78.
- [9] Jeris J S, Regan R W. Controlling environmental parameters for optimum composting I: experimental procedures and temperature[J]. Compost Science, 1973, 14 (1): 10~ 15.
- [10] 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[J]. 环境科学,2003, 24 (2): 147~ 151.
- [11] Keener H M, Marugg D L, Hansen R C, et al. Optimizing the efficiency of the composting process [A]. In: Proceedings of the international composting research symposium [C]. Columbus, Ohio: Renaissance publications, 1992. 59~ 94.