

# 牛粪与秸秆协同好氧堆肥过程参数变化规律研究

段丽杰

(吉林省环境科学研究院,吉林 长春 130012)

**摘要:**利用玉米秸秆屑、稻草秸秆屑和牛粪为原料进行序批式好氧堆肥,对堆肥处理的过程参数的变化规律进行了研究。结果表明:2个处理的物料温度在50~54℃维持7d以上,最终反应产物的无害化程度较高;最终剩余产物的氮、磷、钾相对含量都有所升高,达到了农用控制标准;处理过程中氮素均呈增加趋势;由于在好氧反应阶段存在不同程度的氮损失,因此在反应的后期阶段要注意采取保氮措施。

**关键词:**畜禽粪便;减量化;好氧堆肥处理;秸秆

中图分类号:S141.4

文献标志码:A

文章编号:1005-4944(2013)05-0058-05

## Variation of Process Parameters of Cow with Straw Aerobic Composting

DUAN Li-jie

(Jilin Academy of Environmental Sciences, Changchun 130012, China)

**Abstract:** Maize corn straw stem, rice straw stem and cow dung were used as raw materials for aerobic composting sequencing batch type to explore composting treatment process parameter change law. The results showed that the two material handling between 50~54℃ temperature and maintaining more than 7 days, the final reaction harmless products were of high degree, and final product surplus of nitrogen, phosphorus and potassium was increased, the relative contents achieved the agricultural control standard. During the treatment process, nitrogen was increased. Due to different levels of nitrogen losses in the aerobic reaction phase, the appropriate measures should be adopted to protect nitrogen in the late stages of reaction.

**Keywords:** livestock excrement; reduction; aerobic composting; straw

畜禽养殖业的迅速发展使畜禽粪便所带来的环境污染问题越来越突出,能否有效地解决畜禽粪便的污染,使之资源化、无害化,已经关系到畜禽养殖业实现可持续发展的重要问题。畜禽粪便作为肥料利用是世界各国常用的处理畜禽粪便的传统方法,好氧堆肥则是国内外众多学者研究的热点。20世纪二三十年代,世界各国对有机固体废物的堆肥化技术进行了较系统的规模化研究,并取得了很大的进展。20世纪四五十年代,堆肥技术发展迅猛,国际上出现了机械化较强的立式移动式搅拌发酵装置。20世纪七八十年代,随着堆肥对象中成分的复杂化,堆肥技术进入了一个低谷发展阶段,一度被土地填埋和焚烧所取代。进入20世纪80年代后期,由于人们认识到填埋和焚

烧所带来的二次污染问题,堆肥技术再次被人们所重视<sup>[1]</sup>。国外对于堆肥技术的研究已比较成熟,对现代快速好氧堆肥的研究起步较晚。我国对堆肥技术的研究内容主要集中在堆肥工艺条件、影响因素等应用效果方面,堆肥制作中复杂的物质转化规律及生物化学性质等方面的基础理论研究相对较少,而且主要是在实验室的模拟条件下进行<sup>[2]</sup>。另外,普通的堆肥处理方法存在占地面积大、不能完全控制臭气、发酵时间长等缺点<sup>[3-5]</sup>。本研究与传统的堆肥方式不同之处为牛粪以连续添加的方式进行适时的减量化、无害化及资源化处理。该技术对养殖场随时产生的畜禽粪便能做到及时有效的处理,且反应终结产物中养分含量提高,是可推广的一项新技术。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验处理的畜禽粪便主要是取自长春市某庭院的牛粪,调理剂采用了粉碎后的玉米秸秆和稻草,其

收稿日期:2013-05-10

基金项目:国家水体污染控制与治理重大科技专项“辽河源头区水污染综合治理技术及示范工程”研究课题(2012ZX07202-009-02)

作者简介:段丽杰(1977—),女,工程师,主要从事环境科研工作。  
E-mail:duanlijie@126.com

中秸秆粉碎粒度为长平均 7~13 mm,宽平均 5~9 mm,稻草粉碎后长平均 5~15 mm,宽平均 1~3 mm。试验物料的理化性质见表 1。

表 1 试验物料理化指标(%)

| 试验物料 | 水分    | 有机质   | TN   | TP   | TK   | pH 值 | C/N   | 腐植酸   |
|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| 牛粪   | 72.21 | 77.75 | 1.09 | 0.40 | 0.22 | 8.26 | 18.19 | 35.77 |
| 稻草   | 9.28  | 95.58 | 0.74 | 0.09 | 0.34 | 5.95 | 59.80 | 5.34  |
| 秸秆   | 10.78 | 93.14 | 0.58 | 0.11 | 0.85 | 6.03 | 75.24 | 4.46  |

## 1.2 试验设计

试验设 E1、E2 两个处理,分别选择碳氮比值比较高的玉米秸秆屑与稻草屑为调理剂与牛粪分别进行好氧处理,即玉米秸秆+牛粪(E1),稻草+牛粪(E2)。稻草作调理剂的试验周期为 15 d,玉米秸秆作调理剂的试验周期为 12 d。试验初始,各组均按以下程序进行,向反应器投入 5 kg 调理剂,将湿度调节至 50%~70%。以玉米秸秆为调理剂的处理 E1,在试验运行的 1~6 d 向反应装置内投加牛粪 10 kg,7~11 d 则投加 5 kg,第 12 d 时将反应物料全部取出;以稻草秸秆屑为调理剂的处理 E2,处理周期为 15 d,在试验运行的 1~6 d 向反应装置内投加牛粪 10 kg,7~14 d 则投加 5 kg,第 15 d 时将反应物料全部取出。同时测定物料的温度、有机质、pH 值、总氮、总磷、总钾、总碳、湿度及腐植酸等指标,研究各指标的变化趋势。

## 1.3 样品的分析测定

试验过程中要测定物料中各指标随反应时间的变化情况,测定方法严格按国家标准测定方法测定,具体操作如下:

**温度:**早、中、晚利用温度计在物料中多点测定后,取平均值。

**有机质:**称取烘干粉碎样品 1 g 左右于坩锅中,置于 550~600 °C 马福炉中,灼烧 2.5~3 h,至灰化完全,其减重即为有机质含量。

**pH 值:**称取试样 2.5 g,加 15 mL 无 CO<sub>2</sub> 水,经 3 min 振荡后静置 20 min 固液分层后,用 pH 计测定。

**总氮(TN):**试样经湿法消煮后,用凯氏定氮仪测定其含氮量。

**总碳(TC):**利用全自动元素分析仪(VrioEL elemental analyzer,德国产)进行测定。

**总钾(K<sub>2</sub>O):**利用原子吸收分光光度计(220FS,美国产)进行测定。

**总磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):**利用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP,美国黎明公司产)进行测定。

**腐植酸:**碱提取-重铬酸钾氧化法。

**水分含量:**从已剔除杂物的物料中多点取样,用台秤称重,记载其数据,将其放入 105 °C 的恒温干燥箱中烘 6 h 左右,后放入干燥器中 20~30 min,使冷却至室温,称重。再烘 2 h,冷却,称至恒重。

## 2 结果与分析

### 2.1 温度变化情况

对于微生物作用而言,温度是影响微生物活动和减量化处理过程的重要因素。反应过程中,温度控制的目标是使堆肥无害化和稳定化,其变化反映了物料内微生物的活性变化,同时还反映处理过程所达到的状态。研究表明,反应过程中温度维持在 55~60 °C 时,微生物的降解能力最为活跃<sup>[6-9]</sup>。堆肥中的有机质在微生物的作用下用于微生物的细胞合成,同时分解为 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O,在此过程中产生大量热量促使物料温度上升<sup>[10]</sup>。并且此装置具有加热以及控温功能,随着粪便的加入,微生物的活动促使物料温度继续上升,装置的控温设备可将物料的温度控制在 70 °C 以下。图 1 为 2 个处理在反应过程中温度的变化情况。

2 个处理在反应过程中温度基本在 50~54 °C 范围内波动,都稳定在较高水平。在反应初期,试验装置内随着牛粪量的增加,易分解有机物也随之增加,在好氧微生物的作用下快速分解,并释放大量热量,使物料温度上升。根据美国国家环境保护局(USEPA)的有关报告,堆体温度持续高温 50 °C 以上保持 5~7 d,是杀灭堆肥中所含致病菌、保证堆肥的卫生指标合格和堆肥成熟的重要条件,可以有效杀灭致病菌。2 个处理在反应过程中,高温持续的时间足以灭杀物料中有害病菌。因此,处理后的产物无害化程度较高。

### 2.2 水分变化情况

堆肥原料水分的多少,直接影响好氧堆肥反应速度的快慢,影响堆肥的质量,甚至关系到好氧堆肥工

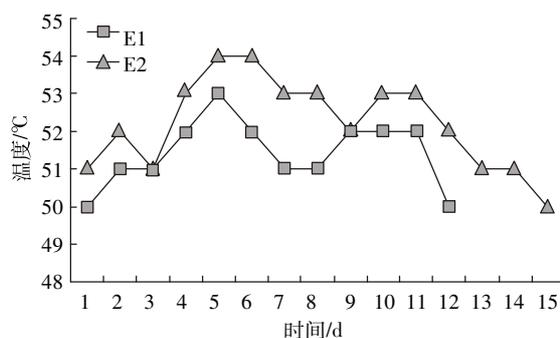


图 1 2 个处理反应过程中温度变化

艺的成败,因此,堆肥中水分的过程控制十分重要。在堆肥期间,微生物需要一个水环境作为媒介才能完成对有机质的生物降解。试验过程中水分基本控制在46%~57%。图2为2个处理反应过程中水分变化。

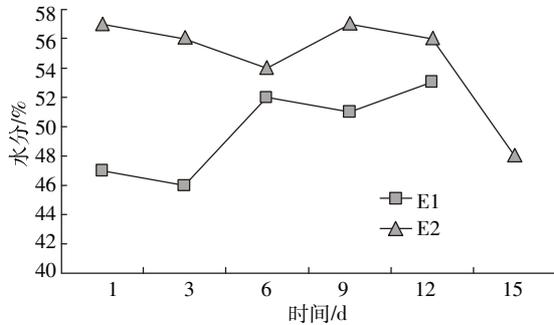


图2 2个处理反应过程中水分变化

从图2可以看出,2个处理在反应初始时,物料的水分被调节到50%左右,虽然在反应过程中由于微生物的作用产生大量的热,水分以水蒸气的形式通过搅拌作用而挥发,但同时有机物的氧化分解会产生水分,以及随着每日定量地添加含水率较高的新鲜牛粪,水分含量基本都维持在40%~60%,满足了微生物生长的条件。

### 2.3 pH 值变化

在堆肥过程中,pH值随着时间和温度的变化而变化,因而pH值也是提示堆肥分解过程的标志。适宜的pH值可使微生物有效地发挥作用,而pH值太高或太低都不利于微生物的生长和繁衍,进而就不能最大地发挥降解有机物质的能力,影响堆肥的效率<sup>[1]</sup>。2个处理在反应过程中pH值变化情况如图3所示。

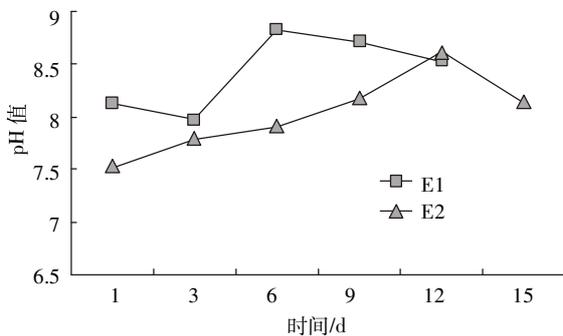


图3 2个处理反应过程中pH值变化

由图3可以看出,2个处理的pH值在初始时均较高达到了碱性阶段。导致pH值较高的原因可能是在反应初期,由于试验设备具有定时搅拌功能,使物料供养充分,有机酸来不及累积而转化为CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O释放,而蛋白质不断降解产生氨态氮,造成pH值的

升高<sup>[2]</sup>,另外含氮物质逐渐被分解产生NH<sub>3</sub>,因此2个处理的pH值在反应初始时就达到碱性水平。2个处理在添加牛粪的阶段由于微生物的数量每日增加,导致pH值波动较为明显,但在减少添加粪便重量的后几日pH值则表现为相对稳定。2个处理在反应过程中pH值的变化均适宜微生物的生长和繁衍。

### 2.4 有机质变化情况

研究表明,堆肥中最合适的有机质含量约为40%~60%<sup>[3]</sup>。当物料的有机质含量高于80%时,堆体温度上升缓慢,可能出现厌氧状态,堆肥无害化效果差,其原因是物料中有机质含量高,反应过程中需要较大的需氧量,加上过大的含水量也影响反应过程中的通风供氧效率,从而达不到好氧运行的要求,导致低温和厌氧发酵,影响堆肥化的进程<sup>[4]</sup>。以玉米秸秆屑和稻草秸秆屑为调理剂的各组处理过程中,有机质含量变化具体情况见图4。

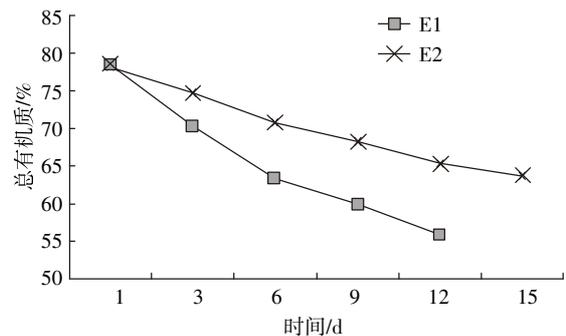


图4 2个处理反应过程中有机质含量变化

从图4可以看出,2个处理在反应过程中,有机质含量都表现出下降趋势。以玉米秸秆屑为调理剂处理牛粪的E1,有机质含量由初始的78.49%下降到55.96%,有机质的总降解率为28.70%;而以稻草屑为调理剂处理牛粪的E2中,有机质含量由初始的78.07%降解到63.75%,总降解率达到18.34%。从以上数据分析可见,以玉米秸秆屑为调理剂处理的E1,由于玉米秸秆屑含有较高的纤维素、淀粉、脂类和蛋白质,在细菌、真菌、放线菌的联合作用下,其能量的可利用性和释放速度就较高,加之玉米秸秆屑其本身多孔隙的物理性质,可以为微生物提供更好的好氧环境,加快了对玉米秸秆屑的降解速度,因此在减量化处理过程中其有机质降解程度明显高于以稻草为调理剂的E2。

### 2.5 C/N 变化情况

好氧堆肥的微生物在新陈代谢和合成细胞的过程中,需要碳、氮、磷、钾等营养元素,而以碳、氮为最

多。微生物对碳、氮的需要是有区别的,碳是微生物的能源,为微生物的生命活动提供能量;氮是构成微生物细胞的物质,用于细胞繁殖。根据对微生物活动的平均计算结果,可知微生物每合成一份体质碳素,要利用约 4 份碳素作为能量,如以细菌为例,细菌的碳氮比为(4~5):1,而合成这样的体质细胞还要利用16~20 份碳素来提供合成作用的能量,所以它们生长繁殖时所需要的碳氮比是(20~25):1,真菌的碳氮比是10:1,所以堆肥过程最佳的碳氮比为(25~35):1。如果碳氮比超过 40:1,可供消耗的碳素过多,氮素养料相对缺乏,细菌和其他微生物的发展受到限制,有机物分解的速度就慢,发酵过程就长。若碳氮比低于 20:1,可供消耗的碳素少,氮素养料相对过剩,则氮将变成铵态氮而挥发,导致氮元素大量损失而降低肥效。2 个处理的 C/N 比值变化情况如图 5 所示。

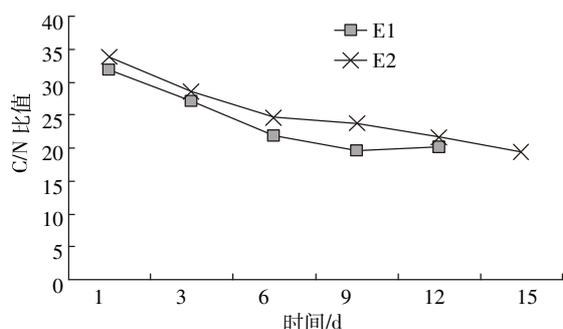


图 5 2 个处理反应过程中 C/N 比值变化

由图 5 的 C/N 比值随时间的变化曲线表明,碳氮比随反应进行呈下降趋势。这一结果与理论分析相一致,由于碳一方面是微生物生长的能源而被消耗掉(以 CO<sub>2</sub> 形式释放),另一方面又是合成细胞的重要原料而减少;氮虽然存在以 NH<sub>3</sub> 形式挥发而损失,但大部分还是用于微生物细胞的合成而留在物料中。因此,随着反应的进行,碳氮比呈逐渐减小的趋势。

### 2.6 腐植酸变化情况

腐植酸总量包括游离态的腐植酸以及钙镁离子络合的结合态腐植酸,后者不溶于碱液,但采用焦磷酸钠和氢氧化钠混合液浸提,则可将大部分结合态的腐植酸转化为可溶性的腐植酸盐。在堆肥进程中,物料中的有机质经微生物的作用被降解的同时,也伴随着腐植化过程<sup>[5]</sup>。在试验过程中,总腐植酸的含量变化趋势与有机碳的变化规律相似,同样均呈现下降趋势。

由图 6 可见,以玉米秸秆屑为调理剂处理牛粪的 E1,腐植酸总量由初始的 40.85%下降到 35.01%,下

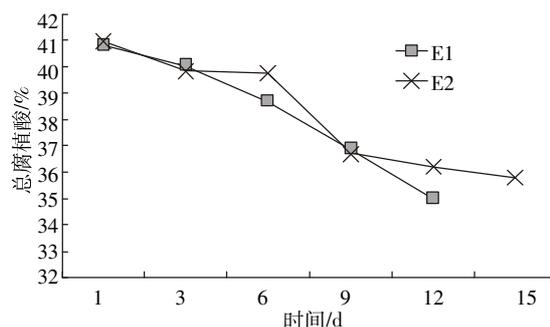


图 6 2 个处理反应过程中腐植酸含量变化

降幅度为 14.30%;以稻草秸秆屑为调理剂处理牛粪的 E2,腐植酸总量由初始的 40.97%下降到 35.77%,下降幅度为 12.69%。总腐植酸含量的降低,表明堆体腐植酸在微生物作用下处于合成与分解,同时由于微生物分解有机质和腐植酸释放大量的热,使得物料温度呈上升趋势。

### 2.7 养分含量变化情况

2 个处理在反应过程中,养分含量即氮、磷、钾的含量均呈增加趋势,其变化情况见图 7、图 8。由图 7、图 8 中总氮的变化情况可知,2 个处理在反应过程中可能存在硝态氮的反硝化,后期均存在氮损失。2 个处理的最终反应物均有较大的提高,完全达到了农用标准,详见表 2。

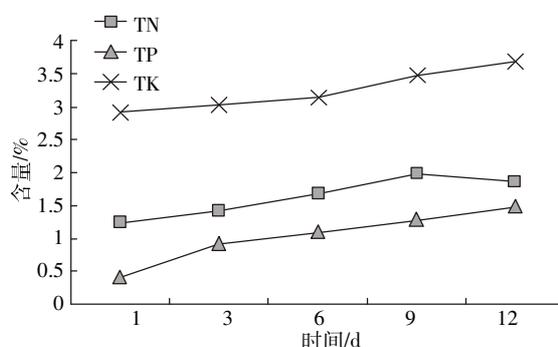


图 7 试验 E1 中养分含量变化情况

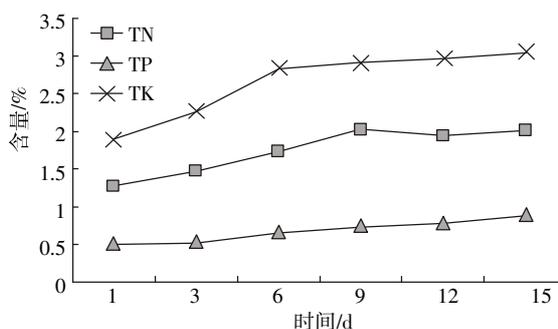


图 8 试验 E2 中养分含量变化情况

表2 物料处理前后养分含量的变化情况(干重,%)

| 物料(处理) | N    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|--------|------|-------------------------------|------------------|
| 牛粪     | 1.09 | 0.40                          | 0.22             |
| E1     | 1.86 | 1.48                          | 3.69             |
| E2     | 2.01 | 0.89                          | 3.04             |
| 农用控制标准 | 0.50 | 0.30                          | 1.00             |

## 2.8 减量效果

家畜粪便作为有机肥直接施用,其最大的障碍是含水量高、恶臭、不便运输。本试验中2个处理都是围绕畜禽粪便的减量化及脱水、干燥与除臭的技术路线所进行减量化处理的研究。试验过程中处理牛粪总重量及反应最后剩余物湿重、干重情况见表3。减量化效果可以通过以下公式计算:

$$R = \frac{Q-S}{Q} \times 100\%$$

式中, $R$ 为减量率(%); $Q$ 为添加总量(kg); $S$ 为处理后剩余物(kg)。

表3 物料重量变化情况

| 处理 | $Q$ 湿重/kg | $S$ 湿重/kg | $R$ 湿重损失/% | $Q$ 干重/kg | $S$ 干重/kg | $R$ 干重损失/% |
|----|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| E1 | 85        | 34        | 60.00      | 23.62     | 15.98     | 32.35      |
| E2 | 105       | 42.50     | 59.52      | 33.72     | 22.10     | 34.46      |

物料的减少主要是由于随着反应的进行,因高温状态,水分被蒸发及干物质被微生物不断分解而减少。通过计算可看出,2个处理经过高温好氧菌的作用后,均有不同程度的减量效果。从表3中可以看出,以玉米秸秆屑和以稻草秸秆屑为调理剂处理牛粪的E1和E2,剩余产物湿重分别为34、42.50 kg,湿重减量效果分别达到60.00%和59.52%;剩余产物干重分别为15.98、22.10 kg,干重减量效果分别达到32.35%和34.46%。通过2个处理的湿重、干重减量效果比较可以看出,2个处理的湿重减量均达到50%以上,干重减量也在30%以上,减量较为明显。

## 3 结论

(1)选择不同的调理剂(稻草秸秆屑和玉米秸秆屑)与家畜粪便(牛粪)进行“三化”处理,湿重减量都在50%以上;2个处理在进行过程中温度维持在50~54℃时,好氧微生物的活性最佳,且物料温度在50℃以上维持天数足以杀灭堆体中所含致病菌,因此最终反应产物的无害化程度高。

(2)2个处理在反应过程中,氮素均呈增加趋势。

由于在好氧反应阶段存在不同程度的氮损失,因此在反应的后阶段要注意采取保氮措施。

(3)2个处理的最终剩余产物的氮、磷、钾相对含量都有所升高,达到了农业控制标准,资源化利用程度较高。

综上所述,以资源化为纽带将种植业的废弃物和养殖业的畜禽粪便进行序批式好氧处理,在实验室环境下取得了良好的运行效果。本技术如能在养殖场及养殖专业户进行实际应用,在形成生态农业良性循环系统的同时,对减轻畜禽粪便面源污染物对环境的污染具有较好的控制效果。

## 参考文献:

- [1] 倪俊,孙可伟.城市垃圾堆肥技术评述[J].中国资源综合利用,2004(8):28-31.
- [2] 尚秀华,谢耀坚,彭彦.育苗基质用的有机废弃物腐熟堆沤技术研究进展[J].桉树科技,2009,26(1):64-70.
- [3] 刘青松.农村环境保护[M].北京:中国环境科学出版社,2003:134-136.
- [4] 魏源送,王敏健,王菊思.堆肥技术进展[J].农业环境保护,2001,20(6):452-453.
- [5] 戴旭明.加拿大牧场的粪便处理技术[J].浙江畜牧兽医,2000(1):42-43.
- [6] Fogart A M, Olli H Tuovinen. Microbiological degradation of pesticides in yard waste composting[J]. *Microbiological Review*, 1991, 55(2): 225-233.
- [7] Jeris J S, Raymond W Regan. Controlling environmental parameters for optimum composting[J]. *Composting Science*, 1973, 14(2): 16-22.
- [8] Kutes G A, Hointink H A J, Rossman L A. Effect of aeration and temperature on composting of sewage sludge[J]. *Water Science and Technology*, 1987, 19: 839-845.
- [9] Macgregor S T, Miller F C, Psarianos K M, et al. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1981, 41(6): 1321-1330.
- [10] 杨国义,夏钟文,李芳柏,等.不同通风方式对猪粪高温堆肥氮素和碳素变化的影响[J].农业环境科学学报,2003,22(4):463-467.
- [11] 张相锋,王洪涛,聂永丰,等.猪粪和锯末联合堆肥的中试研究[J].农村生态环境,2002,18(4):19-22.
- [12] 张相锋,王洪涛,周辉宇,等.花卉秸秆和牛粪联合堆肥的中试研究[J].环境科学学报,2003,23(3):360-364.
- [13] 张宝莉.农业环境保护[M].北京:化学工业出版社,2002:212-213.
- [14] 李艳霞,王敏健,王菊思,等.城市固体废弃物堆肥化处理的影响因素[J].土壤与环境,1999,8(1):61-65.
- [15] Inbar, Chen Y, Y Hoary, et al. New approaches to compost maturity[J]. *BioCycle*, 1990, 31(12):64-69.