

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2014.07.014

含盐量对餐厨垃圾堆肥理化特性变化规律的影响

任连海,黄燕冰,王攀

(北京工商大学 环境科学与工程系,北京 100048)

摘要:为了探索含盐量对餐厨垃圾好氧堆肥的影响,利用 4 组卧式堆肥反应器进行了试验,堆料的含盐量分别为 0%、1%、1.5% 和 2%,分析了含盐量对堆体温度、pH 值、含水率、可溶性碳氮比等好氧堆肥过程理化参数的影响规律。结果表明:堆料的含盐量越高,高温期维持的时间越短,不利于灭菌;含盐量大于 1.5% 时,体系 pH 基本低于 5.5,微生物活性明显受到抑制;堆肥结束时,不同含盐量的 4 个反应器内堆料的含水率由 56.12% 分别降为 41.63%、43.57%、39.04%、36.18%,含盐量越高,水分降低越多;水溶性 C/N 比分别由初始的 30 下降到 9、10、15 和 17,含盐量越高,水溶性 C/N 比下降越缓慢。

关键词:餐厨垃圾;好氧堆肥;含盐量;影响规律

中图分类号:X701

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2014)07-104-06

Effect of salt content on the change of physicochemical characteristics of restaurant garbage during aerobic composting

REN Lianhai, HUANG Yanbing, WANG Pan

(Department of Environmental Science and Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: In order to study the effect of salt content on the compost of restaurant garbage, experiments are carried out in 4 sets of horizontal composting reactors. The salt contents of the 4 sets of windrow are 0%, 1%, 1.5% and 2% respectively. The influences of salt content of restaurant garbage on reaction temperature, pH, water content, water-soluble C/N of compost system are analyzed. Experiment results show that the more salt in the windrow is, the shorter high-temperature period maintains, which is not beneficial for sterilization. The microbial activity is obviously restrained when the salt content is higher than 1.5% and the pH of the system remains below 5.5. The water contents of the windrow in 4 reactors decrease from 56.12% to 41.63%, 43.57%, 39.04%, 36.18% respectively at the end of composting. The higher salt content in the windrow is, the more water content decreases. The water-soluble C/Ns of the 4 reactors decrease from the initial value of 30 to 9, 10, 15 and 17, respectively. And a higher level of salt content is, the more slowly the water-soluble C/N decreases.

Key words: restaurant garbage; aerobic composting; salt content; influence rules

收稿日期:2014-02-10

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划(2012BAC25B01);学位与研究生教育-重点学科-环境工程(PXM 2014_014213_000037);青年教师创新团队项目(PXM2013_014213_000106)

作者简介:任连海(1971-),男,副教授,博士,主要从事固体废物资源化利用技术研究,(E-mail)renlh@th.btbu.edu.cn。

随着中国经济的发展,餐厨垃圾产量也越来越大,全国城市每年产生餐厨垃圾不低于 6000 万 t,且随着餐饮业的不断发展,产生量还将呈现不断递增的趋势^[1]。餐厨垃圾高温好氧堆肥处理技术以其运行费用低、操作简单等特点^[2],在国内外得到广泛青睐^[3-5]。餐厨垃圾以淀粉、食物纤维类、蛋白质、脂类等有机物质为主要成分,但同时也含有一定的盐分。好氧堆肥过程是在有氧条件下,利用好氧微生物分泌的胞外酶将有机物固体分解为可溶性有机物质,再深入到细胞中,通过微生物的新陈代谢实现堆肥的过程。高含盐率会抑制微生物的活性,降低肥效,而且容易损害作物根部,长期使用还会导致土壤的盐碱化^[6-7]。目前餐厨垃圾含盐量的变化对其好氧堆肥过程参数的影响鲜见报道,笔者通过试验研究,深入探讨了含盐量对餐厨垃圾好氧堆肥过程反应速率、pH 值和水溶性碳氮比(C/N)等理化参数的影响规律,旨在为餐厨垃圾的好氧堆肥技术提供数据参考。

1 材料和方法

1.1 堆肥材料

餐厨垃圾取材于北京工商大学香草餐厅(为对外经营性餐厅)。填充料选用锯末,购于北京木材加工厂。填充料可以起到增加空气量、提供碳源、提高堆体的孔隙度、调节物料的湿度含量、提高有机质的稳定性、增强微生物活性等作用^[8-10]。填充料加入量过少则堆肥孔隙率低,不利于堆肥反应;填充料过多则易堆腐物质过少,堆体升温慢、堆温低,影响堆肥进程和堆肥效果^[11]。经过粉碎后的餐厨垃圾颗粒较为细密,不利于通气供氧,通过添加填充料来改善。通过调整餐厨垃圾与锯末的比例使堆料初始 C/N 为 30。

1.2 堆肥装置及实验方法

堆肥装置由 4 个长为 750 mm、直径为 150 mm 的有机玻璃卧式反应器组成。反应器放置在环形吊架内,每 12 h 转动 180°,防止由于重力因素产生纵向含水率差。实验装置和工艺流程见图 1。

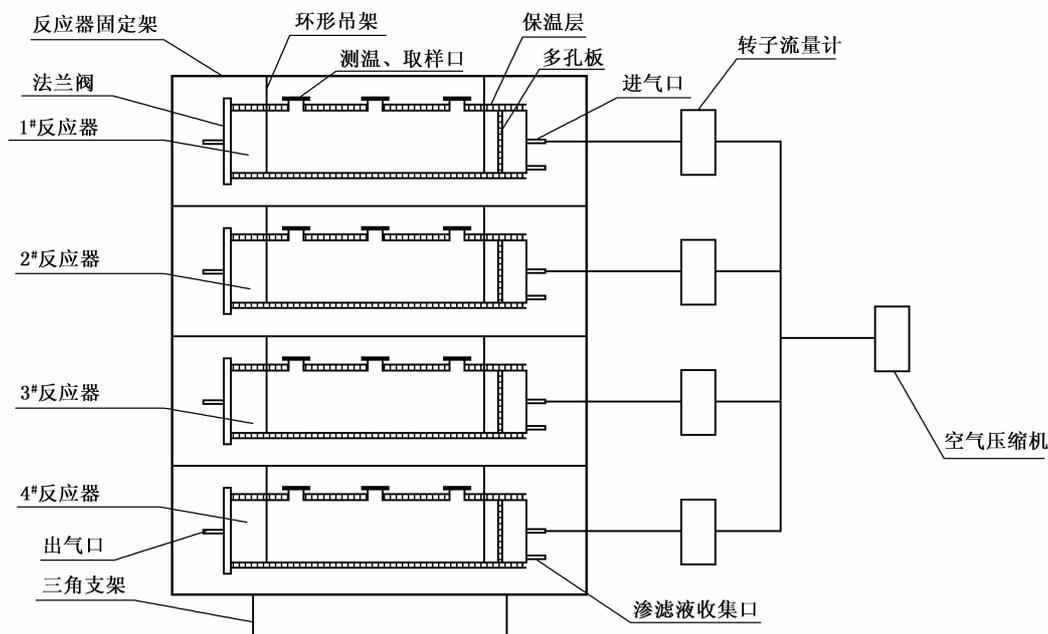


图1 实验装置

将餐厨垃圾放置在滤网上静置,使其中大量盐分去除,并用清水冲洗,以减少其中盐的含量,然后将其粉碎为粒径 3 mm 的颗粒。向每个反应器投加 5 kg 餐厨垃圾,1# 反应器不添加盐,2#、3#、4# 分别添加 50、75、100 g 食用盐搅匀(即 1#、2#、3#、4# 反应器的堆肥物料含盐量分别为 0%、1%、1.5% 和 2%),与锯末混合均匀,反应器填充率为 95%。堆肥实验采用强制通风供氧方式,平均通风量为 $0.2 \text{ m}^3 / (\text{min} \cdot \text{m}^3)$ 堆料^[12],并在反应器外包裹保温层,温度控制在 40 °C。堆肥物料性质见表 1。

表 1 实验材料性质

材 料	含水率/%	pH 值	水溶性氨氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	水溶性有机氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	水溶性有机碳/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	C/N 比
餐厨垃圾	73.34	4.86	4.42	8.64	222.10	17
堆肥物料	56.12	5.72	0.19	5.56	172.50	30
锯末	7.04	6.40	0.01	0.05	19.68	328

1.3 分析方法

在每个堆肥反应器的前中后 3 个位置取样,然后进行充分混合,进行参数分析。含水率采用 105 °C 烘干法。水溶性氨氮采用靛酚蓝比色法,水溶性凯氏氮用凯氏定氮法,水溶性硝氮采用酚二磺酸比色法,水溶性总氮=水溶性凯氏氮+水溶性硝氮,水溶性有机氮=水溶性总氮-水溶性硝氮-水溶性氨氮^[13]。新鲜堆肥样品用去离子水按 $m(\text{样}):m(\text{水})$ 为 1:10(以干重计)振荡浸提 1 h,4 °C 低温 10 000 r/m 离心 20 min,取上层清液于玻璃纤维过滤器(0.4 μm , Whatman, 英国)过滤,滤液在 4 °C 保存^[14-15]。有机碳用 TOC 测定仪(Shimadzu TOC-5000, 日本)取上述滤液测定。pH 值用 pH 计(Horiba F-21 酸度计,日本)测定,将堆肥湿物料抽滤,得滤液测定。每 12h 用水银温度计对堆料前中后的深度居中的位置进行测量,取其平均值作为当日温度。

2 结果与分析

2.1 含盐量对堆料温度的影响

各反应器内堆料温度随时间的变化如图 2 所示。

堆肥初期,各反应器内堆料温度迅速上升,在第 5 天时,4# 反应器达到最高温度 50.4 °C,但 50 °C 以上仅维持了 1 d;1#、2#、3# 反应器在第 6 天时均达到了最高温度,分别为 56、53.5、51 °C,1# 反应器 50 °C 以上维持了 5 d,2# 反应器 50 °C 以上维持了 4 d,3# 反应器 50 °C 以上仅维持了 2 d。

图 2 表明,堆料的含盐量越高,高温期维持的时间越短,且在达到最高温后,堆料温度也下降较快。餐厨垃圾含盐量较高会使微生物活性受到抑制,生化反应减弱,所释放的热量减少^[16]。由于保温层始终控制环境温度在 40 °C 左右,3#、4# 反应器内堆料温度在下降到 40 °C 以下后下降速度略有趋缓。

堆肥过程中随着堆体温度的变化,微生物的种类和数量也发生变化。细菌在整个过程中数量最大;放线菌在堆肥初期的数量较多,但数量低于细菌,随着堆肥温度的升高,放线菌的数量逐渐减少,当堆料温度下降时其数量又有所回升;真菌的数量变化趋势和放线菌相同,但当温度超过 60 °C 时,几乎完全消失,当堆体温度低于 45 °C 时,数量又继续回升。变化趋势与其他学者的研究结果一致^[17-19]。

2.2 含盐量对 pH 值的影响

各反应器内堆料的 pH 值随时间的变化如图 3 所示。

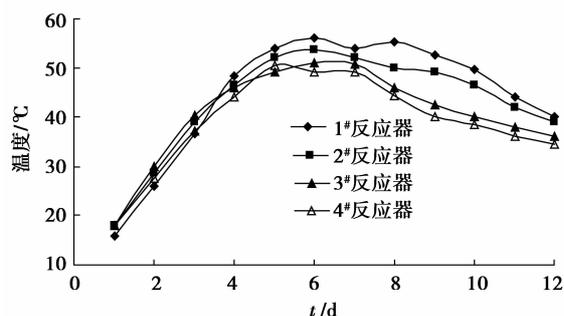


图 2 各反应器堆料温度与反应时间的关系

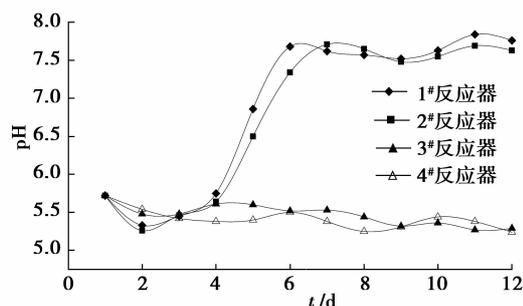


图 3 各反应器堆料 pH 值与反应时间的关系

由图中可看出,反应第2天时,1[#]、2[#]反应器内堆料的pH值由5.72分别降到5.33、5.26,第3天时开始迅速回升,并在反应第6天时,各反应器内堆料的pH值达到7以上,分别为7.68、7.34,最终在7.5~7.8左右窄幅波动。据文献报道,pH值在7.5~8.5之间时,堆肥的速率较大^[20]。3[#]、4[#]反应器内堆料的pH值在第2天时也出现下降现象,但没有显著回升,基本均低于5.5,而对于堆肥微生物最佳的pH范围为5.5~8.5。3[#]、4[#]反应器的含盐量过高,微生物代谢酶活性受阻,生物增长慢,产率系数低。1[#]、2[#]反应器pH的变化趋势与其他学者的研究结果一致^[21],即堆肥初期易分解的有机物分解产生有机酸类物质,pH下降,随着堆肥的进行,堆体内蛋白质等有机物不断分解,释放出碱性物质以及NH₃,pH升高。3[#]、4[#]反应器pH值变化趋势与1[#]、2[#]差异明显,说明当含盐量高于1.5%时,不利于堆肥的进行。

2.3 含盐量对含水率的影响

各反应器内堆料含水率随时间的变化如图4所示。

由图中可看到,在堆肥过程中,4个反应器内堆料的含水率均呈下降趋势,其中3[#]、4[#]反应器的含水率下降迅速,明显低于1[#]和2[#]反应器。至堆肥结束时,4个反应器内堆料的含水率由56.12%分别降为41.63%、43.57%、39.04%、36.18%。3[#]、4[#]反应器的含盐量过高,微生物代谢酶活性受阻,生物增长慢,产生的水分减少,通风又将堆料中的水分大量带走,致使含水率下降速度快。

2.4 含盐量对水溶性C/N比的影响

各反应器内堆料水溶性氨氮、水溶性有机碳、水溶性有机氮和水溶性C/N随时间的变化分别如图5~8所示。

堆肥初期,由于微生物利用氨氮合成了有机氮使堆料氨氮均呈小幅下降,之后由于微生物的氨化作用,使堆料氨氮有所回升,在堆肥中后期,由于氨挥发损失与微生物的硝化作用使氨氮下降。各反应器内堆料的水溶性氨氮值呈下降一升高一下降的变化趋势(图5),与杨延梅学者的研究结果一致^[14]。但4[#]反应器变化不明显。第6天之后,1[#]、2[#]反应器的水溶性氨氮值逐渐增高,并且分别在第9、10天时达到最大值0.36、0.31 g/kg,之后逐渐下降,堆肥结束时由初始的0.19 g/kg变为0.15、0.20 g/kg,与初始相比变化不大;而3[#]、4[#]反应器内堆料的水溶性氨氮值则从第6天开始出现缓慢下降现象,堆肥结束时分别降为0.06、0.08 g/kg。

堆肥过程中,各反应器内堆料的水溶性有机碳含量在波动中下降(图6),且1[#]、2[#]反应器的下降速率明显大于3[#]、4[#]反应器的。至堆肥结束时,1[#]、2[#]、3[#]、4[#]反应器内堆料的水溶性有机碳从172.5 g/kg分别下降到65.2、71.9、108.1、92.1 g/kg。

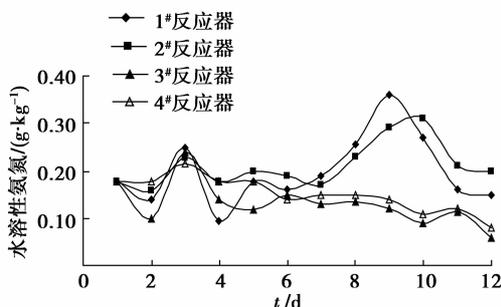


图5 各反应器内堆料水溶性氨氮与反应时间的关系

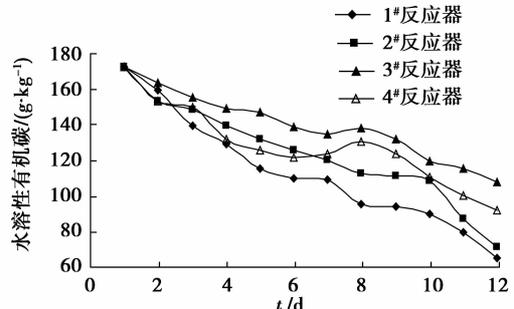


图6 各反应器内物料水溶性有机碳与反应时间的关系

堆肥过程中,各反应器的水溶性有机氮呈上升趋势(图7),是由于部分氨氮在微生物作用下合成了有机氮,第10 d时,上升趋势缓,至堆肥结束时,1[#]、2[#]、3[#]、4[#]反应器内堆料的水溶性有机氮由初始的5.56 g/kg分别上升至8.51、8.48、7.22、7.28 g/kg。3[#]、4[#]反应器的水溶性有机氮明显低于1[#]、2[#]的。

好氧堆肥工艺中主要是靠微生物的分解作用使得堆料中的有机物得以降解,盐分的存在,会抑制微生物的生长,微生物体内的水分会大量渗透到体外溶液中,造成细胞失水而发生质壁分离,严重者或导致微生物死亡。高含盐量会使堆肥产品质量下降,不仅抑制微生物活性而且降低肥效,容易造成作物根部受损,长期使用还会导致土壤的盐碱化。通过水洗预处理的方式可降低餐厨垃圾的含盐量^[15]。

由图 6 和图 7 可看出,1[#]、2[#] 反应器内堆料的水溶性有机碳、有机氮变化明显,但较高含盐量的 3[#]、4[#] 反应器变化相对缓慢,主要由于盐分抑制了微生物的生长繁殖,使得有机物降解速率降低,堆料中的水溶性有机碳、有机氮含量的综合变化导致了 3[#]、4[#] 反应器堆料的水溶性 C/N 比相应偏高。

C/N 比的降低,有利于腐殖质的形成,有利于堆肥向稳定化、腐熟化、无害化方向转变,是堆肥腐熟度的重要指标^[15]。堆肥过程中,4 个反应器中水溶性 C/N 比迅速下降(见图 8),至堆肥结束时,1[#]、2[#]、3[#]、4[#] 反应器内堆料的水溶性 C/N 比,由初始的 30 分别下降到 9、10、15 和 17,说明含盐量越低腐熟度越好。

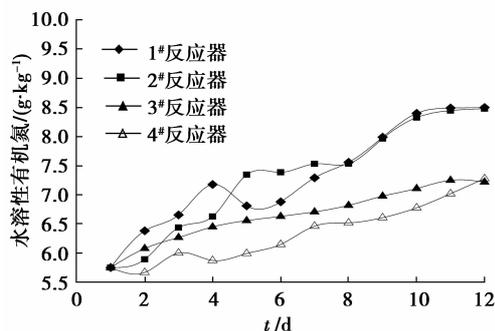


图 7 各反应器内物料水溶性有机氮与反应时间的关系

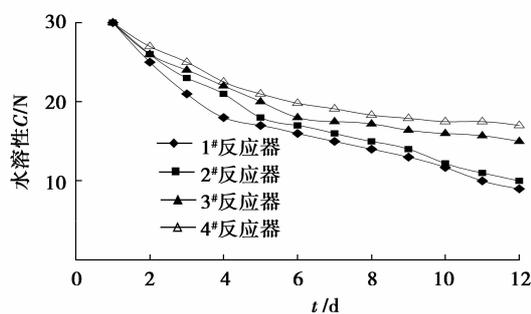


图 8 各反应器内物料水溶性 C/N 与反应时间的关系

综合含盐量对堆料温度、pH 值、含水率、水溶性 C/N 的影响得出,餐厨垃圾堆肥化过程中含盐量不应超过 1.5%。当含盐量高于 1.5% 时,应对餐厨垃圾脱盐预处理后再进行好氧堆肥。

3 结 论

1) 餐厨垃圾含盐量较高会使微生物活性受到抑制,生化反应减弱,所释放的热量减少,堆料的含盐量越高,所达最高温度越低,且高温期维持时间越短,不利于灭菌。

2) 含盐量低于 1.5% 时,pH 值随反应的进行而逐渐升高,含盐量高于 1.5% 时,堆料的 pH 基本低于 5.5,不利于堆肥微生物的生长。

3) 4 个反应器内堆料的含水率均呈下降趋势,含盐量高于 1.5% 时由于微生物代谢酶活性受阻,生物增长慢,产生的水分减少,致使含水率下降速度快。

4) 至堆肥结束时,1[#]、2[#]、3[#]、4[#] 反应器内堆料的水溶性 C/N 比,由初始的 30 分别下降到 9、10、15 和 17,含盐量较高时不利于堆肥的腐熟。

5) 含盐量对堆料温度、pH、含水率和水溶性 C/N 比的影响程度不同,综合考虑,餐厨垃圾堆肥时含盐量不应超过 1.5%。

参考文献:

- [1] 任连海.城市典型固体废弃物资源化工程[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [2] 谢伟平,邹原,唐建军,等.初始物料含水率对餐厨垃圾高温好氧消化过程的影响[J].环境卫生工程,2010,18(3):1-3,6.
XIE Weiping, ZOU Yuan, TANG Jianjun, et al. Impact of initial moisture content on thermophilic aerobic digestion for food residue[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2010, 18(3):1-3, 6.
- [3] Liu Y S, Ma L L, Li Y Q, et al. Evolution of heavy metal speciation during the aerobic composting process of sewage sludge[J]. Chemosphere, 2007, 67(5): 1025-1032.
- [4] Shen Y J, Ren L M, Li G X, et al. Influence of aeration on CH₄, N₂O and NH₃ emissions during aerobic composting of a

- chicken manure and high C/N waste mixture[J]. *Waste Management*, 2011, 31(9): 33-38.
- [5] Thyagarajan L P, Meenambal T, Mangaleswaran L, et al. Recycling of pulp and paper industry sludge with saw dust by aerobic composting method[J]. *Nature Environment and Pollution Technology*, 2010, 9(1):149-154.
- [6] Kuo W C, Cheng K Y. Use of respirometer in evaluation of process and toxicity of thermophilic anaerobic digestion for treating kitchen waste[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(9): 1805-1811.
- [7] 赵由才. 固体废物污染控制与资源化[M]. 北京:化学工业出版社, 2002:412-413.
- [8] Anjarata J, Sirintornthep T. Novel bulking agent from clay residue for food waste composting [J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(12): 4484-4490.
- [9] Chang J I, Chen Y J. Effects of bulking agents on food waste composting[J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(15): 5917-5924.
- [10] Ponsa S, Pagans E, Sanchez A. Composting of dewatered wastewater sludge with various ratios of pruning waste used as a bulking agent and monitored by respiromete[J]. *Biosystems Engineering*, 2009, 102(4): 433-443.
- [11] 杨延梅, 席北斗, 刘鸿亮, 等. 餐厨垃圾堆肥理化特性变化规律研究[J]. *环境科学研究*, 2007, 20(2): 72-77.
YANG Yanmei, XI Beidou, LIU Hongliang, et al. Study on the change of physicochemical characteristics of food wastes during aerobic composting[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(2): 72-77.
- [12] 李国建, 赵爱华. 城市垃圾处理工程[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 274.
- [13] Karnchanawong S, Suriyanon N. Household organic waste composting using bins with different types of passive aeration[J]. *Resources Conservation and Recycling*, 2011, 55(5): 548-553.
- [14] Xiao Y, Zeng G Y, Yang Z H, et al. Continuous thermophilic composting (CTC) for rapid biodegradation and maturation of organic municipal solid waste[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(20): 4807-4813.
- [15] 梁彦杰, 谢炜平, 何德文, 等. 水洗-脱水预处理降低餐厨垃圾堆肥含盐量的实验研究[J]. *环境卫生工程*, 2008, 16(3): 44-47.
LIANG Yanjie, XIE Weiping, HE Dewen, et al. Study on decreasing salinity of food Residue composting by pretreatment of water washing-dewatering[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2008, 16(3): 44-47.
- [16] 杨延梅. 通风量对厨余堆肥氮素转化及氮素损失的影响[J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(12): 1-5.
YANG Yanmei. Influence of ventilation on nitrogen transformation and loss during composting of kitchen waste[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(12): 1-5.
- [17] 王伟东, 王小芬, 朴哲, 等. 堆肥化过程中微生物群落的动态[J]. *环境科学*, 2007, 28(11): 2591-2597.
WANG Weidong, WANG Xiaofen, PIAO Zhe, et al. Microbial dynamics during the composting process [J]. *Environmental Science*, 2007, 28(11): 2591-2597.
- [18] 王伟东, 刘建斌, 牛俊玲, 等. 堆肥化过程中微生物群落的动态及接菌剂的应用效果[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(4): 148-152.
WANG Weidong, LIU Jianbin, NIU Junling, et al. Dynamics of microbial community and the effect of inoculum on the composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(4): 148-152.
- [19] Khalil A I, Beheary M S, Salem E M. Monitoring of microbial population and their cellulolytic activities during the composting of municipal solid waste[J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2001, 17: 155-161.
- [20] Sanchez-monederero M A, Roig A, Paredes C, et al. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures[J]. *Bioresource Technology*, 2001, 78(3): 301-308.
- [21] 韩涛, 任连海, 张相锋, 等. 初始环境温度对餐厨垃圾好氧堆肥过程的影响[J]. *环境科学学报*, 2006, 26(9): 1458-1462.
HAN Tao, REN Lianhai, ZHANG Xiangfeng, et al. Impact of initial temperature on aerobic composting for the restaurant garbage[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(9): 1458-1462.