

微生物菌剂对农牧业废弃物堆肥快速腐熟的效果及其经济性评价

沈根祥¹, 尉良², 钱晓雍¹, 李媛²

(1.上海市环境科学研究院, 上海 200233; 2.东华大学环境科学与工程学院, 上海 200051)

摘要:通过牛粪与秸秆高温好氧堆肥,对添加微生物菌剂的堆肥处理与不添加微生物菌剂的常规堆肥处理进行比较,考察堆肥过程中与腐熟度有关的指标变化情况,并主要分析生物指标的变化。结果表明,在60 d的堆肥过程中,添加微生物菌剂堆肥处理初期升温迅速,比常规堆肥处理高温持续时间长2~3 d,但pH值、含水率和C/N等理化指标之间无显著性差异;而生物指标之间差异较为显著,其中添加微生物菌剂的堆肥处理种子发芽率、作物生长指标、根系建成指标均明显优于常规堆肥处理;添加微生物菌剂比不添加微生物菌剂的堆肥处理可以提前10 d左右达到腐熟。堆肥添加微生物菌剂的投入产出经济性评价结果表明,添加微生物菌剂虽能一定程度上提高堆肥的质量,但还不能取得较好的经济效益,需进一步降低微生物菌剂的成本。

关键词:牛粪;农田秸秆;堆肥;微生物菌剂;生物指标;经济性分析

中图分类号:S141.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)05-1048-05

Effect of Microbial Inoculation on Quick Composting of Animal Manure with Crop Straws and Economic Analysis

SHEN Gen-xiang¹, WEI Liang², QIAN Xiao-yong¹, LI Yuan²

(1. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China; 2. College of Environmental Science & Engineering, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: A comparison of composting of dairy manure and crop straws inoculated with and without additional microbial inoculation had been investigated. The variations of the process indexes related to composting maturity had been studied, especially the biological indexes. The results showed that, in the composting process of 60 days, the temperature rose rapidly at the initial stage, and the duration of high temperature of the composting with microbial inoculation was 2~3 days longer than the composting without. Although the pH value, moisture and C/N ratio had no significant difference between the two composting processes, the biological indexes had significant differences. The germination index, growth index and root establishment index of the composting with microbial inoculation all appeared better, and could reach the maturity 10 days earlier than the traditional composting. The results of economic analysis of microbial inoculation in composting indicated that, although the microbial inoculation could increase the compost quality to some extent, the cost of microbial inoculation needs to be reduced to gain an economic benefit.

Keywords: dairy manure; crop straws; composting; microbial inoculation; biological index; economic analysis

好氧堆肥是目前最常用的一种固体有机废弃物处理方法^[1-2]。通过堆肥,可以实现畜禽粪便无害化和资源化的目的,是养殖业与种植业接口技术之一。传统堆肥法通常是采用改善环境条件或增加营养的方法,利用堆肥原料中的土著微生物来分解有机物,但由于堆肥初期有益微生物量较少,需要一定时间才

能繁殖到堆肥所需的数量,因此传统堆肥法往往存在发酵时间长、产生臭味且肥效低等问题^[3]。而添加外源微生物可加速有机物的分解、加快堆肥腐熟过程,是解决问题的方法之一^[4-5]。然而在此问题上一直存在争议,一种观点认为堆肥原料中本身含有大量的微生物种类和数量,只要环境条件适宜,就会快速增长,而且添加的微生物又会增加堆肥成本和降低堆肥的营养成分;而另一种观点认为向堆肥中添加微生物菌剂可以增加堆肥中有效的微生物数量,延长堆肥高温持续时间,加快堆肥中的有机物的分解,

收稿日期:2008-08-14

基金项目:中国-意大利环境保护合作项目

作者简介:沈根祥(1965—),男,浙江湖州人,教授级高工,主要从事农村环境保护科研工作。E-mail:shengx@saes.sh.cn

从而缩短堆肥进程^[6]。

本研究以上海地区典型的农牧业废弃物(牛粪和农田秸秆)为堆肥原料,分别添加 3 种不同的微生物菌剂,并以不添加微生物菌剂的常规堆肥处理为对照,通过 60 d 的堆肥试验,考察堆肥过程中与腐熟度有关的理化指标和生物指标,评判添加微生物菌剂与否对腐熟时间和腐熟质量的影响,并对此进行投入产出经济性分析,从而为农牧业废弃物微生物快速堆肥发酵技术的应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试牛粪采自上海光明荷斯坦金山种奶牛场,秸秆来自奶牛场周边农田,经粉碎后与牛粪均匀混合,供试菌剂均购于市场。堆肥原料主要成分和微生物菌剂基本情况见表 1 和表 2。

表 1 堆肥原料的主要成分

Table 1 Properties of raw materials for composting

堆肥原料	含水率/%	TN/%	TOC/%	C/N
牛粪	84.84	2.87	39.75	13.87
秸秆	11.29	0.59	38.68	66.11

1.2 试验设计

1.2.1 堆肥装置及试验时间

堆肥容器为泡沫塑料保温箱,有效尺寸为 50 cm×50 cm×50 cm,保温层壁厚 5 cm。初始堆料装入保温箱的深度为 45 cm,然后置于人工气候室内进行 60 d 的堆肥试验。试验期间,人工气候室内温湿度分别维持在 30 ℃和 70%。

1.2.2 试验分组

本试验设 4 个处理,每处理 3 个重复,每个重复约 45 kg。处理 1、2、3 分别代表添加微生物菌剂 A、B、C 的处理,CK 代表不添加任何菌种的空白对照。每个堆肥处理将新鲜牛粪和秸秆按质量比 2:1 混合,并将菌剂以 2 g·kg⁻¹ 的浓度与堆肥原料混合搅拌均匀后分别装入保温箱,每周翻堆 1 次。

1.3 采样及测定

1.3.1 采样方法

每个重复在堆体中央深 25 cm 处插一支温度计,

每天中午 12:00 测定温度。样品采集时间为堆肥第 0、20、40、60 d,在翻堆充分、搅拌均匀后,按 5 点法采样。同时在第 20、40、60 d,取出每个处理中的部分堆肥产品进行生物指标考察试验。

1.3.2 测定指标与方法

1.3.2.1 理化指标

pH 值通过 1:5 固液比浸提滤液测定;含水率采用铝盒烘干法;全氮采用凯氏定氮法;有机碳采用重铬酸钾氧化法^[7]。

1.3.2.2 种子发芽势

取堆肥鲜样按水肥比 2:1 浸提,过滤后取滤液以 3 200 r·min⁻¹ 离心 30 min,吸取上清液以 100%、75%和 50%的浓度混合相应比例蒸馏水后,分别吸取 2 mL 置于铺有滤纸的培养皿中,放置 10 粒水堇(*Lepidium sativum*)种子,在 25 ℃恒温培养箱中黑暗培养 72 h,然后用以下公式计算每个浓度的种子发芽势,最后取 3 个浓度的平均值作为堆肥样品的种子发芽势。

种子发芽势(%)=

$$\frac{\text{不同浓度浸提液种子发芽数} \times \text{根长}}{\text{蒸馏水种子发芽数} \times \text{根长}} \times 100$$

1.3.2.3 作物生长指标

取堆肥产品,分别以 25%、50%、75%、100%的体积比与草炭混合装入直径 15 cm 的花盆,每个比例设置 3 个花盆作为重复,并设置 100%的草炭作为空白对照,每个花盆播撒 125 粒水堇种子后,置于人工气候室,设定温度 25 ℃、湿度 75%、自然光照 12 h·d⁻¹,21 d 后测定干物质生物量,并以各处理和空白对照的干物质比值平均值作为作物生长指标值。

1.3.2.4 根系建成指标

取堆肥产品,分别以 25%、50%、75%、100%的体积比与草炭混合装入直径 10 cm 的花盆,每个比例 3 个重复,每个花盆移栽一株高 8 cm 左右的番茄植株后,置于人工气候室,设定温度 25 ℃、湿度 75%、自然光照 12 h·d⁻¹,21 d 后测定番茄株高及其生物量。

1.4 统计分析方法

对试验所取得的数据用 Microsoft Excel 97 进行方差分析。显著性差异分析用 SPSS 11.5 中单因素分析(ANOVA)的 Duncan 比较法($P < 0.05$)。

表 2 添加菌种状态性质及主要成分

Table 2 Main conditions and properties of additive microbe to composting

微生物菌剂	状态	颜色	主要菌种	有效菌数
A	液体	黄棕色	光合细菌、放线菌、乳酸菌等	1.5×10 ⁸ CFU·mL ⁻¹
B	固体粉末	粉色	放线菌、固氮菌、溶磷菌、链霉菌、活性菌、曲霉菌等	0.5×10 ⁸ CFU·g ⁻¹
C	固体粉末	灰黑色	光合细菌、固氮菌、放线菌、乳酸菌等	1.2×10 ⁸ CFU·g ⁻¹

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中理化指标变化分析

2.1.1 温度变化

温度是堆肥稳定度评价最简便快捷的物理指标,当其趋于环境温度时,表明堆肥已稳定^[8]。堆肥温度在 50 ℃以上并维持 10~15 d,55 ℃以上并维持 5~10 d,60 ℃以上并维持 1~2 d,就能达到符合粪便无害化卫生标准^[9]。从表 3 中可以看出,堆肥过程中各处理在启动后 3 d 内温度都达到了 50 ℃以上,添加微生物菌剂的堆肥升温速度要比常规堆肥平均快 0.1 ℃·h⁻¹,并且高温持续时间长 2~3 d,最高温度也高约 1~2 ℃。该结果表明,添加的微生物菌剂能快速大量繁殖,并有效地分解堆肥有机物质,缩短其达到腐熟的时间。

表 3 微生物对堆肥过程中温度变化的影响

Table 3 Impact of microbial strains on temperature changes during the composting

堆肥处理	到 50 ℃所需的时间/d	升温速率/℃·h ⁻¹	≥50 ℃的天数/d	测温最高值/℃
常规处理	2	1.12	17	71.4
处理 1	2	1.23	19	72.9
处理 2	2	1.27	20	73.2
处理 3	2	1.20	19	73.2

2.1.2 pH 值、含水率及 C/N 变化

从图 1 中 pH 值变化可以看出,各堆肥处理的 pH 值都呈现出先升后降趋于稳定的趋势。在 60 d 时,pH 值均稳定在 8.5 左右,符合腐熟堆肥 pH 值在 8.0~9.0 的标准^[10]。pH 值初期的上升与氨氮的产生有关,而后期 pH 的回落则是因为氨氮的挥发所致,pH 值能在一定程度上反映堆肥内的微生物活动情况。在整个堆肥过程中,各堆肥处理 pH 值变化无显著差异。

水分是影响堆肥效果的重要参数,堆肥过程中含

水率的下降,与堆肥温度和高温维持时间有关。从图 1 中含水率变化可以看出,各个堆肥处理的含水率都呈下降趋势,至 60 d 时,各堆肥处理的含水率均下降到 35%左右,但在整个堆肥过程中无显著差异。

C/N 是评价堆肥腐熟度比较直观的化学指标,堆肥过程中 C/N 不断下降,一般认为,当堆肥产品的 C/N 接近 20 时堆肥可以被认为达到基本腐熟^[12]。从图 1 中 C/N 变化可以看出,各堆肥处理 C/N 在 60 d 都达到 20 左右,在整个堆肥过程中也无显著差异。

2.2 堆肥过程中生物指标变化分析

2.2.1 种子发芽势变化分析

种子发芽势被众多学者公认为堆肥产品腐熟度评价科学而准确的指标,能有效反映堆肥产品的植物毒性水平^[13-14]。从表 4 中可以看出,随着堆肥时间的延长,种子发芽势都随之升高,各堆肥处理在 30 d 以后都已经达到 100%;添加微生物菌剂的堆肥处理在 20、30 和 40 d 时,种子发芽势都明显高于空白对照的堆肥处理,然后各堆肥处理趋于一致。该结果表明,添加微生物菌剂能在堆肥初期提高微生物分解速率,降低堆肥的植物生理毒性,使堆肥更快趋于腐熟。

表 4 堆肥过程中种子发芽率的变化

Table 4 Variation of germination index during the composting

堆肥处理	20 d	30 d	40 d	50 d	60 d
常规处理	94 ^{C*}	111 ^B	136 ^B	156 ^A	167 ^A
处理 1	99 ^B	118 ^{AB}	144 ^{AB}	167 ^A	170 ^A
处理 2	105 ^A	135 ^A	154 ^A	172 ^A	176 ^A
处理 3	96 ^{BC}	122 ^{AB}	141 ^{AB}	170 ^A	169 ^A

注:*采用软件 SPSS 11.5 统计分析得到的显著性差异($P<0.05$),下同。

2.2.2 作物生长指标变化分析

作物生长指标也是一个对堆肥质量全面检验的方法^[15]。由表 5 可以看出,各处理在堆肥过程中作物生长指标都有不同程度的提高,添加微生物菌剂堆肥

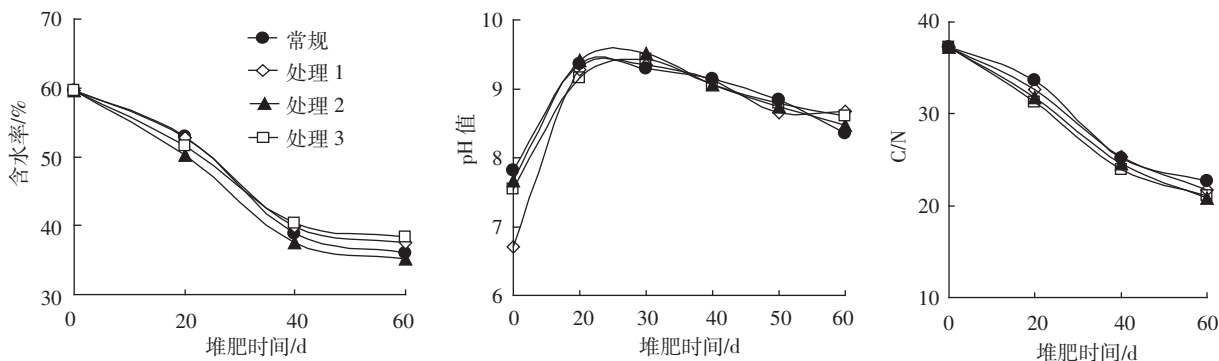


图 1 堆肥过程中 pH 值、含水率及 C/N 的变化

Figure 1 Variation of pH value, moisture and C/N ratio during the composting

处理的作物生长指标在堆肥的各个阶段总体均高于常规堆肥处理,说明添加微生物菌剂可以在一定程度上提高堆肥产品的肥效。

表 5 堆肥过程中作物生长指标的变化

Table 5 Variation of growth index during the composting

堆肥处理	20 d	40 d	60 d
常规处理	0.70 ^B	1.00 ^B	1.25 ^A
处理 1	0.76 ^B	1.24 ^A	1.36 ^A
处理 2	0.97 ^A	1.16 ^A	1.37 ^A
处理 3	0.70 ^C	1.12 ^{AB}	1.24 ^A

2.2.3 根系建成试验指标变化分析

堆肥产品对植物的生长具有毒性与肥效两方面的作用,没有完全腐熟的堆肥产品会对作物生长带来毒性抑制作用,而腐熟完全的堆肥对作物具有良好的肥力效果^[16]。根系建成指标可以反映堆肥产品施用后作物生长发育情况,因此是检验腐熟度有效而直观的方法。从图 2 中番茄株高和生物量的变化中可以看出,堆肥过程中各处理植株高度和生物量不断增加,添加微生物菌剂的堆肥处理在堆肥各个阶段均高于常规堆肥处理,其中植株高度比常规堆肥高 6.8%~40.0%,生物量比常规堆肥高 1.4%~54.7%,表明添加微生物菌剂可以提高堆肥产品的质量,并能加速堆肥的腐熟进程。

3 添加微生物菌剂堆肥的经济性分析

3.1 添加微生物菌剂堆肥腐熟时间分析

基于堆肥过程中各个理化指标和生物指标的变化情况,结合堆肥腐熟度评价指标体系,将各个堆肥处理达到腐熟最少时间进行汇总分析(表 6),可以看出,添加微生物菌剂的堆肥处理达到腐熟所需要的最少时间为 50 d,而常规堆肥达到腐熟所需要的最少时间则为 60 d,因此添加微生物菌剂可以使堆肥腐熟时间提前 10 d 左右。

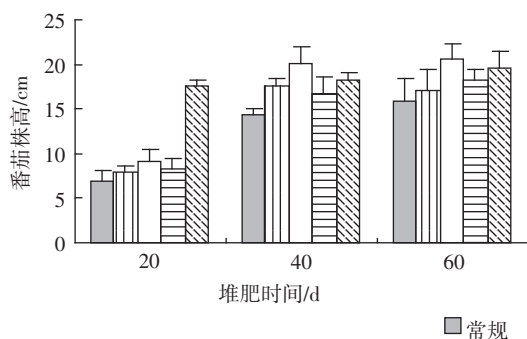


图 2 根系建成实验中番茄株高、生物量变化

Figure 2 Variation of plant height and biomass during the root establishment trials

表 6 基于不同指标的堆肥腐熟时间比较

Table 6 Comparison of composting maturity time based on different indexes

堆肥腐熟时间/d	常规处理	处理 1	处理 2	处理 3
理化指标	60	50	50	50
种子发芽势指标	50	50	40	50
作物生长指标	60	40	45	50
根系建成指标(株高)	60	40	40	50
根系建成指标(生物量)	50	50	40	50

3.2 添加微生物菌剂堆肥投入产出分析

通过上述堆肥腐熟时间分析可知,添加微生物菌剂可以缩短堆肥腐熟时间,而堆肥腐熟时间的缩短意味着在堆肥场地面积固定的情况下,可以提高堆肥产品产量,但考虑到增加微生物菌剂购买成本,堆肥厂生产成本也会相应提高,因此需要对添加微生物菌剂的堆肥生产进行投入产出分析,以了解其经济性。

结合堆肥腐熟时间分析结果,以每批生产 100 t 堆肥产品的堆肥厂为例,有机肥市场售价以上海市规定的 400 元·t⁻¹ 为依据,每吨有机肥利润约为 150 元,微生物菌剂价格按照 10 元·kg⁻¹ 的价格计算,而微生物菌剂用量按照堆肥原料和堆肥产品 3:1 的重量比计算,由此得到添加微生物菌剂的堆肥生产与不添加微生物菌剂的常规堆肥生产的投入产出比较结果(表 7)。由表 7 可以看出,添加微生物菌剂后,虽然堆肥产品年产量增加了 20%,但是由于同时增加了微生物菌剂成本导致其利润反而降低了 28%。由此可见,虽然添加微生物菌剂缩短了堆肥腐熟时间,并在一定程度上提高了堆肥产品的质量,但是在目前微生物菌剂和堆肥产品的价格体系下,堆肥生产的经济效益并没有随之提高。

3.3 微生物菌剂堆肥应用瓶颈问题分析

基于添加微生物菌剂堆肥试验结果及其投入产出分析,目前影响微生物菌剂大规模广泛使用的主要问题是微生物菌剂的价格仍然较高,在堆肥实际生产

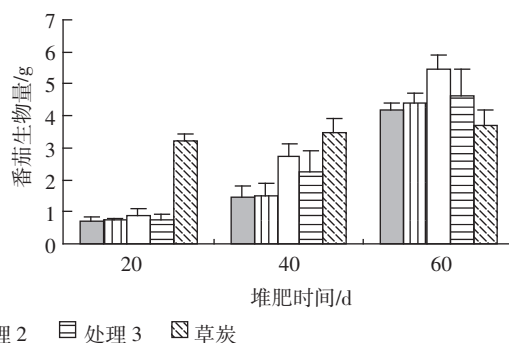


表7 添加微生物菌剂堆肥投入产出分析
Table 7 Cost-benefit analysis for composting production
with microbial strains

堆肥生产方式	堆肥腐熟时间/d	堆肥年产量/t	微生物菌剂用量/t	微生物菌剂成本/万元	年利润/万元
常规堆肥生产	60	600	—	—	9.00
添加微生物菌剂	50	720	4.32	4.32	6.48

过程中添加微生物菌剂虽然能提高堆肥产量,但并不能完全满足企业提高利润的需求,因此需要更为有效地提高微生物菌剂应用效率,进一步降低微生物菌剂应用成本,才能使得微生物菌剂应用在提高堆肥产品质量的前提下,成为堆肥生产企业真正的盈利点。

4 结论

(1)在农牧业废弃物堆肥过程中,生物指标(如种子发芽势、作物生长量、根系建成实验中的株高、生物量、叶片颜色等)在反映微生物菌剂对堆肥快速腐熟的效果上比理化指标(如 pH 值、含水率、C/N 等)更为显著。

(2)添加微生物菌剂能有效促进堆肥过程中有机物质的分解,加快堆肥腐熟的进程,并能在一定程度上提高堆肥产品的肥效;添加微生物菌剂的堆肥处理种子发芽势、作物生长指标和根系建成指标均高于不添加微生物菌剂的常规堆肥处理。

(3)在堆肥厂实际生产过程中,添加微生物菌剂能缩短堆肥腐熟时间,提高堆肥年产量,但由于目前微生物菌剂成本相对较高,反而导致利润降低。因此,如何降低堆肥微生物菌剂的使用成本,是推广应用该技术的键问题。

参考文献:

- [1] 胡学玉,李学垣.有机固体废弃物的堆肥化处理与资源化利用[J].农业环境与发展,2002,19(2):20-21.
HU Xue-yu, LI Xue-yuan. Composting treatment and resources utilization of solid organic waste[J]. *Agro-Environment and Development*, 2002, 19(2):20-21.
- [2] He X T, Traina S J, Logan T J. Reviews and analyses: chemical properties of municipal solid waste composts[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1992, 21:318-329.
- [3] 李国学,张福锁.固体废弃物堆肥化与有机复混肥生产[M].北京:化学工业出版社,2000.
LI Guo-xue, ZHANG Fu-suo. Composting of solid waste and production of organic-inorganic compound fertilizer [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000.
- [4] 刘克锋,刘悦秋,雷增普,等.几种微生物应用于猪粪堆肥中的研究[J].北京农学院学报,2001,16(2):36-41.
LIU Ke-feng, LIU Yue-qiu, LEI Zeng-pu, et al. The experiment of microbe used on pig excrement compost[J]. *Journal of Beijing Agricultural College*, 2001, 16(2):36-41.
- [5] 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[J].应用与环境生物学报,1999,10(5):139-142.
LI Guo-xue, HUANG Yi-mei, JIANG Hua. Effect of different materials and inoculating microbes on compost maturity[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 1999, 10(5):139-142.
- [6] 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 Wei-dong, LIU Jian-bin, NIU Jun-ling, et al. Dynamics of microbial community and the effect of inoculums on the composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(4):148-152.
- [7] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
LU Ru-kun. Agricultural chemical analysis method of soil[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [8] 鲍艳宇,陈佳广,颜丽,等.堆肥过程中基本条件的控制[J].土壤通报,2006,37(1):164-168.
BAO Yan-yu, CHEN Jia-guang, YAN Li, et al. Fundamental conditions of composting[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(1):164-168.
- [9] 吴银宝,汪植三,廖新伟,等.猪粪堆肥腐熟指标的研究[J].农业环境科学学报,2003,22(2):189-193.
WU Yin-bao, WANG Zhi-san, LIAO Xin-di, et al. Study on mature index of composting swine manure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(2):189-193.
- [10] Garcia C, T Hernandez, F Costa, et al. Phytotoxicity due to the agriculture use of urban wastes germination experiments[J]. *J Sci Food Agric*, 1992, 59:313-319.
- [11] 李艳霞,王敏健,等.有机固体废弃物堆肥的腐熟度参数及指标[J].环境科学,1999,20(2):98-103.
LI Yan-xia, WANG Min-jian, et al. The maturity indexes and standards of organic solid waste composting[J]. *Environmental Science*, 1999, 20(2):98-103.
- [12] 廖新伟,吴银宝,汪植三,等.堆体大小对猪粪堆肥影响和袋装堆肥的研究[J].农业工程学报,2003,19(4):287-290.
LIAO Xin-di, WU Yin-bao, WANG Zhi-san, et al. Effects of pile size and packaging on swine manure composting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2003, 19(4):287-290.
- [13] Zucconi F, Monaco A, Forte M, et al. Phytotoxins during the stabilization of organic matter[C]//Gasser JKR, editor. Composting of agricultural and other wastes. Barking: Elsevier, 1985:73-85.
- [14] 汤江武,吴逸飞,薛智勇,等.畜禽固废弃物堆肥腐熟度评价指标的研究[J].浙江农业学报,2003,15(5):293-296.
TANG Jiang-wu, WU Yi-fei, XUE Zhi-yong, et al. Study on evaluation index of maturity of livestock and poultry solid wastes[J]. *Acta Agriculture Zhejiangensis*, 2003, 15(5):293-296.
- [15] 罗泉达.猪粪堆肥腐熟度指标及影响堆肥腐熟因素的研究[D].福州:福建农林大学,2005.
LUO Quan-da. Studies on maturity indices and factors affecting maturity of swine manure composting[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2005.
- [16] Emeterio I J. Evaluation of city refuses compost maturity: a review[J]. *Biological Wastes*, 1989, 27:115-141.