

两种微生物菌剂对西番莲果渣高温堆肥腐熟进程的影响*

徐智^{1,2} 汤利^{1**} 李少明¹ 毛昆明¹ 郑毅¹

(¹ 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201; ² 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘要 研究了在西番莲果渣堆肥体系中加入两种微生物菌剂(福贝和榕风)后的温度、C/N、 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 的动态变化及对西番莲果渣堆肥产品品质的影响. 结果表明,在西番莲果渣中加入微生物菌剂能增加高温分解持续时间,加快物料 C/N 降低的速率,促进 NH_4^+ -N 向 NO_3^- -N 转化,加快西番莲果渣堆肥腐熟化进程. 添加福贝和榕风菌剂后,堆肥高温持续时间分别比对照(4 d)增加 7 d 和 8 d;腐熟后堆肥的 NO_3^- -N 浓度分别比对照增加 58.0% 和 64.2%. 添加菌种显著增加了西番莲果渣堆肥的 N、P、K 养分含量,降低了堆肥容重,提高了堆肥总孔隙度和持水孔隙度,改善了堆肥产品的品质. 两种菌剂间对西番莲果渣高温腐熟进程的影响没有显著差异,但福贝菌剂更有利于改善堆肥品质.

关键词 菌剂 西番莲果渣 堆肥

文章编号 1001-9332(2007)06-1270-05 中图分类号 S141.4 文献标识码 A

Effects of two microbial agents on high temperature composting of passion fruit marc. XU Zhi^{1,2}, TANG Li¹, LI Shao-ming¹, MAO Kun-ming¹, ZHENG Yi¹(¹College of Resources and Environmental Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; ²College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(6): 1270-1274.

Abstract: This paper studied the effects of microbial agents Faby (MF) and Rongfeng (MR) on the dynamic changes of temperature, C/N ratio, NH_4^+ -N and NO_3^- -N contents and compost quality in the composting process of passion fruit marc. The results showed that both MF and MR could accelerate the composting process. Compared with the control, these two agents extended the sustaining time of high temperature from 4 days to 11 and 12 days, promoted the decrease of C/N ratio, and the NO_3^- -N concentration increased by 58.0% and 64.2%, respectively. After the amendment of MF or MR, the total N, P and K contents, total porosity and water-holding porosity in the compost increased significantly, while the bulk density decreased. No significant difference was observed in the effects of MR and MF on the high temperature composting process of passionflower fruit marc, but MF was more beneficial to the improvement of compost quality.

Key words: microbial agent; passion fruit marc; compost.

1 引言

西番莲(*Passiflora caerulea* Linn.)为西番莲科常绿草质藤本植物,广泛分布于世界热带和亚热带地区,在我国云南热带地区有大量种植^[17].

近年来,随着国际、国内市场对西番莲果汁需求

量的不断上升,西番莲种植面积和产量也逐渐增加.但是,在生产西番莲果汁过程中留下的大量果渣(果渣占鲜果质量的60%)含有丰富的纤维素、蛋白质、有机酸等有机物和氮磷钾等矿物质以及一些病原微生物.以往西番莲果汁生产企业处理果渣的方式是随处丢弃,造成严重的环境污染和资源浪费.

目前,有机废弃物利用无害化和资源化的重要途径之一就是固体废弃物堆肥化^[15].由于西番莲果渣的蜡质层较厚、C/N 较高,堆肥腐熟较慢,无法达到堆肥化要求^[13].而牛粪具有较低的 C/N,且由于

* 引进国际先进农业科学技术计划项目(2006-G62)、中国科学院土壤与可持续发展国家重点实验室开放基金项目和云南省院校合作资助项目(2003YKS-02).

** 通讯作者. E-mail: tangli@yahoo.com

2006-05-23 收稿,2007-03-12 接受.

西番莲生产地有较多的养牛场,牛粪很多,极易获得,从成本和当地固体废弃物就地转化、资源化利用的角度考虑,可添加适宜比例的牛粪以调节堆肥物料的 C/N,加快西番莲果渣的堆肥化过程^[14]. 接种菌剂也是加快堆肥升温、促进发酵腐熟过程的有效措施. 本文结合云南地区西番莲生产实际,以西番莲废果渣为基本原料,在确定了适宜的牛粪添加比例研究基础上^[14],研究了两种不同微生物菌剂对西番莲果渣堆肥进程的影响效果,探索适合云南西番莲果渣快速腐熟的方法,以期为西番莲生产中果渣等废弃资源的无害化和再利用提供有效途径.

2 材料与方法

2.1 试验材料

以西番莲废果渣作为堆肥的基本原料,以当地较多且极易获得的牛粪作为调理剂,以榕风和福贝菌剂作为外源添加菌种. 西番莲果渣切成 <3 cm 的小块. 试验地设在云南绿色版纳生态食品有限公司江城基地(思茅市江城县桥头河),试验用的西番莲果渣来自公司基地工厂,牛粪来自基地附近的养牛场. 榕风菌剂由昆明榕风生物有限公司提供,福贝菌剂由中国科技开发院云南分院提供. 堆肥原料的主要成分见表 1.

表 1 主要堆肥原料的基本理化性质

Tab.1 Basic physical and chemical property of the compost material

堆肥原料 Compost material	pH	水分 Moisture (%)	总碳 Total C (%)	总氮 Total N (%)	C/N
西番莲果渣 Passion fruit marc	4.28	82.0	44.3	1.4	31.5
牛粪 Cow manure	7.21	63.5	35.3	1.9	18.2

2.2 试验设计

在堆肥发酵前,添加一定比例的生石灰调节西番莲废果渣 pH 值到 6.5 左右,牛粪添加比例(质量比)为 20%^[14],福贝和榕风菌剂分别按菌料比(质量比)1:100 和 1:500 添加. 每个堆肥处理堆体均设置成长、宽、高为 2.0 m × 1.5 m × 1.0 m 的长方体,通风方式为翻堆,堆肥开始第 1 周每 3 d 翻 1 次堆,之后每 1 周翻 1 次,直至堆肥腐熟. 试验处理见表 2,每处理 3 次重复.

2.3 研究方法

分别于堆肥后第 0、3、6、13、20、27、34、48、62 天采样. 在翻堆充分拌匀后,按 5 点采样法,每处理各重复每次采集 6 个混合样,其中 3 个混合样风干测定

表 2 西番莲果渣堆肥试验设计

Tab.2 Experimentation design of the passion fruit marc compost

处理 Treatment	物料 Material	C/N
CK	果渣 Passion fruit marc	31.5
MM	果渣 + 牛粪 Marc + cow manure	22.7
MF	果渣 + 牛粪 + 福贝菌剂 Marc + cow manure + Faby	22.7
MR	果渣 + 牛粪 + 榕风菌剂 Marc + cow manure + Rongfeng	22.7

全氮、全碳含量,另 3 个混合样鲜样现场保存于 4 ℃ 的冰柜中用于测定水溶性指标.

在各处理堆体 50 cm 深处分 3 个不同方向各插入 1 支温度计,每天 10:00 测定 1 次温度. 全氮、全碳含量测定按文献方法^[2]进行. 新鲜样品按固液比 1:10 (W/V 以干质量计),在 150 r · min⁻¹ 下振荡浸提 1 h,以 4 000 r · min⁻¹ 离心 20 min,过滤,滤液用于水溶性指标测定. NH₄⁺-N 采用靛酚蓝比色法测定,NO₃⁻-N 采用紫外分光光度法测定^[10]. 高温腐熟堆肥中的氮磷钾养分含量测定按文献^[7]方法进行,容重和孔隙度按连兆煌^[5]的方法测定.

3 结果与分析

3.1 西番莲果渣堆肥进程中的温度变化

由表 3 可知,不同处理的西番莲果渣堆肥都在 5 ~ 10 d 进入高温分解阶段(>50 ℃). 除纯果渣处理(CK)高温持续(>50 ℃)时间为 4 d 外,其它 3 个处理高温持续时间都超过 7 d,满足卫生标准的要求. 在西番莲果渣堆肥处理中,添加榕风和福贝菌剂的处理(MR 和 MF)与纯果渣处理(CK)相比,高温持续时间分别增加 8 d 和 7 d,达到环境温度的天数都缩短了 7 d;与添加牛粪处理(MM)相比,高温持续时间也分别增加 2 d 和 1 d,达到环境温度的天数都缩短了 2d. 由此可见,在西番莲果渣高温堆肥化

表 3 西番莲果渣堆肥过程中的温度变化

Tab.3 Changes of temperature during passion fruit marc composting

处理 Treatment	堆肥达到 50 ℃ 所需时间 Time needed to reach 50 ℃ (d)	>50 ℃ 持续时间 Sustaining period of over 50 ℃ (d)	达到环境温度 需要时间 Time needed to reach surrounding temperature(d)	最高温度 The highest temperature (℃)
CK	10	4 ± 0	59 ± 1	53 ± 1
MM	6	10 ± 1	53 ± 1	64 ± 1
MF	5	11 ± 1	51 ± 1	69 ± 1
MR	6	12 ± 1	51 ± 1	68 ± 1

过程中,在堆体中加入榕风和福贝菌剂,可以进一步缩短进入高温分解阶段的时间,延长持续的高温发酵时间.因此,在添加牛粪的基础上,加入榕风和福贝菌剂更有利于西番莲果渣的堆肥腐熟进程.

3.2 西番莲果渣堆肥进程中的 C/N 变化

由图 1 可知,不同堆肥处理的 C/N 在堆肥开始的前 3 d 都呈上升趋势,然后下降.纯果渣处理(CK)的 C/N 呈缓慢下降趋势,而添加微生物菌剂处理 MF 和 MR 的 C/N 下降较快,且明显快于 CK 和 MM,并达到显著性差异($P < 0.05$),但 MF 和 MR 间没有显著差异($P > 0.05$).说明在西番莲果渣堆肥过程中,添加一定量的微生物菌剂加快了果渣物料 C/N 降低的进程,促进了西番莲果渣的腐熟过程.

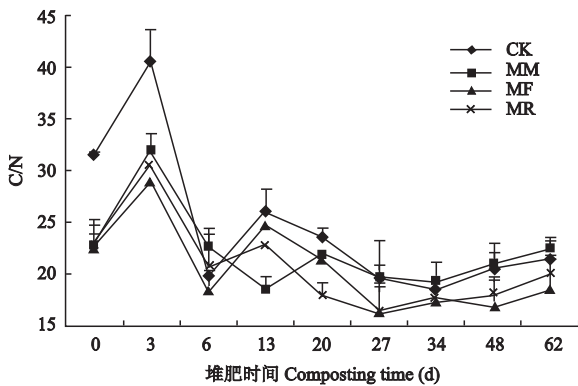


图 1 西番莲果渣堆肥进程中的 C/N 变化

Fig. 1 Changes of C/N ratio during passion fruit marc composting.

3.3 西番莲果渣堆肥进程中的 NH_4^+ -N 变化

在堆肥开始时,堆肥中的 NH_4^+ -N 浓度迅速增加,到 13 d 或 20 d 左右达到高峰,然后趋于下降(图 2).与 CK 相比,MF 和 MR 的 NH_4^+ -N 下降趋势更明显,堆肥结束时,两者 NH_4^+ -N 浓度显著低于 CK,CK、MM、MF、MR 的 NH_4^+ -N 浓度分别为 307.8、204.1、158.2、159.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

NH_4^+ -N 的缺失及减少是腐熟堆肥的标志^[4,9],当堆肥中的 NH_4^+ -N 浓度 $< 400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,被认为已经腐熟^[18].经过高温腐熟阶段后,各处理的 NH_4^+ -N 浓度都急剧下降,其中,处理 MF 和 MR 下降较快,与 CK 间有显著差异($P < 0.05$),但与 MM 间无显著差异($P > 0.05$),MF 和 MR 间无显著差异($P > 0.05$).因此,在西番莲果渣中加入榕风和福贝菌剂,有利于西番莲果渣的腐熟化进程,加快了果渣的腐熟,缩短了西番莲果渣堆肥化的时间.

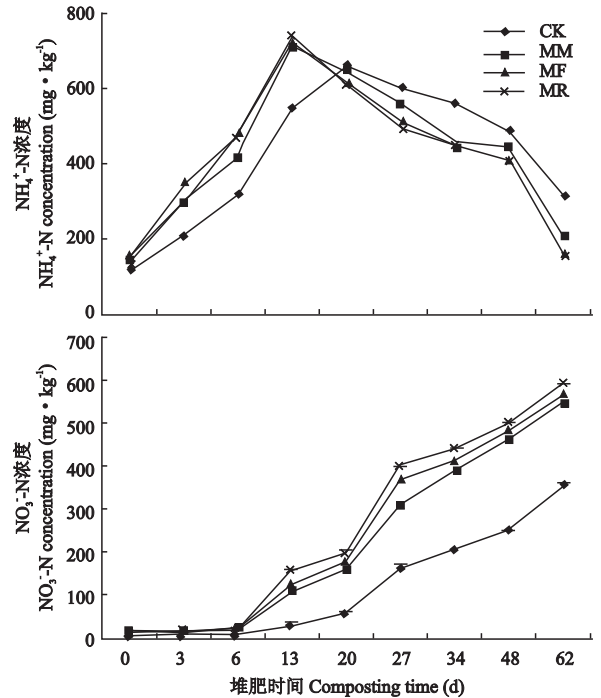


图 2 西番莲果渣堆肥进程中 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 浓度的变化

Fig. 2 Changes of NH_4^+ -N and NO_3^- -N concentrations during passion fruit marc composting.

3.4 西番莲果渣堆肥进程中的 NO_3^- -N 变化

由于前期的高温条件抑制了硝化细菌的生长活动,影响了硝化作用的顺利进行.堆肥开始时,所有处理的 NO_3^- -N 浓度都很低,接近于零(图 2).经过高温堆肥阶段以后(6~13 d),果渣堆肥中的 NO_3^- -N 浓度开始明显增加,且加入菌种处理 MF 和 MR 增加速度显著高于 CK.堆肥结束时,处理 CK、MM、MF 和 MR 的 NO_3^- -N 浓度分别为 358.8、550.7、567.0 和 589.2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,且 CK、MM、MF 和 MR 各处理间差异显著($P < 0.05$).MF 和 MR 的 NO_3^- -N 浓度分别比 CK 高 58.0% 和 64.2%,比 MM 高 12.0% 和 16.1%.说明加入微生物菌剂可促进硝化细菌的生长,有利于 NH_4^+ -N 向 NO_3^- -N 的转化.其中,榕风菌剂较福贝菌剂作用更明显.

3.5 微生物菌剂对西番莲果渣堆肥产品品质的影响

由表 4 可以看出,添加微生物菌剂处理 MF 和 MR 的堆肥中全氮、全磷和全钾含量显著高于纯果渣处理(CK)和牛粪处理(MM).MF 和 MR 的堆肥中全氮、全磷和全钾含量分别比 CK 高 76.2%、85.7%、36.0% 和 36.5%、57.1%、30.4%,比 MM 高 52.1%、49.2%、24.1% 和 17.8%、26.2%、19.0%.MF 的全氮、全磷、全钾含量较 MR 高,其中,全氮和

表 4 西番莲果渣高温堆肥产品的品质性状

Tab. 4 Quality properties of passion fruit marc composting

处理 Treatment	全氮 Total N (%)	全磷 Total P (%)	全钾 Total K (%)	容重 Bulk density ($g \cdot cm^{-3}$)	总孔隙度 Total porosity (%)	持水孔隙度 Water-holding porosity (%)
CK	0.63 ± 0.02a	0.49 ± 0.04a	2.50 ± 0.02a	0.49 ± 0.01b	39.42 ± 1.01a	35.12 ± 0.01a
MM	0.73 ± 0.02b	0.61 ± 0.03b	2.74 ± 0.18a	0.40 ± 0.02a	50.90 ± 0.41b	39.58 ± 0.54b
MF	1.11 ± 0.04d	0.91 ± 0.03d	3.40 ± 0.28b	0.39 ± 0.02a	51.73 ± 0.38b	39.96 ± 0.48b
MR	0.86 ± 0.04c	0.77 ± 0.09c	3.26 ± 0.29b	0.40 ± 0.01a	52.14 ± 0.41dc	40.14 ± 0.81b

全磷含量差异显著 ($P < 0.05$)。

加入微生物菌剂有降低果渣堆肥容重的趋势。加入微生物菌剂显著增加了腐熟后堆肥的总孔隙度和持水孔隙度,与 CK 相比, MF 和 MR 分别增加了 31.2%、13.8% 和 32.3%、14.3%;但与 MM 间无显著差异 ($P > 0.05$)。

4 讨 论

影响堆肥快速腐熟的因素很多,如:温度、pH 值、C/N 等。而堆肥是一个以微生物为媒介的生物发酵过程,微生物的活动对堆肥物料的分解起着重要作用,成为影响堆肥快速腐熟的重要因子之一。因此,在调节物料的 C/N、水分、pH 值等因素在最佳范围时,加入适当的微生物外源菌剂是加快堆肥腐熟发酵的重要手段。

温度是堆肥化过程中的一个重要指标。堆肥温度过低会导致有机物分解缓慢,堆肥温度过高则会抑制并杀死部分有益微生物,均不利于有机固体废弃物的堆肥化处理。有研究表明,堆肥过程中堆体温度在 55 ~ 60 °C 范围内微生物生物量和种类最为丰富,降解速度最快,达到 70 °C 时微生物种类最少,但杀灭病菌的效果最好^[6]。固体废弃物堆肥处理的最佳温度为 65 ~ 70 °C^[1]。堆体温度在 55 °C 条件下保持 3 d 以上或 50 °C 以上保持 5 ~ 7 d,是杀灭堆料中所含致病微生物、保证堆肥卫生指标合格和堆肥腐熟的重要条件^[8]。

西番莲果渣 pH 较低(4.2 左右),C/N 较高(32 左右),蜡质层较厚,这些都是西番莲果渣堆肥发酵的主要限制因子。本试验采用牛粪作为堆肥的添加材料,并不是因为牛粪是堆肥发酵的最理想添加材料,而是主要考虑:一方面,牛粪偏碱性,有助于调节西番莲果渣的酸性;另一方面,牛粪在试验当地容易获得,且 C/N 较低,用牛粪作添加剂,即可调节堆料的 C/N,又可减少堆肥成本,达到固体废弃物就地利用的效果。因此,笔者通过添加牛粪研究试验确定了当地促进西番莲果渣腐熟的适合比例^[14]。

本试验结果表明,在西番莲果渣中加入适宜比例牛粪的基础上添加微生物菌剂后,堆肥达到 50 °C 以上温度的时间明显缩短,持续高温在 10 d 以上,达到卫生标准^[8]。添加微生物菌剂和牛粪处理的 C/N 在堆肥腐熟后期的下降速度较快,这可能与堆料的初始 C/N^[16]和微生物剂种的快速分解作用有关。NH₃ 的挥发主要产生在堆肥前期的升温和高温期,添加 3% 的微生物复合菌剂对猪粪中 NH₃ 的挥发有一定的抑制作用,减轻了氮的损失,但高 pH 值加剧了 NH₃ 的挥发损失^[12]。由于堆肥中氮素含量相对较高,随着微生物快速生长和繁殖加速了有效氮的分解,并以 NH₄⁺-N 的形式快速积累,而后随着温度、pH 值的升高,积累的 NH₄⁺-N 以 NH₃ 的形式释放到大气中,也有部分 NH₄⁺-N 成为细胞组织合成过程中的氮源^[3]。另外,可能在添加的微生物菌剂中含有的一些硝化菌促进了堆肥体系中 NH₄⁺-N 向 NO₃⁻-N 的转化,而使堆体中的 NO₃⁻-N 浓度迅速上升。所以, NH₄⁺-N 浓度表现为先随全氮的分解而上升,后随 NH₄⁺-N 向 NO₃⁻-N 的转化而下降的趋势。

有研究表明,接种微生物对堆肥物质的分解作用浓缩了堆肥中的无机营养成分,而且由于水分的降低,使养分含量相对增加,有利于提高堆肥质量^[11]。本研究结果与此相同,即添加微生物菌剂后,堆肥的全氮、全磷、全钾含量上升。加入微生物菌剂或牛粪有降低堆肥容重、增加堆肥的总孔隙度和持水孔隙度的作用,这可能与添加菌种或牛粪后西番莲果渣的减量化效果较好有关。

5 结 论

1) 在西番莲果渣高温堆肥体系中加入外源微生物菌剂福贝和榕风延长了堆肥持续的高温发酵时间。但榕风与福贝间无显著差异。

2) 加入外源微生物菌剂福贝和榕风,有利于促进西番莲果渣堆肥高温腐熟后期 NH₄⁺-N 浓度的迅速降低,有利于西番莲果渣的腐熟化进程,加快了果渣的腐熟,缩短了堆肥化的时间。但榕风和福贝间无

显著差异。

3)在西番莲果渣高温堆肥体系中加入外源微生物菌剂福贝和榕风可以促进硝化细菌的生长,有利于 NH_4^+ -N向 NO_3^- -N的转化.其中,榕风较福贝作用明显。

4)在西番莲果渣高温堆肥体系中加入外源微生物菌剂福贝和榕风明显改善了堆肥的理化性状,添加福贝菌剂的堆肥氮、磷、钾养分含量显著高于添加榕风菌剂处理。

参考文献

- [1] Bach PD, Shoda M, Kubota H. 1984. Rate of composting of dewatered sewage sludge in continuously mixed isothermal reactor. *Journal of Fermentation Technology*, **62**: 285-292
- [2] Bao S-D (鲍士旦). 2000. Soil and Agricultural Chemistry Analysis. 3rd Ed. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- [3] He Q (贺琪), Li G-X (李国学), Zhang Y-N (张亚宁), et al. 2005. N loss and its characteristics during high temperature composting. *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), **24**(1): 169-173 (in Chinese)
- [4] Hirai MF, Chanyasak V, Kubota H. 1983. A standard measurement for compost maturity. *Biocycle*, **24**: 54-56
- [5] Lian Z-H (连兆煌). 1994. The Principle and Technology of Soilless Culture. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- [6] MacGregor ST, Miller FC, Psarianos KM, et al. 1981. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, **41**: 1321-1330
- [7] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China (中华人民共和国农业部). 2002. NY525-2002 Organic Fertilizer. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- [8] Ministry of Health of People's Republic of China (中华人民共和国卫生部). 1987. GB 7959-87 Sanitary Standard for the Non-hazardous Treatment of Night Soil. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- [9] Riffaldi R, Levi-Minzi R, Pera A, et al. 1986. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. *Waste Management & Research*, **4**: 387-396
- [10] State Environmental Protection Administration of China (国家环境保护总局). 1997. The Analysis Method of Water and Waste Water. 3rd Ed. Beijing: China Environmental Science Press. (in Chinese)
- [11] Sun X-H (孙晓华), Luo A-C (罗安程), Qiu D (仇丹). 2004. Effect of inoculant on composting process of swine manure. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), **10**(5): 557-559 (in Chinese)
- [12] Wang W-P (王卫平), Wang K-Y (汪开英), Xue Z-Y (薛智勇), et al. 2005. Effects of microbial agents on NH_3 emission during pig manure composting. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**(4): 693-697 (in Chinese)
- [13] Xu Z (徐智), Mao K-M (毛昆明), Tang L (汤利), et al. 2005. Effect of microbial strain rongfeng on the nitrogen dynamic changes in passion fruit marc high-temperature compost process. *Journal of Yunnan Agricultural University* (云南农业大学学报), **20**(6): 800-803 (in Chinese)
- [14] Xu Z (徐智), Tang L (汤利), Mao K-M (毛昆明), et al. 2006. Effect of cow manure on passion fruit marc high-temperature compost maturity. *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), **25**(2): 507-511 (in Chinese)
- [15] Yang G-Y (杨国义), Xia Z-W (夏钟文), Li F-B (李芳柏), et al. 2003. Effect of different bulking agents on the maturity of pig manure composting. *Soils and Fertilizers* (土壤肥料), (3): 29-33 (in Chinese)
- [16] Zhang Y-N (张亚宁), Li G-X (李国学). 2005. Effect of supplementary nitrogen chemical fertilizer on carbon changes and degradation of organic pollutants during composting. *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), **24**(1): 154-157 (in Chinese)
- [17] Zhao P (赵苹), Jiao Y (焦懿), Zhao H (赵虹). 1999. Current situation on passion research and its utilization prospect in China. *Resources Science* (资源科学), **21**(3): 77-80 (in Chinese)
- [18] Zucchini F, Forte M, Monac A, et al. 1981. Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle*, **22**: 27-29

作者简介 徐智,男,1980年生,博士研究生.主要从事生物有机肥的研制与应用研究. E-mail: xuzhi9910@126.com

责任编辑 张凤丽