

不同微生物菌剂处理对猪粪堆肥中氨挥发的影响*

王卫平¹ 汪开英² 薛智勇^{1**} 朱凤香¹

(¹浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 杭州 310021; ²浙江大学农业生物环境工程研究所, 杭州 310029)

【摘要】 研究不同微生物复合菌剂及添加比例对猪粪与木屑混合(鲜重比为鲜猪粪:木屑 9:1)堆肥过程中 NH₃ 挥发的影响。结果表明,在堆肥过程中, NH₃ 挥发主要产生在堆肥前期 15 d 的升温和高温期,添加 3% 的微生物复合菌剂 1、2 和 3 对猪粪堆肥中 NH₃ 挥发都有一定的抑制作用,减轻氮素损失与堆肥恶臭,添加 5% 复合菌剂 1 有显著抑制作用 ($P < 0.05$)。

关键词 猪粪 堆肥 微生物菌剂 氨

文章编号 1001-9332(2005)04-0693-05 **中图分类号** S141.4 **文献标识码** A

Effects of microbial agents on NH₃ emission during pig manure composting. WANG Weiping¹, WANG Kaiying², XUE Zhiyong¹, ZHU Fengxiang¹ (¹Institute of Environment Resources and Soil Fertilizer, Zhejiang Agricultural Academy of Sciences, Hangzhou 310021, China; ²Institute of Agricultural Bio-Environment Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(4):693~697.

This paper studied the effects of different mixed microbial agents on the NH₃ emission during pig manure-sawdust (9:1, fresh w/w) composting. The results showed that the NH₃ emission was mainly occurred at the high temperature (>50 °C) period during the early 15 days of composting. The addition of 3% mixed microbial agents 1, 2 and 3 had a definite inhibitory effect on the NH₃ emission, and the effect of 5% mixed microbial agent 1 was significant ($P < 0.05$).

Key words Pig manure, Composting, Microbial agent, NH₃.

1 引言

伴随效益农业而迅速发展的规模化、集约化畜禽养殖业所产生的粪、水、气等污染物给生态环境带来了前所未有的压力,生态承载能力作为评价畜牧业可持续发展的指标逐渐受到广大研究者的认同^[12]。堆肥是目前常用的无害化、资源化好氧生物发酵处理畜禽粪的有效方法,而堆肥基质的腐熟主要通过多种微生物分解和转化有机物质来完成。但自然堆肥初期微生物量少,需要一定时间才能繁殖起来^[1,2]。人工加入高效微生物菌剂可以调节菌群结构、提高微生物活性,从而提高堆肥效率、缩短发酵周期、提高堆肥制品质量^[3]。然而,国内外过去的研究往往注重单一菌种的开发,对不同菌种间的相互关系研究不够。开发的菌种大多属于单一种类,而在堆肥复合微生物菌剂的研究和开发方面所做的工作很少。

畜禽粪中有机氮的含量较高,由于微生物的分解和转化作用,部分 N 在堆肥过程中以 NH₃ 的形式挥发而损失,据研究表明,粪便堆肥中 NH₃ 的损失高达 79%^[8]。NH₃ 的挥发会对人畜产生不利影响,影响人畜生理机理,刺激嗅觉神经与三叉神经,

对呼吸中枢发生作用,影响人畜的呼吸功能,危害人畜健康^[9,11,21]。而且大多数 NH₃ 将扩散到大气中,增强大气中 N 的沉降,造成酸雨,导致周围耕地土壤酸化和水体富营养化等环境问题,规模化畜禽养殖场粪水排放已成为农业环境中重要的恶臭点源。同时,由于大量 NH₃ 的挥发,也降低了堆肥的农用价值,因而减少和控制畜禽粪处理过程中 NH₃ 等臭气的排放是实现优质、高效、无污染的堆肥及农业生态环境保护的迫切需要。

堆肥过程中氮的转化与臭气、肥效和氮营养损失相关。在堆肥中, NH₃ 的产生和挥发与堆肥温度、pH 值、堆肥中微生物种类及分布变化有关^[17]。添加外源性微生物来加速堆肥腐熟过程等,是当前这一领域研究的热点之一。赵京音^[22]和胡尚勤^[3]等研究表明,鸡粪堆制过程中接种微生物菌剂可减少 40%~85% NH₃ 等臭气挥发。吴银宝等^[15]研究了不同调理剂、不同通风方式及 C/N 对猪粪堆肥过程中 NH₃ 的挥发的影响^[15]。庞金华等^[10]研究表明,微生物菌剂对猪粪堆肥中有机质和腐殖质的分解有

* 浙江省重大科技攻关资助项目(021102538)。

** 通讯联系人。

2004-05-02 收稿, 2004-11-17 接受。

调控作用^[10]. 添加微生物制剂可以调控堆制过程中的碳氮代谢, 使碳类物质降解为芳香小分子有机物, 减少氮类物质分解为氨氮后以气态挥发损失来控制臭味的产生. 本文研究应用酵母菌、放线菌和芽孢杆菌组成的不同复合微生物菌剂及添加比例对猪粪堆肥生产中 NH_3 挥发的影响.

2 材料与方法

2.1 试验材料

2.1.1 堆肥 堆肥试验于 2003 年 11~12 月在杭州沃土有机肥有限公司进行. 鲜猪粪采自杭州萧山钱江种猪养殖场, 木屑购自杭州一个木材加工厂. 试验用猪粪、木屑的主要成分如表 1.

表 1 堆肥原料的主要成分

Table 1 Initial conditions and composition of composting materials

原料 Material	含水率 Moisture content (%)	全 N Total N (%)	有机碳 Organic carbon (%)	碳氮比 C/N	全 K Total K (%)	全 P Total P (%)	有机质 Organic matter (%)
猪粪 Pig manure	68.32	2.42	30.8	12.73	3.235	1.857	53.05
木屑 Sawdust	15.56	0.14	49.1	66.78	0.361	0.03	67.84

2.1.2 菌剂 试验用复合发酵菌剂由酵母菌、放线菌和芽孢杆菌复配研制而成, 其中复合菌剂 1 由酵母菌、放线菌和芽孢杆菌按一定比例组成, 复合菌剂 2 由酵母菌和芽孢杆菌按一定比例组成, 复合菌剂 3 由酵母菌和放线菌按一定比例组成. 所有菌剂由浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所提供, 在堆肥开始时均匀混入堆肥原料中.

2.3 试验设计

堆肥的堆体基部长、宽分别为 1.9 m 和 1.2 m, 堆高 0.8 m. 堆肥处理中鲜猪粪与调理剂的重量比为 9:1, 堆肥开始时, 调节混合物料的水分含量至 63%~68%. 堆肥采用人工翻堆, 每隔 3 d 1 次. 试验设计方案如表 2.

表 2 试验处理设计方案

Table 2 Experiment design

堆肥编号 Compost No.	试验处理 Test treatments
I	猪粪 + 木屑 + 1% 复合菌剂 1 Pig manure + Sawdust + 1% Microorganism agent 1
II	猪粪 + 木屑 + 3% 复合菌剂 1 Pig manure + Sawdust + 3% Microorganism agent 1
III	猪粪 + 木屑 + 5% 复合菌剂 1 Pig manure + Sawdust + 5% Microorganism agent 1
IV	猪粪 + 木屑 + 3% 复合菌剂 2 Pig manure + Sawdust + 3% Microorganism agent 2
V	猪粪 + 木屑 + 3% 复合菌剂 3 Pig manure + Sawdust + 3% Microorganism agent 3
CK	猪粪 + 木屑 Pig manure + Sawdust

2.4 采样及测定

2.4.1 样品采集 堆肥当天及以后每 5 天采样一次. 在每个堆的前侧挖开高和宽分别为 0.7 m 和 0.4 m 的取样剖面, 从

上到下垂直取样约 3~5 cm 厚, 每次取样量约 1 kg.

2.4.2 温度测定 每天 8:30 (翻堆前) 通过从堆体顶部插入 (25 cm 深) 的表式热敏温度计记录堆肥温度, 同时测量环境温度.

2.4.3 样品测定 样品水分、pH、有机质、全氮、全磷和全钾的测定按 NY525-2002 中所述方法进行, 鲜样测定. 氨气 (NH_3) 采用 Pac III 便携式 NH_3 测定仪测定. 数据处理应用 SAS 统计软件, 对处理间不同参数进行方差分析.

2.4.4 种子发芽指数 (Germination index, GI) 测定 种子发芽指数 (GI) 测定参考汤江武^[13] 所述方法略加改进, 培养皿 (直径 9 cm) 内先垫一张滤纸, 均匀放入 20 颗黄瓜种子 (津春 4 号), 然后加入发酵猪粪的浸提液 (在样品 10 g 中加入 100 ml 蒸馏水搅拌均匀浸泡 30 min) 5.0 ml, 在 25 °C 黑暗的培养箱中培养 48 h, 测定发芽率和根长, 每个样品重复 3 次, 同时用蒸馏水作为对照, 用以下公式 [$\text{GI} = (\text{处理平均发芽率} \times \text{处理平均根长}) / (\text{对照平均发芽率} \times \text{对照平均根长}) \times 100\%$] 计算种子的发芽指数^[23].

3 结果与分析

3.1 堆温的变化

堆肥开始后各处理的温度都迅速升高 (图 1、2), 除对照组外各处理在第 10 天后进入高温分解阶段 ($> 50\text{ }^\circ\text{C}$), 在第 15 天达到 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 以上, 本研究大于 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 的堆温持续了 25 d, 符合粪便无害化卫生标准^[6]. 添加 3% 和 5% 微生物菌剂 1 的堆温在 20 d 后下降, 而添加 1% 微生物菌剂 1 和对照组在 25 d 后下降, 表明增加一定比例的微生物菌剂 I 能提高堆肥发酵温度和促进腐熟 (图 1). 从图 2 可知, 添加 3% 的微生物菌剂 1、2 和 3 在 20 d 后堆温均开始下降, 而菌剂 1 处理的堆温下降缓慢, 菌剂 2 和 3 处理的堆温则快速下降, 表明由酵母菌、放线菌和芽孢杆菌复配的菌剂 1 处理的堆肥中生物活性仍然较高.

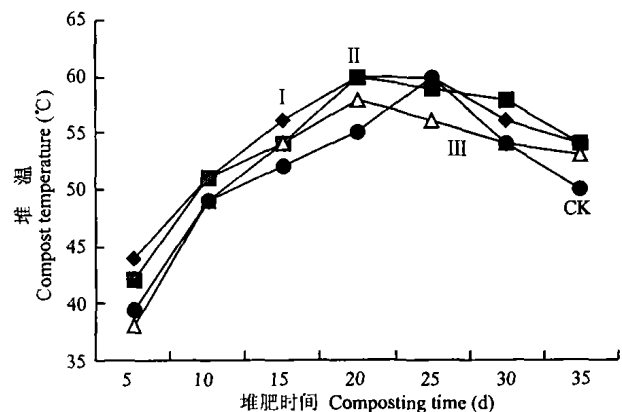


图 1 不同比例复合菌剂处理堆肥温度变化

Fig. 1 Changes of temperature by different rate of microorganism agent during composting.

I. 堆肥处理 1 号 Compost 1; II. 堆肥处理 2 号 Compost 2; III. 堆肥处理 3 号 Compost 3; IV. 堆肥处理 4 号 Compost 4; V. 堆肥处理 5 号 Compost 5; CK: 对照 Control. 下同 The same below.

3.2 堆肥 pH 变化

堆肥过程中 pH 值均维持在 8.0~9.5 之间,且呈先弱降后快速升高再弱降趋势,到堆肥结束时 pH 值仍在 9.0~9.5 之间.从图 3、4 可知,各堆肥处理的 pH 值在 20 d 时到达最大值,在发酵降温阶段 pH 值降低并趋于平缓,其中添加 5‰ 微生物菌剂 1 堆肥处理的 pH 值最低,而添加 3‰ 的微生物菌剂 1、2 和 3 与对照相比 pH 值差异不大.

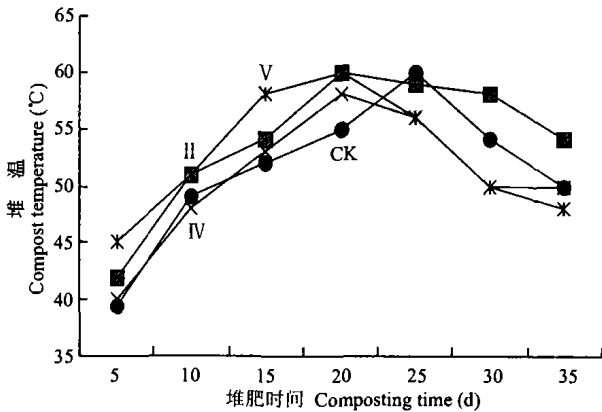


图 2 不同复合菌剂处理堆肥温度变化
Fig.2 Changes of temperature by microorganism agent during composting.

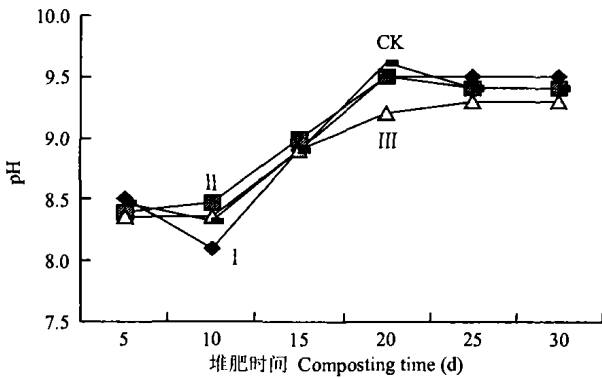


图 3 不同比例复合菌剂处理堆肥 pH 变化
Fig.3 Changes of pH by different rate of microorganism agent during composting.

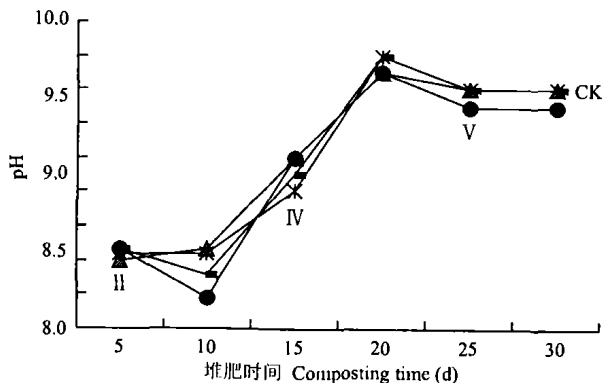


图 4 不同复合菌剂处理堆肥 pH 变化
Fig.4 Changes of pH by microorganism agent during composting.

3.3 堆肥发酵过程中氨气(NH₃)的变化

本试验结果(图 5、6)表明,微生物菌剂能显著

影响堆肥过程中 NH₃ 的挥发.从图 5、6 可知,在整个堆肥发酵过程中 NH₃ 的最高挥发量是在堆肥的升温阶段后期,即在堆肥发酵的 8~20 d,并在堆肥前期 10 d 内 NH₃ 挥发迅速上升,这与吴银宝^[16]和王岩^[14]的研究结果基本一致.除对照外,其余处理在 35 d 时 NH₃ 的挥发量小于 20 mg·kg⁻¹,而添加 5‰ 微生物菌剂 1 处理在 30 d 时 NH₃ 的挥发量已降至 20 mg·kg⁻¹ 以下.添加 5‰ 微生物菌剂 1 处理的堆肥中 NH₃ 的挥发比添加 1‰ 微生物菌剂 1 和对照显著减少($P < 0.05$),添加 3‰ 微生物菌剂 1、2 和 3 与对照相比有差异,但不显著.堆肥发酵过程中, NH₃ 的挥发是一个连续的过程,而翻堆是堆肥好氧发酵的必需措施之一,翻堆具有降温、脱水、通气等多种作用,但同时 NH₃ 的释放也加快,翻堆时间、次数也是 N 损失应考虑的因素之一.

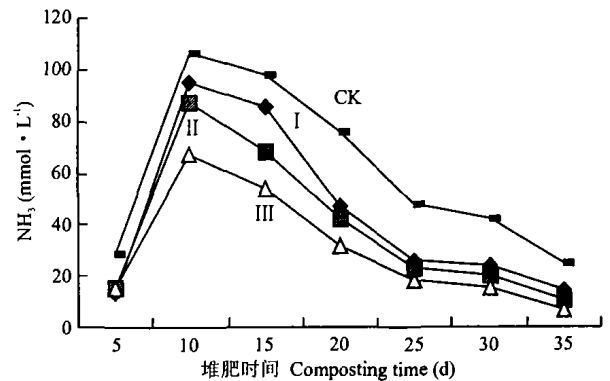


图 5 不同比例复合菌剂处理堆肥 NH₃ 变化
Fig.5 Changes of NH₃ by different rate of microorganism agent during composting.

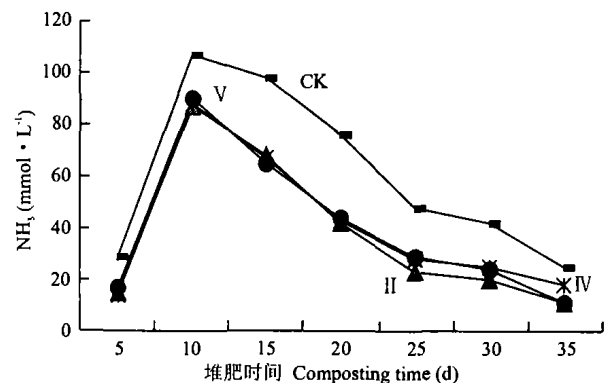


图 6 不同复合菌剂处理堆肥 NH₃ 变化
Fig.6 Changes of NH₃ by different microorganism agent during composting.

3.4 全 N 的变化

堆肥过程中全 N 呈阶段性变化,且变化规律与堆温呈负相关.堆肥前 15 d,全 N 显著减少,这是由于此过程中微生物大量繁殖,新陈代谢旺盛,温度急剧升高,有机 N 强烈分解产生大量的 NH₃ 挥发而损失,且使堆肥 pH 逐渐升高.从图 7、8 可知,添加

5‰微生物菌剂1堆肥处理在15 d后,全N增加,添加3‰微生物菌剂1堆肥处理在20 d后,全N增加,而添加1‰微生物菌剂1堆肥处理和对照组在25 d后,全N增加.添加3‰微生物菌剂1、2和3堆肥处理一样在20 d后,全N增加.堆肥前20 d,全N明显减少,这是由于此过程中有机N强烈分解产生大量的NH₃,并在碱性环境中挥发而损失(图7、8),在堆肥降温阶段全N增加是因为在堆肥发酵后期,NH₃的挥发减少,有机质不断分解成CO₂和H₂O而散失,水分下降速率加快,总干物质重的下降幅度明显大于全氮下降幅度,最终使得干物质中全N含量相对增加^[2].

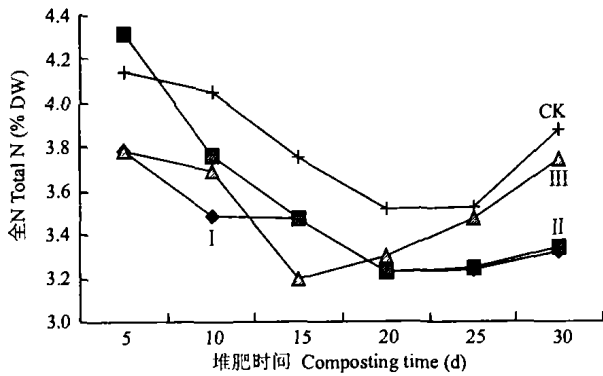


图7 不同比例复合菌剂处理堆肥全N变化
Fig. 7 Changes of total N by different rate of microorganism agent during composting.

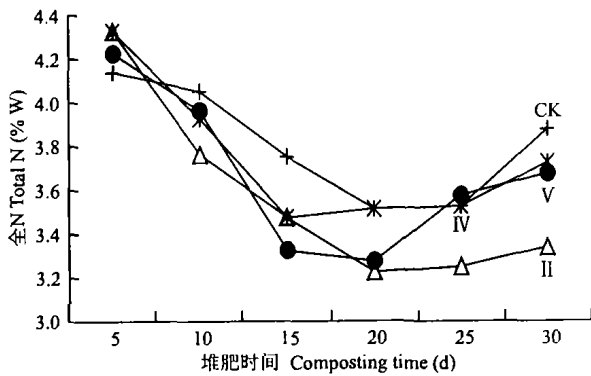


图8 不同复合菌剂处理堆肥全N变化
Fig. 8 Changes of total N by microorganism agent during composting.

3.5 种子发芽指数的影响

一般来讲,当堆肥水浸提液 Cress 种子发芽指数(GI)达到或超过 50%时,就可以认为堆肥已基本腐熟,对于种子的发芽基本无毒性^[11], Garcia 等^[1]认为,堆肥水溶性物质日趋减少标志着堆肥渐趋腐熟.汤江武等^[13]的研究表明,津春4号黄瓜种子较适宜作为猪粪堆肥腐熟度生物指标的指示种子.除堆肥3外,其余处理的发芽指数由0 d的72%快速下降到5 d的45%以下,此后逐渐上升.从图9、10可知,除堆肥中添加1‰微生物菌剂1处理和对照

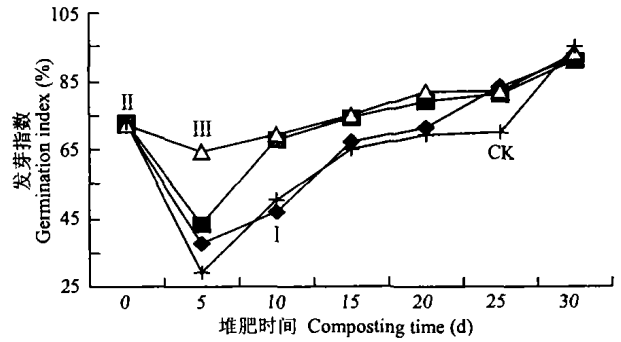


图9 不同比例复合菌剂处理堆肥发芽指数变化
Fig. 9 Changes of germination index by different rate of microorganism agent during composting.

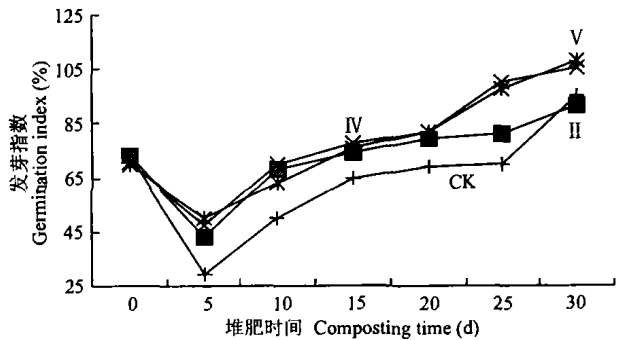


图10 不同复合菌剂处理堆肥发芽指数变化
Fig. 10 Changes of germination index by different microorganism agent during composting.

外,其余处理在15 d后发芽指数都高于70%.添加1‰微生物菌剂1处理要在堆肥20 d发芽指数高于70%,而对照要在堆肥发酵达25 d发芽指数才达70%.当前,堆肥腐熟时间过长仍是我国堆肥生产中面临的难题之一,也是影响我国堆肥工厂化生产的重要因素.研究表明,在堆肥中添加微生物菌剂可以加速堆肥基质的酵解,有效提高堆肥温度、种子发芽指数,能明显加快堆肥腐熟进程^[18-20].

4 结 语

堆肥过程中NH₃挥发主要在发酵阶段后期和高温期(堆肥前期15 d),试验中添加的微生物菌剂对猪粪堆肥过程中NH₃挥发有一定抑制作用,其中由酵母菌、放线菌和芽孢杆菌研制的复合微生物菌剂1的抑氨效果显著($P < 0.05$).

堆肥中添加3‰微生物复合菌剂1、2和3均可缩短发酵周期,在发酵达到15 d后堆肥基本腐熟,比对照提前了10 d.对好氧堆肥中微生物优势种群变化分析表明,在整个堆肥过程中,微生物优势种群呈动态变化,开始阶段的主要作用菌群是细菌数量和种类较放线菌、霉菌及酵母菌多,对发酵升温起主要作用,芽孢杆菌是堆肥过程中的优势菌种^[4,5,7];堆肥高温阶段放线菌数量和种类都增加,链霉菌、小

多孢菌和高温放线菌是高温阶段的优势菌种,本文选用耐高温、生长快的酵母菌、放线菌和芽孢杆菌特异菌株按一定比例复配的复合发酵菌剂 1、2、3,分别接种猪粪堆肥发酵,显示由三菌复配的微生物复合菌剂 1 腐熟效果更好。

本试验表明,猪粪堆肥接种微生物菌剂可以加快发酵腐熟,但不同粪源堆肥选择更适宜的微生物菌剂及其添加量尚待进一步研究探索。

参考文献

- Garcia C, Hernandez T, Costa F, et al. 1992. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. *Comm Soil Sci Plant Anal*, 23(13~14):1501~1512
- Huang G-F(黄国锋), Zhong L-J(钟流举), Zhang Z-T(张振钊), et al. 2003. Physicochemical changes and maturity evaluation of solid organic waste compost. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(5):813~818(in Chinese)
- Hu S-Q(胡尚勤), Zhou K-X(周开孝), 1996. A research on elimination of the bad smell pollution to eco-environment from poultry dung. *Eco-Agric Res* (生态农业研究), 4(2):35~37(in Chinese)
- Juteau P, Larocque R, Rho D, et al. 1999. Analysis of the relative abundance of different types of bacteria capable of toluene degradation in a compost biofilter. *Appl Environ Microbiol*, 65(6):863~868
- Kowalchuk GA, Naoumenko ZS, Derikx PJJ, et al. 1999. Molecular analysis of ammonia-oxidizing bacteria of the beta subdivision of the class Proteobacteria in compost and composted materials. *Appl Environ Microbiol*, 65(2):396~403
- Libmond S, Savoie JM. 1993. Degradation of wheat straw by a microbial community-stimulation by a polysaccharidase complex. *Appl Environ Microbiol*, 60(4):567~574
- Liu T(刘婷), Chen Z-L(陈朱蕾), Zhou J-X(周敬宜). 2002. Study of variation of microbes M in night soil aerobic composting. *J Huazhong Univ Sci & Tech* (Urban Sci Edition) (华中科技大学学报·城市科学版), 19(2):57~59(in Chinese)
- Martins O, Dewes T. 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. *Biores Technol*, 42:103~111
- Olesen JE, Sommer SG. 1993. Modelling effects of wind speed and surface cover on ammonia volatilization from stored pig slurry. *Atmos Environ*, 27A(16):2567~2574
- Pang J-H(庞金华), Cheng P-H(程平宏), Yu Y-Y(余延园), 1999. Effects of two microbiological formulations on the compost of pig excrement. *Agro-Environ Prot* (农业环境保护), 17(2):71~73(in Chinese)
- Rom HB, Dahl PJ, Bottcher RW, et al. 1997. Quantification of ammonia balance in fattening pig units with totally slatted floors. Proceedings of the Fifth International Symposium. Bloomington, Minnesota, USA. 29~31 May, 1997. 71~77
- Shi G-H(史光华), Sun Z-J(孙振钧), Gao J-X(高吉喜). 2004. Comprehensive assessment on sustainable development of livestock production. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(5):909~912(in Chinese)
- Tang J-W(汤江武), Wu Y-F(吴逸飞), Xue Z-Y(薛智勇), et al. 2003. Study on evaluation index of maturity of livestock and poultry solid wastes. *Acta Agric Zhejiang* (浙江农业学报), 15(5):293~296(in Chinese)
- Wang Y(王岩), Wang W-L(王文亮), Huo X-T(霍晓婷). 2002. Study on composting treatment of livestock waste II. Decomposition of composting materials and emission of ammonium. *J Henan Agric Univ* (河南农业大学学报), 36(3):36~39(in Chinese)
- Wu Y-B(吴银宝), Wang Z-S(汪植三), Liao X-D(廖新佛) et al. 2001. Study on the odor production and control of swine manure composting. *Tran CSAE* (农业工程学报), 17(5):82~87(in Chinese)
- Wu Y-B(吴银宝), Wang Z-S(汪植三), Liao X-D(廖新佛), et al. 2003. Study on mature index of composting swine manure. *J Agro-Environ Sci* (农业环境科学学报), 22(2):189~193(in Chinese)
- Wu Y-B(吴银宝), Wang Z-S(汪植三), Liao X-D(廖新佛), et al. 1999. Advances in the research of swine manure composting. *Ecol Domestic Animal* (家畜生态), 20(3~4):221~227(in Chinese)
- Shen G-X(沈根祥), Yuan D-W(袁大伟), Lin X-F(凌霞芬), et al. 1999. Application of Hsp inoculum during composting of livestock manure. *J Agro-Environ Sci* (农业环境保护), 18(2):62~64
- Xi B-D(席北斗), Liu H-L(刘鸿亮), Huang G-H(黄国和), et al. 2003. Study on inoculation technology of complex microbial community for composting enhancement. *Environ Poll Prot* (环境污染与防治), 25(5):262~264(in Chinese)
- Yang H(杨虹), Li D-T(李道棠), Zhu Z-Y(朱章玉). 1999. Strain selection and technology of thermophilic fermentation on solid pig manure. *Shanghai Environ Sci* (上海环境科学), 18(4):170~172(in Chinese)
- Zhang R, Day DL, Christianson LL. 1994. A computer model for predicting ammonia release rates from swine manure pits. *J Agric Eng Res*, 58:223~229
- Zhao J-Y(赵京音), Yao Z(姚政). 1995. Study on odor control during chicken manure compost by microbial preparation EM. *Rural Eco-Environ* (农村生态环境), 11(4):54~56(in Chinese)
- Zucooni F, Forte M, Monac A, et al. 1981. Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle*, 22:27~29

作者简介 王卫平,男,1963年生,硕士,副研究员。主要从事农业微生物资源及应用研究,发表论文10多篇。E-mail: weipingw119@sohu.com
