

物料 C/N 对鸡粪锯末高温堆肥腐熟过程主要指标的影响研究

陈雅娟¹ 霍培书¹ 程旭艳¹ 尚晓瑛¹ 李季^{1*} 王小兰²

(1. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193;2. 山西省气象科学研究所 太原 030002)

摘要 用鸡粪与锯末为原料进行高温好氧堆肥试验,研究物料 C/N 为 15、25 和 40 时对鸡粪锯末高温好氧堆肥过程中堆体温度、pH、碳素、氮素和碳氮比等主要指标的影响,以期探讨鸡粪锯末的不同配比对碳素和氮素转化的影响,为优化堆肥提供理论依据。结果表明:1)鸡粪与锯末在 C/N=25 时达到的温度最高为 66 °C,达到最高温度所需最短时间为 3 d,C/N=15 的处理次之。2)堆肥过程中各处理的 pH 变化基本一致,都是先上升后下降的趋势。3)在堆肥结束时,各处理的全碳量均有所降低。T2 和 T3 处理全氮含量呈不断升高的趋势,T1 处理全氮含量呈先下降后上升的趋势。在堆肥结束时,T1 处理全氮含量有所降低。T1、T2 和 T3 处理的 C/N 在堆肥结束时都有所下降,其中 T1 表现为先升高后下降。4)堆肥结束时,各处理的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量分别比最高时降低了 44.12%、74.37% 和 56.83%, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 质量分数分别比开始时增加了 855.72、731.68 和 532.23 mg/kg。综合判断,物料碳氮比为 25 时有利于鸡粪锯末高温堆肥中碳素和氮素的转化。同时鸡粪中添加锯末对 C/N=15 的堆体温度起到一定的正面影响。

关键词 鸡粪锯末堆肥; 碳氮比; 铵态氮; 硝态氮

中图分类号 X 705

文章编号 1007-4333(2012)05-0118-06

文献标志码 A

Effects of different C/N of composting materials on main indexes of high-temperature aerobic composting of chicken manure and sawdust

CHEN Ya-juan¹, HUO Pei-shu¹, CHENG Xu-yan¹, SHANG Xiao-ying¹, LI Ji^{1*}, WANG Xiao-lan²

(1. College of Agricultural Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Institute of Meteorological Science in Shanxi Province, Taiyuan 030002, China)

Abstract Using chicken manure and sawdust as materials, the high-temperature aerobic composting was conducted to study the effect of different proportion of chicken manure and sawdust on carbon and nitrogen transformation. The initial carbon-nitrogen ration of composting materials were 15, 25 and 40, respectively, labeled as T₁, T₂, and T₃. The results showed that: 1) When the initial C/N was 25, the compost reached the highest temperature 66 °C after 3 days. 2) The pH value of T₁, T₂ and T₃ appeared to have the same trend of rise first and then fall. 3) When the compost was maturity, total carbon of T₁, T₂, and T₃ were declined somehow. During composting, total nitrogen of T₂, and T₃ showed a trend of increase, but T₁'s total nitrogen decreased at first, but increased later, then decreased slightly at last. At the end of composting, the C/N of T₁, T₂, and T₃ all decreased somehow, but the T₁ had a special trend of increase first and decrease later. 4) When the compost was maturity, the $\text{NH}_4^+\text{-N}$ of T₁, T₂, and T₃ decreased 44.12%, 74.37%, 56.83% respectively, and the $\text{NO}_3^-\text{-N}$ increased 855.72, 731.68 and 532.23 mg/kg respectively. The above results indicated

收稿日期: 2012-03-06

基金项目: 科技部“十一五”支撑计划项目(2006BAD10B09); 2008 粤港关键领域重点突破项目(2009205200031); 广东省 2008 年省部产学研结合项目(2008A090400001); 农业部公益性行业科研专项(200803033) Chinese University Scientific Fund(2009TD15); 吉林省科技发展计划项目(20115030)

第一作者: 陈雅娟, 硕士研究生, E-mail: yaya576@126.com

通讯作者: 李季, 教授, 主要从事生态工程与废弃物利用研究, E-mail: lijij@cau.edu.cn

that co-composting of chicken manure and sawdust in C/N of 25 is a favorite condition to the transformation of carbon and nitrogen; adding sawdust into chicken manure had an objective effect on temperature of co-composting in low C/N of 15.

Key words composting of chicken manure and sawdust; carbon-nitrogen ratio; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$

我国是家禽养殖大国,随着集约化、规模化养殖业的迅猛发展,家禽粪便的排放使我国的生态环境污染问题日益严重^[1],同时也使我国农村面源污染问题日益突出^[2]。家禽粪便中含有作物生长所必需的营养元素,是优质的有机肥源。在农业生产中,家禽粪便可以提高土壤肥力,促进作物生长^[3]。因此,对家禽粪便进行无害化处理,显得尤为重要。如何高效有利地处理家禽粪便,是我国家禽养殖业面临的巨大挑战^[4]。堆肥是实现有家禽粪便无害化和资源化处理的重要途径^[5]。堆肥过程中的微生物可降解粪便中的有毒有害物质,同时可利用生物热杀灭粪便中虫卵和病菌^[6]。但粪便堆肥存在着严重的氮素损失现象,不仅带来新的环境污染问题,而且降低了其中的养分含量^[7]。锯末的营养元素全面,不但没有偏氮缺磷和钾的缺点,而且质地疏松,透气和透水性好。本研究基于锯末透气、透水性强特点,通过研究鸡粪与锯末不同配比堆肥的腐熟进程,揭示不同配比堆肥进程中主要指标的变化规律,以期探讨不同 C/N 对堆肥进程中碳素和氮素转化的影响,为优化堆肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 装置

试验所采用的装置为北京沃土天地生物有限公司自行研制的堆肥反应器。该堆肥反应器包括 3 个部分:反应器罐体,检测系统和控制系统(图 1),为密闭的卧式好氧堆肥装置,标准容积为 100 L,其反

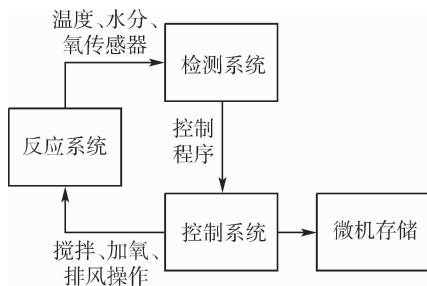


图 1 试验所用堆肥反应器系统原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of lab-based composting reactor system

应室直径 48 cm,高 50 cm。

1.2 原料

鸡粪取自中国农业大学鸡场;锯末取自北京市海淀区永丰木器厂。各物料性质见表 1。

表 1 堆肥原料的基本性质

Table 1 Properties of composting materials

堆肥原料	全碳/(g/kg)	全氮/(g/kg)	C/N	含水率/%
鸡粪	28.2	2.1	13.4	49.0
锯末	52.7	0.4	131.8	16.4

1.3 试验设计

堆肥前,物料水分调节在 60%左右。堆肥方式为搅拌加通风翻堆方式,每 3 d 翻堆一次,如表 2 所示,本试验共 3 个处理,每个处理设置 3 个重复。

表 2 不同 C/N 条件下堆肥的试验设计方案

Table 2 Experimental design of different C/N

处理	堆肥原料	C/N	堆肥方式	通风时间/(min/h)	通风量/($\text{m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^3)$)
T1	鸡粪+锯末	15	搅拌+通风	3	0.04
T2	鸡粪+锯末	25	搅拌+通风	3	0.04
T3	鸡粪+锯末	40	搅拌+通风	3	0.04

分别于堆肥的第 0、3、6、9、12、15、18、21、37 和 45 d 采样。堆肥充分混匀后,按 5 点采样法,即分别在堆体的前、后、左、右及中心采集样品约 200 g。每处理采样后储存于 4 °C 冰箱中待用。

指标测定:温度通过 PT100 铂电极在线监测,测温点位于堆体垂直方向中心;有机碳用重铬酸钾容量法-外加热法^[8];全氮采用硫酸-双氧水消煮,凯氏定氮法^[9];氨氮采用氯化钾浸提-靛酚蓝比色法^[9];硝态氮采用硫酸钙浸提-酚二磺酸比色法。

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中的温度变化

由图 2 可知,各处理堆肥温度变化主要包括初始升温、高温和后熟降温 3 个阶段。处理 T1、T2 和 T3 堆肥温度达到 50 °C 的时间分别为 3、2 和 7 d,最

高温度分别为 54、66 和 51 °C,堆温 ≥ 50 °C 的保持时间分别为 8、9 和 3 d,从第 10 天开始分别都进入到后熟降温阶段。其中以 T2(C/N=25)达到的温度最高(65 °C),T1(C/N=15)次之。在高温保持阶段,堆肥中的寄生虫和病原菌被杀死,腐殖质开始形成,堆肥初步腐熟,大部分有机物在这个阶段已被降解^[10-11]。T3 则在 7 d 后温度达到 50 °C,其保持时间仅为 3 d,T3 未满足堆肥的卫生标准要求,堆肥没有完全腐熟^[12]。

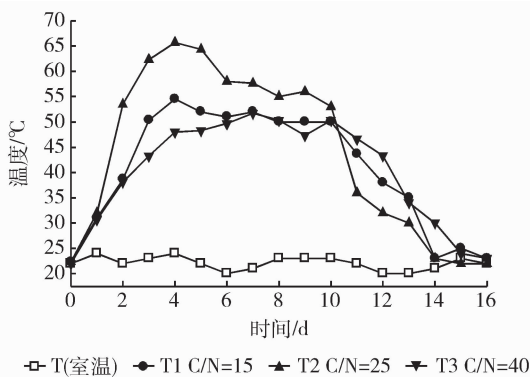


图2 堆肥过程中温度变化

Fig. 2 Changes of temperature during composting

2.2 堆肥过程中 pH 的变化

堆肥过程中的 pH 变化如图 3 所示,各处理的 pH 的变化趋势基本一致,都是先上升后下降。当堆肥刚开始时,T1、T2 和 T3 处理的 pH 分别为 8.22、8.21 和 8.13,3 个处理之间的 pH 差异不大。随着堆肥的进行,各处理的 pH 之间表现出较大差异:堆肥第 6 天,T1、T2 和 T3 处理的 pH 分别为 8.70、8.78 和 8.59。在堆肥结束时,T1、T2 和 T3

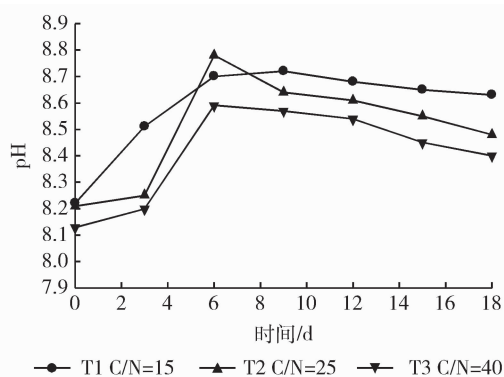


图3 堆肥过程中 pH 变化

Fig. 3 Changes of pH during composting

处理的 pH 分别降为 8.63、8.48 和 8.40,符合腐熟堆肥 pH 标准(pH 为 8.0~9.0)。

2.3 堆肥过程中全碳的变化

随着鸡粪堆肥中微生物对碳素物质的分解和利用,T1、T2 和 T3 处理的全碳量都呈下降趋势,如图 4 所示。处理 T1、T2 和 T3 的起初全碳量为 $T1 < T2 < T3$,在堆肥结束时,全碳含量为 $T1 > T3 > T2$ 。T1、T2 和 T3 处理的全碳量分别下降了 15.92%、25.84% 和 25.29%。堆肥全碳含量的损失在一定程度上可以反映堆肥的腐熟降解过程,全碳含量下降速度快,说明堆肥腐熟降解的进程快^[13]。因此,从图 4 可以看出,T2 和 T3 处理腐熟降解的进程快于 T1 处理。

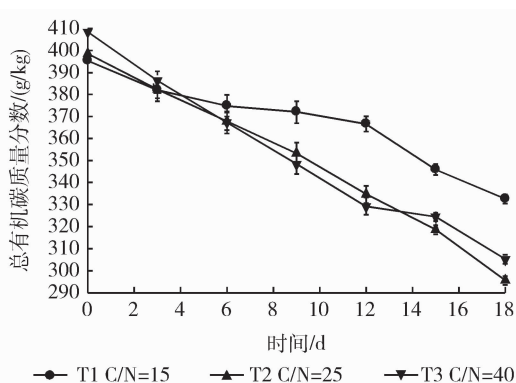


图4 堆肥过程中总有机碳(T-C)变化

Fig. 4 Changes of total carbon (T-C) during composting

2.4 堆肥过程中 C/N 的变化

堆肥初始 C/N 对堆肥过程中发酵产物的 C/N 影响不同(图 5)。T2 和 T3 处理的 C/N 的变化总体来说是呈下降趋势,T1 处理的 C/N 先上升后下降。堆肥结束时,T1、T2 和 T3 处理的 C/N 分别为

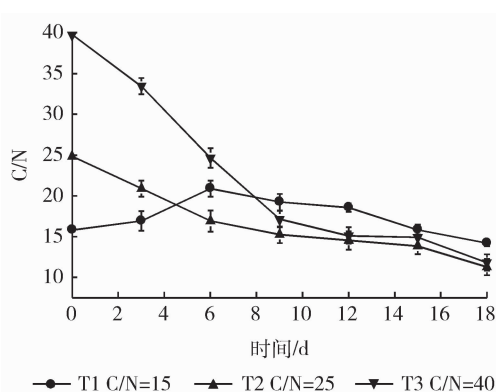


图5 堆肥过程中 C/N 变化

Fig. 5 Changes of C/N ratio during composting

14.17、11.27、11.82。本研究采用 $T = (\text{终点 C/N}) / (\text{初始 C/N})$ 来评价腐熟度,当 T 值小于 0.6 时堆肥基本达到腐熟^[14-15]。T1、T2 和 T3 处理的 T 值分别为 0.90、0.45、0.30,只有 T1 处理 T 值为 0.90 大于 0.6,堆肥没达到腐熟。

2.5 堆肥过程中总氮含量的变化

图 6 表明,处理 T1,在初始 6 d 内总氮含量下降,随着微生物对有机物质的消耗,氮素的相对含量被浓缩,总氮含量逐渐上升。T2、T3 处理从始至终都呈现上升趋势。堆肥初期,T1、T2 和 T3 处理的总氮质量分数分别为 24.68、17.78 和 13.07 g/kg,堆肥结束时,T1、T2 和 T3 处理的总氮质量分数分别为 22.46、27.60 和 27.95 g/kg。

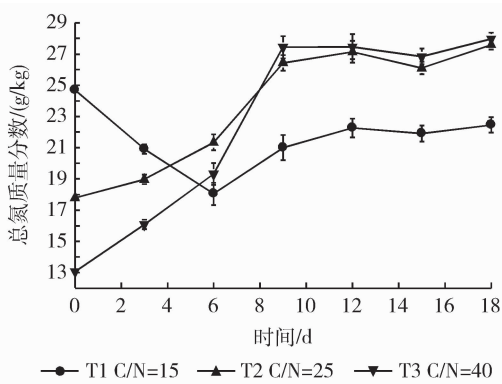


图 6 堆肥过程中总氮变化

Fig. 6 Changes of T-N during composting

2.6 堆肥过程中铵态氮的变化

堆肥过程中,水溶性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 一部分转化为 NH_3 挥发减少,一部分通过硝化作用转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,因此, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的减少和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的增加也是堆肥腐熟度评价的常用指标^[16]。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量的下降,指示了堆肥的腐熟,成熟堆肥的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量应该小于 400 mg/kg^[17]。

如图 7 所示,堆肥开始时,T1、T2 和 T3 处理的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度迅速增加,T1 和 T3 在第 6 天达到峰值,T2 在第 9 天达到峰值,而后趋于下降。堆肥结束时,T1、T2 和 T3 铵态氮的含量分别是 821.90、366.10、386.84 mg/kg,成熟堆肥的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量应该小于 400 mg/kg^[18],可知 T2、T3 堆肥已达到腐熟,而 T1 处理未腐熟。堆肥结束时,各处理的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量分别比最高时降低了 44.12%、74.37% 和 56.83%。T2 处理的变化幅度大于 T1 和 T3 处理,说明 T2 处理的微生物的同化作用强烈。

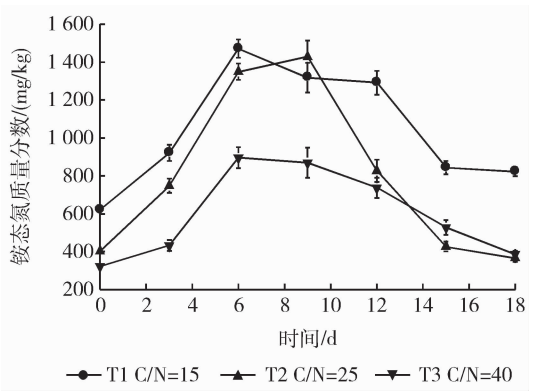


图 7 堆肥过程中铵态氮的变化

Fig. 7 Changes of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ during composting

2.7 堆肥过程中硝态氮的变化

如图 8 所示,T1、T2 和 T3 处理经过高温堆肥阶段以后,堆肥中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量开始明显增加,这可能是因为堆肥的高温阶段,由于高温条件抑制了硝化细菌的生长繁殖活动,而使硝化作用无法顺利进行。当堆肥进入后期,可能由于低温度条件促使硝化细菌开始生长活动,硝化作用导致硝态氮含量升高。堆肥结束时,T1、T2 和 T3 处理的硝态氮含量分别从堆肥起始的 84.96、66.09 和 55.91 mg/kg 增加到堆肥结束时的 940.68、797.78 和 583.13 mg/kg,分别增加了 855.72、731.68 和 532.17 mg/kg。硝态氮含量的变化幅度为 $\text{T1} > \text{T2} > \text{T3}$,说明随着鸡粪添加比例的增加有利于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 向 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的转化。

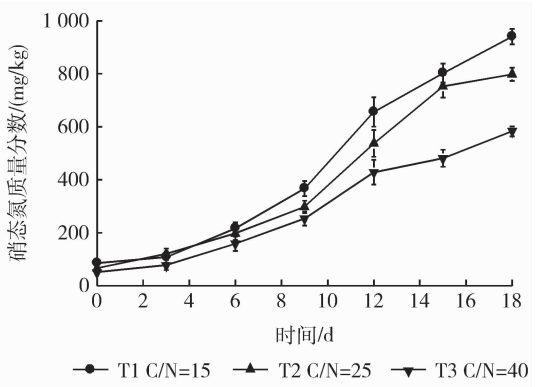


图 8 堆肥过程中硝态氮的变化

Fig. 8 Changes of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ during composting

3 讨论

温度可以杀死堆肥中的寄生虫和病原菌,降解堆肥中的腐殖质,去除堆肥物料中的水分,影响堆肥

中微生物的生命活动和代谢活动。因此,堆体温度的高低以及其高温阶段持续时间的长短直接影响着堆肥工艺的结果。在本试验中,虽然 C/N 比值低的 T1 处理碳源低,但其最高温度为 54 °C,高温持续时间为 8 d,符合我国无害及卫生标准的有关规定,这可能是锯末的添加改变了鸡粪堆肥的结构,起到了一定的保温作用,其透气性可促进鸡粪堆肥中的微生物的生命活动。

堆肥过程中 pH 的变化是一项重要的参数。在本实验中,处理 T1、T2、T3 的 pH 在堆肥初期升高,在第 6 天分别达到最大值 8.70、8.78 和 8.59,而后平缓下降。这可能是因为堆肥初期由于有机酸的分解而产生大量的 NH_3 导致 pH 的升高,而在堆制后期,由于 NH_3 的挥发、铵态氮向硝态氮的转化及锯末经高温降解生成小分子量有机酸的挥发产生大量的 H^+ 造成 pH 的下降^[19]。后期的平缓下降的原因可能是锯末的保温作用所致^[19]。

碳素物质是堆肥微生物代谢活动的碳源。随着微生物对碳素物质的分解和利用,堆肥中全碳含量不断下降。在本试验中,T1、T2 和 T3 处理的全碳含量都呈下降趋势,处理 T1、T2 和 T3 的起初全碳含量为 $T1 < T2 < T3$;在中期时,全碳含量为 $T1 > T2 > T3$;在堆肥结束时,全碳含量为 $T1 > T3 > T2$ 。这可能是因为 T2 处理的高温持续时间较长,以致微生物降解有机碳的效率较高。

各处理的 C/N 在堆肥结束时都有所下降,这是因为随着堆制的进行,微生物消耗了大量的含碳有机物,总碳量呈下降趋势,全氮含量相对增加,各处理的 C/N 都下降了。在本试验中,T1 处理的 C/N 呈先上升后下降的趋势。可能是因为 T1 处理初始含氮量高,以致微生物降解含碳有机物的效率较降解含氮有机物的效率低,从而呈现先升高的趋势。

堆肥结束时,T1 处理全氮含量降低,T2 和 T3 处理全氮含量均有所增加。这主要是由于 T1 处理的 C/N 较低,含碳有机物的分解速度慢,而氮素在氮转化细菌作用下,以氨气和氮气等形式在堆肥堆制的过程中随着温度、pH 的升高而损失,造成全氮相对含量有所下降。而 T2 和 T3 处理的全氮含量上升,主要是因为微生物降解含碳有机物的效率较高,以致堆肥重量减轻,造成全氮绝对含量下降,而相对含量上升。虽然 T2 和 T3 处理也有氮素损失,但是小于 T1 处理。

本试验中 NH_4^+-N 浓度表现为先升高后降低

的趋势。这是由于堆肥前期随着微生物活动,有机氮的分解从而产生大量 NH_4^+-N 。高温期过后,堆肥铵态氮因 NH_3 挥发损失及硝化作用、反硝化作用的进行而逐渐降低^[20]。随着堆制的进行,各处理 NO_3^--N 的浓度均呈现增加的趋势,这可能是由于硝化反应、氨的甲烷氧化反应等^[21],导致硝态氮的含量升高。

4 结 论

1) 鸡粪与锯末在 C/N=25 时达到的温度最高为 66 °C,达到最高温度所需最短时间为 3 d,C/N=15 的处理次之。本试验中,C/N=15 的 T1 处理堆体温度符合我国无害及卫生标准的有关规定。可以反映在鸡粪中添加锯末起到一定的正面影响。

2) 堆肥过程中各处理的 pH 变化基本一致,都是先上升后下降的趋势,最终的 pH 保持在 8.40~8.63。

3) 在堆肥结束时,各处理的全碳量均有所降低。T2 和 T3 处理全氮含量呈升高的趋势,T1 处理全氮含量呈先下降后上升的趋势,其中除 T1 处理外,在堆肥结束时全氮含量均增加。T1、T2 和 T3 处理的 C/N 在堆肥结束时都有所下降,其中 T1 表现为先升高后下降。

4) 堆肥结束时,各处理的 NH_4^+-N 含量分别比最高时降低了 44.12%、74.37% 和 56.83%,试验证明 C/N=25 的条件下,有利于铵态氮的转变。堆肥结束时,T1、T2 和 T3 处理 NO_3^--N 浓度分别比开始时增加了 855.72、731.68 和 532.23 mg/kg,说明鸡粪比例的增加有利于堆体 NO_3^--N 的增加。

5) 综合判断,物料碳氮比为 25 时有利于鸡粪锯末高温堆肥碳素、氮素的转化。同时鸡粪中添加锯末对 C/N=15 的堆体温度起到一定的正面影响。

参 考 文 献

- [1] 李庆康,吴雷,刘海琴,等.我国集约化畜禽养殖场粪便处理利用现状及展望[J].农业环境保护,2000,19(4):251-254
- [2] 兰时乐,曹杏芝,戴小阳,等.鸡粪与油菜秸秆高温堆肥中营养元素变化的研究[J].农业环境科学学报,2009,28(3):564-569
- [3] 中国农业科学院土壤肥料研究所.中国肥料[M].上海:上海科学技术出版社,1994:114-129
- [4] Yasuyuki F, Takashi O, Dai H, et al. Patterns and quantities of NH_3 , N_2O and CH_4 emissions during swine manure composting without forced aeration effect of compost pile scale

- [J]. *Bioresource Technology*, 2003, 86: 109-114
- [5] Körner I, Braukmeier J, Herrenklage J, et al. Investigation and optimization of composting processes-test systems and practical examples[J]. *Waste Manage.*, 2003, 23(1): 17-26
- [6] 夏炜林, 黄宏坤, 杨尧, 等. 粪便高温堆肥及其施用效果研究综述[J]. *四川环境*, 2007, 26(4): 102-106
- [7] 钱承梁, 鲁如坤. 农田养分再循环研究%粪肥的氮挥发[J]. *土壤*, 1994, 26(4): 169-174
- [8] Lasaridi K E. A simple respirometric technique for assessing compost stability[J]. *Water Research*, 1998, 32(12): 3717-3723
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [10] Ministry of Health of the People's Republic of China. GB7957-1987, Sanitary standard for the non-hazardous treatment of might soil[S]. Beijing: Stand Press of China, 1987
- [11] Mahimmariraja S, Bolan N S, Hedley M J, et al. Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments; an incubation experiment [J]. *Bioresource Technology*, 1994, 47: 265-273
- [12] 中华人民共和国卫生部. GB7957-1987, 粪便无害化卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987
- [13] Mason I G, Milke M W. Physical modelling of the composting environment; A review. Part 1: Reactor systems[J]. *Waste Management*, 2005, 25(5): 481-500
- [14] Morel T L, Colin F, Germon J C, et al. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost[M]. London & New York: Elsevier Applied Science Publish, 1985: 56-72
- [15] 张鸣, 高天鹏, 刘玲玲, 等. 麦秆和羊粪混合高温堆肥腐熟进程研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(3): 566-569
- [16] Mahimmariraja S, Bolan N S, Hedley M J, et al. Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments; an incubation experiment [J]. *Bioresource Technology*, 1994, 47: 265-273
- [17] Trinh Tan F, Cooper D G, Marić M, et al. Biodegradation of a synthetic co-polyester by aerobic mesophilic microorganisms [J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2008, 93(8): 1479-1485
- [18] Zucconi F, Pera A, Forte M, et al. Evaluation toxicity of immature compost[J]. *Bicycle*, 1981, 22: 54-57
- [19] 曾光明, 黄国和, 袁兴中. 堆肥环境生物与控制[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [20] 邵森, 杨淑英, 张增强, 等. 不同处理对高含水率奶牛粪便好氧堆肥的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(5): 982-989
- [21] 谢军飞, 李玉娥. 不同堆肥处理猪粪温室气体排放与影响因子初步研究[J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(1): 56-59

责任编辑: 王燕华