

不同通风量对猪粪好氧堆肥效果的影响

焦洪超, 张洪芳, 栾炳志, 宋志刚, 林海^{*}

(山东农业大学动物科技学院, 泰安 271000)

摘要: 该文以玉米秸和稻壳混合作为调理剂进行猪粪好氧堆肥, 研究不同通风量对堆肥效果的影响。试验设3个处理, 通风量分别为0.5、0.3和0 m³/min, 通风时间根据堆体温度调整, 测定了堆体温度和堆料水分、pH值、有机质含量、总氮含量和C/N。结果表明, 通风能有效保证堆料升温 and 高温期的维持, 而且能够抑制堆肥过程中堆料pH值的上升, 有利于有机质的降解和C/N的降低, 通风量为0.3 m³/min时, 综合效果较理想。结果提示, 以玉米秸和稻壳混合作为调理剂, 初始C/N为30:1, 含水率为62%左右时, 适当通风能够满足猪粪腐熟的需要。

关键词: 堆肥, 通风, 调理剂, 猪粪

中图分类号: X713

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-12-0173-05

焦洪超, 张洪芳, 栾炳志, 等. 不同通风量对猪粪好氧堆肥效果的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 173-177.

Jiao Hongchao, Zhang Hongfang, Luan Bingzhi, et al. Effects of ventilation on aerobic composting of swine feces[J].

Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 173-177.(in Chinese with English abstract)

0 引言

规模化畜禽养殖业的迅速发展, 带来了粪便和污水的大量集中排放, 给当地环境造成巨大的压力。据统计, 一个年产万头生猪的大型集约化养猪场, 每天排放的粪污可达100~150 t, 在许多省份和地区畜禽排污量已大大超过了人生活排污量^[1]。高温堆肥是目前处理有机固体废弃物的有效方法, 尤其在畜禽粪便的无害化处理方面越来越受到人们的重视, 并已在实际生产中得到应用^[2,3]。

好氧堆肥是使固体有机废弃物在有氧条件下利用好氧微生物的作用达到稳定化(有机物分解、腐殖质形成)、无害化(有害性生物失活), 转变为有利于改善土壤性状、有益于作物生长和容易吸收利用的有机肥的方法^[4]。通风是好氧堆肥的必需条件, 在堆肥过程中, 通风有3个作用: 供氧、散热和去除水分^[5-7]。不同的通风量对堆肥过程有不同的影响, 供气量不足, 不能满足好氧的要求, 局部出现厌氧发酵, 抑制反应进程; 通风量过大, 使堆体产生的热量散失过快, 从而影响堆体的升温^[8]。本试验以玉米秸秆和稻壳混合作为调理剂进行猪粪好氧堆肥, 研究不同通风量对堆肥过程的影响, 为后续试验提供支持。

1 材料与方法

1.1 堆肥装置

堆肥箱由PVC板和保温泡沫材料制成(见图1),

箱体内部尺寸为50 cm×50 cm, 高70 cm, 箱体底部10 cm处焊接一个开孔率为18%的PVC筛板, 筛孔直径10 mm。进行试验时, 装置底部垫厚塑料布, 并将四周塑料布紧贴在装置外表面, 密封, 保留进风口, 以小型鼓风机供气, 通风时间和通风次数根据堆体温度情况, 通过时间继电器控制。

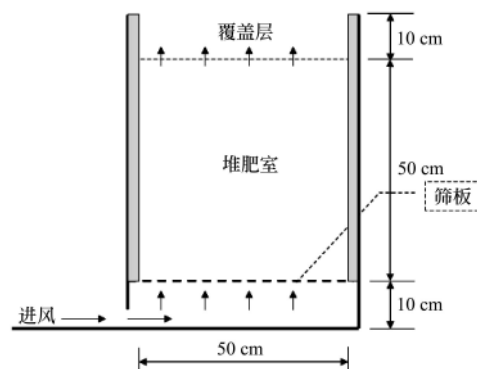


图1 堆肥箱构造图

Fig.1 Section pattern of the composting box

1.2 试验材料

堆肥用猪粪取自泰安市郊区个体养殖场, 调理剂为新收晾干玉米秸(铡成3 cm左右小段)和稻壳。控制堆料的C/N为30:1, 根据原料含水率和碳氮比的实测值(表1), 计算得到堆料的配比为猪粪:玉米秸:稻壳=1:0.13:0.14(质量比), 加水调节物料的含水率为62%左右。

表1 堆肥原料特性实测值

Table 1 Parameters of the raw composting material

项目	含水率/%	总碳*/%	总氮*/%	碳氮比**
猪粪	70.96	22.49	1.96	11.47
稻壳	9.64	36.95	0.74	49.93
玉米秸	12.43	43.54	1.27	34.28

注: *风干基础测定值; **风干基础计算值。

收稿日期: 2008-03-31 修订日期: 2008-11-30

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD14B09); 山东省科技攻关计划(2008GG10009015)

作者简介: 焦洪超(1977-), 男, 山东临沂人, 主要从事畜禽环境卫生方面的教学及研究工作。泰安 山东农业大学动物科技学院, 271018。

E-mail: hongchao@sdau.edu.cn

*通讯作者: 林海(1966-), 男, 山东栖霞人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事畜禽环境与营养的研究工作。泰安 山东农业大学动物科技学院, 271018。Email: hailin@sdau.edu.cn

1.3 试验设计

试验分 3 个处理进行, 1#、2#和 3# 堆肥箱设计通风量分别为 0.5、0.3 和 0 m³/min, 通风时间及间隔为升温期堆体温度低于 40℃时不通风, 高于 40℃时每 90 min 通风 1 min; 高温期温度超过 50℃时每 90 min 通风 2 min; 降温期温度在 40~50℃时, 通风时间为 1 min/90 min, 低于 40℃时停止通风。试验期共 31 d。

1.4 堆制过程

首先在堆肥箱筛板上铺垫厚 5 cm 左右的铡短玉米秸, 然后将充分混均的堆料(玉米秸秆、稻壳和猪粪)装入箱内, 将温度记录仪(浙江大学电气设备厂, ZDR-31)传感器置于堆料的中心位置, 最后在堆料的上部铺设 5 cm 厚的玉米秸覆盖层。

1.5 测定项目及方法

试验过程中, 温度记录仪每 20 min 记录一次堆体温度, 同时以温度计记录每天 8:00、14:00 和 20:00 室温。堆肥的第 0、2、5、10、17、24、31d, 在堆体的中部多点采样 300 g 左右, 混匀, 均分成两份, 一份保存于 4℃冰箱中, 用于测定表观性状、pH 值和水分; 另一份制成风干样品, 分别以重铬酸钾容量法^[9]、半微量凯氏法^[10]和灼烧法^[11]测定有机质、全氮和挥发性固体(VS)含量, 以公式 $M=0.47VS$ 估算全碳含量^[12]。

1.6 统计分析

试验数据采用 SAS (V8) 进行统计分析, 并通过 Duncan 程序进行多重比较, 以 $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果分析与讨论

2.1 堆料表观性状

从外观上看, 堆肥过程中 3 个堆体堆料风干样品颜色逐渐变深, 堆肥结束之后堆料呈深褐色, 且疏松易于破碎, 取样时可见堆体内出现大量白色或灰白色的菌丝。另外, 堆料原来具有的令人不快的气味, 经 31 d 堆肥腐熟后, 臭味消失, 不再吸引蚊蝇等。

2.2 堆体温度

堆肥过程中, 堆料内部温度上升是微生物对堆料中有机物质旺盛分解的结果, 也是堆肥发酵顺利进行的证明^[1]。温度变化反应了堆体内微生物活性的变化, 能很好的反应堆肥过程所达到的状态。而且, 堆体温度在 50~55℃条件下保持 5~7 d, 是杀灭堆料所含致病微生物和害虫卵, 保证堆肥卫生指标合格和堆肥腐熟的重要条件^[13]。如图 2 所示, 本试验堆肥过程中堆体温度的变化均经历了 4 个阶段: 升温阶段、高温阶段、降温阶段和稳定阶段。堆肥初期, 堆料中易分解的有机质在微生物的作用下迅速分解, 堆体产生大量的热量导致堆体温度快速上升, 设有通风的 1#箱(0.5 m³/min)和 2#箱(0.3 m³/min)自第 3 天开始即进入高温阶段(>50℃), 而且 2#箱的升温速度和最高温度均优于 1#箱; 未设通风的 3#箱升温速度慢, 而且高温期维持的时间也较其他 2 个处理短, 这主要是通风处理提供了好氧微生物活动所需的氧气, 从而促进了其对有机物质的分解所致。但是, 通风量的大小直接影响高温好氧堆肥的微生物生

长活动, 并最终影响堆体温度的升高、病原菌的杀灭以及有机质的分解^[2], 试验中 1#箱的升温效果较 2#箱差的原因与其通风量过大有关。

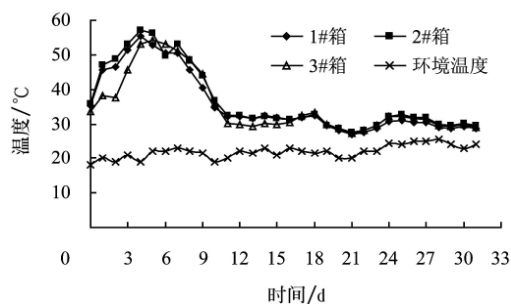
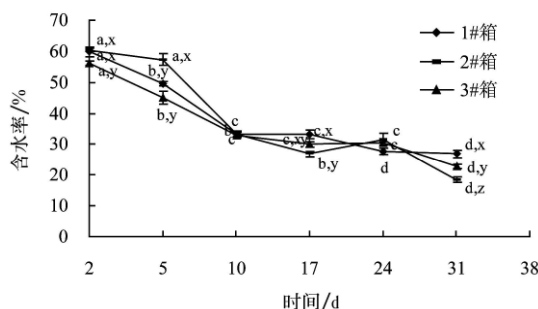


图 2 堆肥过程中堆体温度变化

Fig.2 Variations of temperature in piles during composting

2.3 堆料水分含量

水分是影响堆肥腐熟速度的重要参数^[14], 好氧堆肥过程中, 合适的水分含量是保持微生物最佳活性的必要条件。水分过低, 不利于微生物生长, 水分过高, 则堵塞堆料中的孔隙, 影响通风, 导致厌氧发酵, 好氧降解速率下降, 减慢降解速度, 延长腐熟时间^[15]。一般在堆肥化开始时的水分, 以锯末或稻糠等作为水分调节材料时, 猪粪含水率在 62% 为宜^[1]。本试验中, 3 个堆体的初始含水率为 61.96%, 随着堆肥的进行, 各处理的含水量因蒸发而很快下降, 尤其是高温期水分含量下降更为迅速, 堆肥结束时 3 个处理组分别比堆肥初期下降了 56.65%、70.27% 和 62.92% (图 3)。堆体含水率的变化趋势说明堆体内微生物活跃期间消耗了水分, 同时堆体温度的升高也造成了大量水分的蒸发, 而通风处理对于水分的散失也起到了促进作用, 一方面造成堆体升温块, 高温期维持时间较长, 水分的蒸发较快, 另一方面通风本身也带走了部分水汽。本试验中, 堆肥箱 2 中堆料全期的水分散失量最多, 是通风引起的堆料高温蒸发和合适通风带走水汽共同作用的结果。



注: a, b, c, d 同一处理不同时间点标注不同字母者差异显著 ($P<0.05$), x, y, z 同一时间点不同处理标注不同字母者差异显著 ($P<0.05$), 下同

图 3 堆肥过程中堆料含水率的变化

Fig.3 Variations of the water content in composting material during composting

2.4 堆料 pH 值

pH 值是微生物生长的重要条件, pH 值太高或太低都会严重影响堆肥效率。有研究表明, 富含纤维素和蛋白质的物料堆肥的最佳 pH 值为 8.0 左右^[16]。本试验以玉米

秸和稻壳混合作为调理剂，富含纤维素，从图 4 中可以看出，堆肥初始，各堆体 pH 值为 8.81，随着堆肥的进行 pH 值略有升高。高温期进行通风的两个处理组其 pH 值的升高受到抑制，尤其是 1# 箱除第 0 和 5 天外，其他各采样点 pH 均显著低于 3# 箱 ($P < 0.05$)，这对于好氧微生物更好的发挥作用是有利的。第 31 天 3# 箱 pH 值最低。堆肥初期 pH 值的升高主要是由于微生物的大量繁殖，分解蛋白质类有机物产生氨和氨氮，促使 pH 值上升；而之后随着氨的挥发、蛋白质有机物的逐渐减少以及消化作用的进行等因素^[17]，pH 值逐渐降低。同时，微生物活动产生的大量有机酸也会引起堆肥后期 pH 值降低^[18]。进入稳定阶段之后，微生物代谢相对稳定，PH 值处于动态平衡中，幅度不大。

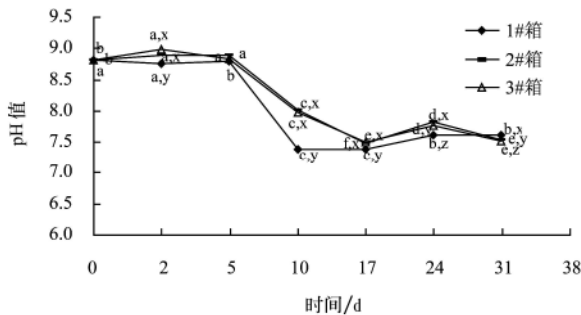


图 4 堆肥过程中堆料 pH 值的变化

Fig.4 Variations of pH value in composting material during composting

2.5 堆料有机质

好氧堆肥是在人为控制堆肥因素条件下，根据各种堆肥原料的营养成分和堆肥过程中微生物对混合堆料中碳氮比、颗粒大小、含水率和 pH 值等的要求，将计划中的各种堆肥材料按一定比例混合堆积，在温暖潮湿和有氧的条件下，对物料中的有机物质进行生物氧化分解^[19]。在堆肥过程中发生的各种生化反应中，有机质是微生物赖以生存和繁殖的基本条件，因此有机质的变化能在一定程度上反映出堆肥的进程，许多学者通过研究堆肥过程中有机质的降解率来判断堆肥的腐熟度^[20-22]。由图 5 可见，堆料有机质含量随堆肥过程的进行，在微生物的分解作用下，堆料中的有机质含量呈逐渐下降的趋势，各处理组堆料中有机质的含量均降低 30% 左右，尤其

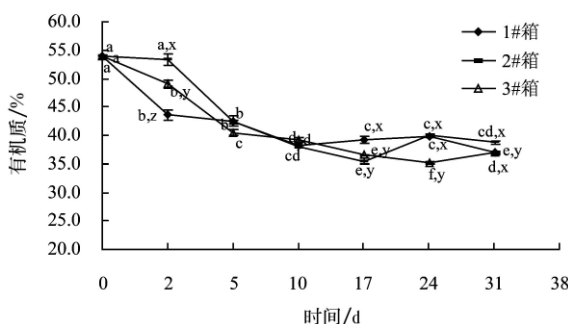


图 5 堆肥过程中堆料有机质的变化

Fig.5 Variations of organic substance in composting material during composting

在升温阶段后期和高温阶段，堆体含水率及温度条件都比较适宜，微生物活动较为活跃，大量有机质不断被分解。本试验中，堆肥的前 10 d，3 个处理组堆料有机质的含量即分别下降 28.96%、29.45% 和 27.29%。不同通风量下堆料有机质含量也存在差异，本试验的第 2 天，两通风处理组堆体温度已经超过 45℃，其有机质含量迅速下降，两组均显著低于未通风的 3# 箱 ($P < 0.05$)，而且通风量较大的 1# 箱有机质降低的幅度明显高于 2# 箱 ($P < 0.05$)。自第 10 天起，3 个试验组有机质含量均处于基本恒定的状态，各组间存在明显差异的原因主要是由于采样时无法做到足够均匀引起。

2.6 堆料总氮

试验结果表明，堆肥开始后，堆料中的总氮含量均有增加（图 6）。氮素的增加是由于堆肥过程中有机物的矿化分解、CO₂ 的损失以及水分蒸发引发的干物质减少而造成的^[23]。堆肥后期，固氮菌的固氮作用也有助于堆料总氮的增加^[24]。总氮的增加是堆肥腐熟和品质提高的重要表现^[25]。分析处理间的差异表明，通风处理能够提高堆料中的总氮含量，特别是 0.5 m³/min 组更加明显，这可能与高温期通风造成的 CO₂ 的损失以及水分蒸发更多有关。

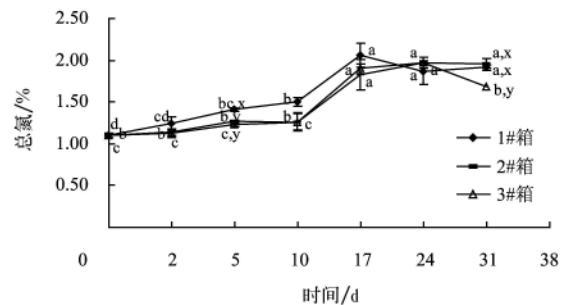


图 6 堆肥过程中堆料总氮含量的变化

Fig.6 Variations of total nitrogen in composting material during composting

2.7 堆料碳氮比 (C/N)

试验结果表明，整个堆肥过程中，各堆体 C/N 持续下降，特别是在高温阶段下降速度明显较快，堆肥进入稳定阶段后，C/N 趋于平缓（图 7）。有研究表明，对于初始 C/N 在 25~30 的堆肥，当其下降到 20 左右时，可被认定为已达腐熟^[26]。但是，由于堆肥起始 C/N 受堆肥

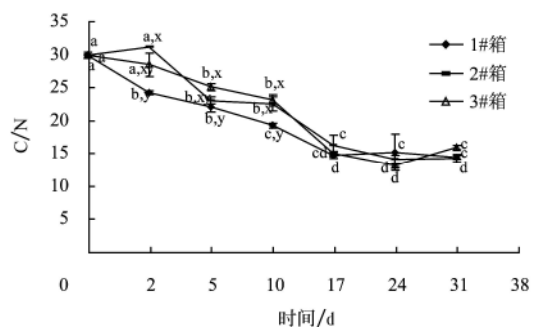


图 7 堆肥过程中堆料 C/N 的变化

Fig.7 Variations of C/N in composting material during composting

原料及配比的影响, 差异很大。Morel 等建议采用 $T = (C/N_{\text{终点}}) / (C/N_{\text{起始}})$ 来评价城市垃圾堆肥的腐熟度^[27], Vuorinen 等认为, 腐熟猪粪与稻草混合堆肥的 T 值应该在 0.49~0.59 之间^[28]。本试验堆肥结束时, 3 个处理的 T 值分别为 0.48、0.47 和 0.53, 均达到了腐熟, 而且设有通风的 2 个处理 (尤其是 1#箱) 腐熟程度优于未进行通风的 3#箱, 表明堆肥的升温期和高温期适当的通气有助于堆料 C/N 比下降, 提高腐熟程度。

3 结 论

猪粪好氧堆肥过程中, 当堆肥物料的初始 C/N 为 30:1, 初始含水率为 62%左右时, 玉米秸和稻壳混合可以作为堆肥的调理剂。而且, 堆肥过程中适当的通风对于提高堆料的升温速度和延长高温期的维持时间有帮助, 能够一定程度上抑制堆肥过程中堆料 pH 值的上升, 有利于堆料有机质的降解和 C/N 的降低, 从而加快堆料的腐熟。

[参 考 文 献]

- [1] 王 岩. 养殖业固体废弃物快速堆肥化处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] Lau A K, Lo K V, Liao P H, et al. Aeration experiments for swine waste composting[J]. *Bioresource Technology*, 1992, 41: 145—152.
- [3] Bernal M P, Paredes C, Sanchez-Monedero M A, et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes[J]. *Bioresource Technology*, 1998, 63: 91—99.
- [4] 凌 云, 路 葵, 徐亚同. 禽畜粪便好氧堆肥研究进展[J]. 上海化工, 2003, (6): 8—11.
- [5] Haug R T. The practical handbook of compost engineering[M]. New York: CRC Press Inc, 1993.
- [6] Miller F C, MacGregor S T, Psarianos K M, et al. Direction of ventilation in composting wastewater sludge[J]. *J Water Pollut Control Fed*, 1982, 54(1): 111—113.
- [7] Kuchenrither R D, Martin W J, Smith D G, et al. Design and operation of an aerated windrow composting facility[J]. *J Water Pollut Control Fed*, 1985, 57(3): 213—219.
- [8] 徐 红, 樊耀波, 贾智萍, 等. 时间温度联合控制的强制通风污泥堆肥技术[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 51—55.
- [9] GB 9834-1988, 土壤有机质测定法[S].
- [10] GB 7173-1987, 土壤全氮测定法[S].
- [11] GB/T 6438-1992, 饲料粗灰分测定方法[S].
- [12] 于海霞, 孙 黎, 栾冬梅. 不同调理剂对牛粪好氧堆肥的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增刊 2): 235—238.
- [13] GB 7959-1987, 粪便无害化卫生标准[S].
- [14] Liang C, Das K C, McClendon R W. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic activity of a biosolids composting blend[J]. *Bioresource Technology*, 2003, 86: 131—137.
- [15] Huang G F, Wong J W C, Wu Q T, et al. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust[J]. *Waste Management*, 2004, 24(8): 805—813.
- [16] 张相峰, 王洪涛, 周辉宇. 花卉废物和牛粪联合堆肥中的氮迁移[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 126—131.
- [17] Ekland Y, Kirchmann H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments II: nitrogen turnover and losses[J]. *Bioresource Technology*, 2000, 74: 125—133.
- [18] Mathur S P. Composting processes[A]. In: Martin A M ed. *Bioconversion of Waste Materials to Industrial Products*[C]. New York: Elsevier, 1991: 147—186.
- [19] 郭 亮, 董红敏, 李保明. 畜禽废弃物的资源化利用的有效途径[J]. 农业工程学报, 2001, (增刊): 150—152.
- [20] Chefetz B, Hatcher P G, Hadar Y, et al. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25(4): 776—785.
- [21] Gennaro M C, Ferrara E, Abollino O, et al. Multi-method analysis in studies of characterization and degradation of municipal treatment sludges[J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1993, 53(2): 101—114.
- [22] Murwira H K, Kirchmann H, Swift M J. The effect of moisture on the decomposition rate of cattle manure[J]. *Plant and Soil*, 1990, 122 (2): 197—199.
- [23] Inoko A, Miyamatsu K, Sugahara K, et al. On some organic constituents of city refuse composts produced in Japan[J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 1979, 25: 225—234.
- [24] Bishop P L, Godfrey C. Nitrogen transformations during sludge composting[J]. *Biocycle*, 1983, 24: 34—39.
- [25] 周文兵, 刘大会, 朱端卫. 不同调理剂对猪粪堆肥过程及其养分状况的影响[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(4): 421—425.
- [26] Hirai M F, Chanyasak V, Kubota H. A standard measurement for compost maturity[J]. *Biocycle*, 1983, 24: 54—56.
- [27] Morel T L, Colin F, Germon J, et al. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost[A]. In: Gasser JFR ed. *Composting of Agricultural and other Wastes*[C]. Elsevier Applied Science publishers, London and New York, 1985: 56—72.
- [28] Vuorinen A H, Saharinen M H. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system[J]. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 1997, 66: 19—29.

Effects of ventilation on aerobic composting of swine feces

Jiao Hongchao, Zhang Hongfang, Luan Bingzhi, Song Zhigang, Lin Hai*

(College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, China)

Abstract: With the use of corn straw and rice hull as bulking agents, an experiment was conducted to investigate the effects of ventilation on the aerobic composting of swine feces. Three kinds of ventilation (0.5, 0.3 and 0 m³/min) were designed for three treatments, and the time for aeration and alternation was regulated by different temperatures in central piles. The changes of temperature in piles, pH value, water content, content of organic substance, content of total nitrogen and ratio of carbon to nitrogen in composting material were measured. Results indicated that proper ventilation could enhance the temperature of piles and keep the high temperature for longer time, and control the rise of pH value in composting. It was beneficial to the degradation of organic substance and the drop of ratio of carbon to nitrogen in composting material, with the ventilation of 0.3 m³/min better than others. When the initial ratio of carbon to nitrogen in the composting material was 30 : 1, and initial water content was 62%, the mixture of corn straw and rice hull was an effective bulking agent, which could improve the aeration status of composting material and reach the level of innocuity.

Key words: composting, ventilation, bulking agents, swine feces