



寒地牛粪强制通风静态好氧堆肥发酵及养分降解特征

陆海燕,尹桂花,刘 杰

(黑龙江省农业科学院 农村能源研究所,黑龙江 哈尔滨 150000)

摘要:为加快畜禽粪便等废弃物的资源化利用,克服冬季低温的不利条件通过对比进行预热处理的强制通风静态好氧堆肥处理1,无预热处理的静态好氧堆肥处理2及对照牛粪自然发酵堆肥处理的温度、含水量、pH、全氮、腐殖酸含量等指标,研究了我国北方冬季气温较低条件下牛粪强制通风静态好氧堆肥发酵及养分降解特征。结果表明:处理1在第5天升到50℃,堆体温度处于50℃以上共持续20 d;处理2在第9天升到50℃,堆体温度处于50℃以上共持续16 d,两个试验处理温度均达到国家畜禽粪便无害化卫生标准(GB 7959-87);对照处理温度无明显变化,未达到无害化标准。处理1和处理2,pH变化规律为试验前期降低后期升高,堆体呈中性至微碱性(7.89~8.65);堆体含水量均呈试验前期上升后期下降趋势,总体呈略下降趋势,分别由试验开始的65.48%和64.47%降至腐熟完成时的62.01%和64.35%;堆体TN损失较高,分别损失46.45%和40.95%,由试验开始36.60和35.90 g·kg⁻¹下降至腐熟完成时的19.60和21.20 g·kg⁻¹;腐殖质分别降低了19.60%和23.18%,由试验开始296.50和285.60 g·kg⁻¹下降至腐熟完成时的238.40和219.40 g·kg⁻¹。在北方冬季气温较低条件下,利用强制通风静态好氧堆肥技术,牛粪堆体温度均达到国家卫生标准,完成有效的堆腐过程。堆体启动前期预热能加快堆体温度升高,并提高温度升高上限,有利于堆腐的进行。

关键词:强制通风静态堆肥;牛粪;堆腐温度;总氮;腐殖质

我国东北地区属寒温带湿润—半湿润季风气候,冬季寒冷,夏季凉爽,适宜于畜牧业的发展。据统计,截至2016年末,黑龙江省奶牛存栏177万头,全省肉牛出栏274万头^[1]。伴随着畜牧业的产业化、规模化发展,产生大量的畜禽粪便等废弃物。2015年,全省畜禽粪污总量1.13亿t,其中牛粪污6903万t、猪粪污3118.2万t、羊粪污666.6万t、禽粪污636.6万t^[2]。加快畜禽粪便等废弃物的资源化利用,成为节约资源、缓解环境压力需要解决的问题。

牛粪尿含有丰富的养分,除含有氮、磷、钾外还含有微量元素,经堆肥处理后可作为有机肥还田。牛粪堆肥化技术是指在微生物作用下通过高温发酵使有机物矿质化、腐殖化和无害化而变成腐熟肥料的过程,在微生物分解有机物的过程中,不但生成大量可被植物利用的有效态氮、磷、钾化

合物,而且合成了新的高分子有机物——腐殖质,腐殖质是构成土壤肥力的重要活性物质^[3]。堆肥处理后生产有机肥是目前牛粪尿进行资源化利用的主要方式之一。

温度是牛粪堆肥过程中非常重要的参数,早在1939年Waksman等^[4-5]在对畜禽粪便堆肥进行研究时就发现,温度是一系列微生物活动的主要驱动力,通过温度的变化不仅可以了解堆肥进程,同时温度也是判断堆肥是否达到无害化要求的最重要指标之一,过低的温度将大大延长堆肥达到腐熟的时间^[6]。北方地区纬度较高,冬季漫长而寒冷,温度多在-30~-20℃,过低的温度影响了畜禽粪便堆肥的腐熟时间和腐熟程度,成为制约有机肥冬季生产发酵的主要因素。

为了促进畜禽粪便的资源化利用,本研究以牛粪为主要原料,在室外温度较低条件下进行了强制通风静态好氧牛粪堆肥发酵过程研究,并在堆肥启动初期进行预热处理。通过探讨堆体的温度、腐殖质、总氮等的变化规律,揭示了北方冬季低温条件下牛粪强制通风静态好氧堆肥的发酵及养分降解特征,为北方冬季畜禽粪便的堆肥生产提供技术支持。

收稿日期:2018-09-29

基金项目:黑龙江省科技厅对外科技合作项目(WB12B10101);哈尔滨市科技局项目(2014DB3AN027)。

第一作者简介:陆海燕(1977-),女,博士,助理研究员,从事农业固体废弃物利用研究。E-mail:luhaiyan_hlj@163.com。

通讯作者:尹桂花(1963-),女,学士,研究员,从事育苗基质研究。E-mail:695074977@qq.com。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

试验地点位于哈尔滨市黑龙江省农业科学院内,室外温度约为-25~-10℃。哈尔滨地处N44°04'~46°40',E125°42'~130°10'气候属中温带大陆性季风气候。四季分明,冬季漫长寒冷,夏季短暂凉爽。冬季1月平均气温约-19℃;夏季7月的平均气温约23℃。11月至次年3月为冬季,漫长而寒冷干燥,有时也会出现暴雪天气。1月平均气温-30℃~-15℃,最低气温曾达-37.7℃。

1.2 材料

1.2.1 牛粪强制通风静态好氧堆肥装置 课题组与相关企业合作,引进堆体底部通风设备,设计了牛粪堆肥试验,剖面图如图1所示。堆体表面盖有无纺布等保温材料。

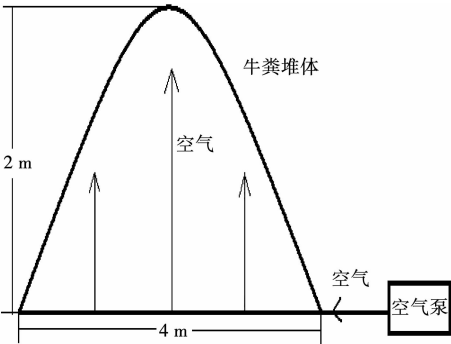


图1 牛粪强制通风静态好氧堆肥剖面结构
Fig.1 The forced ventilation static aerobic composting profile for cattle manure

1.2.2 仪器 DL-W211型温度记录仪(杭州尽享科技有限公司)、德图刺入式温度计(TESTO 905-T1)等。

1.3 方法

1.3.1 试验处理 试验以牛粪作为堆肥原料,加入5%麦麸作为辅料,调整堆体含水量与孔隙度。试验设2个堆肥试验处理,1个对照处理,处理1采取静态好氧堆肥方式,并在启动前2 d在堆体底部进行加热处理;处理2采取静态好氧堆肥方式,无预热处理;

对照处理(CK):以牛粪自然发酵堆体为对照处理。

1.3.2 采样方法 每3~4 d取样1次,采用土钻在堆体表面40~50 cm取样。

1.3.3 测定项目与方法 堆体温度及含水量:试验处理1与处理2采用DL-W211型温度记录仪进行堆体温度测定,实施连续测定,每4 h记录1次。

对照处理CK采用德图刺入式温度计测定。
含水量测定采取烘干法测定^[7]。pH、全氮、腐殖酸含量分别采取电位法、凯氏消煮法、重铬酸钾-容量法测定^[7]。

1.3.4 数据分析 采用Excel 2013进行数据处理及分析。

2 结果与分析

2.1 堆体温度变化特征

如图2所示,试验开始后,堆体温度均不断上升,其中堆肥处理1在第5天升到50℃,在第8天升到最高温度77.95℃,8 d之后温度开始下降,至试验结束时,温度稳定在58℃左右,与最高温度相比下降了19.50℃,试验期间温度处于50℃以上共持续20 d。

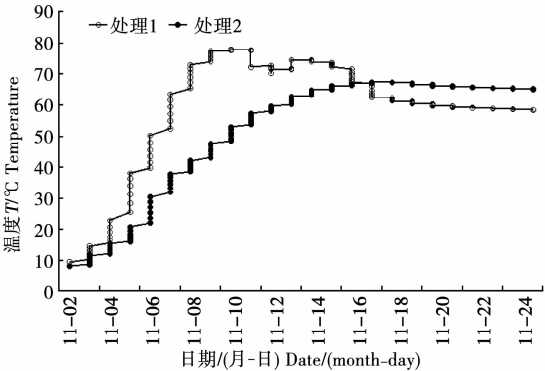


图2 牛粪强制通风静态好氧发酵堆体温度变化特征
Fig.2 The temperature change for forced ventilation static aerobic composting of cattle manure in cold region

表1 对照牛粪堆体自然发酵温度变化特征
Table 1 The temperature change for the natural fermentation manure

日期(月/日)	11-02	11-06	11-08	11-11	11-14	11-21	11-25	11-27
Date/(month-day)								
温度/℃	8.0	10.0	9.0	13.0	12.0	14.0	11.0	10.0

堆肥处理2在试验开始后第9天升到50℃,在第17天升到最高温度67.60℃,17 d之后温度开始下降,至试验结束时,温度降到65.15℃左右,与最高温度相比下降了2.45℃,略微下降,试验期间温度处于50℃以上共持续16 d。

堆肥处理1与处理2相比,温度上升的速度较快,并形成显著的波峰;处理2温度上升速度慢于处理1,达到最高温度所需要的时间较长,最终达到的最高温度上限低于处理1。

对照牛粪堆体自然发酵处理,试验开始后堆体温度变化范围为8~14℃,温度上升幅度较小,

未达到畜禽粪便堆肥所需的温度要求^[8],在北方室外温度较低的情况下未能正常启动。

2.2 堆体 pH 特征

如图 3 所示,堆体发酵试验启动后处理 1 与处理 2 的 pH 均呈先下降后上升,但总体下降的趋势。其中处理 1 pH 在第 12 天降到最低点(pH 7.18),12 d 之后开始回升,至试验结束时,pH 由试验开始的 8.65 降至 7.89。试验处理 2 pH 在试验开始的第 12 天降到最低点(pH 7.14),12 d 之后开始回升,至试验结束时,pH 由试验开始的 8.58 降至 8.12。

试验堆体 pH 变化规律为先下降后上升,变化范围分别为 7.89~8.65 和 8.12~8.58,中性至微碱性,有利于微生物的生长与堆体的发酵。

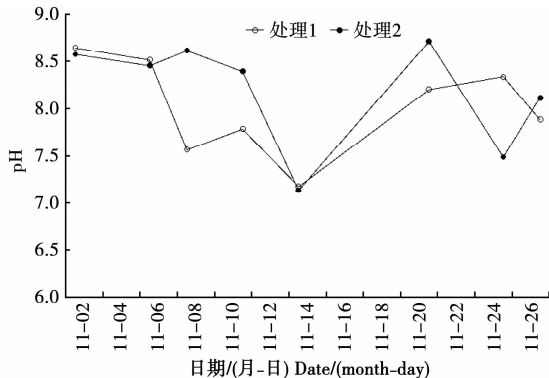


图 3 牛粪强制通风静态好氧发酵堆体 pH 变化特征

Fig. 3 The pH change for forced ventilation static aerobic composting of cattle manure in cold region

2.3 堆体水分变化

如图 4 所示,堆体发酵试验开始后处理 1 与处理 2 含水量总体均呈先上升后下降趋势,其中处理 2 在堆体开始后前 12 d 含水量变化平稳,维持在 65% 左右。12 d 之后处理 1 与处理 2 含水量逐步上升,在第 19 天达到最高值(70.98% 和 73.17%),形成显著的波峰,19 d 之后开始下降,至试验结束时,堆体含水量分别由试验开始的 65.48% 和 64.47% 降至 62.01% 和 64.35%。

2.4 堆体全氮变化特征

由图 5 可知,堆体发酵试验开始后处理 1 与处理 2 全氮含量均迅速下降,在第 4 天分别降至 20.70 与 21.90 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,第 4 天之后至试验结束全氮含量稳定在 20 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。至试验结束时,处理 1 与处理 2 全氮分别由试验开始的 36.60 和 35.90 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降至 19.60 和 21.20 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮分别降低了 46.45% 和 40.95%。处理 1 与处理 2 相比全氮含量及变化规律差别不明显,初期预热处理影响不明显。

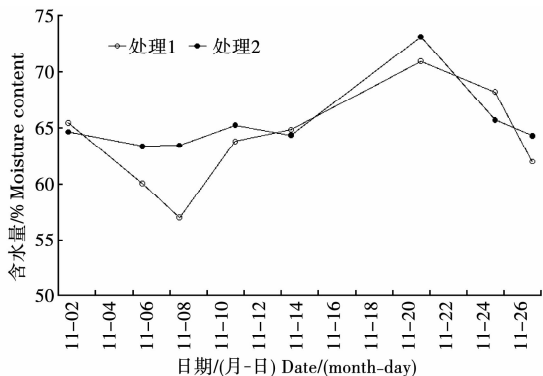


图 4 牛粪强制通风静态好氧发酵堆体含水量变化特征

Fig. 4 The moisture content change for forced ventilation static aerobic composting of cattle manure in cold region

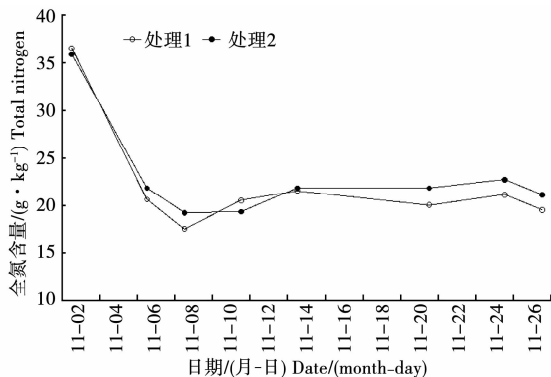


图 5 牛粪强制通风静态好氧发酵堆体全氮含量变化特征

Fig. 5 The TN change for forced ventilation static aerobic composting of cattle manure in cold region

2.5 堆体腐殖质

由图 6 可知,堆体发酵试验开始后处理 1 与处理 2 腐殖酸含量逐渐下降,至试验结束时,腐殖酸含量由试验开始的 296.50 和 285.60 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降至 238.40 和 219.40 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别降低了 19.60% 和 23.18%。

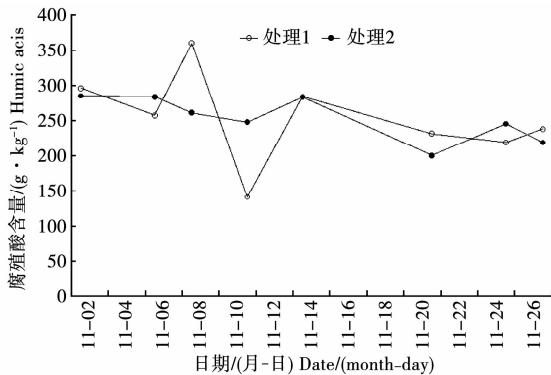


图 6 牛粪强制通风静态好氧发酵堆体腐殖酸含量变化特征

Fig. 6 The humic acids change for forced ventilation static aerobic composting of cattle manure in cold region

3 结论与讨论

温度是堆肥一系列微生物活动的主要驱动力^[4-5]。同时也是判断堆肥是否达到无害化要求的最重要指标^[6]。根据我国粪便无害化卫生标准^[8],高温堆肥最高堆温达 50~55℃以上,持续 5~7 d 就可以达到杀灭病原菌的目的。试验结果表明,北方冬季气温较低,牛粪堆体自然发酵难以启动;强制通风静态好氧堆肥与之相比,启动后温度能够达到国家粪便无害化卫生标准(GB 7959-87)标准,堆体发酵充分,有利于克服北方冬季气温低的缺点,其高温期持续时间长于或接近条垛式堆肥试验结果^[9-10]。堆肥启动初期预热处理,能加快堆体温度的上升,提高温度上升上限。

堆肥过程中,pH 变化能显著的影响微生物生长,微生物适宜的 pH 环境是中性和微碱性,pH 太高或太低,都会影响堆肥反应的正常进行^[11]。试验 pH 变化规律为先下降后上升,这可能是由于在堆肥最初阶段,可利用的能量物质较多,微生物繁殖很快,其活动产生的有机酸使堆肥的 pH 下降,小分子的有机酸随着堆肥温度的升高而挥发,同时微生物分解含氮有机物所产生的氨使堆肥的 pH 又开始上升。试验 pH 与条垛式堆肥研究结果相似^[12-13]。

水分主要参与堆肥过程中微生物的新陈代谢与溶解有机物,堆肥中水分的多少直接影响好氧堆肥反应速度及堆肥的质量^[14]。堆肥的起始含水率一般为 50%~60%,最低不小于 40%^[15-17]。水分过低,不利于微生物生长,水分过高,则堵塞堆料中的空隙,影响通风,减慢降解速度,延长堆腐时间^[17]。试验堆体水分在 65%左右,适宜于好氧发酵。试验在堆肥后期水分升高在 70%左右,一方面可能是由于冬季北方降雪覆盖增加堆体的含水量,另一方面是由于堆体底部通风,使水分子随气流由堆体中心向表面迁移,一段时间内,向堆体表层积累。

在堆肥发酵过程中,氮素的转化过程包括有机氮的氨化作用、氨的硝化和反硝化、无机氮化合物的固定作用。堆肥过程中氮的损失主要通过 3 个途径进行:pH 升高和高的堆肥温度造成的 NH₃ 逸出;水溶性含氮成分随渗出水流失;在缺氧条件下硝态氮反硝化引起的 NO_x 挥发,其中气态 NH₃ 形式损失的氮是最多的,占总氮的 6.8%~77.4%^[18]。堆肥中氮素的损失受堆肥物料组成、C/N、pH、温度、通风等因素影响^[19]。与传统条垛式堆肥方式相比^[18],强制通风静态好氧

堆肥全氮损失较高(46.45%和 40.95%),总氮损失率高于牛粪条垛式堆肥方式^[20],这可能是由于堆体处于中性至微碱性条件下,及堆体底部充氧,加速了堆体与外界的气体交换,促进了 NH₃ 挥发。牛粪堆肥利用强制通风静态好氧发酵方式,如何减少氮的损失是面临的主要问题。

随着堆肥的进行,有机质被微生物降解的同时,伴随着腐殖化过程^[21]。有机物料在微生物、酶的作用下形成的特殊类型的高分子有机化合物-腐殖物质^[22-23]。通过堆肥使有机物由不稳定状态转变为稳定的腐殖质物质。试验堆肥完成时,腐殖酸降低了 19.60%和 23.18%,分别由开始 296.50 和 285.60 g·kg⁻¹ 下降到 238.40 和 219.40 g·kg⁻¹,与传统条垛式堆肥相近^[23]。李吉进等研究也发现将鸡粪和牛粪混合进行条垛式堆肥,腐殖质总量呈下降趋势,与本研究结果相一致^[24]。由于强制通风堆体发酵均能充分启动,试验处理 1(采取样态好氧堆肥方式,并在启动前 2 d 在堆体底部进行加热处理)与处理 2(采取静态好氧堆肥方式,无预热处理)腐植酸含量及变化规律差别不显著,初期预热处理影响不明显。

在北方冬季牛粪堆肥利用强制通风静态好氧发酵方式,由于处理 1 与处理 2 温度均能达到堆肥高温发酵要求,各处理有机物矿质化、腐殖化和无害化反应充分,最终均转变为稳定的腐殖质等物质,处理 1 与处理 2 腐植酸、总氮等指标及变化规律差别不显著。

参考文献:

- [1] 张雨. 黑龙江迈向畜牧强省[J]. 农产品市场周刊, 2017(35):38-39.
- [2] 黑龙江省财政厅,黑龙江省农业开发办公室联合调研组[J]. 奋斗,2017(14):22-26.
- [3] 李季,彭生平. 堆肥工程使用手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [4] Waksman S A, Cordon T C, Hulpoi N. Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in composts of stable manure[J]. Soil Science, 1939,47: 83-113.
- [5] Cooper J N, Anderson J G, Campbell C D. How resilient are microbial communities to temperature changes during composting[M]. Berlin: Heidelberg, 2002.
- [6] Fernandez L, Sartaj M. Comparative study of static pile composting using natural forced, passive aeration methods[J]. Compost Science & Utilization, 1997, 5(4): 65-77.
- [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, 2009.
- [8] 中华人民共和国卫生部. GB 7959-87, 中华人民共和国国家标准粪便无害化卫生标准[S].

- [9] 李怨艳,李吉进. 高温堆肥温度变化及无害化效果试验[J]. 蔬菜,2013(2):52-56.
- [10] 何惠霞,徐凤花,赵晓锋,等. 低温下牛粪接种发酵剂对堆肥温度与微生物的影响[J]. 东北农业大学学报,2007,38(1):54-58.
- [11] Augenstein D, Wise D L, Dat N X, et al. Composting of municipal solid waste and sewage sludge; potential for fuel gas production in a developing country[J]. Resources, Conservation and Recycling, 1996, 16:265-279.
- [12] 陈广银,王德汉,吴艳. 不同时期添加蘑菇渣对落叶堆肥过程的影响[J]. 环境化学,2008,27(1):81-86.
- [13] 李清飞,孙震宇. 微生物调控对牛粪堆肥的生物特性影响[J]. 环境污染与防治,2012,34(2):5-8.
- [14] Miller F C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors[M]//Soil Microbiology ecology application in agricultural and environmental management. New York:Marcel Dekker,1993.
- [15] Haug R T. Engineering Principles of sludge composting[J]. Water Pollution Control Federation,1979,51(8):2189-2206.
- [16] USEAP. Composting facility design[M]//Composting of municipal waster sludges,1985.
- [17] Jimenez E I, and Garcia V P. Composting of domestic refuse and sewage sludge, I Evolution of temperature, pH, C/N ratio and cation-exchange capacity[J]. Resources, Conservation and Recycling, 1991, 6:45-60.
- [18] Martins O, Dewes T. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes[J]. Bioresource Technology, 1992, 42:103-111.
- [19] 赵秋,鲍艳宇. 堆肥过程中氮素损失的控制[J]. 中国农学通报,2007,23(7):375-378.
- [20] 胡华锋,程璞,刘卫东. 冬季低温环境下牛粪堆肥参数动态研究[J]. 郑州牧业工程高等专科学校学报,2014,34(3):1-7.
- [21] Inbar Y, Chen Y and Hadar Y. Characterization of humic substances form enduring the Composting of organic matter[J]. Soil Science Society of American Journal, 1990, 54:1316-1324.
- [22] 熊雄,李艳霞,韩杰,等. 堆肥腐殖质的形成和变化及其对重金属有效性的影响[J]. 农业环境科学学报,2008,27(6):2137-2142.
- [23] 李国学,张福锁. 固体废弃物堆肥化与有机复合肥生产[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
- [24] 李吉进,郝晋珉,邹国元,等. 高温堆肥碳氮循环及腐殖质变化特征研究[J]. 生态环境,2004(3):332-334.

Fermentation and Degradation Characteristics of Cattle Manure by Forced Ventilation Static Aerobic Composting in Cold Region

LU Hai-yan, YIN Gui-hua, LIU Jie

(The Institute of Rural Energy Research, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150000, China)

Abstract: In order to speed up the resource utilization of livestock and poultry manure and overcome the disadvantageous conditions of low temperature in winter, three treatments were designed: forced ventilation static aerobic composting with preheating for treatment 1, forced ventilation static aerobic composting without preheating for treatment 2 and natural fermentation composting of cattle manure as control treatment CK. By comparing and analyzing the temperature, water content, pH, total nitrogen and humic acid content of each treatment, the experiment studied the cattle manure fermentation and degradation characteristics under low temperature in winter of North China. The results showed that: treatment 1 lasted 20 days when the temperature of the reactor was above 50 °C on the fifth day, treatment 2 lasted 16 days when the temperature of the reactor was above 50 °C on the ninth day, and both treatment temperatures met the national standards for the innocuous treatment of livestock and poultry manure (GB 7959-87); the control treatment temperature did not change significantly and did not meet the standards for the innocuous treatment of livestock and poultry manure. Test treatment 1 and 2 showed that the change of pH was lower in the early stage and higher in the later stage, and the heap was neutral to slightly alkaline (7.89-8.65) as a whole; the water content of the reactor showed a rising and declining trend in the early and late stages of the test, and a slight declining trend in general, which decreased from 65.48% and 64.47% at the beginning of the test to 62.01% and 64.35% at the completion of the decomposition, respectively; the TN loss of the reactor was higher, 46.45% and 40.95% respectively, from 36.60 and 35.90 g·kg⁻¹ to 19.60 and 21.20 g·kg⁻¹ at the time of completion of decomposition; humus was reduced by 19.60% and 23.18% respectively, from 296.50 and 285.60 g·kg⁻¹ at the beginning of the experiment to 238.40 and 219.40 g·kg⁻¹ at the time of completion of decomposition. Under the condition of low temperature in winter in North China, the composting technology of forced ventilation static aerobic composting could make the temperature of cattle manure compost reach the national sanitary standard and complete the effective composting process. Preheating in the early stage of the test could accelerate the temperature rise of reactor and raise the upper limit of temperature rise, which was conducive to the process of composting.

Keywords: forced ventilation static aerobic composting technology; cattle manure; temperature; total nitrogen; humus