

通风量对厨余垃圾堆肥过程中 H_2S 和 NH_3 排放的影响

张玉冬^{1,2}, 张红玉², 顾军², 王继红^{1*}

(1.吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118; 2.北京建筑材料科学研究总院有限公司/固废资源化利用与节能建材国家重点实验室, 北京 100041)

摘要:厨余垃圾堆肥过程中 H_2S 和 NH_3 的排放不但会引发臭气污染,而且会降低堆肥产品的养分含量。通风量是影响这2种恶臭气体排放的重要因素。以大类粗分后的厨余垃圾为研究对象,玉米秸秆作为调理剂,设置4个水平的通风量,分别为每立方米物料 0.5、1.0、2.2、3.2 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,研究通风量对厨余垃圾堆肥过程中 H_2S 和 NH_3 排放的影响。结果表明,4个处理均满足无害化和堆肥腐熟的要求, NH_3 的排放量随通风量的增加而增加, H_2S 的排放量随通风量的增加而减少,但过大的通风量会增加 H_2S 的吹脱,使其排放量增大。综合厨余垃圾堆肥的无害化指标、 H_2S 和 NH_3 的排放以及最终堆肥产品的毒性检验结果,实验条件下每立方米物料的通风量为 2.2 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 的持续通风处理,既能有效控制 H_2S 和 NH_3 的排放,又能保证堆肥的无害化和堆肥产品的腐熟。

关键词:厨余垃圾;堆肥;通风量;硫化氢;氨气

中图分类号:X705 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2015)07-1371-07 doi:10.11654/jaes.2015.07.020

Influence of Ventilation on H_2S and NH_3 Emissions During Kitchen Waste Composting

ZHANG Yu-dong^{1,2}, ZHANG Hong-yu², GU Jun², WANG Ji-hong^{1*}

(1.Environment Engineering, College of Resource and Environment Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2.Beijing Building Materials Academy of Science Research/Solid Waste Resources Utilization and Energy Saving Building Materials State Key Laboratory, Beijing 100041, China)

Abstract:Waste composting has been considered as a safe and efficient measure to dispose kitchen waste in recent years. Kitchen waste composting would produce a great quantity of H_2S and NH_3 . To reduce emissions of H_2S and NH_3 , a composting experiment was carried out with kitchen waste and corn stalk as materials under aerobic conditions to investigate H_2S and NH_3 emissions from kitchen waste under different ventilation rates marked T1, T2, T3 and T4 (0.5, 1.0, 2.2 and 3.2 $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$). Temperature, O_2 , H_2S , NH_3 , GI, EC, TOC, and TN were monitored during composting. During 30 days of composting, cumulative emissions of H_2S in T1, T2, T3 and T4 were respectively 103.17, 54.10, 35.58 and 44.38 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{DM}$. Compared with T1, H_2S emissions were reduced by 47.6%, 65.5% and 57.0% for T2, T3, and T4, respectively. Cumulative emissions of NH_3 during 30 days were 14.79, 406.50, 1475.63 and 2274.35 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{DM}$ for T1, T2, T3 and T4, respectively. These findings show that H_2S emissions decrease with increasing ventilation within a certain range. The emissions of NH_3 increase with ventilation rates. Taking into comprehensive consideration of non-hazard index, H_2S and NH_3 emissions, and compost toxicity test, it is recommended that an optimized method for composting kitchen waste would be 85:15 of kitchen waste to stalk ratio and 2.2 $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ material $\cdot\text{h}^{-1}$ of ventilation rate.

Keywords:kitchen waste; composting; ventilation; hydrogen sulfide; ammonia

堆肥是好氧微生物在有氧条件下将堆肥原料中的有机物进行分解再利用的过程,通风量是决定发酵

效果最主要的因素之一^[1]。通风量在堆肥过程中有以下作用:①提供足够的氧气,使微生物正常生长繁殖,氧气浓度过低,好氧菌受抑制、厌氧菌大量繁殖,会产生臭气^[2];②足够的氧气使微生物快速分解有机物,放出热量提高堆体温度,杀死堆体中的病菌;③适宜的通风条件可以促进水分散失,增加堆体中可容纳的空气体积,通风量过高或过低都会影响堆肥效果,还会

收稿日期:2015-02-03

基金项目:北京市自然科学基金资助项目(8144050);国家科技支撑计划(2012BAC15B04);吉林省科技厅项目(20100431)

作者简介:张玉冬(1990—),女,硕士研究生,主要从事固体废弃物处理与资源化研究。E-mail:zyd_chq@126.com

*通信作者:王继红 E-mail:wjh489@126.com

带来严重的臭气污染^[3-5]。目前,大多数研究关注通风量对堆肥过程中 NH_3 形式臭气排放的影响^[3,5-6],对 H_2S 这种低嗅阈有毒恶臭气体的研究较少,尽管在堆肥过程中 H_2S 的排放量较低,但 H_2S 对厨余垃圾堆肥过程中恶臭浓度的贡献最大^[6]。 H_2S 是氧气供应不足时厌氧菌对有机物分解不彻底的产物,因此好氧堆肥过程中供氧参数的设置直接影响 H_2S 的排放。厨余垃圾堆肥过程中的氧气供给主要通过强制通风系统调解,通风量是影响 H_2S 排放的关键因素,而通风量对堆肥过程中 NH_3 和 H_2S 的综合控制研究鲜见报道。本研究以厨余垃圾堆肥过程中排放的 NH_3 和 H_2S 作为重点监控对象,研究不同通风条件下这2种恶臭气体的排放情况,同时结合堆肥的无害化和毒性检验,优选出厨余垃圾堆肥过程中恶臭气体减排的最佳通风参数。

1 材料与方法

1.1 堆肥材料

采集南宫垃圾转运站筛分的 15~80 mm 粒径段垃圾,经人工大类粗分为厨余垃圾、可回收垃圾和其他垃圾,以厨余垃圾作为实验原料。风干玉米秸秆取自中国农业大学上庄实验站,粒径为 2~3 cm。堆肥装置为 100 L 圆柱体密封发酵罐(图 1),堆肥初始物料的物理组分见表 1,堆肥原料的基本性状见表 2。

1.2 堆肥方法

将厨余垃圾与秸秆以湿基质量比 85:15 混合均匀后堆置在 4 个 100 L 密封发酵罐中进行高温好氧

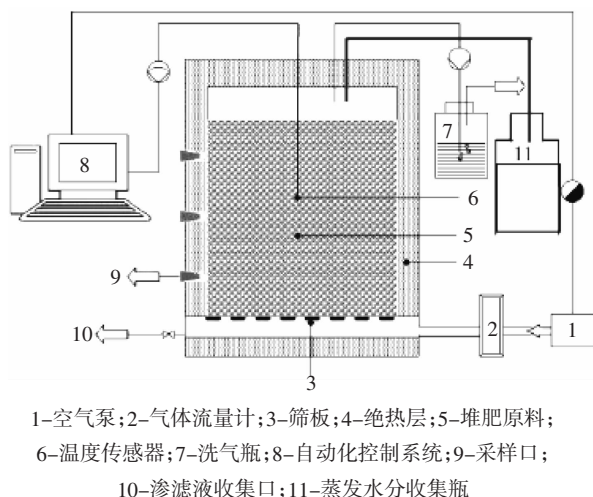


图 1 强制通风静态堆肥反应器示意

Figure 1 Diagram of heat insulated composting vessel with forced aeration system

表 1 堆肥初始物料的物理组分

Table 1 Physical components of kitchen waste for composting

厨余垃圾	蔬菜	果皮	果壳	主食	肉	骨头	蛋壳	合计
含量/%	28.33	11.46	5.43	46.75	3.14	2.31	2.58	100

表 2 堆肥初始物料的基本性状

Table 2 Basic characteristics of kitchen waste for composting

堆肥原料	总有机碳/%	总氮/%	含水率/%	固相碳氮比
厨余垃圾	26.18	2.11	63.65	12.40
玉米秸秆	41.72	1.21	4.12	34.58

堆肥。4 个处理均采用全天持续强制通风方式,设定每立方米物料的通风量为 0.5、1.0、2.2、3.2 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (分别表示为 T1、T2、T3、T4),共堆置 30 d,每天测定温度、 NH_3 、 H_2S 及 O_2 含量。翻堆和取样时间为第 0、3、7、14、21、30 d,翻堆时将罐中所有堆料倒出,用铁锹将物料充分混匀后取 500 g 左右用于后续固体指标的测定,取样后将堆肥物料再次装回发酵罐中压实称重,继续进行堆肥处理。

1.3 测定指标及分析方法

堆肥温度由温度自动监测系统记录,通过电脑直接读取;含水率采用 80 $^{\circ}\text{C}$ 烘干 10 h 测定;电导率(EC)使用便携式多参数测量仪(SX751 型,上海三信仪表厂)对浸提液进行测定;总有机碳(TOC)、总氮(TN)采用 NY525 有机肥料标准方法测定;总硫采用元素分析法测定;氨气(NH_3)采用 H_3BO_3 吸收法测定;硫化氢(H_2S)和氧气(O_2)通过沼气测定仪(Biogas 5000 型,英国 Geotech 公司)测定。

发芽指数(GI)测定方法:使用去离子水浸提鲜样,固液比为 1:10,取浸提液 9 mL 于垫有滤纸的培养皿中,并在培养皿中放入 10 粒种子,放置在 $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 的培养箱中培养,48 h 后测定,按下式计算:

$$\text{发芽指数} = \frac{\text{浸提液种子发芽率} \times \text{根长}}{\text{对照种子发芽率} \times \text{根长}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中温度的变化

温度是反映堆体有机物分解和微生物活性变化的重要指标^[8],决定堆肥过程中物料的分解速率^[9]。堆肥过程中温度随时间变化的情况如图 2 所示,各处理堆体温度均呈先上升后下降的趋势。这是由于堆肥初期,堆体中能被微生物利用的有机物快速分解,释放出大量热量,温度上升;堆肥后期,物料中可分解的有机物耗尽,温度逐渐下降并接近室温。各处理均在堆

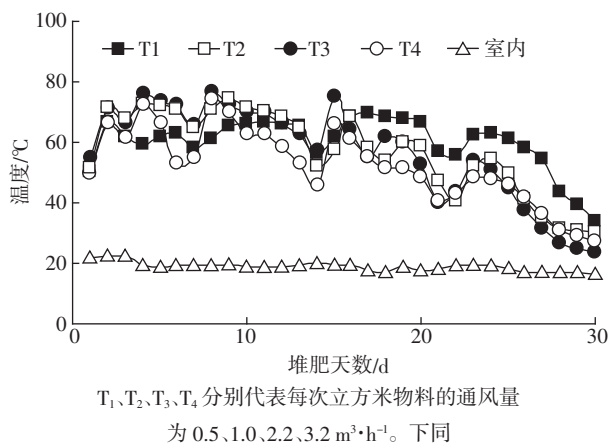


图 2 堆肥期间温度变化曲线

Figure 2 Dynamics of temperature during composting

肥第 2 d 进入高温期(>55 °C),并在此温度以上分别持续了 25、19、18、12 d,均达到生活垃圾无害化要求^[10]。各处理相比,通风量越大,从堆体中带出的热量越多,堆体温度越低且高温期持续时间越短。统计分析表明,各处理间温度变化差异极显著($P<0.01$)。

2.2 堆肥过程中氧气含量的变化

各处理 O_2 含量随堆肥时间变化的结果如图 3 所示,4 个处理堆体出口氧气含量均呈上升趋势。堆肥前 2 周,各处理的 O_2 消耗量较大,主要由于这一时期有机物分解剧烈,因此堆肥出口 O_2 含量较低。堆肥结束时各堆体出口 O_2 含量均接近于环境中的 O_2 含量。翻堆后,4 个处理 O_2 含量迅速下降,主要是因为翻堆使堆料变得松散,增加了物料的孔隙度,使 O_2 的传输变得通畅,加速了微生物对有机物的分解, O_2 的消耗量增大,导致堆肥出口的 O_2 含量下降;随着有机物分解速度变缓,堆体中微生物对 O_2 消耗量减少, O_2 浓度上升并趋于稳定。4 个处理相比,通风量越高,出口 O_2 浓度越高;通风量越低,堆肥出口 O_2 浓度也越低。统计分析表明:

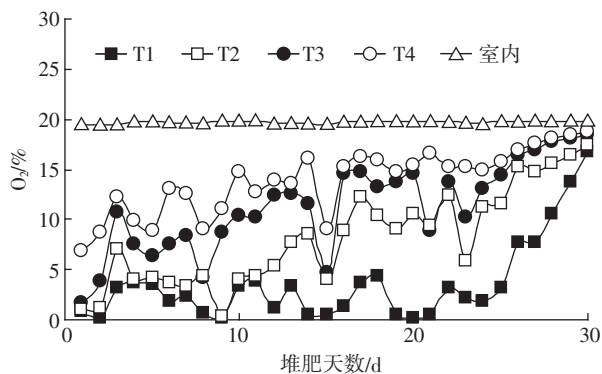
图 3 堆肥期间 O_2 变化曲线

Figure 3 Dynamics of oxygen during composting

各处理间 O_2 变化差异极显著($P<0.01$)。

2.3 通风量对硫化氢排放的影响

H_2S 是有机物厌氧发酵过程中的副产物^[11]。堆肥期间 H_2S 的排放浓度和累积排放量的变化如图 4 所示。由图 4a 可以看出,在堆肥初期就有 H_2S 的排放,可能由于厨余垃圾在清运和转运过程中已经发生厌氧反应释放出了 H_2S 。4 个处理的 H_2S 日排放浓度均呈先上升后下降的趋势。除 T1 的排放周期集中在前 3 周外,其余各处理 H_2S 的排放周期均集中在前 2 周。有研究表明,在堆肥升温期和高温期易分解有机物的快速分解会消耗大量 O_2 ,从而造成局部缺氧使 H_2S 在此时集中排放^[12]。这一结论与本实验的研究结果一致。由图 4b 可以看出,通风量越大, H_2S 的累积排放量越低。值得一提的是,尽管 T4 的通风量高于 T3,但其 H_2S 的累积排放量反而高于 T3。这主要是因为过大的通风量会加大堆体中 H_2S 的吹脱,使得堆体出口 H_2S 的排放量增大。整个堆肥周期内 4 个处理 H_2S 的累积排放量分别为 103.17、54.10、35.58、44.38 mg·kg⁻¹ DW。与 T1 相比,T2、T3 和 T4 的 H_2S 累积排放量分别降低了 47.6%、65.5%和 57.0%。对 H_2S 的减

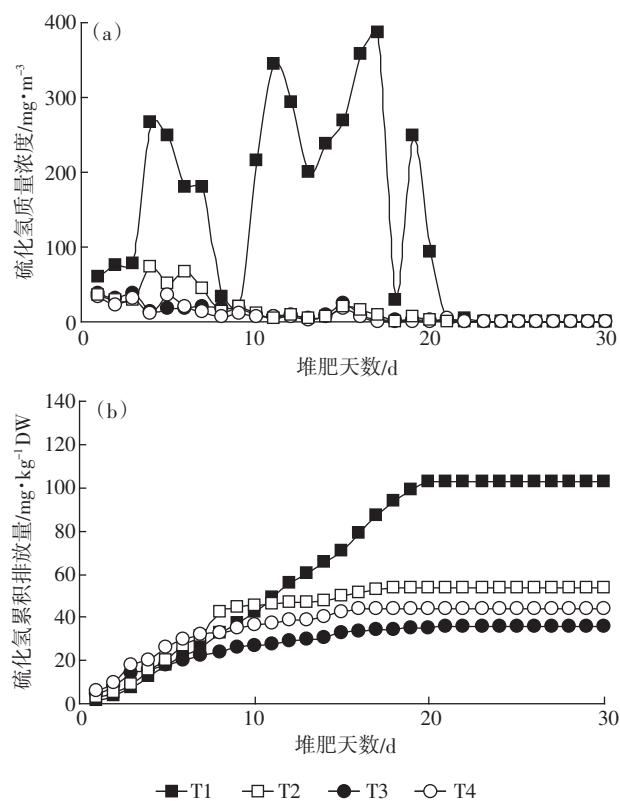


图 4 堆肥期间硫化氢浓度(a)和累积排放量(b)的变化

Figure 4 Changes of concentrations(a) and cumulative emissions(b) of hydrogen sulfide during composting

排效果最好的是 T3,最差的是 T1,说明通风量的适度增加有助于 H_2S 的减排,但过高的通风量也会增加 H_2S 的排放^[13]。统计分析结果显示,各处理间 H_2S 排放差异极显著($P<0.01$)。

2.4 通风量对氨气排放的影响

堆肥过程中 NH_3 的排放浓度和累积排放量如图 5 所示。由图 5a 可以看出,4 个处理 NH_3 的排放均呈先上升后下降的趋势,并且其排放主要集中在前两周。堆肥过程中 NH_3 挥发与堆肥高温密不可分,由于在堆肥初期,堆体温度较低,各处理的 NH_3 排放浓度相应较低,其后随着有机物的快速分解,堆体温度不断升高,导致 NH_3 挥发速率逐渐增加。堆肥进行两周后,由于硝化细菌硝化作用产生的 H^+ 和有机物分解产生的有机酸含量上升,导致堆料的 pH 值降低, $\text{NH}_3\text{-N}$ 转变为 $\text{NO}_3\text{-N}$, NH_3 排放量逐渐减少并趋近于零。 NH_3 在第 3 d 和第 7 d 的排放出现波动是由于翻堆后,堆体松散,可容纳 O_2 量增多,好氧微生物利用 O_2 加速分解堆体中的有机物成分,排放更多 NH_3 。整个堆肥周期内,4 个处理 NH_3 的累积排放量分别为 14.79、406.50、1 475.63、2 274.35 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{DW}$,与 T1 相

比,T2、T3 和 T4 的总排放量分别是 T1 的 27.5、99.8、153.8 倍。可见,通风量的增加会加速 NH_3 的排放, NH_3 排放是堆肥过程中氮素损失的主要方式,过大的通风量也是导致堆肥氮素损失和臭气排放的主要原因。目前已有类似研究结果^[3,6,14]。统计分析表明,各处理间 NH_3 排放差异极显著($P<0.01$)。

2.5 堆肥过程中毒性指标变化情况

植物生长试验是评价堆肥腐熟度的最终和最具说服力的方法^[15],当种子发芽指数 GI 达到 80%~85%,就认为堆肥已腐熟并达到了可接受的程度,即没有毒性^[16]。堆肥过程中 4 个处理物料水浸提液的 GI 随堆肥时间的变化趋势见图 6a。可以看出,在堆肥过程中 4 个处理的 GI 均呈上升趋势,说明随着堆肥的进行,抑制植物种子发芽的有毒物质在不断分解,堆肥不断趋近腐熟。堆肥结束时,T1、T2、T3 和 T4 的 GI 值分别为 79.9%、114.6%、113.5%和 137.4%,4 个堆肥产品均达到无害化要求,并且通风量的增加促进了堆肥无害化的进行。统计分析表明,各处理间 GI 变化差异显著($P<0.05$)。

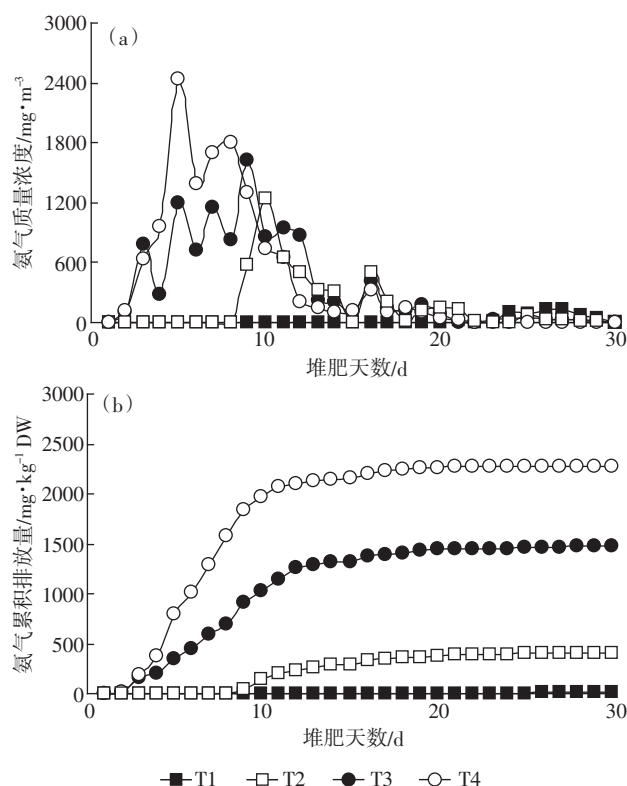


图 5 堆肥期间氨气浓度(a)和累积排放量(b)的变化

Figure 5 Changes of NH_3 concentrations(a) and cumulative(b) emissions during composting

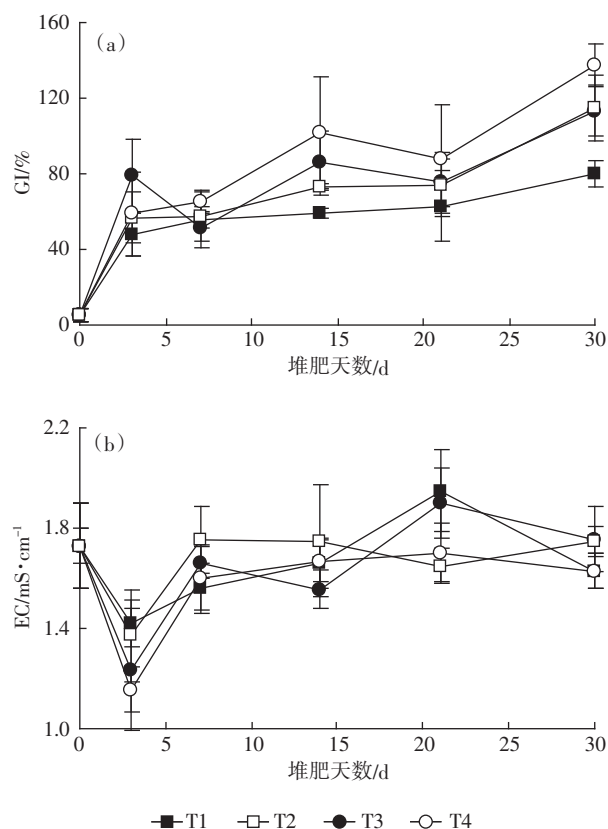


图 6 堆肥期间 GI(a)和 EC(b)的变化曲线

Figure 6 Changes of germination index(a) and electrical conductivity(b) during composting

EC 反映了堆肥浸提液中的离子总浓度,即可溶性盐含量情况,是衡量堆肥腐熟度的一个必要条件^[17-18]。堆肥产品含盐量越高,EC 越大,越容易造成土壤盐化而损害植物根部功能,对植物生长的抑制作用越大。堆肥期间各处理 EC 的变化如图 6b 所示。堆肥初期,可能因为物料中原有的 NH_4^+ 、 OH^- 转变为 NH_3 和 H_2O 导致各处理的 EC 值快速下降,在堆肥的第 3~7 d,随着物料中有机物氧化分解释放出矿物盐分和其他离子,各处理 EC 值上升,此后随着 CO_2 和 NH_3 的释放和金属离子的固定,各处理 EC 值再次下降^[9]。堆肥结束时,4 个处理的 EC 值均低于 $3\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$,在作物生长安全范围之内,可以排除对作物的毒害作用。统计分析表明,各处理间 EC 变化差异显著($P<0.05$)。

2.6 堆肥前后物料和元素平衡

堆肥过程中各处理的物质和元素平衡如表 3 所示。4 个处理的干物质损失率在 22.1%~35.8%之间,其中 T1 的干物质损失率最小,T4 的干物质损失率最大。堆肥过程中水分可以通过蒸发水和渗滤液两种形式损失。厨余垃圾单独好氧堆肥过程中会产生渗滤液^[20],渗滤液是氨氮流失的一种重要途径^[21],已有研究表明垃圾渗滤液中含有 60 多种有机污染物,堆肥过程中产生的渗滤水也是重要的恶臭气体散发源。本实验采用秸秆与厨余垃圾进行混合堆肥,利用秸秆吸收厨余垃圾中多余水分,既避免了渗滤液的排放,也阻断了渗滤液形式的臭气排放。此外厨余垃圾堆肥过程中以气态形式排放的大量恶臭气体中 H_2S 的贡献最大,秸秆的添加有效地增加了堆肥物料的孔隙度,从而增大物料与空气接触面积,减少厌氧的发生,大幅降低了 H_2S 的排放。秸秆的添加还能提高厨余垃圾的 C/N,一定程度也降低了堆肥过程中 NH_3 的排放,有效抑制氮素流失和臭气排放的问题。本次实验 4 个堆肥处理均未产生渗滤液,水分均以蒸发冷凝水形式损失。与 T1 相比,T2、T3 和 T4 的水分损失率分别是 T1 的 1.6、3.0 倍和 2.7 倍,T3 处理冷凝水的损失率最

高。因此,在厨余垃圾堆肥过程中,采取高通风量的情况下就要加强冷凝水的收集措施。

由表 3 中“N 素平衡”可知,堆肥过程中 4 个处理的 N 素总损失率依次增大,说明通风量越大,N 素的总损失越高。 NH_3 挥发是氮素损失的一个重要途径,4 个处理以 NH_3 形式损失的 N 占堆肥物料初始总 N 的比例分别为 0.66%、18.24%、27.59%和 30.62%,进一步核算可以得出堆肥中 T1、T2、T3 和 T4 的 NH_3 -N 分别占总 N 素损失的 3%、71%、83%和 85%。因此,降低堆肥过程中 NH_3 的挥发是减少 N 素损失和提高堆肥产品养分含量的关键。

堆肥过程中 S 素损失的重要途径是 H_2S 的排放。通过表 3 中“S 素平衡”可知,4 个处理 S 素损失占初始总 S 的 11.2%~21.6%,以 H_2S 形态释放的 S 占总 S 素损失的 51.6%~77.7%。随着通风量的增大,总 S 损失和 H_2S 的排放不断降低,但是通风量过大反而加速堆体中 H_2S 的吹脱,不利于堆肥过程臭气的控制。

3 讨论

厨余垃圾中富含有机物(粗蛋白 16.73%、粗脂肪 28.82%、粗纤维 2.52%)^[22],这决定了厨余垃圾在堆肥过程中有机物的好氧或厌氧分解会产生一定的 NH_3 和 H_2S ,造成 N 素和 S 素的损失,不仅影响堆肥产物的质量,还会对环境造成污染。厨余垃圾堆肥过程需要大量 O_2 参与,初始堆料中含水率较大,堆料孔隙被水分占据,需要通过强制通风调解堆料的通气质量。通风量较低,供气困难导致堆料中 O_2 不足,造成局部厌氧,影响微生物对有机质的彻底分解并产生 H_2S ,也容易引起堆体升温缓慢、高温期过短的情况发生。通风量过高带出堆料中热量增多,缩短堆肥高温期,影响堆料无害化,还会增加 NH_3 的排放。

从实验结果来看,T3 处理对厨余垃圾堆肥过程中 NH_3 和 H_2S 的综合减排效果最好。这是因为 T3 处理的通风强度适中,带走堆料中多余的水分,增加堆

表 3 堆肥过程中的物质和元素平衡

Table 3 Balance of mass and elements during composting

处理	干物质			水分			氮素平衡		硫素平衡	
	质量初始值/kg	质量结束值/kg	损失率/%	质量初始值/kg	质量结束值/kg	损失率/%	NH_3 -N/%	氮素损失/%	H_2S -S/%	硫素损失/%
T1	22.3	15.22	22.08	25.75	23.63	4.41	0.66	22.08	16.74	21.54
T2	18.91	13.52	25.45	21.84	18.98	7.02	18.24	25.45	8.78	15.77
T3	24.99	16.29	33.16	28.86	21.76	13.18	27.59	33.16	5.77	11.18
T4	22.23	13.87	35.79	25.67	20.03	11.77	30.62	35.79	7.20	13.71

注:干物质和水分损失率为损失量占堆肥初始物料(湿基)的百分比,%;氮、硫素平衡为氮、硫损失占初始总氮、硫的百分比,%。

体孔隙度,使物料保持较好的微环境保证堆体有机物分解。由于堆料好氧产生 NH_3 ,堆料厌氧易产生 H_2S ,适合的通风量可以尽量降低 NH_3 和 H_2S 的综合排放量,减少臭气污染,提高堆肥产品的品质。所以在废弃物堆肥过程中寻找最适合的通风量是关键。

4 结论

(1)从温度及毒性指标 EC 和 GI 来看,4 个处理均达到无害化要求。

(2)从臭气排放来看, NH_3 的排放量随通风量的增大而增大; H_2S 的排放量在一定范围内随通风量的增大而减少,但过大的通风量也会加速堆体中 H_2S 的吹脱,使其排放量增大。在本实验条件下每立方米物料的通风量为 $2.2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 的持续强制通风可有效控制堆肥过程中 H_2S 和 NH_3 的排放。

(3)通过堆肥过程中的物质平衡来看,通风量越大,干物质损失率越高。通风量的增大加速了有机物的彻底分解;而从水分平衡来看,通风量越大水分损失越多。

参考文献:

- [1] 万小春, 张玉华, 高新星, 等. 农村有机生活垃圾和秸秆快速好氧发酵技术参数研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 214-217.
WAN Xiao-chun, ZHANG Yu-hua, GAO Xin-xing, et al. Optimization of aerobic fermentation parameters for rural organic living waste and stalk[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(4): 214-217.
- [2] Haug R T. The practical handbook of compost engineering[M]. New York: Lewis Publishers, 1993: 285-289.
- [3] 张红玉. 通风量对厨余垃圾堆肥腐熟度和氨气排放的影响[J]. 环境工程, 2013, 31(S1): 483-486.
ZHANG Hong-yu. Effect of an aeration rate on maturity and ammonia emission during kitchen waste composting[J]. *Environmental Engineering*, 2013, 31(S1): 483-486.
- [4] 沈玉君, 陈同斌, 刘洪涛, 等. 堆肥过程中臭气的产生和释放过程研究进展[J]. 中国给水排水, 2011, 27(11): 104-108.
SHEN Yu-jun, CHEN Tong-bin, LIU Hong-tao, et al. Research progress in odor production and emission from compostin[J]. *China Water and Waste Water*, 2011, 27(11): 104-108.
- [5] 杨延梅. 通风量对厨余堆肥氮素转化及氮素损失的影响[J]. 环境科学与技术, 2010, 32(12): 1-4, 19.
YANG Yan-mei. Influence of ventilation on nitrogen transformation and loss during composting of kitchen waste[J]. *Environmental Science and Technology*, 2010, 32(12): 1-4, 19.
- [6] Elwell D L, Keener H M, Wiles M C. Odorous emissions and odor control in composting swine manure/sawdust mixes using continuous and intermittent aeration[J]. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 2001, 44(5): 1307-1316.
- [7] 张红玉, 邹克华, 杨金兵, 等. 厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析[J]. 环境科学, 2012, 33(8): 2563-2568.
ZHANG Hong-yu, ZOU Ke-hua, YANG Jin-bing, et al. Analysis of odor pollutants in kitchen waste composting[J]. *Environmental Science*, 2012, 33(8): 2563-2568.
- [8] 杨帆, 欧阳喜辉, 李国学, 等. 膨松剂对厨余垃圾堆肥 CH_4 、 N_2O 和 NH_3 排放的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 226-233.
YANG Fan, OUYANG Xi-hui, LI Guo-xue, et al. Effect of bulkong agent on CH_4 、 N_2O and NH_3 emissions in kitchen waste composting[J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(18): 226-233.
- [9] 席北斗, 李英军, 刘鸿亮, 等. 温度对生活垃圾堆肥效率的影响[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 6(7): 34-36.
XI Bei-dou, LI Ying-jun, LIU Hong-liang, et al. Effects of temperature on composting process of municipal solid waste[J]. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2006, 6(7): 34-36.
- [10] 北京市质量技术监督局. DB 11/T 272—2005 生活垃圾堆肥厂运行管理规范[S]. 北京: 北京市质量技术监督局, 2005.
Beijing Municipal Administration of Quality and Technology Supervision. DB 11/T 272—2005 Operation and management code for municipal solid waste composting plant[S]. Beijing: Beijing Municipal Administration of Quality and Technology Supervision, 2005.
- [11] 张红玉, 李国学, 袁晶, 等. 固氮添加剂降低厨余垃圾堆肥中 NH_3 和 H_2S 排放[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 173-178.
ZHANG Hong-yu, LI Guo-xue, YUAN Jing, et al. Nitrogen fixation additive reducing emission of NH_3 and H_2S during composting of kitchen waste and cornstalk[J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(23): 173-178.
- [12] 简保权, 朱舒平, 邓昌彦. 猪粪堆肥过程中 NH_3 和 H_2S 的释放特点及除臭微生物的筛选研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
JIAN Bao-quan, ZHU Shu-ping, DENG Chang-yan. Studies in the characteristics of ammonia and hydrogen sulfide volatilization during composting of pig manure and screening of deodorizing microorganisms [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006.
- [13] 李春萍, 蔡先明, 秦侠, 等. 通风、翻堆和添加剂对垃圾生物干化和臭气排放的影响[J]. 环境工程, 2014, 32(3): 83-86.
LI Chun-ping, CAI Xian-ming, QIN Xia, et al. Ventilation turning and additive effects on municipal solid waste (MSW) biological drying and odor emissions[J]. *Environmental Engineering*, 2014, 32(3): 83-86.
- [14] 沈玉军, 李国学, 任丽梅, 等. 不同通风速率对堆肥腐熟度和含氮气体排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(9): 1814-1819.
SHEN Yu-jun, LI Guo-xue, REN Li-mei, et al. The impact of composting with different aeration rates on maturity variation and emission of gas concluding N[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(9): 1814-1819.
- [15] Tiquia S M, Tam N F Y. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge[J]. *Bioresource Technology*, 1998, 65: 43-49.
- [16] 袁荣焕, 彭绪亚, 吴振松, 等. 城市生活垃圾堆肥腐熟度综合指标的确定[J]. 重庆建筑大学学报, 2013, 25(4): 54-58.
YUAN Rong-huan, PENG Xu-ya, WU Zhen-song, et al. Study on maturity of municipal solid waste compost[J]. *Journal of Chongqing*

Jianzhu University, 2013, 25(4):54-58.

- [17] 宁尚晓. 生活垃圾堆肥腐熟度评价标准[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(5):28-29.

NING Shang-xiao. Evaluation standard of compost maturity of municipal solid waste[J]. *Anhui Agricultural Science*, 2012, 18(5):28-29.

- [18] Lin C. A negative-pressure aeration system for composting food waste[J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(16):7651-7656.

- [19] 秦莉, 李玉春, 李国学, 等. 城市生活垃圾堆肥过程中腐熟度指标及控制参数[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12):189-194.

QIN Li, LI Yu-chun, LI Guo-xue, et al. Maturity indexes and operational parameters during composting municipal solid waste[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(12):189-194.

- [20] 徐栋, 沈东升, 冯华君, 等. 厨余垃圾的特性及处理技术研究进展[J]. 科技通报, 2011, 27(1):130-135.

XU Dong, SHEN Dong-sheng, FENG Hua-jun, et al. Discussion on characteristics and resource recycling technology of food residue[J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2011, 27(1):130-135.

- [21] 唐骏红, 张秀芝, 彭征宇, 等. 城市垃圾填埋场渗滤液的环境污染分析[J]. 杭州电子科技大学学报, 2010, 30(1):50-53.

TANG Jun-hong, ZHANG Xiu-zhi, PENG Zheng-yu, et al. Analysis on environment pollution of municipal waste landfill leachate[J]. *Journal of Hangzhou Dianzi University*, 2010, 30(1):50-53.

- [22] 梁政, 杨勇华, 樊洪, 等. 厨余垃圾处理技术及综合利用研究[J]. 中国资源综合利用 2004(8):36-38.

LIANG Zheng, YANG Yong-hua, FAN Hong, et al. Research on disposal and complex utilization of rubbishes after dinning[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2004(8):36-38.

新书推荐



废旧家电和电子废弃物回收利用技术

刘明华 主编

本书为《再生资源科学与工程丛书》中的一分册。全书共分 8 章, 内容包括废旧家电概述、废旧家电的一般拆卸处理、废旧家电及电子废弃物中金属的回收利用、废旧家电及电子废弃物中有机高分子材料的回收利用、制冷设备中有毒有害物质的介绍及回收利用、印刷电路板的回收利用、废旧电池的回收与处置、废旧家电及电子废弃物回收利用中的“三废”治理等。

※书号: 9787122233387

※定 价: 68.0 元

※开本: 16

※出版日期: 2015 年 6 月



染整工业资源综合利用技术

陈立秋、白濛、程皓 等编著

本书根据纺织工业节能减排工作及再生资源综合利用的相关政策要求、研究方向, 阐述了国内外染整行业实施循环经济方面的重大应用成果。书中精选了行业资深专家、学者、一线科技工作者的论点、实用文献, 主要介绍了染整工业资源综合利用企业管理的进步、生产用水、生产用电、生产的供热用热、染整生产的余热回收、资源综合应用的物料回收、染整织物生产的生态资源应用、资源节约型的染整工艺装备、一次准印染工艺装备等内容。

※书号: 9787122203618

※定 价: 268.0 元

※开本: 16

※出版日期: 2015 年 5 月

如需更多图书信息, 请登录 www.cip.com.cn

服务电话: 010-64518888, 64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店: <http://hxgyCBS.tmall.com>

邮购地址: (100011) 北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

如要出版新著, 请与编辑联系, 联系电话: 010-64519525。