

低温条件下市政污泥好氧堆肥的中试研究

刘凯军, 罗华琦, 黄克毅, 苏芳准, 拜孟伟, 姜 飞
(郑州市污水净化有限公司, 河南 郑州 450045)

摘 要: 好氧堆肥技术越来越多地应用于市政污泥处理项目,在工业生产中也遇到了一些实际问题。为了找出并解决困扰低温好氧堆肥的因素,中试使用中型堆肥槽装置完成冬季好氧堆肥过程,与大槽生产相比,中型堆肥槽具有便于过程控制、工艺选择灵活、成本低等特点。使用好氧堆肥复合菌剂与几种调理剂对堆肥物料进行改良,通过堆肥工艺和理化指标综合分析了冬季堆肥过程的部分影响因素,并对工业化堆肥生产提出了建议。

关键词: 市政污泥; 好氧堆肥; 低温; 复合菌剂; 调理剂

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)07-0107-07

Pilot-scale Experiment of Municipal Sludge Aerobic Composting in Low Temperature Condition

LIU Kai-jun, LUO Hua-qi, HUANG Ke-yi, SU Fang-zhun, BAI Meng-wei,
JIANG Fei

(Zhengzhou Sewage Treatment Co. Ltd., Zhengzhou 450045, China)

Abstract: Aerobic composting technology has been increasingly used in municipal sludge treatment projects, but the industrial production has encountered some problems. To solve the problems in aerobic composting with low temperature, a medium size compost slot device was used to test the aerobic composting process in winter in a pilot-scale experiment. Compared to the industrialized production, the device was easier for process control and had lower cost. The experiments used microbial agent and several amendments for composting. Some of the composting process factors were explored through the composting process analysis and the chemical analysis. Recommendations to improving composting of industrialization production were provided.

Key words: municipal sludge; aerobic composting; low temperature; microbial agent; amendment

工业化好氧堆肥要根据不同季节特点进行工艺调整,以保障堆肥化顺利进行。华北地区和东北地区的好氧堆肥装置在冬季低温条件下运行,污泥(市政污泥含水率约为 80%)的处理效率甚至低于设计值。以郑州市好氧堆肥工程为例^[1],对比 12 月—2 月与 7 月—9 月(2013 年)的运行效果,冬季生产效率约为夏、秋季的 60%,堆肥周期平均延长 5 d 左右,出槽腐熟物料的含水率高出 10%~15%。

找出并解决困扰低温好氧堆肥的因素,不仅对现有工业化堆肥具有实际意义,也对堆肥工程设计以及在寒冷地区的应用具有指导作用。

1 材料与方法

1.1 堆肥装置

采用 4 套中型堆肥装置,见图 1。物料有效容积为 1 m³,槽一侧留门方便采样和翻抛物料,底部曝气室与漩涡离心风机相连,风机风压为 9.0 kPa、

流量为 $60.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 由 DH48s 数显时间继电器间歇控制曝气周期。

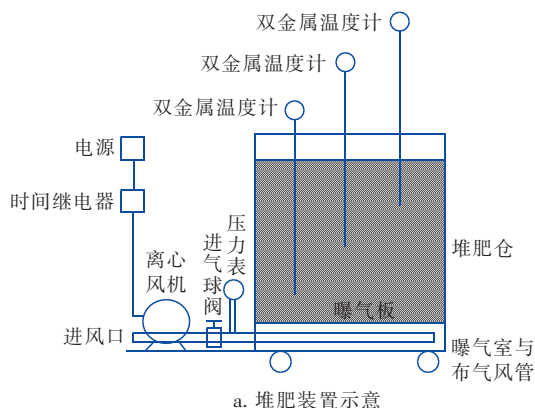


图1 污泥堆肥装置

Fig. 1 Composting device for municipal sludge

1.2 试验材料

1.2.1 堆肥原料

试验污泥来自郑州市区污水处理厂脱水污泥(以下简称污泥), 辅料为脱粒后的花生壳与陈麦秸秆(长度为 $3 \sim 5 \text{ cm}$)。污泥的含水率为 80.56% 、有机质含量为 53.15% 、 pH 值为 6.63 、 C/N 值为 7.47 ; 花生壳的含水率为 19.09% 、 C/N 值为 59.29 ; 麦秸秆的含水率为 27.25% 、 C/N 值为 29.40 。

1.2.2 堆肥调理剂

调理剂: 无水乙酸(分析纯)、 37% 盐酸(分析

纯)、红糖(食品级)、面粉(食品级)、葡萄糖(食品级)。菌剂: 采用好氧堆肥复合微生物菌剂, 由乳酸菌、芽孢杆菌、酵母菌、霉菌、放线菌等近 10 种菌株构成, 可以加快堆肥腐熟速度, 减轻臭气产生。

1.3 试验方法

1.3.1 分析与检测

现场采用双金属温度计, 量程为 $0 \sim 150^\circ\text{C}$, 精度为 1.0°C 。使用 AEGLE 氨气与硫化氢二合一扩散式气体报警仪对堆体表面氨气释放量进行检测。采用斜 3 点采样法采集侧面 40 cm 深度的堆肥混合样。含水率采用重量法测定; 有机质采用重铬酸钾法测定; pH 值采用玻璃电极法测定; 大肠杆菌采用平皿计数法测定; 蛔虫卵采用显微镜观察计数; 总氮采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定。

1.3.2 试验过程设计

堆肥试验进行 2 批次, 每次 4 个槽(记为 $1^\# \sim 4^\#$)。第 1 次试验: 步骤一(1 月 21 日— 2 月 2 日), 低温条件下添加好氧菌剂的污泥与花生壳的堆肥化过程; 步骤二(2 月 3 日— 12 日), 针对步骤一堆温下降采取补充碳源、有机酸调节 pH 值、添加污泥菌种等方法, 对比分析温度下降的原因; 步骤三(2 月 13 日— 19 日), 针对步骤二堆温下降采取补充不同种类碳源、无机酸调节 pH 值等方法, 对比分析温度下降的原因。第 2 次试验(2 月 22 日— 3 月 13 日): 低温条件、不同工艺调控下污泥与麦秸秆的堆肥化过程, 混料过程中预先补充碳源。污泥与辅料通过工业堆肥犁式混料机进行混合, 调理剂由人工投加到混合料中, 之后将所得到的堆肥物料布置在堆肥仓内。曝气强度控制在 $0.05 \sim 0.20 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)^{[2]}$, 第 1 次试验曝气强度均为 $0.05 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^3)$, 第 2 次试验 4 个槽采取不同的曝气与翻抛工艺控制。试验过程设计见表 1 、 2 。

表1 第1次试验分步设计

Tab. 1 Design of the first experiment

项目	步骤一	步骤二	步骤三
1 [#] 槽	500 kg 混合物料(污泥与花生壳,下同)、30 L 水、450 mL 菌剂、0.450 kg 红糖	采用乙酸调节 pH 值为 6.00, 25 L 水, 2 L 冰醋酸	空白对照
2 [#] 槽	500 kg 混合物料、30 L 水、450 mL 菌剂	空白对照	采用盐酸调节 pH 值为 6.00, 25 L 水
3 [#] 槽	500 kg 混合物料、30 L 水、225 mL 菌剂、0.225 kg 红糖	添加 15 kg 面粉、0.5 kg 葡萄糖、25 L 水	空白对照
4 [#] 槽	空白对照(500 kg 混合物料、30 L 水)	重新接种污泥中菌种, 2.30 kg 污泥、8.33 L 水	投加麦糠, 25 L 水

表 2 第 2 次试验设计
Tab.2 Design of the second experiment

项目	堆肥物料配方	升温期工艺参数	高温期工艺参数	降温期工艺参数
1#槽	500 kg 混合料(污泥与麦秸秆,下同)、15 L 水、900 mL 菌剂、0.45 kg 红糖	曝气:60 s/10 min (每间隔 10 min 曝气 60 s,以此类推)	曝气:50 ℃、80 s/10 min,60 ℃、90 s/10 min;第 4 天翻抛;140 s/10 min	曝气:180 s/10 min;温度降到 30 ℃时翻抛
2#槽	500 kg 混合料、15 L 水、900 mL 菌剂、0.45 kg 红糖	曝气:120 s/20 min	曝气:50 ℃、90 s/20 min;再次降温到 30 ℃时翻抛	曝气:120 s/20 min
3#槽	500 kg 混合料、15 L 水、900 mL 菌剂、0.45 kg 红糖	曝气:50 s/12 min	50 ℃的高温期翻抛 6 d;曝气:40 s/12 min,第 4 天后 60 s/12 min	翻抛:温度降到 30 ℃;曝气:60 s/10 min
4#槽	500 kg 混合料、15 L 水、900 mL 菌剂、0.5 kg 葡萄糖、15 kg 面粉	与 3#槽相同	与 3#槽相同	与 3#槽相同

2 结果与讨论

堆肥装置放置在室内,选择郑州地区 12 月—3 月寒冷季节进行试验。郑州地区属暖温带大陆性气候,四季分明,年平均气温为 14.4 ℃。7 月最热,平均温度为 27.3 ℃;1 月最冷,平均温度为 0.2 ℃。试验测得曝气风机进风口温度在 -3 ~ 5 ℃之间。

2.1 第 1 次试验结果

第 1 次试验使用的混合物料含水率为 64.52%,因调理剂使用水作为溶剂,添加调理剂后物料含水率均值为 66.40%,堆体透气性良好。对于大多数堆肥混合物,一般推荐的含水率为 50% ~ 60%,对于 66% 的高含水率堆体,文献[3]指出“系统温度上升到 55 ℃时堆肥进程就停止了”。中试观察到堆体温度上升到 60 ℃后迅速进入降温期,第 12 天堆体温度降至室温,含水率均值为 57.31%,有机质均值为 66.01%,pH 均值为 8.99,总氮均值为 37.90 mg/kg,除 pH 值偏碱性外,其余数值与部分堆肥系统的初始设计值近似,而堆肥化主要进程却停止了,文献[3]指出:“加入干基并调节水分含量到 61%,温度会迅速上升到 75 ℃以上,再继续增加水分则不利于堆肥进行。”

步骤二,通过加入乙酸、面粉、污泥,与空白槽进行对比。步骤三,对 2#、4#堆肥槽添加盐酸、麦糠作为调理剂。

2.1.1 不同工艺堆肥效果对比

试验结果表明:①低温条件下,当温度达到 60 ℃极大值后,高含水率污泥堆肥迅速进入降温期且温度下降很快,24 h 堆温跌落至 30 ℃左右(见图 2)。②氨气释放量主要随温度的升高而增大^[4],释放量在高温期达到最大值后回落并逐步下降。此

外,3#槽再升温试验的第 16 天(高温期)表面氨气释放量为 8.45 mg/m³,远低于步骤一高温期的氨气释放量(40.73 mg/m³),这与总氮分解呈正相关。③加入面粉、乙酸、污泥、盐酸、麦糠作调理剂均可使已经降温的堆体实现再次升温,且面粉、乙酸、麦糠的升温效果显著。投加面粉的 3#槽的最高温度回升至 55 ℃。因面粉和乙酸燃烧热值和投加量不同,投加单位乙酸的堆体升温效果最强。1#槽投加 2 L 冰醋酸后堆体 pH 值下降 1.11,温度保持在 10 ℃以上的时间为 12 d,温度最高回升到 29 ℃,堆肥过程中若乙酸彻底分解约能产生 3.06 × 10⁴ kJ 的热量。步骤二投加污泥的 4#槽,温度持续维持在 10 ℃左右,此外污泥水溶液也呈弱酸性,其含有大量微生物可以起到补充菌种的作用。④步骤三投加盐酸的 2#槽的堆体温度回升幅度很小,堆体具有对酸度的缓冲作用,无机酸加入后 pH 值下降了 0.46。

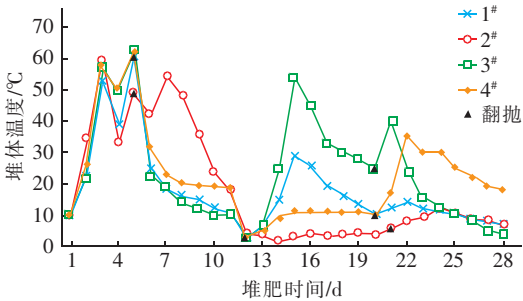


图 2 第 1 次试验期间不同堆肥工艺下堆体温度变化
Fig.2 Variation of temperature of compost with different process during the first experiment

2.1.2 堆体含水率的变化

第 1 次试验期间堆体含水率的变化见图 3。通过步骤一可知,堆肥初始含水率偏高不利于堆肥化进行,脱水效率低,平均为 10%;降温后腐熟料含水

率仍很高,平均为 57.31%。通过步骤二可知,补充面粉、葡萄糖(二者燃烧热约为 2.24×10^5 kJ)的 3[#]堆体再次升温进入高温期,有 11.27% 的水分脱出,最终含水率稳定在 46.87%。4[#]堆体在步骤二脱水率为 3.16%,在步骤三脱水率为 6.70%,共有 9.86% 的水分从再升温试验中脱出。1[#]堆体在升温试验过程中脱水率为 2.28%。2[#]槽在步骤二是空白对照,堆体含水率维持在 59% 基本未发生变化,在步骤三加入盐酸后有 1.24% 的水分脱出。

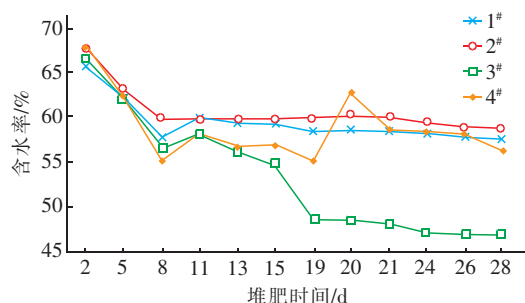


图3 第1次试验期间堆体含水率的变化

Fig.3 Variation of moisture content of compost during the first experiment

再升温试验结果表明,堆体升温是促使堆体脱水的主要因素,温度的跃升幅度越高、持续时间越长,堆体再次脱水效率越高;补充碳源调理剂后堆体会再次升温,从而促进水分进一步脱出。

2.1.3 堆体有机质含量的变化

经过步骤一,有机质含量平均降低了 10.07%,其中高温期持续时间较长的 2[#]堆体的有机质含量降低了 15.02%。在再升温试验过程中,1[#]、3[#]、4[#]堆体的有机质含量均有所下降,但都没有降到步骤一终点数值以下,说明补充的碳源仅部分得到利用,其中 3[#]堆体表现得最为明显,步骤一结束时有机质含量为 64.90%,补充碳源后有机质含量为 72.94%,第 28 天时有有机质含量为 68.55%,现场观测,在第 28 天翻抛堆体时仍有面粉没有完全分解。

结合 1[#]、4[#]堆体的有机质含量变化可知,水溶性好、分子质量小的碳源在再升温试验中更易得到分解、利用。碳源和能源物质是影响堆肥进程的关键因素。与文献[3]的观点不同,试验得出加入含有碳源的干基、湿基或溶液均可使堆体温度回升。

2.1.4 堆体 pH 值的变化

步骤一结果表明,pH 值随着堆体温度的升高从 6.74 升至 8.99 并维持稳定,堆肥过程中记录的最

高 pH 值为 9.02。试验中用到的溶剂水的 pH 值为 6.76,3[#]槽使用了 25 L 自来水。1[#]槽加入了乙酸,堆体 pH 值由 9.02 降至 7.91。再升温试验结果均表明,pH 值降低有利于堆体温度回升。pH 值可影响微生物的生长,堆体 pH 值影响微生物所处环境中营养物质的可给态和有毒物质的毒性,包括菌体细胞膜的带电荷性质、膜稳定性以及对物质的吸收能力,使菌体表面蛋白变性或水解^[5]。综上,堆体 pH 值的变化也是影响堆肥进程的主要因素之一。

2.1.5 堆体总氮含量的变化

第 1 次试验期间堆体总氮含量的变化见图 4。

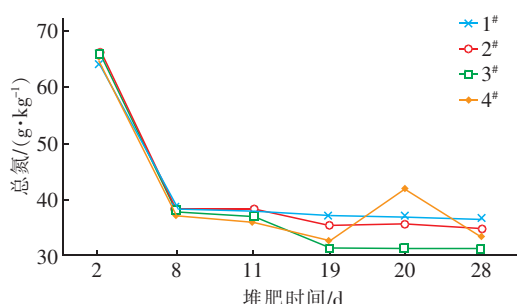


图4 第1次试验期间堆体总氮含量的变化

Fig.4 Variation of total nitrogen content of compost during the first experiment

结合总氮含量变化及氨气释放量变化可知,堆体总氮含量减少的同时释放出了更多的氨气。微生物以某种氨基酸作为氮源时,从氨基酸上脱下的氨除部分用于生物合成外,多余的氨即排到周围环境中^[6]。氨的产生与好氧堆肥过程中铵态氮与硝态氮的转换密切相关^[7],影响着堆体的 pH 值。第一次试验的步骤一,1[#]~4[#]堆体的总氮含量平均降低了 41.54%,之后虽有下降但幅度远小于该进程。1[#]、2[#]、3[#]、4[#]堆体的氮素损失分别为 39.47%、42.53%、42.42%、43.43%,对比 3[#]、1[#]与 2[#]堆体可知,堆体中氮素的进一步分解利用与补充碳源相关,4[#]堆体添加的麦糠综合补充了碳源与氮源并被微生物分解利用,且添加菌剂的堆体氮素损失略低于未添加菌剂的堆体。

2.1.6 大肠杆菌、蛔虫卵等指标

在各步骤终点均对各堆体进行大肠杆菌与蛔虫卵的检测,发现大肠杆菌未超标,蛔虫卵未检出。

堆肥结束后翻抛发现大量革螨散布在堆体内,虫体较小的呈白色、较大的呈褐色。在同期工业堆肥槽内未发现大量革螨滋生,仅在曝气不良的槽端

部物料中偶有检出。这可能是由于中试装置堆体小,保温效果较差,邻近外壁物料温度低,高温期短暂而未能将秸秆内虫卵或虫体杀灭,且试验物料的含水率较高,有机质分解不彻底,形成大量潮湿的腐殖质,为革螨提供了滋生环境。

未经杀灭革螨的堆肥存在环境风险。工业化堆肥应当保障堆体物料经过5~7 d的高温期,物料经过多个循环充分腐熟或进行后腐熟,腐熟物料含水率控制在30%以下可以很好地预防革螨滋生。

第11天1[#]、2[#]堆体内有白腐菌生长,3[#]、4[#]未观察到。第19天观察到3[#]堆体表面有少量青霉菌生长。第28天观察到1[#]、2[#]、4[#]堆体物料均较湿,粘带呈块状,带有臭味。3[#]堆体物料松散。

2.2 第2次试验结果

第2次试验将菌剂用量加倍,观察其作用。此外,辅料改用麦秸秆,1[#]、2[#]、3[#]槽采用不同的曝气与翻抛工艺,4[#]槽与3[#]槽采用基本相同的工艺控制。4[#]槽堆肥物料加入面粉等调节C/N值。

2.2.1 第2次试验工艺对比

第2次试验过程中堆体温度变化见图5,各堆体曝气风量见图6。

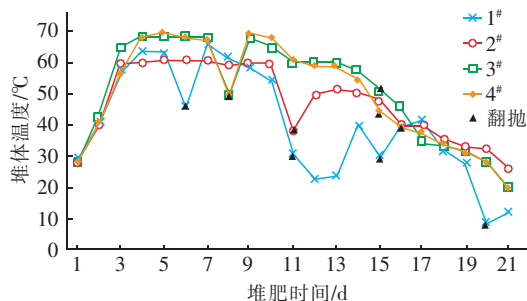


图5 第2次试验过程中堆体温度的变化

Fig.5 Variation of temperature of compost during the second experiment

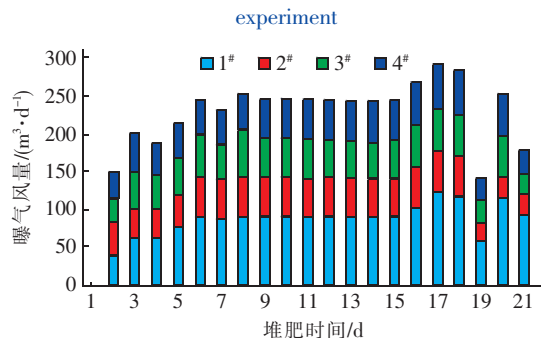


图6 第2次试验过程中曝气风量

Fig.6 Aeration volume during the second experiment

由于室温低,在第2次试验期间可以明显观察到堆体上表面不断有水蒸气向外逸出,且逸出量与堆体温度和曝气风量呈正相关。第7天,1[#]堆体表面的水蒸气扩散程度明显大于2[#]、3[#]、4[#]堆体。第9天,1[#]、3[#]、4[#]堆体表面的水蒸气扩散程度大于2[#]堆体。第11天,4[#]堆体表面的水蒸气扩散程度明显大于3[#]堆体,1[#]、2[#]堆体表面的水蒸气明显减少。第16天,仅剩下3[#]、4[#]堆体表面有水蒸气逸出。第21天,1[#]堆体的温度下降最多,堆体物料较湿润;2[#]堆体物料很潮湿且带有余温,有黑泥存在,物料粘结成团;3[#]堆体物料较湿润且带有余温;4[#]堆体物料松散且带有余温。

不同的曝气、翻抛工艺对堆肥过程影响显著,采取大风量曝气、多翻抛的1[#]堆体的温度波动最剧烈,降温期温度降低速率最快,堆体表面氨气释放量最高。2[#]、3[#]、4[#]堆体的曝气风量相当,但由于采取了不同的曝气间隔,间隔长的2[#]堆体的温度变化相对缓和,3[#]、4[#]堆体采取相同的曝气、翻抛工艺则温度表现趋于一致。

试验表明,曝气风量适宜时,曝气间隔短有利于堆肥顺利进行,减少厌氧情况的发生。2[#]、3[#]、4[#]堆体的曝气风量相当,但2[#]堆体的曝气间隔为20 min,3[#]、4[#]堆体的曝气间隔为12 min,堆肥过程中2[#]堆体产生大量恶臭气体,堆肥化完成时性状最差。1[#]堆体的曝气间隔为10 min,产生臭气较少。

与未添加菌剂的堆体相比,添加菌剂时堆肥过程中有芳香味,类似于粮食发酵过程中不带有酒精气味的酒糟味,其中4[#]堆体最显著,其次是1[#]堆体。

堆肥过程中氨气释放与堆体温度、C/N值、曝气风量、曝气间隔、翻抛频率、堆体pH值相关。高温期氨气浓度较高,随着温度降低,腐熟度升高,氨气释放量逐渐减少,如1[#]、3[#]、4[#]堆体。加入碳源(面粉)提高C/N值的4[#]堆体,氨气释放相对均匀。曝气风量大、翻抛次数多,对堆体扰动多,表面释放出的氨气量高,如1[#]堆体。曝气风量小、时间间隔长、翻抛次数少,对堆体扰动小,表面释放出的氨气量相对较小,如2[#]堆体,2[#]堆体物料在第21天仍未腐熟,不断释放出氨气。此外,结合堆体pH值的变化规律可知,堆肥过程中氨气释放与堆体pH值波动亦呈正相关。

2.2.2 堆体含水率的变化

随着堆肥化的进行,堆体含水率呈不断下降趋

势。第1~8天(升温期与高温期)和第17~21天(降温期后期)的含水率下降速率高于第9~16天的。从第11天开始,添加碳源的4[#]堆体的含水率下降速率明显快于其他3个堆体,在第21天其最终含水率稳定在46.45%,比同期其他堆体的平均含水率低5.67%,4[#]堆体在第17~21天有5.01%的水分脱出,同期1[#]、2[#]、3[#]堆体分别有0.63%、2.83%、3.75%的水分脱出。

2.2.3 堆体有机质含量的变化

在升温期(第2~5天)有机质的分解速率最快,随后在高温期趋于缓和,降温期(第14天)后分解速率再次加快。随着堆体理化性质的变化,适宜生存的微生物菌群不断交替变化,对有机质的利用率不同。第21天4[#]堆体有41.14%的有机质得到分解,1[#]、3[#]堆体的有机质分解率则分别为37.23%、39.35%,2[#]堆体的有机质分解率为40.76%。

对比第1次试验步骤一时1[#]、2[#]、3[#]、4[#]堆体的有机质降解率(分别为8.55%、15.02%、9.73%、6.96%)可知,高温期持续长则有机质分解率较高,通常认为堆体温度高于70℃会限制多数微生物生长而造成有机质分解速率下降。此外,花生壳混合料的有机质含量高于麦秸秆混合料的有机质含量,但前者分解率低,除初始含水率的影响外,也反映了堆肥过程对花生壳与麦秸秆两种碳源的利用率不同,说明在堆肥过程中提高C/N值关键在于提供可被微生物利用的有效碳源量。

2.2.4 堆体pH值的变化

堆体pH值在升温期与高温期(第2~8天)内持续升高,其中2[#]堆体最高达到9.09,之后下降,第21天稳定在7.89。pH值波动与翻抛存在关联,翻抛后pH值均有所下降。

2.2.5 堆体总氮含量的变化

堆肥过程中氮素主要以氨气形式随曝气和水蒸气外逸出堆体,氨易溶于水,并且可与二氧化碳形成碳酸铵盐。堆肥启动时1[#]~4[#]堆体的总氮含量分别为45.16、45.63、44.40、44.34 g/kg,堆肥结束后总氮含量则分别为24.60、23.72、25.91、26.84 g/kg,氮素损失率分别为45.53%、48.02%、41.64%、39.47%,可以看出添加碳源的4[#]堆体的氮素损失相对较小。对比第1次试验步骤一结束时各堆体的氮素损失,说明两次堆肥氮素损失率在39%~48%之间。此外,初始氮素含量高的花生壳堆体的平均

氮素损失量为27.42 g/kg,高于初始氮素含量低的麦秸秆堆体的平均氮素损失量(19.62 g/kg)。

2.3 讨论

① 关于堆肥混合物料的配比

适合的堆肥混合物料配比是制造良好堆肥的必要条件。市政污泥好氧堆肥常使用污泥和作物秸秆两组分或污泥、作物秸秆、腐熟物料3组分作为混合物料,通常情况下并不能满足合适的配比需要,建议加入其他辅料,主要用于调节C/N值。尤其是在C/N值低或寒冷气候条件下应当增加混合物料中碳源量,建议优先使用易被微生物分解利用的分子质量较小的液态有机物或粉状、小颗粒有机物,如食品加工下脚料、酿造行业废料等。堆肥过程中加入水溶性好的小分子有机酸性物质可同时调节C/N值和pH值。分子质量高、结构复杂的碳源不易被一次堆肥有效利用。

工业化堆肥生产选用辅料可在理论计算基础上结合中试确定适合的混合物料配方。

对于寒冷天气造成不合格堆肥的,可以将液态或粉状有机物碳源喷洒于堆体表面后配合翻抛利用堆体再升温原理使堆肥化顺利进行。

寒冷地区好氧堆肥装置的含水率宜控制在60%以下,含水率过高则堆肥的高温期短促,不利于含水率下降和物料腐熟。

初始氮含量高的堆肥物料在堆肥化过程中更易释放出大量氨气,若由于地区因素必须使用高氮素辅料,可与其他低氮素辅料合用,也可补充碳源调节C/N值。如花生壳氮素含量较高,可将花生壳与麦秸秆掺混后作为辅料使用。

② 关于堆肥化过程中曝气与翻抛工艺控制

连续变频曝气控制优于间隔曝气控制,间隔频率越小越有利于堆肥化顺利进行,间隔过长或曝气风量不足会造成堆体厌氧,曝气风量过大会促使氨气释放量增加,应当控制适当的曝气风量。

翻抛起到疏松、混匀堆体的作用,同时起到补充氧气、排出副产物的作用,可以加速堆肥进程。高温翻抛过程中伴有大量水蒸气和副产物排出,同时造成堆温的波动。低温条件下堆体可适当控制翻抛频率,不必过高,可以起到良好的作用。

③ 关于添加好氧堆肥菌剂

试验观测到好氧堆肥菌剂对堆肥中臭气的产生有抑制作用。菌剂使用时必须控制合适条件,如菌

剂添加量、添加程序并配合后期适当的工艺调控。

④ 其他关于寒冷地区堆肥工业化生产的建议

根据郑州地区工业化好氧堆肥生产经验,气温过低不利于堆肥化顺利进行,建议日均温度低于5℃的地区可以考虑其他工艺路线处理市政污泥。

寒冷地区或冬季时间较长地区的好氧堆肥装置建议有效利用堆肥过程中产生的热量,正压曝气系统可利用除臭通风系统收集余热,负压曝气系统可集中收集高温段余热,将收集到的余热在曝气风机进风端进行热交换,加热冷空气以提高堆肥效率。

寒冷地区堆肥车间水蒸气容易过饱和形成雾,要做好除臭通风,及时将水蒸气与堆肥副产物排出。

寒冷地区堆肥工程设计时要充分考虑堆肥槽容积与堆肥周期,适当增加堆肥槽容积或数量以平衡堆肥周期延长造成的影响。

3 结论

采用4套中型堆肥槽装置完成冬季好氧堆肥过程,并使用好氧堆肥复合菌剂与几种调理剂对堆肥物料进行改良,通过堆肥工艺和理化指标综合分析了冬季堆肥过程的部分影响因素。中试结果表明:在C/N值低或寒冷气候条件下应当增加混合物料中碳源量,建议优先使用易被微生物分解利用的分子质量较小的液态有机物或粉状、小颗粒有机物;连续变频曝气控制优于间隔曝气控制,间隔频率越小越有利于堆肥化顺利进行;曝气风量过大会促使氨气释放量增加,应当控制适当的曝气风量;使用好氧堆肥菌剂对堆肥中臭气的产生有抑制作用,菌剂使用时必须控制合适条件,如菌剂添加量、添加程序并配合后期适当的工艺调控。

参考文献:

- [1] 宋永刚,陈涵,王宇峰,等. 郑州市污泥堆肥处理工程的设计[J]. 中国给水排水,2009,25(6):41-43.
Song Yonggang, Chen Han, Wang Yufeng, et al. Design of sludge composting treatment project in Zhengzhou City [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(6): 41-43 (in Chinese).
- [2] 吕宝,王中琪,王成端. 好氧堆肥系统中风机的选型及控制[J]. 环境卫生工程,2008,16(5):10-12.
Lü Bao, Wang Zhongqi, Wang Chengduan. Selection and control of fans in aerobic composting system [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2008, 16(5):

10-12 (in Chinese).

- [3] Diaz L F, de Bertoldi M, Bidlingmaier W, et al. Compost Science and Technology [M]. Amsterdam: Elsevier Science, 2007.
- [4] 郑国砥,高定,陈同斌,等. 污泥堆肥过程中氮素损失和氨气释放的动态与调控[J]. 中国给水排水,2009,25(11):121-124.
Zheng Guodi, Gao Ding, Chen Tongbin, et al. Changes of nitrogen loss and ammonia emission during composting of municipal sludge and their control [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(11): 121-124 (in Chinese).
- [5] 黄秀梨. 微生物学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2003.
Huang Xiuli. Microbiology [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2003 (in Chinese).
- [6] 王镜岩,朱圣庚,徐长法. 生物化学[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2002.
Wang Jingyan, Zhu Shenggang, Xu Changfa. Biochemistry [M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2002 (in Chinese).
- [7] 魏姣皎,熊骏生,袁丽,等. 好氧堆肥过程氨气释放和氮素转化影响因素研究进展[J]. 杭州师范大学学报:自然科学版,2017,16(1):80-85,107.
Wei Jiaojiao, Xiong Junsheng, Yuan Li, et al. Influence factors of ammonia emission and nitrogen transformation in aerobic composting: A review [J]. Journal of Hangzhou Normal University: Natural Science Edition, 2017, 16(1): 80-85, 107 (in Chinese).



作者简介:刘凯军(1984-),男,河南郑州人,本科,工程师,研究方向为市政污水及污泥的处理与处置。

E-mail:519658426@qq.com

收稿日期:2018-08-09