

基于通风频率控制的好氧堆肥评价指标优化研究

李思敏, 党娅倩, 唐锋兵, 孟云姣

(河北工程大学河北省水污染控制与水生态修复技术创新中心,
河北工程大学能源与环境工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 采用自动控制的精细化通风系统实现城市污泥减量化、无害化的处理, 研究以城市污泥与蘑菇渣为原料, 在 SIEMENS-PLC 自控一体化发酵桶内设计 2 组处理进行静态好氧堆肥试验, 通过改变不同阶段的通风速率和单位时间内通风频率, 分析其对堆肥过程的影响。结果表明, 在初始堆肥混料含水率为 $60\% \pm 2\%$ 时, 从氧气消耗、含水量、电导率、种子发芽指数、全氮损失和氨气累积排放量来看, 处理 1 (阶段速率 0.1、0.4、0.6、0.3、0.6 m^3/h , 通风单次 15 min/h) 堆肥效果较好; 综合分析指标间的相关性, 确定了第一层级指标 (温度、含水量、电导率、pH 值) 用于简便快速的产业化腐熟度判定。

关键词: 好氧堆肥; 自动控制; 参数优化; 反应器堆肥

污泥是污水厂处理后的附属品, 含大量有机质、重金属及有毒有害的物质, 是威胁环境安全的巨大隐患。污泥通过堆肥处理后可以变废为宝, 成为良好的有机肥料, 在提高土地肥力, 改善土地物理性质, 增加农作物产量方面发挥作用^[1-3]。堆肥后的产品能否达到处理及利用的要求, 主要依靠腐熟度评价的结果, 目前来看, 我国堆肥腐熟程度的评价体系仍不完善, 因此, 必须采用多项指标多个方面相结合反映堆肥腐熟度^[4]。

好氧堆肥凭借经济成本低、效率高的优势在国内被广泛应用, 主要类型有条垛式堆肥、槽式堆肥和反应器堆肥等。其中, 反应器堆肥系统凭借堆肥产品质量高, 受外部条件影响小, 臭味易控制, 堆肥周期短及占地小等优点, 成为污泥堆肥研究的热点^[5], 也为解决污泥堆肥过程通风控制的研究提供了新的思路。选择合理的通风策略能实现堆体内部的快速升温, 减少臭气产生, 在降低能耗的同时还可提高堆肥质量, 通风作为堆肥成功的关键因素之一^[6-7], 一直是研究的重点, 目前, 国内外有关

反应器堆肥系统研究大都是有关通风量及通风控制方式的优化^[8-11], 但在自动化控制下, 进一步探究分阶段固定通风量情况下通风频率对堆肥的影响研究较少。

鉴于以上所述, 本研究利用自主设计的 SIEMENS-PLC 自动控制筒式反应器堆肥系统, 探究在单位小时内通风量固定的情况下, 改变阶段通风速率与频率, 研究连续堆肥对污泥堆肥过程及腐熟稳定程度的影响, 以期实现污泥堆肥处理工艺参数的精细化优化。对堆温 $>55^\circ\text{C}$ 的天数、耗氧量、有机质含量、pH 值、电导率 (EC 值)、含水率、种子发芽指数 (GI 值)、总氮 (TN) 含量等多项指标进行综合评价, 更加准确、全面地反映污泥堆肥的实际腐熟状况; 堆肥是一个集成的反应, 各指标之间息息相关、共同作用, 通过变量之间关系的分析, 精简堆肥腐熟度评价指标, 具有产业化应用价值。

1 材料与方法

1.1 试验装置

本试验装置为自主设计制作, 见图 1。装置为直径 40 cm, 高 60 cm, 壁厚 1 cm, 容积为 80 L 的有机玻璃桶, 底部设有多孔板, 开孔率为 20%, 装置顶部设出气孔和集气装置, 底部有渗滤液排放孔和通风孔, 桶身有 3 个取样口, 外部包裹有 5 cm 厚的保温棉。反应器内部装有温度传感器, 氧传感器装于集气瓶顶部, 实时监测发酵过程中温度与氧含量的变化, 并将数据存储于 PLC 中。物料在密闭

收稿日期: 2019-10-24; 录用日期: 2019-11-26

基金项目: 河北省节能环保与科技治霾专项 (18273806D)。

作者简介: 李思敏 (1968-), 男, 陕西咸阳人, 博士, 教授, 研究方向为城镇污水处理及资源化、市政污泥处理处置及利用、地表水环境生态改善, E-mail: chyeli@126.com; 党娅倩 (1994-), 女, 陕西韩城人, 硕士研究生, 从事城镇污水处理及资源化、市政污泥处理处置及利用的研究, E-mail: 17769152881@163.com。李思敏与党娅倩同为第一作者。

通讯作者: 李思敏, E-mail: chyeli@126.com。

环境中,通过 PLC 控制通风间歇,调节流量计改变通风速率,进行为期 25 d (600 h) 的堆肥,整个过程不外加水。

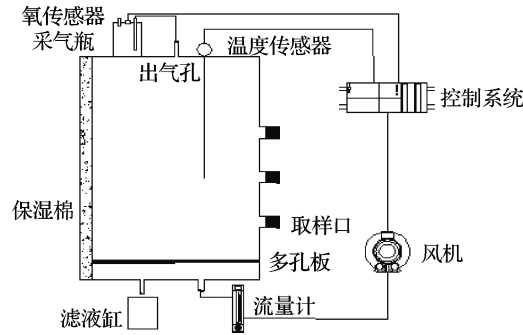


图 1 堆肥发酵装置构造图

表 1 初始理化性质

项目	含水量 (%)	EC 值 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH 值	有机质 (%)	C (%)	N (%)	C/N
污泥	80.08 ± 0.51	494.5 ± 36.5	7.09 ± 0.09	67.54	33.10	4.85	6.82
蘑菇渣	58.94 ± 0.34	$1\,130.5 \pm 2.5$	5.37 ± 0.06	53.18	19.88	1.11	17.87
混料	62.27 ± 1.96	$1\,680 \pm 7.5$	7.02 ± 0.09	40.67	19.41	1.72	11.31

注:含水量为湿污泥的含水量,有机质、C、N、C/N 是干污泥测定结果。

表 2 堆肥试验运行参数

序号	不同阶段通风速率 (m^3/h)	通风频率 (次/h)	通风时间 (min)	间歇时间 (min)
处理 1	0.1、0.4、0.6、0.3、0.6	1	15	45
处理 2	0.2、0.6、0.9、0.5、0.9	2	5	25

1.4 测定指标与方法

试验过程中采用温度传感器与氧传感器实时监测堆体内部温度与氧含量变化,从堆肥开始后每隔 4 h 保存一次数据,同时每天 10:00 和 18:00 记录外部环境的温度并采用气体检测仪 (Biogas 5000, Geotech, 英国) 测定氨气含量。升温期及高温维持期,每 3 d 取样一次,降温期及温度稳定期,每 5 d 取样一次,从反应器的上、中、下 3 个取样口共取 80 g 样品,含水量用重量法来测定,测定后的烘干样品分为两份,一份经马弗炉 600℃ 烘 5 h 后测有机质,一份磨成粉末过 0.075 mm 筛后用元素分析仪 (Elementary Analyses System, Hanau, 德国) 测定总氮和总碳含量;将堆肥鲜样:纯水按 1:10 进行混合于 200 r/min 震荡 2 h, 8 000 r/min 离心 10 min 后得到的浸提液用于理化性质分析,采用便携式多参数水质检测仪 (Multi-340i, WTW, 德国) 测定 pH 值和电导率,取 50 颗种子用于测定种子发芽指数 GI, 剩余浸提液经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后,采用可见光紫外分光光度计 (TU-1901, 普析, 中国) 测定腐殖化系数 (E4/E6 值)。

1.2 试验原料

试验所用污泥取自某市污水处理厂的脱水污泥,蘑菇渣源于周边种植蘑菇农户废弃物,污泥与蘑菇渣的初始理化性质见表 1。

1.3 试验设计

试验堆肥分 2 组进行处理,具体运行参数的设定见表 2。试验采用 PLC 对通风时间 (编程设定好的风机开停时间) 进行控制,在保证单位小时内总的通风量一定的前提下,通过改变各个发酵阶段的通风速率 (分为初始、快速升温、高温、降温及稳定 5 个阶段) 和单位时间通风频率控制好氧堆肥过程,表中的通风 / 间歇时间均为单次通风的时间。

每个指标均测定 3 组平行样品,结果取平均值。采用 Excel 2007 软件进行数据整理,SPSS 23.0 对试验数据进行统计和分析。

2 结果与分析

2.1 不同通风策略对污泥堆肥表观效果的影响

在两种不同通风策略下 (通风运行参数见表 2),两组堆肥均有渗滤液流出,颜色与酱油相似,无明显气味, pH 值为 8;堆肥结束后,两组堆体的体积均有所减少,处理 1 高度下降 18 cm,处理 2 高度下降 15 cm,堆肥物料松散,结构呈疏松的小团粒,且散发出森林腐殖土气味,均产生大量白色或灰色菌丝^[12],处理 1 明显多于处理 2,且处理 1 堆体上部长出若干蘑菇。以上直观表现均为堆肥达到腐熟的表现,就堆肥减量化程度与最终产品质量来看,处理 1 优于处理 2。

2.2 不同通风策略对堆肥过程理化性质的影响

试验中温度和氧含量分别由传感器自动采集记录并保存在 PLC 中 (隔 4 h 保存一次)。温度是衡量堆肥腐熟的重要指标之一,通常堆体温度变化

分为升温、高温、降温和稳定4个阶段,堆肥过程中温度变化见图2,两处理组均在2 d内快速升温至70℃后快速下降至恒温。原因是早期桶内氧含量充足,并且养料充裕,好氧微生物迅速生长繁殖,分解堆肥原料,放出大量热,使堆体温度迅速上升。堆肥试验从第6 d(144 h)到第10 d(240 h)之间处理1的温度高于处理2,分析原因是处理1因桶盖生虫(蝇虫由排气孔进入桶内,在布满冷凝水的桶盖上产卵),密闭杀虫1 d未通风导致,处理1和处理2分别在第11 d和第10 d分别

对两处理进行翻堆并分别混进1 kg玉米秸秆粉,进行二次发酵,翻堆后改善了堆体结构,增加了通气性,解决了微生物群落分布不均的问题。整个堆肥过程,处理1和处理2堆体温度55℃以上分别持续了3.7 d(88 h)和3.8 d(92 h),在70℃以上分别持续了2 h和4 h,两个处理均能在温度55℃以上维持3 d以上,符合我国《粪便无害化卫生标准》(GB7959-87),也满足了一些学者提出的在堆体温度至70℃以上10~30 min,将杀灭粪便中病原菌^[13]。

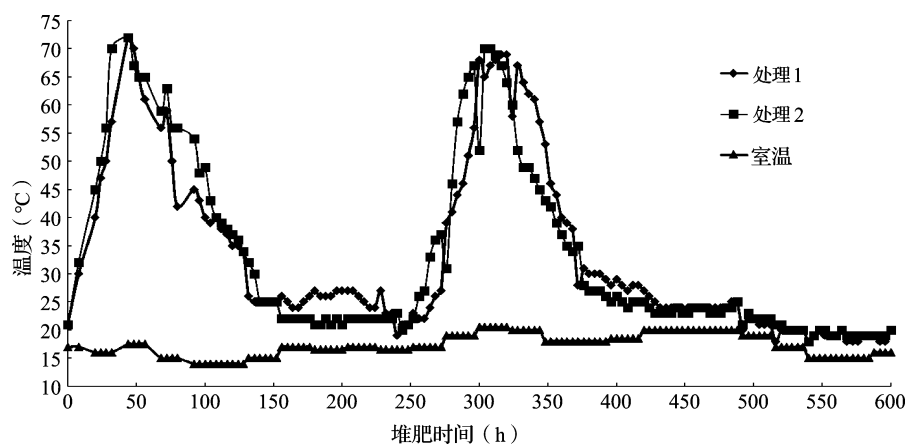


图2 堆肥过程中温度变化曲线

氧气是好氧堆肥发酵的重要条件。堆肥二次发酵的耗氧量变化情况见图3,可以看出,翻堆加入物料后两试验组耗氧量均快速上升,持续到第15 d(360 h)后开始迅速下降,在堆肥第17 d(408 h)后呈现稳定状态,与刘斌^[7]的研究结果一致,分析原因是堆肥初期,随着微生物活性增强,耗氧速率增大,到堆肥后期,微生物活性减弱,耗氧量快速下降趋于稳定状态,呈现锯齿状波动可能是间

歇通风导致。处理2较处理1提前1 d下降,是因为处理2翻堆加料比处理1早1 d。在耗氧量大于10%的情况下,处理1与处理2分别持续了76 h(3.17 d)和52 h(2.17 d),可以看出,处理1微生物反应过程更持久,物料降解更彻底,耗氧量稳定后,处理2的耗氧量明显高于处理1,是因为改变通风策略,处理2堆肥内部环境的氧含量小于处理1,导致处理2相对耗氧量高于处理1。

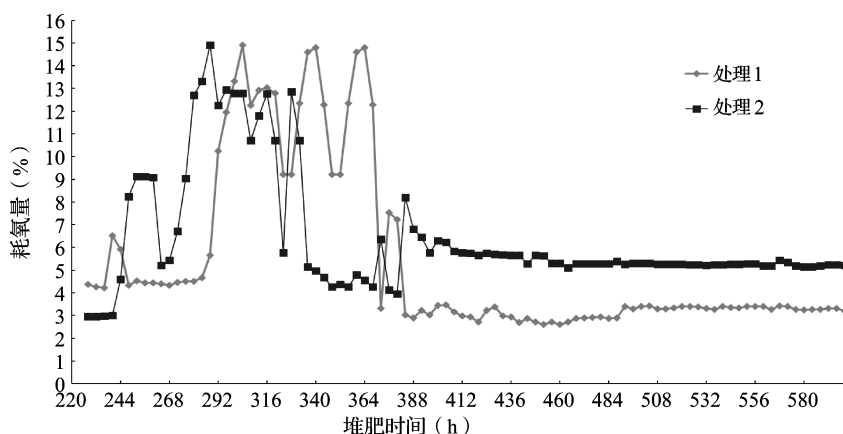


图3 堆肥过程中耗氧速率曲线

含水量变化是有机质氧化分解产生水分与通风带走水分共同作用形成的结果^[6]。含水量变化情况见图4, 处理1与处理2的初始含水量分别为61.63%和59.20%, 第18 d时分别为51.64%和53.34%, 之后趋于平稳, 到堆肥结束处理1与处理2含水量降幅分别是16.76%和11.22%, 处理1下降比例明显高于处理2, 减量减重效果更好。

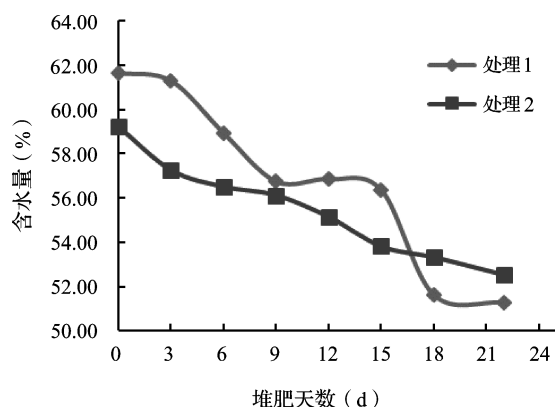


图4 堆肥过程中含水量变化曲线

堆料中含有大量不稳定物质, 随着通风供氧, 微生物将其迅速分解为 H_2O 、 CO_2 和矿物质, 堆肥的实质是有机质被不断分解减少的过程。有机质变化情况见图5, 堆肥早期有机质迅速下降, 到堆肥后期, 下降速率减缓。处理1与处理2分别从初始的55.7%与53.26%下降至堆肥结束的36.89%和35.52%, 满足美国健康标准局规定的堆肥产品挥发性固体含量应低于65%的要求。

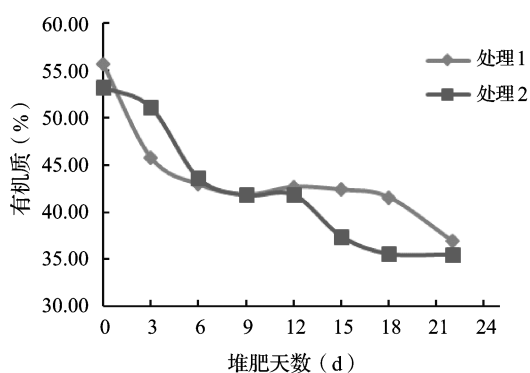


图5 堆肥过程中有机质变化曲线

pH值用于揭示堆肥过程有机物分解, 比较直观, 腐熟后的堆肥一般呈弱碱性, pH值在8~9之间。pH值变化情况见图6, 两处理组曲线变化趋势基本重合, pH值均呈先升(0~6 d)后降(6~12 d)再小幅回升(12~15 d)后趋于稳定, 变化范围在7~8.5之间。在第6 d翻堆后加入物料混

匀, pH值开始下降, 随着二次发酵的进行pH值开始回升, 至堆肥结束, 两组堆体的pH值分别为8.41和8.46, 分析原因是堆肥开始时酸性物质逐渐挥发、分解, 加上有机氮在微生物的作用下发生矿化分解反应产生大量铵态氮, 使pH值上升。从pH值变化来看, 两处理组均符合无害化要求。

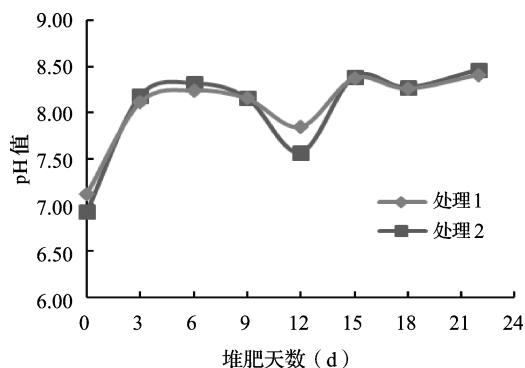


图6 堆肥过程中pH值变化曲线

EC值越低对植物产生的毒害越小, 一般而言, 堆肥产品的EC应小于4.0 mS/cm, 以便土地的安全应用^[14-15]。EC值的变化情况见图7, 两处理组EC值变化趋势大体一致, 处理1与处理2分别于第12 d(2.12 mS/cm)和第9 d(1.96 mS/cm)上升至最高, 然后下降至最低, 分别到第15和12 d之后小幅回升, 再趋于稳定, 分别达2.02和2.15 mS/cm, 分析是由于堆温升高使微生物代谢加快, 有机质分解产生大量矿质盐使得EC值升高, 随着堆肥前期氨气的快速挥发导致两处理组的EC值有一定的下降, 降温期, 堆体产生大量硝态氮, 并且体积的减少使EC浓缩。从电导率来看, 两堆体EC值均小于4.0 mS/cm, 符合无害化要求。

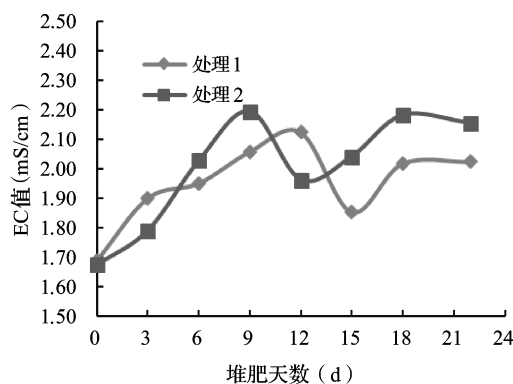


图7 堆肥过程中EC值变化曲线

E4/E6反映腐植酸分子的稳定程度, 可作为堆肥腐殖化程度的重要指标^[16-17]。堆肥E4/E6变化情

况见图 8, 两处理组 E4/E6 变化曲线基本趋势一致, 从堆肥开始两处理组 E4/E6 快速下降 (0 ~ 3 d), 然后趋于平稳, 这与吴淑杭等^[18]的研究结果一致。

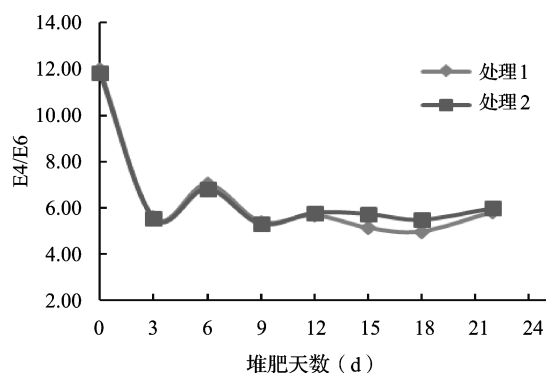


图 8 堆肥过程中 E4/E6 变化曲线

Bertran 等^[19]指出种子发芽指数 GI>50% 时, 可认为基本腐熟, 满足植物可以承受的范围, GI>85%, 则认为堆肥已完全腐熟。种子发芽情况见图 9, 曲线整体呈增长趋势, 处理 1 先快速增长 (0 ~ 12 d), 后缓慢增长, 处理 2 快速增长 (0 ~ 12 d) 后趋于平稳, 至堆肥结束, 处理 1 与处理 2 的 GI 分别是 98% 和 75%, 判定处理 1 为完全腐熟, 处理 2 为基本腐熟。

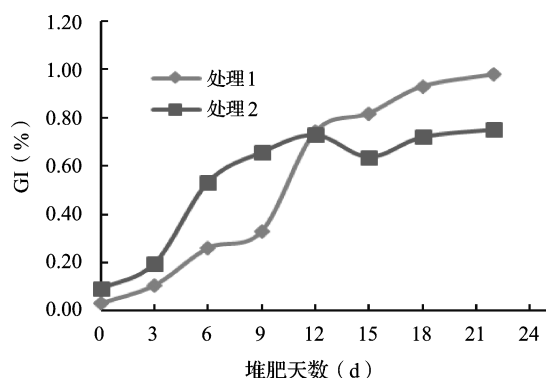


图 9 堆肥过程中 GI 变化曲线

两处理组的全氮含量均呈先下降后平稳的趋势, 如图 10 所示, 处理 1 开始 (1 ~ 6 d) 下降较快, 从初始的 1.72% 下降至 1.25% 后小幅上升再趋于稳定; 处理 2 开始 (1 ~ 3 d) 下降较快, 由初始的 1.74% 下降到 1.37% 后小幅上升再趋于稳定。初期, TN 下降是由于堆肥初期通风供氧使微生物活动剧烈散发热量, 导致堆体温度升高, 有机态氮快速分解转化为铵态氮, 同时, 消耗大量的氢离子, 使 pH 值上升, 导致大量氮元素以 NH_3 的形式挥发, 之后, 随着有机质继续分解, 氮主要转化为

难挥发的硝态氮, 使 pH 值下降, TN 含量有小幅上升, 后趋于平稳^[20-22], 到堆肥结束, 处理 1 与处理 2 全氮降幅分别为 14.53% 和 21.26%, 说明处理 1 “延长单次通风时间, 减少通风频率” 的通风策略有助于减少总氮的损失, 有助于堆肥产品保肥。

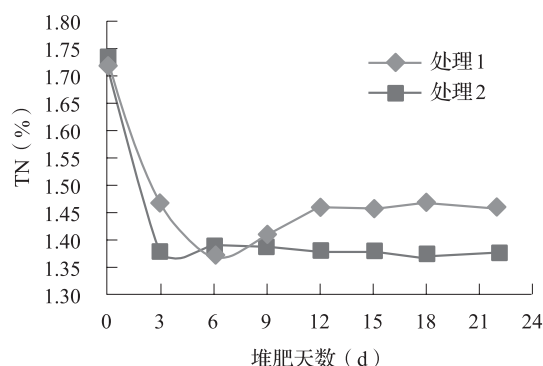


图 10 堆肥过程中全氮含量变化曲线

氨气的排放浓度变化和排放累积量情况见图 11。因两次趋势一致仅对堆肥的二次发酵数据进行了处理分析, 如图 11 所示, 氨气排放浓度整体趋势为先升, 处理 1 和处理 2 分别在第 14 和 13 d 到达了高峰, 分别为 450 和 345 mL/m^3 , 然后经下降后趋于平稳, 并表现出明显的上下起伏现象, 分析原因是堆肥初期, 堆体温度的升高使部分有机酸挥发, 含氮物质被微生物矿化分解产生氨气, 到堆肥后期, 随着温度降低, 产生的氨气逐渐减少。两处理组氨气产生的峰值均在堆肥高温期, 与 Pagans 等^[23]、Jiang 等^[24]、Luo 等^[25]研究的结论相似, 因为处理 2 翻堆加料比处理 1 提前 1 d, 导致处理 2 提前升温, 排放高峰也提前 1 d。通过对排放浓度数据进行处理得到排放的累积量, 如图 12 所示, 两处理组曲线均呈上升趋势, 处理 2 曲线斜率明显高于处理 1, 至堆肥结束, 处理 1、处理 2 的排放累积总量分别为 21.67 和 34.94 L。

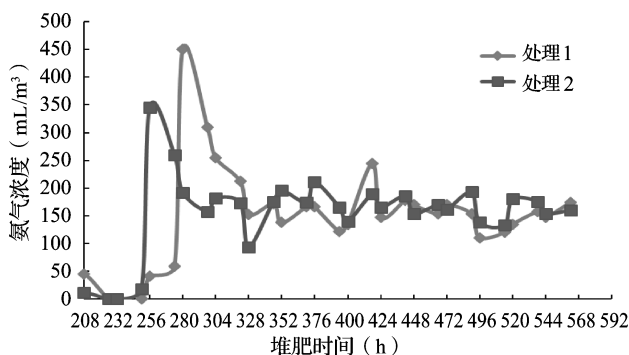


图 11 堆肥过程中氨气排放浓度变化曲线

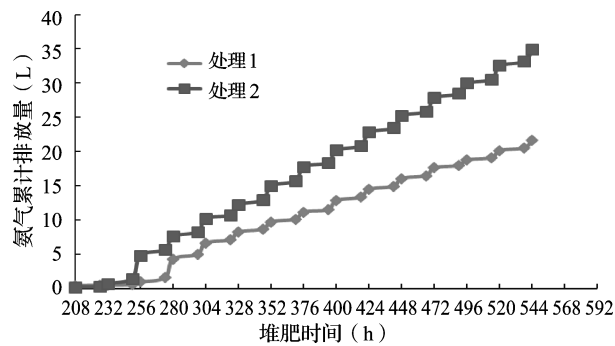


图 12 堆肥过程中氨气累计量变化曲线

2.3 腐熟度评价指标的优化

综上所述,用多个指标进行腐熟度评价时,部分指标存在差异性,部分指标无应用性,因此进行指标间的相关性分析,以便为日后产业化堆肥腐熟度评价进一步优化提供依据。用 SPSS 软件对试验过程中记录指标进行 Perason 相关系数分析,

对两组数据的分析结果进行整合处理,得到以下结果,指标间的相关性显著程度情况见表 3,其中,堆肥天数与含水量、有机质的含量呈极显著相关 ($P<0.01$), pH 值与 E4/E6、TN 含量呈极显著相关,含水量与 GI 极显著相关,堆肥天数与 TC (总碳) 含量呈显著相关 ($0.05<P>0.01$), EC 与 E4/E6、有机质的含量、TC 呈显著相关, E4/E6 与 TC 呈显著相关,含水量与有机质含量、氨气浓度呈显著相关,有机质含量与 GI 呈显著相关,堆体内部氧含量与温度呈显著相关。基于上述相关性分析的结果,将以上指标分为两个层级,第一层级指标包括温度、含水量、EC 值、pH 值,其余指标为第二层级,两层级指标之间相关性显著 ($P<0.05$),由第一层级指标可以推出第二层级指标,第一层级指标方便直接测定,便于后续产业化堆肥的腐熟度判断。

表 3 指标间的相关性显著程度

指标	堆肥天数	pH 值	EC 值	E4/E6	含水量	有机质	GI	氧含量
E4/E6		0.009**	0.041*					
含水量	0.000**							
有机质	0.006**		0.011*		0.011*			
GI					0.003**	0.019*		
TN		0.006**						
TC	0.022*		0.022*	0.019*			0.020*	
氨气浓度					0.036*			
温度								0.018*

注: * 表示达到显著水平 ($P<0.05$), ** 表示达到极显著水平 ($P<0.01$)。

3 结论

蘑菇渣与污泥联合堆肥能成功启动,堆肥通过二次发酵,最终堆肥产品可达到卫生标准和腐熟标准,达到了无害化要求。

堆肥过程中评价指标在不断变化中相互影响、相互关联,本研究通过对指标两两之间的相关性进行分析,优选出第一层级指标(温度、含水量、EC 值、pH 值)作为腐熟度评价的主要指标,通过对堆肥过程理化指标的分析,两处理组堆肥产物均满足腐熟度标准,用于土壤,不会对农田产生毒害作用。从含水量降幅、EC、GI、TN 损失率及氨气排放累积量来看,处理 1 (16.76%、2.02 mS/cm、98%、14.53%、21.67 L) 和处理 2 (11.22%、2.15 mS/cm、75%、21.26%、34.94 L) 相比,处理 1 (阶段速率

0.1、0.4、0.6、0.3、0.6 m³/h, 通风单次 15 min/h) 有利于污泥减量减重、种子发芽、堆肥全程氮素损失少且排放氨气总量少。

这些指标在堆肥过程中方便实时监测,适用于产业化堆肥,但是在堆肥初始条件或堆肥环境改变较大的情况下还需做进一步的研究。

参考文献:

[1] Doublet J, Francou C, Poitrenaud M, et al. Sewage sludge composting: influence of initial mixtures on organic matter evolution and N availability in the final composts. [J]. Waste Management, 2010, 30 (10): 1922-1930.

[2] Viaene J, Lancker J V, Vandecasteele B, et al. Opportunities and barriers to on-farm composting and compost application: a case study from northwestern Europe [J]. Waste Management, 2016, 48: 181-192.

- [3] 李雄伟, 李俊, 李冲, 等. 我国污泥处理处置技术应用现状及发展趋势探讨[J]. 中国给水排水, 2016, 32 (16): 26–30.
- [4] 柴晓利, 张华, 赵由才. 固体废物堆肥原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [5] 张安琪, 黄光群, 张绍英, 等. 好氧堆肥反应器试验系统设计与性能试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45 (7): 156–161.
- [6] 魏源送, 李承强, 樊耀波, 等. 不同通风方式对污泥堆肥的影响[J]. 环境科学, 2001, 1 (3): 54–59.
- [7] 刘斌. 堆肥发酵过程中的氧气消耗动态与氧气分布特征[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2007.
- [8] Zhang H, Li G, Gu J, et al. Influence of aeration on volatile sulfur compounds (VSCs) and NH₃ emissions during aerobic composting of kitchen waste[J]. Waste Management, 2016, 58: 369–375.
- [9] Evangelou A, Chintzios V, Komilis D, et al. Effect of air flowrate on the dynamic respiration activity of the raw organic fraction of municipal solid wastes[J]. Bioresource Technology, 2016; S0960852416316303.
- [10] 徐鹏翔, 王越, 杨军香, 等. 好氧堆肥中通风工艺与参数研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37 (11): 52–57.
- [11] 安玉亭, 刘彬, 薛丹丹, 等. 城市污泥与稻草混合堆肥氧气消耗的通风量优化研究[J]. 中国土壤与肥料, 2019, (1): 134–139.
- [12] 李艳霞, 王敏健, 王菊思. 有机固体废弃物堆肥的腐熟度参数及指标[J]. 环境科学, 1999, 20 (2): 98–103.
- [13] 李同, 董红敏, 陶秀萍. 畜禽养殖污水消毒技术研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15 (2): 137–143.
- [14] Zhang Z. Nutrient transformations during composting of pig manure with bentonite[J]. Bioresource Technology, 2012, 121 (121): 362–368.
- [15] Li R, Wang J J, Zhang Z, et al. Nutrient transformations during composting of pig manure with bentonite[J]. Bioresource Technology, 2012, 121: 362–368.
- [16] Korshin G V, Li C W, Benjamin M M. Monitoring the properties of natural organic matter through UV spectroscopy: A consistent theory[J]. Water Research, 1997, 31 (7): 0–1795.
- [17] Liu W, Zhang Z, Yang X, et al. Effects of UV irradiation and UV/chlorine co-exposure on natural organic matter in water[J]. Science of the Total Environment, 2012, 414: 576–584.
- [18] 吴淑杭, 姜震方, 俞清英. 禽畜粪堆肥化技术进展[J]. 上海农业学报, 2003, 19 (1): 50–52.
- [19] Bertran E, Sort X, Soliva M, et al. Composting winery waste: sludges and grape stalks[J]. Bioresource Technology, 2004, 95 (2): 203–208.
- [20] Maulini-Duran C, Artola A, Font X, et al. A systematic study of the gaseous emissions from biosolids composting: Raw sludge versus anaerobically digested sludge[J]. Bioresource Technology, 2013, 147 (8): 43–51.
- [21] 黄懿梅, 苟春林, 梁军峰. 两种添加剂对牛粪秸秆堆肥化中氮素损失的控制效果探讨[J]. 农业环境科学学报, 2008, (3): 1219–1225.
- [22] Tiquia S M, Tam N F Y. Fate of nitrogen during composting of chicken litter[J]. Environmental Pollution, 2000, 110 (3): 535–541.
- [23] Pagans E, Barrena R, Font X, et al. Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature[J]. Chemosphere, 2006, 62 (9): 1534–1542.
- [24] Jiang T, Schuchardt F, Li G, et al. Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting[J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, 23 (10): 1754–1760.
- [25] Luo W H, Yuan J, Luo Y M, et al. Effects of mixing and covering with mature compost on gaseous emissions during composting[J]. Chemosphere, 2014, 117: 14–19.

Optimization research on evaluation index of aerobic compost based on ventilation frequency control

LI Si-min, DANG Ya-qian, TANG Feng-bing, MENG Yun-jiao (Hebei Technology Innovation Center for Water Pollution Control and Water Ecological Remediation, Hebei University of Engineering, College of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038)

Abstract: The sludge reduction and harmless treatment is realized by automatically controlled system. Using sludge and mushroom slag, two tests are designed in the fermenter with the automatic control unit based on SIEMENS-PLC. The impact of changing aeration rate at different time and the aeration frequency per hour on the composting process is analyzed. From the perspective of oxygen consumption, water content, electrical conductivity, seed germination index, total nitrogen loss, and cumulative ammonia emissions, the results indicate that the first test has a better result in term of when the material water content is $60\% \pm 2\%$, aeration rates are 0.1, 0.4, 0.6, 0.3, 0.6 m³/h, and aeration is once per hour for 15 min; After analysis and comparison, the first level indicators (temperature, water content, conductivity, pH) are adopted as the criterion of industrialized maturity in a simple and fast manner.

Key words: aerobic composting; automatic control; parameter optimization; reactor composting