

污水处理厂污泥堆肥化处理研究*

张增强

(西北农林科技大学理学院, 陕西杨凌 712100)

【摘要】 以深圳市滨河污水处理厂污泥为研究对象,采用干污泥和回流污泥为调理剂,以树叶粉和木屑调节碳氮比,用强制通风静态发酵装置对污泥进行堆肥化处理,探讨污泥堆肥的工艺条件。研究表明,采用湿污泥与干污泥或回流污泥体积比 1:1 混合可以满足污泥堆肥水分调节的目的,用树叶粉和木屑调节碳氮比有利于污泥堆肥的进行,但会增加污泥堆肥的成本。不同处理污泥堆肥堆体的温度在 55℃ 以上维持时间都超过了 12 d,达到了污泥无害化与稳定化的标准。通过中试规模的装置对以干污泥或回流污泥作为调理剂的污泥堆肥研究表明,湿污泥与干污泥体积比 1:1 有利于污泥的无害化与稳定化。

关键词: 污泥 堆肥化 调理剂

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)07-0148-07

Composting Sewage Sludge of Wastewater Treatment Plant

Zhang Zengqiang

(College of Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract

The sewage sludge of Shenzhen Binhe Wastewater Treatment Plant was used as the research object, the dry sludge and returned sludge as the water amendment, the leaves powder and woodchip as C/N and water conditioner, the four aerated static pile (ASP) systems (1.5 m × 1 m × 1.5 m) as the composting equipment, the sewage sludge composting process conditions were studied. The results showed that using the dry or returned sludge as water amendment to mix with the fresh sludge to the volume ratio of 1:1, the water content of the mixture could meet the composting conditions. Using leaves powder or woodchip as the C/N and water conditioner to mix with fresh sludge is more useful than using the dry or returned sludge, but it could increase the cost of the compost. For the different treatments the time the temperature of the compost over the 55℃ is more than 12 d, and the compost satisfied the standard of harmless and stabilization. The two pilot-scale ASP systems (10 m × 2 m × 1.5 m) were used to confirm the conditions come from the small ASP systems experiment. The results indicated that one volume of fresh sludge mixed with one volume of dry or returned sludge the water content of the mix is appropriate for composting, but the volume ratio of 1:1 fresh sludge mixed with dry sludge is more effective than that of returned sludge and the compost could meet the standard of harmless and stabilization.

Key words Sewage sludge, Compost, Amendment

引言

随着我国经济的持续快速发展和城市化步伐的加快,城市污水处理事业发展迅速,污水处理厂数量快速增长,随之而来的是城市污泥的产量越来越

大。城市污泥的处理和处置是我国污水处理行业中最薄弱的环节。由于城市污泥的处置成本较高,加之过去对城市污泥的出路问题又没有予以足够的重视,因此至今仍缺乏经济可行的处置技术,使我国城市污泥处置问题日益发展成制约污水处理行业迅速

收稿日期: 2010-08-19 修回日期: 2010-08-26
* 陕西省科技攻关资助项目(2005K02-G05-04)
作者简介: 张增强,教授,博士生导师,主要从事固体废物处理与环境污染修复研究,E-mail: zhangzq58@126.com

发展的“瓶颈”^[1]。污水污泥含有丰富的有机质及氮、磷和微量元素等植物所需养分,可以作为有机肥料和土壤改良剂,但同时也含有一定量的重金属、有毒有机物等有害成分及高含水率(80%左右),有恶臭,不便于储存、运输和使用等缺点,因此,在土地利用之前对污泥进行稳定化处理是非常必要的^[2~3]。在不同的稳定化处理方法中,考虑到对污泥稳定化处理后的土地利用,将污泥进行堆肥化处理比较符合我国国情^[2]。污泥经过堆肥化处理后,可以考虑使用在园林绿化、高速公路绿化带、高尔夫球场等场所,这样既可以节约运输成本,也可合理利用污泥资源,同时也为污泥的处置找到出路^[3]。

本文以深圳市滨河污水处理厂污泥为研究对象,采用强制通风静态发酵池对污泥进行堆肥化处理,为污泥的大规模堆肥化处理提供依据。

表 1 供试污泥及木屑理化性质

Tab. 1 Physicochemical properties of the raw materials

项目	T-C/%	T-N/%	T-P ₂ O ₅ /%	T-K ₂ O/%	pH 值	MC/%	VS/%	Ash/%
污泥	38.4	3.69	2.05	0.43	6.5	83.5	66.2	33.8
回流污泥	32.6	3.25	2.34	0.56	7.2	25.6	45.6	54.4
木屑	56.3	0.36	—	—	7.41	23.3	97.1	2.94
树叶粉	45.3	0.56	—	—	—	6.50	85.9	14.1

项目	Cu/mg·kg ⁻¹	Zn/mg·kg ⁻¹	Ph/mg·kg ⁻¹	Cd/mg·kg ⁻¹	Cr/mg·kg ⁻¹	Ni/mg·kg ⁻¹	Hg/mg·kg ⁻¹	As/mg·kg ⁻¹
污泥	538.5	1 510.9	8.06	2.44	177.5	61.4	2.95	29.2

注:T-C、T-N、T-P₂O₅、T-K₂O 分别为总有机碳、总氮、总磷和总钾含量(质量分数);MC、VS 和 Ash 分别为水分、挥发性固体及灰分含量(质量分数)。

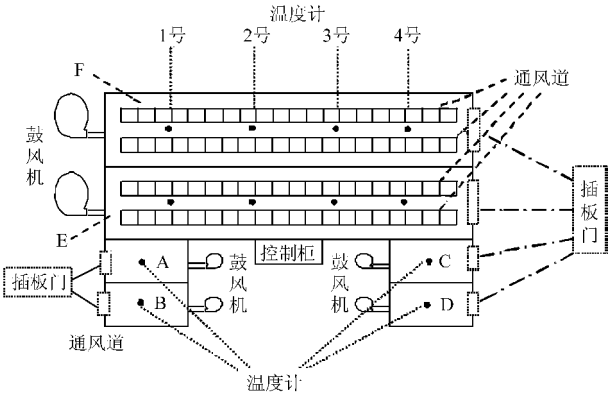


图 1 堆肥池平面布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the compost reactors

通风方式采用定时器控制。

1.2 试验方法

1.2.1 小发酵池第 1 次堆肥方法

由于原污泥含水率在 80% 左右,直接进行堆肥是不可能的,必须通过添加调理剂以调节堆肥物料的含水率至 55% 左右才能进行好氧堆肥^[4~5]。为了节约堆肥时间和提高堆肥池利用效率,在本次试验中特考虑了在原污泥中添加干污泥或回流污泥或

1 试验

1.1 试验材料

试验用污泥来自深圳市滨河污水处理厂,干污泥和半干污泥系由湿污泥经太阳光晾晒获得。回流污泥系好氧发酵腐熟后的污泥。木屑和树叶粉来自深圳市园林局属下的园林绿化树木修剪场。污泥堆肥试验设在深圳市龙岗区某工厂内。供试材料的理化性质如表 1 所示。堆肥试验场的布置如图 1 所示。图中 A、B、C、D 为 4 个小堆肥池,容积均为 1.5 m(长)×1 m(宽)×1.5 m(高)=2.25 m³,其通风采用在池子底部铺设 1 cm 厚的 PVC 板,在板上均匀打有孔径 10 mm 的通风孔 104 个;E、F 为 2 个大堆肥池,容积均为 10 m(长)×2 m(宽)×1.5 m(高)=30 m³,通风采用位于池底部的通风道;

直接晾晒到含水率为 55% 左右的半干污泥装池发酵。在每个池子中部插一温度计(图 1),定时记录堆体温度,其中环境温度用 T 表示(下同)。4 个小发酵池第 1 次堆肥处理如表 2 所示。

1.2.2 小发酵池第 2 次堆肥方法

为了探讨在污泥堆肥过程中除了调节水分外,调节碳氮比对污泥堆肥过程的影响,本试验以湿污泥与干污泥混合堆肥为对照,特设了添加树叶粉或木屑作为调理剂时对污泥堆肥过程的影响,4 个小发酵池第 2 次堆肥处理如表 3 所示。

鼓风机的工作方式为:开 30 min、关 30 min,其他条件同表 2。

1.2.3 大发酵池堆肥方法

通过小池试验,发现以干污泥或回流污泥作为调理剂进行规模化的污泥堆肥具有较大的实际应用价值,为此,通过小池试验确定试验条件后,以大池作为中试规模试验,探讨在较大规模下污泥堆肥试验参数的变化。为了便于了解堆体不同位置的温度变化,从大池的通风口开始每 2 m 位置在堆体中部插一温度计,每个堆体共设置 4 个温度计,分别编号

表 2 小发酵池第 1 次堆肥处理

Tab.2 First composting treatment of four small compost reactors

项目	A 池		B 池		C 池		D 池
	湿污泥	干污泥	湿污泥	干污泥	湿污泥	回流污泥	半干污泥
配比(体积比)	1	2	1	1	1	1	
含水率/%	83.5	12.5	83.5	12.5	83.5	25.6	55.4
混合物含水率/%	45.5		57.6		72.5		55.4
发酵池底层物料	20 cm 木屑		20 cm 木屑		20 cm 木屑		30 cm 木屑
发酵池顶层物料	30 cm 木屑		30 cm 木屑		30 cm 木屑		30 cm 木屑
建堆时间	9 月 4 日 18 时		9 月 4 日 16 时		9 月 4 日 15 时		9 月 4 日 11 时
建堆温度/℃	28		30		31		30
鼓风机功率/W			250				300
鼓风机风量/m ³ ·min ⁻¹			6.5				7.6
鼓风机风压/Pa			680				860
鼓风机开/关时间/min							10/50

表 3 小发酵池第 2 次堆肥处理

Tab.3 Second composting treatment of four small compost reactors

项目	A 池		B 池			C 池		D 池	
	湿污泥	干污泥	湿污泥	干污泥	树叶粉	湿污泥	木屑	湿污泥	木屑
配比(体积比)	2	1	2	1	1	2	1	1	1
含水率/%	75.6	12.5	75.6	12.5	6.5	75.6	23.3	75.6	23.3
混合物含水率/%	54.2		52.6			69.2		64.2	
碳氮比	10.7		13.6			17.8		24.6	
建堆时间	9 月 20 日 9 时		9 月 20 日 10 时			9 月 20 日 11 时		9 月 20 日 15 时	
建堆温度/℃	27		29			30		31	
发酵池底层物料	20 cm 木屑		20 cm 木屑			20 cm 木屑		30 cm 木屑	
发酵池顶层物料	30 cm 木屑		30 cm 木屑			30 cm 木屑		30 cm 木屑	

为 1、2、3 和 4(图 1),每天定时记录温度变化。大发酵池堆肥处理如表 4 所示。

E、F 大池各安装一台 CZT107 型鼓风机,功率 1.5 kW,风量 23 m³/min,风压 1 100 Pa,鼓风机工作方式为:开 20 min、关 40 min,通风量为 15.3 m³/(m³·h)。

表 4 E、F 大发酵池堆肥处理

Tab.4 Treatment of two big compost reactors (E, F)

项目	E 池		F 池	
	湿污泥	干污泥	湿污泥	回流污泥
体积比	1	1	1	1
含水率/%	83.3	12.5	83.3	24.5
混合物含水率/%	53.5		63.6	
底层物料	20 cm 木屑(无碎屑)		20 cm 木屑(无碎屑)	
顶层物料	20 cm 木屑(有碎屑)		20 cm 木屑(有碎屑)	
建堆时间	9 月 13 日		9 月 28 日	
建堆温度/℃	27		25	

1.3 采样及测试方法

每个小发酵池有 4 个采样点,每条对角线上有 2 个采样点,采样点位于中心点和角的中点,采样深度在物料的中心位置。每个样点每次采样约 500 g,将 4 个样点的样品混匀后作为该池的样品。每个大发酵池也有 4 个采样点,位于温度计附近,每个采样点每次采样约 500 g,将 4 个采样点采集的样品混匀后作为一个样品。鲜样含水率用干燥法测定(105℃干燥法);挥发性固体用灼烧法测定;全氮用半微量凯氏法测定;全磷用硝酸-硫酸消解-钼锑抗比色分析;全钾用硝酸-硫酸消解后火焰光度法测定;pH 值按常规分析法进行测定;重金属 Cu、Zn、Ni 用硝酸-高氯酸消煮样品,原子吸收分光光度计(Z-5000,HITACHI)测定;Pb、Cd 先用硝酸-高氯酸消煮样品,用甲基异丁基甲酮(MIBK)萃取,原子吸收分光光度计测定;Hg 用 H₂SO₄-HNO₃-KMnO₄消煮,冷原子荧光法测定;Cr 用 HNO₃-HClO₄消煮,DPC

比色测定;As 用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{—HNO}_3\text{—HClO}_4$ 消煮,DDC—Ag 比色测定^[6~7]。

2 结果与讨论

2.1 小发酵池第 1 次堆肥结果

4 个小池发酵污泥堆肥过程的温度变化如图 2 所示。由图 2 可以看出,除 C 池外,其他 3 个池内堆料温度在第 3 天时都超过了 55℃,A 和 B 池物料在第 9 天翻堆时在 55℃ 以上已经维持了 5 d。D 池物料由于自然沉降较大(第 4 天时沉降达到 20 cm),导致通风不畅,为此于第 5 天时对 D 池物料进行了翻堆处理,翻堆后该池物料温度上升仍然比较缓慢。由于 C 池物料起始含水率最高(72.5%),堆料中自由空域很小,空气较难进入堆体,导致堆体通风不足^[5,8~10],堆体温度上升较慢,为此在第 3 天时,对 C 池物料进行了翻堆处理,翻堆后物料温度上升迅速,于第 5 天达到 72℃ 并在 55℃ 以上维持了 11 d,加上第 15 天翻堆后该池物料在 55℃ 以上维持的 2 d,C 池物料在 55℃ 以上共维持了 13 d。A 和 B 池物料在第 9 天翻堆后,B 池物料温度迅速升高,于第 11 天时达到最高温度 72.5℃,并在 55℃ 以上又维持了 5 d,加上在第 15 天翻堆后温度在 55℃ 以上维持的 2 d,该池物料温度在 55℃ 以上维持的时间达到 12 d。A 池物料在第 9 天翻堆后,在室温范围内持续了 3 d,随后温度迅速上升,在第 14 天时达到本次堆肥的最高温度 78.5℃,于第 15 天翻堆后,温度升高迅速,并在 55℃ 以上又维持了 5 d,到此 A 池物料温度在 55℃ 以上维持的时间也达到 12 d。D 池物料在第 15 天翻堆后,温度升高迅速,并于第 17 天时达到最高温度 63℃,但 2 d 后温度迅速下降,这可能与

该池物料底部垫层较厚(30 cm 木屑)且通风量和风压较大(与 A、B 池相比)、通风效率较高有关。该池物料在 55℃ 以上总共维持了 5 d。由此可以看出,采用干污泥或回流污泥作为湿污泥的水分调节剂进行混合堆肥,并辅以适当的翻堆,可以满足污泥无害化的卫生要求^[11]。

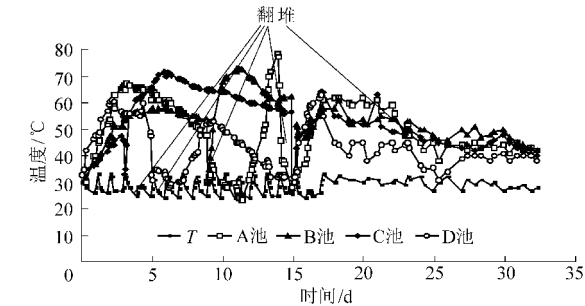


图 2 小发酵池第 1 次温度变化
Fig. 2 Temperature of the first time for the four compost reactors

对小发酵池第 1 次堆肥物料水分(MC)、挥发性固体(VS)及灰分(Ash)的监测表明(图 3),随着堆肥过程的进行,各发酵池 MC 不断降低,其中 A 和 D 池最终物料含水率小于 20%,这可能与 A 池物料起始含水率较低和 D 池物料通风效率较高有关。B 和 C 池物料起始含水率较高(分别为 57.6% 和 72.5%),最终物料的含水率保持在 25% 左右。堆肥物料的 VS 变化最能表明好氧堆肥过程中微生物转化降解可腐有机物的趋势^[5,12],由图 3 可知,由于 A 池物料起始含水率较低(45.5%),微生物的活动受到限制,致使堆肥物料终了时的 VS 较高,达到 38.8%,而 B 池物料的起始含水率比较合适(57.6%),该池物料最终 VS 降到 32.7%,其他两个池子物料的最终 VS 介于 A、B 这两个池子中间。由

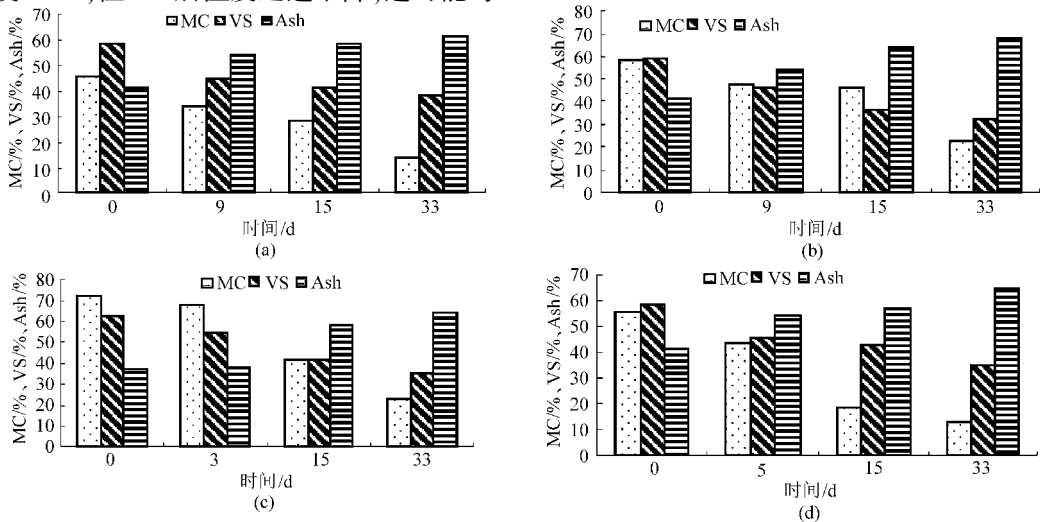


图 3 小发酵池第 1 次发酵过程
Fig. 3 Changes of MC, VS and Ash of the first time for four compost reactors
(a) A 池 (b) B 池 (c) C 池 (d) D 池

污泥堆肥的 VS 及堆体温度的变化可以判断,不同处理堆肥物料已经达到了稳定化要求^[13~15]。堆肥物料的 Ash 的变化与 VS 的变化恰好相反,在此不再赘述。

2.2 小发酵池第 2 次堆肥结果

4 个小发酵池第 2 次污泥堆肥试验结果如图 4、5 所示。由图 4 可知,不同处理污泥堆肥的升温速率都很快,在 1 d 内各处理堆料温度都超过了 55℃。D 池由于木屑添加量比 C 池多一倍,且底部垫层较厚,为 30 cm 木屑,通风效果好,所以从第 2 天开始堆体温度下降到 50℃,并在此温度维持了 2 d,在此阶段堆体沉降较其他处理为大,达到 18 cm,而后温度持续上升,于第 6 天达到了 79℃。该处理在整个试验过程中堆体温度大于 55℃ 以上总共维持了 13 d。A 池堆料于第 3 天温度达到最大值 69℃,并从第 3 天开始温度逐渐下降,于第一次翻堆时(第 8 天),温度下降到 50℃,翻堆后该处理堆体温度逐渐上升并于第 11 天时达到 55℃ 以上,且在此温度以上维持较长时间,该处理堆体物料在 55℃ 以上总共维持了 16 d。B 池物料由于添加的树叶粉对碳氮比的调节效果好(碳氮比为 13.6)^[16~17],堆体温度上升较快,尽管期间有部分区段温度有所下降,但除了中间的翻堆时间外,温度一直维持在 55℃ 以上,并于第 12 天时达到本次堆肥的最高温度 80℃。该处理堆体温度在 55℃ 以上总共维持了 21 d。C 池物料尽管含水率最高(69.2%),但由于添加有木屑并且通风量较大(与 A、B 池相比较),堆体温度较高,在整个堆肥过程中,堆体温度在 55℃ 以上总共维持了 13 d。不同处理堆肥都达到了无害化的卫生要求。

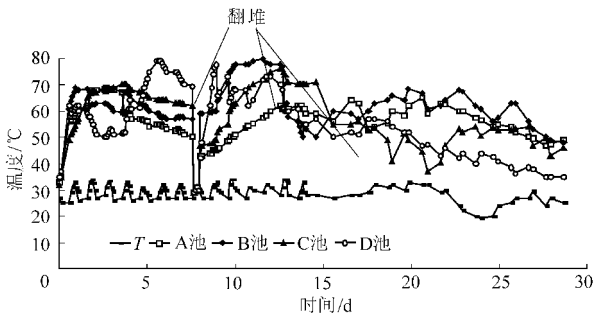


图 4 小发酵池第 2 次发酵过程温度变化
Fig. 4 Temperatures of the second time for four compost reactors

由图 5 可以看出,不同处理堆体含水率逐渐降低,处理 A 与 B 起始含水率接近,由于 B 池物料碳氮比较为适宜,堆体温度较高并持续较长时间,导致堆体水分蒸发量较大,最终物料含水率较低。尽管添加树叶粉有利于堆肥微生物利用提供的碳源,但考虑到收集树叶粉和混料设备的投资,添加树叶粉在实际应用中可能不可取。相比而言,添加木屑的处理,由于不仅调节了物料的水分和碳氮比,而且由于木屑的支撑作用(膨胀剂),有利于污泥好氧堆肥过程的进行^[5,16,18]。C 和 D 池物料起始含水率都较高(分别为 69.2% 和 64.2%),但由于 D 池物料中木屑比 C 池多一倍,通风条件好,致使 D 池物料最终含水率较 C 池低,分别为 30.2% 和 45.6%。不同处理堆体 VS 的变化同样表现为逐渐降低的趋势,但相比而言,添加木屑或树叶粉的处理,VS 的降解率比未调节碳氮比的处理高,不同处理堆体物料 VS 降解率从大到小依次为 D(43.0%)、C(39.9%)、B(38.2%)、A(36.9%),这与 D、C 处理采用木屑为调理剂和膨胀剂有关。因此,建议在有木屑资源的

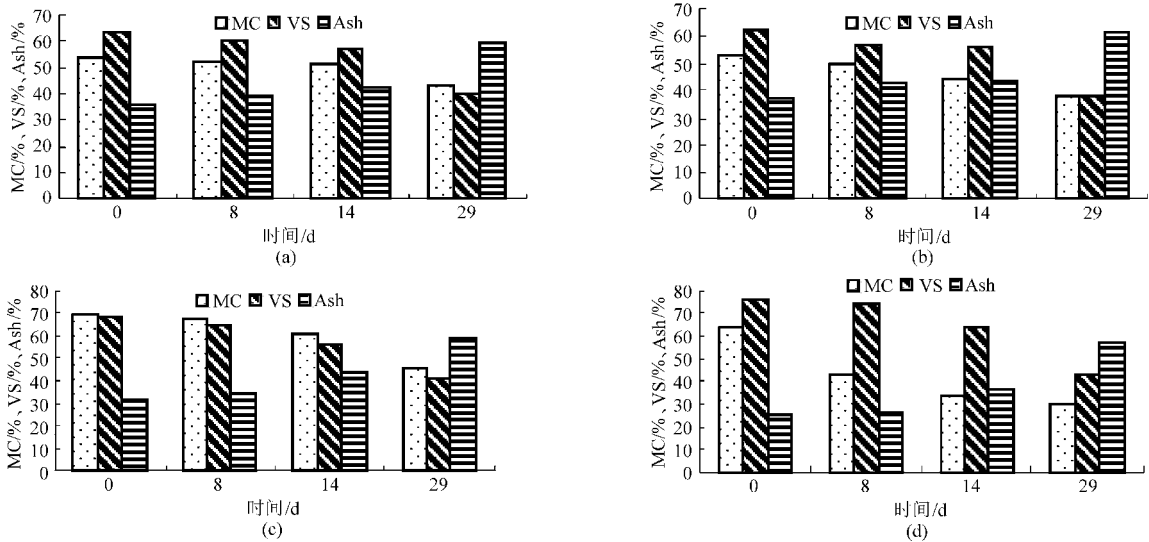


图 5 小发酵池第 2 次发酵过程
Fig. 5 Changes of MC, VS and Ash of the second time for four compost reactors
(a) A 池 (b) B 池 (c) C 池 (d) D 池

城市,可以考虑采用木屑作为污泥堆肥的调理剂和膨胀剂。不同处理堆体物料 Ash 的变化与 VS 的变化相反,在此不再赘述。

2.3 大发酵池堆肥结果

大发酵池 E 和 F 污泥堆肥试验处理如表 4 所示,试验结果如图 6、7 所示。

从图可以看出,2 个处理在堆肥过程中都进行了 3 次翻堆,两个处理堆体温度变化具有相似的变

化规律:靠近通风口处的 1 号温度计由于通风条件好,堆体产生的热量被通风所带走,所以温度较低,2 号和 3 号温度计所处位置通风量比较合适,堆体温度在 55℃ 以上维持时间都较长,分别达到 22 d (E 池)和 30 d (F 池),达到了无害化的卫生要求。4 号温度计所处位置最远,通风量略显不足,导致该位置堆体温度较高。由此可见,对于大规模的污泥堆肥工程,均匀通风的设计很关键。

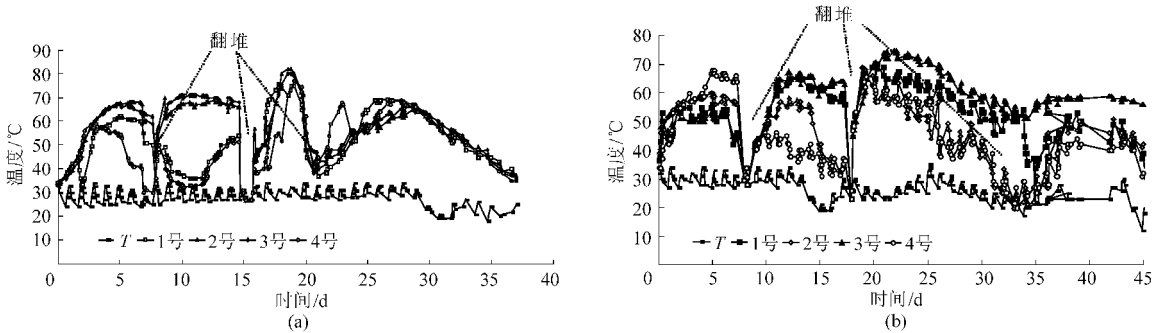


图 6 大池发酵温度变化
Fig. 6 Temperatures of compost reactor
(a) E 池 (b) F 池

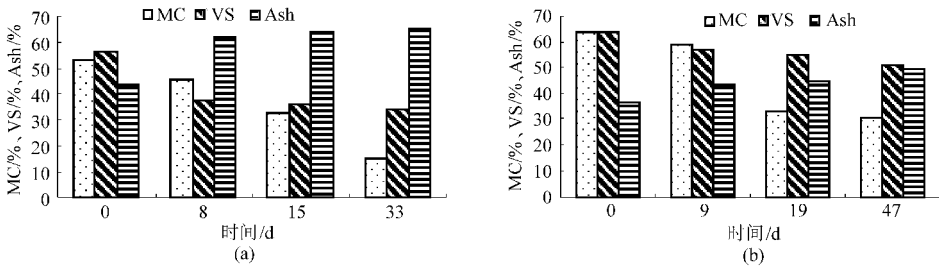


图 7 E、F 大发酵池发酵过程
Fig. 7 Changes of MC, VS and Ash of the E and F compost reactors
(a) E 池 (b) F 池

2 个处理堆体含水率的变化都表现出降低的规律,这是由于发酵产生的高温蒸发和通风带走了较多的水分^[4~5]。但 E 池处理的含水率(72.3%)比 F 池处理(52.0%)降低的多,这与 E 池处理起始含水率(53.6%)比 F 池处理的低(63.6%)有关。2 个池子堆体物料 VS 的变化有所不同,E 池处理 VS 的降解率(38.6%)比 F 池处理的高(20.7%),说明 E 池处理的发酵效果比 F 池处理的好。由于 F 池比 E 池堆料起始的 VS 高(分别为 63.6% 和 53.4%),同时含水率也比较高(分别为 63.6% 和 53.6%),通风情况较 E 池处理的差,所以 F 池堆料温度在 55℃ 以上持续的时间比 E 池长,分别达到 30 d 和 22 d。由污泥堆肥的 VS 及堆体温度的变化可以判断,2 个处理堆肥物料已经达到了无害化与稳定化要求^[13~15]。

2 个处理堆料 Ash 的变化与 VS 的变化趋势相反,不再赘述。

3 结论

- (1) 采用干污泥或回流污泥作为湿污泥堆肥的水分调理剂,按体积比 1:1 混合,采用强制通风并辅以适当的翻堆,可以达到污泥的无害化和稳定化要求。
- (2) 通过木屑为污泥堆肥的调理剂(MC 和碳氮比)和膨胀剂有利于污泥堆肥的进行,无害化和稳定化更为有效,但需要增加混料设备并增加堆肥成本。
- (3) 通过中试规模的污泥堆肥试验表明,采用干污泥作为调理剂,按照体积比 1:1 的比例与湿污泥混合,有利于污泥堆肥的无害化和稳定化。

参 考 文 献

- 1 张增强,孟昭福,孙西宁,等. 我国城市污泥处理对策分析[M]//徐强. 污泥处理处置新技术、新工艺、新设备. 北京:化学工业出版社,2011.
- 2 张增强,薛澄泽. 城市污水污泥的堆肥化与资源化[J]. 环境保护,1997(7):12~15.
Zhang Zengqiang, Xue Chengze. Compost and resourcelization of municipal wastewater sludge[J]. Environmental Protection, 1997(7):12~15. (in Chinese)
- 3 张增强,殷宪强. 污泥土地利用对环境的影响[J]. 农业环境科学学报,2004,23(6):1 182~1 187.
Zhang Zengqiang, Yin Xianqiang. Environmental effects of sludge application on land [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(6):1 182~1 187. (in Chinese)
- 4 蔡建成. 堆肥工程与堆肥工厂[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- 5 Hang R T. The practical handbook of composting [M]. Boca Raton:Lewis Publishers,1993.
- 6 孙西宁,李艳霞,张增强,等. 城市污泥好氧堆肥过程中重金属的形态变化[J]. 环境科学学报,2009,29(9):1 836~1 841.
Sun Xining, Li Yanxia, Zhang Zengqiang, et al. Extractable forms of heavy metals produced during municipal sludge composting[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2009, 29(9):1 836~1 841. (in Chinese)
- 7 贾程,张增强,张永涛. 污泥堆肥过程中氮素形态的变化[J]. 环境科学学报,2008,28(11):2 269~2 276.
Jia Cheng, Zhang Zengqiang, Zhang Yongtao. The transformation of nitrogen forms during co-composting of sewage sludge and wheat straw [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(11):2 269~2 276. (in Chinese)
- 8 Yu S H, Clark O G, Leonard J J. Influence of free air space on microbial kinetics in passively aerated compost [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(2):782~790.
- 9 Iqbal M K, Shafiq T, Ahmed K. Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(6):1 913~1 919.
- 10 陈同斌,黄启飞,高定,等. 城市污泥堆肥温度动态变化过程及层次效应 [J]. 生态学报,2002,22(5):736~741.
Chen Tongbin, Huang Qifei, Gao Ding, et al. Temperature dynamic during the sewage sludge composting process [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002,22(5):736~741. (in Chinese)
- 11 GB 7959—1987 粪便无害化卫生标准[S].
GB 7959—1987 Sanitary standard for the non-hazardous treatment of night soil [S]. (in Chinese)
- 12 Yanez R, Alonso J L, Diaz M J. Influence of bulking agent on sewage sludge composting process [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(23):5 827~5 833.
- 13 Bernal M P, Paredes C, Sánchez-Monedero M A, et al. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes [J]. Bioresource Technology, 1998, 63(1):91~99.
- 14 Hue N V, Liu J. Predicting compost stability [J]. Compost Science and Utilization, 1995, 3(2):8~15.
- 15 Wu L, Ma L Q, Martinez G A. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost [J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29(2):424~429.
- 16 Ponsa S, Pagans E, Sanchez A. Composting of dewatered waste sludge with various ratio of pruning waste used as a bulking agent and monitored by respirometer [J]. Biosystems Engineering, 2009, 102(4):433~443.
- 17 张永涛,张增强,孙西宁,等. 不同 C/N 污泥堆肥温度的空间变化特征[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2009,37(6):125~130.
Zhang Yongtao, Zhang Zengqiang, Sun Xining, et al. Characters of spatial variation of compost temperature using different C/N composted materials from sewage sludge [J]. Journal of Northwest A & F University: Nat. Sci. Ed., 2009, 37(6): 125~130. (in Chinese)
- 18 Gea T, Barrena R, Artola A, et al. Optimal bulking agent particle size and usage for heat retention and disinfection in domestic wastewater sludge composting [J]. Waste Management, 2007, 27(9):1 108~1 116.