

水稻秸秆添加对污水处理厂污泥好氧堆肥效果的影响

鲍博¹, 唐琦¹, 刘梅¹, 邵力², 戎振英², 孙静亚^{1*}

(1. 浙江海洋大学海洋科学与技术学院, 浙江舟山 316022; 2. 舟山污水处理有限公司, 浙江舟山 316000)

摘要 探讨污水处理厂污泥与水稻秸秆堆肥的最佳混合比, 为水稻秸秆资源化提供理论参考。共设 1.0:0.5、1.0:1.0、1.0:1.5 和 1.0:2.0 这 4 组污泥和水稻秸秆比例, 分别在第 1、4、7 天时测定各体系内含水率、pH、有机碳、总氮和总磷, 同时记录每日堆肥温度变化。研究结果表明, 污泥秸秆配比为 1.0:1.0 和 1.0:1.5 的体系含水率较好。温度均呈先升高再下降的趋势, 其中 1.0:1.0 配比下温度达到最高, 为 56.7℃。所有条件中 pH 变化均在适宜范围 6.5~8.2。各体系有机碳含量均为下降, 1.0:1.0 体系的降解速度最快, 下降率为 26.64%。总氮总体呈下降趋势, 而总磷呈上升趋势。综合考虑, 污泥与水稻秸秆比例为 1.0:1.0 时最为适宜。

关键词 污泥; 好氧堆肥; 秸秆

中图分类号 X 703 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)23-0088-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.23.022



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Rice Straw Addition on Aerobic Composting of Sludge from Sewage Treatment Plant

BAO Bo, TANG Qi, LIU Mei et al (College of Marine Science and Technology, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316022)

Abstract We discussed the optimal mixing ratio of sludge in sewage treatment plant and rice straw compost, which provided a theoretical reference for rice straw resource utilization. The ratios of sludge and rice straw in four groups of 1.0:0.5, 1.0:1.0, 1.0:1.5 and 1.0:2.0 were set in the experiment. The water content, pH, organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in each group were measured at 1, 4 and 7 days respectively, and the composting temperature changes were recorded daily. The results showed that the water contents in the system with the ratio of 1.0:1.0 and 1.0:1.5 were better. Temperature increased initially and then decreased, and the ratio of 1.0:1.0 reached the highest temperature of 56.7℃. The pH change in all conditions was in the range of 6.5-8.2 appropriately. Organic carbon content of each system was decreasing, and the 1.0:1.0 system was reduction maximally in all systems which was 26.64%. Total nitrogen decreased and total phosphorus increased in all conditions. Considering comprehensively, it is most suitable when the ratio of sludge to rice straw is 1.0:1.0.

Key words Sludge; Aerobic composting; Straw

随着我国城镇化进程加快, 城市的污泥产量与日俱增, 目前每年污泥产量超过 4 000 万 t, 预测 2020 年城市污泥的年产量将会达 6 000 万 t^[1]。污泥中含有大量有害物质, 一旦处置不当将会造成二次污染^[2]。好氧堆肥法是一种有效的处理工艺, 通过控制水分含量、C/N 比例和通气方式, 使污泥中大量的微生物将有机物转变为腐殖质被植物利用, 并且增强土壤肥力^[3]。由于污泥含水率较高, 透气性差, 不利于进行好氧堆肥, 并且达不到温度要求。而添加调理剂则可以改变含水率、孔隙率和碳氮比等^[4]。水稻秸秆是非常好的调理剂, 作为废弃资源重新利用, 成本低, 有着良好的前景。已有学者将水稻秸秆应用于城市污泥好氧堆肥中^[5], 然而对污泥与秸秆的配比则研究较少。

笔者以水稻秸秆和城市污泥高温好氧堆肥的过程作为研究对象, 探究不同比例的污泥和秸秆对堆肥体系的影响, 以期对秸秆好氧堆肥的实际应用提供参考。

1 材料与方

1.1 材料 污泥为取自舟山污水处理厂二沉池的活性污泥, 作为好氧堆肥的基质与水稻秸秆混合。水稻秸秆来自舟山市内农田, 是粒径小于 1 mm 的细秸秆。试验中所用试剂均为分析纯。

堆肥装置采用普通保温泡沫箱, 内径尺寸为 162 mm×162 mm×342 mm, 壁厚 17 mm。

1.2 方法

1.2.1 好氧堆肥设计。好氧堆肥试验处理如表 1 所示。分别将湿重污泥与水稻秸秆按照质量比 1.0:0.5、1.0:1.0、1.0:1.5、1.0:2.0 混合, 充分搅拌 5 min 后倒入保温泡沫箱, 箱盖上留有通风口。通风方法为人工翻堆与自然通风, 每隔 3 h 打开保温泡沫箱并翻堆 1 min。在温度升高到 40℃之前采用自然通风, 40℃之后进行人工翻堆。

表 1 好氧堆肥试验设计

Table 1 Experimental design of aerobic compost

编号 No.	物料组合 Material combination	湿重比 Wet to dry weight ratio	通风方式 Ventilation pattern	采样时间 Sampling time//d
a	污泥和水稻秸秆	1.0:0.5	人工翻堆和自然通风	1,4,7
b	污泥和水稻秸秆	1.0:1.0	人工翻堆和自然通风	1,4,7
c	污泥和水稻秸秆	1.0:1.5	人工翻堆和自然通风	1,4,7
d	污泥和水稻秸秆	1.0:2.0	人工翻堆和自然通风	1,4,7

分别在堆体混合完毕, 堆体完成升温以及堆肥结束时进行取样, 每次在堆体的上、中、下 3 处分别取样混合以保障取样均匀, 每个体系每次取 2 个样品, 取样 10 g 左右于培养皿中。最后将样品风干研磨并通过 100 目筛网, 保存于干燥阴凉处等待检测。

样品预处理: 除了要按照上述方法取样, 在堆肥前还要对污泥和秸秆取样测定本底值。分别把取得的样品编号, 每个样品分为 2 份, X 组样和 Y 组样。

基金项目 浙江省公益性研究计划项目(LGF20D060001); 舟山市科技计划项目(2018C21012、2014C11006)。

作者简介 鲍博(1994—), 男, 内蒙古满洲里人, 硕士研究生, 研究方向: 水环境污染控制。* 通信作者, 教授, 从事水污染与固废处理技术研究。

收稿日期 2020-04-07

X 组样品要放置于恒温干燥箱中,设定温度为 60 ℃,持续不断烘干,时间为 7 d。进行研磨,通过 100 目筛网,在低温干燥的环境下保存,为之后的测定做好准备。

Y 组样品用于测定含水率。

1.2.2 指标测定。含水率测定采用减重法:使用天平测出培养皿和样品的质量 m_1 ,之后置于恒温干燥箱中 105 ℃ 干燥 24 h,烘干至恒重取出,称其质量 m_2 ,每个培养皿洗净擦干,称量培养皿的质量 m_3 ,通过公式计算含水率:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \times 100\%$$

使用 100 ℃ 的水银温度计每天上下午各测量 2 次,每次测完温度就要进行 1 min 的人工翻堆。

用天平称取 X 组样品 0.5 g,按照样品:去离子水为 1:10 (质量比)混合振荡 2 h 后,离心 30 min,测定上清液 pH。

有机碳测定采用重铬酸钾氧化-分光光度法^[6]。

总氮测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法^[7]。

总磷测定采用钼酸铵分光光度法^[8]。

1.3 数据处理 数据采用 Excel 和 SPSS 25.0 进行统计和分析,单因素方差分析(ANOVA)检验显著性。

2 结果与分析

2.1 不同配比对含水率的影响 已有研究表明,污泥好氧堆肥的含水率最适宜值为 60%~70%^[9]。好氧堆肥过程中各堆肥体系的含水率变化如图 1 所示,配比不同对含水率变化量的影响并不大,不同配比污泥与秸秆只是决定了初始的含水率。在堆肥过程中,含水率基本呈现稳定下降的趋势。相比之下 c 体系的含水率下降最快,其他 3 个体系速率无明显差异。

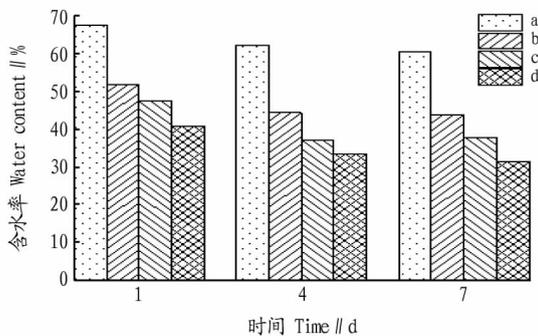


图 1 不同堆肥体系的含水率变化

Fig. 1 Water content of different compost systems

2.2 不同配比对温度的影响 由图 2 可知,不同配比的好氧堆肥体系均经历了升温、高温、降温、腐熟 4 个时期,这与前人研究类似^[10],其中体系 a 的温度变化最小,升温期只持续了 0.5 d 的时间,而且最高温度只有 40 ℃,没能进入高温分解阶段(>50 ℃),之后温度一直在 30~40 ℃。从第 6 天开始降温,到第 7 天温度降至室温水平。这可能是由于污泥含量过高,微生物数量过多,导致微生物无法在有利条件下分解营养物质释放热量。而体系 d 的温度同样是在第一天就达 42.2 ℃,温度在 40 ℃ 上下维持了 1.5 d,之后温度开始慢慢下降到 30.2 ℃,后温度又有小幅上升,虽然温度最高就上

升到 37.1 ℃,但这可认定为二次发酵过程。体系 d 的温度升不到 50 ℃,无法达到高温好氧堆肥的条件,之后在第 6 天开始温度慢慢下降到常温。这可能是由于秸秆含量过多,导致初始含水率过低,只有 40.8%,无法满足微生物的适宜生存条件,导致微生物无法大量分解有机营养物质。之后在第 6 天开始温度慢慢下降到常温。

体系 b 和体系 c 的温度则达到高温分解阶段要求,在第 1 天温度均升高到 40 ℃ 以上,并且还在持续升温,最高温度分别达 56.7、55.4 ℃,此时微生物开始大量分解有机物质,释放热能,体系 b 和 c 的高温阶段均持续了 2 d 的时间,之后温度开始以较快的速度下降,下降到 30 ℃ 左右,下降速率变缓慢,并在该温度保持到第 6 天,在第 7 天温度回到常温。

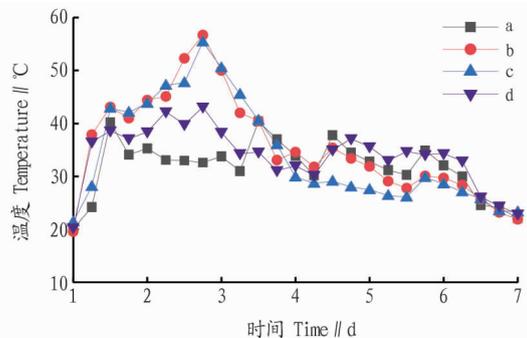


图 2 7 d 内不同堆肥体系的温度变化

Fig. 2 Temperature changes in different compost systems within 7 days

2.3 不同配比对 pH 的影响 由图 3 可知,堆肥过程 pH 变化并不明显,但升温到高温阶段,由于微生物分解有机物会产生一定的有机酸,因此在高温阶段结束后 pH 略有下降,但是体系 a 在第 7 天 pH 反而上升,最大的可能是体系 a 微生物活性并不高,在之后由于水分散失,体系质量下降更快,反而导致整体的 pH 呈上升趋势。总体而言,不同配比对 pH 的影响并不大。体系 a 略有下降后又略微上升,体系 b 略有下降,体系 c 基本保持不变,体系 d 略微上升后又稍微下降。整体变化较小。

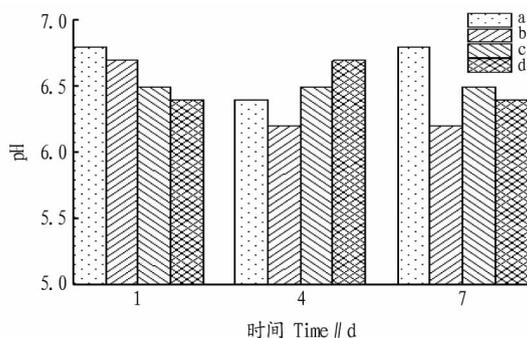


图 3 不同堆肥体系 pH

Fig. 3 pH in different compost systems

2.4 不同配比对堆肥体系有机碳含量影响 在好氧堆肥过程中,当污泥中的微生物不断地把堆肥体系中的有机质分解为可被利用的营养元素时,堆肥体系中的有机碳就会不断减少。根据污泥处置相关标准,污泥处理过后有机质含量为

25%以上^[11]。通过数据可知,4个比例体系中总有机碳含量都在减少,其中污泥含量越多的体系总有机碳初始值就越高。

与体系c、d相比,体系a在图4中倾斜得更多一点,说明体系a有机碳降解更快一些。4个体系比较,很明显体系b曲线倾斜程度更高,说明体系b的有机碳降低最快。体系a有机碳含量减少了109.4 mg/g,体系b减少了139.9 mg/g,体系c减少了62.9 mg/g,体系d减少了63.3 mg/g,可知体系b有机碳降低量最多,速率最快,因此降解效果最好。

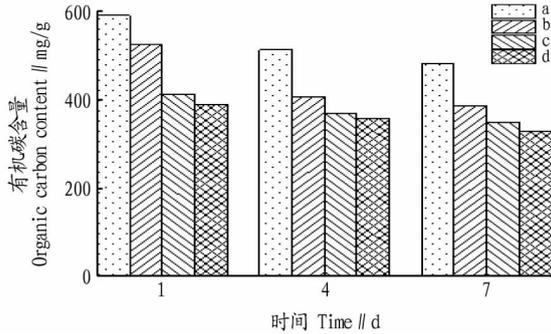


图4 7 d内不同堆肥体系内有机碳含量变化

Fig. 4 Changes of organic carbon content in different compost systems within 7 days

2.5 不同配比对堆肥体系总氮含量影响 由图5可知,4个体系氮含量的初始值都很接近,而体系a中总氮含量在前4 d有着极大的增加,可能是和体系a中含水率为67.4%,远远高于其他3个体系有关。体系a含水率很高,随着微生物的生长繁殖,有机氮很快地被分解成铵态氮,在体系中累计下来,所以造成体系a的氮含量有极大上升。虽然在堆肥过程中氮会不断挥发到环境中,但是体系a的氮含量总体上升了一些。对于其他3个体系,总氮含量没有明显变化,但总体上呈现下降趋势,这是因为氮挥发在起作用,虽然体系的含水率在不断降低,体系出现了浓缩效应,但是效应不明显,最后导致总氮含量变化不大。

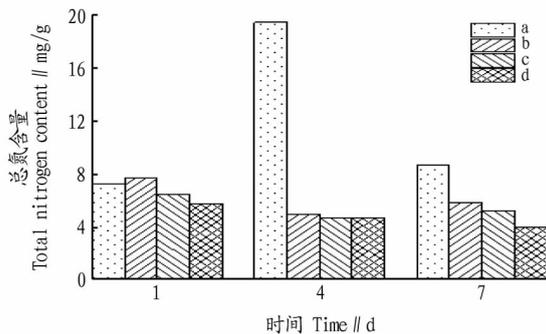


图5 7 d内不同堆肥体系内总氮含量变化

Fig. 5 Changes of total nitrogen content in different compost systems within 7 days

2.6 不同配比对堆肥体系总磷含量影响 由图6可知,各个体系总磷含量变化在前期均有所下降,后期含量逐渐上

升,但总体含量呈现上升的趋势,主要是浓缩效应的关系,磷元素的总量是基本不变的。

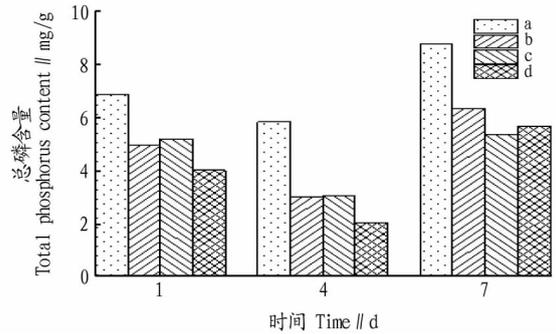


图6 7 d内不同堆肥体系内总磷含量变化

Fig. 6 Changes of total phosphorus content in different compost systems within 7 days

3 结论

对于不同配比的堆肥体系,含水率均呈现下降趋势,含水率下降主要集中于堆肥升温期与高温期,污泥秸秆配比为1.0:1.0和1.0:1.5的体系效果最佳。4个配比体系温度都有升高保持再下降的趋势,其中1.0:1.0和1.0:1.5配比最高,56.7、55.4℃为最佳堆肥温度,并且1.0:1.0的高温期优于1.0:1.5。不同体系pH变化不明显,总体都在最佳pH之间。1.0:1.0体系中有有机碳降解效果最好。总氮含量没有明显变化,但在各个体系中总体仍呈现下降趋势,而总磷含量变化在前期有所下降,但总体呈上升趋势。根据污泥处置相关标准,4个系列都满足pH要求,体系a、d堆肥过程不理想,体系b和c的有机碳含量为385.3、347.3 mg/g,百分比为38.53%和34.73%,远高于标准,其中体系b配比含量更高。综上所述,污泥与秸秆比例为1.0:1.0时最佳。

参考文献

- [1] 刘文来. 城市污泥处理工艺研究进展[J]. 资源节约与环保, 2019(3): 147-148.
- [2] 谢计平, 李瑞娜, 丁海霞. 城市污泥生物处理技术研究进展[J]. 广东化工, 2020, 47(4): 147-148.
- [3] GUO X X, LIU H T, WU S B. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions[J]. Science of the total environment, 2019, 662: 501-510.
- [4] GUO X X, LIU H T, ZHANG J. The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review[J]. Waste management, 2020, 102: 884-899.
- [5] 孟云姣, 唐锋兵, 张娟, 等. 不同调理剂协同市政污泥好氧堆肥试验研究[J]. 工业用水与废水, 2020, 51(1): 82-87.
- [6] 环境保护部. 土壤 有机碳的测定 重铬酸钾氧化-分光光度法: HJ 615—2011[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [7] 中华人民共和国环境保护部. 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法: HJ 636—2012[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [8] 国家环境保护总局. 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法: GB/T 11893—89[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
- [9] 单德鑫, 李淑芹, 许景钢. 固体有机废物堆肥过程中氮的转化[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(2): 265-269.
- [10] 李必琼. 作物秸秆与城市污泥高温好氧堆肥过程中碳氮磷及重金属转化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质: GB/T 23486—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.