

# 污泥醇制园林营养土好氧-厌氧交替法可行性分析

郭蔚华<sup>1</sup> 刘云霄<sup>1</sup> 包兵<sup>2</sup> 陈祥<sup>2</sup> 何冰<sup>1</sup> 刘娜娜<sup>1</sup> 扈庆<sup>3</sup>

(1. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045;

2. 重庆市园林绿化科学研究所, 重庆 401329; 3. 重庆市水务集团股份有限公司, 重庆 400010)

**摘要** 为研究好氧-厌氧交替法用于脱水污泥醇制园林营养土达到无害化、营养化、腐殖化(三化)目标的可行性,开展了好氧、厌氧、交替实验效果分析。结果表明:大肠菌群死亡率,酵温50℃时为80%,60℃时为95%;好氧、厌氧、交替,冬季最高酵温分别为52.5、29.5、52.2℃(夏季分别为62.5、41.8、64℃),大肠菌群达标所需时间好氧、交替均为8d(冬)和3d(夏),厌氧28d以上;平均碱解氮,厌氧0.859 g/kg > 交替0.856 g/kg > 好氧0.798 g/kg;20d后平均有效磷,交替1.852 g/kg > 好氧1.692 g/kg > 厌氧1.636 g/kg;20d后平均有效钾:交替14.215 g/kg > 好氧13.187 g/kg > 厌氧11.945 g/kg;20d后平均腐殖质,交替10.510 g/kg > 厌氧9.398 g/kg > 好氧8.768 g/kg。分析可知,好氧法、交替法可使发酵污泥达到无害化,营养化、腐殖化指标交替法高于好氧法,交替法用于污泥醇制园林三化营养土可行,其控制参数需实验确定。

**关键词** 好氧-厌氧交替法 脱水污泥 营养土 园林

中图分类号 X705 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2012)10-3725-05

## Feasibility analysis of fermenting sludge into garden nutritional soil by using aerobic-anaerobic alternative method

Guo Weihua<sup>1</sup> Liu Yunxiao<sup>1</sup> Bao Bing<sup>2</sup> Chen Xiang<sup>2</sup> He Bing<sup>1</sup> Liu Nana<sup>1</sup> Hu Qing<sup>3</sup>

(1. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Chongqing Institute of Landscape Gardening, Chongqing 401329, China; 3. Chongqing Water Group Company Limited, Chongqing 400010, China)

**Abstract** In order to study the feasibility of aerobic-anaerobic method used in the dewatered sludge produced to harmless, nutritive and humic garden nutritional soil, the test of analyzing the effect of aerobic method, anaerobic method and alternative method was carried out. The results indicated that, the mortality rate of coliform was 80% at 50℃ in the fermentation system temperature and was 95% at 60℃, the highest temperature of aerobic method, anaerobic method and alternative method in winter was 52.5, 29.5 and 52.2℃ (62.5, 41.8 and 64℃ in summer), respectively. The time of the coliform number reaching the standards in aerobic method and alternative method were both 8 days in autumn (3 days in summer), and anaerobic method were more than 28 days. The average values of alkali-hydrolyzable nitrogen for anaerobic method, alternative method and aerobic method were 0.859, 0.856 and 0.798 g/kg, respectively. The average values of available phosphorus after 20 days in the fermentation for alternative method, aerobic method and anaerobic method were 1.852, 1.692 and 1.636 g/kg, respectively. The average values of available potassium after 20 days in the fermentation for alternative method, aerobic method and anaerobic method were 14.215, 13.187 and 11.945 g/kg, respectively. The average values of humus after 20 days in the fermentation for alternative method, anaerobic method and aerobic method were 10.510, 9.398 and 8.768 g/kg, respectively. According to the results, in garden nutritional soil produced from dewatered sludge aerobic method and alternative method could satisfy the harmless, alternative method could satisfy both nutrition and humification, and was better than aerobic method. Results show that alternative method is feasible in sludge fermented into nutritional soil with three guidelines. However, the control parameter of alternative method should be operated through experiment.

**Key words** aerobic-anaerobic alternative method; dewatered sludge; nutritional soil; garden

脱水污泥醇制园林营养土有助于三峡库区污水处理厂污泥规模化处置<sup>[1-3]</sup>。污泥发酵后作为园林营养土需要达到无害化、营养化、腐殖化的要求,而常规污泥发酵法难以实现。污泥好氧法升温快温度高而大肠菌群等杀灭效果好,但有机质矿化程度高,碱解

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07315-002-02)

收稿日期:2011-06-18; 修订日期:2011-10-11

作者简介:郭蔚华(1956-),男,副教授,主要从事水环境微生物等研究。E-mail: gwhchl@yahoo.com.cn

氮、有效磷及腐殖质含量低<sup>[4,5]</sup>;污泥厌氧法升温慢、温度低而大肠菌群等杀灭效果差,但有机质矿化程度低,碱解氮、有效磷及腐殖质含量相对高<sup>[6]</sup>。针对园林营养土的性质及好氧法、厌氧法的特点,提出好氧-厌氧交替法用于污泥醇制园林营养土解决其无害化、营养化、腐殖化的问题,但交替法有无效果、效果怎样、是否可行等,需要实验认知。目前,国内虽然也有污泥交替发酵的研究,但它是以通停气时间而非氧浓度变化控制好氧、厌氧过程<sup>[7]</sup>,作为有针对性的解决污泥醇制营养土的好氧-厌氧交替研究尚未见报道。为此,2010年5月至2011年1月,开展了脱水污泥醇制园林营养土的好氧、厌氧、交替法的对比实验。

本文通过桶装发酵装置,测试污泥发酵的温度、氧、氮、磷、钾、腐殖质、大肠菌群、蛔虫卵、电导率和pH等,分析污泥醇制营养土的好氧、厌氧、交替法的效果,确定好氧-厌氧交替法可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料设备

发酵装置见图1。

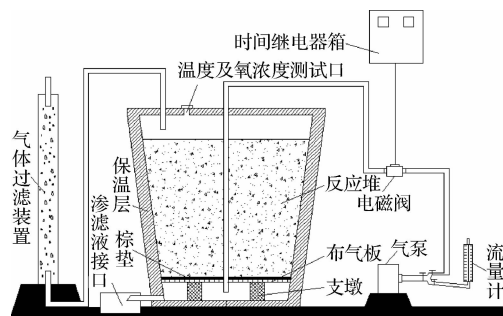


图1 发酵装置流程图

Fig.1 Schematic diagram of fermentation system

实验材料:污泥取自重庆李家沱污水厂脱水污泥;蘑菇渣和菌种土取自重庆园林绿化科学研究所污泥肥料厂。

实验设备:pH酸度计、EST温度计、电导率仪(DDS-11A)、数显酸度计(PHS-25)测氧仪(CY-12CB)、生化培养箱(LRH-250A)便携式船舱测氧报警仪(CY-12CB)、紫外可见分光光度计(DR5000)等。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 测试指标及方法

碱解氮:硫酸亚铁还原,硼酸吸收,扩散吸

收法<sup>[8,9]</sup>。

有效磷:双酸浸提,钼锑抗比色法<sup>[8,9]</sup>。

有效钾:乙酸铵提取,火焰原子分光光度计<sup>[8]</sup>。

腐殖质:氢氧化钠+焦磷酸钠浸提,重铬酸钾外加热法<sup>[8,9]</sup>。

总氮、总磷:浓硫酸-浓盐酸消解,常规水质检测法<sup>[10]</sup>。

温度:EST温度计。

有机质:重铬酸钾外加热法(CJ 221-2005)。

电导率(EC)、pH:污泥鲜样与蒸馏水按质量比1:10混合,振荡30 min后离心过滤,分别用DDS-11A数显电导仪、PHS-25型数显酸度计测试滤液的EC和pH。

大肠菌群:多管发酵法(CJ 221-2005)。

氧浓度:用CY-12CB型便携式船舱测氧报警仪测试。

蛔虫卵:水洗过滤沉淀-镜检法(CJ 221-2005)。

种子发芽率:污泥鲜样与蒸馏水按质量比1:10混合振荡2 h,浸提液在5 000 r/min离心20 min,上清液滤后待用;将滤纸置于干净无菌的9 cm培养皿中,上面整齐摆放10粒大白菜种子,吸取3 mL滤液于培养皿中,25℃培养24 h,同时用去离子水作空白对照。

#### 1.2.2 实验设计

好氧发酵:物料中气态氧浓度控制在5%~21%的发酵方法<sup>[11,12]</sup>。

厌氧发酵:物料中气态氧浓度小于5%的发酵方法<sup>[11,12]</sup>。

交替发酵:好氧、厌氧相间进行的组合发酵方法。

本次实验交替发酵实验设计:第1~7天(好氧),第8~10天(厌氧),第11~15天(好氧),第16~19天(厌氧),第20~23天(好氧),第25~28天(厌氧)。

实验共设好氧、交替、厌氧3个组,每组3个发酵装置。实验周期28 d,实验冬夏各1次。发酵料配比为污泥:菇渣:菌种土=1:1:1。混合后原料性质为有机质57.8%,含水率63.7%。通气方法:通气5 min,停气30 min,使污泥发酵氧浓度维持在5%以上,以确保微生物对氧的需求。采样方法:分上中下3层取样,自然风干后混匀,四分法取样500 g,每次交替各组采样1次。

## 2 结果与讨论

### 2.1 发酵温度与大肠菌群

发酵温度 50℃ 时,大肠菌群死亡率 80%,60℃ 时 1 d 死亡率 95%。好氧法:冬季酵温 16.5 ~ 52.2℃,50℃ 以上第 2 ~ 7 天出现;夏季酵温 30.2 ~ 62.5℃,60℃ 以上第 1 ~ 7 天出现。厌氧法:冬季酵温 16.5 ~ 29.5℃,夏季酵温 30.2 ~ 41.5℃。交替法:冬季酵温 16.5 ~ 54℃,50℃ 以上第 2 ~ 6 天出现;夏季酵温 30.2 ~ 64.5℃,60℃ 以上第 1 ~ 4 天出现。由于夏季环境温度高,发酵升温快升温高。好氧和交替法均可使污泥酵温达到 50℃ 以上。杀灭大肠菌群达标 (<100 个/g,CJ 221-2005) 时间,交替法和好氧法为 8 d (冬季) 和 3 d (夏季),厌氧法实验期间未能达标。

### 2.2 碱解氮变化

土壤碱解氮是短期内被植物吸收利用的氮素,包括无机态氮和比较简单的有机氮,是铵态氮、硝态氮、氨基酸、酰胺和易水解的蛋白质氮的总和<sup>[8,9]</sup>。碱解氮变化(图 2),3 种发酵法曲线走势相近,但平均碱解氮:厌氧法 0.859 g/kg > 交替法 0.856 g/kg > 好氧法 0.798 g/kg,交替法高出好氧法 7.4%,表明污泥发酵碱解氮损失交替法低于好氧法。

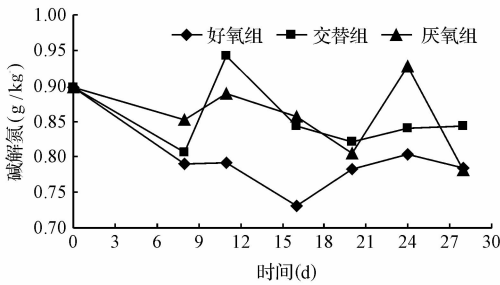


图 2 醇制中碱解氮的变化

Fig. 2 Variation of alkali-hydrolyzable nitrogen in fermentation process

### 2.3 有效磷变化

有效磷(可溶性无机磷和小分子有机磷)变化(图 3),3 种发酵法曲线变化一致,但 20 d 后交替法高于厌氧法和好氧法,其平均有效磷:交替法 1.852 g/kg > 好氧法 1.692 g/kg > 厌氧法 1.636 g/kg,交替法高出好氧法 9.4%,高出厌氧法 13.2%,表明交替法利于有效磷产生。

### 2.4 有效钾变化

有效钾变化(图 4),3 种发酵法曲线变化一致,

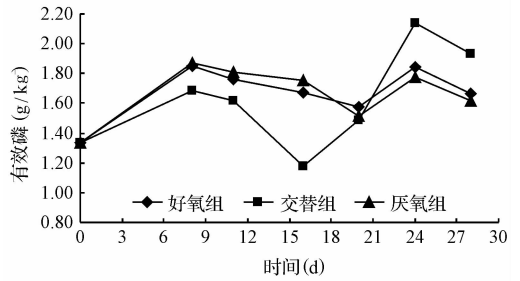


图 3 醇制中有效磷的变化

Fig. 3 Variation of available phosphorus in fermentation process

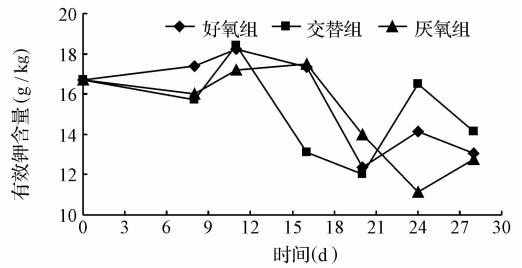


图 4 醇制中钾的变化

Fig. 4 Variation of available potassium in fermentation process

但 20 d 后平均有效钾:交替法 14.215 g/kg > 好氧法 13.187 g/kg > 厌氧法 11.945 g/kg,交替法高出好氧法 7.8%,高出厌氧法 19.0%,表明交替法利于有效钾产生。

### 2.5 腐殖质变化

腐殖质能改善土壤理化生等特性<sup>[13,14]</sup>,因此腐殖质是园林营养土的重要指标之一。腐殖质变化(图 5),20 d 后交替法高于厌氧法和好氧法,其平均腐殖质:交替法 10.510 g/kg > 厌氧法 9.398 g/kg > 好氧法 8.768 g/kg。分析认为,厌氧条件下腐殖质易形成,但有机质先好氧消化再厌氧处理比单纯厌氧更利于腐殖质的形成,因此实验中交替法高出好氧法 19.9%,高出厌氧法 11.8%,表明交替法可提高腐殖质含量。

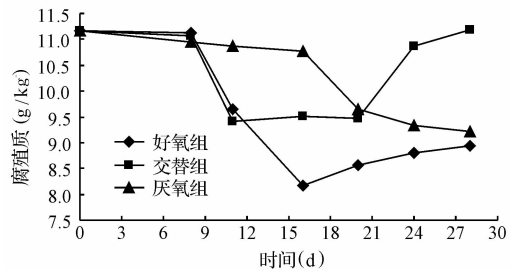


图 5 醇制中腐殖质的变化

Fig. 5 Variation of humus in fermentation process

## 2.6 发酵周期

图2~图4可知,好氧、厌氧、交替法的碱解氮、有效磷、有效钾、腐殖质在第25天时变化明显,发酵周期25 d为宜。

## 2.7 3种发酵法的综合评价

根据表1的测试结果建立多项指标评价体系(表2),对不同发酵法进行综合评价。综合评价分数:好氧法61、交替法89、厌氧法49,表明污泥醱制营养土交替法可行(CJ 248-2007)。

表1 实验前后污泥性质

Table 1 Characteristic of sludge before and after experiment

测试项	实验前	好氧法	厌氧法	交替法
大肠菌群(个/g)	2 000	80	未达标	50
种子发芽率(%)	80	100	90	100
蛔虫卵(个/g)	—	—	—	—
碱解氮(g/kg)	0.90	0.79	0.78	0.84
有效磷(g/kg)	1.93	1.72	2.26	2.37
有效钾(g/kg)	16.46	13.06	12.78	14.12
总氮(g/kg)	1.3	0.89	0.80	0.89
总磷(g/kg)	2.71	2.56	2.74	2.83
腐殖质(g/kg)	11.16	8.94	9.21	11.19
电导率(mS/cm)	1.87	2.34	2.04	1.77
有机质(%)	57.04	48.37	52.35	50.35
pH	7.57	7.72	7.78	7.79
含水率(%)	62.34	33.37	47.35	35.54
28 d 能耗(kW)	—	15.54	0	8.88

表2 发酵综合评价

Table 2 Comprehensive evaluation of fermentation

指标类型	评价指标	权重(%)	好氧法(28 d)	交替法(28 d)	厌氧法(28 d)
卫生指标(30%)	大肠杆菌	20	20	20	0
	种子发芽率	5	5	5	5
	蛔虫卵	5	5	5	5
营养指标(30%)	碱解氮	6	2	6	4
	有效磷	6	4	6	2
	有效钾	6	4	6	2
	总氮	6	6	6	2
	总磷	6	2	6	4
腐殖质指标(20%)	腐殖质	20	8	20	12
其他(20%)	电导率	3	1	2	3
	有机质	5	1	3	5
	pH	3	3	3	3
	含水率	3	3	2	1
	能耗	6	2	4	6
总分		100	66	94	54

注:卫生指标达标为权重满分,未达标零分;pH在7.5~8.5范围内,均为污泥发酵适宜pH值,为权重满分;其他指标按3个等级评分。

## 3 结论

(1)发酵温度50℃时,大肠菌群死亡率80%,60℃时1 d死亡率95%。好氧法和交替法均可使污泥醱温达到50℃以上。杀灭大肠菌群达标(<100个/g)时间,交替法和好氧法为8 d(冬季)和3 d(夏季),厌氧法实验期间未能达标。

(2)平均碱解氮:交替法高出好氧法7.4%;20 d后其平均有效磷:交替法高出好氧法9.4%,高出厌氧法13.2%;20 d后的平均有效钾:交替法高出好氧法7.8%,高出厌氧法19.0%;20 d后其平均腐殖质:交替法高出好氧法19.9%,高出厌氧法11.8%。表明交替法可提高碱解氮、有效磷、有效钾、腐殖质含量。

(3)实验第20天后碱解氮、有效磷、有效钾、腐殖质变化交叉,第25天时最大值,综合分析,交替法发酵周期为25天。

(4)根据3种发酵方法的测试结果及综合评价结果,交替法用于污泥醱制园林营养土可行,其最佳参数组合尚需进一步实验。

## 参考文献

- [1] 刘强,陈玲,黄游,等.施用污泥堆肥对土壤环境及高羊茅生长的影响.农业环境科学学报,2009,28(1):199-203  
Liu Qiang, Chen Ling, Huang You, et al. Effects of application of sewage sludge compost on soil environment and festuca arundinacea schreb. Journal of Agro-Environment Science, 2009,28(1):199-203(in Chinese)
- [2] 刘洪涛,郑国砥,陈同斌,等.污泥堆肥对草坪基质综合质量的影响.中国给水排水,2010,26(19):106-108  
Liu Hongtao, Zheng Guodi, Chen Tongbin, et al. Effect of sewage sludge compost on integrated quality of lawn substrate. China Water & Wastewater, 2010,26(19):106-108(in Chinese)
- [3] 丁武泉,包兵,吴丹.污泥园林绿化资源化利用研究进展.安徽农业科学,2007,35(29):9344-9345  
Ding Wuquan, Bao Bing, Wu Dan. Research progresses in resource utilization of sludge in landscaping. Journal of Anhui Agri. Sci., 2007,35(29):9344-9345(in Chinese)
- [4] 康军,张增强.堆肥在园林绿化中的应用研究.节能与环保,2009,(7):33-34  
Kang Jun, Zhang Zengqiang. Studies of sewage sludge compost apply in landscaping. Energy Conservation and Environmental Protection, 2009,(7):33-34(in Chinese)

- [5] 王硕, 鲍建国, 刘成林. 城市污泥特性研究与园林绿化利用前景分析. 环境科学与技术, **2010**, 33(6E):238-241  
Wang Shuo, Bao Jianguo, Liu Chenglin. The study on characteristics of municipal sewage sludge and analysis of the prospects for landscaping use. Environmental Science & Technology, **2010**, 33(6E):238-241 (in Chinese)
- [6] 崔晓阳, 方怀龙. 城市绿地土壤及其管理. 北京: 中国林业出版社, **2001**. 81-93
- [7] 周少奇, 林云琴, 李端. 造纸污泥交替式好氧厌氧堆肥实验. 中国造纸, **2005**, 24(6):25-28  
Zhou Shaoqi, Lin Yunqin, Li Duan. Experiment of alternative aerobic and anaerobic composting of pulp and paper mill sludge. China Pulp & Paper, **2005**, 24(6):25-28 (in Chinese)
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, **2000**. 150-151
- [9] 严昶升. 土壤肥力研究方法. 北京: 中国农业出版社, **1988**. 172-173
- [10] 陈大勇, 王里奥, 罗书鸾, 等. 城市污泥总氮、总磷消解测定方法. 重庆大学学报, **2010**, 33(3):99-102  
Chen Dayong, Wang Liao, Luo Shuluan, et al. A digesting measurement method of municipal sewage sludge's TN and TP. Journal of Chongqing University, **2010**, 33(3):99-102 (in Chinese)
- [11] 郑玉琪, 陈同斌, 高定, 等. 静态堆好氧堆肥堆体中氧气浓度和耗氧速率的垂直分布特征. 环境科学, **2004**, 25(2):134-139  
Zheng Yuqi, Chen Tongbin, Gao Ding, et al. Characteristics of vertical distribution of oxygen concentration and consumption rate in aerobic static composting. Environmental Science, **2004**, 25(2):134-139 (in Chinese)
- [12] 席北斗, 刘鸿亮, 孟伟, 等. 高效复合微生物菌群在垃圾堆肥中的应用. 环境科学, **2001**, 22(5):122-125  
Xi Beidou, Liu Hongliang, Meng Wei, et al. Composting process of municipal solid waste with high effective complex microbial community. Environmental Science, **2001**, 22(5):122-125 (in Chinese)
- [13] Heymann K., Mashayekhi H., Xing B. S. Spectroscopic analysis of sequentially extracted humic acid from compost. Spectroscopy Letters, **2005**, 38(3):293-302
- [14] 张晋京, 窦森, 李翠兰, 等. 土壤腐殖质分组研究. 土壤通报, **2004**, 35(6):706-709  
Zhang Jinjing, Dou Sen, Li Cuilan, et al. Studies on fractionation of soil humus. Chinese Journal of Soil Science, **2004**, 35(6):706-709 (in Chinese)