

## 规模化养猪场粪污综合处理的试验研究

高增月<sup>1</sup>, 杨仁全<sup>1</sup>, 程存仁<sup>1</sup>, 徐蓬军<sup>1</sup>, 付凤生<sup>2</sup>, 张凤荣<sup>3</sup>, 常云鹏<sup>3</sup>

(1. 北京市农业机械研究所, 北京 100096; 2. 北京市房山区畜牧水产中心, 北京 102488; 3. 北京市房山区环保局, 北京 102400)

**摘要:** 该文应用“厌氧发酵+延时曝气活性污泥法”处理工艺并辅以投加生物制剂等措施对猪场粪污进行处理。试验结果表明, 经过该工艺处理后, 猪粪中的蛔虫卵死亡率达到 99%, 大肠杆菌为零(未检出), 除有机碳外, 其余营养元素基本没有损失, 完全达到了《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB18596—2001)规定的畜禽养殖业废渣无害化环境标准要求; COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS 和 NH<sub>3</sub>-N 的去除率分别达到 96.7%、98.6%、99.5% 和 99.4% 的较高水平, 处理水达到了《污水综合排放标准》(GB8978—1996)的二级标准。

**关键词:** 养猪场; 污水; 厌氧发酵; 延时曝气活性污泥法

**中图分类号:** X713

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2006)02-0198-03

高增月, 杨仁全, 程存仁, 等. 规模化养猪场粪污综合处理的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 198-200.

Gao Zengyue, Yang Renquan, Cheng Cunren, et al. Test study on integrated treatment of manure and wastewater for large scale pig farm [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2): 198-200. (in Chinese with English abstract)

### 0 引言

猪场粪污的来源主要是猪尿、猪粪和冲洗猪舍的水。其排放量相对较小, 但水质有“三高”的特点, 即有机污染物浓度(COD<sub>Cr</sub>和 BOD<sub>5</sub>)、悬浮物(SS)及 NH<sub>3</sub>-N 浓度高<sup>[1]</sup>。猪场粪污经过沉淀和固液分离后的污水 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> 一般大于 0.5<sup>[2-5]</sup>, 属于较易进行生化处理<sup>[6]</sup>的有机废水, 同时含有足够的供微生物生长、繁殖的营养物质, 因此一般采用生化法处理。生化法处理是利用微生物对有机物和 NH<sub>3</sub>-N 进行分解, 从而达到降低污染物浓度、使污水得以净化的目的。

生化处理分为厌氧发酵和好氧处理两种方法。厌氧发酵是在厌氧条件下由多种厌氧微生物的共同作用, 使有机物分解并生成 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的过程; 好氧性处理是利用好氧微生物对有机物进行分解处理。与好氧性处理相比, 厌氧发酵法具有如下特点: 1) 不但能量需求大大降低, 而且还可产生作为能源使用的沼气; 2) 污泥产量极低; 3) 可对好氧性微生物不能降解的一些有机物进行降解(或部分降解)。但是, 经厌氧发酵处理后的污水中有机物浓度要高于好氧处理, 一般不能达到污水排放标准, 因此还需要进行进一步的好氧性处理<sup>[6]</sup>。而且, 厌氧发酵处理一般不能去除污水中的氮和磷等营养物质。含氮和磷的有机物通过厌氧发酵后除少量被细胞合成利用外, 绝大部分以氨氮和磷酸盐的形式随出水排出<sup>[8]</sup>。先用厌氧处理, 然后再用好氧处理是高浓度有机污水常用的处理方法<sup>[9]</sup>。雷英春等<sup>[10]</sup>通过对国内外规模化猪场粪污处理发展动态的研究, 得出结论: 控制猪场废水污染较经济合理的方法是以厌氧工艺为主, 辅以好氧、物理、化学处理的组合工艺系统。

中国的科技工作者对猪场粪污的处理进行了大量的研究。采用的典型处理工艺主要有: 厌氧-SBR 工艺<sup>[11-13]</sup>、水解-接触氧化或人工湿地工艺<sup>[14, 15]</sup>等等。

本研究在好氧处理阶段采用延时曝气活性污泥法。其优点是: 在处理过程中不但能够去除污水中的有机物, 而且还能分解那些转移到污泥中的有机物质, 剩余污泥少, 且易脱水<sup>[6]</sup>。

### 1 处理工艺和设施

#### 1.1 处理工艺

收稿日期: 2005-01-31 修订日期: 2005-09-30

作者简介: 高增月(1960-), 男, 高级工程师, 主要从事规模化养猪设备、畜禽场废弃物处理与利用。北京市海淀区建材城西路 87 号北京市农业机械研究所, 100096。Email: gzy@163.com

本试验研究采用如图 1 所示的工艺处理猪场粪污。

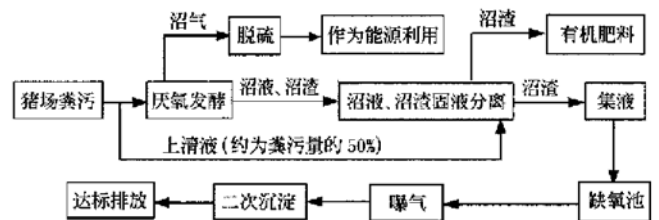


图 1 猪场粪污处理工艺流程图

Fig. 1 Technological flowchart of treating piggery manure and wastewater

粪污中 SS 浓度较高的部分(约为总量的 50%)进入厌氧发酵罐(升流式)厌氧发酵, 水力停留时间 7 d, 春、夏、秋三季自然温度发酵, 冬季利用产生的沼气加热发酵液使其温度保持在 34~36℃中温发酵水平。上清液直接进入固液分离池和厌氧发酵罐排出物一起进行固液分离, 采用地上固液分离池分离, 水力停留时间 1 d。粪污经过厌氧发酵后, BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> 很低, 可生化性变差<sup>[3]</sup>, 和没有经过厌氧发酵的上清液混合后可以显著改善其可生化性。

分离池内的沉淀物积存到一定数量后, 该池进入到晾晒阶段, 用另外的分离池进行固液分离, 几个池子依次交替使用。

经过厌氧发酵后的粪污已经充分腐熟, 可以作为有机肥料, 厌氧发酵产生的沼气经过脱硫后作为燃料使用。

分离后的污水进入缺氧池进行水解酸化处理, 水力停留时间 1 d。缺氧池在 DO ≤ 0.5 mg/L 条件下运行, 出水的 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> 将有所上升<sup>[6]</sup>, 从而进一步提高其可生化性。

经过水解酸化的污水进入到曝气池好氧处理, 用三叶罗茨鼓风机供气, 散流曝气器布气。采用延时曝气活性污泥法, 水力停留时间 21.6 h。

曝气池出水经过二次沉淀池沉淀后排放, 水力停留时间 12 h。沉淀的活性污泥 75% 回流到曝气池继续使用, 剩余污泥排放到固液分离池和固体粪便一起晾晒后作为有机肥料。

#### 1.2 处理量和主要设施设计参数

处理量: 60 m<sup>3</sup>/d; 厌氧发酵罐: 2 个, 每个有效容积 115 m<sup>3</sup>; 缺氧池: 有效容积 60 m<sup>3</sup>; 曝气池: 有效容积 54 m<sup>3</sup>; 二次沉淀池: 有效容积 30 m<sup>3</sup>。

#### 1.3 试验地点

北京市房山区某万头规模化养猪场。

#### 1.4 测试方法

COD<sub>Cr</sub>: 重铬酸钾法(GB11914—89), 采用 5B-6 型 COD 速测仪。

BOD<sub>5</sub>: 稀释与接种法(GB7488—87), 委托环保监测站测定。

NH<sub>3</sub>-N: 纳氏试剂光度法(GB7479—87), 采用 HI93733 型 NH<sub>3</sub> 浓度比色计。NH<sub>3</sub> 浓度乘以 0.776 即为污水的 NH<sub>3</sub>-N 浓度。

水温: 普通玻璃水银温度表。

pH: PH-HJ90B 型酸度计。

溶解氧: HI9142 型溶解氧测定仪

## 2 结果与分析

### 2.1 曝气池活性污泥的培养

污水“闷曝”(只曝气, 不排水进水) 4 d, 利用其中的有机物使污水中已有的好氧细菌大量地增长繁殖, 从第 5 d 起每天停止曝气 1.5~2.0 h, 使产生的活性污泥沉淀, 然后换水, 换水量 6 m<sup>3</sup>/d, 在第 7 d 在曝气池中观察到了活性污泥。换水量增加到 15 m<sup>3</sup>/d, 以后逐步增加换水量, 15 d 后池内的活性污泥浓度达到 10%, 此时开始连续进水试运行, 并进行活性污泥的回流。经过 28 d 的培养后活性污泥浓度达到 20%, 活性污泥培养成功开始满负荷试运行。根据猪场污水 NH<sub>3</sub>-N 浓度高的特点, 从第 24 d 开始投加富含硝化细菌的生物制剂, 每星期投加量为 5 g/m<sup>3</sup> (有效池容积), 分两次投加。

图 2~4 为活性污泥培养和试运行期间曝气池进出水的 COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N 和 pH 的变化曲线。

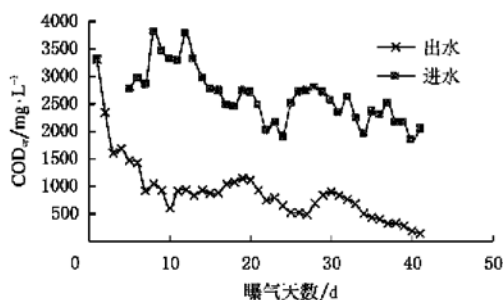


图 2 曝气池进出水 COD<sub>Cr</sub> 变化  
Fig. 2 COD<sub>Cr</sub> changes of influent and effluent water on aeration tank

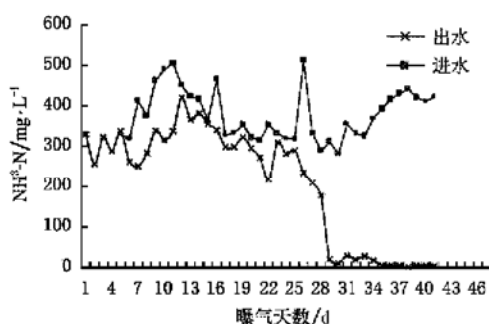


图 3 曝气池进出水 NH<sub>3</sub>-N 变化  
Fig. 3 NH<sub>3</sub>-N changes of influent and effluent water on aeration tank

从图 2 可见, “闷曝”和少量换水期间(第 1~3 d) COD<sub>Cr</sub> 下降很快(在“闷曝”期间直接从曝气池取水样经过沉淀后测定)。其原因是: ①通过曝气吹脱了污水中的挥发性有机物; ②换水量

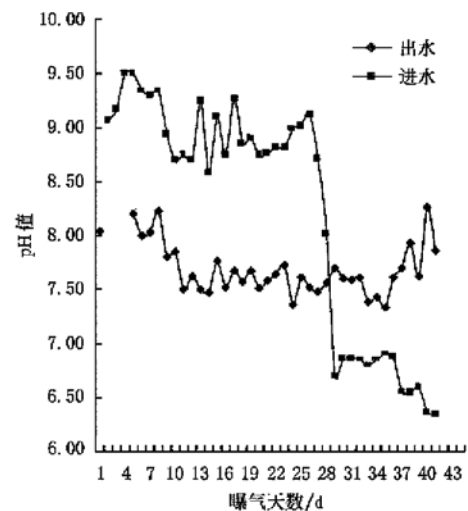


图 4 曝气池进出水 pH 值变化  
Fig. 4 pH value changes of influent and effluent water on aeration tank

少, 相对增加了生化反应时间。随后出水 COD<sub>Cr</sub> 变化不大, 去除量较少, 原因是此时活性污泥量少。经过一段时间的培养, 活性污泥浓度显著增加后, 出水 COD<sub>Cr</sub> 开始明显下降。投加硝化菌生物制剂后的一段时间(第 27~30 d) 出水 COD<sub>Cr</sub> 由下降转为上升。原因是随着硝化细菌的大量增殖, 降解有机物的异养型细菌的优势地位下降, 从而导致 COD<sub>Cr</sub> 去除率的降低。经过一段适应期后, 异养型细菌开始大量增长, 结果使得出水 COD<sub>Cr</sub> 明显下降。

由图 3 可见, 在投加富含硝化细菌的生物制剂前, NH<sub>3</sub>-N 的去除量很少。属于好氧自养型细菌的硝化细菌世代周期长, 生长速度慢<sup>[6]</sup>, 使得硝化反应速率很小。在投加了硝化细菌生物制剂后, 使硝化细菌数量增加很快, 从而加快了硝化反应的速率, 使得 NH<sub>3</sub>-N 快速下降。这说明在处理猪场污水这类高 NH<sub>3</sub>-N 浓度污水时, 投加一定量的硝化细菌生物制剂, 可以使 NH<sub>3</sub>-N 快速地被分解, 从而获得较好的处理效果。

从图 4 可知, 在运行初期阶段, 经过曝气后, 污水的 pH 升高, 其可能的原因是: ①吹脱了微生物代谢产生并溶解在水中的 CO<sub>2</sub> 和污水中的挥发性有机酸; ②硝化速率缓慢, 使得硝化反应产生的酸度不足以弥补流失的酸度。在投加硝化菌生物制剂后, pH 急速下降, 说明硝化反应速率急剧上升。与 pH 急剧下降段相对应的是出水的 NH<sub>3</sub>-N 明显降低。

为了使污水的 pH 保持在适宜硝化细菌生长繁殖的 7~8<sup>[7]</sup> 范围内, 投加生石灰作为 pH 调节剂。生石灰除了增加污水的碱度外, 还起到混凝的作用。

为了提高处理粪污的效果, 在活性污泥培养阶段结束后, 从第 45 d 开始除了每周两次投加硝化细菌生物制剂外, 还投加能够有效降解有机物的富含异养型细菌的生物制剂, 投加量和投加方式与硝化细菌生物制剂相同。

在运行期间, 除了投加生物制剂外, 还投加三氧化二铁粉, 投加量为 100 g/(m<sup>3</sup>·d)。铁是微生物生长的必要元素, 对细菌和酶的分泌有一定的促进作用; 水解后形成的氢氧化铁对悬浮物有很强的吸附聚凝作用<sup>[8]</sup>。铁的这些生物效应使活性污泥性能得到了提高和改善, 从而提高了处理水的水质。

### 2.3 沼渣和处理水成分测定结果

在厌氧发酵罐正常稳定运行后, 委托北京市农林科学院植物营养与资源研究所对排出的沼渣与鲜猪粪进行了成分和微生物检测, 分析结果如表 1 所示。

表1 沼渣和鲜猪粪分析结果

Table 1 Analytic results of biogas residue and fresh pig manure

序号	名称	测定项目					大肠杆菌 /个·g <sup>-1</sup>
		全氮 /%	全磷 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) /%	全钾 (K <sub>2</sub> O) /%	有机碳 /%	蛔虫卵 死亡率 /%	
1	鲜猪粪	2.41	5.72	0.96	24.1	75	1460
2	沼渣	2.41	8.70	0.58	17.8	99	未检出

从表1中可以看出与鲜猪粪相比,经过厌氧发酵罐发酵后,氮素没有损失,可能的原因是在密闭的发酵罐内发酵抑制了猪粪中的有机氮在分解过程中的挥发;有效磷的含量有所上升,可能是由于污水中的磷经过生化反应后沉积于猪粪中的缘故;有机碳的损失较多,这是由于在厌氧细菌的作用下部分有机碳生成了沼气(CH<sub>4</sub>)的缘故。

经过厌氧发酵罐发酵后,沼渣中的蛔虫卵死亡率达到99%,大肠杆菌为零(未检出),完全达到了《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB18596—2001)规定的畜禽养殖业废渣无害化环境标准要求,成为优质的有机肥料。

表2是在整个粪污处理设施稳定运行一段时期后的水质监测结果。

表2 水质监测结果

Table 2 Monitored results of wastewater quality

取样地点	监测项目			
	COD <sub>Cr</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	BOD <sub>5</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	SS /mg·L <sup>-1</sup>	NH <sub>3</sub> -N /mg·L <sup>-1</sup>
处理设施进口	4420	1880	4860	513
处理设施出口	139	27	24	3.05
去除率/%	96.7	98.6	99.5	99.4

从表2可以看出,COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS和NH<sub>3</sub>-N浓度分别为4420、1880、4860和513 mg/L的猪场粪污经过根据图1所示工艺流程建造的处理设施、并辅以投加生物制剂等措施处理后,COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS和NH<sub>3</sub>-N的去除率分别达到96.7%、98.6%、99.5%和99.4%的较高水平,处理水达到了《污水综合排放标准》(GB8978—1996)的二级标准。

### 3 结论

猪场粪污经过升流式厌氧发酵罐发酵和延时曝气活性污泥法并辅助以投加生物制剂等措施综合处理工艺处理后:

1) 猪粪中的蛔虫卵死亡率达到99%,大肠杆菌为零,达到

了《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB18596—2001)规定的畜禽养殖业废渣无害化环境标准要求;与鲜猪粪相比,除了有机碳有损失外,其余营养元素基本没有损失,可以作为充分腐熟的优质有机肥料使用。

2) 处理水可以达到《污水综合排放标准》(GB8978—1996)的二级标准。

### [参考文献]

- 郑俊,吴浩汀,程寒飞.曝气生物滤池污水处理新技术及工程实例[M].北京:化学工业出版社,2002:221.
- 汪嘉燮,等.用生物学及生态学方法建设可持续发展大规模集约化养猪的研究[J].养猪,1998,(2):32-34.
- 邓良伟,蔡昌达,陈铭铭,等.猪场废水厌氧消化液后处理技术及工程应用[J].农业工程学报,2002,18(3):92-94.
- 石东伟.杭州西子养殖场以沼气为纽带的能源—环境—生态工程建设[J].中国沼气,1998,16(4):36-38.
- 黎建华等.集约化养猪场废水厌氧综合处理工程[J].中国沼气,1995,13(3):24-25.
- 丁忠浩.有机废水处理技术及应用[M].北京:化学工业出版社,2002:138,152.
- 苏振环.现代养猪实用百科全书[M].北京:中国农业出版社,2004:282,284.
- 胡纪翠.废水厌氧生物处理理论与技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2003:16-17.
- 汪善锋,陈安国,汪海峰.规模化猪场粪污处理技术研究进展[J].家畜生态,2004,25(1):49-54.
- 雷英春,张克强,季民.国内外规模化猪场废水处理工艺技术新进展[J].城市环境与城市生态,2003,16(12):210-220.
- 杨朝晖,曾光明,陈信常,等.规模化猪场废水处理工艺的研究[J].环境工程,2002,20(6):19-21.
- 林伟华,蔡昌达.CSTR-SBR工艺在畜禽废水处理中的应用[J].环境工程,2003,21(3):13-15.
- 梁顺文,王伟,陈建湘,等.复合厌氧反应器—SBR工艺处理废渣废水[J].中国给水排水,2003,19(5):16-19.
- 程文,卢平,罗国维,等.养猪场废水处理工艺研究[J].环境污染与防治,2002,22(1):24-27.
- 王植三,李其谦,廖新佛,等.畜禽舍粪便污水及废气净化的研究[J].农业工程学报,1995,11(4):90-95.
- 孙锦宜.含氮废水处理技术与应用[M].北京:化学工业出版社,2003:193,165.
- 张自杰.废水处理理论与设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2003:346.
- 王绍文,罗志腾,钱雷.高浓度有机废水处理技术与工程应用[M].北京:化学工业出版社,2003:423.

## Test study on integrated treatment of manure and wastewater for large scale pig farm

Gao Zengyue<sup>1</sup>, Yang Renquan<sup>1</sup>, Cheng Cunren<sup>1</sup>, Xu Pengjun<sup>1</sup>,  
Fu Fengsheng<sup>2</sup>, Zhang Fengrong<sup>3</sup>, Chang Yunpeng<sup>3</sup>

(1. Beijing Agricultural Machinery Institute, Beijing 100096, China; 2. Beijing Fangshan Livestock and Aquatic Product Centre, Beijing 102488, China; 3. Beijing Fangshan Environmental Protection Agency, Beijing 102400, China)

**Abstract:** In the present paper, the anaerobic fermentation plus time delay aeration activated sludge method, together with the measure of putting in living beings was used to treat the manure and wastewater on large scale pig farm. The experimental results showed that by the treatment process, the death rate of helminthic was up to 99%, colon bacillus were not detected, the nutritional elements except for organic carbon were not lost. The manure treated reaches the environmental harmless standard requirement of scum in livestock and poultry breeding which is regulated in Discharge Standard of Pollutants for Livestock and Poultry Breeding (GB18596—2001). The removal ratios of COD<sub>Cr</sub>, BOD<sub>5</sub>, SS and NH<sub>3</sub>-N separately reached high levels of 96.7%, 98.6%, 99.5% and 99.4%. The treated wastewater can reach the II series standard of Integrated Wastewater Discharge Standard (GB8978—1996).

**Key words:** pig farm; wastewater; anaerobic fermentation; time delay aeration activated sludge method