

养猪场粪污水生物处理工艺技术研究

高茹英, 林 聪, 王平智, 李光泽, 彭英霞

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘 要:通过对粪污水进行分离、沉淀、曝气、生物滤池和添加微生物菌群有机物的降解对比试验, 优选出了一套工艺流程, 并在北京东广德猪场进行了工程实践。结果表明, 优选出的以生物滤池为主的好氧生物处理工艺降解效率高、设备投资少、运行费用低且管理方便。高速生物滤池的降解率可达 90% 以上, 整个污水处理系统有机物的降解率达到 93% ~ 97%。从系统运行水质监测结果来看, 在保证粪污水全面实现达标排放和猪粪(渣)无害化处理的前提下, 这种处理工艺将各个单一处理技术有机地结合起来, 形成一种综合处理与利用的系统工程, 达到经济、社会、生态效益的高度统一。

关键词:猪粪污水; 曝气; 微生物处理; 生物滤池

中图分类号: X703. 1 文献标识码: A 文章编号: 1672 – 2043(2004)03 – 0599 – 05

Techniques Using Biological Approach for Treatment of Swine Manure

GAO Ru-ying, LIN Cong, WANG Ping-zhi, LI Guang-ze, PENG Ying-xia

(College of water conservancy and civil engineering of China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: A new treatment system for disposal of swine wastewater is brought forward in accordance with the characteristics of swine manure – discharging way, the property of swine wastewater on intensive scaled swine farms. The results of our experiment showed: 1) According to the result of experiment set a sedimentation pond that adopt a method with nature proceeds to deposition to realize solid – liquid separation before treatment system on swine wastewater. 2) Foreign microorganism had no an obvious exaltation to removal rates of COD of wastewater, so we could share profits to use the microorganism in swine wastewater in treatment with swine wastewater. 3) Aeration could promote favorable oxygen microorganisms to decompose quickly organic compounds in swine wastewater, but the cost of running treatment system for swine wastewater was rather expensive, therefore we could supply super – speed biology filter pond with equipment for sending the breeze and add ample oxygen to fill the place of aeration device. 4) Establishment of an oxidized pond in the end of the system for treatment of swine wastewater could insure the swine wastewater reaching to state – standard and became “zero of discharge”. The project practice of swine wastewater treatment in Beijing Dongguangde pig breeding farm showed that the optimal treatment system with the biological filter pond that good oxygen living creature was main saving the project investment, operating expenses, simplifying management and increasing efficiency of removal rates of COD. The removal rates of COD were more 90% in efficiency biology filter pond and the whole removal rates of COD were 93% ~ 97% of the new system. The results of removal rates of COD indicated that the new system form a comprehensive systemic engineering of excrement treatment and utilization, and reaching to a high unity of economic, social and ecological benefits, on condition of guaranteeing the prerequisite that the discharged swine wastewater reaches the state standard and swine manure was non – pollution treated.

Keywords: swine wastewater; aeration; treatment with microorganisms; biological filter pond

近年来我国规模化养殖发展很快, 畜牧业已逐步由农村副业发展成为相对独立的产业, 但规模化养殖场污水的排放造成的环境污染问题也日渐突出, 特别

是近几年不断出现的畜禽疫情, 已严重影响到人类健康和社会稳定, 制约了畜禽业的发展。因此, 必须对养殖业粪污水进行处理和生态化综合利用, 彻底解决规模养殖场的污染问题。

目前, 养殖场粪污水的处理方法很多, 但大多数处理方法因投资大, 运行能耗大而不易推广。我国大部分的畜禽养殖场在农村或近郊, 经济基础薄弱, 畜

收稿日期: 2004 – 03 – 29

基金项目: 北京市科学技术委员会资助项目(953504900)

作者简介: 高茹英(1973—), 女, 工程师, 主要从事农业废气物处理与资源化利用研究。E – mail: gaory@cau.edu.cn

禽养殖污水的处理工程和技术必须是投资少、处理效果好,可以回收利用一部分资源,有一定的经济回报的处理方法。

1 养猪场污水的处理现状

我国规模化猪场大都采用水冲清粪和水泡粪清粪工艺,这 2 种清粪方式产生的粪污水排放量较大。目前,一部分养猪场在清粪工艺上进行了改造,改水冲清粪和水泡粪清粪工艺为干清粪工艺,减少了一部分污水量,但没有从根本上解决污染的问题,仍需要有一种先进、可靠、有效的处理技术。多数养猪场粪污水的处理主要采用 2 种生物方法,即好氧生物处理法和厌氧生物处理法,2 种方法都取得了很好的效果。这 2 种生态处理方式根据清粪工艺和最终处理结果要求可相互补充、利用,以达最佳处理效果。

厌氧生物技术以其处理效果好,及其附加产品—沼气可解决部分能源问题,工程中沼渣、沼液的综合利用已取得一定的经济效益,成为生态农业中的一个重要部分,被应用于猪场粪污水处理工程中。对于采用干清粪工艺的养猪场,粪污水中的有机物浓度已大大降低,则用好氧为主的生物处理方法可解决污水处理后的农田灌溉问题,已成为倍受关注的处理方式。

猪粪污水具有很好的沉淀性,这有利于实现粪污水的固液前分离,分离后的固体部分经过堆沤后生产固体有机肥。液体部分处理后进行排放或灌溉。猪粪污水利用自然沉淀进行前期固液分离,减少粪污水的后期处理难度和运行费用,对推动粪污水的处理有很重要的意义。本文通过实验室的相关工作进行了好氧生物处理工艺的研究,并在相关规模猪场进行了实施示范。

2 猪粪污水处理方法的优化试验

试验粪污水取自北京市东广德猪场,对粪污水进行了分离、沉淀、曝气、生物滤池和添加不同微生物菌的有机物降解对比试验,并进行了处理单元的优化集成。

2.1 猪粪污水及菌种的特征

猪粪污水经过初步沉降后,取粪污水上清液进行多次测定,得粪污水的基本情况,见表 1。

表 1 粪污水的基本特征

Table 1 Basic characteristics of swine wastewater

COD _{Cr} /mg · L ⁻¹	BOD ₅ /mg · L ⁻¹	SS/mg · L ⁻¹	pH 值
9 870 ~ 15 000	5 000 ~ 7 000	10 000 ~ 120 000	6.8 ~ 7.5

微生物菌群初选 2 种,分别添加在粪污水中,分析比较不同微生物菌群对猪粪污水处理工艺的影响。

2 种微生物菌群为:

I. 微好氧复合微生物菌群(本室保留); II. EM 菌(外购)。

2.2 试验装置

生物滤池采用边长为 130 mm,高为 950 mm 的方柱,内装自行研制的比表面积为 220 m² · m⁻³ 半软性塑料滤料,填料高度 800 mm,有效体积 7 L,均匀布水。粪污水用微型水泵提升至布水装置均匀流经滤料时,被附着生长在其上的生物膜在有溶解氧的参与下氧化、分解,处理后的水由滤池底部排出。水力停留时间(HRT)为 24 h,回流系数为 8。

好氧曝气采用 ACO-008B 型高级强力增氧气泵。

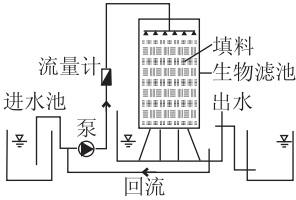


图 1 试验装置

Figure 1 The equipment of the experiment of swine wastewater

2.3 试验数据及分析

2.3.1 曝气条件下加入复合微生物菌群对粪污水中有机物降解率的影响

粪污水中含有多种微生物菌群,并且相当一部分属好氧菌。本试验把培养、驯化的强势菌群加入猪粪污水中,通过对比试验,分析曝气条件下添加外来菌群对有机物的降解率的影响,见表 2。

由表 2 可见:(1)粪污水曝气 24 h 后,有无添加外来菌群有机物降解率差别不大,加入菌群的粪污水有机物降解率达 64% ~ 81%,未加入菌群的粪污水有机物降解率达 63% ~ 79%,这说明猪粪污水不必要加入菌群,完全可利用粪污水中原有的菌群。

(2)未加入菌群的粪污水在相对浓度较高(6 238.5 mg · L⁻¹ 以上)时,降解率大都在 70% 以上,而在低浓度时,降解率下降,说明高浓度时补充氧气可提高降解率;加入菌群后,降解率并无规律性,说明它与菌群在粪污水中的适应过程和时间有关。

2.3.2 加入 2‰EM 菌条件下曝气对粪污水有机物降解率的影响

表 2 曝气条件下添加复合微生物菌群 COD_{Cr} 降解率的变化

Table 2 Variation of removal rates of COD after treatment with aeration at different concentrations of composite microorganisms

粪污水	未加复合微生物菌群		添加复合微生物菌群	
	COD/mg · L ⁻¹	降解率/%	COD/mg · L ⁻¹	降解率/%
4 642. 2	1 724. 8	63	899. 1	81
4 652. 2	1 055	77	1 119. 3	76
5 047. 2	1 688. 1	67	1 504. 6	70
5 669. 7	2 091. 7	63	1 266. 1	78
6 238. 5	1 330. 3	79	1 385. 3	78
6 926. 4	1 724. 8	75	2 678. 9	70
8 666. 1	1 908. 2	78	2 568. 8	70
8 921	2 147. 7	76	3 229	64
10 040. 6	2 306. 4	77	1 942. 3	81
13 466. 3	3 017. 6	78	2 523. 6	81

据报道由光合细菌、放线菌、酵母菌、乳酸菌等聚集在一起的有效微生物菌群 EM(effective microorganisms)可净化处理污水,本试验将 2‰浓度的 EM 菌投入到粪污水中 24 h 后,观察其在不同的氧环境条件下对有机物的降解率的影响,结果见表 3。

表 3 加入 2‰EM 菌后不同曝气条件下 COD_{Cr} 降解率的变化

Table 3 Variation of removal rates of COD after treatment with 2‰ EM efficiency microorganisms at different aeration stages

粪污水	2‰EM 菌		曝气 + 2‰EM 菌	
	COD/mg · L ⁻¹	降解率/%	COD/mg · L ⁻¹	降解率/%
1 067. 9	624	42	495. 4	54
917. 4	356	61	282. 6	69
697	240. 4	65	202	71
697	238	66	191	73
325	112. 3	65	77	76

由表 3 可见:(1)加入浓度为 2‰EM 菌的有机物降解率在 42% ~ 66% 之间,在曝气情况下加入浓度为 2‰EM 菌有机物降解率在 54% ~ 76% 之间。明显看出,在加入浓度为 2‰的 EM 菌情况下曝气的有机物降解率高于未曝气的降解率,证明曝气能加快好氧菌群分解粪污水中有机物的速度。

(2)从表 2、表 3 看出,加入 EM 菌的有机物降解率略低于加入复合微生物菌群的降解率,分析原因可能是在有机物浓度相对较低的情况下,粪污水的悬浮颗粒已大大降低,易生化降解部分相对减少,粪污水的可生化性下降。

2.3.3 曝气条件下加入不同浓度 EM 菌对有机物降解率的影响

为了分析微生物菌群总数对降解率的影响,在曝气情况下分别采用添加不同浓度的 EM 菌,观察比较有机物的降解率的变化情况,结果见表 4。

由表 4 可见:(1)加入浓度为 2‰EM 菌的粪污水有机物的降解率在 36% ~ 65% 之间,加入浓度为 3‰EM 菌的粪污水有机物的降解率在 36% ~ 66% 之间。2 种 EM 菌浓度下的降解率几乎没有区别,说明增加微生物菌群总数对降解率的影响不大。

(2)在浓度较低时,有机物的降解率低于高浓度时的降解率,2 次试验均证实了这一点。

表 4 曝气条件下加入不同浓度 EM 菌后 COD_{Cr} 降解率的变化

Table 4 Variation of removal rates of COD after treatment with aeration at different concentrations of the EM efficiency microorganisms

粪污水	曝气 + 2‰EM 菌		曝气 + 3‰EM 菌	
	COD/mg · L ⁻¹	降解率/%	COD/mg · L ⁻¹	降解率/%
486. 2	168	36	165	36
598. 2	280. 7	56	310. 1	59
377. 3	166. 9	38	156	27
384. 4	239	45	281	36
429. 3	234	65	275	66
253. 8	163. 3	53	161. 47	48

2.3.4 生物滤池有机物的降解率

采用生物膜法代替曝气进行粪污水的好氧生物处理,在高速生物滤池中,选择比表面积大,易挂膜,防堵塞,寿命长的半软性滤料,在生物滤池的工作过程中,多种微生物附着在滤料上形成一个生物膜,而生物膜的成膜时间和膜的成熟脱落时间与粪污水中有机物浓度和环境温度有关。因此,在不同的环境温度条件下,对不同浓度的粪污水进行了生物滤池有机物降解试验,结果见表 5、表 6,表明粪污水经过了高速生物滤池净化,取得了很好的效果。

从表 5、6 中可以看出:(1)当温度在 20 ℃ ~ 25 ℃,有机物的浓度在 875. 2 ~ 10 040. 6 mg · L⁻¹ 时,降解率为 52% ~ 89%;当温度在 32 ℃ ~ 39 ℃,有机物的浓度在 467. 9 ~ 1761. 5 mg · L⁻¹ 时,降解率为 55% ~ 91%。

表 5 温度在 20 ℃ ~ 25 ℃ 时生物滤池中 COD_{Cr} 的降解率

Table 5 The removal rates of COD in the biological filter pond in the condition of the temperature of 20 ℃ ~ 25 ℃

进水 COD	出水 COD	降解率	进水 COD	出水 COD	降解率
/mg · L ⁻¹	/mg · L ⁻¹	/%	/mg · L ⁻¹	/mg · L ⁻¹	/%
875. 2	422	52	2 110. 1	654. 1	69
1 082. 6	422. 1	61	4 183. 5	1 137. 6	73
1 145	394	66	6 311. 9	1 871. 6	70
1 275. 2	515. 6	60	6 926. 4	1 357. 8	80
1 311. 9	223. 8	83	7 522. 9	1 342. 3	82
1 445. 0	303. 5	79	8 054	885. 9	89
1 513. 8	282. 6	81	9 247. 7	1 757. 1	81
1 669. 7	183. 7	89	10 040. 6	2 018. 4	80

表 6 温度在 30℃~39℃ 时生物滤池中 COD_{Cr} 的降解率

Table 6 The removal rates of COD in the biological filter pond in the condition of the temperature of 30℃~39℃

进水 COD /mg·L ⁻¹	出水 COD /mg·L ⁻¹	降解率 /%	进水 COD /mg·L ⁻¹	出水 COD /mg·L ⁻¹	降解率 /%
467.9	187.2	60	1 394.5	218	84
495.4	194.5	61	1 429.4	231.2	84
546.8	174.3	68	1 434.8	302.7	79
883	234.9	73	1 489.3	209.2	86
939.4	152.3	84	1 495.4	247.7	83
1 009.2	456.9	55	1 513.8	282.6	81
1 266	227	82	1 550.5	264.2	83
1 311.9	223.8	83	1 761.5	158.5	91

(2)当温度升高时,其降解率略有上升,这说明温度升高,有利于微生物的代谢与繁殖。

(3)采用生物滤池的有机物降解率大于采用曝气、或加菌曝气的有机物降解率,这种好氧生物滤池处理方法对有机物的降解有很好的效果,因此好氧生物滤池为优选的处理方法。

2.3.5 二沉池的粪污水处理情况

二沉池进水为污水处理终端,为排除可能由滤池中生物膜脱落的悬浮物所设,从实验室试验数据看二沉池的降解率很低,大约在 9%~15% 之间,见表 7,而且滤池生物膜脱落很少,考虑到投资及运行费用,用生物氧化塘替换二沉池,处理后的粪污水在氧化塘中得到进一步降解,最终用于农田灌溉。这样既做到了水资源的重复利用,又实现粪污水处理过程中的“零排放”。

表 7 二沉池中有有机物的降解率

Table 7 The removal rates of COD in the second sedimentation pond

进水 COD/mg·L ⁻¹	出水 COD/mg·L ⁻¹	降解率/%
885.9	751.7	15
1 247.7	1 132.5	9
1 357.8	1 174.3	13.5
1 825.6	1 651.4	9.5
2 013.5	1 779.8	12
2 018.4	1 798.7	11

3 优化工艺流程的工程实践

通过对粪污水进行分离、沉淀、曝气、生物滤池等处理方法的对比试验得出:粪污水中存在大量的各种各样的菌种,可以充分利用其生物特性达到优化处理,不需要另加外来菌种;通过对曝气和生物滤池 2 种好氧生物处理技术比较,优选出降解效率高、设备投资少和运行费用低、管理方便的生物滤池为主的粪污水处理工艺,并在北京市东广德猪场进行了工程实

践,见图 2。北京市东广德猪场位于北京市大兴区,全场占地约有 10 000 m²,饲养猪 5 000 头的规模,采用水冲清粪工艺,每日排污量为 100~120 t。猪场南边有 46 670 m² 的鱼塘。未处理前的大量粪污水直接排入凉水河,给周围环境和凉水河流域造成了极大的污染。

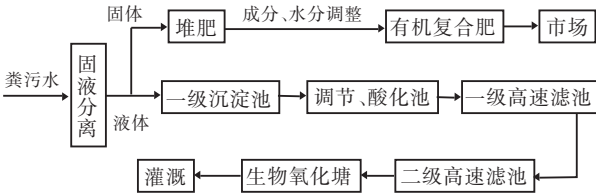


图 2 东广德猪场粪污水处理工艺

Figure 2 The process of swine wastewater treatment in Dongguangde Pig Farm

针对猪粪污水高浓度、高悬浮物、沉淀性能好等特点,首先对污水进行固液分离,将高浓度的固体有机物分离出来,降低液体部分的 BOD、COD 的含量,减轻了粪污水的处理难度,降低了处理成本,缩短了处理时间。

固液分离分别采用 2 种方式进行,一是利用螺旋式挤压机,二是采用自然沉淀。通过对固液分离结果分析比较得出,采用螺旋挤压分离后的粪污水中有机物质浓度较高,增加了液体部分的处理难度,而固体部分因营养物质不够,而不利于堆肥处理的肥效。自然沉淀主要利用粪污水的沉淀分层特性,在集粪池中静沉 4~5 h 后,取上清液进行污水处理,沉淀在底部的固体部分经过调整水分、添加肥料成分,进行堆肥处理。液体部分通过一个调节、酸化池和两个串联的高速生物滤池进行厌氧+好氧生物处理,根据运行情况对生物滤池进行强制通风,处理后的污水排入生物氧化塘进一步降解并蓄存,进行农田灌溉。

4 系统运行水质监测数据

系统正常运行后,对各处理单元进行了水质监测,得各处理单元有机物的降解率,见表 8。

从系统运行水质监测结果得知:粪污水通过一级沉淀池的 COD 降解率为 71%~93.4%;调节池中 COD 降解率为 51%~81.3%;二级高速滤池中的降解率为 63%~91%。

从表 8 中可以看出,采用螺旋挤压进行固液分离的粪污水浓度均在 14 000 mg·L⁻¹ 左右,仍需要再经过沉淀后取其上清液进行处理,完全可用增加沉淀池

表 8 系统运行水质监测(系统中未加入外来菌群)

Table 8 Water quality for monitoring during the system operation

监测时间	固液分离后 /mg·L ⁻¹	一级沉淀池		调节池		二级高速滤池		氧化塘
		COD/mg·L ⁻¹	降解率/%	COD/mg·L ⁻¹	降解率/%	COD/mg·L ⁻¹	降解率/%	
02 年 4 月 15	13852	3 521	74. 6	657	81. 3	232	64. 7	—
02 年 4 月 22	14697	4 234	71. 2	2 073	51	269. 7	87	—
02 年 5 月 3	—	4 160	—	1 983	52. 3	178	91	103
02 年 5 月 7	—	3 895	—	1 562	59. 9	152	90	138
02 年 5 月 20	—	2 873	—	1 389	51. 7	127	91	86. 3
02 年 8 月 16	14275	936	93. 4	354	62	97. 1	72. 6	77
02 年 8 月 19	—	974	—	281	71	82. 3	70. 7	—
02 年 8 月 23	—	970	—	253	74	93. 3	63	—

替代分离机。粪污水经过一级沉淀池、调节池、二级高速生物滤池总的降解率为 93. 0% ~ 97. 0%。从以上数据看来, 整个处理系统运行稳定, 滤池出水的 COD 浓度最低达 77 mg·L⁻¹, 水质达到了国家的三级排放标准。

5 结论

- (1)增设前处理的沉淀池,用自然沉淀法对猪粪污水首先进行固液分离,降低液体部分的处理难度;
- (2)添加外来菌群对粪污水有机物降解率没有明显提高,为减轻粪污水处理成本,可充分利用粪污水中原有菌群;
- (3)曝气法能加快好氧菌群分解粪污水中有机物的速度,但运行成本较高,则可在采用高速生物滤池工艺时,增加送风装置,补充充足的供氧量;
- (4)结合以生物滤池为主的好氧生物处理工艺,因地制宜地增设氧化塘,确保污水实现“零排放”;
- (5)该工艺有机物降解率最高可达 97% ,处理效果十分明显。该处理技术具有效率高、运行费用低、管

理方便等特点,比较适合目前我国养殖场的生产现状要求。特别是清粪工艺进行改造后的猪场,该粪污水的处理技术更具有明显优势。

该处理工艺是具有中国特色的农业环保工程技术,具有生态、节水、污水回用等综合效能。将水、肥、环保、生态有机地结合起来,形成一种综合处理与利用的系统工程,对养殖业的畜禽粪便进行了全方位、多层次、多功能的开发利用,达到了经济、社会、生态效益的高度统一。

参考文献:

[1] 林 聪,等. 养殖场粪污处理与综合利用技术研究[J]. 农业工程学报,2001,11(增刊):142-145.
[2] 鲁聪达,等. 畜禽废物的无害化资源化处理技术[J]. 浙江工业大学学报,2003,(2):192-196.
[3] 姚向君,等. 畜禽养殖场能源环保工程的发展及其商业化运作模式的探讨[J]. 农业工程学报,2002,(1):181-184.
[4] 李长生. 集约化猪场粪污处理工艺的研究[J]. 农业工程学报,2001,11(增刊):139-141.