

张进,余志耀,陆佳伟,等.标准户用沼气池和红泥沼气袋处理养猪废水对比研究[J].江苏农业科学,2013,41(9):368-371.

# 标准户用沼气池和红泥沼气袋处理养猪废水对比研究

张进,余志耀,陆佳伟,赖超,许海鹏,葛少晨,单胜道,骆林平

(浙江农林大学环境与资源学院,浙江杭州 311300)

**摘要:**以养猪粪尿为厌氧发酵原料,研究了标准户用沼气池和红泥沼气袋进出水 COD、TN、NH<sub>3</sub>-N、TP 浓度和 pH 值变化及进水 COD 浓度与产气的关系。结果表明:浙江省临安地区 12 月初之前,标准户用沼气池和红泥沼气袋对养猪废水 TN、NH<sub>3</sub>-N、TP、COD 去除效率基本相当,随后二者对各指标的去除率均出现下降,但红泥沼气袋降低更加显著。二者出水 pH 值没有明显差异。增加进水 COD 浓度可以提高产气量,但红泥沼气袋厌氧发酵产气受气温影响更加显著。

**关键词:**厌氧发酵;养猪废水;COD;氮;磷;温度;产气

**中图分类号:** S216.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)09-0368-03

2007 年,我国规模化畜禽养殖业粪便产量 2.43 亿 t,尿液产量 1.63 亿 t,化学需氧量(COD)排放量达 1 268.26 万 t,总氮(TN)102.48 万 t,总磷(TP)16.04 万 t,铜 2 397.23 t,锌 4 756.94 t。畜禽养殖污染物排放总量大约是农村生活污染物排放总量的 1.5 倍,位居全国重点污染排放领域之首,严重影响村镇人居环境和人体健康<sup>[1-3]</sup>。畜禽养殖业发展所造成的环境污染问题已经引起各级政府的高度重视,开展规模化畜禽养殖污染减排也已纳入国家“十二五”重点规划<sup>[4]</sup>。浙江省是畜禽养殖大省,2006 年浙江省畜禽养殖污水排放总量已达 8 700 万 t,其中铵氮(NH<sub>3</sub>-N)、TP、TN 排放量分别为 1.9 万、2.2 万、3.7 万 t,COD 排放量约 20 万 t<sup>[5]</sup>。随着畜禽粪便排放量的大增,畜禽粪便作为农业肥料的比例大幅下降,而且大部分粪便未经过无害化处理,据调查,全国 90% 的规模化养殖场缺乏必要的污染治理设施,养殖小区和养殖专业户对畜禽粪便的处置重视程度更低<sup>[6-7]</sup>。沼气工程技术在规模化畜禽养殖场排泄物生态化、减量化处理和能源化、资源化利用中发挥核心作用,是我国处理畜禽养殖废水的主要工艺<sup>[8-10]</sup>。我国很多省区均要求所有的规模化畜禽养殖场必须配有养殖废物的沼气发酵处理设施。根据沼气工程远景规划,到 2020 年,我国适宜农户沼气普及率有望达到 70%<sup>[8]</sup>。笔者对比了浙西北标准户用沼气池和红泥沼气袋 2 种不同类型的厌氧发酵沼气池对养猪废水的处理,考察 COD、pH 值、TN、NH<sub>3</sub>-N 和 TP 含量随时间的变化规律,并监测了进水 COD 与产气的关系,以期为该地区中小养猪户配备沼气发酵处理设施提供参考。

收稿日期:2013-03-12

基金项目:浙江省科技计划优先主题重大农业项目(编号:2010C12001);浙江省环保科研计划项目(编号:2011B21);浙江省科技计划公益技术研究社会发展项目(编号:2012C23058)。

作者简介:张进(1979—),男,山东兖州人,博士,副教授,主要从事污染土壤碳氮循环与植物营养、农业废弃物资源化研究。

E-mail: jzhang@zafu.edu.cn。

通信作者,单胜道,博士,教授,主要从事循环经济与环境科学研究。

E-mail: shanshd@vip.sina.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 厌氧发酵沼气池

标准户用沼气池为符合 GB/T 4750—2002《户用沼气池标准图集》的圆筒形沼气池(8 m<sup>3</sup>);红泥沼气袋(福建思嘉公司)为方形户用密闭发酵袋(8 m<sup>3</sup>)。2 种厌氧发酵沼气池均为 2011 年 8 月新建。

### 1.2 试验地点与采样时间

试验在浙江省临安市玲珑街道上山头村一养殖户家进行。厌氧发酵沼气池发酵原料主要成分为养殖户养猪废水,少量为秸秆和青草(猪圈垫料)。试验时间为 2011 年 10 月至 2012 年 1 月,分别于 10-30、11-15、12-01、12-15、12-30、01-15 取样。收集厌氧发酵池进出水水样,测定 pH 值及 COD、TN、NH<sub>3</sub>-N、TP 含量。

### 1.3 试验方法

用 PHS-3C 便携式 pH 计(上海虹益仪器仪表有限公司)测定水样 pH 值,用重铬酸钾法测定 COD,用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定 TN、TP,用纳氏试剂比色法测定 NH<sub>3</sub>-N<sup>[11]</sup>。

### 1.4 数据分析

每个水样各指标平行测定 3 次,取平均值。采用 origin 8.5 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 2 种不同类型厌氧发酵池处理养猪废水 pH 值的变化

由表 1 可见,2011 年 10 月和 11 月,户用沼气池采集的进出水样 pH 值变化不大,12 月水样 pH 值开始缓慢上升。整个检测时间段出水 pH 值普遍高于进水。红泥沼气袋 pH 值变化趋势与沼气池类似。采样期间水样 pH 值逐渐升高可能是因为低温导致产酸产甲烷菌活性降低。另外,随着气温降低,进入沼气池的粪水由稀变浓(天气炎热时,需要用清水冲圈,冬天需要用秸秆干草等垫圈)也会导致 pH 值升高。2 个沼气池出水 pH 值普遍高于进水,这可能是由于产甲烷菌利用产酸菌所分解转化的甲酸、乙酸、氢和二氧化碳小分子化合物等生成甲烷,降低了滤液的酸性。

表 1 标准户用沼气池和红泥沼气袋处理养猪废水 pH 值变化

处理	进出水	pH 值					
		10 - 30	11 - 15	12 - 01	12 - 15	12 - 30	01 - 15
户用沼气池	进水	6.9	7.0	7.4	7.8	8.0	8.3
	出水	7.8	7.8	8.1	8.4	8.8	9.1
红泥沼气袋	进水	7.4	7.6	7.9	8.0	8.4	8.8
	出水	7.4	7.8	8.0	8.2	8.7	9.0

2.2 2 种不同类型厌氧发酵池处理养猪废水氮磷的变化

2.2.1 TN 浓度变化 由表 2 可知,10 月份 2 种沼气池进料口水样 TN 浓度均在 200 mg/L 左右,出料口在 100 mg/L 左右。2 沼气池进出料口水样 TN 浓度平稳上升,12 月后上升幅度较大。10 月红泥沼气袋对养猪废水 TN 的去除率为 48.2%,略高于标准户用沼气池(45.4%)。11 月到 12 月上旬,2 种沼气池对 TN 的去除率基本一致。12 月中旬过后,户

用沼气池对养猪废水 TN 的去除率从 44.2%降到 33.3%,红泥沼气袋对 TN 的去除率从 44.3%降到 25.8%。可见在同一个温度阈值(7℃,12-15 测定)之上,2 种沼气池对养猪废水 TN 的去除率基本没有差异,随着温度继续降低,2 种沼气池的厌氧发酵产气能力受到影响,对 TN 的去除率出现不同程度下降。低温条件下标准户用沼气池对 TN 的处理能力优于红泥沼气袋。

表 2 标准户用沼气池和红泥沼气袋处理养猪废水 TN 浓度变化

处理	进出水	TN 浓度(mg/L)					
		10 - 30	11 - 15	12 - 01	12 - 15	12 - 30	01 - 15
户用沼气池	进水	191.0	230.5	271.3	542.5	566.3	543.8
	出水	104.3	127.8	151.4	307.8	345.5	362.8
	去除率(%)	45.4	44.6	44.2	43.3	39.0	33.3
红泥沼气袋	进水	197.8	232.4	285.6	487.5	521.6	510.2
	出水	102.4	126.6	159.2	289.7	355.0	378.6
	去除率(%)	48.2	45.5	44.3	40.6	32.0	25.8

2.2.2 NH<sub>3</sub>-N 浓度变化 由表 3 可见,2 种沼气池进出水 NH<sub>3</sub>-N 浓度变化趋势与 TN 类似。2011 年 10 月第 1 次取样,标准户用沼气池的进水水样 NH<sub>3</sub>-N 浓度为 75.0 mg/L,出水水样 NH<sub>3</sub>-N 浓度为 17.1 mg/L,去除率为 77.2%。标准户用沼气池对养猪废水 NH<sub>3</sub>-N 的去除率持续降低,2012 年 1 月,进水水样 NH<sub>3</sub>-N 浓度升至 256.3 mg/L,出水升至 134.3 mg/L。红泥沼气袋第 1 次取样时进出水水样 NH<sub>3</sub>-N 浓度分别为 95.6、20.2 mg/L,去除率略高于标准户用沼气

池。随后红泥沼气袋对养猪废水中 NH<sub>3</sub>-N 的去除率持续下降,2012 年 1 月取样时,进出水水样 NH<sub>3</sub>-N 浓度分别为 248.2、174.2 mg/L,对 NH<sub>3</sub>-N 的去除率显著低于同期标准户用沼气池。10 月到 12 月初,2 种沼气池对养猪废水 NH<sub>3</sub>-N 的去除率基本保持一致,均高于 70%,表明 2 种沼气池对 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果良好。12 月末起,受气温下降影响,红泥沼气袋的去除效率骤降至 30% 左右;标准户用沼气池的去除率虽有下降,但仍然基本保持在 50% 左右。

表 3 标准户用沼气池和红泥沼气袋处理养猪废水 NH<sub>3</sub>-N 浓度变化

处理	进出水	NH <sub>3</sub> -N 浓度(mg/L)					
		10 - 30	11 - 15	12 - 01	12 - 15	12 - 30	01 - 15
户用沼气池	进水	75.0	126.8	187.4	209.8	249.8	256.3
	出水	17.1	31.8	51.2	68.2	112.5	134.3
	去除率(%)	77.2	75.0	72.7	67.5	55.0	47.6
红泥沼气袋	进水	95.6	132.1	193.7	240.7	233.0	248.2
	出水	20.2	34.6	55.0	90.6	140.2	174.2
	去除率(%)	78.9	73.8	71.6	62.4	39.8	29.8

2.2.3 TP 浓度变化 由表 4 可知,2011 年 10 月第 1 次取样,标准户用沼气池的进水水样 TP 浓度为 3.9 mg/L,出水为 0.8 mg/L,去除率接近 80%,12 月中旬 TP 去除率一直比较稳定,但 12 月底出现明显下降,2012 年 1 月取样时,标准户用沼气池对养猪废水 TP 的去除率降至 54.7%。红泥沼气袋第 1 次取样时进出水水样 TP 浓度分别为 4.8、0.8 mg/L,TP 去除率略高于标准户用沼气池。随后 TP 去除率持续降低,2012 年 1 月红泥沼气袋对养猪废水 TP 的去除率仅为 27.6%。2011 年 10 月至次年 1 月,2 沼气池的 TP 浓度整体呈上升趋势。

势。2012 年 1 月,标准户用沼气池对养猪废水 TP 的去除率约为红泥沼气袋的 2 倍,表明该地区标准户用沼气池处理养猪废水 TP 能力优于红泥沼气袋。

2.3 2 种不同类型厌氧发酵池处理养猪废水 COD 变化

2.3.1 COD 浓度变化 由表 5 可知,10 月第 1 次取样,标准户用沼气池进水 COD 浓度为 1 1850 mg/L,出水为 800 mg/L,去除率最高,为 93.2%;11 月第 2 次取样,COD 去除率略有下降;12 月前 2 次取样,进水 COD 浓度与 11 月相比变化不大,稳定在 20 000 mg/L 左右,出水 COD 浓度为 1 794、2 102 mg/L,

表 4 标准户用沼气池和红泥沼气袋处理养猪废水 TP 变化

处理	进出水	TP 浓度 (mg/L)					
		10 - 30	11 - 15	12 - 01	12 - 15	12 - 30	01 - 15
户用沼气池	进水	3.9	4.1	4.7	5.4	8.4	9.5
	出水	0.8	0.9	1.0	1.3	3.3	4.3
	去除率 (%)	79.5	78.0	78.7	76.0	60.7	54.7
红泥沼气袋	进水	4.8	5.0	5.2	4.6	6.7	8.7
	出水	0.8	1.1	1.3	1.6	4.5	6.3
	去除率 (%)	83.3	78.0	75.0	65.2	32.8	27.6

COD 去除率维持在 90% 左右;随后 COD 去除率下降至 86.1%。红泥沼气袋第 1 次取样,进出水 COD 浓度分别为 10 080、925 mg/L,去除率为 90.8%。11 月第 2 次取样,COD 去除率略有上升。进入 12 月后,进水 COD 浓度平缓上升,最后稳定在 19 200 mg/L 左右,但出水 COD 浓度上升明显,COD

去除率低于 60%。冬季气温下降明显,导致厌氧发酵沼气池中微生物菌群活性降低,出水 COD 浓度增加。另外,与标准户用沼气池相比,红泥沼气袋保温效果更差,对气温变化更加敏感,对 COD 的消解能力也更差。

表 5 标准户用沼气池和红泥沼气袋处理养猪废水 COD 浓度变化

处理	进出水	COD 浓度 (mg/L)					
		10 - 30	11 - 15	12 - 01	12 - 15	12 - 30	01 - 15
户用沼气池	进水	11 850	18 750	20 780	21 520	25 520	26 250
	出水	800	1 392	1 794	2 102	3 667	3 643
	去除率 (%)	93.2	92.6	91.4	90.2	85.7	86.1
红泥沼气袋	进水	10 080	14 400	15 420	17 830	19 250	19 160
	出水	925	1 224	4 448	6 916	8 287	7 916
	去除率 (%)	90.8	91.5	71.2	61.2	57.0	58.7

2.3.2 进水 COD 浓度与产气的关系 由图 1 可见,10 月末至 12 月初,标准户用沼气池产气量与进水 COD 浓度呈显著正相关( $r=0.99$ ),进入 12 月中旬后,户用沼气池进水 COD 浓度继续增加,但产气量却持续降低,表明增加进水 COD 浓度可以提高户用沼气池产气量,但是 12 月当气温降低到一定程度后,即使继续提高进水 COD 浓度,沼气池产气量也不会再增加。

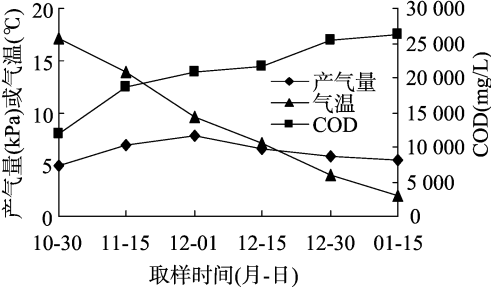


图1 标准户用沼气池进水COD浓度与产气关系

由图 2 可见,12 月前 2 次取样,红泥沼气袋产气量与进水 COD 浓度也呈显著正相关关系( $r=0.99$ ),但进入 12 月后,进水 COD 浓度继续增加,产气量却快速降低。与标准户用沼气池相比,红泥沼气袋产气量开始下降的拐点时间更加提前,表明红泥沼气袋厌氧发酵产气受气温影响更加明显,即影响红泥沼气袋厌氧发酵产气的温度阈值较标准户用沼气池高。

3 结论

本研究表明,12 月中旬之前(2011 年 12 月 15 日试验点实测气温为 7.0℃),标准户用沼气池对养猪废水 TN、NH<sub>3</sub>-N、TP、COD 的去除率分别为 44%、73%、76%、92%,随

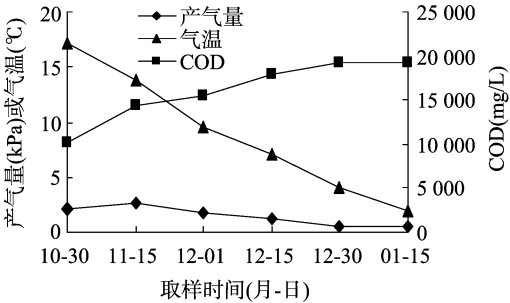


图2 红泥沼气袋进水COD浓度与产气关系

后明显下降。12 月初之前(2011 年 12 月 1 日实验点实测气温为 9.5℃),红泥沼气袋对养猪废水 TN、NH<sub>3</sub>-N、TP 的去除率与标准户用沼气池基本相当,但随后显著下降;对 COD 的去除率在 11 月中旬(2011 年 11 月 15 日实验点实测气温为 14.1℃)之后显著降低。当气温高于 9℃时,增加进水 COD 浓度可以提高标准户用沼气池产气量;但只有当气温高于 14℃时,增加进水 COD 浓度才有助于提高红泥沼气袋的产气量。除 TP 指标外,标准户用沼气池和红泥沼气袋出水 COD 浓度和冬季出水 NH<sub>3</sub>-N 浓度均高于 GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》。因此,在去除 COD 的同时,需要结合其他技术实现脱氮除磷的效果,如厌氧-自然处理技术和厌氧-好氧利用技术等。

参考文献:

[1]马 璟. 关于农村畜禽养殖污染现状的调查与思考[J]. 环境研究与监测,2012(1):49-51.  
[2]唐兆民. 我国农村畜禽养殖对环境污染现状与防治的研究[J]. 环境科技,2011(增刊):130-133.

金美琴,姜建芳. 基于管控一体化技术的滴灌控制系统设计[J]. 江苏农业科学,2013,41(9):371-374.

# 基于管控一体化技术的滴灌控制系统设计

金美琴<sup>1</sup>, 姜建芳<sup>2</sup>

(1. 南通农业职业技术学院机电工程系, 江苏南通 226007; 2. 南京理工大学自动化学院, 江苏南京 210094)

**摘要:**针对现代农业集约化、规模化种植的发展要求,研究以工控机和软 PLC 为控制核心、WinCC 为人机交流窗口,结合变频、现场总线、无线传感等技术,将节水灌溉、农业生产管理与自动化控制技术集为一体的滴灌控制系统。结果表明,研究的系统在为农作物提供最佳生长环境、实现增产增收的同时,还可以节约水资源,因此可以广泛应用于各种类型的农业种植区中。

**关键词:**管控一体化;滴灌;控制系统;软 PLC;WinCC

**中图分类号:** S275.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)09-0371-04

我国是农业大国,农业节水是不但是水利工程的重要组成部分,而且实行节水灌溉也是实现我国农业可持续发展的必然要求。在现阶段推广的节水灌溉方法中,微灌(包括滴灌、微喷灌等)的节水效果最好<sup>[1]</sup>,但是我国的农业滴灌系统大部分依靠的是人工经验控制,使得水的利用率仍然不是很高;有些滴灌系统虽然采用了自动化控制,但却存在现场布线不便、成本较高、操作维护不便等种种问题。缺乏先进的硬件设备与灌溉管理控制技术,特别是灌溉控制系统的自动化水平不高,是制约我国高效农业发展的瓶颈。随着我国农村经济的发展,农田集约化、大面积种植已经成为一种必然趋势,因此研制适合于大面积农田使用的、便于统一管理的集散型智能节水灌溉控制系统是发展现代化农业的必然要求。

基于上述节水灌溉的发展现状及存在的问题,迫切需要运用系统集成思想和方法,把计算机技术、现场总线技术、无线传感技术、自动控制技术等诸多技术与现代农业生产管理模式结合起来<sup>[2]</sup>,建成涵盖农业生产管理与灌溉自动化的管控一体化平台,从而实现我国农业从传统经验式管理向现代化智能化管理的质的飞跃,提升农业灌溉管理的自动化水平,节约水资源。

## 1 背景系统简介

南通市久发农业生态科技示范园总规划用地约 133.3 hm<sup>2</sup>,目前总体建设规模达到了 66.7 hm<sup>2</sup>,是集培训、娱乐、休闲、农业科技开发及花卉、蔬菜、果木、种子种植为一体的农业生态科技园。园区已经配备了滴灌、喷灌等微水灌溉设备,但是没有配置自动灌溉控制系统,仍然采用人工手动开关阀门的方式来控制灌溉,不但浪费了人力,而且也没有充分利用水资源。更为不足的是人员看管方面,由于凭的是经验和责任心灌溉,有时会因经验不足或人员疏忽而造成过度灌溉,导致出现淹苗、烧苗等严重后果。

## 2 管控一体化滴灌控制系统的总体方案

本研究根据生态科技示范园规模大、有集中管理的需求以及控制对象分散等特点,讨论了设计与实现管理与合理控制相结合的系统方案。本方案采用计算机集中管理与单片机滴灌分散控制的方式,即采用一台工控机集中管理并作为主站控制整个系统;主站通过 PROFIBUS 现场总线协调分散的滴灌从站系统,滴灌从站系统再使用无线通信管理和控制每个滴灌子系统,从而实现了滴灌的集中管理与分散控制。本方案以工控机+软 PLC 为控制核心来实现管控一体化,有效地减少了管理系统与控制系统的通信工作量;以 WinCC(windows control center,视窗控制中心)为人机交流接口,并结合变频、现场总线、无线传感技术,实现了滴灌管控一体化系统。本方案解决了布线困难,方便地获取到了农作物生长和灌溉的情况<sup>[3]</sup>,为生产管理决策提供了依据;同时依靠现代化的

收稿日期:2013-02-02

基金项目:2010 年度江苏省南通市科技计划(编号:K2010062)。

作者简介:金美琴(1969—),女,江苏南通人,硕士,讲师、工程师,主要从事自动化技术应用教学与研究。Tel:(0513)81050572; E-mail:ntjmjq@163.com。

[3]刘 刘,宋 立,邓良伟. 我国规模化养殖场粪便污水处理利用现状及对策[J]. 猪业科学,2011(6):30-33,42.

[4]许 妍. 畜禽污染减排纳入“十二·五”重点规划[J]. 农业技术与装备,2010(23):79.

[5]单胜道,邵 峰,周 珊. 浙江省农村废弃物调查[M]. 北京:科学出版社,2009.

[6]中国畜牧业年鉴编辑委员会. 中国畜牧业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2010.

[7]中华人民共和国环境保护部. 中国环境统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2010.

[8]张 东,徐 甦,陈 斌,等. 畜禽粪便沼气工程处理技术进展[J]. 浙江农业科学,2012(2):223-227.

[9]Jiang X, Sommer S G, Christensn K V. A review of the biogas industry in China[J]. Energy Policy, 2011, 39:6073-6081.

[10]Bond T, Templeton M R. History and future of domestic biogas plants in the developing world[J]. Energy for Sustainable Development, 2011, 15:347-354.

[11]奚旦立,孙裕生,刘秀英. 环境监测[M]. 北京:高等教育出版社,2009.