

文章编号:1674-2869(2019)04-0338-05

改进UASB-SBR-人工湿地处理养猪废水的研究

薛同站^{1,2},李卫华^{1,2},张勇^{1,2},王坤¹,王健¹

1. 安徽建筑大学环境与能源工程学院,安徽 合肥 230601;
2. 水污染控制与废水资源化安徽省重点实验室,安徽 合肥 230601

摘要:为解决养猪废水对农村水环境污染的重要问题,采用改进的自循环UASB-SBR-人工湿地联合处理工艺,利用产生的沼气搅拌增加反应器中的传质效果,加入经水解酸化的原水用于SBR池反硝化脱氮,采用回收给水污泥中的铝铁盐为基质的人工湿地对出水氮磷进一步强化处理,试验结果证明可使处理后出水氨氮浓度控制在 $15\sim 25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, COD浓度控制在 $160\sim 200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,出水各项指标满足畜禽养殖业污染物排放标准(GB18596-2001)要求。

关键词:养猪废水; 厌氧处理; 好氧处理; 人工湿地; UASB-SBR

中图分类号 X506 文献标识码: A doi: 10. 3969/j. issn. 1674-2869. 2019. 04. 007

Improved Treatment of Swine Wastewater by UASB-SBR-Constructed Wetlands

XUE Tongzhan^{1,2}, LI Weihua^{1,2}, ZHANG Yong^{1,2}, WANG Kun¹, WANG Jian¹

1. School of Environment and Energy Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China;
2. Key Laboratory of Water Pollution Control and Wastewater Reuse, Hefei 230601, China

Abstract: To solve the pollution of swine wastewater to rural water environment, an improved treatment process combining self-circulating up-flow anaerobic sludge bed, sequencing batch reactor activated sludge process and constructed wetland was adopted. Firstly, we increased the mass transfer efficiency in the reactor by stirring with the produced biogas, and then added the hydrolyzed acidified raw water to SBR for denitrification. Finally, we treated the nitrogen and phosphorus of effluent by aluminium and iron from recycled water in the constructed wetlands sludge. The experiment results show that the concentration of ammonia nitrogen and chemical oxygen demand in the treated effluent can be controlled at $15\sim 25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $160\sim 200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively, which meets the pollutant discharge standards of livestock and poultry farming (GB18596-2001).

Keywords: swine wastewater; anaerobic treatment; aerobic treatment; constructed wetland; UASB-SBR

随着公众环保意识的加强,农村水环境污染问题日益受到国家及水处理行业的关注,养殖行业对农村生态水环境的污染尤为突出。规模化养猪场产生的污水有机物浓度高^[1],化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)高达 $3\ 000\sim 20\ 000\text{ mg/L}$,氨氮含量大,氨氮浓度高达 $500\sim$

$1\ 800\text{ mg/L}$,固体悬浮物浓度达 400 mg/L 以上,色度深,并含有大量细菌。养猪场大量粪尿与废水现已成为许多城市郊区和农村的重要污染源,大多未经过妥善处理、处置及回收利用就直接排放,对周边环境造成严重污染,尤其对水体富营养化产生了极其不良的影响。国内外有不少对养殖废

收稿日期:2019-01-03

基金项目:国家自然科学基金(51378017);安徽省重点研发计划(1704a0902006);安徽省科技重大专项(17030801028, 16030801118)

作者简介:薛同站,讲师,硕士。E-mail: 540131703@qq.com

引文格式:薛同站,李卫华,张勇,等.改进UASB-SBR-人工湿地处理养猪废水的研究[J].武汉工程大学学报,2019,41(4):338-341,408.

水的处理工艺,但鲜有沼气自搅拌上流式厌氧污泥床(up-flow anaerobic sludge bed,UASB)、水解酸化原水补充序批式反应器(sequencing batch reactor,SBR)反硝化碳源,利用给水污泥回收铝铁盐作为人工湿地基质联合处理养猪废水的报道。

养猪行业为低收益行业,污水处理经济成本制约着各地养殖废水处理,安徽省肥西县某养殖

场出水不能达标,拟进行废水处理设施改造,为寻求投资低、运行费用少、管理方便的处理技术,依托安徽建筑大学水污染控制与废水资源化安徽省重点实验室对养猪废水进行实验分析,该养殖场采用干清粪+沼气池+厌氧塘处理猪场冲洗废水,试验废水取至该厂经沼气池处理后的出水,沼气池进出水水样各项指标如表1所示。

表1 沼气池进出水指标

Tab. 1 Water influent and effluent indexes of biogas digester

	指标 / (mg·L ⁻¹)						
	硝态氮	亚硝态氮	总氮	氨氮	COD	SS ^a	TP ^a
沼气池进水	53.99	1.52	1 102.78	279.87	6 500.00	493.75	116.25
沼气池出水	10.75	0.53	928.80	243.20	3 075.00	138.50	108.19

注:SS(suspended solid,悬浮固体);TP(total phosphorus,总磷)

水样水质各主要指标的测定方法分别为:硝酸盐氮采用紫外分光光度法;亚硝酸盐氮采用N-(1-萘基)-乙二胺光度法;总氮采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法;氨氮采用纳氏试剂光度法;COD采用快速消解分光光度法;总磷采用钼酸铵分光光度法测定。

1 实验部分

1.1 试验方案设计

针对养殖废水高浊、高浓度的特点,采用厌氧-好氧联合法处理养殖废水较为常见,高效经济的处理污染物是制约养殖废水处理的难点^[2],结合高效、低成本的处理要求,设计了改进工艺试验方案,具体处理工艺流程见图1。

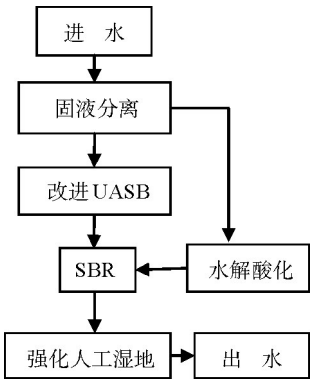


图1 养殖废水处理工艺流程图

Fig. 1 Process chart of swine wastewater treatment

根据图1设计的改进工艺试验方案,在实验室搭建了如图2所示的试验装置图。

1.2 固液分离预处理

养殖废水悬浮物浓度较高,预处理是处理工艺中较为关键的环节,如不能及时有效的清理固

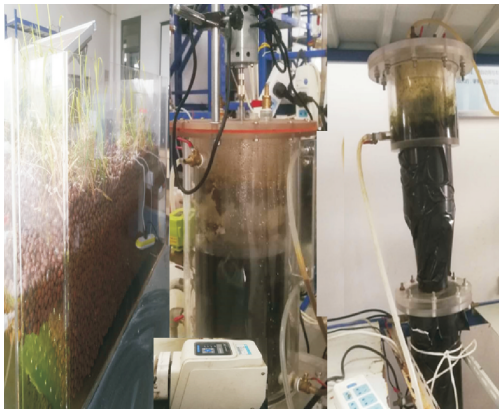


图2 改进工艺试验装置图

Fig. 2 Picture of improvement process test device

体悬浮物,就会给后续处理带来困难,增加处理负荷,影响处理效果^[3]。通过预处理,不仅可以降低COD、BOD₅(biochemical oxygen demand of 5 days,5日生化需氧量或生化耗氧量)浓度,减轻后续工艺的处理负荷,还能防止固体物质对设备造成堵塞,缩减厌氧反应器的尺寸和所需的停留时间,降低设施投资并提高COD去除效率,采用JIDI-17R离心机进行固液分离,能够有效降低污水固体悬浮物的含量,取上清液用于后续的处理。

1.3 改进UASB-SBR处理工艺

UASB实验装置内径120 mm,高1 200 mm,反应器有效容积为5.5 L,有机玻璃材质,恒温水浴箱装置加热,保持反应器温度为32 ℃,UASB实验装置接种污泥取自合肥经济开发区污水处理厂厌氧池,接种后反应器内污泥浓度为7.5 g/L,经过45 d的驯化培养,装置基本达到稳定运行状态。为增强反应器内匀质效果提高产气效率,利用厌氧反应产生的沼气经FCY5015空气加压泵加压,通过

分布于厌氧发酵罐内底部的沼气布气管道向反应器内进行布气,进行气体搅拌。

SBR实验装置内径250 mm,高600 mm,有机玻璃材质,SBR反应器启动时取自合肥经济开发区污水处理厂氧化沟内污泥进行培养驯化,SBR反应器正常运行后,在反应器的缺氧阶段加入水解酸化的原水并不断搅拌^[4],反应器各阶段用ORP进行分析确定^[5]。

1.4 铝铁盐基质人工湿地强化处理

采用人工湿地处理养殖废水属于自然处理法的范畴^[6],利用回收给水污泥中铝铁盐经提纯处理后作为人工湿地的吸附基质^[7],人工湿地反应器内采用陶粒作为骨架填料,利用回收的铝铁盐为人工湿地除磷的基质,回收的铝铁盐和陶粒的体积比2:8,人工湿地装置的具体尺寸为1 000 mm×300 mm×600 mm,材质为有机玻璃,湿地中过水流速控制在0.05 m/h。

2 结果与讨论

2.1 UASB装置出水及产气量分析

从表1沼气池出水测得的各指标得知,该养殖场废水中总氮含量较高,其中大多以有机氮的形式存在,氨氮质量分数只占25%左右,养殖废水中的COD含量亦有6 500 mg/L甚至更高。

UASB反应器主要降低废水中的高浓度COD,对有机污染物有较高去除率,适用于高浓度有机废水处理,能适应较大幅度温度、pH变化及负荷冲击,运行效果稳定^[8-9]。UASB反应器内污泥床和悬浮污泥区容积比约为3:7,废水由反应器的底部进入后,以0.2 m/h流速自下而上流动,产生的沼气以微小气泡形式不断放出,微小气泡在上升过程中,不断合并,逐渐形成较大的气泡,UASB装置在经过45 d培养运行后出现大量气泡,在污泥床上部由于沼气的搅动形成一个稳定的污泥悬浮层,测定UASB出水COD质量浓度约为1 000~1 200 mg/L,COD降解率达到60%~70%,甲烷的产气量约60 L/d,纯度为50%~60%。装置稳定运行75 d后,把产生的沼气用储气罐收集,利用空气压缩机进行加压到0.1 MPa,采取自动控制方式间断性的通过UASB装置底部向下开孔的环管向反应器内均匀布气,在气流的扰动下,废水与悬浮污泥中微生物充分混合,增强了反应器内的传质效果,产气效率提高到75 L/d,测定UASB装置出水COD浓度约为920~1 100 mg/L,COD的降解率基本稳定在70%~75%。

试验中定时测定反应器内挥发酸浓度,使其控制在500 mg/L以内,防止反应器酸化^[10],COD去除率一直稳定在75%左右。利用产生的沼气增强传质前后的COD降解情况、氨氮变化及产甲烷的效果见图3所示。

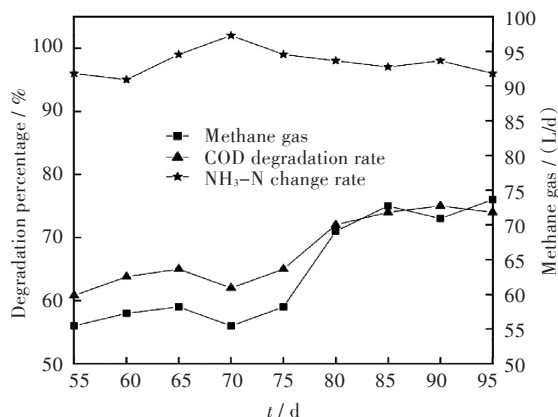


图3 UASB反应器运行效果图

Fig. 3 Operation effect diagram of UASB reactor

从图3可以看出,经过UASB反应器处理后废水COD降解基本上在75%左右,由于COD浓度较高,限制了硝化和反硝化的作用,致使氨氮和总氮浓度变化较小,反应器中氨氮浓度甚至有局部升高现象,应该是废水中有机氮部分氨化贡献的。

2.2 投加水解的原水脱氮

UASB装置出水经过SBR反应器处理后试验测定废水碳氧质量比约为1.21,不能满足反硝化脱氮的需要,养殖废水原水有较高的COD含量,经水解酸化后可生化性提高约15%,水解酸化后的COD浓度为3 000~3 400 mg/L。为提高脱氮效率,在SBR反应器缺氧阶段补充加入部分经水解酸化的原水,并进行充分的搅拌,将SBR反应器内的废水碳氧质量比提高到6左右,有效满足了反硝化脱氮所需碳源,促进了反硝化反应的进行。利用实时控制工艺,通过ORP及pH值实时控制SBR反应器缺氧段、好氧段^[11],采取在缺氧阶段补充水解后废水作为外加碳源的方式处理猪场废水,SBR反应器出水COD浓度为280 mg/L左右,出水总氮(total nitrogen, TN)浓度约为85 mg/L,能够有效除去COD和TN。经加入水解酸化的废水前后反应器出水各项指标如图4所示。

在SBR反应器内COD降解率为60%~65%左右,通过改进的UASB装置和补充水解原水的SBR装置处理后,COD累计降解率在86%~91%左右,在反硝化阶段不能满足脱氮的碳源需求,造成缺氧阶段碳氧质量比较低,硝态氮不能还原成氮气,总氮出水含量较高,经加入水解酸化的废水后,利

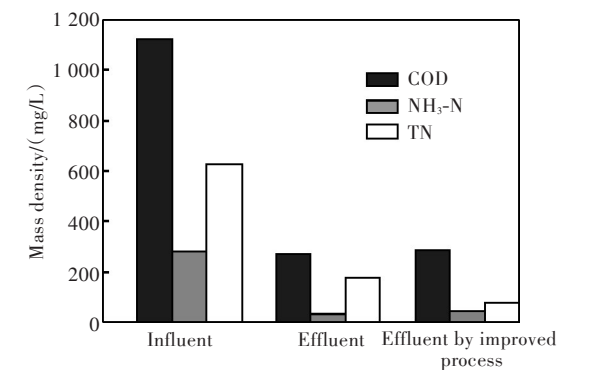


图4 SBR反应器添加水解酸化原水前后除氮效果图
Fig. 4 Nitrogen removal efficiency diagram before and after adding hydrolytic acidified raw water in SBR reactor

用原水中碳源提供的电子进行反硝化脱氮,从图4可以看出SBR对TN的去除率可以提高到85%左右,氨氮的去除率约在92%左右,处理出水虽然氨氮浓度有所上升,但总氮和氨氮浓度均能达到畜禽养殖业污染物排放标准要求。利用水解后的原水代替乙酸钠补充反硝化碳源,有效节省处理成本约10%左右。

2.3 加入铝铁盐的人工湿地脱氮除磷

养猪废水经改进的厌氧UASB和SBR工艺处理后,出水COD、TN、氨氮基本满足了畜禽养殖业污染物排放标准GB18596—2001要求,但总磷浓度依然偏高,经调查多数养殖废水处理设施用地条件较充裕,利用加载人工湿地进一步去除出水中的氮磷营养物质较为经济合理^[12],在人工湿地中充填回收给水污泥中铝铁盐,利用铝铁盐对废水PO₄³⁻有较强化学和物理吸附作用^[13-14],强化处理改进UASB-SBR反应器的出水中的氮磷营养元素,进一步降低出水的氮磷浓度。运行效果如图5所示。

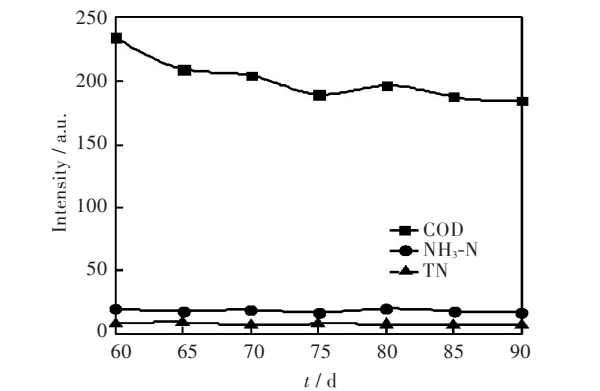


图5 铝铁盐基质人工湿地处理效果图
Fig. 5 Treatment effect diagram of constructed wetlands with aluminium-iron salt matrix

从图5可以看出,人工湿地中聚磷菌在Fe²⁺作用下强化吸收污水中的磷营养物质,回收给水污

泥含有的Ca²⁺、Mg²⁺、Al³⁺、Fe³⁺等金属盐与PO₄³⁻形成鸟粪石(MAP, MgNH₄PO₄·6H₂O)、磷酸铝(AlPO₄)、甚至蓝铁矿(Fe₃(PO₄)₂·8H₂O)等沉淀物^[15]。湿地中的生态植被也同步吸收去除污水中部分N、P营养物质,经稳定运行的人工湿地处理后,出水COD浓度约为170 mg/L,出水氨氮浓度降至20 mg·L⁻¹以下,采用回收给水污泥中的铝铁盐作为基质处理SBR出水,污水中的COD、氨氮浓度进一步降低,通过强化的人工湿地处理氨氮去除率约在35%~40%,氨氮的累计去除率达到94%左右。污水中的磷酸根离子和湿地基质中的铝铁盐进一步结合,生成磷酸铝、蓝铁矿而沉淀下来,出水TP的浓度约为6~8 mg·L⁻¹。

3 结 语

1) 沼气搅拌管道分布于厌氧反应器内底部,利用产生的沼气再次加压,进行内部循环的沼气搅拌系统采用自动控制,既保证反应器内有良好的反应条件同时避免厌氧微生物的流失,COD降解效率达到70%~75%,可提高产气率15%左右。

2) SBR反应器经好氧处理后碳氧质量比较低,不能满足反硝化所需的碳源,达不到很好的处理效果,为节省运行费用,采用部分水解酸化废水补充SBR反应器内的碳源,使反应器内碳氧质量比提高到6左右,满足了反硝化所需的条件,可达到较好降低总氮浓度的效果。

3) 通过采用回收给水污泥中的铝铁盐强化人工湿地处理,污水中的COD、氨氮浓度进一步降低,污水中的磷酸根离子和湿地基质中的铝铁盐进一步通过化学和物理吸附,生成磷酸铝、水合Fe₃(PO₄)₂而沉淀下来,最终出水TP浓度低于8 mg·L⁻¹。

4) 采用改进的UASB-SBR-强化人工湿地处理工艺处理养猪废水,实验证明此联合工艺是一种高效、低成本的废水生化处理法,处理后出水达到畜禽养殖业污染物排放标准。

参考文献

[1] 李大荣,叶姜瑜,杨平,等. 畜禽养殖废水处理现状研究[J]. 环境影响评价,2018,40(4):80-84.
[2] 杜龔,周北海,袁蓉芳,等. UASB-SBR工艺处理规模化畜禽养殖废水[J]. 环境工程学报,2018,12(2):497-504.
[3] 陈彪,陈敏,钱午巧,等. 规模化养猪场粪污处理工程设计[J]. 农业工程学报,2005,21(2):126-130.