

改进型升流式固体反应器处理猪粪污新工艺研究

汪国刚¹ 赵明梅¹ 郎咸明² 包震宇² 周仁来¹

(1. 辽宁北方环保集团, 沈阳 110031; 2. 辽宁环境科学研究院, 沈阳 110031)

摘要 对传统升流式固体反应器(USR)进行改进,反应器内设置专用搅拌器,搅拌器间歇开启,在保留USR各项优势的前提下,使料液与厌氧微生物接触更充分,反应温度更均匀,提高产气率,同时还解决了传统USR的“结壳”问题,提高了反应器的传质效率、甲烷产气率和COD去除效果。进料含固量在12.1%时,水力停留时间为17 d,反应器最高容积负荷达到 $4.9 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,产气速率为 $2.55 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,产气率达到 $0.359 \text{ m}^3/\text{kg}$ 干猪粪。

关键词 改进型USR 猪粪污 厌氧消化

中图分类号 X505 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2009)05-0919-04

Study on an improved USR for pig manure treatment

Wang Guogang¹ Zhao Mingmei¹ Lang Xianming² Bao Zhenyu² Zhou Renlai¹

(1. Liaoning Beifang Environmental Protection Group, Shenyang 110031;

2. Liaoning Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110031)

Abstract Improved USR reactor contains a newly dedicated blender which is intermittently operated. Keeping the advantages of traditional USR, a better feed-in material and micro-organisms mixing was obtained and the problem of crust in USR was solved in the improved reactor. The biogas production, biomass conversion efficiency, and COD removal efficiency, were all increased in the improved USR. With 12.1% of TS feed-in material, 17 days HRT, the maximum load capacity reached $4.9 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, the biogas production rate was $2.55 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, and the material biogas productivity reached $0.359 \text{ m}^3/\text{kg}$ dry manure.

Key words improved USR; pig manure; digestion

厌氧发酵法在处理畜禽粪便、为农业提供能源——沼气、有机肥料和生物原料等方面扮演着重要角色,尤其随着其技术的进一步完善,以厌氧发酵法制取沼气为核心的生态工程模式已成为集约化养殖场粪便处理与资源综合利用的发展方向。升流式固体反应器(USR)处理畜禽粪污不需固液分离,具有投资少,控制和管理简单,有机负荷高、抗不利条件强和能耗低等特点,近年来在处理畜禽粪污方面应用越来越广泛^[1-3]。

同时,USR对进料均布性要求高,当含固率达到一定程度时,必须采取强化措施^[4]。另外,据有关资料介绍,工程上曾发生过因液面结壳使气体无法释放,导致罐体胀裂的工程事故。本实验针对上述实际问题,通过改进USR的装置结构和操作方式,提高了USR工程运行可靠性,为工程应用提供实验数据和科学方法。

1 材料和方法

1.1 实验装置

本实验对传统USR进行了改进,在反应器内设置了侧入式专用机械搅拌器,每天间歇开启搅拌器2次(8时、17时),每次搅拌20 min。改进后的USR在保留传统USR各项优势的前提下,使料液与厌氧微生物接触更充分,反应温度更均匀,提高了产气率,同时还解决了传统USR的结壳问题。该改进型USR采用高150 cm,内径为13.4 cm的有机玻璃圆柱体,总容积为20 L,有效容积为17 L,在侧壁每隔10 cm设置一取样口。整个反应器采用夹套水浴保温,用温控继电器和加热棒控制水浴恒温38℃,原料由底部间歇进入USR,在顶部溢流水,产气经NaOH水封瓶脱硫后,由湿式气体流量计计量产气

收稿日期:2008-11-24; 修订日期:2009-01-12

作者简介:汪国刚(1971~),硕士研究生,高级工程师,主要从事农业废弃物资源化研究工作。E-mail:laes_wgg@163.com

量^[5,6]。

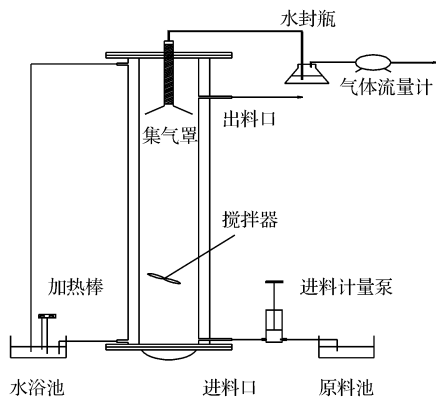


图1 改进型USR发酵装置示意图

Fig.1 Improved USR

1.2 实验原料

实验原料取自沈阳某饲料种猪场的新鲜猪粪(猪场主要品种有长白、杜洛克等),含水率为75%左右。因根据实际畜禽养殖场情况,猪粪污为主要待处理对象,即高浓度悬浮液,故本实验通过调整含固量达到实验要求,测得含固量为12.1%时的原料指标:COD 83.4 g/L, BOD 31.3 g/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 3 780 mg/L, TP 1 725 mg/L, pH 6.0 ~ 6.5。

1.3 实验步骤

USR启动时所用的接种污泥取自沈阳某啤酒厂水处理的厌氧污泥,污泥VSS/TSS = 63.3%。连续进低浓度的粪水,恢复污泥活性,去除沉降性能不好的污泥,使污泥更好地适应原料;污泥驯化完成后,开始进低含固量的高浓度悬浮液,等到产气量稳定且pH > 7时,逐步提高负荷和悬浮液含固量,增加进入反应器的原料量,最终确定USR运行的最大负荷、处理效率和产气量等参数。

1.4 分析方法

COD测定采用HH-5型化学耗氧快速测定仪;BOD测定采用5日生化法;pH采用玻璃电极法;挥发性脂肪酸VFA采用蒸馏法;SS和VSS采用标准值质量法;气体产量采用湿式气体流量计计量;氨氮采用浸提-蒸馏法;TP采用钼酸铵分光光度法;沼渣和沼液成分测定参考国家农业行业标准NY525-2002^[7]。

2 结果与分析

2.1 污泥驯化阶段

实验开始阶段连续进低浓度猪场粪水,COD值

在1 500 mg/L,进水量为4 L/d。由于原水可生化性较好,观察到反应器内产生气泡状况良好,出水COD和SS经历由高逐渐降低的过程。随着出水COD的下降,在持续进水第12 d时,出水COD降低为1 023 mg/L,反应器内气泡产生稳定,产气量为0.25 L/d,表明污泥对猪场粪水已有了较好的适应能力,污泥驯化和筛选基本完成。

2.2 稳定运行阶段

2.2.1 进料量和水力停留时间

实验运行阶段,开始进含固量为5.7%的高浓度悬浮液400 mL/d,当产气量稳定且pH > 7时,逐步提高负荷和进料悬浮液的含固量,增加进入反应器的原料量。此阶段共进行55 d,经分析最终确定此反应器原水含固量12.1%时,最高日处理猪粪500 g/d,水力停留时间为17 d。进料含固量的变化如图2所示,进料含固量和水力停留时间的变化如图3所示。

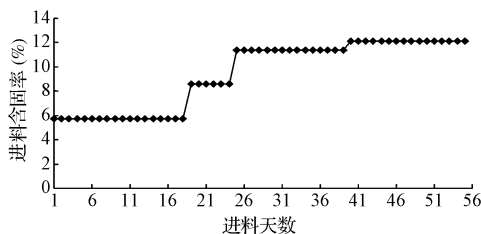


图2 进料含固量变化图

Fig.2 Input concentration scheme

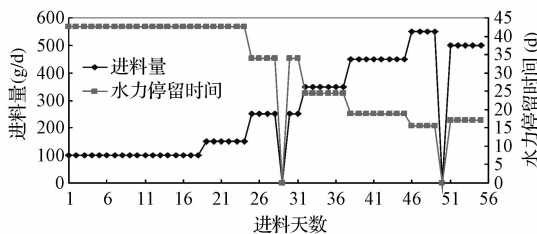


图3 进料量和水力停留时间

Fig.3 Input quantity and hydraulic retention time

2.2.2 产气量和产气率

反应器开始阶段产气量一直很低,在第22 d突然增加到18.3 L,此后随着进料量的不断增加,产气量也随之升高;当进料量提高至550 g/d(水力停留时间为15.4 d),产气量开始下降,反应器出现酸化现象;第50 d停止进料1 d后,反应器进料量降低为500 g/d,此时产气量高且稳定,平均为43.4 L/d(图4)。分析此实验结果:(1)刚进高浓度悬浮液时,原

料含有大量固体颗粒,虽然前期的污泥驯化已经适应猪粪水,但是这些大颗粒物质并不能马上被厌氧菌分解产生气体,只有部分溶解在液体内的可生化性较好的有机物和小颗粒物质被酸化分解成气体;(2)过低或过高的物料量都不能达到有效的产气量,本实验确定进料量为 500 g/d,此时产气量高且稳定,平均为 43.4 L/d,产气率达到 0.359 m³/kg 干猪粪,产气速率为 2.55 m³/(m³·d)。

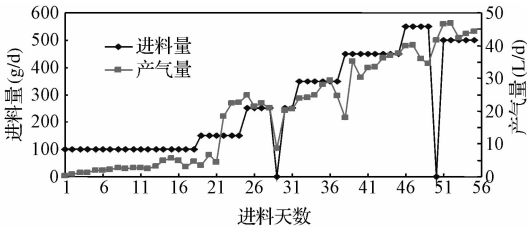


图 4 进料量和产气量变化关系
Fig. 4 Relationship between input quantity and biogas production

2.2.3 进出水 COD 与容积负荷

反应器开始出水的 COD 值比较低(图 5),分析主要原因是 USR 在驯化污泥期间处理的是低浓度猪粪水,所以在间歇式进料开始后,反应器上部有大量的清液,随着高浓度悬浮液的进入反应器的底部,上清液开始慢慢被置换出;同时,改进型 USR 处理高浓度悬浮液,上升流速慢,加之设计比 UASB 长的 HRT 和 SRT,使大颗粒物质可以分解的更彻底,但使得当天出水的 COD 值并不能快速有效地反映反应器的实际情况。第 31 d 开始,出水 COD 值显著提高,可以认为反应器内上清液基本置换完毕,在反应器运行良好阶段,出水 COD 的去除率保持在 55%~60%之间。当进料量提升至 550 g/d,出水 COD 值升高到 45 000 mg/L,COD 去除率低于 45%,反应器开始出现酸化现象,在停止进料一天,重新降低负荷至 500 g/d 后运行正常,进水 COD 平均为 83 382 mg/L,出水 COD 平均为 35 483 mg/L,COD

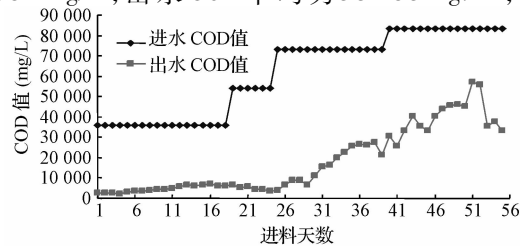


图 5 进料 COD 值和出水 COD 值的变化关系
Fig. 5 Relationship between input COD and output COD

去除率达 57.5%,反应器最高容积负荷达到 4.9 kg COD/(m³·d)。

2.2.4 进水和出水 pH 的变化

厌氧处理中,pH 值是最重要的影响因素之一,水解菌与产酸菌对 pH 有较大范围的适应性,大多数可以在 5.0~8.5 的范围内生长良好,但通常对 pH 敏感的甲烷菌适宜生长的 pH 为 6.5~7.8^[8]。本实验进水的 pH 一直在 6.0~6.5 之间,出水 pH 随进料量的变化如图 6 所示。开始阶段 pH 保持在 6.8~7.2 之间,主要由于反应器内污泥未能及时分解进料中的大颗粒和难生化降解物质,随着反应器内大颗粒物质的分解和甲烷菌的增长,反应器系统内部开始趋于稳定。从图 6 可看出,从第 25 d 开始,每次提高反应器的负荷,pH 值都会比未提高负荷时有所降低,但当反应器内甲烷菌增长和适应后,pH 值又逐渐升高。当进料量为 550 g/d 时,pH 开始下降到 7,产气量降低,反应器运行恶化,降低负荷到 500 g/d 后,系统开始恢复正常,pH 值保持在 7.5 左右。

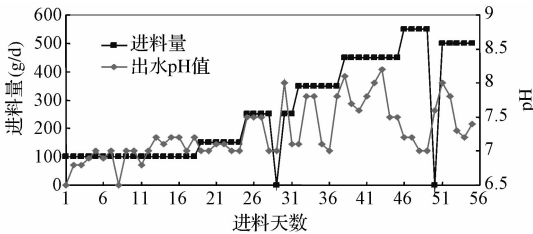


图 6 进料量和出水 pH 值的变化关系
Fig. 6 Relationship between input quantity and pH

2.2.5 出水 VFA 值

挥发性脂肪酸(VFA)是厌氧消化过程中重要的中间产物,甲烷菌主要利用 VFA 形成甲烷,VFA 在厌氧反应器内的积累能反应出甲烷菌的不活跃状态或反应器操作条件的恶化,较高的 VFA 对甲烷菌有抑制作用,因此出水 VFA 是厌氧反应器运行的一个重要控制指标。USR 出水 VFA 随进料量的变化如图 7 所示,开始 USR 内 VFA 值逐渐升高,从第 14 d 开始下降并稳定在 23 mmol/L 左右,在第 29 d 停止进料 1 d,产气量和 VFA 值都迅速下降,说明 USR 在此 VFA 值(VFA 单位换算为 1 mmol/L = 60 mg/L 乙酸)下运行正常。当反应器负荷提高到 550 g/d 时,VFA 值升高到 30 mmol/L 以上,最高达到 38 mmol/L,此时产气量下降,出水的 pH 也从 7.5 降低到 7.0,说明反应器内出现酸化现象;第 50 d 停

止进料 1 d,此时 VFA 值有所下降,但产气量仍未明显提高,说明反应器内仍有大量未消解的 VFA。经分析,反应器稳定运行的 VFA 值宜保持在 25 mmol/L 左右,当 VFA 值超过 30 mmol/L 容易引起酸化。

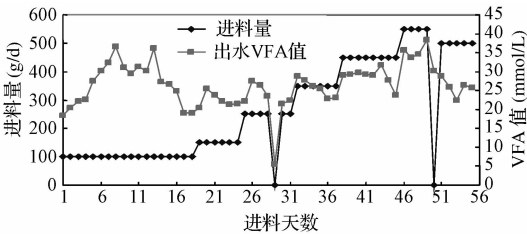


图7 出水VFA值随进料量的变化
Fig. 7 Relationship between input quantity and VFA in the effluent

2.2.6 沼液和沼渣成分的测定

沼液和沼渣中含有丰富的有机质、腐殖酸、氮、磷、钾、钠和钙等营养元素,还含有微量元素、17种氨基酸以及多种微生物和酶类。沼液和沼渣不同的组成部分发挥着不同的作用,(1)有机质、腐殖酸,对改良土壤起着重要作用;(2)氮磷钾等元素,满足作物生长需要;(3)未腐熟原料,施入农田发酵,释放养分。在农业生产中,沼液和沼渣应用比较广泛,可以被用做肥料、饲料添加剂、生物农药及抗冻剂等,对土壤的改善、农作物的生长以及畜禽的饲养都有很好的功效^[9,10]。在以USR厌氧发酵为核心的沼气生态工程中,沼液和沼渣同样具有很高的经济价值。本实验鉴于条件所限,仅对沼液和沼渣干物质成分进行了分析,结果见表2,测定方法采用国家农业行业标准 NY 525-2002。结果显示,USR厌氧发酵处理猪场粪水产生的沼液和沼渣含有丰富的有机质和氮磷钾等营养元素,是有机肥料的理想原料,对改良土壤,培肥地力可以起到显著的效果。

表1 沼液和沼渣成分

Table 1 Component of biogas digestate

	有机质 (%)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)
沼渣	50.8	20.4	19.9	9.8
沼液	52.4	25.5	23.8	10.8

3 结 论

本工艺对传统USR进行改进,反应器内设置专

用搅拌器,搅拌器间歇开启,在保留USR各项优势的前提下,使料液与厌氧微生物接触更充分,反应温度更均匀,提高产气率,同时还解决了传统USR的结壳问题,提高了反应器的传质效率、甲烷产气率和COD去除效果。实验通过改变进料量逐渐提高反应器负荷,以水力停留时间、产气量、出水COD、pH值和VFA为主要参考指标,最终确定进料含固量在12.1%时,水利停留时间为17d,反应器最高容积负荷达到4.9 kg COD/(m³·d),产气速率为2.55 m³/(m³·d),产气率达到0.359 m³/kg干猪粪,产生的沼气甲烷含量高,有着很好的经济价值;虽然COD去除率仅为57%,但厌氧发酵产物沼液和沼渣在农业生产中有着很好的应用,所以不存在排放二次污染问题。

改进型USR处理猪场粪水具有运行费用低、进料含固量高、产气量大以及有机负荷高等特点,在治理我国畜禽污染方面有着很好的应用前景。

参 考 文 献

[1] 刘明轩,杜启云,王旭. USR在养殖废水处理中的实验研究. 天津工业大学学报,2007,26(6):36~38

[2] Zhang Ruihong, Zhang Zhiqin. Biogasification of rice straw with an anaerobic-phased solids digester system. Biore-source Technology, 1999, 68: 235~245

[3] 周孟津,杨秀山,张维来,等. 升流式固体反应器处理鸡粪废水的研究. 环境科学,1996,17(4):44~46

[4] 赵立欣,董保成,田宜水. 大中型沼气工程技术. 北京:化学工业出版社,2008

[5] Parkin. Fundamentals of anaerobic digestion of waste water sludges. ASCE-Journal of Environmental Engineering, 1986, 12(5): 867~920

[6] Angelidaki L., Ahring B. K. Thermophilic anaerobic diges-tion of live-stock waste: The effect of ammonia. Applied Microbiology and Biotechnology, 1994, 38: 560~564

[7] NY 525-2002,国家农业行业标准

[8] 任南棋,王爱杰. 厌氧生物技术原理与应用. 北京:化工业出版社,2004. 28~31

[9] 陆梅,毛玉荣,杨康林,等. 沼液沼渣的利用. 农技服 务,2007,24(5):37~39

[10] 杨极武,冯万贵,安恒军,等. 沼气、沼液和沼渣在蔬菜生产中的应用. 北方园艺,2006,(3):80~81