

人粪尿污水的厌氧净化试验研究

杨晓妮, 袁林江*, 王晓昌

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院 陕西 西安 710055)

摘要 粪尿污水是生活污水中污染物的主要贡献者,它的单独净化处理是污水分散处理的重点和核心之一。但目前高浓度粪尿污水的单独处理技术尚有待研究。文章采用 114L UASB 反应器、以啤酒厂 UASB 反应器内的污泥为接种污泥,研究了在 30℃条件下连续日处理 413L 和间歇日处理 118L 粪尿污水的净化效果,探讨了 UASB 用于人粪尿污水处理的可行性。UASB 反应器水力停留时间控制在 6.65h,连续运行结果表明,在 SLR 从 0.36kgCOD/(kgVSS·d)逐步增加到 2.29kgCOD/(kgVSS·d)的过程中,COD 的去除率稳定在 88.82%~96.84%。3d 左右的负荷冲击不会导致反应器处理效果明显下降。未经沉淀预处理的高 SS 对反应器净化没有不良影响。间歇运行结果表明,出水 COD 浓度较连续进水时低。

关键词 污水生物处理; 粪尿污水; 升流式厌氧污泥床反应器(UASB)

中图分类号 X703 文献标志码 A 文章编号 1003-6504(2009)04-0129-04

Experimental Treatment of Toilet Wastes by UASB

YANG Xiao-ni, YUAN Lin-jiang*, WANG Xiao-chang

(School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract : Experimental treatment of toilet wastes or black-water (mainly feces and urine), is conducted using a laboratory bench-scale up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Influent of black water with COD ranging from 500mg/L to 2,000mg/L are treated in both continuous and intermittent runs. The continuous test lasted for six months with an up-flow velocity of 17.14m/h and HTR of 6.65h, showing the COD removals ranged 88.82%~96.84% and no detrimental effect arising from high SS in the influent due to skipping pre-sedimentation. UASB performance and production of methane under the intermittent operation condition were studied as well.

Key words : wastewater biological treatment; toilet wastes; UASB

目前我国城市污水处理主要是采用集中处理方式,集中处理需要建设庞大的管网系统。由于管网系统的建设费用昂贵^[1],导致多数地方污水处理厂的建设和与之配套的管网系统的建设不能同步,许多区域无法进行污水集中处理,受纳水体受到未经净化处理污水污染的情况时有发生。因此,污水的分散处理是解决这一难题的一条有效途径。

根据生活污水中有机物含量的高低,可以将其划分为两类:高浓度污水(厕所水,包括粪便、尿液、厕所冲洗水,俗称黑水)和低浓度污水(洗浴、盥洗和厨房用水,又称灰水)^[2]。粪便污水中含有大量的有机物、营养物和病原菌,生活污水中大约 51%的 COD、91%的氮和 78%的磷是由粪便污水贡献的^[3],因此粪尿污水的处理对于降低污水强度极其重要。将生活污水中的高浓度污水(粪尿污水)单独收集起来进行处理,是住

区分散式污水净化处理的关键。

UASB(Up-flow Anaerobic Sludge Blanket)是一种最为常用、技术成熟且运行费用相对低廉的厌氧处理反应器^[4],其内可以形成大量活性很好的颗粒污泥,使 UASB 反应器能够承受更高的负荷。尽管 UASB 反应器被广泛应用在各种工业废水(如啤酒废水、屠宰场废水、肉类加工废水、制糖工业废水、酒精工业废水、罐头工业废水、亚硫酸盐制浆废水等^[5])和生活污水^[6]的处理中,但应用 UASB 反应器处理人粪尿废水的报导很少。本文采用 UASB 反应器,研究了其对粪尿废水的净化效果,探讨了其应用于人粪尿污水处理的可行性。

1 试验装置及启动

1.1 试验系统

收稿日期:2008-01-29,修回 2008-05-30

基金项目:国家自然科学基金重大国际合作项目(50621140001)

作者简介:杨晓妮(1981-),女,硕士研究生,主要从事废水处理工程技术研究,*通讯作者:(手机)13519102762(电子信箱)yuanlinjiang@xauat.edu.cn

教学楼卫生间排出的粪尿污水汇集于楼外的污水井中。试验中直接用潜水泵将该污水抽吸到储水池(为了防止水泵堵塞吸水口处设置 5mm 的筛网)然后再由泵送入 UASB 反应器的底部。处理系统连续运行时日最大处理水量约为 413L/d,处理后出水在春夏两季直接用于浇灌教学楼前的草坪,冬季排入下水管道。

1.2 试验装置

试验所用 UASB 反应器用有机玻璃制成,为双层套管,反应器内径为 270mm 外径为 310mm 高 2.41m,总有效容积为 114L。内径和外径之间中空部分为保温的循环热水。内管下部及中部为污泥床和污泥悬浮区,有效容积为 74L。上部是三相分离器和澄清区,容积为 40L。三相分离器为锥体,其内径为 143mm 高为 115mm。UASB 反应器采取保温及加热设施,使反应器内的水温维持在 30℃左右。

1.3 系统启动和运行参数及分析方法

试验采用西安市啤酒厂污水处理站的 UASB 反应器内的絮状污泥为种源,直接用原污水进行启动。反应器温度维持在(30±1)℃。启动初期污泥负荷(SLR)维持在 0.03kgCOD/(kgVSS·d),水力停留时间 13.44h。反应器运行参数见表 1,试验分析方法见表 2。

表 1 系统运行参数		
Table 1 Operating parameters of the system		
参数	单位	数值
HRT	(h)	5.14~13.44
上升流速	(m/h)	8.48~21.6
SLR	kgCOD/(kgVSS·d)	0.03~2.29

表 2 水质分析方法	
Table 2 Analysis methods	
分析项目	分析方法
氨氮	纳氏试剂分光光度法
磷酸盐	钼锑钨分光光度法
COD	标准酸性重铬酸钾法
pH 值	pH 计

2 试验结果

2.1 粪尿污水的水质

本研究处理的粪尿污水来自西安建筑科技大学教学大楼内的卫生间。该大楼共十层,每层在东西两侧各有男女卫生间一处。除冲厕和少量盥洗水外,楼内再无其它用水点和污水排放点,因此在楼外卫生间污水井处汇集的是单纯的人粪尿污水。其中每日该处的卫生间使用人数粗略统计为 1500 人次左右。

经数月监测,该污水的水质变化范围列于表 3。可见该污水的 COD 浓度大多介于 500~2000mg/L 之间,属于高浓度有机污水。污水的氨氮浓度大多数在 40~100mg/L 之间变化,进水磷酸盐浓度大多数介于 3~9mg/L 之间。污水中悬浮颗粒较多。

表 3 原水水质				
Table 3 Raw water quality				
COD(mg/L)	pH	磷酸盐(mg/L)	SS(mg/L)	氨氮(mg/L)
200~6987.84	6.1~7.88	3.5~13.5	52~462	2.79~134.07

2.2 连续进水处理效果

2.2.1 进出水 COD 变化

图 1~2 分别为冬季和春夏两季时进水、出水 COD 浓度变化情况。由图可见,三、四月份进水 COD 浓度比十二月、一月份稍高。五、六、七月份进水 COD 浓度又比三、四月份进水 COD 浓度稍高。无论进水浓度如何,反应器出水 COD 浓度基本<300mg/L,甚至在进水 COD 浓度很高的情况下,出水 COD 浓度还可<100mg/L,这表明反应器对 COD 的去除效率很高。

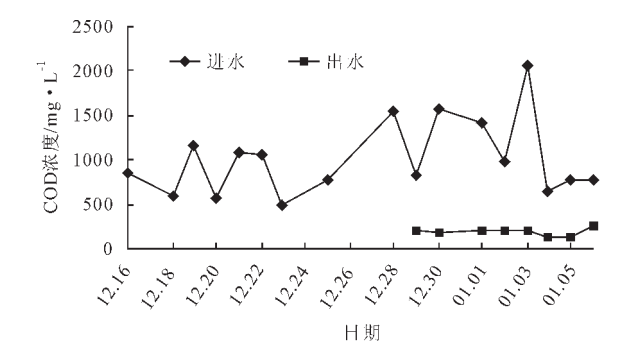


图1 冬季进出水COD浓度的变化
Fig.1 Variation of COD in the influent and effluent in winter

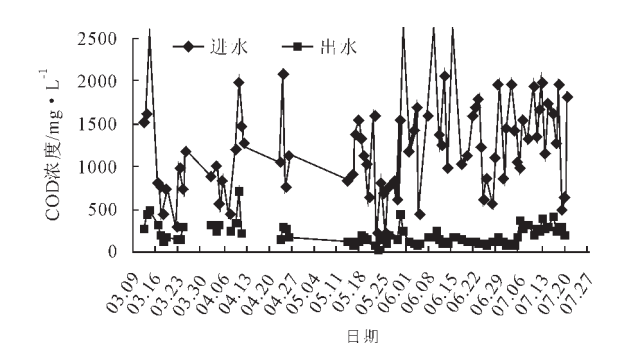


图2 春夏两季进出水COD浓度的变化
Fig.2 Variation of COD in the influent and effluent in spring and summer

2.2.2 进出水氨氮浓度的变化

进水、出水氨氮浓度在各个月份的变化范围较大,在 10~120mg/L 之间。出水氨氮浓度比进水有所升高,在 70~130mg/L 之间,相对比较稳定。原水中的氨氮主要是来自尿液中尿素的水解。污水经过消化后,其中含氮有机物经氨化作用再产生部分氨氮。对比进出水氨氮浓度变化,可以推断原水中有机态氮含量相对稳定、变化幅度小,出水中氨氮浓度的波动主要是进水氨氮浓度变化引起的。

氨氮在厌氧反应器中起着多重作用。一方面,氨氮是厌氧微生物的营养来源之一,并提供了厌氧反应体系的部分碱度^[7],防止反应器发生酸化,有利于产甲烷菌产生甲烷;另一方面随着氨氮浓度的增大,体系中

游离氨的浓度不断上升,可能会对体系产生较强的抑制作用^[6]。对比 COD 的去除结果(图 1 和图 2)可知,本研究中反应器内并未出现氨氮抑制消化的现象。

2.2.3 进出水 pH 值变化

测定结果显示,反应器进水的 pH 值在 6.10~7.88 之间。出水 pH 值多在 6.7~7.6 之间,波动较进水小。反应器内 pH 处于产甲烷菌生长的最适 pH 范围内,表明反应器工作状态良好。

2.2.4 污泥负荷(SLR)对 COD 去除的影响

通过排泥的方式来不断提高反应器的污泥负荷,考察了净化效果的变化(见图 3)。当 $SLR>0.41\text{kg COD}/(\text{kg VSS}\cdot\text{d})$ (对应进水 COD 浓度 $>1000\text{mg/L}$)时,反应器的 COD 去除率较高,在 86%~96%之间, COD 的去除效率随着进水浓度和污泥负荷的增大而提高。在运行 150d 后, COD 的去除效率稳定在 88.82%~96.84%,反应器的运行达到了稳定。当污泥负荷达到 $2.59\text{kgCOD}/(\text{kg VSS}\cdot\text{d})$ 并且系统稳定后,快速提高负荷至 $5\text{kgCOD}/(\text{kgVSS}\cdot\text{d})$,形成负荷冲击,但系统对 COD 的去除效率仍然保持在 80%以上,表现出良好的抗冲击能力。

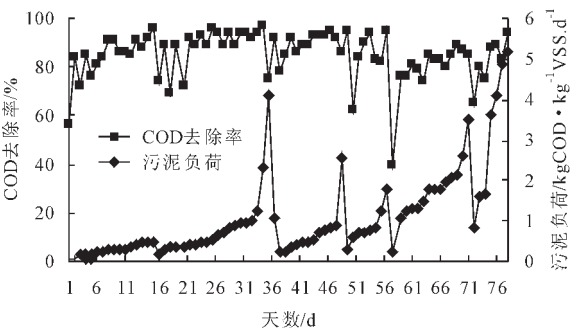


图3 不同SLR下反应器对COD去除情况
Fig.3 COD removal under different SLR

2.2.5 水力停留时间对 COD 去除的影响

水力停留时间 $>6.65\text{h}$ 时,反应器的 COD 去除率稳定在 80%以上,平均约为 93%。水力停留时间 $<5.28\text{h}$, COD 去除率明显降低,在 80%以下(见图 4)。当水力停留时间 $>6.65\text{h}$,随着水力停留时间的延长, COD 去除率

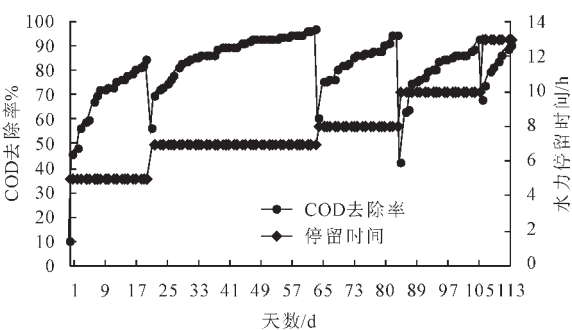


图4 水力停留时间对COD去除率的影响
Fig.4 Effect of HRT on COD removal rate

无明显提高,表明再延长水力停留时间已对提高反应器的 COD 去除率无太大作用。若实际应用,反应器的水力停留时间设定在 6.65h 左右较合适。

2.2.6 污泥负荷对产气率的影响

对于有机物浓度较高的废水的厌氧生物处理,回收甲烷具有一定的经济意义。如图 5 所示,在本试验条件下,每去除 1gCOD 的产气量随着污泥负荷的增加没有明显的变化,虽然不同的污泥负荷表观产气率不同,但平均仅为 36mL/gCOD ,表明产气率较低。

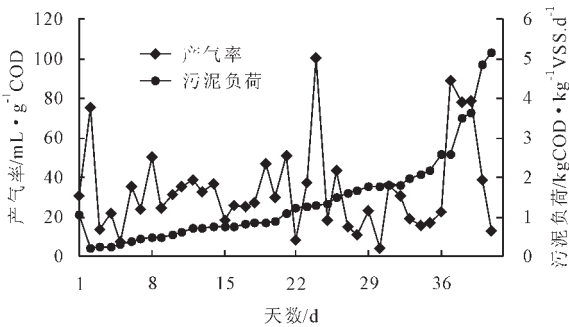


图5 污泥负荷对产气率的影响
Fig.5 Effect of SLR on biogas production

2.3 反应器的间歇进水对处理效果的影响

考虑到实际分散处理中,废水的发生是间歇的,因此本研究考察了反应器间歇进水对处理效果的影响。设定周期为 24h,在一个周期内,反应器连续进水 8h(在 9 月 12 日至 24 日期间,每天早上 8:00 开始进水,直到下午 16:00 反应器停止运行)。在双数日期进水的 8h 内,每小时取出水一次,测定所取出水的 COD 浓度、pH 值、氨氮浓度及产气情况,观测其变化规律。在间歇试验时,仍维持反应器进水上升流速为 17.14L/h ,水力停留时间为 6.65h,即使反应器的运行参数和停运前保持一致。

2.3.1 间歇进水下的反应器 COD 浓度随时间变化情况

图 6 显示了在间歇进水的情况下 UASB 反应器内出水 COD 浓度在每日不同时刻的变化。由图 6 可见,出水 COD 基本都在 200mg/L 以下变化。尽管进水 COD 浓度变化范围比较大(9 月 12 日、14 日、16 日、18 日、

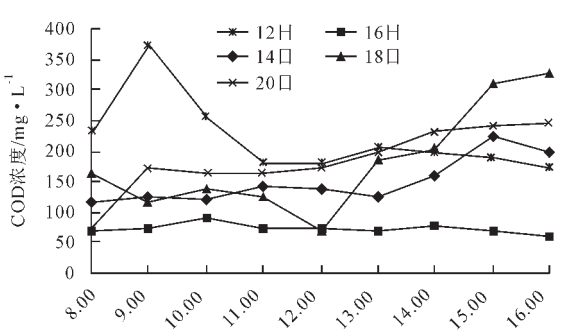


图6 间歇进水条件下UASB反应器出水COD浓度
Fig.6 COD concentration in the effluent under intermittent feedings

20 日进水 COD 变化范围分别为 2312.80~1489.6mg/L、2489.20~1724.80mg/L、393.60~551.04mg/L、865.92~787.20mg/L、787.20~708.50mg/L),但出水 COD 浓度都比连续进水时低,这说明在间歇进水情况下该反应器比连续进水更适合对粪尿污水中 COD 的去除。

2.3.2 间歇进水下的出水氨氮浓度随时间变化情况

在间歇进水的条件下,反应器出水氨氮浓度在 40~80mg/L 之间,比相应的进水的氨氮浓度高,且随着时间的延长而增加,但低于连续进水下的浓度。间歇进水后,反应器内的氨氮更不会对产甲烷菌产生不良影响。

2.3.3 间歇进水下的反应器 pH 值随时间变化情况

间歇进水下,反应器出水 pH 值随时间由 6.8 上升到 7.8。相对于连续进水,反应器内 pH 变化相对较小,表现出更高的稳定性。

2.3.4 间歇进水下产气量变化

间歇进水下反应器日产气量变化结果见图 7。由图 7 可见,在间歇进水起初的 4d 内反应器没有明显的生物气产生;从第 5 天开始反应器内的产气量增多,第 8 天开始反应器内的产气量比较稳定,约为 3~6L/d。核算产气率为 0.35mL/gCOD,这和连续进水下没有太大差别。

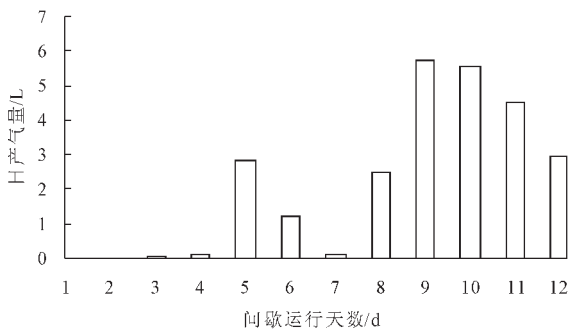


图7 间歇进水条件下UASB反应器甲烷日产量
Fig.7 Biogas production under intermittent feeding

3 结论

(1)采用西安市啤酒厂 UASB 反应器内的污泥为种泥加入本试验系统,按照逐步提高负荷的方法,反应器可以快速启动。

(2)UASB 反应器内的 SLR 为 0.03~2.59kgCOD/(kgVSS·d),上升流速为 17.14m/h, HRT 为 6.65h 时,反应器对 COD 的去除效率保持在 90%左右。

(3)粪尿污水厌氧处理过程中出水氨氮浓度比进水氨氮浓度高,但均未发生游离氨抑制甲烷发酵现象,可以满足厌氧处理要求。

(4)在粪尿污水厌氧处理过程中,进水 pH 值在 6.10~7.88 之间,出水 pH 值在 6.54~7.58 之间,满足产

甲烷菌生长所需的 pH 值,反应器内未发生酸积累现象和酸抑制作用。

(5)间歇进水的情况下, UASB 反应器的出水 COD 浓度在 200mg/L 以下,比连续进水情况下出水 COD 浓度低。UASB 反应器间歇进水更适合对粪尿污水中 COD 的去除。在间歇进水下,反应器内氨氮、pH 值不会对产甲烷产生不良影响。产气率基本和连续进水保持一致。

[参考文献]

- [1] 王琳,王宝贞.分散式污水处理与回用[M].北京:化学工业出版社,2003.
Wang Lin, Wang Bao-zhen. Sewage Dispersal Treatment and Reuse[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003. (in Chinese)
- [2] 王晓昌,彭党聪,黄廷林.分散式污水处理和再利用——概念、系统和实验[M].北京:化学工业出版社,2003.
Wang Xiao-chang, Peng Dang-cong, Huang Ting-lin. Sewage Dispersal Treatment and Reuse—Conception, System and Experiment[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003. (in Chinese)
- [3] Sari Luostarinen, Wendy Sanders, Katarzyna Kujawa-Roeleveld, et al. Effect of temperature on anaerobic treatment of black water in UASB-septic tank systems [J]. Bioresource Technology, 2006, 98: 980-986.
- [4] Álvarez JA, Ruiz I, Gómez M, et al. Start-up alternatives and performance of an UASB pilot plant treating diluted municipal wastewater at low temperature [J]. Bioresource Technology, 2006, 97: 1640-1649.
- [5] 易赛莉,雒文生.UASB 反应器常温下处理生活污水中试研究[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(4): 76-79.
Yi Sai-li, Zhi Wen-sheng. Study on treating domestic wastewater by using medium UASB reactor under normal temperature [J]. Environment Science & Technology, 2006, 29(4): 76-79. (in Chinese)
- [6] 王凯军,左剑恶,甘海南,等.UASB 工艺的理论工程实践[M].北京:中国环境科学出版社,2000.
Wang Kai-jun, Zuo Jian-e, Gan Hai-nan, et al. Theoretic and Practice of UASB Technique[M]. Beijing: China Environment Science Press, 2000. (in Chinese)
- [7] 张希衡.废水厌氧生物处理工程[M].北京:环境科学出版社,1996.
Zhang Xi-heng. Anaerobic Wastewater Treatment Engineering[M]. Beijing: Environment Science Press, 1996. (in Chinese)
- [8] 何仕均,王建龙,赵璇.氨氮对厌氧颗粒污泥产甲烷活性的影响[J].清华大学学报(自然科学版),2005, 45(9): 1294-1296.
He Shi-jun, Wang Jian-long, Zhao Xuan. Effect of ammonia-nitrogen on the methanogenic activity [J]. J Tsinghua Univ (Sci & Tech), 2005, 45(9): 1294-1296. (in Chinese)