

UASB和EGSB反应器降解挥发性脂肪酸(VFAs)性能的对比研究

杨燕妮¹, 杨慧芬¹, 王凯军², 郑明月¹, 郑明霞²

(1 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083 2 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 室温下(20℃~25℃)运行UASB和EGSB反应器处理挥发性脂肪酸(VFAs),对两者的降解性能进行了研究。采用改变进水浓度和进水流量两种方式改变反应器运行负荷,结果表明室温条件下,EGSB反应器与UASB反应器相比,在处理高浓度挥发性脂肪酸上,前者具有COD去除率高、运行稳定、耐冲击能力强等优点。EGSB反应器的出水回流提高了反应器内上升流速,强化了反应器内的传质过程,使EGSB具有较高的处理效率和运行稳定性。

关键词: UASB反应器; EGSB反应器; 挥发性脂肪酸(VFAs); 运行性能对比

中图分类号: S216.4 X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1166(2011)01-0007-05

Comparative Study on the Performance of UASB and EGSB Reactors Treating Volatile Fatty Acids (VFAs) / YANG Yan-ni¹, YANG Hui-fen¹, WANG Kai-jun², ZHENG Ming-yue¹, ZHENG Ming-xia² / (1. University of Science & Technology Beijing Beijing 100083 China; 2. Tsinghua University Beijing 100084, China)

Abstract At room temperature (20°C ~ 25°C), UASB and EGSB reactor were run to treat the volatile fatty acids. Different influent concentration and flow rate were used to change the loading rate of the reactors. The COD removal rate, pH values, alkalinity of reactors were measured as indicators. The results showed that the EGSB reactor had advantages of high COD removal rate, stable operation, and high impact resistance ability comparing with UASB reactor. Effluent refluxing in EGSB reactor increased flow velocity and enhanced mass transfer, and so EGSB reactor has high processing efficiency and operation stability.

Key words Upflow Anaerobic Sludges Bed (UASB); Expanded Granular Sludge Bed (EGSB); Volatile Fatty Acids (VFAs); operation comparison

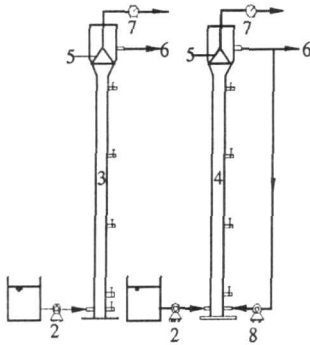
上流式厌氧污泥床(Upflow Anaerobic Sludges Bed, 简称 UASB)反应器是荷兰 Wageningen 农业大学 Let

1 实验装置、材料和方法

1.1 实验装置和材料

实验用 UASB 反应器和 EGSB 反应器均为有机玻璃制成, 有效体积为 2.9 L, 反应器在室温下运行, 如图 1 所示。

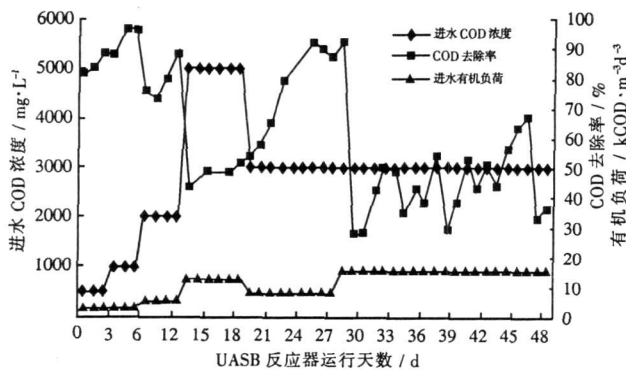
实验运行 3 个厌氧反应器, 1 号反应器 (R1) 为 UASB 反应器, 2 号 (R2) 和 3 号反应器 (R3) 为 EGSB 反应器。3 个反应器初期启动 COD 浓度均为 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 启动初始 COD 负荷均确定为 $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 。UASB 反应器的上升流速为 $0.15 \sim 0.3 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$, EGSB 反应器的回流比为 17.5:1, 上升流速为 $5.7 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ 。



1 进水箱; 2 进水蠕动泵; 3. UASB 反应器; 4 EGSB 反应器; 5 三相分离器; 6 出水; 7. 湿式气体流量计; 8. 出水回流泵

图 1 UASB 和 EGSB 反应器装置图

本实验所用污泥取自处理淀粉废水的厌氧颗粒污泥, 在室温 (25°C 左右) 环境下保存, 接种前污泥经淘洗除去漂浮物和肉眼可见杂质然后接种到反应器中, 两种反应器接种泥的浓度为 $80.7 \text{ gVSS} \cdot \text{L}^{-1}$, 接种污泥量为 1 L。



在 80% ~ 90%, 最高达到 88.6%; R2 的 COD 去除率则在 90% 以上, 这表明 EGSB 在常温下处理低浓度基质的能力要强于 UASB 反应器。当提高进水 COD 浓度到 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, R1 的进水流量降至 $7.2 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$, R2 流量保持不变, R1 和 R2 的 COD 去除率继续逐步上升, 此阶段结束时, R1 的去除率达到了 96%, R2 的去除率达到了 92.5%。至此, 两个反应器完成了启动过程。R1 和 R2 完成启动的 COD 负荷为 $2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

2.1.2 UASB 和 EGSB 反应器降解稳定性的比较

继续提高进水 COD 浓度提高至 $2000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 二者对有机酸的降解能力出现了差别。R1 的 COD 去除率下降较为明显, 从 96% 迅速降到了 75.5%, 之后在几天内, 其去除率一直在 70% ~ 80% 之间, 呈逐步恢复的趋势, 经过一段时间去除率恢复到了 87.4%。R2 的 COD 去除率没有明显变化, 且在平稳中上升, 其 COD 去除率最终维持在了 95% 左右。此时, R1 和 R2 的进水有机负荷分别是 $5 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $10 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

R1 在 $2000 \text{ mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$ 进水结束后, 通过增加进水浓度调整反应器的进水负荷, 将浓度增加到 $5000 \text{ mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$, 进水有机酸浓度的急剧增加, 反应器运行的稳定性变差。反应器在 $5000 \text{ mgCOD} \cdot \text{L}^{-1}$ 进水浓度下只运行了 6 天, 其 COD 去除率最终降到了 48.2%, 此时反应器负荷 COD 为 $12.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 。将进水 COD 浓度下调至 $3000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 反应器的运行状况有所改观, COD 去除率逐步上升, 在反应器运行的第 26 天去除率恢复到了 92.2%。下一阶段, 保持进水浓度不变, 通过流量变化调整进水负荷, 将进水流量提高至 $14.4 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$, COD 负荷由 $7.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 增加到 $15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \$

够适当地稀释高浓度的进水基质, 避免反应器中局部基质浓度过高而产生的对颗粒污泥的抑制, 保持反应器正常稳定运行。

2.2 EGSB降解不同基质的性能比较

为了考察混合挥发脂肪酸是否会对 EGSB 反应器运行性能造成影响, 运行了 R3 与 R2 进行比较, 观察 EGSB 在降解不同基质时的性能。R3 的进水基质为以丙酸为主的混合酸 (COD 乙醇: COD 乙酸: COD 丙酸: COD 丁酸 = 1: 1: 5: 1.8), 反应器在室温下运行, 其运行条件与 R2 一致, 两个反应器都是通过提高进水浓度的方式提高有机负荷。实验结果见图 3。

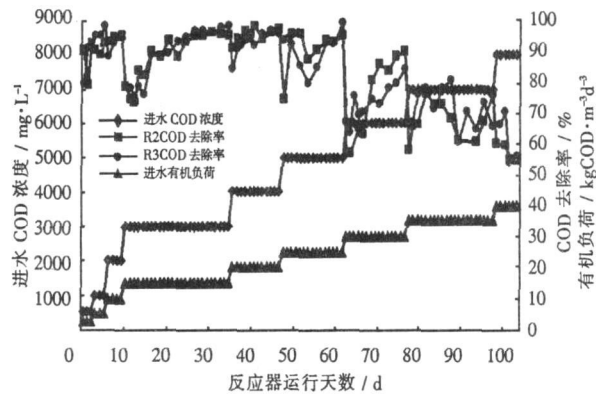


图 3 EGSB 反应器降解不同基质性能比较

图 3 表明, 当进水 COD 浓度为 $500 \sim 1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, R3 的 COD 去除率要稍稍高于 R2, R3 的去除率维持在 $95\% \sim 98\%$ 之间, 而 R2 的去除率则维持在 $90\% \sim 94\%$ 之间。随着进水浓度的增加, 二者的 COD 去除率只在提高进水浓度的前几天有所下降, 之后会逐渐上升, 并维持在一个稳定的状态, 两个反应器的运行状况非常一致, 其 COD 去除率差别不大, 二者很接近, 波动状态也呈现出一致的现象, 未发现进水基质为混合酸时对 EGSB 反应器运行性能产生的影响。当反应器进水 COD 浓度提高至 $6000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 发现 R2 的 COD 去除率要稍高于 R3。随着进水浓度的进一步提高, R2 和 R3 的 COD 去除率都有明显的波动, 并且呈下降趋势。运行结束时, 两个反应器的 COD 负荷均为 $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 。R2 和 R3 的 COD 去除率分别为 55% 和 54% 。

- [5] Skoulou V, Zabaitou A. Investigation of agricultural and animal wastes in Greece and their allocation to potential application for energy production [J]. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 2005, 12: 1–22.
- [6] Almasri M R. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes [J]. *Bioresource Technology*, 2001, 77: 97–100.
- [7] Lehtomäki A, Huttunen S, Rinnala J A. Laboratory investigations on co-digestion of energy crops and crop residues with cow manure for methane production: Effect of crop to manure ratio [J]. *Resources Conservation & Recycling*, 2007, 51: 591–609.
- [8] 宋仁元. 水和废水标准检验法 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985: 312–313.
- [9] 高白茹, 常志州, 叶小梅, 等. 堆肥预处理对稻秸生物产气量的影响 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(5): 251–256.
- [10] 徐雷, 叶小梅, 常志州, 等. 秸秆干式厌氧发酵渗滤液回流技术研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(6): 1273–1278.
- [11] 李世密, 魏雅洁, 张晓健, 等. 秸秆类木质纤维素原料厌氧发酵产沼气研究 [J]. *可再生能源*, 2008, 26(1): 50–54.
- [12] Chyi Y T, Dague R R. Effects of particulate size in anaerobic acidogenesis using cellulose as a sole carbon source [J]. *Water Environ Res*, 1994, 66: 670–678.
- [13] Lettinga G. Laboratory work manual [G] // In: 1st Int Course on Anaerobic and Low Cost Treatment of Wastes and Wastewaters. The Netherlands: IAC and WAU, 1994.
- [14] 徐文龙, 卢英方, Rudolf W alker. 城市生活垃圾管理与处理技术 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006: 113–133.

(上接第10页)

著优于 UASB 反应器。在实际工程应用中, 反应器的构造与运行方式对于整个污水厌氧反应系统运行的稳定性和效率, 起着至关重要的作用。

参考文献:

- [1] Lettinga G, et al. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment [J]. *Biotechnol and Bioengineering*, 1980(22): 699–734.
- [2] 任南琪