

UASB 工艺常温处理木薯加工废水

郑平¹, 胡宝兰¹, Deffu Soufo Herve Joe²

(1. 浙江大学环境工程系, 杭州 310029; 2. 雅温得第一大学, 喀麦隆雅温得 0738)

摘要: 为了控制喀麦隆木薯加工废水的污染并回收沼气, 选用上流式厌氧污泥床反应器(UASB), 进行了常温厌氧处理木薯加工废水的试验。结果表明: 采用 UASB 工艺处理 COD 浓度为 14190 mg/L 的木薯加工废水, COD 去除率可达 90% 以上, 容积 COD 负荷达 6.81 g/L·d, 容积沼气产率 3.20 L/L·d。在实用中, 进水 COD 浓度宜控制在 14000 mg/L 左右; 容积 COD 负荷宜控制在 7.00 g/L·d 左右; 水力停留时间宜控制在 2d。

关键词: 木薯加工废水; 厌氧处理; UASB 反应器

中图分类号: TK6 **文献标识码:** A

木薯广泛种植于非洲和亚洲国家, 全球年产量约为 1.2~ 1.3 亿吨^[1]。木薯是喀麦隆的主要粮食作物, 种植面积约 11.5 万公顷, 年产量约 140 万吨^[1]。由于新鲜木薯极易腐烂, 通常将其加工成木薯淀粉。在木薯淀粉的加工过程中, 排出大量高浓度有机废水, 对当地环境的污染十分严重。喀麦隆能源(特别是商品能源)短缺, 因此在解决环境污染问题时, 必须兼顾节能。

与好氧处理工艺相比, 厌氧处理具有动力能耗省, 剩余污泥产量低和可回收沼气的优势^[2,3], 是治理木薯加工废水的首选方法。本文报告上流式污泥床(UASB)工艺常温处理木薯加工废水的研究。

1 材料与方法

1.1 接种污泥

接种污泥取自喀麦隆雅温得第一大学污水处理厂的二沉池, 好氧活性污泥经纱布过滤后用作实验室 UASB 反应器的接种物。

表 1 木薯加工废水的部分理化性质

Table 1 Some physical and chemical properties of cassava processing wastewater

项目	指标	项目	指标
COD/g·L ⁻¹	19.50~ 28.00	TS/mg·L ⁻¹	485~ 512
BOD ₅ /g·L ⁻¹	8.78~ 15.40	VS/mg·L ⁻¹	412~ 457
TKN/mg·L ⁻¹	54.40~ 63.90	氧化物/mg·L ⁻¹	0.10~ 0.14
TP/mg·L ⁻¹	9.80~ 12.10	pH	3.18~ 4.12

1.2 木薯加工废水

水样取自喀麦隆农家木薯加工作坊, 废水的部分理化性质见表 1。

1.3 试验装置与条件

供试上流式 UASB 反应器选用有机玻璃加工而成。总容积 15.87 L, 其中液相容积 15.01 L, 气相容积 0.86 L。反应器高度为 1.21 m, 内径 0.13 m。反应器顶部安装三相分离器。纵向均匀设置五个取样口。UASB 反应器系统与流程如图 1 所示。进水用泵打入反应器底部, 沿污泥床上流, 处理水经三相分离器外溢。产生的沼气先经气体流量计计量, 再收集于气柜中。反应温度为当地自然温度。

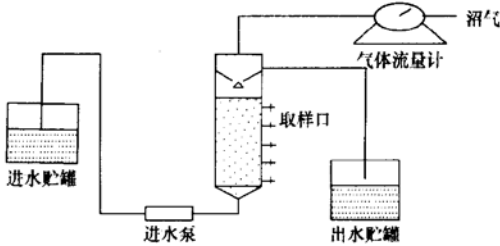


图 1 UASB 反应器装置与流程

Fig. 1 UASB reactor and its flow diagram

1.4 分析项目与方法

- 1) 化学需氧量(COD): 重铬酸钾氧化法^[4];
- 2) 生化需氧量(BOD₅): 稀释接种法^[4];
- 3) 总固体(TS)和挥发性固体(VS): 标准法^[4];
- 4) 凯氏氮(TKN): 蒸馏滴定法^[4];
- 5) 总磷(TP): 钼蓝比色法^[4];
- 6) 产气量: BSD-0.5 湿式气体流量计测量;
- 7) 气体成份: 102-G 型气相色谱仪, 载气氮气, 担体 GDX-103^[5];
- 8) 挥发性脂肪酸(VFA): 比色法^[5];



- 9) 氰化物: 吡啶-巴比妥光度法^[4];
10) pH 值: pH S-2 型酸度计测定。

2 结果与讨论

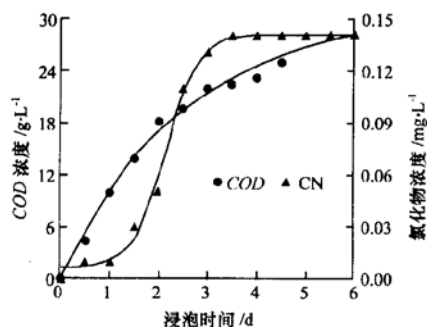


图2 木薯浸泡过程中 COD 和氰化物浓度的变化
Fig. 2 The changes of COD and cyanide concentration during fresh cassava soaking

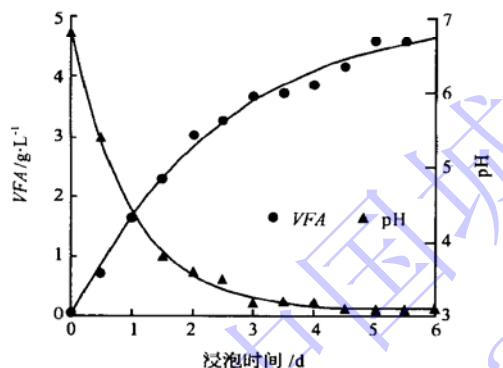


图3 木薯浸泡过程中 pH 和 VFA 浓度的变化
Fig. 3 The changes of pH and VFA concentration during fresh cassava soaking

2.1 木薯加工废水浓度的波动

喀麦隆农家作坊加工木薯淀粉的工序为: 木薯去皮→切块→浸泡→手工加工→晒干。在木薯浸泡前, 需加一定量的净水(木薯与水的体积之比约为 1:1)。待木薯块泡软后(约需 3~6d), 人工取出淀粉, 倾去浸泡液(即木薯加工废水)。在整个浸泡过程中, 废水水质的变化很大, 前 3d 浸泡液的 COD 浓度几乎呈线性增加; 3d 后增幅下降, 但仍继续升高(图 2)。伴随 COD 浓度的上升, VFA 浓度也不断提高; pH 则从初始的 6.8 降到 3.10(图 3)。值得注意的是, 木薯含有一定量的生氰糖苷, 在浸泡过程中被水解而释放出氰化物。浸泡第一天的释放量较少, 第二天急剧增加, 到第三天基本稳定(图 2)。由上述情况可见, 木薯加工废水的水质与浸泡时间有

关, 实用中应加以考虑。

2.2 UASB 反应器的启动与再启动

向 UASB 反应器投加 8L 活性污泥后, 装置马上开始产生沼气。由图 4 可见, 随着时间的延长, 反应器的容积沼气产率逐渐提高, 至 35d 达 2.52 L/L·d。由于木薯加工停产, 反应器停止进样 20d。到 55d, 反应器恢复进料。废水一泵入反应器, 马上就被转化为沼气。两周内, 沼气产率恢复到停车前的水平。此时, 絮体污泥开始转化为颗粒污泥。到 85d, 容积沼气产率达 3.95 L/L·d。沼气中的甲烷含量为 71.2%, 二氧化碳含量为 28.5%。反应器工作状况良好。

在初次启动中, 进水 COD 浓度保持在 4000 mg/L 左右, 水力停留时间(HRT)逐步由 4.29 缩短至 1.07d, 容积 COD 负荷逐步由 0.93 提高到 3.64g/L·d。COD 去除率高于 91.8%, 平均出水 VFA 浓度保持在 12.77mg/L 左右。在第二次启动中, 进水 COD 浓度控制在 3129~5444mg/L, HRT 逐渐从 4.29 降至 0.35d, 容积 COD 负荷逐步由 0.92 提高到 9.01g/L·d。COD 去除率为 86.7~94.1%, 平均出水 VFA 浓度约 19.56mg/L。从 COD 去除率和出水 VFA 浓度判断, UASB 反应器的启动正常。

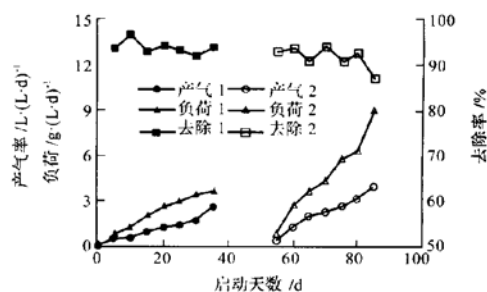


图4 启动与再启动过程中 COD 负荷、
沼气产率和 COD 去除率的变化
Fig. 4 Loading rate, biogas production and COD removal during startup (1) and re-startup (2)

2.3 UASB 反应器的性能

采用 UASB 工艺常温处理木薯加工废水时, 如果将 HRT 控制在 2d 左右, 只要 COD 浓度低于 14190mg/L, COD 去除率即可高于 90%, 容积 COD 负荷达 6.81g/(L·d), 容积沼气产率达 3.20L/(L·d)。当进水 COD 浓度继续升到 22089mg/L 时, 效能指标降到实用中不能接受的水平(表 2)。



表 2 UASB 工艺处理木薯加工废水的效能

Table 2 Performances of UASB process for treatment of cassava processing wastewater

数据组	进水 COD / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	出水 COD / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	COD 去除率 / %	容积 COD 负荷率 / $\text{g} \cdot (\text{Ld})^{-1}$	容积沼气产率 / $\text{L} \cdot (\text{Ld})^{-1}$	HRT / d
1	3,122.67	233.71	92.51	2.08	0.94	1.50
2	4,940.10	435.60	91.18	2.96	1.43	1.66
3	7,539.83	681.96	90.95	4.02	2.08	1.88
4	10,458.78	476.00	95.44	5.23	2.65	2.00
5	14,190.31	2,373.63	90.27	6.81	3.20	2.08
6	22,088.78	7,168.88	67.54	7.73	2.42	2.85

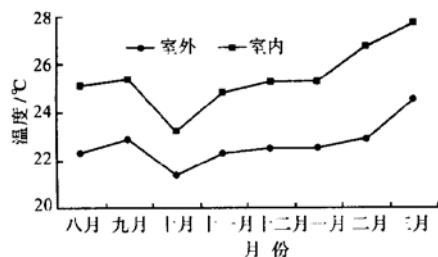


图 5 试验期间温度的变化

Fig. 5 The changes of temperature during this experiment

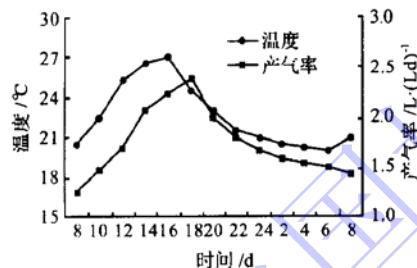


图 6 温度波动对沼气产率的影响

Fig. 6 The influence of temperature on biogas production over a day

2.4 影响因素

2.4.1 温度

在本试验过程中,气温变化如图 5 所示。当地的平均气温为 22.7℃,最高温度 24.5℃,最低温度 21.4℃。如果将反应器置于一个小室内,平均气温升到 25.5℃,最高温度 27.7℃,最低温度 23.2℃。小室内温度可比室外提高 2.8℃。既然中温发酵的最适温度为 35℃^[3,6],升高温度有利于提到反应器的效能。

在一天中,温度从 8:00 到 16:00 逐渐升高,16:00 达最高,早晨 6:00 最低,沼气产率是温度的函数。与气温的变化相比,沼气的变化约滞后 2h(图 6)。究其原因,可能是气温与反应器中的水温平衡需要一定时间。

2.4.2 COD 浓度与 COD 负荷

反应器的 COD 去除率受进水 COD 浓度的影响很大(图 7)。当进水 COD 浓度低于 14 g/L 时,

COD 去除率高于 90%;超过 14 g/L 后, COD 去除率降到 67.5%。COD 浓度的影响可能与废水中的氰化物有关,在木薯浸泡过程中,木薯所含的生氰糖苷水解成氰化物,对微生物有抑制作用。

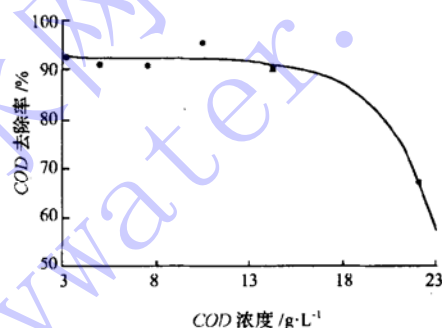


图 7 进水 COD 浓度对 COD 去除率的影响

Fig. 7 The effect of influent COD concentration on COD removal

COD 去除率和沼气产率是厌氧处理所追逐的两个目标。它们都是容积 COD 负荷率的函数。在低负荷下,沼气产率随容积 COD 负荷的提高而线性增加(图 8), COD 去除率保持在 90% 以上(图 9)。但当容积 COD 负荷超过 7 g/(L·d) 后,沼气产率增幅变小甚至不增加(图 8), COD 去除率急剧下降(图 9)。该现象表明,反应器已超负荷。

2.4.3 HRT

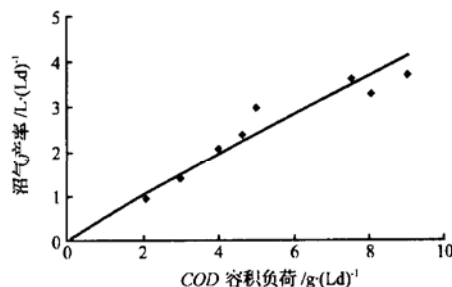


图 8 沼气产率与容积 COD 负荷的关系

Fig. 8 The relationship between volumetric COD loading rate and volumetric biogas production

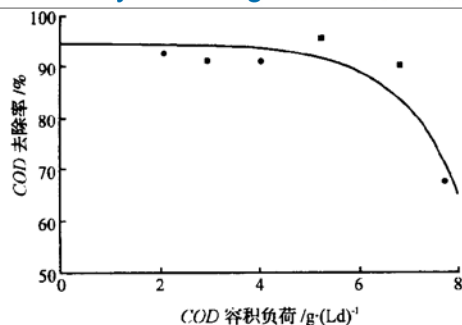


图9 COD去除率与容积COD负荷的关系

Fig. 9 The relationship between volumetric COD loading rate and COD removal

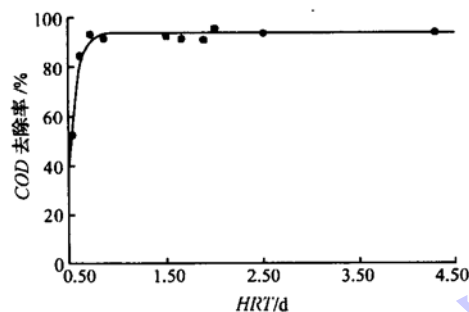


图10 HRT对COD去除率的影响

Fig. 10 The effect of influent HRT on COD removal

如图10所示,采用UASB工艺常温处理木薯加工废水(COD 浓度为 $5\sim 6\text{g/L}$)时, HRT 应控制在 0.71d 以上。此时,反应器的 COD 去除率高于 90% 。如果 HRT 从 0.71d 缩短到 0.53 天, COD 去除率降到 80% 。 HRT 为 0.48d 时, COD 去除率只有 55.29% ,实用中已不能接受。

3 结论

1) 发酵温度 喀麦隆木薯产区的气温为 $21.4\sim 24.5\text{℃}$,平均值为 22.7℃ ,足以维持UASB反应器的正常工作;用简易小室对反应器保温,可使平均温度升到 2.8℃ 。既然中温发酵的最适温度为 35℃ ,升高温度有利于提高反应器的效能。

2) 处理效能 采用UASB工艺处理 COD 浓度低于 14190mg/L 的木薯加工废水, COD 去除率可达 90% 以上,容积 COD 负荷达 $6.81\text{g}/(\text{L}\cdot\text{d})$,容积沼气产率 $3.20\text{L}/(\text{L}\cdot\text{d})$ 。具有应用价值。

3) 工艺参数 用UASB工艺常温处理混木薯加工废水时,适宜的进水 COD 浓度为 14000mg/L 左右;适宜的容积 COD 负荷率约为 $7.00\text{g}/(\text{L}\cdot\text{d})$;适宜的水力停留时间约为 2d 。

[参考文献]

- [1] Ambe J T, Foaguegue A. Cassava in the Cameroon[A]. Product Development for Roots and Tubers Crops[C]. 1993, 3: 35—39.
- [2] Barnes D, Fitzgerald P A. Anaerobic wastewater treatment processes[M]. In: Forster et al. (eds) Environmental Biotechnology, 1987.
- [3] Lettinga G. Anaerobic digestion and wastewater treatment system[J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 1995, 67: 3—28.
- [4] 国家环保局. 水和废水监测分析方法(第三版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [5] 中国科学院成都生物研究所. 沼气发酵常规分析[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1984.
- [6] 郑平, 冯孝善. 废物生物处理理论和技术[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 1997.

BIOTREATMENT OF CASSAVA-PROCESS WASTEWATER USING UASB

Zheng Ping¹, Hu Baolan¹, Deffu Soufo Herve Joel²

(1. Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

2. Department of Biochemistry, the University of Yaounde I, Yaounde 0738, Cameroon)

Abstract: An upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor was started up and operated to investigate its suitability for the treatment of wastewater from cassava process at room temperature. The results showed that the local temperature was relatively high and stable enough to successfully run the reactor. When volumetric COD loading rates of up to $7.00\text{g}/\text{L}\cdot\text{d}$ were applied, COD removal of greater than 90% and volumetric biogas production of $2.60\sim 3.95\text{L}/\text{L}\cdot\text{d}$ were achieved. During routine operation, the influent COD concentration should be kept lower than around $14,000\text{mg/L}$, HRT longer than 0.7 day and COD loading rate lower than $7.00\text{g}/\text{L}\cdot\text{d}$. The aerobic activated sludge could be used as an inoculum for anaerobic reactor.

Keywords: Anaerobic treatment; cassava process wastewater; UASB process

联系人 E-mail: Pzheng@zju.edu.cn