

厌氧折流板反应器处理豆制品废水的研究

陈洪斌

张国政 高廷耀

(同济大学环境工程学院 上海 200092) (西南师范大学 重庆 230715)

摘要: 本试验利用厌氧折流板反应器 (ABR) 中温处理豆制品废水, 对其启动过程和提高负荷运行过程进行了研究。试验表明, ABR 处理豆制品废水优势突出: 其启动过程快, 易培养出颗粒化的活性污泥; 稳定运行时, 容积负荷可达到 $14.3 \text{gCOD}/(\text{L} \cdot \text{d})$, COD 去除率能保持 80% 以上; 具有良好的抗冲击负荷和抗低 pH 的能力; MPN 计数表明不同时间、不同区段的三大类菌群呈现明显的规律性变化。

关键词: 厌氧折流板反应器, 豆制品废水, 厌氧处理, MPN 计数

Soybean Processing Wastewater Treatment with Anaerobic Baffle Reactor/Cheng Hongbing, Zhang Guozheng, Gao Tiyao (Environmental Engineering College of Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: A anaerobic Baffle Reactor (ABR) was used for soybean processing wastewater treatment. The result showed a quick starting up, and stable operation. Granulated active sludge could be obtained. The loading rate reached to $14.3 \text{g COD}/(\text{L} \cdot \text{d})$, and the COD removal rate was above 80%.

Keywords: ABR, Soybean, processing, Wastewater treatment.

1 前言

厌氧折流板反应器 (ABR) 是 80 年代初期开发的一种新型厌氧消化器。其结构特点是: 反应器被垂直设置的多块档板分隔成几个区段, 废水逐级经过各区段, 类似于几个串联的 UASB; 无三相分离器。80 年代以来, 国内外对其处理有机废水进行了一系列研

究^[1-6]。豆制品废水是豆制品生产与加工过程中产生的浸泡水和黄泔水的总称, 是一种典型的高浓度有机废水。其有机物含量高, 可生化性强, 对环境的污染大, 目前已有一些处理的报道^[7-9]。选择简单适用的 ABR 处理豆制品废水的研究未见报道。ABR 厌氧处理过程不同区段的微生物生态学规律也少见报道, 本试验利用 ABR 反应器中温处理豆制品

5 主要参考文献

- Mohn W W, Tiedje J M. *Microbiol. Rev.* 1992; 56 (3): 482
- Bhatnagar L et al. In *Mixed Culture Technology in Biotechnol.* Zeikus J G (Eds) McGraw-Hill Book Co. 1991
- Natarajan M R et al. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1996; 46: 673
- Wittich R M et al. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1998; 49: 489
- 徐向阳. 降解 PCP 厌氧颗粒污泥特性及其在受污染环境生物修复中应用的研究. 浙江农业大学博士学位论文, 杭州, 1997
- Khodadous R et al. *Wat. Environ. Res.* 1994; 66: 692
- Beudet R et al. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1998; 50: 135
- Riffat R et al. *Wat. Environ. Res.* 1998; 70 (4): 3 (共 40 余篇)

〔 本文收稿: 1998-04-21
修 回: 1998-06-30 〕

废水, 探索ABR 处理豆制品废水的特点, 进而研究其处理高浓度有机废水的工艺特征。

2 材料与方法

2.1 豆制品废水的性质

废水取自某豆制品厂的黄泔水, 其水质特征见表 1。其中 C N P= 100 4.7

0.18, 适宜微生物的生长。

2.2 试验系统和工艺流程

折流板反应器由有机玻璃制成, $29.7 \times 14.5 \times 14.0$ (cm³), 有效容积为 5L; 分三个区段, 每个区段距底部 3.0 cm 设污泥取样口。

试验系统工艺流程见图 1。

表 1 豆制品废水性质 (单位: mg/L)

项 目	COD _{cr}	BOD ₅	BOD ₅ /COD _{cr}	TKN	NH ₄ ⁺ -N	还原糖	SS	TP	pH
数 量	14672.3	8803.4	0.6	542.8	58.5	1043.0	957.4	21.0	5.0

注: 以上各值均为试验平均值。

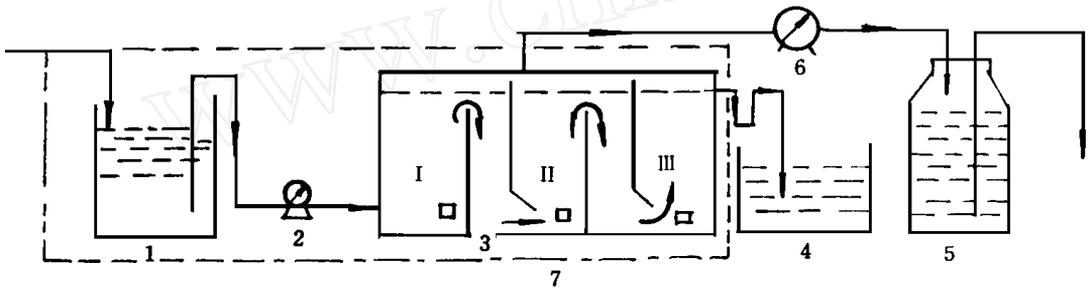


图 1 试验系统工艺流程图

1. 进水调节箱 2. 蠕动计量泵 3. ABR 反应器
4. 出水收集瓶 5. 排水集气瓶 6. 气量计 7. 恒温箱

废水经调节池调节 pH 后通过计量蠕动泵进入折流板反应器, 处理出水经 U 形水封后流入出水收集瓶, 气体从反应器顶管收集经湿式气体流量计进入排水集气瓶。

2.3 污泥接种

分别取试验室久置的厌氧污泥、停运半年的处理粪便废水的厌氧污泥和放置一年的处理豆制品废水的污泥共 2.5 升, 均匀放入三个区段。活性污泥的性质: $\rho = 1.032 \text{g/ml}$, 含水率 90.0%, $V_{SS}/SS = 0.408$, 灰黑色或黑色, 颗粒状或圆球状污泥约占 10% 以下。

2.4 研究分析方法

ABR 反应器温度控制在 35 ± 1 , 半连续方式进料, 以 NaHCO_3 调节 pH。正常运行时分别于进水调节箱和出水收集瓶取进出水水样; 气体含量分析取自集气瓶; 活性污泥

样品取自反应器污泥取样口。每日测试 pH 和产气量, COD_{cr} 和 BOD₅ 每周分析两次; SS, TKN, NH₄⁺-N, TP 和 CH₄ 含量每半月分析一次。分析方法与文献 [10] 同。活性污泥样品厌氧条件下玻璃珠振荡半小时后 MPN 计数三大类菌群数目, 每个稀释度重复三管, 培养基和操作方法与文献 [11] 同。

3 结果与讨论

3.1 ABR 反应器的启动

本试验采用低负荷高去除率启动方式驯化和培养颗粒化活性污泥, COD 负荷范围在 $0.72 \sim 1.97 \text{g COD}/(\text{L} \cdot \text{d})$ 。经过五十多天, 反应器内形成大量密实、亮黑色的颗粒污泥, COD 去除率和废水产气率都很高。启动过程的变化见图 2, 图 3。随着启动时间的增加,

出水 COD 浓度下降很快, COD 去除率达 95% 以上; 第五十六天时, 产气量达 3.7 L/d, 废水产气率上升到 7.42 L/(L · d), 每去除 1 g COD 产生甲烷 0.325 L。表明启动顺利完成, 可提高负荷运行。

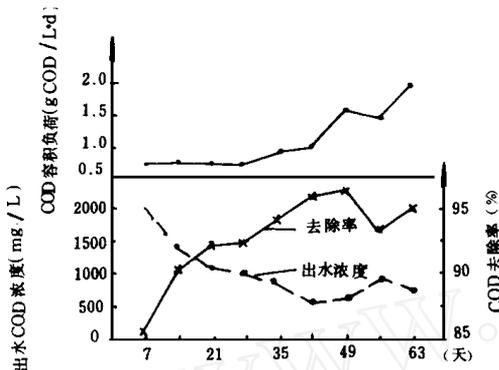


图 2 出水浓度, COD 去除率, COD 容积负荷随启动时间的变化

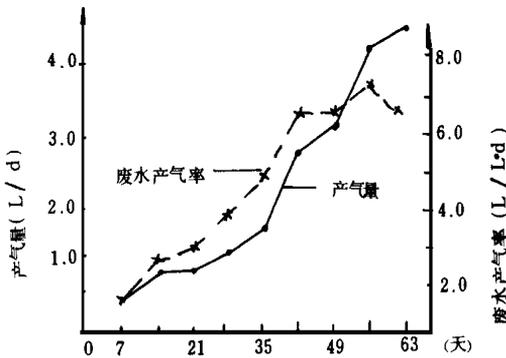


图 3 产气量, 废水产气率随时间的变化

第六十天时, 从 I, II, III 区段取出活性污泥分析。第 I 段污泥颗粒化程度达到 50% 左右, 颗粒污泥直径 1.0 mm, 亮黑色或灰黑色, 颗粒状或球状, 边缘有丝状突出, $\rho = 1.062\text{g/cm}^3$, $V_{SS}/SS = 0.67$; 第 II, III 段污泥颗粒化程度达到 30% ~ 40%, 直径一般 0.5 mm 左右, $\rho = 1.056\text{g/cm}^3$, $V_{SS}/SS = 0.58$ 。荧光显微镜下可见丝状体和球状体发出荧光, 属于产甲烷丝状细菌和甲烷球菌。

启动过程说明 ABR 处理豆制品废水具有启动快, 容易培养颗粒化活性污泥的特点。

3.2 增大负荷运行期

逐渐提高 COD 容积负荷, 同时减少水力停留时间, 运行过程的变化见图 4, 图 5。由图可见, COD 容积负荷逐渐增大时, COD 去除负荷也相应增加, COD 去除率下降较慢。COD 容积负荷和 COD 去除负荷可回归成直线 $Y = 0.82x + 0.486$, t-检验在 0.01 水平上测试数据与直线吻合度很高。当容积负荷达到 14.3 g COD/(L · d) 时, COD 去除率为 80.7%, COD 去除负荷达 11.50 g COD/(L · d)。继续增大容积负荷到 15 g COD/(L · d) 以上时, ABR 开始出现不稳运行, COD 去除率低于 80%, 出水 pH 小于 7.3, 有污泥上浮的现象。ABR 处理豆制品废水的产气性能良好, 随着进料量增加, 产气量几乎呈直线上升, 最高达到 33 L/d, 废水产气率则高达 10.2 L/(L · d), 甲烷含量在 55% ~ 60% 之间。

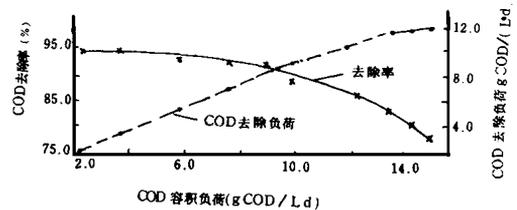


图 4 COD 去除率, 有机去除负荷随容积负荷的变化

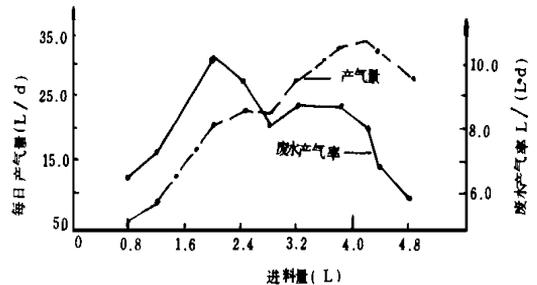


图 5 产气量和废水产气率随进料量的变化

3.3 低 pH 对 ABR 处理豆制品废水的影响

提高负荷运行时, 进水 pH 调节范围在 6.0 ~ 7.3, 出水 pH 均可保持在 7.5 ~ 7.7 之间。为试验 ABR 对低 pH 的耐受力, 选择容

积负荷 5.4 g COD/(L · d) 和 7.0 g COD/(L · d) 分别运行半月, 与同样条件下调节 pH 的工况进行比较得到表 2。未调 pH 的工况 COD 和 BOD₅ 去除率与调节 pH 后的工况结果相同, 且运行中无任何不稳定状况, 处

理后的出水 pH 可保持在 7.3 左右。不同的是未调节 pH 的工况下, 产气量、废水产气率均高于后者, 但 CH₄ 含量为 41% ~ 45%。分析认为 ABR 对低 pH 环境的适应是以类似于两相厌氧发酵的方式来实现的。

表 2 pH 对 ABR 处理豆制品废水的影响

项目	进料量 (L/d)	容积负荷 (gCOD/L · d)	pH		COD (mg/L)			BOD ₅ (mg/L)			产气状况			有机去除负荷 (gCOD/L · d)
			进水	出水	进水	出水	去除率	进水	出水	去除率	日产气量 (L/d)	废水产气率 (L/(L · d))	CH ₄ 含量 (%)	
未调 pH	2.0	5.40	4.5	7.3	13501	956	92.9	9827	450	95.4	21.6	10.78	45.0	5.0
	2.4	7.00	3.5	7.3	14501	1201	91.7	10345	518	95.0	30.5	12.69	40.7	6.38
调节 pH	2.0	5.87	6.5	7.4	14672	1070	92.7	9056	382	95.8	20.4	10.19	52.0	5.44
	2.4	7.56	6.8	7.5	15741	1164	92.6	7431	420	94.3	22.6	9.41	55.0	7.00

3.4 ABR 对 SS 的去除

提高负荷运行期, 平均进水 SS 浓度为 957 mg/L, 出水 SS 浓度平均为 151 mg/L, 去除率达到 84.2%, 与同时运行的 UASB 反应器处理豆制品废水中的 SS 去除情况相近。ABR 虽无三相分离器, 但悬浮物逐段经过污泥层时被吸附和沉降。一系列生化反应对废水中胶体的脱稳作用, 因此处理出水较清澈, 对 SS 的去除效果良好。说明 ABR 对含较高浓度的悬浮物的废水有较好的适应性。

4.5 不同时间, 不同区段菌群在反应器内的数量分布和变化

分别于污泥接种时、启动过程第四十五天和第一百六十天时取厌氧活性污泥, 一部分进行物化分析, 另一部分进行三类菌群计数。MPN 计数结果见表 3。接种污泥含少量颗粒状污泥, 故三类菌群数量较低。第四十五天时反应器容积负荷为 1.57 g COD/(L · d), COD 去除率达 96.9%; 三个区段污泥均有部分颗粒化, 其中第一段达 40% 以上, 污泥密实, 沉降性好, $\rho = 1.050 \sim 1.055 \text{ g/cm}^3$, $V_{SS}/SS = 0.55 \sim 0.60$, 三类菌群数目上升 $10^1 \sim 10^2$ 倍, 分别达到 10^9 , 10^6 , 10^6 个/mL。第一百六十天时, 反应器的容积负荷为 9.92 g COD/(L · d), COD 去除率 88.1%, 废水

产气率 8.52 L/(L · d), 三个区段的污泥颗粒化程度达到 60% 左右, 直径 1mm 以上, $\rho = 1.062 \text{ g/cm}^3$ 。三类菌群数目达到 10^{12} , $10^8 \sim 10^9$ 和 $10^8 \sim 10^9$ 个/mL。说明随时间推移, 颗粒化活性污泥的形成和高效的处理能

表 3 三类菌群不同时间、不同区段计数 (个/mL)

时 间		酵解菌群	产氢产乙酸细菌群	产甲烷细菌群
第 0 天	接种污泥	0.9×10^7	0.4×10^5	2.5×10^5
第 45 天	I	4.5×10^9	1.5×10^7	4.0×10^7
	II	1.7×10^9	1.6×10^6	2.5×10^6
	III	0.75×10^9	0.9×10^6	2.5×10^6
第 60 天	I	2.6×10^{12}	0.4×10^9	0.35×10^9
	II	1.1×10^{12}	1.1×10^9	0.6×10^9
	III	0.4×10^{12}	0.4×10^9	1.1×10^9

力是三类细菌群数量平稳增长的结果。对不同区段各类菌群的比较可知: 低负荷时第 I 区段三类菌群的数量明显多于后两个区段, 说明废水中有机物的去除主要在第 I 区段, 表现出推流式反应器的特点; 负荷如大于 10 g COD/(L · d) 时, 第 I 区段的酵解细菌群数量最多, 产甲烷细菌群数量最多出现于第 III 区段, 形成了类似两相厌氧发酵的特点。

5 结论

(1) 折流板反应器处理豆制品废水具有

启动快、去除率高、易培养颗粒污泥的特点。

(2) 容积负荷增大时, ABR 运行稳定, 抗冲击负荷能力强; COD 去除率保持 80% 以上时, 容积负荷可达到 14.3 g COD/(L · d), 其产气性能良好。

(3) MPN 计数表明不同时间、不同区段三类菌群数量呈规律性的变化; ABR 对低 pH 和高 COD 负荷的适应通过类似两相发酵的方式实现。

(4) ABR 处理高浓度废水具有结构和工艺上的优点, 适宜在我国的推广应用。

6 参考文献

- 1 Mccarty. Perry. *Water Res.*, 1985; 19 (1) 99~ 106
- 2 Brown. Kinn, Paul. F. *Water Wastewater Assoc. Int Conv.* 1985; 426~ 433
- 3 A. GroBick. In: *Fifth International Symposium on Anaerobic Digestion.* 1988; 267~ 272
- 4 Boopathy. R. Larsen, Senior E. *Biomass* 1988; 16 (2): 133~ 143
- 5 周鉴良, 李成. *上海大学学报*, 1991; 25 (5): 101~ 105
- 6 张国政等. *农业工程学报*, 1994; 10 (4): 108~ 112
- 7 刘双江, 胡纪萃. *中国给排水*, 1992; 8 (1): 18~ 20
- 8 秦麟源. *环境污染与防治*, 1988; 3: 7~ 10
- 9 梁家源. *生物工程学报*, 1991; 7 (4) 365~ 371
- 10 中科院成都生物所. *沼气发酵常规分析*. 北京科学出版社, 1991
- 11 杨秀山. *产甲烷菌的研究方法与分类*. 北京师范学院出版社, 1991

(本文收稿: 1998- 04- 21, 修回: 1998- 09- 15)