

文章编号:1001-5132 (2008) 03-0413-05

酵母菌-SBR 系统处理高含油废水中曝气时间优化

刘 英, 吕文洲, 黄亦真

(宁波大学 建筑工程与环境学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 在酵母菌-SBR 系统处理高含油废水过程中, 研究了不同曝气时间与污染物降解效果、溶液 pH、Zeta 电位、氮磷利用率以及酵母絮体粒径的关系, 确定了系统运行的适宜曝气时间为 8~12 h; 在此条件下 100 d 的连续废水处理实验获得了高效、稳定的运行; 通过对表观、实际油去除率以及反应过程中酵母絮体粒径的变化分析, 表明了酵母菌降解高含油废水过程包括快速吸附、降解及稳定化 3 个阶段。

关键词: 酵母菌; 含油废水处理; 曝气时间; Zeta 电位; 粒径

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

油脂碱炼废水主要来自油脂精炼厂碱炼工序的洗出水。由于废水中含有大量油酸、脂肪酸以及在中和过程中常加入硫酸, 使得厌氧技术的应用受到了限制^[1-3]。目前, 物理化学方法预除油后接生物处理是降解油脂废水最重要的工艺^[4,5], 但这些工艺往往存在处理单元多^[6,7]、废油废渣处置困难等问题; 而且传统生物法产生的大量剩余污泥的处理问题也令人堪忧。

酵母废水处理系统是以能高效降解废水中特定污染物的功能酵母菌群为微生物主体和技术核心的一种新型生物强化废水处理技术。20 世纪 90 年代, 日本西原环境卫生研究所率先提出该技术并应用于油脂废水、食品废水、海产品废水等废水处理工程^[8]。随后, 国内也相继开展了相关研究^[9-11]。但目前国内对此技术的研究尚处初级阶段, 多数的研究仍停留在菌株摇瓶培养试验或者条件试验的水平^[12-14]。由于该技术的发展历史短, 对于废水处理

运行中的重要参数, 没有可供参考的经验数据, 必须通过实验加以确定。

在废水处理中, 曝气时间关系到废水处理运行的效率、处理成本以及系统的稳定性。本研究将前期筛选到的 10 株功能酵母菌应用于 SBR 系统中处理高含油废水, 从废水处理效果、出水 pH 与 Zeta 电位、氮磷利用率以及酵母絮体的粒径等方面综合评价, 确定了酵母菌-SBR 系统处理高含油废水中的最优化曝气时间参数, 为酵母菌技术的工程应用提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 酵母菌-SBR 系统

连续废水处理试验在图 1 所示的 SBR 反应器中进行。反应器主体为圆柱状有机玻璃容器, 有效体积 22.8 L。内置在线 pH 监测控制仪、在线 DO

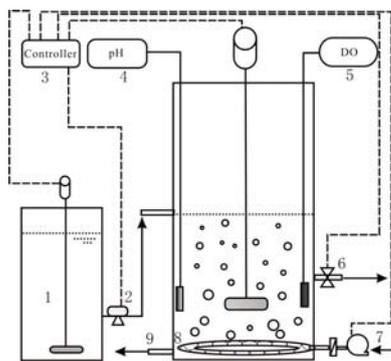
收稿日期: 2008-03-05.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目: 浙江省自然科学基金(Y507701); 浙江省教育厅科研项目(20070970); 宁波市工业攻关项目(2006B100071); 宁波市自然科学基金(2007A610057); 宁波大学科研基金(XY0600058)。

第一作者: 刘 英(1977-), 女, 陕西宝鸡人, 硕士/讲师, 主要研究方向: 废水处理. E-mail: liuying1@nbu.edu.cn

监测仪. 连续运行的周期动作由程序控制器自动完成. 预先将高含油废水进行稀释, 配制成一定 COD 浓度并储存于进水池中, 由电磁计量泵注入 SBR 反应器.



1.进水池 2.电磁计量泵 3.程序控制器 4.在线 pH 计 5.在线 DO 仪 6.出水口 7.空压机 8.曝气器 9.排泥口

图 1 酵母菌-SBR 废水处理装置

1.2 酵母菌菌株

本研究使用 10 株功能酵母菌, 其中包括: 由含油废水现场筛选到的 5 株酵母菌, 分别是 *Candida utilis*, *Candida boidinii* Ramirez, *Candida tropicalis*, *Rhodotorula rubra* (Demme) Lodde, *Trichosporon cutaneum*; 3 株具有潜在油降解能力的商业菌株: *Candida lipolytica*, *Candida intermedia*, *Candida pseudolambica*; 2 株从味精废水中筛选到的耐高盐、耐高渗酵母菌菌株: *Candida halophila* 和 *Trichosporon asteroides*. 混合菌株先经扩大培养, 待获得足够菌体后停止培养, 进行实验.

1.3 实验设计

扩大培养获得的酵母菌, 按照 MLSS 为 $6000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 计算后加入 SBR 反应器, 连续曝气运行 24 h. 运行中控制曝气量, 使反应器中的溶解氧维持在 $0.5 \sim 1.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 运行开始前反应器的 pH 调节到 5. 浓缩废水经过自来水稀释为 COD 为 $12060 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 投加 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 KH_2PO_4 调整废水的 COD/N/P 为 250/5/1. 从曝气开始, 每隔 4 h 对混合液的 pH、酵母 SVI、实际油去除率(考虑到酵母菌对油的吸附作用, 取曝气中的混合液进行测定求出油去除率)、表观油去除率(取混合液静止沉降 2 h 测定求出的

油去除率, 表观 COD 类同)、酵母菌絮体粒径、表观 COD 去除率、Zeta 电位进行测定.

1.4 优化条件下的废水连续处理

在前期条件实验以及预实验的基础上, 确定了相关参数的优化值. 在此条件下, 对酵母菌-SBR 系统处理高浓度含油废水的连续运行效果进行了为期 100 d 的考察. 连续运行在图 1 所示的 SBR 反应器中进行. 一个运行周期分为进水期(1 h), 曝气时间(9 h, 边进水边曝气), 静置期(2.5 h), 排水期(0.5 h). 排水比 1/2. 其他运行控制条件见表 1.

表 1 酵母菌-SBR 系统运行条件

进水 COD/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	进水油/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	BOD ₅ /N/P	pH
9 500~24 000	3 300~14 000	100/5/1	5.0
BOD ₅ 负荷/($\text{kg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$)	DO/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	曝气时间/h	SRT/d
<1.0	0.5~2.0	9	40

1.5 项目分析及仪器

COD 采用承德华通公司 CTL-12 型 COD 快速测定仪; BOD₅ 测试采用德国 OxiTop 呼吸式 BOD₅ 测定仪; pH 采用 HM-14 便携式 pH 测定仪; 其他指标测定方法^[15]: 总氮(TN)测定采用 GB 11894-89 紫外分光光度法; 总磷(TP)测定采用 GB 11893-89 分光光度法; 含油量(Oil)采用重量法, 采用沸程 30~60 的石油醚萃取; 酵母絮体的粒径测定, 采用激光粒度分析仪(Mastersizer 2000), Zeta 电位测定采用 Zeta 电位测定仪(Zetasizer 2000).

2 结果与讨论

2.1 曝气时间与废水处理效果

图 2 为 24 h 连续处理过程中, 废水中污染物的降解效果以及污泥容积指数(SVI)的变化情况. 这里我们引入了表观去除率的概念, 以反映上清液中污染物的去除效果. 可以看出在 0 h 时, 也就是在 SBR 中加入新一批废水时, 由于排水比采用 1/2, 所以油和 COD 理论上稀释了 1 倍, 浓度下降到进水的 1/2. 但此时, 测定的 COD 和油的表观去除率

均高达97%以上.这一现象表明,当新一批废水进入系统后,在系统中首先发生了酵母菌对废水中有机污染物,特别是甘油酯以及脂肪酸的快速吸附作用,从而使上清液中污染物浓度大幅降低.

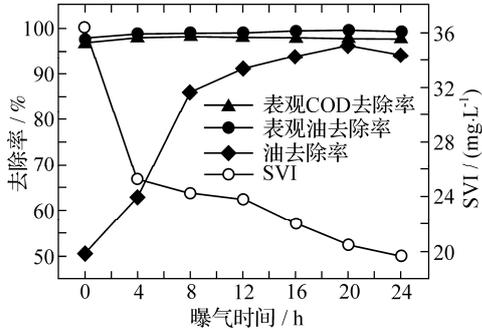


图2 曝气时间与废水处理效果以及SVI的关系

为了反映酵母菌对油的实际去除效果,引入了实际去除率.由图2可以看出,油去除率在曝气到8h时,降解效果趋于稳定,12h后增加则更加缓慢.从废水处理运行的效率上讲,曝气时间选择8~12h比较合适.图2中SVI的变化趋势是在逐渐降低,在起初的4h内,有一个快速的下降过程,之后变化幅度减小,在8~12h基本稳定保持在25 mL·g⁻¹左右,该值可以保证混合液中酵母菌迅速沉降,从而实现泥水分离.

2.2 曝气时间与出水pH和Zeta电位

图3记录了在24h的曝气中出水pH以及Zeta电位的变化.可以看出,随着反应的进行,混合液的Zeta电位迅速上升,而pH在不断下降.曝气8h后pH稳定在2.5左右,而Zeta电位到达-1mV.此后Zeta电位上升速度缓慢,至12h后接近0mV. Zeta电位反映了系统出水中悬浮酵母细胞的电荷

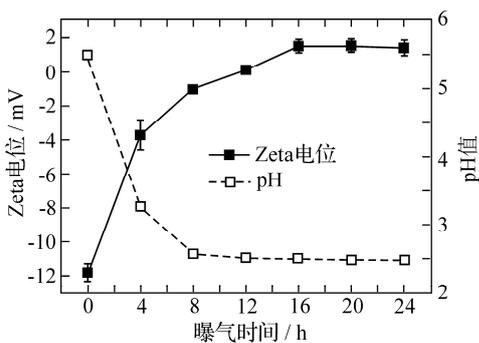


图3 曝气过程中出水pH和Zeta电位的变化

特性.看到曝气8~12h时酵母表面带电量很少,趋于电中性,此时酵母菌细胞间排斥力最小,有利于酵母菌的絮凝、沉淀,从而保证系统的运行稳定.

2.3 曝气时间与氮、磷的利用

在本实验中进水COD约为12060 mg·L⁻¹,通过测定,废水中N极端贫乏,但含磷量约90 mg·L⁻¹,根据该废水BOD/COD=0.4的关系,废水BOD/P=54/1,从这个角度来看,P含量远超过微生物生长的要求(一般要求BOD/P=100/1).但是,实验结果表明,不加磷处理该废水时会导致处理效果降低,酵母菌生长缓慢,并在反应器中形成大的油粒(图4).因此,在本实验中,不考虑废水中含有的氮和磷,而按BOD/N/P=100/5/1比例投加氮磷.



图4 磷投加不足时运行系统中出现的大颗粒油团

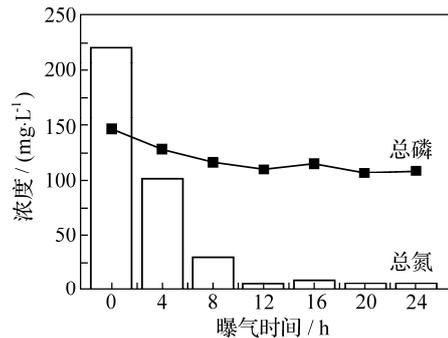


图5 曝气过程中氮磷的利用

图5显示了氮磷的利用情况.可以看出,在8~12h时N基本被利用,出水中N仅为5 mg·L⁻¹左右;相比之下,磷利用率不高,在曝气8~12h时磷含量不再下降,此时,出水中P含量约为110 mg·L⁻¹,而被利用的P约为25 mg·L⁻¹,相当于投入磷利用了大约50%.所以,在连续运行中可以考虑投加磷的比例为BOD/P为200/1.但为了系统运行的稳定

以及避免测定废水 COD 的偏差而导致缺磷, 连续运行一般投加磷为 $BOD/P = 100/1$. 废水中存在的磷元素主要来自色拉油的加工原料——大豆, 其主要存在形态可能是磷脂等大分子有机物, 这种形态难以被微生物利用. 这可能是在废水中磷含量较高但还需要补充磷酸盐的主要原因.

2.4 曝气时间与酵母絮体粒径变化

实验中对系统中颗粒物的粒径分布随曝气时间的变化进行了分析, 结果如图 6 所示. 可以看出, 在废水刚加入的 0 h 形成的絮体粒径最大, 大概为 $95 \mu\text{m}$. 随着曝气时间的增加, 粒径迅速下降, 至 8 h 时粒径为 $30 \mu\text{m}$, 到 12 h 之后粒径稳定在 $25 \mu\text{m}$ 左右. 在废水刚刚加入反应器时, 形成了颗粒状的絮体并在停止曝气的瞬间迅速沉降到反应器的底部, 而此时的上清液已经非常澄清, 这说明系统中酵母和废水中污染物有很好的亲和力, 酵母菌包围在污染物特别是油滴周围, 形成了较大的颗粒. 当油滴被降解完全之后, 剩下的主要絮体组成是酵母菌细胞. 在系统中使用的酵母菌单细胞大小在 $5 \mu\text{m}$ 左右, 平均粒径为 $20 \sim 30 \mu\text{m}$ 的结果表明, 此时酵母菌是以若干个细胞聚集体的方式存在的. 通过对此时混合液中酵母菌的显微观察也证实了这一点.

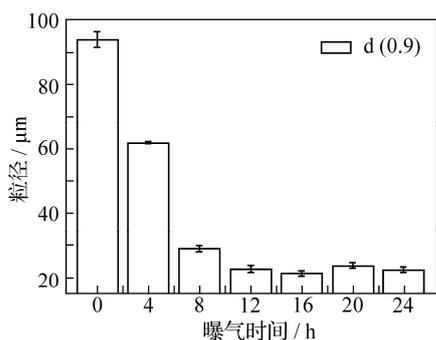


图 6 曝气过程中混合液中颗粒物粒径的变化

2.5 优化条件下的连续废水处理效果

由图 7 可看出, 在长达 100 d 的运行中, 当进水 COD 浓度为 $9\,500 \sim 240\,00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 油为 $3\,300 \sim 14\,000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, COD 和油的去除率分别达到了 $88.9\% \sim 97.5\%$ 和 $93.4\% \sim 99.9\%$, 表现出了良好的污染物去除效率, 同时系统运行稳定. 可见, 选取

9 h 的曝气时间是合适的.

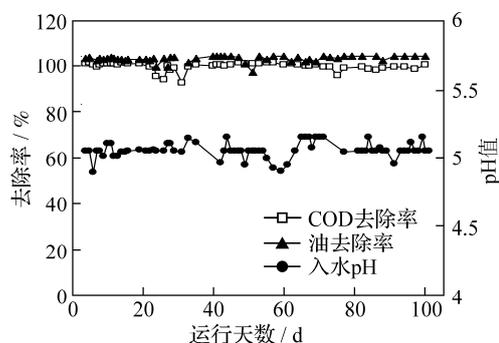


图 7 连续运行 100 d 废水处理效果以及进水 pH 值

2.6 酵母菌处理高含油废水的过程

根据以上的分析, 酵母菌处理含油废水的过程可以概括为 3 个阶段: (1)快速吸附, 这一过程几乎是瞬间完成. 在每一周期的换水过程中可以明显看到, 当加入新废水时, 酵母菌吸附废水中的污染物, 立即形成较为蓬松的颗粒状絮体, 并迅速沉降; (2)污染物快速降解, 在 4~8 h 为快速污染物降解期. 此阶段酵母菌将吸附在其周围的油脂或者脂肪酸迅速降解, 随着比重较轻的油脂成分的降解, 絮体变小或者出现更多的单细胞酵母菌, 酵母菌沉降性改善; (3)酵母细胞的稳定化阶段. 在这一阶段, 污染物降解减缓, 絮体减小, 沉降性进一步改善, 为下一个周期的快速吸附提供条件.

3 结论

(1) 当进水 COD 浓度为 $12\,000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右时, 酵母菌-SBR 处理高含油废水的适宜曝气时间为 8~12 h.

(2) 在 9 h 曝气条件下 100 d 的连续废水处理实验获得了高效、稳定的运行, COD 和油的去除率分别达到了 $88.9\% \sim 97.5\%$ 和 $93.4\% \sim 99.9\%$.

(3) 酵母菌降解高含油废水的过程分为快速吸附-降解-稳定化 3 个阶段.

参考文献:

- [1] 刘精今, 陈竹新, 杨麒. 我国植物油脂废水常规生物处理技术研究进展[J]. 中国油脂, 2004, 29(3):66-69.

- [2] 刘妮妮, 刘昆元, 王璋, 等. 油脂废水的处理技术[J]. 中国油脂, 2003, 28(5):80-82.
- [3] Angelidaki I, Ahring B K. Effects of free long-chain fatty acids on the thermophilic anaerobic digestion[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 1992, 37:808-812.
- [4] Pandey R A, Sanyal P B, Chattopadhyay N, et al. Treatment and reuse of wastes of a vegetable oil refinery[J]. Resour Conserv Recy, 2003, 37(2):101-117.
- [5] Zouboulis A I. Treatment of oil-in-water emulsions by coagulation and dissolved-air flotation[J]. Colloid Surface, 2000, 172(1-3):153-161.
- [6] 傅光. 物化 - 生化工艺处理油脂废水工程实例[J]. 中国油脂, 2004, 29(12):74-75.
- [7] 王浙明, 史惠祥, 汪大翠. A²/O 生物膜法在油脂厂废水处理中的应用[J]. 污染治理技术, 2000, 13(2):99-101.
- [8] Chigusa K, Hasegawa T, Yamamoto N, et al. Treatment of wastewater from oil manufacturing plant by yeasts[J]. Water Sci Technol, 1996, 34:51-58.
- [9] 吕文洲, 杨敏, 郑少奎, 等. 酵母菌处理系统中丝状菌性膨胀的诱因及控制研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(增刊):60-64.
- [10] 关艳丽, 任大明. 酵母菌对高浓度味精废水的处理条件研究[J]. 生物技术, 2006(2):76-78.
- [11] 郑少奎, 杨敏, 刘芳. 利用酵母菌处理色拉油加工废水连续小试初探[J]. 中国环境科学, 2001, 21(4):347-350.
- [12] 宋凤敏, 呼世斌, 刘音. 酵母菌处理皂素生产废水的研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, 5(4):66-69.
- [13] 吴兰, 罗玉萍, 李思光, 等. 解脂耶氏酵母处理含油废水的工艺条件[J]. 南昌大学学报: 理科版, 2006, 30(4):379-382.
- [14] 孙玉红, 吕文洲, 高静, 等. 不同 pH 条件下酵母菌处理高含油废水的研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(9):94-98.
- [15] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.

Optimization of Aeration Time in Treating High-strength Oil-containing Wastewater by Yeast-SBR System

LIU Ying, LÜ Wen-zhou, HUANG Yi-zhen

(Faculty of Architectural Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Ten yeast strains are applied into a SBR system to treat high-strength oil-containing wastewater. The relationships are investigated between aeration time and removal rate of pollutants, solution pH, Zeta potential, utilization ratio of nitrogen and phosphorus, and diameter of yeast floc. The results show that the optimized aeration time for the system is in a range of 8~12 h, in which the more stable and efficient system operation is achieved. Based on the analytical results drawn from appearance, oil removal rate and change in diameter of yeast floc, it suggests that the rapid adsorption, degradation and stabilization are included in the degradation of oil-containing wastewater by yeasts.

Key words: yeast; oil-containing wastewater treatment; aeration time; Zeta potential; floc diameter

CLC number: X703.1

Document code: A

(责任编辑 史小丽)