

# 厌氧/接触氧化处理高盐腌制废水的工艺优化

尤 涛

(辽宁省环境科学研究院, 辽宁沈阳 110031)

[摘要] 采用厌氧/生物接触氧化工艺,以不同污泥作为菌源进行驯化对比研究;考察盐度和溶解氧对好氧和厌氧处理能力的影 响。研究表明,制药厂污泥中的微生物适应能力较强;盐度由 10 000 mg/L 提升到 20 000 mg/L 时,对工艺运行的影响较小,厌氧和好氧代谢能力呈现缓慢下降的趋势,且厌氧处理效果受盐度影响较大;当盐度不高于 13 000 mg/L,进水 COD 不大于 3 000 mg/L 时出水水质达到该行业排入污水处理厂的排放标准。

[关键词] 高盐废水;驯化;厌氧;接触氧化;腌制废水

[中图分类号] X703.1 [文献标识码] A [文章编号] 1005-829X(2013)02-0051-04

## Optimization of anaerobic-contact oxidation combined process for treating pickle wastewater with high salinity

You Tao

(Liaoning Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110031, China)

**Abstract:** The anaerobic-contact oxidation combined process has been used. Two kinds of activated sludge as carbon sources are domesticated and contrasted by anaerobic-contact oxidation combined process. The effects of salinity and dissolved oxygen on the treating capability of aerobic and anaerobic are investigated. The research results show that the adaptability and efficiency of microorganisms in activated sludge from pharmaceutical factory is stronger. Increasing the salinity from 10 000 mg/L to 20 000 mg/L has little influence on process running, and the anaerobic and aerobic metabolic capability decreases slowly, and salinity has greater influence on anaerobic treatment efficacy. When salinity is below 13 000 mg/L and initial COD below 3 000 mg/L, the effluent quality indexes meet the requirements of the Second Grade of Liaoning Wastewater Pollutant Discharge Standard (DB 21/1627—2008).

**Key words:** wastewater with high salinity; domestication; anaerobic process; contact oxidation process; pickle wastewater

在国内农副食品加工行业中,酱腌制行业在最近几年中快速发展,但是腌制废水具有盐度大、有机污染物浓度高等特点,以前,多采用物理化学工艺处理高盐废水。例如:电絮凝<sup>[1-2]</sup>、吸附<sup>[3]</sup>和反渗透<sup>[4]</sup>,但由于投资成本高、运行费用高,还有二次污染的风险,工程应用困难较大。此外,新型耐盐菌和嗜盐菌的筛选、开发使之成为处理含盐废水的一种技术手段<sup>[5-6]</sup>,但由于添加耐盐菌后破坏原有的微生物群落结构,不具备长效的稳定性,需要周期性添加,增加运行成本。因此,结合目前先进的耐盐微生物驯化方法和生化处理工艺,建立稳定高效的耐盐微生物群落结构的污水处理工艺是解决高盐废水污染的重点。目前,国内外已有学者尝试将 SBR<sup>[7]</sup>、生物流

池<sup>[8]</sup>、UASB<sup>[9]</sup>等成熟的污水处理工艺应用到高盐废水处理领域,获得了一些宝贵的经验和研究成果,为后续的研究奠定了基础。

经调查分析,蔬菜腌制废水中的主要污染物分为两大类:水溶性和非水溶性成分。水溶性成分主要包括糖类、果胶、有机酸、水溶性纤维素、水溶性色素、酶、部分含氮物质和矿物质;非水溶性物质主要包括纤维素、半纤维素、木质素、原果胶、淀粉、色素、矿物质和有机酸盐等<sup>[10]</sup>。除部分色素和纤维素属于难降解成分外,其他污染物都具有较好的可生化性。

生物接触氧化法兼有活性污泥法及生物膜法的特点,池内具有较高的容积负荷〔可达 2.0~3.0 kg/(m<sup>3</sup>·d)〕,另外接触氧化工艺不需要污泥回流,无

污泥膨胀问题,运行管理较活性污泥法简单,对水量水质的波动有较强的适应能力,适用于含盐有机废水的处理。

笔者采用厌氧—生物接触氧化复合工艺处理成分复杂的实际腌制废水<sup>[11-12]</sup>。考察不同菌源、溶解氧、盐度等因素对 COD 处理效果的影响。研究工艺的可行性及存在的问题,为工艺的进一步改进和耐盐微生物的群落结构分析和构建提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

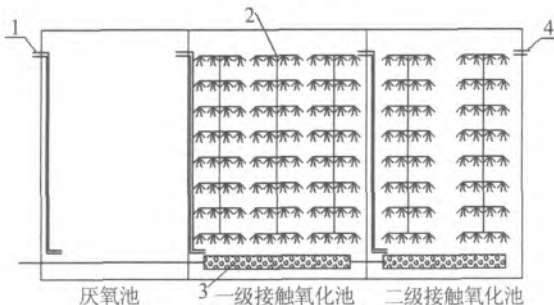
腌制废水来源于某腌制食品加工有限公司的排污口,其主要水质指标为:COD 4 200~6 250 mg/L、NH<sub>3</sub>-N 30~50 mg/L、盐度(NaCl) 20 000~27 000 mg/L、pH 4.5~5。

初始菌源:A—某制药厂提供的耐盐污泥(盐度为 3 000 mg/L);B—辽宁省环境科学研究院生活污水实验处理装置中的活性污泥。

处理装置:由辽宁省环境科学研究院自行设计加工,工艺流程如图 1 所示,实验设备主要结构如图 2 所示,工艺参数如表 1 所示。

进水→格栅→调节池→厌氧池→接触氧化池→沉淀池→出水

图 1 工艺流程



1—进水口;2—组合填料;3—曝气装置;4—出水口。

图 2 实验处理装置

表 1 设备尺寸及工艺运行参数

| 工艺                        | 厌氧池         | 一级接触氧化池     | 二级接触氧化池     |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 设备尺寸                      | 260×210×500 | 260×210×500 | 215×210×500 |
| 有效容积/L                    | 12          | 12          | 9           |
| 停留时间/h                    | 16          | 16          | 12          |
| 溶解氧/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 0.8         | 4~7         | 4~7         |

注:处理规模为 18 L/d;采用组合式软性填料。

### 1.2 分析方法

COD:取水样,离心去除悬浮物,用稀释法和 HgSO<sub>4</sub> 隐蔽排除 Cl<sup>-</sup> 干扰,再用重铬酸钾法(GB/T 11914—1989)分析 COD 指标。

盐度(NaCl):取水样,离心去除悬浮物,使用美国哈希公司 HQ40d 系列多参数数字化分析仪测试水中盐度。

pH:取水样,离心分离,取上清液,用美国哈希公司 HQ40d 系列多参数数字化分析仪得水的酸碱度。

BOD<sub>5</sub>:取水样后离心,取上清液过滤,用稀释与接种法(GB/T 7488—1987)分析滤液的 BOD<sub>5</sub>。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 盐度梯度逐级驯化

驯化采用逐级提升盐度的驯化方法。废水取自某腌制食品加工工厂的生产废水,初始污泥分别选择用某制药厂耐盐污泥和一般活性污泥。

分别通过稀释原水的方法配制成不同盐度的多个等级的进水。相应的水中 COD 也发生变化。

每一级驯化采用连续进水方式,初始时各单元中废水水质相同,每天监测一次缺氧池和二级接触氧化池出水的 COD,直至 COD 稳定(COD 的变化小于 100 mg/L)。

### 1.3.2 pH 的单因素考察

在保持进水水质和水量不变的情况下,调整进水 pH 进行实验研究,每隔 24 h 取样分析,待运行稳定后,选取水质参数作为参考,考察 pH 对废水处理效果的影响及处理过程中废水 pH 的变化情况。

### 1.3.3 盐度的单因素考察

利用稀释后盐度为 10 000 mg/L,COD 为 2 700 mg/L 的腌制废水,分别加入不同量的 NaCl,配制成 COD 为 2 700 mg/L,不同盐度的模拟废水,该系列废水中,污染物的成分和浓度均相同。将不同盐度的废水按先后顺序逐一通入处理装置中,待运行稳定后,监测厌氧池和二级接触氧化池出水的 COD。考察盐度对反应器运行效果的影响。

### 1.3.4 停留时间的单因素考察

在保持进水盐度为 20 000 mg/L,COD 为 4 150 mg/L 不变的情况下,逐渐调整进水流量(Q),使停留时间逐步增大,考察腌制废水 COD 去除率的变化情况。

## 2 结果与讨论

### 2.1 耐盐微生物体系的选择

以不同污泥为接种源驯化后的耐盐微生物体系对腌制废水 COD 的去除情况如表 2 所示。在相同盐度和驯化方法下对两种不同污泥驯化 5 个周期,共 45 d 后,监测 COD 的变化。由表 2 可见,体系 A 的

COD 去除率在各种盐度条件下都高于体系 B。由于实验中其他条件均相同,可以推断 COD 去除率差异主要是由两种微生物体系的群落结构差异造成的;制药厂污泥由于长时间处理 3 000 mg/L 盐度的污水,其中的微生物具有了一定的耐盐性,较体系 B 有一定优势。因此,后续研究主要围绕体系 A 展开。

表 2 微生物 A、B 体系处理效果

| 盐度/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 微生物 A 体系                         |           | 微生物 B 体系                         |           |
|------------------------------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
|                              | 出水 COD/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 去除<br>率/% | 出水 COD/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 去除<br>率/% |
| 10 000                       | 350                              | 87        | 442                              | 84        |
| 13 000                       | 468                              | 83        | 595                              | 81        |
| 16 000                       | 630                              | 82        | 747                              | 76        |
| 18 000                       | 731                              | 80        | 876                              | 75        |
| 20 000                       | 882                              | 78        | 1 124                            | 73        |

实验使用微生物 A 体系,在进水盐度低于 13 000 mg/L,进水 COD 低于 3 000 mg/L 时,出水 COD<450 mg/L,达到食品行业废水排入污水处理厂的排放标准(辽宁省污水综合排放标准,DB 21/1627—2008)。体系 B 在进水盐度低于 10 000 mg/L,进水 COD 低于 2 700 mg/L 时,出水才能达到上述排放标准。

驯化过程中出水 COD 的逐日变化如图 3 所示。

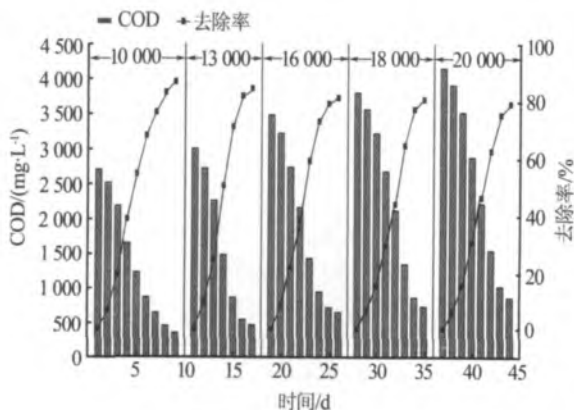


图 3 驯化过程中 COD 的变化

由图 3 可见,随着进水盐度和 COD 的增加,最终去除率呈现下降趋势,由第一驯化周期的 87% 下降到第五周期的 79%,这说明盐度的增加还是对微生物的代谢功能产生了一定的抑制作用。

## 2.2 pH 的变化及影响

在进水 COD 为 3 000 mg/L,盐度为 10 000 mg/L 的连续运行条件下,实验发现进水 pH 在 5~7 之间变化对工艺的影响较小,对 COD 去除率影响不大。这主要归因于厌氧池提高了整个处理工艺的稳定性。但随着进水 pH 的变化,出水 pH 也发生一定的

变化。具体情况如表 3 所示。

表 3 不同进水 pH 时出水 pH 的变化

| 进水 pH          | 5   | 6   | 7   |
|----------------|-----|-----|-----|
| A 耐盐微生物体系出水 pH | 6.0 | 7.2 | 8.2 |
| B 耐盐微生物体系出水 pH | 6.5 | 7.4 | 8.3 |

由表 3 可见,在 A、B 两个耐盐微生物体系中,出水的 pH 都有较大的变化,但是两者差别比较小。原水初始 pH=5 时,废水中含有部分醋酸。在进水时使用 NaOH 调节 pH 后,形成醋酸盐,在后续的生化处理过程中,醋酸逐渐被微生物代谢,使出水 pH 增大。鉴于进水 pH 对工艺处理效果影响不大,而且加碱中和会增大腌制废水的盐度,给废水处理带来更大的困难,后续盐度和停留时间的单因素考察实验进水 pH=5。

## 2.3 盐度对厌氧和好氧段的影响

在进水 COD 为 3 000 mg/L,盐度从 10 000 mg/L 增加到 20 000 mg/L 时,考察了出水 COD 的变化情况。为了更直观地说明盐度增加对各段工序处理能力的影响,考察的是各段工艺的实际运行负荷。具体情况如图 4 所示。

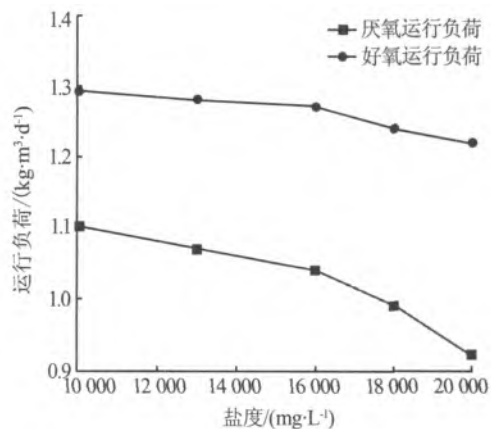


图 4 盐度对厌氧和好氧段运行负荷的影响

由图 4 可见,随着进水盐度的增加,厌氧段的处理能力逐步下降,当盐度大于 16 000 mg/L 时,盐度对厌氧段处理能力的影响增大。这可能是由于盐度的增加,导致体系中的生存环境超过微生物的耐受范围,抑制了厌氧微生物胞内的酶活性,导致代谢速率降低,某些微生物开始衰亡。

同时,随着进水盐度的增加,好氧段的处理能力也逐步下降,当盐度大于 16 000 mg/L 时,盐度对好氧段处理能力的影响程度加大。但与厌氧段相比,其所受盐度的影响较小。盐度的增加会导致污泥中丝状菌的增加,降低污泥的沉降性,在相同的曝气情况

下,污泥流失增多,污泥龄减小,从而导致好氧段的处理能力下降。

### 2.4 停留时间对 COD 去除率的影响

在进水盐度为 20 000 mg/L, COD 为 4 150 mg/L 条件下,考察了停留时间对 COD 去除率的影响,结果如图 5 所示。

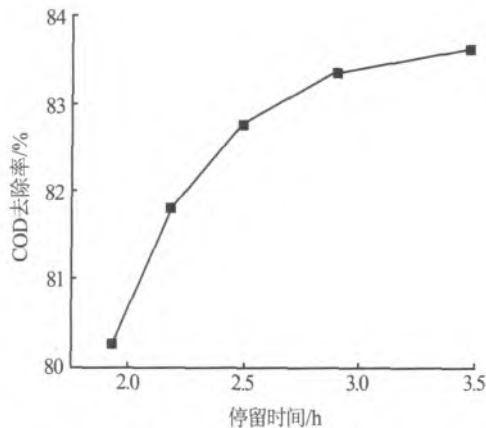


图 5 停留时间对 COD 去除率的影响

由图 5 可见, COD 去除率随停留时间的增大而增大,但 COD 去除率增长速率逐渐降低。当停留时间大于 2.5 d 后,去除率增长缓慢,基本保持在 82.5%~83.5%。说明在此范围内增加停留时间,并不能有效地提高反应器的处理效率。考虑到工程应用的能耗因素,选取停留时间为 2.5 d。

### 3 结论

试验结果表明,采用厌氧/接触氧化工艺处理高盐腌制废水,接种制药厂污泥驯化后得到的微生物体系要略好于 A/O 活性污泥,这与微生物的群落结构有很大的关系;随着进水盐度由 10 000 mg/L 增加到 20 000 mg/L,出水 COD 在 300~600 mg/L;盐度变化对厌氧段的影响大于好氧段;对整个工艺影响不大,可以保持相对稳定运行。在进水盐度为 20 000 mg/L, COD 为 4 150 mg/L 时,整个工艺的最佳停留时间为 2.5 d。使用制药厂污泥驯化得到的体系,当进水盐度不高于 13 000 mg/L, COD 不高于 3 000 mg/L 时,出水 COD<450 mg/L,达到该行业排入污水

处理厂的排放标准。

在吕宝一等<sup>[13]</sup>对两端 A/O 生物接触氧化处理高盐腌渍废水的研究中, COD 去除率均高达 96%。本实验研究的 COD 去除率低于 90%,原因可能在于腌制废水中的有机污染物成分复杂,并存在部分难降解有机物。总体而言,厌氧+生物接触氧化工艺适用于处理腌制含盐废水,如果经过进一步的工艺改进和优化,应用前景非常广阔。

### 参考文献

- [1] 包勇. 高浓度含盐染料废水电混凝处理研究[J]. 工业水处理, 2006, 26(7): 33-35.
- [2] 王晓霞. 铁炭-生化法处理高含盐染料废水的研究[J]. 环境化学, 2002(11): 594-597.
- [3] 张婷婷, 张爱丽, 周集体. 活性炭吸附分离-生物再生法处理高盐苯胺废水[J]. 化工环保, 2006, 26(2): 107-110.
- [4] 伊学农, 洪德松, 范彦华. 反渗透处理高含盐废水的实验研究与膜污染分析[J]. 水资源与水工程学报, 2011(22): 109-111.
- [5] Abou-Elela S I, Kamel M M, Fawzy M E. Biological treatment of saline wastewater using a salt-tolerant microorganism[J]. Desalination, 2010, 250(1): 1-5.
- [6] Tuin B J, Geerts R, Westerink J B, et al. Pretreatment and biotreatment of saline industrial wastewaters[J]. Water Science and Technology, 2006, 53(3): 17-25.
- [7] 张华, 陈俊, 刘宇明, 等. 高盐高氯采油废水处理工程实践[J]. 中国给水排水, 2006, 24(22): 71-73.
- [8] 张柯, 陶冠红, 陈建军, 等. 曝气生物滤池处理高含盐乙烯废碱液的试验研究[J]. 石油化工安全环保技术, 2009, 25(1): 51-58.
- [9] 吴建华, 张贵清, 李娟红, 等. UASB 处理高盐制药废水的试验研究[J]. 应用化工, 2009, 38(3): 460-462.
- [10] 翟玮玮. 食品加工原理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011: 286.
- [11] Juang R S, Wu Chengying. Microbial degradation of phenol in high-salinity solutions in suspensions and hollow fiber membrane contract[J]. Chemosphere, 2007(66): 191-198.
- [12] 王新刚, 关卫省, 吕锡武. 水解酸化-生物接触氧化处理高盐含油废水研究[J]. 工业水处理, 2006, 26(10): 43-45.
- [13] 吕宝一, 谢冰. 两端 A/O 生物接触氧化处理高盐腌渍废水的研究[J]. 中国给水排水, 2011, 27(1): 102-104.

[作者简介] 尤涛(1981—), 硕士, 工程师。E-mail: xue0717@sina.com。

[收稿日期] 2012-11-21(修改稿)

## 节约用水是实施可持续发展的战略措施