

厌氧附着膜膨胀床反应器处理乳品废水的研究

朱风松¹, 张林生¹, 刘金城², 袁 好¹

(1. 东南大学环境工程系, 江苏 南京 210096; 2. 南京市环境科学研究所, 江苏 南京 210013)

摘要 :研究厌氧附着膜膨胀床反应器中温处理乳品废水的运行工况。讨论在不同水力停留时间、容积负荷、pH 值条件下对 COD 去除率的影响,并对进出水总氮及氨氮的变化情况进行研究。试验表明:厌氧附着膜膨胀床反应器处理乳品废水,在水力停留时间为 8 h、中温 35℃ 条件下,COD 去处率达到 80% 以上,对总氮的去除约为 8%,出水有机氮的氨化率达 70% 以上, $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 由进水的 0.5 提高到 0.8 以上。

关键词 :厌氧附着膜膨胀床;乳品废水;COD 去除率;氨化

中图分类号 :X703.1 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2005)02-0016-03

Study on treatment of dairy wastewater by AAFEB Reactor

ZHU Feng-song¹, ZHANG Lin-sheng¹, LIU Jin-cheng², YUAN Yu¹

(1. Department of Environmental Engineering of Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Nanjing Environmental Institute, Nanjing 210013, China)

Abstract :The running conditions of Anaerobic Attached microbial Film Expanded Bed (AAFEB) reactor in the treatment of dairy wastewater at moderate temperature are studied. The effects of different HRTs, volume loads, pH values on COD removal rate are discussed as well as the variation of the TN and NH₃-N in influent water and effluent water. The results indicate that, with HRT of 8 h and temperature of 35℃, the COD removal rate is beyond 80%, the removal rate of TN about 8%, the ammonification rate of organic nitration in effluent water above 70%, and $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ ratio can be raised from 0.5 to above 0.8.

Key words :Anaerobic Attached microbial Film Expanded Bed (AAFEB); dairy wastewater; COD removal rate; ammonification

乳品已逐渐成为人们食品结构中的重要组成部分,到 2005 年,全国年消耗量将达 13.5 万 t^[1]。新鲜乳品的主要营养成分为:脂肪 3.0%~5.0%,蛋白质 2.7%~3.7%,乳糖 4.5%~5.0%,无机盐 0.60%~0.75%。一般乳品废水中,COD 质量浓度平均为 800~2500 mg/L,BOD 质量浓度为 600~1500 mg/L,总氮质量浓度平均为 60~100 mg/L, $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 值大于 0.5,属可生化性较好的废水^[2]。乳品废水的直接排放能造成大段河流缺氧,致使水生动物死亡,同时也会出现酪蛋白水解产生难闻的气味,并影响水的透明度。国外每加工 1 t 鲜奶排水 1~1.5 t,而我国乳品加工排水量更大,是国

外的 10~20 倍,因此研究我国乳品废水的处理工艺显得尤为重要^[3]。

1 试验条件及方法

1.1 乳品废水处理工艺的选择

目前国内主要采用全好氧生化处理(活性污泥法居多,接触氧化法其次)、厌氧-好氧生化处理,以及水解-好氧生化处理(H/O 工艺)等处理技术路线处理乳品废水^[2]。由于乳品工业废水中含有蛋白质成分,废水的生物降解速率较缓慢,若降解时间不足,出水中会残留蛋白质及蛋白质降解中间体,因而出水很难达标^[3]。以国内外经典的延时曝气处理流

作者简介:朱风松(1970—),男,江苏兴化人,硕士研究生,研究方向为水污染控制工程。E-mail:zhaifeng@yeah.net

程分析,为使排放达到国家二级出水标准,水力停留时间必须在 30 h 以上,若要达到一级标准,则需 48 h 以上^[1]。由于全好氧生物降解工艺处理乳品废水能耗较高,占地面积大,而且只能完成生物硝化过程不能实现生物反硝化,不能完成真正意义上的脱氮。因而采用厌氧-好氧工艺处理乳品工业废水成为常用的处理技术路线^[4]。

1.2 AAFEB 工艺设备

本试验选用耐冲击负荷能力强的厌氧附着膜膨胀床(Anaerobic Attached microbial Film Expanded Bed, AAFEB)工艺作为处理乳品废水的厌氧工艺,研究 AAFEB 反应器在处理乳品废水过程中的运行情况。

AAFEB 反应器是 Jewell 等人于 20 世纪 70 年代中期研制的厌氧消化工艺。床内填充粒径很小的固体颗粒介质,在介质表面附着厌氧生物膜,废水以升流方式通过床层时在水力作用下使生物颗粒处于悬浮状态,完成有机物的厌氧生物降解过程。

据国外相关研究报道,用 AAFEB 工艺处理 COD 质量浓度为 6 750 mg/L 的高浓度合成有机废水,去除率高达 97%。在处理低浓度有机废水方面,在进水 COD 质量浓度为 307 mg/L 时,水力停留时间为 8 h 条件下,COD 去除率高达 93%^[5]。这说明 AAFEB 工艺无论是处理高浓度废水或低浓度废水,均具有独特的高效性和稳定性。

本试验反应器用有机玻璃制作,内径 78 mm,高 1 204 mm,总容积 5.93 L,有效容积 4.70 L,采用粒径 0.2 ~ 1 mm 的活性炭颗粒作载体。试验装置见图 1。

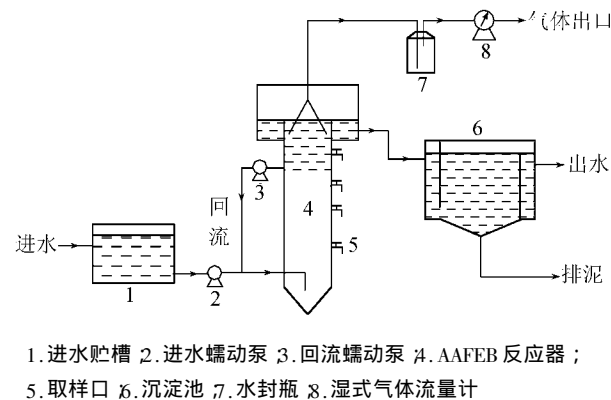


图 1 AAFEB 反应器装置及流程

控制 AAFEB 反应器膨胀率在 10% ~ 20%^[6]。根据进水流量大小采用一定的回流率(1:2 ~ 1:8),以保证微生物膜的悬浮。回流口设在距反应器上部出口一定高度,保证下部反应区流型接近完全混合流(CSTR),便于泥水充分接触;反应器上部流型接近推流(PF)利于气、液、固三相分离。

1.3 AAFEB 的启动

本实验先用配制的营养液与成熟的厌氧颗粒污

泥驯化培养,逐日加入营养液,将培养所得污泥与活性炭颗粒以 1:1 的体积比移入密闭容器内,加入微量元素静置数天后,开始加入少量乳品废水,待好氧微生物少见而厌氧菌占优势时移入反应器内。数日后用质量浓度为 2 500 mg/L 左右的乳品废水进水,补充微量元素,并加入 NaHCO₃ 作为缓冲剂,同时回流,以每 3 天改变 2℃ 的速率不断升温,待温度升至 35℃ 后停止升温。当污泥性状稳定,反应器的 COD 去除效率稳定在 50% 以上,产气量大且稳定时,反应器启动完成。

2 试验结果及讨论

2.1 水力停留时间(T_{HR})及容积负荷(N_V)对 COD 去除率的影响

控制进水 COD 质量浓度为 2 500 mg/L 左右,COD 去除率与 T_{HR} 的变化关系见图 2(a)。随着 T_{HR} 的增加,COD 去除率呈上升趋势,特别是在 T_{HR} 较小的时候,COD 去除率的增幅较大。但随着 T_{HR} 的延长,COD 去除率增加幅度渐缓。说明反应器中的微生物对于 COD 的去除存在一个最佳水力停留时间(T_{HR0}),当 $T_{HR} > T_{HR0}$ 时,COD 的去除率不再增加。该反应中 T_{HR0} 约为 8 h。

固定进水流量为 0.6 L/h,通过改变进水 COD 质量浓度来调整 N_V 值,试验过程所得到的 COD 去除率与 N_V 值的关系见图 2(b)。由图 2(b)可见,对于 COD 的去除率来说,存在一个最适 N_{V0} 值。当进水的 N_V 过高或过低都不利于 COD 的去除。试验中这一最适 N_{V0} 值为 6.1 kg/(m³·d),因此对于乳品废水而言, N_V 值取在 6 ~ 7 kg/(m³·d)之间是比较合适的。

2.2 总氮的去除及有机氮的氨化效果分析

新鲜乳品中蛋白质含量为 2.7% ~ 3.7%,废水进水在 COD 质量浓度为 2 500 mg/L 左右时,TN 质量浓度约为 80 mg/L,NH₃-N 质量浓度平均在 4 mg/L 以下,NH₃-N 约占 TN 的 5%。经过 AAFEB 反应器的处理,反应器出水总氮质量浓度降低 5 ~ 12 mg/L,而出水 NH₃-N 质量浓度却上升较多。试验结果见图 3。

反应器中总氮的减少量主要用于合成反应器中的微生物体。生物体的经验式用 C₅H₇O₂N 表示,根据 SRT 的不同净细胞合成量为 2.5% ~ 5%,则每去除 1 000 kg 的 COD 对氮的需要量为 3 ~ 6 kg^[5],反应器中总氮的减少量基本在这一范围。而出水较进水 NH₃-N 大幅上涨,主要是由于微生物对氮的氨化作用。由于反应器中 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 浓度很低,其作用不予考虑,同时忽略 NH₃-N 对反应器中生物体合成的贡献,试验中总氮的氨化率可用下式表示:

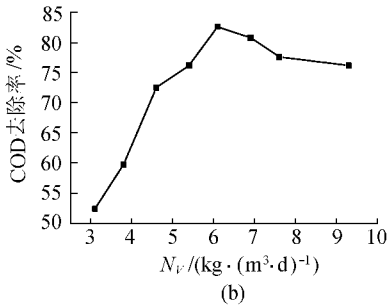
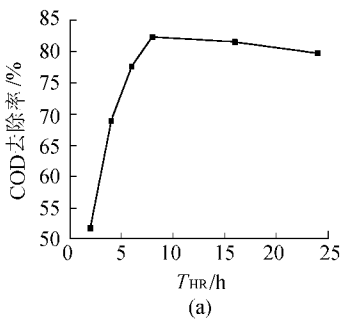


图2 COD去除率与 T_{HR} 、 N_V 的关系

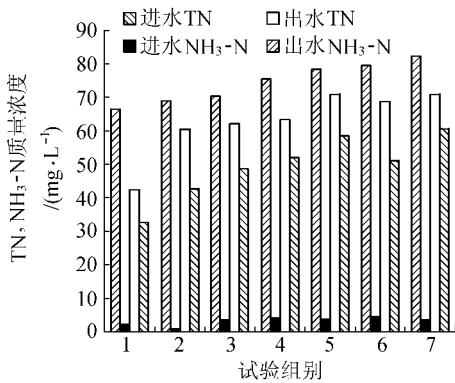


图3 进出水 TN 和 NH₃-N 变化关系

$$\eta_{NH_3-N} = \frac{\rho_{出水NH_3-N} - \rho_{进水NH_3-N}}{\rho_{进水TN} - \rho_{进水NH_3-N}}$$

式中： η_{NH_3-N} 为出水氨化率，%； $\rho_{出水NH_3-N}$ 为出水 NH_3-N 质量浓度，mg/L； $\rho_{进水NH_3-N}$ 为进水 NH_3-N 质量浓度，mg/L； $\rho_{进水TN}$ 为进水总氮质量浓度，mg/L。

研究表明，出水中氮的氨化率达 70% 以上，AAFEB 反应器对氮的氨化作用是较好的。 NH_3-N 质量浓度的提高对于后续好氧工艺中对氮的硝化、反硝化是十分有利的。

2.3 进水 pH 值对 AAFEB 的运行效果的影响

进水 pH 值对 AAFEB 的运行效果的影响，主要是由于进水 pH 值对反应器中微生物活性的影响^[7]。由于产甲烷菌是专一性厌氧细菌，其适宜的 pH 值范围较窄，一般 pH 值在 6.8~8.5 之间^[8]。试验中 COD 去除率与 pH 值的关系见图 4，在进水 pH 值大于 6.8 的条件下，COD 去除率大于 82%，增加碱度至进水 pH 值大于 7.6，COD 去除率几乎没有提高。

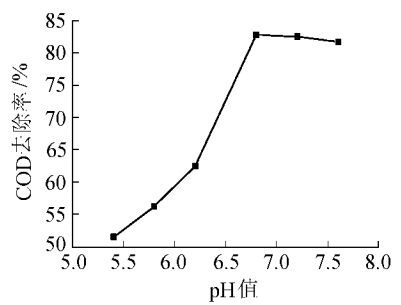


图4 COD去除率与 pH 值的关系

由 2.2 节可知，乳品废水进水中含氮化合物高，经过 AAFEB 的处理，氨化效果好。 NH_3-N 等产物对挥发性脂肪酸的中和能力较强，无需外加碱度调节 pH 值^[9]，但是由于在废水酸化过程中产酸的速率较大，在实际处理中为保证反应器的良好运行和理想的处理效果，在进水中加入适量的 $NaHCO_3$ ，反应器中 pH 值能保持 6.8 以上。

2.4 进出水 B/C 比值的变化

乳品废水属于可生化性较好的废水，B/C 比值一般大于 0.5，经过 AAFEB 反应器的处理，反应器出水 B/C 比值又有较大提高，变化情况如表 1。B/C 比值变化的原因主要是由于乳品废水中存在的大量脂肪、蛋白质等高分子难降解物质，被厌氧和兼性微生物解离成小分子易降解物质。出水 B/C 比值的提高对于后续好氧处理工艺会有较大的促进作用。

表 1 进出水 B/C 比值变化情况 ($t = 35^\circ C$, $T_{HR} = 8h$)

组别	状态	$\rho(BOD)(mg \cdot L^{-1})$	$\rho(COD)(mg \cdot L^{-1})$	B/C
第一组	进水	1542	2868	0.54
	出水	509	624	0.82
第二组	进水	1236	2526	0.49
	出水	388	455	0.85
第三组	进水	1155	1860	0.62
	出水	389	525	0.74
第四组	进水	1132	2265	0.50
	出水	288	424	0.68
第五组	进水	1377	2087	0.66
	出水	486	584	0.83

3 结论

a. 用厌氧附着膜膨胀床(AAFEB)反应器处理乳品废水在进水 COD 质量浓度 2500 mg/L 左右，水力停留时间为 8 h、中温 35℃ 条件下，COD 去除率达到 80% 以上。

b. AAFEB 反应器对总氮的氨化率大于 70%；总氮的去除率约为 8%，主要用于反应器中微生物的合成。B/C 比值由进水的 0.5 提高到 0.8 以上。

c. 反应中应对废水进行酸碱调节，控制 pH 值大于 6.8 以上，才能保证设备运行良好。

(下转第 35 页)

部地区,包括塘沽、大港、津南、东丽、北辰、市区、西青全部面积,在蓟县、宁河、宝坻、静海、武清分布面积较小;Ⅳ类水分布面积次之,约占含水层总面积的45%左右,主要分布在天津市北部和西部地区,包括蓟县、静海、武清、宝坻、汉沽、宁河的大部分面积;Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类水分布面积呈零星分布,约占含水层总面积的5%左右,主要分布在天津市北部地区,包括蓟县、宝坻、宁河和汉沽的局部地区,其中宝坻东部新安镇至林亭口一带和汉沽北部一带分布面积较大,约400 km²。

c. 第Ⅲ组承压水:Ⅳ类水分布面积最大,约占含水层总面积的50%左右,主要分布在天津市中南部地区,包括大港、静海全部面积和武清、宁河、宝坻、汉沽、津南的大部分面积及西青、北辰、东丽、塘沽的小部分面积;Ⅴ类水分布面积次之,约占含水层总面积的40%左右,主要分布在天津市中部地区,包括西青、北辰、东丽、塘沽的大部分面积和津南、武清的小部分面积,另外呈点状出现在宝坻、大港和静海;Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类水分布面积呈零星分布,约占含水层总面积的10%左右,主要分布在天津市北部地区,包括宝坻、武清、宁河和汉沽的部分地区,其中宝坻东南部新安镇至黄庄一带分布面积较大,约900 km²。

d. 第Ⅳ组承压水:该组水的采样点主要分布在天津市东南部地区,因此不能反映北部地区水质情况,据现有资料的评价结果,该组水Ⅳ类水分布面积最大,约占含水层总面积的90%左右,分布在天津市南部的大部分地区,包括静海、大港、西青、北辰、东丽、宁河、市区全部面积和汉沽、津南的小部分面积;Ⅴ类水分布面积较小,约占含水层总面积的10%左右,分布在天津市东部地区,包括塘沽、津南

的部分面积;Ⅱ类水分布呈零星状,仅分布在汉沽东部一带。

e. 第Ⅴ组承压水:该组水的采样点较少,主要分布在天津市东部沿海地区,该组水Ⅴ类水分布面积最大,约占含水层总面积的50%左右,主要分布在天津市中东南部地区,包括塘沽、大港、津南、东丽、北辰、市区、西青、静海的全部或部分面积;Ⅳ类水分布面积次之,约占含水层总面积的45%左右,主要分布在天津市北部和西部地区,包括静海、武清、宝坻、汉沽、宁河的部分面积;Ⅱ、Ⅲ类水呈零星点状分布,主要出现在武清和汉沽。

4 结 论

应用模糊评判法评价天津市地下水质量能较好地反映天津市的实际水质状况。评价结果显示,天津市平原区地下水以Ⅳ、Ⅴ类水分布面积最大,说明现状条件下天津市地下水质量普遍较差,应当引起地下水资源管理部门的高度重视。

参考文献:

- [1] GB/T14848—93 地下水质量标准[S].
- [2] 刘兆昌,张兰生,聂永丰,等.地下水系统的污染与控制[M].北京:中国环境科学出版社,1991.
- [3] 王东胜,陈凯麒,鲁光四,等.农药对地下水环境影响评价研究[J].水资源保护,2004(2):13~14.
- [4] 凌家荣,钱庆龙,冯志祥,等.盐城市地下水资源调查评价[J].水利水电科技进展,2000(3):48~50.
- [5] 郝晓美,刘兴平.地下水环境污染的经济学评价方法[J].水利经济,2002(6):41~44.

(收稿日期 2004-08-23 编辑:高渭文)

(上接第18页)

d. 要使出水达到二类以上的排放标准以及考虑脱氮的需要,出水还需要后续好氧处理工艺进一步处理。

参考文献:

- [1] 蔡晶,张吴品.乳品工业废水处理[J].世界环境,2002(5):37~38.
- [2] 马三剑,刘锋,蒋京东.乳品加工废水处理技术[J].给水排水,2001,27(12):47~49.
- [3] 马效民.乳品工业废水处理[J].林业科技情报,2002,34(3):53~54.
- [4] 王凯军.厌氧工艺的发展和新型厌氧反应器[J].环境科学,1998,19(1):94~96.

- [5] 斯皮思 R E.工业废水的厌氧生物技术[M].李亚新译.北京:中国建筑工业出版社,2001.154~155.
- [6] Frankin R J. Application of the biobed upflow fluidized bed process for anaerobic wastewater treatment[J]. Wat Sci Tech, 1992, 25(7): 378.
- [7] Kato M T. The Anaerobic Treatment to flow strength Wastewaters in UASB and EGSB reactors[J]. Wat Sci Tech, 1997, 36(6~7): 375~382.
- [8] 汪洪生.现代废水厌氧处理技术进展[J].污染防治技术,2002,15(4):15~20.
- [9] 刘义,张兆昌.水解酸化—气浮—SBR工艺处理乳品废水的研究[J].环境工程,1998,16(5):19~21.

(收稿日期 2004-10-10 编辑:高渭文)