第21卷 第6期
2005年12月

哈尔滨商业大学学报(自然科学版)
Journal of Harbin University of Commerce ( Natural Sciences Edition)

Vol. 21 No. 6
Dec. 2005

# MBR与二段式SBR处理酱油废水的对比分析

左金龙[1,2] ,崔福义[1] ,田 禹[1]

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院 ,黑龙江 哈尔滨 150090 ;
2. 哈尔滨商业大学 环境工程系 ,黑龙江 哈尔滨 150076)

**摘 要**:通过MBR与SBR处理酱油废水对比分析发现,MBR的出水COD优于二段式SBR,而二段式SBR+气浮出水COD优于MBR. SBR工艺对色度基本没有去除作用. MBR出水色度低于两段式SBR+气浮工艺. 以日处理水量400 $m^3$ 的现场工程为例,对SBR和MBR的工程总投资和运行费用进行了对比分析,MBR的运行费用比SBR低22 %. 但MBR的制水成本较高,使其难以推广应用. 随着自来水费与排污费的提高、膜组件价格下降及寿命延长,该技术会有更快的发展. 将MBR与SBR工艺进行组合,是解决MBR现存问题的有效途径.

**关键词**:膜生物反应器;二段式SBR;酱油废水;去除效率;对比分析;工艺组合

**中图分类号**:X703.1 **文献标识码**:A **文章编号**:1672 - 0946(2005)06 - 0706 - 05

## Comparative analysis of MBR and two-stage SBR treating sauce waste water

ZUO Jin-long[1,2] , CUI Fu-yi[1] , TIAN Yu[1]

(1. School of Municipal and Environmental Engineering ,Harbin Institute of Technology ,Harbin 150090 ,China ;
2. Department of Environmental Engineering ,Harbin University of Commerce ,Harbin 150076 ,China)

**Abstract :** Analysis result of MBR treating sauce waste water in contrast to SBR is: COD of MBR is better than SBR in effluent , but worse than SBR with air floating. It is no use of SBR technique getting rid of chromaticity , and chromaticity of MBR is better than SBR in effluent. Take a living work as example , treating water quantity is 400 $m^3/d$ , analyze total project investment and annual operational cost of MBR in contrast to SBR ,the operational cost of MBR is lower 22 % than that of SBR. It is difficult for MBR to use widely result from the cost of producing of MBR is more expensive. With the improvement of fee of tapping water and wastewater discharge , the decrease of membrane module price , prolonging the membrane filtration , the MBR technique will be developed rapidly. A resultful approach to resolve the existent problem is the combination of MBR and SBR technique.

**Key words :** membrane bioreactor ; two-stage sequencing batch reactor ; sauce wastewater ; removal efficiency ; contrasting analysis ; process combination

膜生物反应器(Membrane Bioreactor,简称MBR)是将膜分离技术和传统活性污泥法相结合的一种高效污水处理技术. 由于膜组件的强制截留作用取代了二沉池,生物被完全截留在反应器内,首次实现了HRT与SRT的分离,因而具有出水水质好、硝化能力高、设备紧凑占地少、抗冲击负荷等优点[1]. 两段式SBR(two - stage sequencing batch reactor)法,即将两个SBR反应池串联,结合了SBR法和两段式活性污泥法的特点,具有工艺流程简单、生化反应推动力、效率高、不易污泥膨胀等优点[2,3]. 酱油是我国的传统调味品,其特有的色泽和风味深受人们喜爱. 在满足人们饮食需要的同

**收稿日期**:2005 - 08 - 26.
**作者简介**:左金龙(1970 - ) ,男,博士研究生,研究方向:水处理.

时,它的生产废水所引起的环境污染却没有引起足够的重视.现在全国酱油的产量很大,并且生产 1 t 酱油会带来 7～10 t 的酱油废水,废水中的主要成分为粮食残留物、洗涤剂、消毒剂、大量的盐分、各种微生物及微生物分泌物和代谢产物,[4]废水呈现出较高的 BOD、COD、色度和 SS 值.本文以酱油废水为研究对象,对 MBR 和两段式 SBR 工艺进行对比分析.

## 1　实验内容及方法

### 1.1　对比分析的前提

两段式 SBR 是广州某食品有限公司的废水处理实际工程,其主要工艺是:调节池 + 沉淀池 + 水解酸化池 + 二级 SBR 池 + 气浮池.而 MBR 是利用现场的已有工艺,在水解酸化池中直接取水,经 MBR 处理后直接排放的中试.二者预处理措施是一样的,污水进入反应器前进行预处理,可以保证系统的稳定运行.因此对比分析的前提是二者处理的源水均为现场水解酸化池出水,在此基础上考察 MBR 和 SBR 污染物去除效果,考察指标主要是 COD 和色度.

### 1.2　实验装置

实验装置如图 1 所示,采用一体浸没式膜生物反应器工艺,反应器的有效容积为 203 L;采用的膜组件为平板式中空纤维超滤膜,$L \times B = 800\ \mathrm{mm} \times 500\ \mathrm{mm}$,膜的有效面积为 8 $m^2$,共 2 片.膜材质为聚丙烯,膜孔径为 0.1 μm,截留相对分子质量为 $5 \times 10^4$.平衡水箱内设置浮球阀,可根据反应器出水的多少,自动调节进水量,维持处理系统稳定的运行.膜组件放置于反应器内,反应器的曝气形式采用穿孔管曝气,以增强反应器内混合液的扰动.曝气来源于曝气泵,气体在进入反应器之前要先进入气体流量计,以便调节和控制曝气量.膜出水为射流式自吸泵抽吸出水,采用间歇抽吸方式,抽 10 min,停 5 min.

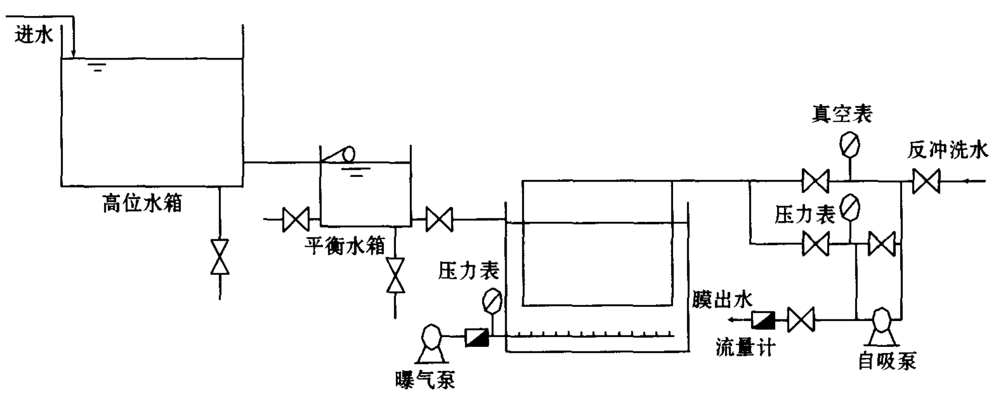


图 1　MBR 实验装置

### 1.3　实验分析方法

实验分析的项目有 pH 值、温度、MLSS、DO、COD、BOD、色度等测定的方法均采用《水和废水监测分析方法》(第 3 版) 的标准方法.

### 1.4　原水水质及运行参数

实验原水取自广州某调味品有限公司污水处理站水解酸化池,原水水质如表 1 所示.酱油废水呈现出较高的 BOD、COD 和色度,属于中等浓度的有机废水.由于原有的传统活性污泥法工艺对氨氮的去除率较高,这里不作考察.

表 1　原水水质

| $\theta$/ ℃ | pH 值 | COD/ (mg·L⁻¹) | BOD/ (mg·L⁻¹) | 色度/倍 | $NH_3$-N/ (mg·L⁻¹) | SS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 29～32.6 | 6.0～7.2 | 740～1 870 | 407～1 028 | 40～400 | 28～43 | 160～200 |

## 2　实验结果与分析

### 2.1　MBR 和两段式 SBR 对 COD 的去除效果

水解池出水 COD 一般在 740～1 870 mg/L 之间波动,二级 SBR 出水 COD 在 95.4～151 mg/L 之间,气浮出水 COD 在 37～55.6 mg/L 之间,MBR 出水 COD 在 44～98 mg/L 之间.在图 1 中将上述四

组数据放在一起时,对比分析出水COD的去除效果看起来不明显,为更清楚地比较出水COD的去除效果,没有将水解池出水COD数据显示.

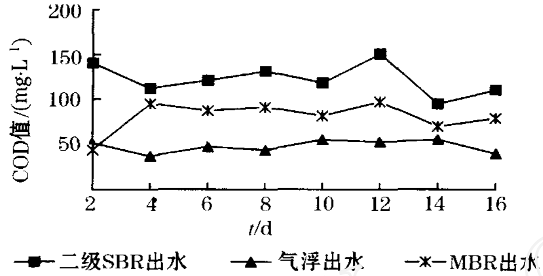


图2 MBR和SBR工艺出水COD对比

从图2中可看出,MBR的出水优于二级SBR出水,而二级SBR+气浮出水优于MBR出水.主要原因是:对于酱油废水,生物最佳处理出水COD在90～150 mg/L之间,二级SBR和MBR上清液出水COD在此区间范围内.而MBR依靠膜组件的强制截留作用,使得MBR出水COD比SBR更低.但在工程实践中,二级SBR+气浮出水又明显优于MBR出水,此时出水中含有许多难于生物降解的物质,生物降解已达极限,采用物化法COD去除效果更好.因此,膜组件和气浮工艺都对各自的系统出水COD起到了稳定的作用.

2.2 MBR和SBR对色度的去除效果

MBR和SBR对色度的去除效果如图3所示.

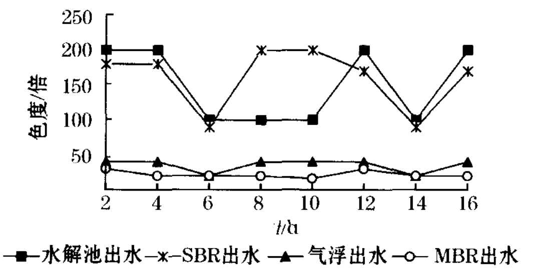


图3 MBR和SBR工艺出水色度对比

从图3中可看到,SBR工艺对色度基本没有去除作用,在某些时候SBR出水色度比进水色度还高,可能是生色基团在SBR反应器内发生了变化,色度反而增加.但气浮工艺对色度具有良好的去除效果,SBR+气浮工艺的出水色度稳定在20～40倍之间.相比之下,MBR对色度具有更好的去除效果,出水色度明显低于SBR+气浮工艺,出水色度稳定在16～30倍之间.原因可能是:在反应器内微生物对色度没有去除效果,但是膜组件依靠微孔和凝胶层将大分子生色物质截留在反应器内,而气浮依靠混凝气浮机理将生色物质转换为浮渣从水中去除.

2.3 MBR与SBR的运行参数的对比

由于SBR与MBR运行的方式不同,所以运行参数的对比主要是比较二者共同的运行参数,如表2所示.

表2 MBR与SBR运行参数的对比

| 项目 | SBR | MBR |
| --- | --- | --- |
| MLSS/ $(g·L^{-1})$ | ≤4 | ≤10 |
| SV / % | 15～30 | 90～95 |
| SVI/ $(mL·g^{-1})$ | <100 | 100～200 |
| F/M/ $kgBOD_5·(kgMLVSS·d)^{-1}$ | 0.2～0.4 | 0.04～1.42 |
| 体积负荷/ $(kgBOD_5·m^{-3}·d^{-1})$ | 0.3～0.6 | 0.37～6.3 |
| 污泥成熟指示性生物 | 以轮虫为主 | 以钟虫为主,有时无原生、后生动物 |
| 出水细菌情况 | 多 | 正常无,长期运行可能不满足回用标准 |

2.4 SBR与MBR污水处理费用对比分析

2.4.1 SBR污水处理费用分析

广州某食品有限公司废水处理工程为原有废水处理站的改扩建工程.设计水量为400 $m^3$/d.要求处理出水水质达到国家《综合污水排放标准》(DB 8978—1996)中的一级标准.本工程建设资金主要用于建筑物、构筑物及设备购置与安装,总投资230万元,其各种投资费用如表3所示.

表3 SBR污水处理工程投资费用

| 序号 | 项目 | 单位/万元 |
| --- | --- | --- |
| 1 | 土建 | 62.2 |
| 2 | 设备及管道阀门 | 105.0 |
| 合计 | | 167.2 |
| 3 | 运杂费(设备费5%) | 5.25 |
| 4 | 设计费(工程造价6%) | 10.0 |
| 5 | 安装费(设备费9%) | 9.45 |
| 6 | 调试费及菌种驯化费(工程造价10%) | 16.7 |
| 7 | 计划利润(工程造价5%) | 8.36 |
| 8 | 税金(上述7项和6%) | 13.0 |
| 总计 | | 230.0 |

运行费用计算如下

装机容量:57.75 kW;运行容量:21.625 kW;

电耗:21.625 ×24h ×0.7 ×300 ×0.75 元/kWh =81 742.5 元/年;

人员工资:700 元/月 ×4 人 ×12 月/年 = 33

600 元/ 年;

药剂:3 t/ 月 ×2 000 元/ t ×12 = 72 000 元/ 年;

运行费用:1.56 元/ $m^3$ 污水;

制水成本:2.26 元/ $m^3$ 污水(土建及设备折旧按 20 年计).

2.4.2　MBR 污水处理费用分析

MBR 的特点之一是易于利旧改造,并且膜过滤后可直接出水,对比二级 SBR 工艺,保留以及 SBR 池,可省去二级 SBR 池、中间水池、气浮池和活性炭滤罐. 相应的设备如水池的提升泵、滗水器、活性炭也可省去,共节省 61 万元. 因此,MBR 的土建费用相应较低,但 MBR 膜组件的购置费所占比例较大,膜组件的面积根据产水量和单位膜面积的产水量计算确定,单片纤维膜面积为 8 $m^2$,价格为 1 000 元/ 片,平均产水量为 0.8～1 t/ d · 片,则膜组件的投资为 45 万元. 还须设置真空设备及阀门管路系统、清洗设施和电气自控设施,费用约 46 万元. 另外还须计算膜组件的折旧费:膜组件使用寿命按 3 a 计,每年折旧为 15 万元. 具体费用如表 4 所示. 运行费用计算如下.

表 4　MBR 污水处理工程投资费用

| 序号 | 项目 | 单位/ 万元 |
|---|---|---|
| 1 | 土建 | 42.2 |
| 2 | 设备及管道阀门 | 155.0 |
| 合计 | | 197.2 |
| 3 | 运杂费(设备费 5 %) | 7.75 |
| 4 | 设计费(工程造价 6 %) | 11.83 |
| 5 | 安装费(设备费 9 %) | 13.95 |
| 6 | 调试费及菌种驯化费(工程造价 10 %) | 19.72 |
| 7 | 计划利润(工程造价 5 %) | 9.86 |
| 8 | 膜组件折旧费 | 15.0 |
| 9 | 税金(上述 8 项和 6 %) | 16.52 |
| 总计 | | 291.83 |

装机容量:57.75 kW;运行容量:21.625 kW;

电耗:21.625 ×24 h ×0.7 ×300 ×0.75 元/ kWh = 81 742.5 元/ 年;

人员工资:700 元/ 月 ×2 人 ×12 月/ 年 = 16 800 元/ 年;

药剂:47 800 元/ 年;

运行费用:1.22 元/ $m^3$ 污水;

制水成本:3.29 元/ $m^3$ 污水.

从表 4 中可看出,膜生物反应器处理系统的工程总投资为 291.83 万元,每吨水投资为 7 296 元,其中膜组件的购置费占 15.4 %. MBR 的运行费用为 1.22 元/ $m^3$ 污水,比 SBR 的运行费用 1.56 元/ $m^3$ 污水降低 22 %. 但 MBR 的制水成本较高,高于目前的自来水费与排污费之和,这是该项技术难以推广的原因之一. 制水成本偏高的原因有:每天处理水量为 400 $m^3$,水量偏小,如提高处理水量,制水成本会降低;膜组件的投资偏高,使用寿命较短,使得膜组件的折旧费偏高,随着膜技术的发展和膜价格的降低,此部分费用会有所下降.

## 3　MBR 与 SBR 组合的运行方式

将 MBR 与 SBR 工艺进行组合,由于 SBR 时间序列上的运行特性,即进水、反应、沉淀、排水和闲置,为膜组件提供了极好的运行时机,在排水期进行抽吸膜过滤,这样进水中的有机物在反应期大多数被降解,而微生物菌群经沉淀期浓缩沉淀后,上清液是相对干净的水,对膜的污染有望低于成分复杂的污泥混合液. 这样组合实际上相当于传统的二级生物处理系统出水再经膜过滤的深度处理,是解决 MBR 现存问题的有效途径,而且运行简单,易于自动控制. 这是一种低能耗的膜生物反应器,且膜分离过程不会影响微生物的活性[5～7].

天津清华德人环境工程有限公司在天津普辰大厦污水处理工程中,处理工艺采用 MBR($Q$ = 25 $m^3$/ d),运转方式采用 SBR,一个周期由缺氧静置段和好氧出水段组成. 缺氧段前期进水至高液位,好氧段曝气同时间歇出水,出水 8 min,停止出水 2 min,到达低液位时停止曝气开始进水. 反应器分为两个单元,两单元交替进行曝气,整个系统由可编程控制器(PLC)实现全自动控制. 该装置投入运行一年多,出水水质好,通量稳定[8,9].

由上可见,MBR 与 SBR 进行组合是一个切实可行的方法,具体的应用在实际工程中有待于进一步的研究.

## 4　结　语

1) MBR 和 SBR 有许多共同的优点,但又有各自的优点与不足. 在实际工程中,污水进入反应器前,应进行预处理,可以保证系统的稳定运行.

2) MBR 的出水 COD 优于二级 SBR 出水 COD,而二级 SBR + 气浮出水 COD 优于 MBR 出水. SBR 工艺对色度基本没有去除作用,在某些时候 SBR 出水色度比进水色度还高,气浮工艺对色度具有良好的去除效果. MBR 对色度具有更好的去除效

果,出水色度低于 SBR + 气浮工艺.

3) 以日处理水量 400 $m^3$ 的现场工程为例,对 SBR 和 MBR 的工程总投资和运行成本进行了对比分析,MBR 的运行费用为 1.22 元/$m^3$ 污水,比 SBR 的运行费用 1.56 元/$m^3$ 污水降低 22%. 但 MBR 的制水成本较高,高于目前的自来水费与排污费之和,使其难以推广应用. 随着自来水费与排污费的提高、膜组件价格下降及寿命延长,该技术会有更快的发展.

4) 将 MBR 与 SBR 工艺进行组合,是解决 MBR 现存问题的有效途径,而且运行简单,易于自动控制. 具体应用在实际工程中有待于进一步的研究.

参考文献:


[1] VISVANATHAN C, AIM R B, PARAMESHWARAN K. Membrane separation bioreactor for wastewater treatment [J]. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2000, 30(1): 1 - 8.

[2] 王东海,文湘华,钱 易. 处理难降解有机物的新型 SBR 反应器的发展[J]. 环境科学进展,1999,7(6): 39 - 40.

[3] 王殿平,许翊华,杜彦武,等. SBR 的工艺特点分析[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2003,19(6):677 - 680.

[4] 马承愚. 酱油废水处理工程设计[J]. 给水排水,1995,11(2);21 - 23.

[5] BROKMAN M. Sludge Activity and Crossflow Microfiltration a Non - beneficial Relationship [J]. Wat. Sci. Tech, 1996, 34(19): 205 - 213.

[6] 封 莉,张立秋,吕炳南,等. PAC 对膜产水量和 MBR 净化效能的影响研究[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2005,21(2):143 - 146.

[7] WATER G. Nitrogen Removal from Sludge Reject Water with a Membrane Assisted Bioreactor[J]. Wat. Res. 1999, 33(1): 23 - 32.

[8] 顾国维,何义亮. 膜生物反应器在污水处理中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2002.

[9] 张洪杰,于水利,赵方波,等. 膜生物反应器膜污染影响因素的分析[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2005,21(4): 440 - 443.


(上接 696 页)

## 3 结 论

1) 辅助降血糖酸奶的配方及工艺条件

脱脂鲜牛奶质量分数 85%;南瓜粉质量分数 1%;脱脂乳粉质量分数 2%;甜味剂组成为 $m_{木糖醇}:m_{大豆低聚糖} = 3:1$;甜味剂相当于蔗糖的添加质量分数的 8%(即木糖醇的加入质量分数为 7.8%,大豆低聚糖的加入质量分数为 2.6%);复合稳定剂的加入质量分数为 0.2%;菌种最佳组合比例为 $n(\mathrm{Lb}):n(\mathrm{St}) = 1:1$;接种质量分数为 3%;发酵温度 42 ℃;发酵时间 6 h;后熟温度4 ℃,后熟时间 12 h.

2) 动物实验所得结论

辅助降血糖酸奶有使由四氧嘧啶诱发的高血糖小鼠血糖值降低的趋势,糖尿病患者食用后可以起到辅助降低血糖的作用;辅助降血糖酸奶对正常动物的血糖值无影响,即不会引起正常动物血糖值的降低,因此非糖尿病患者也可放心食用;实验剂量组的总抗氧化能力值、SOD 值和 MDA 值与对照组相比,均没有显著性差异,但是剂量组的总抗氧化能力值、SOD 值与对照组的总抗氧化能力值、SOD 值相比,均有上升的趋势;剂量组的 MDA 值与对照组的 MDA 值相比,有下降的趋势;由此可知,本文研制的辅助降血糖酸奶具有抗氧化的能力,并且可能与实验样品的辅助降糖作用有一定联系. 糖尿病患者如长期坚持饮用该辅助降血糖酸奶,可达到辅助降血糖的目的.

参考文献:


[1] 焦广宇,蒋卓勤,刘 颖. 临床营养学[M]. 北京:人民卫生出版社,2002. 204 - 218.

[2] 张 芳,蒋作明,章思明. 南瓜的功能特性及其在食品工业中的应用[J]. 食品工业科技,2000(6):62 - 64.

[3] 秦立虎,姜竹茂,任江红,等. 低乳糖酸奶的研制[J]. 山西食品工业,2003(4):18 - 20.

[4] 李晓东,马 莺,郑冬梅. 大豆低聚糖在酸奶中的应用[J]. 食品工业,2002(3):35 - 36.

[5] 郑建仙. 低能量食品[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001. 363 - 366.

[6] 句立言,常 东. 南瓜粉的降血糖作用实验研究[J]. 哈尔滨医药,2001,21(1):5 - 6.