文章编号: 1008-1542(2008)01-0023-04

# 光合细菌-膜生物反应器处理 $VB_{12}$ 废水的研究

吴 莎

(河北科技大学艺术学院, 河北石家庄 050018)

摘 要: 利用光合细菌-膜生物反应器对$VB_{12}$废水进行处理, 经历了反应器的启动和试运行阶段后, 对曝气量、水力停留时间、光合细菌菌种强弱、进水 COD 质量浓度 4 个影响因素进行了分析。结果显示: 水力停留时间为 35 h, 试验温度为 30 ℃左右, pH 值为 6~ 8, 溶解氧质量浓度控制在 0.5~ 1.0 mg/L 范围内, COD 去除率可达到 90%以上。

关键词: 光合细菌-膜生物反应器; $VB_{12}$废水; COD; BOD

中图分类号: X172 文献标识码: A

# Research on $VB_{12}$ wastewater treatment by using PSB-MBR

WU Sha

(College of Art, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China)

**Abstract:** The experiment used PSB-MBR to degenerate the $VB_{12}$ wastewater. After the enablement and the movement of the reactor, we have analyzed some affecting factors such as the aeration quantity, hydraulic detention time, the viability of the strain, the COD concentration in water entry and so on. When the hydraulic detention time is 35 h, the experiment temperature is at 30 ℃, the pH value of the wastewater is 6~ 8, and the dissolved oxygen is within 0.5~ 1.0 mg/L, the degradation rate of COD can reach 90%.

**Key words:** PSB-MBR; $VB_{12}$ wastewater; COD; BOD

光合细菌( photosynthetic bacteria, 简称 PSB) 是进行不放氧光合作用的一大类细菌的总称[1]。它是地球上古老的细菌之一, 是水圈微生物的一种, 广泛分布在海洋、湖泊、江河、水田、污泥、土壤中。由于某些光合细菌种类能忍受高浓度( 质量浓度, 下同) 有机物, 具有去除和分解有机物的能力, 因此, 随着科学技术的发展, 人类开始研究利用光合细菌这一独特的生理性质来处理高浓度有机废水[2]。

膜生物反应器( MBR) 是将生物反应器与膜分离器相结合的技术[3]。膜的高效截留作用使其能够有效地进行固液分离, 使微生物完全截留在反应器内, 有利于生长、繁殖缓慢的特殊微生物的生长、繁殖和富集[4]。

将光合细菌与膜生物反应器相结合的光合细菌-膜生物反应器( PSB-MBR) , 可利用膜的高效阻截作用来解决光合细菌菌体细胞难自然沉降、易流失的问题, 从而实现对废水更好的处理。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验用菌种

试验所用光合细菌主要是由中国科学院微生物研究所提供的一株类球红假单胞菌( *R. sphaeroides*) , 并

收稿日期: 2007-10-01; 修回日期: 2007-11-23; 责任编辑: 张士莹

作者简介: 吴 莎( 1980- ) , 女, 河北石家庄人, 硕士, 主要从事环境微生物方面的研究。

经过多次 $VB_{12}$ 废水的驯化培养。

**1.2** 废水水质及分析项目

试验用水为某制药厂 $VB_{12}$ 生产过程中排出的高浓度有机废水, 主要为粗提后的过滤废水, 具体水质见表 1。为考察反应器的性能, 试验各阶段按所需浓度配置试验用水。

表 1 $VB_{12}$ 废水水质表

Tab. 1 Character and quantity of $VB_{12}$ wastewater

| ρ(COD)/(mg·L$^{-1}$) | pH 值 | ρ($BOD_5$)/(mg·L$^{-1}$) | ρ(SS)/(mg·L$^{-1}$) | ρ($NH_3$-N)/(mg·L$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|
| 12 000~ 22 000 | 5~ 6 | 5 500~ 12 000 | 700~ 900 | 400~ 450 |

废水的分析检测项目如下。

pH 值: 采用 pHS-3C 型酸度计[5]; ρ(COD): 采用标准重铬酸钾法[5]; ρ(SS): 采用重量法[5]; ρ(DO): 采用便携式溶解氧仪。

**1.3** 流程和装置

试验采用光合细菌-膜生物反应器处理 $VB_{12}$ 废水。由于 $VB_{12}$ 废水中含有大量的低分子有机酸、醇类等小分子有机物, 可直接为光合细菌利用, 因此工艺中未设置酸化槽。试验采用间歇运行方式, 即进水—曝气—反应—沉淀—膜出水。开启循环泵, 使反应器内混合液循环流动, 菌泥与废水混合均匀。空压机通过设置在反应器底部的穿孔管间歇曝气, 以提供微生物降解有机物所需的氧量, 并在膜表面形成剪切流, 减轻污泥在膜表面的沉积。反应器为有机玻璃槽, 有效容积为 50 L, 装置及流程见图 1。膜组件是浙江大学开发的聚丙烯中空纤维微滤膜, 设置方式为浸入一体式, 规格参数见表 2。

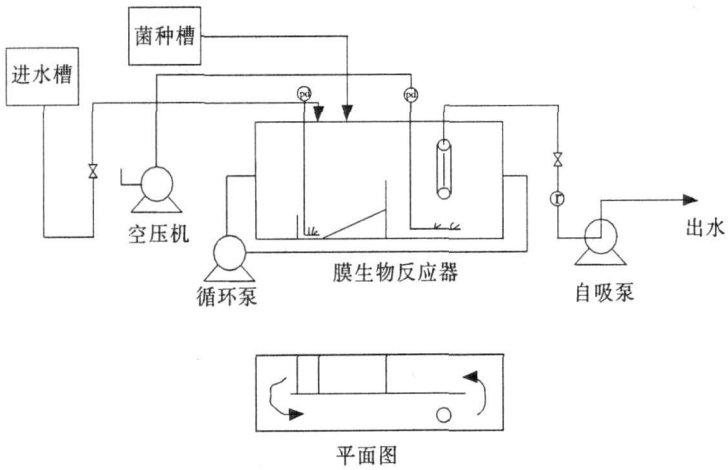


图 1 装置及流程

Fig. 1 Experiment equipment and process

表 2 膜组件规格参数

Tab. 2 Specification of membrane modules

| 膜材质 | 膜内径/μm | 膜壁厚/μm | 膜孔径/μm | 纵向强度/MPa | 孔隙率/% | 出水浊度/NTU | 设计通量/($m^3$·$d^{-1}$) | 膜丝面积/($m^2$·片$^{-1}$) | 操作负压/MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 聚丙烯 | 320~ 350 | 40~ 50 | 0.1~ 0.2 | 120 | 40~ 50 | < 0.2 | 1.0 | 5 | -0.03~ -0.04 |

## 2 结果和讨论

**2.1** 反应器的启动

在自然光照的条件下, 将培养驯化好的光合细菌菌液及经稀释的 $VB_{12}$ 废水(pH 值为 6~ 8, ρ(COD)值为 5 000 mg/L) 按照 1∶ 9(体积比) 的比例加入反应器内。开启循环泵, 使水在反应器内循环流动。开启气泵, 微量曝气。

**2.2** 反应器运行试验

试验采用进水—曝气—反应—沉淀—膜出水的运行方式。pH 值控制在 6~ 8[6], 温度在 30 ℃左右, 微量曝气。在 COD 去除率大于 90%, 稳定运行 3~ 5 d 后, 通过逐步增大进水质量浓度来提高反应器的运行负荷。试验表明, 当容积负荷提高到 5.0 kg·$m^{-3}$·$d^{-1}$ 后, 若继续提高, 则 COD 去除率开始明显下降; 容积负

荷提高到 6.0 kg·$m^{-3}$·$d^{-1}$时, COD 去除率下降为 85.1%。具体试验数据见表 3。

表 3　反应器运行试验数据

Tab.3　Experiment data of the reactor

| 进水 | | 混合液 | | 膜出水 | | COD 去除率/ | 容积负荷/ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pH 值 | ρ(COD)/(mg·$L^{-1}$) | pH 值 | ρ(COD)/(mg·$L^{-1}$) | pH 值 | ρ(COD)/(mg·$L^{-1}$) | % | (kg·$m^{-3}$·$d^{-1}$) |
| 5.6 | 14 102 | 8.3 | 1 198 | 8.3 | 973 | 93.1 | 4.5 |
| 5.4 | 14 521 | 8.1 | 1 230 | 8.2 | 1 060 | 92.7 | 4.6 |
| 5.8 | 14 237 | 8.6 | 1 262 | 8.7 | 1 096 | 92.3 | 4.7 |
| 6.2 | 14 675 | 8.7 | 1 358 | 8.6 | 1 159 | 92.1 | 4.9 |
| 5.4 | 15 234 | 8.2 | 1 467 | 8.3 | 1 249 | 91.8 | 5.0 |
| 5.6 | 14 824 | 8.3 | 1 589 | 8.4 | 1 393 | 90.6 | 5.1 |
| 6.1 | 14 635 | 8.5 | 1 795 | 8.5 | 1 553 | 89.4 | 5.3 |
| 5.5 | 15 013 | 8.6 | 1 985 | 8.5 | 1 726 | 88.5 | 5.5 |
| 6.0 | 14 345 | 8.7 | 2 031 | 8.9 | 1 822 | 87.3 | 5.6 |
| 6.2 | 14 562 | 8.9 | 2 189 | 8.8 | 1 965 | 86.5 | 5.8 |
| 5.7 | 14 756 | 8.3 | 2 431 | 8.5 | 2 202 | 85.1 | 6.0 |
| 5.9 | 16 254 | 8.4 | 3 506 | 8.5 | 3 250 | 80.0 | 6.7 |
| 6.0 | 18 641 | 8.6 | 5 010 | 8.6 | 4 660 | 75.0 | 7.5 |

经 30 d 稳定运行考察得知: 当反应器进水 COD 质量浓度为 14 000~ 16 000 mg/L, 平均水力停留时间为 35 h, 容积负荷小于 5.0 kg·$m^{-3}$·$d^{-1}$时, COD 去除率在 90% 以上, 出水 COD 的质量浓度为 900~ 1 500 mg/L, 详见图 2。

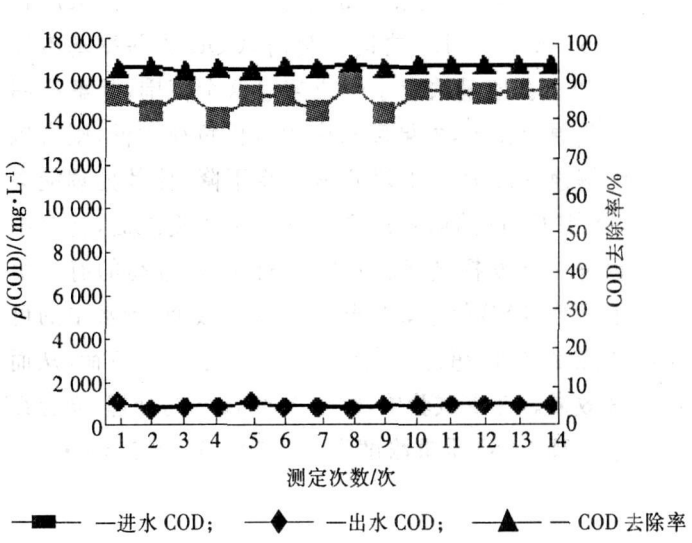


图 2　COD 的去除情况

Fig.2　Degradation of COD curve

**2.3**　影响反应器运行的因素

2.3.1　曝气量对 COD 去除率的影响

曝气量由带调节阀的转子流量计控制, 通过对反应器内溶解氧(DO)的测定值来反映曝气量的大小。图 3 为 DO 质量浓度对 COD 去除效果的影响。当 DO 质量浓度大于 1.25 mg·$L^{-1}$时, COD 去除率明显下降, 反应器内菌泥呈浅灰褐色, 碱味消失, 说明光合细菌在反应器内不占优势; 当 DO 质量浓度小于 0.25 mg·$L^{-1}$时, COD 去除率下降, 去除效果差, 反应器内菌泥呈黑褐色, 有明显臭味, 反应器性能恶化。在试验运行过程中, 随着负荷的提高, 污泥质量浓度增大, 曝气量也应作适当调整, 使 DO 质量浓度控制在0.5~ 1.0 mg·$L^{-1}$范围内。

2.3.2　水力停留时间(HRT) 对 COD 去除率的影响

光合细菌处理高浓度有机废水需要有足够的反应时间, 它比异养微生物生长繁殖速度慢, 世代周期较长。普通光合细菌反应器一般要求水力停留时间为72~ 96 h。膜的高效分离作用, 可使 PSB 完全截留在生物反应器内, 实现反应器水力停留时间和污泥龄的完全分离, 使运行控制更加灵活、稳定。笔者进行了不同水力停留时间的试验, 以确定该反应器较佳的停留时间, 保证 PSB 处理系统对 COD 的去除效果, 同时减小设计时反应器的体积。试验结果见图 4。

由图 4 可以看出, 随着水力停留时间的不同, 光合细菌对有机物的降解能力也不同。当光合细菌与其他微生物的协同作用趋于完善时, COD 去除率保持在较高水平。继续增加水力停留时间, COD 去除率不再明显上升, 表明光合细菌需要足够的处理时间, 但延长到一定程度后, COD 的去除率基本趋于平衡。因此, 最佳水力停留时间为 35 h。

2.3.3　光合细菌的优势强化

光合细菌的占优问题是光合细菌应用于废水处理的关键。在普通反应器内,光合细菌往往不容易成为优势菌种。本试验采用膜生物反应器,膜的孔径为0.1~0.2 μm,而光合细菌的细胞直径一般不小于0.5 μm,因此可使光合细菌完全滞留在反应器内,有利于光合细菌的生长、繁殖。由于PSB兼性好氧菌适宜在微好氧条件下生长繁殖,因此试验中通过控制适宜溶氧量来抑制其他好氧菌的过快繁殖,同时又使厌氧菌不能大量生长,以确保PSB的优势地位,使污水处理系统稳定运行。

由于光合细菌很难在系统中长期保持优势,需要定期投加新鲜菌种,因此为强化光合细菌在整个系统中的优势,本试验在进行过程中同步进行了菌种的筛选、扩大培养,定期向反应器内投加新鲜菌种。

2.3.4 进水COD质量浓度对COD去除率的影响

运行过程中控制反应器进水COD的质量浓度为8 000~20 000 mg·$L^{-1}$,考察进水COD质量浓度与COD去除率的关系。如图5所示,在相同的条件下,COD质量浓度在14 000~15 000 mg·$L^{-1}$之间变化时,COD去除率基本稳定在90%以上。质量浓度小于或超过这个范围,降解率明显下降。其原因在于,如果废水中的有机负荷过低,则有机底物的降解速率及PSB的增长速率将下降,使其处理能力下降;废水中COD的质量浓度低到一定程度之后,光合细菌难以再进一步发挥其净化功能。相反,在过高的有机负荷条件下运行,PSB处于其生长繁殖的对数期,废水中的可降解物质充足,但已超过了光合细菌能够承受的负荷,从而影响处理效果。在本试验中,对于$VB_{12}$废水的处理,光合细菌适用于处理COD质量浓度为14 000~15 000 mg·$L^{-1}$的废水。

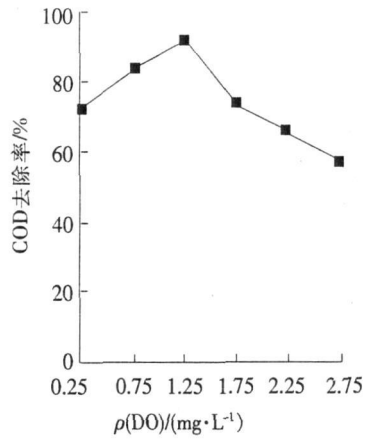


图3 DO质量浓度对COD去除率的影响

Fig. 3 Effect of DO on degradation of COD

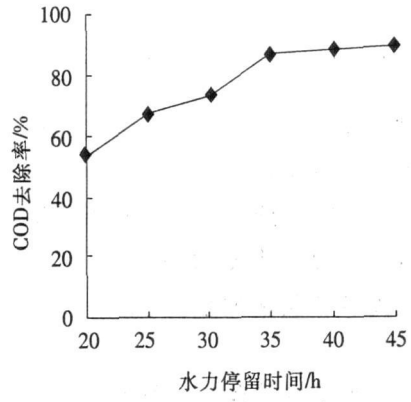


图4 不同停留时间对COD去除率的影响

Fig. 4 Degradation ratio in different HRT

## 3 结 论

1)废水进水pH值为5~6,由于光合细菌具有产碱性,反应过程中pH值会上升,但反应器内pH值始终可保持在6~8,能够适应光合细菌的生长,温度需控制在30 ℃左右。

2)通过反应器连续运行试验分析可得出以下内容。①反应器运行负荷的提高靠逐渐增大反应器的进水量来实现。容积负荷提高到5.0 kg·$m^{-3}$·$d^{-1}$,其后再提高负荷,COD的去除率开始明显下降;当容积负荷提高到6.0 kg·$m^{-3}$·$d^{-1}$时,COD去除率下降为85.1%。②稳定运行考察结果表明:当反应器进水COD质量浓度为14 000~15 000 mg·$L^{-1}$,平均水力停留时间为35 h,容积负荷小于5.0 kg·$m^{-3}$·$d^{-1}$时,COD去除率在90%以上,出水COD质量浓度为900~1 500 mg·$L^{-1}$。③本试验光合细菌处理$VB_{12}$废水适用的COD质量浓度为14 000~15 000 mg·$L^{-1}$。

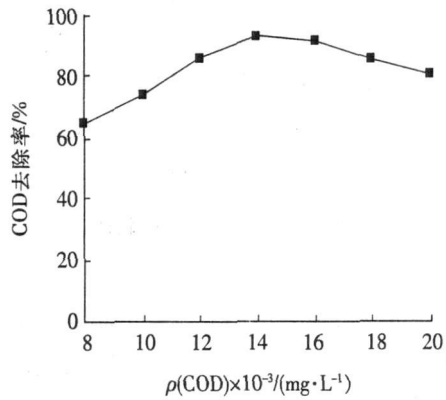


图5 进水COD质量浓度及其去除率的变化曲线

Fig. 5 Changement of COD curve and degradation rate

3)由影响因素分析得知:①在实际应用中应根据COD负荷控制曝气量,DO的质量浓度为0.5~1.0 mg·$L^{-1}$时效果最佳;②由于膜的高效分离作用,从而实现了反应器水力停 (下转第82页)

在一些较为发达的农村合作经济组织中, 已经出现了对传统合作组织基本原则的创新, 比如在坚持民主管理的基础上, 改“一人一票”为“一人一票”和“一股一票”相结合; 在提倡社员集资入股的前提下, 加大外部资金的筹措力度; 在重视合作经济组织内部成员自我服务、自我管理的基础上, 加大专家治理和法人治理的力度, 不断提高组织管理水平。这些组织创新正是农民能力增强的证明。

然而, 一项正式制度安排对集体而言是公共品, 受该项制度管束的个体不管是否承担了制度创新的成本, 都可以顺利或只须付出较小成本得到同样的服务, 因为制度安排并不能获得专利[4]。对农村合作经济组织而言, 随着农村市场机制建立后竞争压力增强, 农民对合作经济组织的合理性认识日益深刻, 在一定程度上削弱了“搭便车”行为, 但是这种依靠意识形态的变迁动力毕竟是脆弱而不稳定的, 或者说还有待于继续加强。况且, 由于人们的理性有限, 制度的设计和建立都要耗费时间和资源, 从制度出现不均衡到实现制度变迁是一个长时期的过程, 新的制度创新不可能一步到位。那么, 为了克服农村合作经济组织这一制度变迁面临的供给短缺问题, 就不得不涉及政府。

政府的角色非常特殊, 它本身就是一种制度安排, 也有一个产生和变迁的过程, 同时它还影响甚至决定其他许多制度变迁。当外在变化引起制度不均衡时, 如果自发性制度变迁无法实现, 这时只要政府的预期收益高于其主动推行制度变迁的预期费用, 它就会采取行动。人们把这种制度变迁形式称为催化性变迁。现在, 中央和地方的政府已经认识到了农村合作经济组织的巨大作用, 对其采取了大力支持的态度, 并且开始制定了相关的优惠政策。当然, 政府的这种催化性制度变迁并不一定成功, 它受到政府偏好和有限理性、官僚机构的运行方式和能力、相应的社会科学知识储备等因素的影响。在这里, 政府自身的职能转换是前提, 即政府要变成服务型政府, 扮演规则制定者而不是一定规则下经济活动参与者的角色。政府应该以为农村合作经济组织提供良好的制度环境为出发点, 在加强宣传教育、健全法规、加大财政、信贷和税收政策的支持力度、开展业务培训等方面展开工作。

值得指出的是, 政府竭力提供的制度软环境并不构成农村合作经济组织健康发展的充分条件。从事物发展的内因来讲, 内部治理机构的完善、对其成员和管理者的激励, 对农村合作经济组织的发展至关重要。对合作组织的管理者来说, 改善管理的未来结果不能将资本化为股东的现有财富, 管理者会更倾向于选择偷懒(允许少数无私的人有例外); 对合作经济组织的成员来说, 由于他们是独立的经济主体, 组织对其监督要付出巨大成本, 这种信息不对称加剧了成员的机会主义行为。那么, 在实践中探索切实有效的民主管理机制、利益分配机制和监督约束机制是以后农村合作经济组织顺利发展的重点。

参考文献:

[1] 袁迎珍. 农业合作组织: 历史变迁和制度演进 —— 推进我国农业经营组织化的新制度经济学分析[J]. 经济问题, 2004, (2): 49-51.
[2] 段文斌, 陈国富, 谭庆刚, 等. 制度经济学 —— 制度主义与经济分析[M]. 天津: 南开大学出版社, 2003.
[3] 张晓山, 苑 鹏, 潘 劲. 中国农村合作经济组织管理行为研究[J]. 中国农村经济, 1997, (10): 4-10.
[4] 林毅夫. 关于制度变迁的经济学理论– 诱致性变迁和强制性变迁[A]. 科 斯, 阿尔钦, 诺 斯, 等. 财产权利与制度变迁 —— 产权学派与新制度学派译文集[C]. 上海: 上海三联书店, 上海人民出版社, 1994.

(上接第 **26** 页)

留时间和污泥龄的完全分离, 反应器的水力停留时间可达 35 h; ③为确保光合细菌的优势生长及反应器的处理效果, 结合膜的高效截留作用, 在控制培养液的有机物质量浓度、光照强度、滞留时间、溶氧量的同时, 应定期投加新鲜菌种。

参考文献:

[1] 刘如林. 光合细菌在有机废水处理中的应用[J]. 环境科学, 1991, 12(2): 63-67.
[2] 小林正泰. 光合细菌处理高浓度有机废水[J]. 发酵与工业, 1978, 36(9): 753-760.
[3] 郑 祥. 膜生物反应器在水处理中的研究及应用[J]. 环境污染治理技术与设备, 2000, (5): 12-19.
[4] 王宝贞, 王 琳. 水污染治理新技术、新工艺、新概念、新理论[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
[5] 国家环保局. 水和废水分析方法[M]. 第 3 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
[6] 朱章玉. 光合细菌的研究及其应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1991.