

文章编号 :1009-038X(2001)06-0578-04

# 光合细菌与小球藻复合处理豆制品废水

何萍<sup>1</sup>, 杨启银<sup>2</sup>, 陈育如<sup>2</sup>, 王新风<sup>3</sup>

(1. 江南大学 师范学院, 江苏 无锡 214063; 2. 南京师范大学 生命科学学院, 江苏 南京 210097; 3. 淮阴师范学院, 江苏 淮阴 223000)

**摘要:**对光合细菌与小球藻复合处理豆制品有机废水进行了研究. 结果表明, 第一步用光合菌处理后,  $\text{COD}_{\text{cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$  分别降至 250 mg/L 和 185 mg/L, 平均去除率分别达 89.3% 和 90.9%; 第二步用小球藻与光合细菌的混合液处理后,  $\text{COD}_{\text{cr}}$  和  $\text{BOD}_5$  分别降至 84 mg/L 和 51 mg/L, 平均去除率分别达 66.4% 和 72.4%. 两步复合处理的  $\text{COD}_{\text{cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$  的总去除率分别达到 96.4% 和 97.5%.

**关键词:**光合细菌; 小球藻; 废水处理; 豆制品废水

中图分类号: X 792

文献标识码: A

## Bean Product Wastewater Treatment Using Photosynthetic Bacteria and *Chlorella vulgaris*

HE Ping<sup>1</sup>, YANG Qi-yin<sup>2</sup>, CHEN Yu-ru<sup>2</sup>, WANG Xin-feng<sup>3</sup>

(1. Teachers Training Institute, Southern Yangtze University, Wuxi 214063, China; 2. Institute of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 3. Huaiyin Teachers Training Institute, Huaiyin 223000, China)

**Abstract:** The studies on bean product wastewater treatment were carried out by using Photosynthetic Bacteria and *Chlorella vulgaris*. The results showed that the values of  $\text{COD}_{\text{cr}}$  and  $\text{BOD}_5$  were decreased to about 250 mg/L and 185 mg/L in the first step treatment by PSB. The removal rates of  $\text{COD}_{\text{cr}}$  and  $\text{BOD}_5$  reached 89.3% and 90.9% respectively in this process. The values of  $\text{COD}_{\text{cr}}$  and  $\text{BOD}_5$  were decreased to about 84 mg/L and 51 mg/L following the second treatment by PSB and *C. vulgaris*. The total removal rates of  $\text{COD}_{\text{cr}}$  and  $\text{BOD}_5$  were 96.4% and 97.5% respectively.

**Key words:** photosynthetic bacteria; *Chlorella vulgaris*; wastewater treatment; bean product wastewater

豆制品废水富含有机质, 尤其是未经处理的废水中  $\text{COD}_{\text{cr}}$  和  $\text{BOD}_5$  分别高达 12 000 mg/L 和 8 000 mg/L 以上. 未处理废水的大量排放会造成接纳水体的富营养化, 同时也是一种资源的浪费. 如何经济而有效地处理豆制品废水是当今污染防治中十分受人关注的问题. 目前多采用先稀释后用好氧

活性污泥法处理<sup>[1]</sup>, 动力消耗较大、成本高. 利用光合细菌(Photosynthetic Bacteria, 简称 PSB)处理高浓度有机废水在国内外受到高度评价且有大型 PSB 法处理装置投入运转和实际应用. 但对于低浓度有机废水来讲, PSB 处理的效率不高<sup>[2,3]</sup>. 小球藻(*Chlorella vulgaris*)是一种球状绿藻, 培养条件简

收稿日期 2001-07-25; 修订日期 2001-09-08.

基金项目 南京师范大学青年科技基金(2000SWX0000XQ1)和引进人才基金(2001SWXXGQB911)资助课题.

作者简介 何萍(1964-), 女, 江苏无锡人, 理学学士, 讲师.

便,繁殖速度快,蛋白质含量高,对废水中的低浓度有机质有较强的去除作用<sup>[4]</sup>。因此作者采用 PSB 和小球藻相结合,首先利用 PSB 对高浓度有机废水有较强的降解转化能力的特点,对豆制品废水中的高浓度有机物进行降解,再用小球藻进行处理,旨在进一步净化废水,同时获得含高蛋白的光合菌和小球藻,达到废水资源化的目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与设备

LRH-300-GS 人工气候箱;LPH-250-A 生化培养箱;PHS-25 型 pH 计;DHZ-300 多用途台式恒温振荡器;DHZ-C 大容量恒温振荡器;DHZ-D 冷冻恒温振荡器;TGLL-18 G 台式高速冷冻离心机。

### 1.2 菌株及藻株

1.2.1 光合菌株 为红螺菌科红假单胞菌属的沼泽红假单胞菌(*Rhodospseudomonas palustris* S1)和球形红假单胞菌(*Rhodospseudomonas sphaeroides* S2)的混合菌株,由南京师范大学资源微生物及菌肥实验室筛选。

1.2.2 藻株 为绿球藻科小球藻属的小球藻(*Chlorella vulgaris* S3),由南京师范大学资源微生物及菌肥实验室筛选。

### 1.3 培养基

#### 1.3.1 光合菌培养基

1) 富集培养基:修改的 Van Niel 培养基<sup>[5]</sup>。

2) 基础培养基(g/L):氯化铵 1.0,醋酸钠 3.5,氯化镁 0.1,氯化钙 0.1,磷酸二氢钾 0.6,磷酸氢二钾 0.4,酵母膏 0.1, pH 7.2。

#### 1.3.2 小球藻

1) 富集培养基(g/L):尿素 0.6,磷酸二氢钾 0.25,硫酸镁 0.25, pH 7.0。

2) 基础培养基(g/L):硝酸钾 1,磷酸二氢钾 0.25,硫酸镁 0.25, pH 7.0。

### 1.4 废水浓度与处理步骤

豆制品废水 COD<sub>cr</sub> 为 8 000~12 000 mg/L, BOD<sub>5</sub> 为 5 000~8 000 mg/L,废水先经 100 孔网过滤,再稀释至 COD<sub>cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 分别为 2 334 mg/L、2 028 mg/L 后用光合菌处理,经光合菌处理 5 d 后的废水 COD<sub>cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 分别为 250、185 mg/L,高速离心去光合菌后经高温高压灭菌,再用小球藻处理。

### 1.5 测定方法及菌量计数方法

处理后的废水经离心分离去除菌体或藻体后,取上清液,用重铬酸钾法测定 COD<sub>cr</sub> 值<sup>[6]</sup>;用碘量法测定 BOD<sub>5</sub> 值,数据 pH 值用 pH 计测定;光合菌与小

球藻数量用血球计数板计数。

### 1.6 废水处理条件

废水接入  $2.1 \times 10^8$  个/mL 的光合菌液,初始 pH 为 6.8,在厌氧、光照(40 W 白炽灯照明,距高 20 cm)和温度 30 ℃ 的条件下培养 5 d;光合菌处理后的废水离心液经灭菌后,先将其 pH 调至 7.0,再分两组进行试验。一组接入  $1.1 \times 10^7$  个/mL 的小球藻,另一组接入  $1.1 \times 10^7$  个/mL 的小球藻和  $8.3 \times 10^7$  个/mL 的光合菌的混合液。两组试验均在厌氧光照(40 W 白炽灯照明,距高 20 cm)和温度 30 ℃ 的条件下培养 4 d,定时测定废水的 COD<sub>cr</sub> 和 BOD<sub>5</sub>,比较两组差别。

## 2 结果与讨论

### 2.1 光合菌对豆制品废水有机质的降解转化

2.1.1 光合菌处理对豆制品废水 COD<sub>cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 的影响 豆制品废水经光合菌处理后的 COD<sub>cr</sub> 及 BOD<sub>5</sub> 变化见图 1。初始 COD<sub>cr</sub> 和 BOD<sub>5</sub> 分别为 2 334 mg/L 及 2 028 mg/L 的豆制品废水用光合菌处理 4 d 后,其 COD<sub>cr</sub> 及 BOD<sub>5</sub> 分别降至 247 mg/L 及 181 mg/L,而到了第 5 天,废水的 COD<sub>cr</sub> 及 BOD<sub>5</sub> 均有所上升,分别达到 250 mg/L 及 185 mg/L,相应的 COD<sub>cr</sub> 及 BOD<sub>5</sub> 平均去除率分别达到 89.3% 及 90.9%。这是因为豆制品废水中的淀粉、多糖、蛋白质和脂肪等大分子物质经发酵分解已转化为可溶性的小分子物质如单糖、氨基酸和脂肪酸等,能被添加的光合菌作为光合成的供氢体及碳源快速地利用,故 COD<sub>cr</sub> 及 BOD<sub>5</sub> 下降较多;而第 5 天 COD<sub>cr</sub> 及 BOD<sub>5</sub> 回升的原因可能有两个:一是测定 COD<sub>cr</sub> 为 150 mg/L 的邻苯二甲酸氢钾标准溶液的相对标准偏差<sup>[7]</sup>为 4.0%,测定 BOD<sub>5</sub> 为 6.85~9.09 mg/L 的 20 ℃ 饱和溶解氧的蒸馏水的相对标准偏差为 0.4%;二是菌体发生自溶<sup>[8]</sup>使处理液中的有机物增加,导致 COD<sub>cr</sub> 及 BOD<sub>5</sub> 的增加。

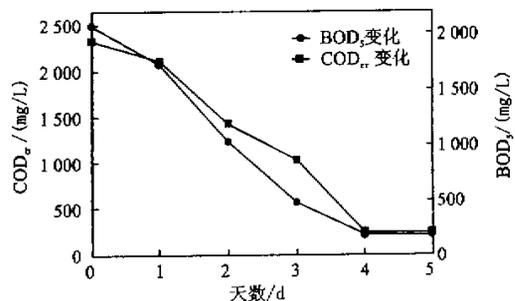


图1 PSB 处理对 COD<sub>cr</sub> 和 BOD<sub>5</sub> 的影响

Fig.1 Effect of PSB treatment on COD<sub>cr</sub> and BOD<sub>5</sub>

### 2.1.2 光合菌处理对豆制品废水 pH、菌体生长的影响

用光合菌处理  $\text{COD}_{\text{cr}}$  为 2 334 mg/L 的豆制品废水, 定时测定废水 pH 值及菌量生长情况, 结果见图 2。初始 pH 为 6.8 的豆制品废水经光合菌处理后, 第 1 天 pH 值略有下降, 第 2、3、4 天 pH 均呈上升趋势, 而到第 5 天, 废水 pH 不再上升, 为 7.6。这是由于豆制品废水经稀释后自身含一定的溶解氧, 光合细菌在第 1 天的有氧环境下, 能利用氧气进行有机物的有氧代谢, 将有机物分解为有机酸而使废水 pH 下降; 而当豆制品废水自身所含溶解氧被耗尽的后几天, 在缺氧条件下, PSB 能利用处理液中的有机酸<sup>[9]</sup>、氨基酸或其它含氮化合物进行生长、繁殖和代谢, 同时有脱羧作用和脱氨作用<sup>[10]</sup>, 且脱羧作用大于脱氨作用, 从而使污水处理系统呈碱性反应。

在废水处理过程中, 加入了初始菌量为  $2.1 \times 10^8$  个/mL 的光合菌, 处理 4 d 后, 菌量达到  $2.5 \times 10^9$  个/mL, 为初始菌量的 12 倍。这是由于光合菌能将废水中的有机物转化为自身菌体所需的营养物质, 在去除有机物的同时使菌体大量增殖; 至第 5 天菌量有所下降, 其原因是老龄菌体失去繁殖能力自溶所致。这与 2.1.1 中推断的第 5 天  $\text{COD}_{\text{cr}}$  及  $\text{BOD}_5$  回升的原因相吻合。

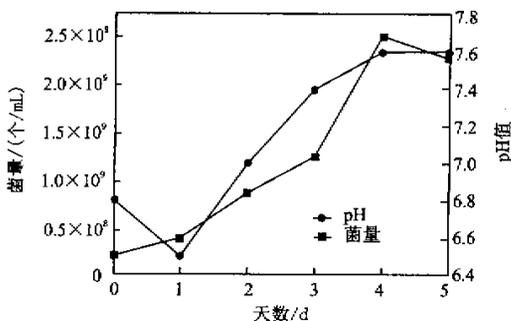


图2 PSB处理对pH和菌量的影响

Fig.2 Effect of PSB treatment on pH and biomass

### 2.2 小球藻对豆制品废水的进一步处理效果

#### 2.2.1 小球藻处理对废水 $\text{COD}_{\text{cr}}$ 及 $\text{BOD}_5$ 的影响

经光合菌处理后的废水其  $\text{COD}_{\text{cr}}$  为 250 mg/L, 此时再用小球藻与 PSB 的混合液及用小球藻单独处理的结果见图 3。废水用小球藻与 PSB 的混合液处理 2 d 后,  $\text{COD}_{\text{cr}}$  降为 86 mg/L, 处理 3 d 后平均降为 84 mg/L,  $\text{COD}_{\text{cr}}$  去除率平均为 66.4%; 此废水用小球藻单独处理, 则在处理 3 d 后  $\text{COD}_{\text{cr}}$  降为 99 mg/L,  $\text{COD}_{\text{cr}}$  去除率为 60.4%。至此, 结合第一步光合菌的单独处理, 两种方法的  $\text{COD}_{\text{cr}}$  总去除率分别

为 96.4% 和 95.8%, 差别不大, 区别在于混合处理后废水  $\text{COD}_{\text{cr}}$  达标时间可缩短。

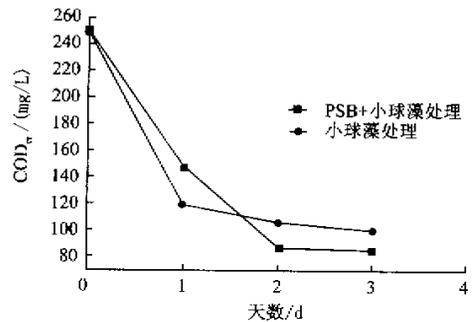


图3 两组不同处理对废水  $\text{COD}_{\text{cr}}$  的影响

Fig.3 Effect of different treatments on  $\text{COD}_{\text{cr}}$

与上述类似, 初始  $\text{BOD}_5$  为 185 mg/L 的光合菌处理后的豆制品废水用小球藻与 PSB 的混合液及用小球藻单独处理的结果见图 4。废水被处理 4 d 后,  $\text{BOD}_5$  分别降至 51 mg/L 及 55 mg/L,  $\text{BOD}_5$  去除率分别为 72.4% 及 70.3%, 总去除率分别达到 97.5% 及 97.3%, 两种方法差别不大。

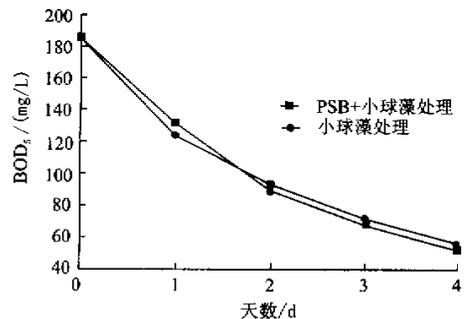


图4 两组不同处理对废水  $\text{BOD}_5$  的影响

Fig.4 Effect of different treatments on  $\text{BOD}_5$

由于小球藻能利用低浓度的有机物作为唯一的碳源和能源进行异养生长<sup>[11,12]</sup>, 因而经光合菌处理后的废水再用小球藻处理, 能使剩余有机物被快速利用, 致使废水  $\text{COD}_{\text{cr}}$  及  $\text{BOD}_5$  大幅度下降, 有助于废水的进一步净化。

#### 2.2.2 小球藻处理对废水 pH 及藻量生长的影响

用上述两种处理方法观察小球藻对光合菌处理后废水 pH 及藻量生长的影响, 结果见图 5、6。为保证处理的有效性, 将原处理液 pH 人为调至 7.0。废水经两种方法处理 4 d, 其 pH 值分别上升至 7.6 及 7.5。这是因为小球藻能利用经光合菌处理后的含有残留有机酸<sup>[8]</sup>等有机物的废水, 因而使 pH 上升; 废水用两种方法处理 4 d 后, 藻细胞数量由原来的  $1.1 \times 10^7$  个/mL 增至  $4.5 \times 10^7$  个/mL 以上, 增

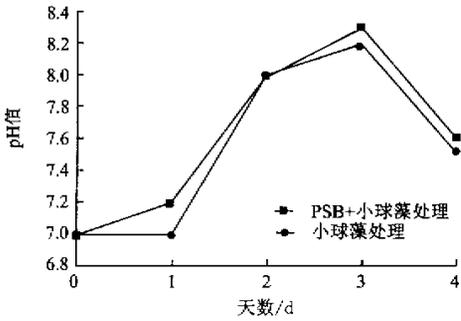


图 5 两组不同处理对废水 pH 的影响

Fig.5 Effect of different treatments on pH

加 3 倍以上,而加入的 PSB 由原来的  $8.3 \times 10^7$  个/mL 减至  $7.3 \times 10^7$  个/mL。这说明光合菌能利用高浓度废水的有机物进行快速扩增,低浓度的废水因营养物质不足,光合细菌的繁殖周期缓慢,部分菌株菌龄老化,失去繁殖力而产生自溶,造成菌量下降,而小球藻正适合在低浓度废水中生长,其在降解低浓度有机物的同时能将有机物转化成藻体自身的营养成分,故藻量增加较快。

### 3 结 论

1) PSB 和小球藻综合处理豆制品废水的整个过程可分两步进行,第一步用 PSB 单独处理,将废水  $COD_{cr}$ 、 $BOD_5$  平均降至 250 mg/L 及 185 mg/L 后进入第二步处理;第二步用两种方法处理:一种用小球藻与 PSB 的混合液处理,废水  $COD_{cr}$  及

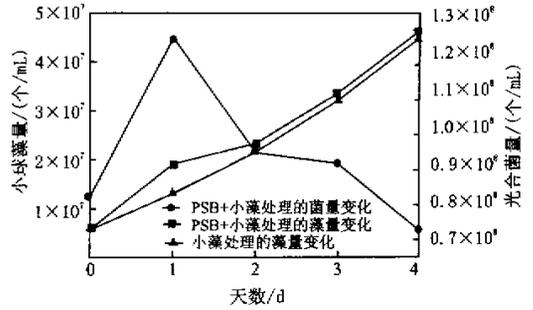


图 6 两组不同处理废水对藻量生长的影响

Fig.6 Effect of different treatments on biomass

$BOD_5$  可分别平均降至 84 mg/L 及 51 mg/L,达到废水排放标准,平均的  $COD_{cr}$  及  $BOD_5$  总去除率可分别达到 96.4% 及 97.5%;另一种用单独加入小球藻的方法处理,则其  $COD_{cr}$  及  $BOD_5$  可分别降至 99 mg/L 及 55 mg/L,也达到废水排放标准,平均的  $COD_{cr}$  及  $BOD_5$  总去除率可分别达到 95.8% 及 97.3%。

2) 若再将小球藻与 PSB 同时处理废水,则不但能加快废水  $COD_{cr}$  达标速率,而且  $COD_{cr}$  及  $BOD_5$  的总去除率可分别达到 96.4% 及 97.5%,稍大于用小球藻单独处理的效果。鉴于此,工业化处理豆制品废水时,废水在第一步用 PSB 处理后,不必经过离心、灭菌等复杂步骤,直接加入小球藻进入第二步处理即可,既加快达标速率,又节约能源,节省人力,从而大大降低了投资成本,易于推广使用。

### 参考文献:

[ 1 ] 贾慧琅,吴怀兆.用活性污泥法处理柠檬酸废液和生活污水[J].华东电力,1997,12:45~46.  
 [ 2 ] 王国生.光合菌与小球藻废水处理工艺的开发[J].西南给排水,1999(3):22~24.  
 [ 3 ] 顾祖宜,戚蓓静,史家梁.应用光合菌处理有机废水的研究[J].中国环境科学,1985,(2):29~31.  
 [ 4 ] 徐向阳,孙琦.光合细菌在有机废水处理中的应用现状与前景[J].环境污染与防治,1990,12(5):32~37.  
 [ 5 ] 刘如林,刁虎欣,梁凤来.光合细菌及其应用[M].北京:中国农业科技出版社,1991.  
 [ 6 ] 国家环境保护局.水和污水监测分析方法(第三版)[M].北京:中国环境出版社,1989.  
 [ 7 ] 城乡建设环境保护部环境保护局.环境监测分析方法[M].北京:中国环境出版社,1983.  
 [ 8 ] 王宇新,刘春朝,钱新民等.光合细菌处理淀粉废水的中试研究[J].环境科学,1995,16(3):39~40.  
 [ 9 ] 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):83~91.  
 [ 10 ] 张桂馥,邱德均,顾红娟.利用光合细菌(PSB)处理粪水沼液效果的初步研究[J].中国沼气,1994,12(3):17~21.  
 [ 11 ] LEWIN J C. Heterotrophy in Diatoms[J]. J gen Microbio, 1953, 9: 305~313.  
 [ 12 ] NEISON A H, LEWIN R A. The uptake and utilization of organic carbon by algae: an essay in comparative biochemistry[J]. J Phycologia, 1974, 13: 227~264.