

# 光照对固定化菌藻反应器脱氮除磷效率的影响

潘 辉, 熊振湖, 金勇威

(天津城市建设学院市政与环境工程系, 天津 300384)

**摘要** 采用气升式反应器对日光灯光暗比、日光灯光源和二极管光源在固定化菌藻共生系统去除氮磷的作用进行试验研究。结果表明:延长光照时间有利于该系统对  $\text{NH}_4^+$ -N、 $\text{PO}_4^{3-}$ -P 的去除,采用日光灯光源去除效果优于采用二极管光源。

**关键词** 固定化菌藻;光照;脱氮除磷

中图分类号:X703 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2006)05-0063-02

## Effect of illumination on removal efficiency of nitrogen and phosphorus in immobilized algal-bacterial reactor

PAN Hui, XIONG Zhen-hu, JIN Yong-wei

(Department of Municipal and Environmental Engineering, Tianjin Urban Construction Institute, Tianjin 300384, China)

**Abstract** The effects of the ratio of bright time and dark time of fluorescent lamp, and lamp-house of fluorescent lamp and diode lamp on the removal of nitrogen and phosphorus by the co-immobilized algal-bacterial system in the airlifted reactor were studied. The results show that the prolonged illumination time is beneficial to the removal of  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P. The effect of fluorescent lamp is better than diode lamp.

**Key words** immobilized of algal-bacteria; illumination; nitrogen and phosphorus removal

水体富营养化是一种水体中 N、P 等植物营养素含量过多引起的水质污染现象。藻菌共生系统利用藻类和细菌两类生物之间在生理功能上产生的协同作用,能有效去除水体中的营养物质,氧化塘即是这系统的典型应用。但氧化塘主要依靠自然生长的藻类和半人工控制手段,藻类生长受到光照条件、温度等许多因素的影响,太阳光能利用率低,藻细胞密度仅稍大于周围的水体,很难通过自然沉降去除,导致出水 SS 很高<sup>[1-2]</sup>。固定化细胞技术具有维持高微生物浓度、固液分离容易、不易受毒性物质影响、剩余污泥量少、便于人工控制等优点,近年来在水处理中得到广泛的研究与应用。

光照是单胞藻培养中影响其生长的最重要的因子之一,本文主要就这一因素对共固定化菌藻系统去除模拟生活污水中 N、P 的影响作一探讨。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

藻种:蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)种购自中国科学院武汉水生物研究所。

活性污泥 取自纪庄子污水处理厂二沉池污泥。

### 1.2 固定化方法

把离心分离的藻液和活性污泥与质量分数为 10%~12% 的 PVA 和 0.2%~0.5% 的海藻酸钠混合均匀,滴入 2% 的  $\text{CaCl}_2$  中形成凝胶球,2 h 后分离凝胶球,放入 10% 的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  溶液中搅拌再次固定,形成固定化小球<sup>[3]</sup>。

### 1.3 实验方法

a. 人工污水的配制 取分析纯  $\text{NH}_4\text{Cl}$  为 38.19 g,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  为 8.78 g 分别定容至 1 000 mL,配成质量浓

度  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  为  $10 \text{ mg/mL}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  为  $2 \text{ mg/mL}$  的储备液。配制生活污水时以不含 N 和 P 的 Bold 培养基为本底, 根据欲配制生活污水营养盐浓度和有机负荷加入一定量的  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  储备液和葡萄糖。

b. 藻生物量的测定<sup>[4]</sup> 利用藻细胞数与其吸光度的线性关系, 在  $680 \text{ nm}$  处测其吸光度。然后根据标准曲线求出藻细胞密度。

c.  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的测定: 采用纳氏试剂光度法<sup>[5]</sup>。

d.  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  的测定: 采用钼磷酸盐比色法测定 P 的含量<sup>[6]</sup>。

e.  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  的测定: 采用重铬酸钾消解后比色测定方法, 用 HACH 公司 45600 型号 COD 消解反应器及 HACH 公司 DR/890 比色计比色测定。

f. LED 光源: 采用 LED 集成光电板光源, LED 集成光电板厚度为  $4.0 \text{ mm}$ , 每个反应器设 2 块, 安装在反应器左右两侧。每块光电板  $1.1 \times 0.057 \text{ m}$ , 在板上安装两排红色  $\varnothing 5$  发光二极管和两排蓝色  $\varnothing 5$  发光二极管共  $65 \times 4$  个。

g. 日光灯光源: 6 只  $40 \text{ W}$  日光灯管安装在反应器背面支架上。

## 2 反应器构造与流程示意图

如图 1 所示, 反应器是用透明有机玻璃制作的长方体, 长、宽各为  $60 \text{ mm}$ , 高为  $760 \text{ mm}$ , 有效容积  $2.52 \text{ L}$ 。进水由蠕动泵从底部进水口压入反应器, 并通过调节蠕动泵转速调节进水流量。出水通过溢流口流出。所需气体由空压机提供, 从底部进气口进入反应器, 调节进气阀使固定化小球在反应器中达到流化状态。LED 光源板放在紧贴反应器两侧的支架上, 在反应器左右两侧照射。日光灯光源放在反应器背后的支架上由反应器后部照射。

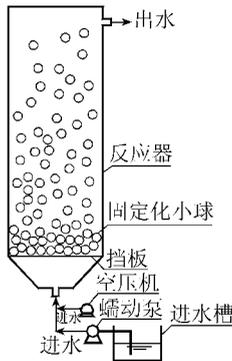


图 1 反应流程图

## 3 结果与讨论

### 3.1 光暗比对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 去除率的影响

在日光灯光源照射下测定光暗比对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、

$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  去除率的影响, 试验用 3 个同样的反应器作平行实验: 1# 全光照, 光强  $4000 \sim 4900 \text{ lx}$ ; 2# 光暗比为  $12:12$ , 光强  $4000 \sim 4900 \text{ lx}$ ; 3# 为零光照。进水质量浓度:  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  为  $48 \text{ mg/L}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  为  $5 \text{ mg/L}$ ,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  为  $505 \text{ mg/L}$ 。水力停留时间(HRT)为  $24 \text{ h}$ , 反应温度为室温。每个固定化小球包埋藻约  $10^6$  个, 活性污泥  $3.6 \text{ mg}$ 。固定化小球体积与反应器有效容积之比为  $1:10$ 。  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  的去除率如图 2、图 3 所示。

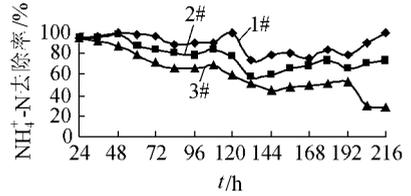


图 2 不同光暗比下  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的去除率

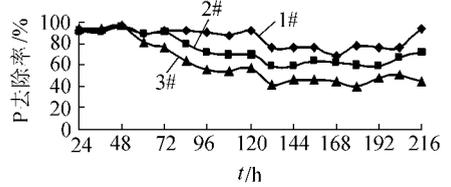


图 3 不同光暗比下  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  的去除率

由图 2、图 3 可见, 反应器运行初  $36 \text{ h}$  和  $48 \text{ h}$  三种光照时间下,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  去除率相差不大。说明短时间内光照对菌藻共固定化系统的影响甚小。反应器运行时间大于  $36 \text{ h}$  后, 半光照条件、零光照条件下  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  去除率下降, 并且零光照条件下  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  下降速度大于半光照下降速度, 因此  $36 \text{ h}$  后对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  去除率顺序为: 全光照、半光照、零光照。反应器运行时间大于  $48 \text{ h}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  的去除率遵循同样规律。说明延长光照时间加强了小球藻的光合作用, 加快了小球藻的增殖, 小球藻吸收更多的营养因素, 因此有利于固定化菌藻共生系统对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  的去除。

### 3.2 不同光源对 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 去除率的影响

用两个同样的反应器作平行实验, 1# 为二极管光源, 光强  $630 \text{ lx}$ ; 2# 为日光灯光源, 光强  $4000 \sim 4900 \text{ lx}$ 。进水质量浓度:  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  为  $36 \text{ mg/L}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  为  $5 \text{ mg/L}$ ,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  为  $407 \text{ mg/L}$ 。HRT =  $24 \text{ h}$ , 反应温度为室温。每个固定化小球包埋藻约  $20 \times 10^4$  个, 活性污泥  $1.8 \text{ mg}$ 。固定化小球体积与反应器有效容积之比为  $1:10$ 。  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  的去除率如图 4、图 5 所示。

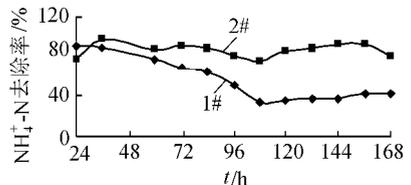


图 4 光源对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  去除率的影响

(下转第 67 页)

除效果,是传统的化学沉淀法的良好补充。

### 3 结论

a. 二烷基二硫代磷酸盐捕集剂对  $Hg^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$  的去除率均达 99% 以上,处理后废水中  $Pb^{2+}$  和  $Cu^{2+}$  的含量可满足国家排放标准, $Cd^{2+}$  和  $Hg^{2+}$  的含量可接近国家排放标准。

b. 二烷基二硫代磷酸盐捕集剂可在酸性条件下处理  $Hg^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$  废水,处理效果不受 pH 值的影响,因此弥补了中和沉淀法必须在高碱度条件下使用的不足,可节省调节酸碱度的费用。

c. 经对比实验证明,二烷基二硫代磷酸盐捕集剂的最佳投加量为化学计量的 1.2 倍,对于含  $Cu^{2+}$  废水,可加入硫酸铝絮凝剂加快螯合沉淀物的分离速度,最佳投加量为 150 mg/L。二烷基二硫代磷酸盐与  $Hg^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$  生成螯合物的沉淀析出量均远低于中和沉淀法所得产物的沉淀析出量,而且抗 pH 值冲击,因此二烷基二硫代磷酸盐捕集产物采用填埋方式处置时,污染组分向环境的泄漏量比传统中和沉淀法的产物低得多,所以减少了捕集

产物再次污染环境的风险<sup>[5]</sup>。

总之,采用高分子有机捕集剂与废水中的多种金属离子发生螯合反应,生成稳定且难溶于水的金属螯合物去除废水中重金属离子的方法,克服了传统化学处理法的不足,沉淀物稳定性高,经处理后出水中重金属含量远低于采用传统方法处理的结果,特别对废水中重金属含量低的废水,处理费用低,有很好的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 汪大羽,徐新华,宋爽.工业废水中专项污染物处理手册[M].北京:化学工业出版社,2000:13-15.
- [2] 谈辉明,杨启文.重金属废水处理技术的现状与展望[J].环境科学与技术,1997(1):35-36.
- [3] 蒋建国,王伟,赵翔龙,等.重金属螯合剂在废水治理中的应用研究[J].环境科学,1999,20(1):65-67.
- [4] 蒋建国,王伟.高分子螯合剂捕集重金属  $Pb^{2+}$  的机理研究[J].环境科学,1997,18(2):31-33.
- [5] 陈静生,周家义.中国水环境重金属研究[M].北京:中国环境出版社,1993:19-21.

(收稿日期 2005-02-21 编辑 高渭文)

(上接第 64 页)

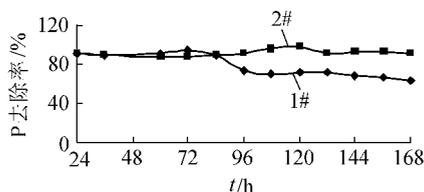


图 5 光源对  $PO_4^{3-}$ -P 去除率的影响

由图 4、图 5 可见:在运行开始的 24~36 h,二极管光源和日光灯光源对  $NH_4^+$ -N 的去除率相差不多,24~84 h 内,两种光源对磷的去除率也相差很小,说明短时间内光源对固定化菌藻共生系统影响不大,这和上面的结论是一致的。36 h 以后日光灯对  $NH_4^+$ -N 的去除率大于二极管的去除率,并且随着运行时间的延长,日光灯和二极管对  $NH_4^+$ -N 去除率的差别加大。84 h 以后,磷的去除也出现这种情况。在适光范围内,增加光照强度可使光合作用速度加快,细胞分裂速率加快,由于日光灯的光源强度远远大于二极管光源强度,所以日光灯照射下  $NH_4^+$ -N、 $PO_4^{3-}$ -P 的去除率大于二极管光源照射下  $NH_4^+$ -N、 $PO_4^{3-}$ -P 的去除率。说明反应器运行一段时间后,光强对固定化菌藻共生系统产生很大影响。但是,由于二极管光源所需的电压和功率远远小于日光灯,特别是在反应初期,它表现出很好的节能特性。这可能和二极管采用的红光(610~720 nm)和蓝光(400~

520 nm)在光谱范围内对光合作用的影响最大有关。

### 4 结论

a. 短时间缺少光照对固定化菌藻共生系统脱氮除磷影响不大,长时间缺少光照,N、P 去除效率明显降低。

b. 光照强度在短时间内对固定化菌藻共生系统脱氮除磷影响甚小,长时间光强不够不利于  $NH_4^+$ -N、 $PO_4^{3-}$ -P 的去除。

### 参考文献:

- [1] 许春华,周瑾.高效藻类塘的研究与应用[J].环境保护,2001(8):41-43.
- [2] 严国安,谭智群.藻类净化污水的研究及其进展[J].环境科学进展,1995(3):45-54.
- [3] 薛嵘,黄国兰,毛宇翔.改进的 PVA—硫酸盐法固定蛋白核小球藻除磷研究[J].中国环境科学,2002,22(4):351-354.
- [4] 刘学铭,于若黔,梁世中.分批异养培养小球藻光密度值与干重关系[J].植物学通报,1999,26(5):339-345.
- [5] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002:276-281.
- [6] 美国公共卫生协会.水和废水标准检验法[M].宋仁元,张亚杰,王维一,等.北京:中国建筑工业出版社,1985:377-388.

(收稿日期 2005-03-08 编辑 徐娟)