

# 固定化藻菌的小球浓度对模拟生活污水脱氮除磷效果的影响

王 佳

(天津城市建设学院市政与环境工程系,天津 300384)

**摘要** 将单细胞蛋白核小球藻和活性污泥按照  $V_{藻}:V_{泥}=1:1$  的比例包埋于聚乙烯醇中制成小球,形成固定化藻菌共生系统,用来去除模拟污水里的氮磷。实验表明,不同的小球浓度的脱氮除磷效果不同,最佳效果的藻菌小球浓度为  $V_{球}:V_{水}=1:4.5$ ,在 60 h 的周期中,TN 去除率为 76.79%,TP 的去除率在 90% 左右,小球浓度太低( $V_{球}:V_{水}=1:9$ )和太高( $V_{球}:V_{水}=1:3,1:2.25,1:1.8$ )则 TN 和 TP 的去除率明显降低。

**关键词** 固定化藻菌;小球浓度;脱氮除磷

中图分类号:X703 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2005)01-0072-03

## Effect of cell concentration on the removal of nitrogen and phosphorus in synthetic wastewater by the immobilized algal-bacterial system

WANG Jia

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

**Abstract** An immobilized algal-bacterial symbiosis system is established by the combination of single-cell *Chlorella pyrenoidosa* with activated sludge in PVA for simulation of the removal of nitrogen and phosphorous in wastewater. It shows that the removal rate changes with the concentration of cells. The optimal concentration is  $V_{cells}:V_{water}=1:4.5$ . In the optimum system, the removal rate of nitrogen is 76.79% and that of phosphorus is about 90%. The removal efficiency declines obviously if the concentration of cells is too low( $V_{cells}:V_{water}=1:9$ ) or too high( $V_{cells}:V_{water}=1:3, 1:2.25$ , and  $1:1.8$ ).

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

蛋白核小球藻在污水处理领域中主要用来去除氮、磷和重金属,但是其处理效果并不理想<sup>[1]</sup>。为此,人们开始越来越重视藻类和细菌相结合的方式,即应用藻菌共生系统进行污水的脱氮除磷处理。在藻菌共生系统中,藻类通过光合作用产生氧气,供给好氧菌降解有机物质,而且有机质降解产生的 CO<sub>2</sub> 可被藻类利用,这样就减少了曝气量,降低了能耗。可是,在藻菌共生系统中往往存在游离藻和活性污泥结合不紧密、易于流失、不易回收的问题<sup>[2]</sup>。对此,近年来产生的固定化藻菌载体包埋技术解决了这个难题,不但提高了操作灵活性,而且固定化藻的叶绿素含量和光合强度一般高于悬浮藻,其生长速度也高于悬浮藻,大大提高了污水处理效果。但是,

固定化藻菌共生系统对污水中氮磷的去除效果取决于许多因素,包括温度、光照强度、小球浓度等<sup>[3]</sup>。此外,在反应器中,固定化小球浓度不仅影响藻细胞和细菌的数量,而且对光线的穿透性产生一定程度的影响,这在很大程度上影响了该工艺的实际应用。本课题在充分考虑各种影响因素基础上,研究了不同小球浓度对模拟生活污水中氮磷去除效果的影响,以确定最佳的小球浓度。

### 1 材料和方法

#### 1.1 固定化小球制备

藻种购自中国科学院武汉水生生物研究所。将 2 组藻种和 300 mL Bold 培养基分别加入到 500 mL 的

锥形瓶中,培养基中含氮(以  $\text{NaNO}_3$  形式)41 mg/L,磷(以  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  和  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  形式)53 mg/L,并且含有其他微量元素,体系的 pH 值约为 6.5 ~ 6.9。将锥形瓶置于光照度为 4 000 lx 的光照恒温培养箱中进行 72 h 全光照培养,培养箱中温度保持在  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。培养完毕,得到的藻浓度为  $6.0 \times 10^6$  (血球计数板计数)。

将 300 mL 培养后的藻液和活性污泥(取自天津纪庄子污水处理厂曝气池)( $V_{\text{藻}}:V_{\text{泥}}=1:1$ )在 3 500 r/min 下离心 15 min,弃去上清液,用去离子水冲洗 2 次,除去细胞表面残留的无机盐,然后加入到 PVA、海藻酸钠的混合液中搅拌均匀,形成溶有 8% PVA 及 0.8% 海藻酸钠的 300 mL 的含藻菌凝胶,用蠕动泵使这种凝胶经过 12 号针头滴入到饱和硼酸(用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  调节 pH 值至 6.5)和 2.5% 的  $\text{CaCl}_2$  的混合溶液中,搅拌 7 h,然后用去离子水冲洗,并在蒸馏水中脱盐 1 h,最终得到直径为 4 mm 左右的固定化小球。

1.2 模拟污水

为了防止使用实际污水中的某些化合物干扰测定结果,本实验采用了模拟废水。主要成分为:200 mg/L 的葡萄糖,41 mg/L 的硝酸盐氮,53 mg/L 的磷酸盐磷,其他微量元素。

1.3 实验方法

取 6 个 500 mL 的锥形瓶,每个锥形瓶中加入 100 mL 的模拟废水,将藻菌小球按 5 种不同的浓度( $V_{\text{球}}:V_{\text{水}}=1:9, 1:4.5, 1:3, 1:2.25, 1:1.8$ )分别置于 5 个锥形瓶中,将非固定化的藻菌小球放入另 1 个锥形瓶中,作为空白实验。将锥形瓶放入振荡器中,控制温度在  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,保持 60 h 的全光照,光照度为 4 000 lx,转速设为 117 r/min,以使固定化小球悬浮于溶液中。每间隔 12 h,测定水样中剩余的  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{PO}_4\text{-P}$ 。测定方法参考标准手册<sup>[4]</sup>。根据所得数据,绘制图 1、图 2。

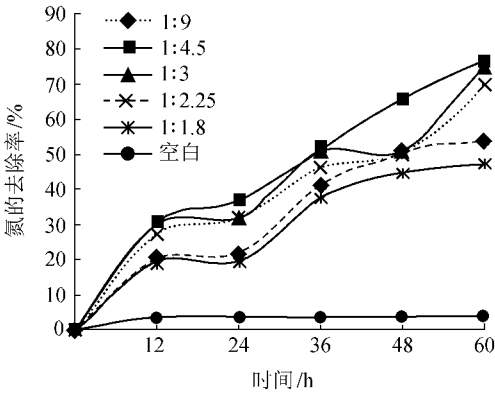


图 1 不同固定化藻菌共生小球浓度对模拟废水的脱氮效果

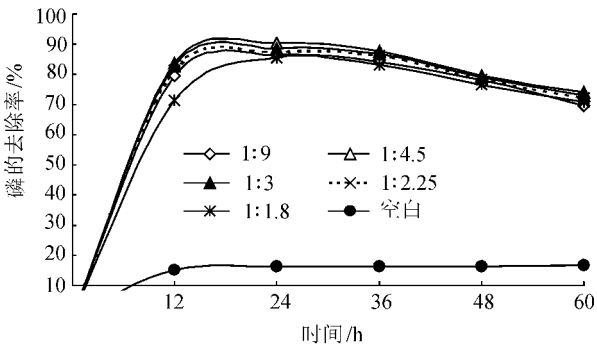


图 2 不同固定化藻菌共生小球浓度对模拟废水的除磷效果

2 结果与讨论

2.1 氮的去除效果

空白实验表明,  $\text{NO}_3\text{-N}$  可以迅速被吸附在载体的表面。由此可知,固定化藻菌共生系统,在去除氮时,可以分两种方式进行:一是  $\text{NO}_3\text{-N}$  吸附在载体的表面;二是  $\text{NO}_3\text{-N}$  透过载体由藻和菌来去除。

由图 1 可以看出,模拟废水中的  $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度在最初的 12 h 里迅速下降,然后在 12 ~ 24 h 下降缓慢,在 24 ~ 36 h 又迅速下降,36 ~ 48 h 之后  $\text{NO}_3\text{-N}$  的去除最为缓慢。这主要是由于在实验开始时,藻类利用营养物质迅速增长,并放出氧气。由于每单位重量的藻类细胞可产生 1.55 单位重量的氧气<sup>[3]</sup>,导致模拟污水中的溶解含量明显增高,在这种条件下有利于硝化细菌的生长,由于硝化细菌的世代周期较长,为 31 h,所以在实验进行了 30 h 时,硝化细菌的数量开始迅速增加,藻类和硝化细菌的同化吸收作用使得  $\text{NO}_3\text{-N}$  浓度迅速下降。由图 1 还可发现,在 60 h 末,5 组实验中  $\text{NO}_3\text{-N}$  的去除率最高的仅为 76.69%,这主要是由于模拟污水中的含氧量高,反硝化作用受到了抑制,从而抑制了水中  $\text{NO}_3\text{-N}$  的去除。

2.2 磷的去除效果

由空白实验可以发现,载体对磷有一定的物理吸附作用,而且载体对磷的吸附作用远远大于对氮的吸附作用。因此可以推断,固定化藻菌共生系统的去除磷是分两种方式进行:一是磷酸盐吸附在载体的表面;二是磷酸盐透过载体由藻和菌的代谢去除。

藻类、细菌的生长都需要利用磷作为必需的生长元素,这是固定化藻菌共生系统具有磷去除能力的原因之一。以 Yan Guoan<sup>[5]</sup>给出的藻类分子式  $\text{C}_{106}\text{H}_{181}\text{O}_{45}\text{N}_{16}\text{P}$  为例,生物同化吸收磷的量占藻类细胞无灰干重的 1%,由磷酸盐的去除率可以知道,生物同化吸收是磷去除的主要途径。

由图 2 可知,在最初的 12 h 里,藻类细胞和细菌的代谢活性大,数量迅速增加,磷酸盐浓度迅速降低,固定化藻菌共生系统对于磷酸盐的去除率平均

在 80% 左右。在 12 h 之后 ,随着营养物质的减少 ,藻类细胞和细菌代谢活性的降低 ,剩余的正磷酸盐的浓度降低很缓慢。在 24 h 末 ,磷的去除率达到了最大。在 24 h 之后 ,由于藻类细胞和细菌对营养物质的竞争 ,营养物质的缺乏 ,部分藻类细胞和细菌死亡 ,磷的去除率缓慢下降。所以 ,藻类的吸收和细菌的同化吸收作用去除了模拟污水中大部分的磷。

从图 2 中可以看出 ,不同的小球浓度的除磷效果各不相同 ,2# 锥形瓶中的去除率最高 ,达到了 90.33% ,其他的依次是 3# ,4# ,1# ,5#。这种现象和固定化藻菌共生系统去除模拟废水中的氮相似 ,表明若小球浓度太低 ,则导致藻类细胞和细菌数量少 ,微生物生长所需的营养物质相对较少 ,模拟污水中磷的去除也较少 ,若小球浓度太高 ,就会减少光线的穿透率 ,增大了自掩蔽现象 ,从而限制藻生长和新陈代谢活动 ,导致部分藻类死亡。这样 ,藻类产生的氧气严重不足 ,使活性污泥处于厌氧状态 ,从而导致细菌不能很好地发挥作用。

模拟废水中磷的去除还有一个重要的原因 :海藻酸钙中的钙离子随 pH 值的提高形成磷酸钙沉淀。尽管载体中的钙发生了钙沉淀 ,藻菌小球在 60h 之后还是完整的 ,并没有发生藻菌的泄漏现象。这是由于固定化载体中只含有少量的海藻酸钙 ,对载体的寿命的影响较小。因此 ,小球的溶解和藻菌的泄漏现象在实验期间是很难发生的。

3 结 论

a. 反应器中模拟废水的脱氮除磷的效果与小球浓度有关 ,但是 ,氮磷的去除率并不总是随着小球浓度的增加而提高 ,最佳的小球浓度是  $V_{球} : V_{水} = 1 : 4.5$  ,相应的  $NO_3-N$  去除反应的较佳周期是 60 h ,此时  $NO_3-N$  去除率达到最大 ,为 76.69%。而在最佳小球浓度下 ,对应的较佳的  $PO_4-P$  的去除反应周期

为 24 h ,此时  $PO_4-P$  的去除率达到最大 ,为 90.33%。当  $V_{球} : V_{水}$  小于 1:9 或者大于 1:2.25 时 ,氮、磷的去除率都很低 ,要想达到较佳条件下的去除效果则需要很长时间。

b. PVA 作为固定化载体对模拟污水中的氮、磷营养物质有一定的物理吸附作用。

c. 模拟污水中氮的去除分为载体物理吸附和藻菌同化吸收两种方式 ,而磷的去除可分为载体物理吸附、藻菌同化吸收和磷酸钙沉淀三种方式。

本试验研究确定的最佳小球浓度 ,在一定程度上涉及了藻细胞和细菌的数量关系 ,对光线的穿透性产生有益的影响 ,易于开发出效率高的反应器 ,使水力停留时间进一步缩 ,体系耐负荷冲击及抗抑制性大为增强 ,具有广阔的应用前景。

参考文献 :

[ 1 ] Aksu Z ,Sag Y ,Kutsal T. The biosorption of copper( II ) by *Chlorella vulgaris* and *Zoogloea ramigera*[ J ]. *Environmental Technology* ,1992 ,13 : 579 ~ 586.  
[ 2 ] 况琪军 ,谭渝云 . 活性藻系统对氮磷及有机物的去除研究 [ J ]. *中国环境科学* 2001 21( 3 ) : 212 ~ 216.  
[ 3 ] Gonzalez L E ,Canizares R O ,Baena S. Efficiency of ammonia and phosphorus removal from Colombian agroindustrial wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus dimorphus*[ J ]. *Bioresource Technology* ,1997 , 60 : 259 ~ 262.  
[ 4 ] 沈韞芬 . 微型生物监测新技术 [ M ]. 北京 : 中国建筑工业出版社 ,1990.  
[ 5 ] Yan G A ,Yu J Y. Comparison of the effects of nitrogen concentration on nutrient removal ,growth and physiological characteristics of immobilized and free *Chlorella vulgaris* : I Growth and nutrient removal [ J ]. *Toxicological and Environmental Chemistry* ,1997 56 : 63 ~ 74.

( 收稿日期 2004-04-06 编辑 :傅伟群 )

( 上接第 57 页 ) 的东部 ,总面积 72 km<sup>2</sup> ( 其中市中心调控区 59 km<sup>2</sup> ,下元调控区 13 km<sup>2</sup> )。在禁采区内整体关闭地下水开采 ,关闭水井 218 眼 ,压缩开采量 2577 万 m<sup>3</sup>/a。此外还划定了面积为 467 km<sup>2</sup> 的限采区 ,在该区域以内按照采补平衡原则 ,关闭部分水井。计划关闭水井 208 眼 ,压缩开采量 5723 万 m<sup>3</sup>/a。

当呼延水厂形成高日供水 80 万 m<sup>3</sup> 的能力后 ,届时引黄供水管网控制范围可达到盆地东、西边山。在实施前一时段地下水调控的基础上 ,禁采区范围向东边山扩展 ,面积为 93 km<sup>2</sup> ,再关闭水井 113 眼 ,压缩开采量 3788 万 m<sup>3</sup>/a ,使盆地孔隙水逐步实现 “ 采小于补 ” ,实现涵养水源的目的。

3.3 建立完善的地下水监测与管理信息系统

掌握地下水水位、水质、开采量信息 ,是实施地下水资源管理的基础。根据供水区地下水调控和管理的需要 ,应尽快研究并建立地下水资源监测与管理信息系统 ,建立统一的地下水水位、水量和水质监测网络 ,建立自备井并群集中监控系统<sup>[1]</sup> ,做到准确地掌握地下水的变化动态 ,及时作出预报 ,不断完善地下水开发利用方案。

参考文献 :

[ 1 ] 薛凤海 ,武桂梅 ,李砚阁 ,等 . 太原市地下水合理利用与调控 [ M ]. 郑州 : 黄河水利出版社 ,2000.5 ~ 6.

( 收稿日期 2003-10-17 编辑 :傅伟群 )