

包埋固定化异养硝化菌强化处理氨氮有机废水

邵基伦¹, 曹刚^{1,2}, 李紫惠¹, 罗恺¹, 李明玉^{1,2}

(1. 暨南大学 环境学院, 广东 广州 510630; 2. 暨南大学 水处理工程研究中心, 广东 广州 510630)

摘要: 以异养硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 为目标物, 采用聚乙烯醇 (PVA) 和海藻酸钠 (SA) 为载体对菌株进行包埋固定化, 考察包埋固定化异养硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 强化连续流反应器处理氨氮有机废水的性能。结果表明, 包埋固定化异养硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 强化处理氨氮有机废水的最佳反应条件如下: 温度为 25 °C、pH 值为 7.0、C/N 值为 10、包埋球量为 80 g/L。在此条件下对氨氮和 COD 的去除率分别为 90.7%、82.4%。其中包埋球量对处理效果的影响最大。在不同的进水流量和氨氮浓度条件下, 与直接投加菌株强化相比, 菌株经包埋固定化后不仅能显著提高反应器对氨氮和 COD 的去除率, 而且还能提高反应器抗氨氮负荷和有机负荷冲击能力。

关键词: 异养硝化菌; 包埋固定化; 连续流反应器; 氨氮有机废水; 最佳反应条件
中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2015)01-0005-05

Enhanced Treatment of Organic Wastewater Containing Ammonia Nitrogen by Embedded Immobilized Heterotrophic Nitrobacteria

SHAO Ji-lun¹, CAO Gang^{1,2}, LI Zi-hui¹, LUO Kai¹, LI Ming-yu^{1,2}

(1. School of Environment, Jinan University, Guangzhou 510630, China; 2. Water Treatment Engineering Research Center, Jinan University, Guangzhou 510630, China)

Abstract: Heterotrophic nitrobacteria *Burkholderia* sp. YX02 was embedded immobilized by using polyvinyl alcohol (PVA) and sodium alginate (SA) as the carriers. The treatment of organic wastewater containing ammonia nitrogen by the continuous flow reactor filled with the embedded immobilized nitrobacteria was investigated. The results showed that the optimal reaction conditions for the enhanced treatment of the wastewater were temperature of 25 °C, pH of 7.0, C/N ratio of 10 and embedded ball quantity of 80 g/L. Under these conditions, the removal rates of ammonia nitrogen and COD were 90.7% and 82.4% respectively. The embedded ball quantity had the biggest effect on the treatment efficiency. Under conditions of different influent flow rates and ammonia nitrogen concentrations, compared with adding the nitrobacteria directly into the continuous flow reactor, adding the embedded immobilized nitrobacteria could significantly enhance the removal rates of ammonia nitrogen and COD, and improve the resistance of the reactor to ammonia nitrogen and organic loads.

Key words: heterotrophic nitrobacteria; embedded immobilized; continuous flow reactor; organic wastewater containing ammonia nitrogen; optimal reaction conditions

基金项目: 广东省科技计划项目 (2011B030800009)

传统的生物法去除氨氮是利用自养菌来实现,但不能有效去除有机物。近年来大量研究表明异养硝化菌可同时去除氨氮和有机物^[1],这极大地促进了异养硝化菌在水处理方面的应用。然而异养硝化菌直接投加到反应器中会出现流失现象,也不利于其生长。借助于包埋固定化生物技术把异养硝化菌限定在一定的空间内,可使其保持活性并能反复利用,同时也可提高异养菌的耐负荷冲击能力^[2,3],并显著改善处理效果。

笔者以前期筛选得到的异养硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 为目标物,采用聚乙烯醇(PVA)和海藻酸钠(SA)为载体对其进行包埋固定化,并将其投入连续流反应器中进行强化处理氨氮有机废水。考察了反应条件对包埋固定化菌处理废水的影响,进而利用正交试验方法对反应条件进行优化;在此基础上,比较进水流量与氨氮浓度变化的条件下包埋固定化投加与直接投加去除氨氮和 COD 的差异,以期氨氮有机废水的生物强化处理提供参考。

1 材料与方法

1.1 菌株

菌株 *Burkholderia* sp. YX02 为前期试验筛选所得异养硝化菌,使用前用 LB 培养基活化。

1.2 包埋固定化小球的制备

包埋固定化完成后的小球见图 1。



图 1 包埋固定化小球

Fig. 1 Immobilized microorganism balls

首先将 6 g 浓度为 8% 的聚乙烯醇与 0.7 g 浓度为 1% 的海藻酸钠溶解于 100 mL 水中,加热搅拌至完全溶解。然后取扩繁后的 *Burkholderia* sp. YX02

菌悬液按 1 : 10 的比例与之混合均匀,滴加到 5% 氯化钙饱和硼酸溶液中,静置交联 15 h 左右。交联完成后,用生理盐水洗涤两次,得到小球并吸干表面的水分,于 4 °C 下保存备用。经制备所得包埋固定化微生物小球粒径为 3 ~ 4 mm,同时小球的硬度和机械强度也较高,符合试验的要求。

1.3 试验装置与运行

试验装置为两个连续流反应器(如图 2 所示),每个反应器直径为 8 cm、高为 40 cm,有效容积为 1.5 L。以气体流量计调节气量,恒温加热棒调节反应温度。两个反应器启动成功后,进行强化处理试验,A1 反应器直接投加 *Burkholderia* sp. YX02 菌,A2 反应器投加包埋固定化小球。

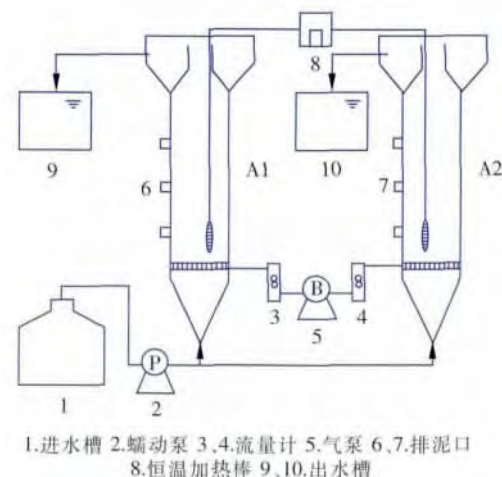


图 2 试验装置

Fig. 2 Schematic diagram of experimental set-up

反应器进水采用模拟氨氮有机废水,启动阶段的水质:pH 值为 7.0 ~ 7.6,COD 为 700 ~ 1 000 mg/L, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为 20 ~ 50 mg/L,TN 为 30 ~ 60 mg/L,TP 为 10 ~ 20 mg/L。

接种污泥取自广州大坦沙污水处理厂 A²/O 工艺的好氧段,试验采用连续流进水,气水同向。启动期控制进水流量、温度分别在 0.5 L/d、30 °C 左右。

1.4 反应条件对强化处理氨氮有机废水的影响

以 A2 反应器为考察对象,进水流量和氨氮浓度分别为 0.5 L/d 与 100 mg/L。在各试验条件下,均在连续运行 3 d 后对出水取样分析。

pH 值影响试验:反应器温度为 30 °C,包埋球量为 50 g/L,进水 C/N 值为 10,进水 pH 值分别为 6.0、7.0、8.0、9.0 和 10.0。

温度影响试验:进水 pH 值为 7.0,包埋球量为

50 g/L, 进水 C/N 值为 10, 反应温度分别为 20、25、30、35 和 40 ℃。

C/N 值影响试验: 进水 pH 值为 7.0, 反应温度为 30 ℃, 包埋球量为 50 g/L, 通过改变 COD 浓度来调节进水 C/N 值分别为 1、5、10、15、20。

包埋球量影响试验: 进水 pH 值为 7.0, 反应温度为 30 ℃, 进水 C/N 值为 10, 包埋球量分别为 20、50、80 g/L。

1.5 反应条件优化试验

选取 pH 值、温度、C/N 值和包埋球量为影响因素, 进行四因素三水平正交试验, 见表 1。

表 1 因素水平表

Tab. 1 Factors and levels

水平	因素			
	pH 值	温度/℃	C/N 值	包埋球量/(g·L ⁻¹)
1	6.0	25	5	20
2	7.0	30	10	50
3	8.0	35	15	80

1.6 进水流量与氨氮浓度对强化效果的影响试验

在最优条件下, 以 A1、A2 反应器为考察对象, 进水 COD 保持为 1 000 mg/L, 氨氮分别为 50、80、140 mg/L, 进水流量分别为 0.5、1.0、1.5 L/d, 连续运行 3 d 后取样测定出水 COD 和氨氮浓度。其中, COD: 快速密闭催化消解法, 氨氮: 纳氏试剂分光光度法。

2 结果与讨论

2.1 反应器的启动

启动期间对 COD、氨氮的去除效果见图 3。

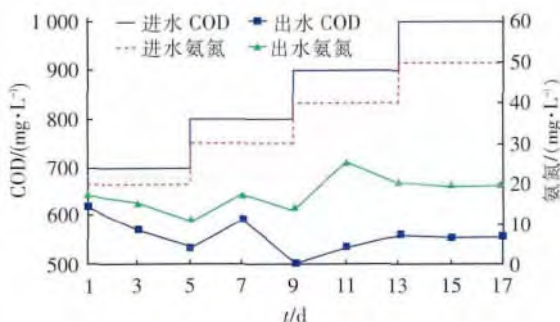


图 3 反应器启动期间的运行效果

Fig. 3 Operation performance of reactor during startup

反应器启动通过逐步提高进水 COD 与氨氮浓度来实现。反应器经过 17 d 运行, 进水 COD、氨氮分别达到 1 000、50 mg/L, 出水氨氮和 COD 浓度变化较小, 平均去除率分别为 60.7%、44.3%。且污

泥由开始的黑色松散状变为褐色絮状、沉降性能良好。说明经过 17 d 的运行期, 反应器启动成功。

2.2 不同反应条件下的强化处理效果

2.2.1 pH 值对强化处理效果的影响

pH 值对酶的影响较大, 每一种酶都有一个最适的 pH 值范围, 过酸或过碱均会使酶活性降低甚至失活^[4]。随着 pH 值的升高, 对氨氮的去除率先上升后下降。pH 值为 6.0、7.0、8.0 时, 包埋菌对氨氮的去除率分别为 77.2%、85.8%、82.2%; pH 值 > 9.0 以后, 去除率低于 80%。这是因为在强碱性条件下, 一方面菌株对碱度的耐受能力下降而导致酶活性受到了抑制; 另一方面包埋体遇碱溶解破碎, 导致包埋菌溶出, 造成强化菌的流失而使得硝化作用减弱。但是在不同 pH 值下, 反应器对 COD 的去除率基本保持在 74.9% ~ 76.4% 之间, 这表明 *Burkholderia* sp. YX02 菌经包埋固定化后对体系 pH 值的变化具有缓冲作用, 从而改善了菌株的生存环境。因此, pH 值为中性时, 处理效果较好。

2.2.2 温度对强化处理效果的影响

温度是影响微生物代谢活动和酶活性的重要因素之一。当温度超过酶的耐受范围时, 会造成酶蛋白的失活。结果显示, 在较宽的温度范围内, 温度的变化对氨氮和 COD 去除率的影响不是很显著。仅当温度为 20 ℃ 时, 包埋菌对氨氮和 COD 的去除率较低, 分别为 74.1% 和 69.2%; 而在 25 ~ 40 ℃ 范围内, 对氨氮和 COD 的去除率均分别保持在 85% 和 75% 左右。说明固定化对菌株起到一定程度的保护作用, 能有效减轻温度对菌株代谢活动的影响。一般情况下, 微生物生长的最适温度为 25 ~ 35 ℃, 高温或低温都会影响微生物代谢酶的活性。结合本试验, 包埋固定化菌较适宜的温度为 25 ~ 35 ℃。

2.2.3 C/N 值对强化处理效果的影响

当 C/N 值从 1 增加至 20 时, 反应器对氨氮和 COD 的去除率均是先升高后降低。当 C/N 值为 1 时, 对氨氮和 COD 的去除率分别约为 65.5%、61.4%; 当 C/N 值为 10 时, 对氨氮的去除率达到峰值为 85.2%; 当 C/N 值为 15 时, 对 COD 的去除率达到峰值为 82.8%, 此后, 各自的去除率均呈下降的趋势。另外, 当 C/N 值在 15 ~ 20 之间时, 对 COD 的去除率明显高于对氨氮的去除率, 说明包埋菌抗有机负荷冲击能力较好。总的来说, 包埋固定化菌适宜的 C/N 值为 10 ~ 15 (见图 4)。

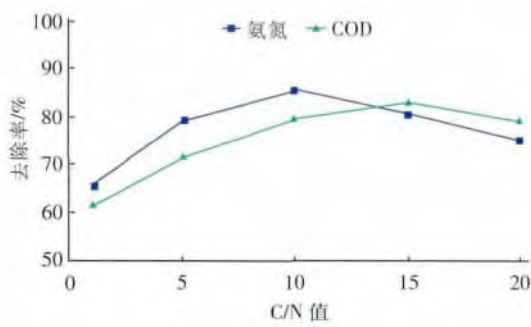


图 4 C/N 值对包埋菌强化去除氨氮和 COD 的影响

Fig. 4 Effect of C/N ratio on removal of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and COD

2.2.4 包埋球量对强化处理效果的影响

不同投加量的包埋小球对降解氨氮和 COD 的影响见图 5。

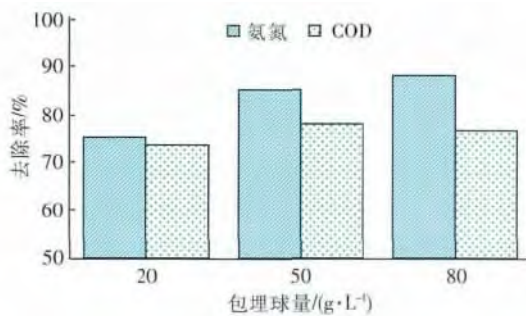


图 5 包埋球量对强化去除氨氮和 COD 的影响

Fig. 5 Effect of embedded ball quantity on removal of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and COD

通过改变包埋小球的用量可以改变投菌量,从而改变强化效果。由图 5 可知,对氨氮的去除率随着包埋球量的增加而逐渐增大。当包埋球量为 20 g/L 时,对氨氮的去除率为 75.3%,若要去除率达到 85% 以上,包埋球量应增至 50 g/L 以上。但随着包埋球量的继续增加,对氨氮的去除率变化幅度不大。当包埋球量为 50 g/L 时,对 COD 的去除率为 78.1%;当包埋球量增加到 80 g/L 时,去除率反而略有下降。分析出现以上现象的原因是,一方面投入包埋球量越多,其所吸附的异养硝化菌量越多,对氨氮的去除率也越高;另一方面,包埋体本身具有一定的传质阻力,使得氨氮和 COD 的传递受阻,这不利于氨氮去除率的进一步提高,也会导致 COD 去除率下降。综合考虑对氨氮和 COD 的去除情况,适宜的包埋球量应在 50 g/L 以上。

2.3 反应条件优化

通过正交试验进一步优化反应条件,结果如图

6 所示。无论是以氨氮平均去除率为指标,还是以 COD 平均去除率为指标,最佳反应条件均相同:温度为 25 °C、pH 值为 7.0、C/N 值为 10、包埋球量为 80 g/L。由极差分析可得,各因素对处理效果的影响顺序均为:包埋球量 > pH 值 > C/N 值 > 温度。

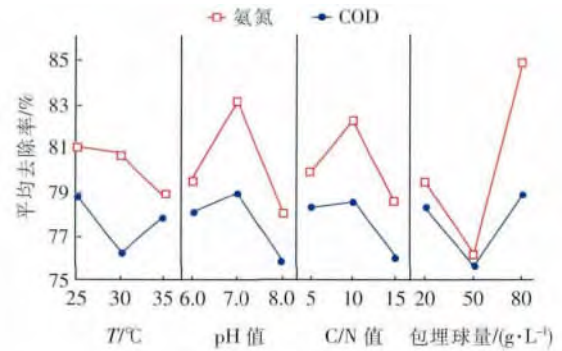


图 6 不同因素水平下对氨氮、COD 的平均去除率

Fig. 6 Average removal rate of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and COD under different factors and levels

2.4 进水流量与氨氮浓度对强化处理效果的影响

图 7 显示了 A1 和 A2 反应器在不同进水流量和氨氮浓度下对 COD 和氨氮的去除效果。

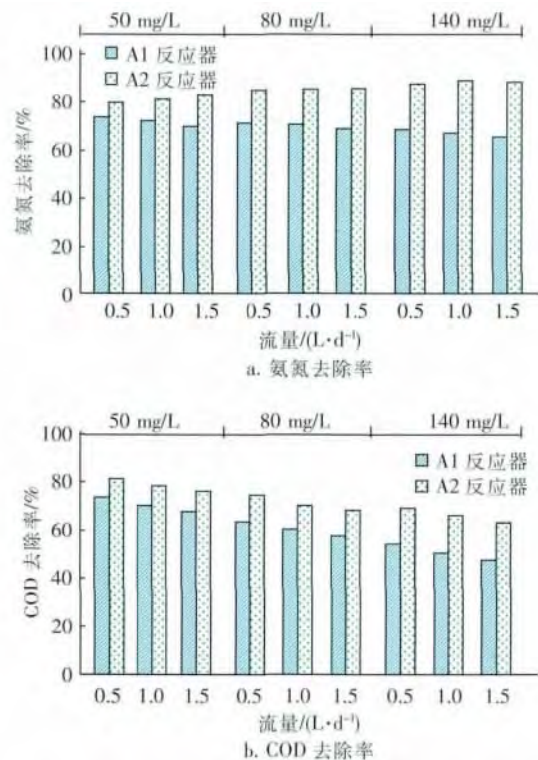


图 7 不同进水流量和氨氮浓度下对氨氮、COD 的去除率

Fig. 7 Removal rate of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and COD under different influent flow and ammonia nitrogen concentration

当进水流量一定,氨氮浓度由 50 mg/L 升至 140 mg/L 时,A2 对氨氮的去除率逐渐提高,但增幅不大;而 A1 对氨氮的去除率则呈逐渐下降的趋势。当氨氮浓度一定,进水流量由 0.5 L/d 提高到 1.5 L/d 时,A2 对氨氮的去除率保持稳定,A1 对氨氮的去除率略有下降。这表明 A2 反应器抗氨氮负荷冲击的能力较强,原因是包埋体的多孔网状结构有利于菌株的附着生长,能抵抗高氨氮负荷的冲击。此外,由于溶解氧在包埋体内外表面含量的差异会造成缺氧和好氧的交替变化,有利于异养硝化菌的生存,也为发生同步硝化反硝化提供了条件^[5]。

进水流量和氨氮浓度改变时,A1 和 A2 反应器对 COD 的去除率均有所下降,但 A2 的去除率要高于 A1,说明 A2 的抗有机负荷冲击能力较 A1 强。这可能是由于一方面进水流量变大,造成水力停留时间缩短,包埋菌和活性污泥与废水的接触时间相应地减少,部分被吸附的 COD 未来得及降解即随出水流走;另一方面进水流量越大则对体系的冲刷作用越强,会导致活性污泥流失。这与李英华等^[6]的研究结果接近。综上所述,与直接投加菌株相比,菌株经包埋固定化后可使反应器保持较高的氨氮和 COD 去除率。一些研究也表明,通过投加固定化细菌的方式可增强功能菌群在系统中的稳定性,有效避免其流失,从而提高系统的处理能力^[7-9]。这充分说明通过包埋固定化异养硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 来强化处理氨氮有机废水具有明显的优势。

3 结论

① 包埋固定化异养硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 强化处理氨氮有机废水的适宜 pH 值为中性,适宜温度为 25 ~ 35 °C,适宜 C/N 值为 10 ~ 15,适宜包埋球量为 50 g/L 以上。

② 包埋固定化异养硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 强化处理的最优反应条件为:温度 = 25 °C、pH 值 = 7.0、C/N 值 = 10、包埋球量 = 80 g/L。在此条件下对氨氮和 COD 的去除率分别为 90.7% 与 82.4%,其中包埋球量对处理效果的影响最大。

③ 在不同的进水流量和氨氮浓度下,与直接投加菌株相比,菌株经包埋固定化后能显著提高对氨氮和 COD 的去除率,并表现出较强的抗冲击负荷能力。

参考文献:

- [1] 王宏宇,马放,杨开,等. 两株异养硝化细菌的氨氮去除特性[J]. 中国环境科学 2009, 29(1):47-52.
- [2] 王璐,迟莉娜,乔向利,等. 固定化包埋硝化菌处理微污染源水的研究[J]. 中国给水排水 2008, 24(3):56-59.
- [3] 卢徐节,周世力,刘延湘,等. 固定化微生物技术对养殖水体脱氮的研究[J]. 汉江大学学报:自然科学版, 2011, 39(4):34-36.
- [4] 陈燕飞. pH 对微生物的影响[J]. 太原师范学院学报:自然科学版 2009, 8(3):121-124.
- [5] 王亚娥,刘宝堂,李杰,等. 包埋固定化微生物强化 SBR 工艺脱氮性能研究[J]. 环境科学与技术 2009, 32(12):164-167.
- [6] 李英华,李海波,孙铁珩,等. 进水负荷对地下渗滤系统 ORP 及脱氮效果的影响[J]. 中国给水排水 2012, 28(17):117-120.
- [7] 姚秀清,贾中原,王春华. 固定化硝化细菌对氨氮的去除效果研究[J]. 安徽农业科学 2012, 40(3):1679-1686.
- [8] Bathe S, Schwarzenbeck N, Hausner M. Bioaugmentation of activated sludge towards 3-chloroaniline removal with a mixed bacterial population carrying a degradative plasmid [J]. Bioresour Technol 2009, 100(12):2902-2909.
- [9] Siripattanakul S, Wirojanagud W, McEvoyd J M et al. A feasibility study of immobilized and free mixed culture bioaugmentation for treating atrazine in infiltrate [J]. J Hazard Mater 2009, 168(2/3):1373-1379.



作者简介:邵基伦(1990 -), 男, 安徽芜湖人, 硕士研究生, 研究方向为水污染控制工程。

E-mail:1063271368@qq.com

通讯作者:曹刚

收稿日期:2014-09-24