

净化湖泊水体氮污染的 固定化硝化—反硝化菌研究*

李正魁** 濮培民

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提 要 依据太湖水体氮污染的特点,设计应用低温辐射技术引导玻璃态单体丙烯酸羟乙酯 2-Hydroxyethyl acrylate(HEA)与聚乙二醇二甲基丙烯酸酯 Polyethylene glycol dimethacrylate (14G)制备高分子载体,并使用增殖细胞技术固定化硝化—反硝化菌净化湖水. 研究表明,富营养化湖水经过固定化硝化—反硝化菌 SBR 工艺净化后,总氮下降 70%,氨氮下降 84%, COD_{Cr} 下降 68%,出水水质得到明显改善. 研究结果还表明,固定化硝化反硝化菌系统的最适反应温度为 28℃,溶解氧浓度对总氮的去除率有一定的影响,固定化菌在低温条件下表现出明显的耐受性.

关键词 低温辐射技术 固定化硝化—反硝化菌 水质净化 共聚物载体 太湖
分类号 X524 P343.3

我国的湖泊、水库天然水体近年来富营养化的速度加快,污染现象日益严重^[1]. 迄今已有的研究表明,引起水体富营养化的各类营养物质中,主要以氮、磷为主,氮随工农业和生活污水排入水体,不但会引发水体的富营养化,还会造成水生生态系统的紊乱等一系列问题^[2,3]. 对于富营养化湖泊水体的净化治理,各国研究人员已采用了许多措施:截、清淤挖泥、引水冲污,生物防治及生态调控等治理措施,取得了一定的效果;尤其是“净化湖泊饮用水源的物理—生态工程”^[4],利用人工复合水生生态系统净化被污染湖水中的氮,取得了明显的效果. 本研究采用亲疏水性高分子单体,应用 Co- γ 高能射线低温辐射技术制备载体,使用第三代固定化增殖细胞技术^[5]对硝化反硝化细菌进行固定化,并采用 SBR 工艺运行净化富营养化水体氮营养盐. 研究了固定化硝化反硝化菌系统的净化效果,去除 COD_{Cr} 的性能,温度对固定化硝化反硝化系统脱氮性能的影响,以及溶解氧与脱氮率之间的关系.

1 材料和方法

1.1 实验用水

本实验用水取自五里湖中桥水厂(老水厂)附近湖面下 1.0m 层,总氮(TN)、氨氮($NH_4^+ - N$),溶解氧(DO)、化学需氧量(COD_{Cr})分别为 $6.2mg \cdot L^{-1}$ 、 $5.25mg \cdot L^{-1}$ 、 $4.3mg \cdot L^{-1}$ 和 $14.09mg \cdot L^{-1}$.

1.2 硝化、反硝化菌菌种

分别取自污水处理厂好氧厌氧段污泥,用人工合成废水驯化后得到硝化和反硝化菌.

* 国家科委和欧盟项目(CH11-CT93-0094(DG 12 HSMU))及江苏省社会发展项目(BS99021)资助.
收稿日期,1999-10-05,收到修改稿日期,2000-01-03. 李正魁,男,1959年生,副研究员,博士研究生.
** 现在江苏省农业科学院原子能所工作.

1.3 固定化共聚物载体的制备

选用亲水性的玻璃态单体丙烯酸羟乙酯 2-Hydroxyethyl acrylate(HEA) (瑞典 Fluka 公司产品、聚合级), 与弱疏水性的 14 乙二醇二甲基丙烯酸酯 Polyethylene glycol dimethacrylate, 14G(日本 Shin Nakamura 化学有限公司产品, 聚合级), 按 20/10 比例混合均匀, 加入一定量的蒸馏水, 用振荡器充分混合, 充氮气后在 $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ (乙醇-干冰) 温度下, 采用 $1 \times 10^4\text{ Gy}$ 的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照聚合形成固定化载体. 取出制备成 $0.5\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$ 的固定化载体, 用蒸馏水浸泡一周, 使之充分膨胀, 然后在 $1.03 \times 10^5\text{ Pa}$ 下灭菌 30min.

1.4 硝化、反硝化菌的固定化

用合成废水浸泡固定化载体, 在 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下振荡 24h、静置 48h, 使硝化菌在有氧条件下, 反硝化菌在厌氧条件下吸附于固定化载体表面并通过增殖进入充满合成废水的具有良好微孔生长环境的共聚物载体内部, 使之被固定化.

1.5 分析及测定方法

TN: 过硫酸盐氧化法^[6]; NH_4^+-N : 纳氏试剂光度法^[7]; COD_{Cr} : 重铬酸钾法^[7]; pH: PHS-3C 型精密 pH 计; DO: 雷磁 JPB-607 型溶氧仪.

1.6 固定化共聚物载体微孔结构的观察

采用日立 H6010A 扫描电子显微镜观察固定化共聚物载体微孔结构和微孔孔径并拍照.

2 结果

2.1 固定化硝化-反硝化菌系统的净化效果

根据实验用水特性, 采用 SBR 工艺(Sequencing Batch Reactor, SBR 序批式工艺)净化氮污染富营养化太湖水, 进水 0.5h, 缺氧运行 3h, 曝气 7h, 沉淀排水 3h. 实验结果表明, 经过 30d 连续净化实验, 湖水经过固定化硝-反硝化菌 SBR 运行后 TN, NH_4^+-N 浓度均有不同程度下降, 净化效果逐步明显, 实验第 4d, 每批次出水的浓度分别比进水下降 55% 和 71%; 实验第 6d, 每批次出水的 TN 和 NH_4^+-N 浓度比进水下降 63% 和 77%, 实验第 8d 每批次出水的 TN 和 NH_4^+-N 浓度比进水下降 70% 和 84% 左右, TN, NH_4^+-N 的净化率稳定在 70% 和 84% 左右, 实验运行达到稳定阶段, 表明固定化硝化-反硝化菌 SBR 系统能够有效的去除湖水中的 TN 和 NH_4^+-N (图 1), 通过观察固定化共聚物载体可以发现, 采用低温辐射技术制备的固定化载体外观结构、机械强度以及其弹性和韧性都较好, 在扫描电镜下观察犹如多孔海绵体, 适合于硝化菌和反硝化菌的固定化(图 2).

2.2 固定化硝化-反硝化菌系统去除湖水 COD_{Cr} 的性能

在采用固定化硝化反硝化菌系统 SBR 净化太湖水实验中, 对固定化 SBR 方法去除富营养化湖水的 COD_{Cr} 的性能进行了实验, 结果表明, 经过 30d 的连续运行, 湖水经过固定化 SBR 工艺净化处理后, 出水的 COD_{Cr} 明显降低, 实验第 4d, COD_{Cr} 的去除率达 45%, 实验进行至第 6d, 每批次出水的 COD_{Cr} 值比进水降低 58%, 实验至第 8d 时, 出水的 COD_{Cr} 去除率达到 68%, 并进入稳定净化运行状态(图 3). 表明经过 8d 的净化调整运行后固定化硝化反硝化菌系统 SBR 方法可以有效地对富营养化湖水有机质进行降解净化处理.

2.3 不同溶解氧条件对固定化硝化反硝化系统净化效果的影响

实验进水中溶解氧含量的高低是影响采用固定化硝化反硝化菌系统净化湖水效果的重要

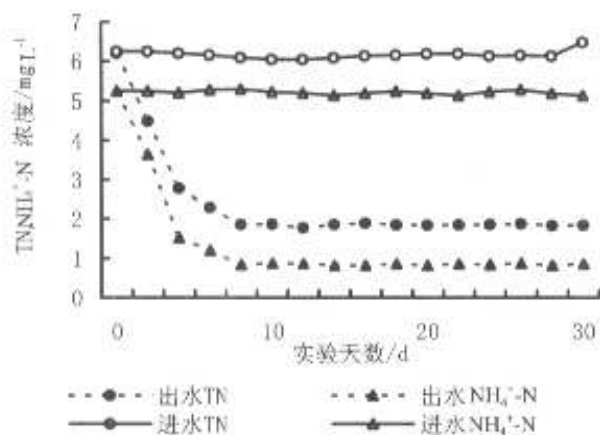


图1 固定化硝化-反硝化菌的净化效果

Fig. 1 The purification efficiency of immobilized nitrobacteria-denitrifying bacteria for lake water

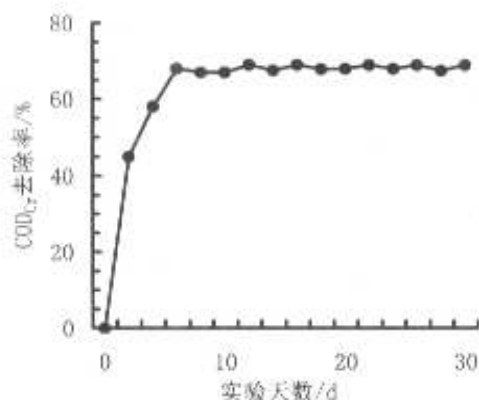


图3 固定化硝化-反硝化菌去除 COD_{Cr} 的效果

Fig. 3 Efficiency of COD_{Cr} removal of immobilized nitrobacteria-denitrifying bacteria

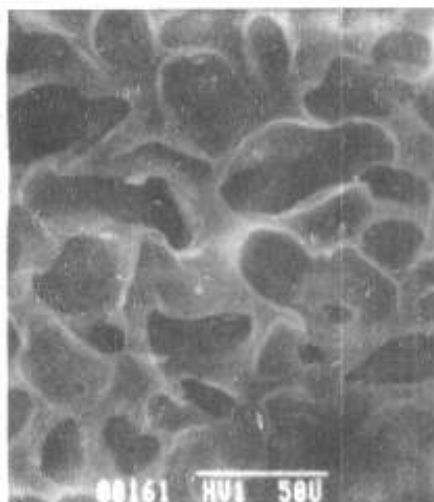


图2 共聚物载体 poly(HEA-14G)20/10

Fig. 2 Electron microphotographs of pore structure of copolymer carrier (poly HEA-14G)

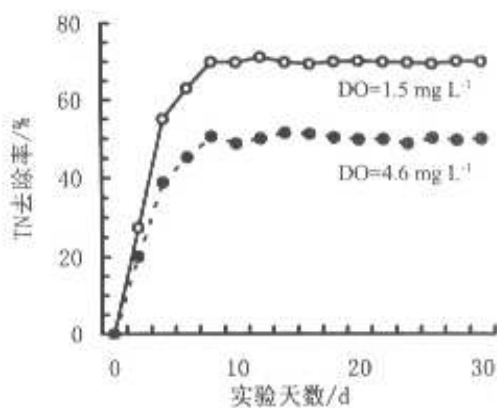


图4 DO对固定化硝化-反硝化净化效果的影响

Fig. 4 The effect of DO concentration on purification efficiency for lake water

因素之一。根据实验进水的 COD_{Cr} 含量和 TN, NH₄⁺-N 含量, 在本实验过程中通过控制曝气的空气量, 进行了三种不同的溶解氧浓度 (DO = 1.5 mg · L⁻¹, DO = 2.5 mg · L⁻¹, DO = 4.6 mg · L⁻¹) 对固定化 SBR 净化效果的影响的实验。实验结果表明, 在三种不同的溶解氧条件下固定化 SBR 均有良好的净化效果, COD_{Cr} 去除率达 68%, NH₄⁺-N 去除率达 84%。因而 DO 浓度的变化对降解 COD_{Cr}, 去除 NH₄⁺-N 并不产生明显的影响, 然而 TN 的去除率却随 DO 浓度的升高而降低, 当 DO 浓度从 1.5 mg · L⁻¹ 升至 4.6 mg · L⁻¹ 时, TN 去除率由 70% 降到 50.2% (图 4)。由此可见, DO 浓度的变化会直接影响固定化 SBR 系统对受污染湖水的净化效果。

2.4 温度对固定化硝化反硝化菌系统净化效果的影响

进水的温度是制约硝化反硝化反应速率的重要因素, 对净化效果有重要影响。本实验根据

实验进水(天然湖泊水体温度易受气候季节影响)条件的特性,研究了不同温度条件下(10℃—30℃)固定化 SBR 对进水效果的影响.实验结果表明,对固定化硝化反硝化菌系统而言,当温度为 28℃时,TN,NH₄⁺-N,COD_{Cr} 的去除率最高,分别为 70%,84%和 68%,固定化 SBR 净化效果最好,当反应温度下降至 10℃时,固定化硝化反硝化菌系统仍保持了相对较高的净化能力,TN,NH₄⁺-N,COD_{Cr} 的去除率分别为 43%,54.5%和 41%(图 5),表明在低温条件下,固定化硝化反硝化菌系统的活性虽有一定的下降,但仍保持了较高的稳定性.

3 讨论

对于全湖性氮污染的控制,防治“水华”的发生目前尚无根治的方法.但目前已证明从局部入手,在人工干预下,采用恢复水生高等植被,创造特定的人工环境方法,并从氮循环的角度,

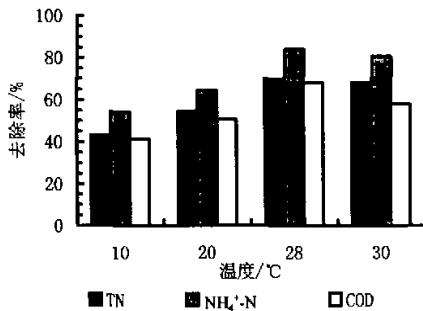


图 5 温度对固定化硝化反硝化菌系统净化效果的影响

Fig. 5 The effect of temperature on purification efficiency for lake water

通过硝化反硝化作用,促进氮素的循环和释放^[8],是一条可供探索的途径.然而以往的研究局限于水生高等植物的生长季节,在冬季大多数水生高等植物生长极慢,一些漂浮、挺水植物冬季死亡,其残体容易引起二次污染,且冬季水生高植物的保种问题较难解决.这使得采用生态工程净化湖泊水体受到一定的限制.本实验采用辐射技术制备载体固定化硝化反硝化菌,为硝化反硝化菌在低温下生长、增殖提供了良好的微生态环境,使得其在低温条件下对局部水体的净化取得了较好的效果,值得深入进行研究.

许多研究人员认为,使用固定化技术时应强调两方面的因素:优势菌种和固定化载体的性能,优势菌种是人工培育和筛选的特效降解

菌,对于净化湖水的效果有直接影响;另一方面,固定化载体则为微生物创造适宜其生存生长繁殖的微生态环境.本研究结果表明,采用辐射技术制备的固定化载体 poly(HEA-14G)20/10 可以利用共聚物载体具备的良好生物相容性及其对微生物的亲性和性迅速吸附增殖硝化反硝化菌,并通过固定化 SBR 方法达到净化湖水的效果,这对于采用生物相容性载体固定化硝化反硝化菌,通过氮循环的方式人工干预净化局部氮污染湖水具有一定的实际意义.

本研究结果还表明,总氮的去除率与溶解氧浓度有密切的关系,表明虽然实验用水采用受污染较严重的太湖水,但其有机质的含量相对于人工合成废水来说仍然较低,当采用固定化 SBR 运行方式时,在好氧段高浓度溶解氧(DO=4.6mg·L⁻¹)运行条件下,后半阶段缺少足够的碳源,使得总氮的去除率下降.

另外本研究结果还表明,采用具有生物相容性的共聚物载体固定化硝化反硝化菌,由于载体良好的微孔结构为硝化菌和反硝化菌的生长提供了良好的微生存环境,使得其在外界温度变化明显的条件下(10℃)仍能表现出良好的对湖水的净化效果.

参 考 文 献

- 1 金相灿,刘鸿亮,屠清瑛编著.中国湖泊富营养化.北京:中国环境科学出版社,1990.92-102
- 2 章非娟编著,顾国维审校.生物脱氮技术.北京:中国环境科学出版社,1992.2-3
- 3 黄民生.略论地下水硝酸盐氮污染及其防治.上海环境科学,1995,14(9):26-28
- 4 濮培民,胡维平,逢 勇.净化湖泊饮用水源的物理-生态工程实验研究.湖泊科学,1997,9(2):159-167
- 5 Li Zhengkui, Zhang Bosen. Study on immobilized yeast cells with hydropilic polymer carrier by radiation-induced copolymerization. *Nuclear Sci Tech*, 1993, 4:235-240
- 6 金相灿,屠清瑛主编.湖泊富营养化调查规范.第二版.北京:中国环境科学出版社,1990
- 7 国家环境保护局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法,第三版.北京:中国环境科学出版社,1989
- 8 王国祥,濮培民,张圣照等.用镶嵌组合植物群落控制湖泊饮用水源区藻类及氮污染.植物资源和环境,1998,7(2):35-41

Purification of Lake Water by Immobilized Nitrobacteria-Denitrifying Bacteria

LI Zhengkui PU Peimin

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Abstract

In this paper, for purification of eutrophic Lake Water, immobilized nitrobacteria-denitrifying bacteria made from radiation copolymerization at low temperatures by means of glass forming monomers, i. e. 2-hydroxyethyl acrylate (HEA) and polyethylene glycol dimethacrylate (14G) have been used. The Sequencing Batch Reactors (SBR) system and cell proliferation of nitrobacteria-denitrifying bacteria techniques were carried out in order to treat eutrophic lake water. The results showed that the removal efficiencies of immobilized nitrobacteria-denitrifying bacteria for Total N (TN), $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and COD_Cr were 70%, 84% and 68%, respectively. The results demonstrated that the optimum temperature of immobilized nitrobacteria-denitrifying bacteria system was 28°C. Immobilized nitrobacteria-denitrifying bacteria was more resistance to low temperature (10°C). The dissolved oxygen (DO) concentration have effect on removal efficiencies for Total N(TN).

Key Words Radiation technique at low temperature, immobilized nitrobacteria-denitrifying bacteria, purifying water quality, copolymerization carrier, Taihu Lake