

Advantage Strains Screening from a Biological Moving Bed and the Nitrifying Characteristics

Yue Zhang¹, Binhui Jiang^{1*}, Yu Gao², Shaoyan Liu³, Haiyan Wang¹

¹College of Resource and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang Liaoning

²Liaoning Environmental Engineering Assessment and Audit Center, Shenyang Liaoning

³Shenyang Yuanda Environmental Engineering Company, Shenyang Liaoning

Email: jiangbinhui@mail.neu.edu.cn

Received: Oct. 25th, 2015; accepted: Nov. 13th, 2015; published: Nov. 16th, 2015

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Biological moving bed process, also known as moving bed biofilm reactor (MBBR), is the beginning of new waste water biochemical treatment technology. Compared with common biofilm method and activated sludge process, MBBR has a higher removal rate of pollutants in wastewater. To understand biological ammonia-N removal mechanism of MBBR, the study adopted limiting dilution and streak plate method screening three strains from the biofilm of MBBR, namely ZS-1, ZS-2 and ZS-3. Under the laboratory conditions, through the single factor experiment to determine optimum conditions for the three strains of simulated sewage treatment, the temperature is 30°C, carbon source is anhydrous sodium acetate, pH is 6.5 - 6.8, and C/N is 9, After 24 h, NH_4^+ -N removal rate reaches 95%, COD removal rate can reach 85%, and TP removal rate reaches more than 65%. In addition, in the experiment of temperature optimization, the three strains have good ammonia-N removal effect at low temperature (10°C). NH_4^+ -N removal rate of ZS1 and ZS3 was more than 60%, and NH_4^+ -N removal rate of ZS2 was 74.71%. The results showed that the low temperature resistant bacteria would enhance ammonia-N removal effect in MBBR, and adapt to treat domestic sewage of the winter cold climate of North China, Northeast China and Northwest China.

Keywords

Moving Bed Biofilm Reactor, Ammonia-N Removal, Low Temperature Resistant Bacteria

*通讯作者。

生物移动床优势菌株筛选及其脱氮性能研究

张月¹, 姜彬慧^{1*}, 高宇², 刘绍伊³, 王海燕¹

¹东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳

²辽宁省环境工程评估审核中心, 辽宁 沈阳

³沈阳远大环境工程有限公司, 辽宁 沈阳

Email: jiangbinhui@mail.neu.edu.cn

收稿日期: 2015年10月25日; 录用日期: 2015年11月13日; 发布日期: 2015年11月16日

摘要

生物移动床工艺也称移动床生物膜反应器(Moving Bed Biofilm Reactor, 简称MBBR), 是目前国际上开始兴起的新型废(污)水生化处理技术, 与普通的生物膜法和活性污泥法相比, 对污水中污染物有更高的去除率。本文从稳定运行的生物移动床填料的生物膜中, 成功分离出3株长势良好的细菌, 分别命名为ZS-1、ZS-2和ZS-3; 在实验室条件下, 研究了菌株对模拟农村生活污水中污染物的去除作用, 当温度为30℃, 碳源为无水乙酸钠, pH 6.5~6.8, C/N为9时, 反应24 h对NH₄⁺-N、COD和TP的去除率分别大于90%、75%和65%。在温度条件实验中发现, 3个菌株在低温(10℃)条件下均具有较好的脱氮效果, 对NH₄⁺-N去除率均大于60%。研究结果提示可以利用耐低温高效脱氮除碳微生物强化生物移动床, 处理北方寒冷地区的生活污水。

关键词

生物移动床, 除氨氮, 耐低温菌

1. 前言

生物移动床工艺也称移动床生物膜反应器(Moving Bed Biofilm Reactor, 简称 MBBR), 由挪威 AnoxKaldes 公司发明, 是目前国际上开始兴起的新型废(污)水生化处理技术, 属于生物膜法的范畴。自1989年第一套生物移动床工艺装置建成以来, 已在多个国家建成市政和工业废(污)水处理设施, 取得了良好的效果[1]-[4]。生物移动床工艺是在曝气池中投加一定比例的悬浮填料, 填料在水流、气流搅拌下呈移动流化状态。此时, 污水中的有机物被填料上的微生物降解。目前国内外已有多家污水处理厂采用了此工艺处理生活污水[5]-[8]。Jabornig 等应用移动床生物膜反应器和膜过滤(MBBMR)的组合处理一户(四个居民)超过10个月的现场灰水, 反应器对COD、NH₄⁺-N、TN、TP、TSS及色度有很好的处理效率; 并且自然的发色可以用近80%的能源和试点单位以小于1.3 kW h/m³的消费操作进行优化[9]。马华敏等采用缺氧-好氧移动床生物膜反应器处理低温生活污水, 由常温转为低温环境后, 缺氧-好氧生物移动床的处理效率有所下降, 但通过调整反应器内填料的填充比、 $\rho(\text{DO})$ 和HRT等参数, 可保证对COD_{Cr}和NH₄⁺-N的去除仍具有较好的效果[10]。王敏在使用移动床生物膜反应器处理生活污水, 实验表明曝气时间及曝气量是影响生物移动床处理效果的重要参数[11]。

为了解生物移动床处理生活污水的脱氮机理, 本文对生物移动床中填料上的优势菌进行筛选分离, 并初步研究了该优势菌去除水中氨氮、COD及TP的作用。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料

1) 菌种来源: 取自生物移动床(MBBR)处理模拟生活污水中填料上的生物膜。

2) PB 培养基: 牛肉膏 3 g、蛋白胨 10 g、NaCl 5 g、琼脂 15~20 g、蒸馏水 1000 mL、pH 7.4~7.6, 110°C 灭菌 30 min。

3) 模拟农村生活污水配方: 自来水 50 L, 无水乙酸钠 10~11 g, 硫酸铵 2.5~3 g, 磷酸二氢钾 1~1.5 g, 硫酸镁 0.2 g, 无水氯化钙 0.02 g, 微量元素 50 mL。

2.2. 实验方法

1) 生物移动床(MBBR)的启动与运行: 实验室常温条件下, 采用生物移动床工艺处理模拟农村生活污水, 所使用的活性污泥取自沈阳市某污水处理厂二沉池。污泥沉淀后倒掉上清液, 取底部活性污泥作为接种污泥。启动过程中, 进水的 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 的浓度分别为 400 mg/L、35 mg/L 和 7 mg/L, 定期检测进出水中污染物的浓度及活性污泥特性。MBBR 挂膜启动结束时, 在 pH 为 7 左右、DO 为 2~4 mg/L、HRT 为 3 h 的条件下, COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 和 TP 的去除率分别达到 85%、85%、60%和 70%。MBBR 稳定运行 50 天, 对模拟生活污水 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 和 TP 去除率分别达到 90%、98%、60%和 70%。

2) 脱氮优势菌的分离筛选: 采用投加一定浓度硫酸铵的 PB 培养基对 MBBR 生物膜微生物进行富集培养, 旨在获得高效脱氮优势菌株, 进而解析 MBBR 的脱氮机理。从稳定运行的 MBBR 中选取 1 个生物膜载体放于含 100 mL 无菌水的锥形瓶中, 加玻璃珠于 160 rpm, 30°C 的恒温振荡器中震荡 24 h, 将其接种于投加一定浓度硫酸铵的 PB 液体培养基中富集培养, 生长量达到对数期浓度(OD 600 值为 0.1~0.45), 获得菌悬液。通过稀释平板划线分离法获得优势脱氮单菌落, 移至斜面于 4°C 冰箱保存。

3) 菌株脱氮性能研究

将活化 24 h 的菌株离心后, 分别以 5%接种量接种于模拟农村生活污水中, 分别研究优势菌株在不同时间及不同温度(10°C、20°C、30°C)条件下对氨氮、COD 及 TP 的去除作用。

3. 实验结果与讨论

3.1. 菌株的形态特征

对 MBBR 生物膜进行驯化、富集、分离纯化, 得到 3 株优势菌, 分别命名为 ZS-1、ZS-2 和 ZS-3。菌株 ZS-1 为革兰氏阳性杆菌, 大小为 $0.4 \mu\text{m} \times (0.5\sim 1.5) \mu\text{m}$, 有芽孢(图 1(a))。菌株 ZS-2 为革兰氏阴性杆菌, 大小为 $0.2 \mu\text{m} \times (0.5\sim 1) \mu\text{m}$ (图 1(b))。菌株 ZS-3 为革兰氏阳性杆菌, 大小为 $0.4 \mu\text{m} \times (0.5\sim 1.5) \mu\text{m}$, 有芽孢(图 1(c))。

3.2. 菌株去除污染物的性能测定

1) 菌株活化时间的确定

从 3 个菌株的培养皿中分别挑取 1 个单菌落接种到 PB 液体培养基中, 每隔 2 h 测菌体 OD (600 nm) 值, 绘制生长曲线见图 2。由图 2 可知, 菌株接种到 PB 液体培养基中以后, 开始菌体生物量有所下降, 菌株生长缓慢; 从 4 h 开始菌株进入快速生长期, 6~12 h 期间为对数生长期。3 株菌的生物量随时间的变化曲线中, ZS-2 和 ZS-3 的生物量较 ZS-1 高, 但是 3 株细菌的生物量均在 24 h 达到最大, 因此在之后的实验中, 选用 24 h 为菌株的活化时间。

2) 菌株在污水中的生长曲线及对污染物的去除作用

将 3 株菌株分别接种到 PB 培养基中, 于 30°C、160 rpm 恒温振荡器中活化 24 h, 而后分别取适量菌

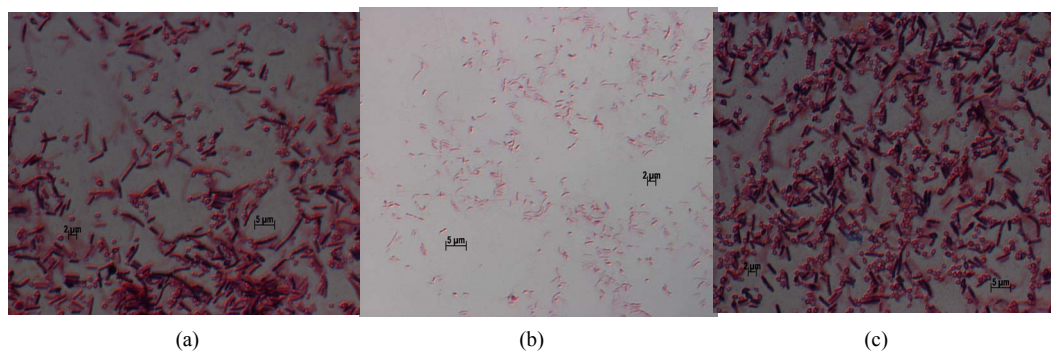


Figure 1. Gram staining photos of strains ((a) is ZS-1, (b) is ZS-2 and (c) is ZS-3)

图 1. 菌株的革兰氏染色照片((a) ZS-1、(b) ZS-2、(c) ZS-3)

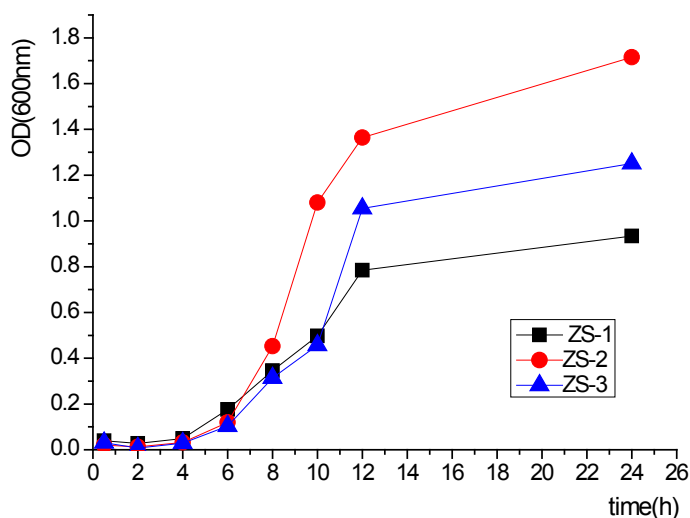


Figure 2. Growth curve of strains in PB medium

图 2. 菌株在 PB 液体培养基中的生长曲线

悬液于离心管中，1000 rpm 离心 10 min，去除上清液，将菌株接种到模拟污水中(各设 3 个平行样)，每隔 2 h 测定其微生物生长量，绘制生长曲线如图 3。同时在 24 h 检测污水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、COD 以及 TP 浓度，计算去除率，实验结果表 1。

由图 3 可知，当菌株接种于模拟污水后，菌体生物量开始有所下降，适应期较长，在 8 h 内生长缓慢。大约 10 h 后进入对数期，开始迅速生长，24 h 基本达到生物量高峰。其中菌株 ZS-2 的生物量最大。

通过表 1 可以看出，ZS2 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、COD 和 TP 去除效率均较高，分别为 95.12%、87.36%和 72.56%。而 ZS1 和 ZS3 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、COD 和 TP 的去除率比较相近，低于 ZS-2 的去除率。3 株菌对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除作用明显高于对 COD 和 TP 的去除作用，说明通过氨氮富集驯化可以提高微生物去除氨氮的能力。

3.3. 温度对菌株脱氮性能的影响

分别将菌株在 10℃、20℃、30℃进行培养，检测 6 h、12 h、24 h、36 h 后水中残留的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度，计算脱氮效率，结果见图 4。由图 4 可得，随着处理时间的延长， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度逐渐降低。相同处理时间时，温度由 10℃升高至 30℃，菌株 ZS-1、ZS-2 及 ZS-3 的脱氮效果随之增强， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度分别由反应初始时的 10.23 mg/L 降至 1.98 mg/L，7.59 mg/L 降至 1.43 mg/L，11.16 mg/L 降至 2.60 mg/L。在 30℃时脱氮率分别达 93.39%、95.25%和 91.34%。表明温度在 10℃~30℃之间，温度的升高有利于硝化反应的进行。

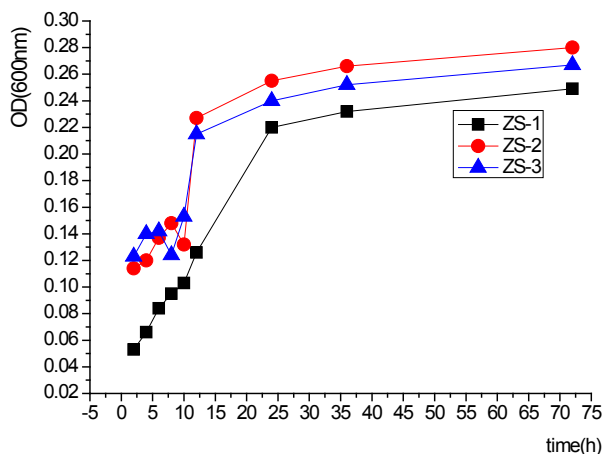


Figure 3. Growth curve of strains in simulated sewage

图 3. 菌株在模拟污水中的生长曲线

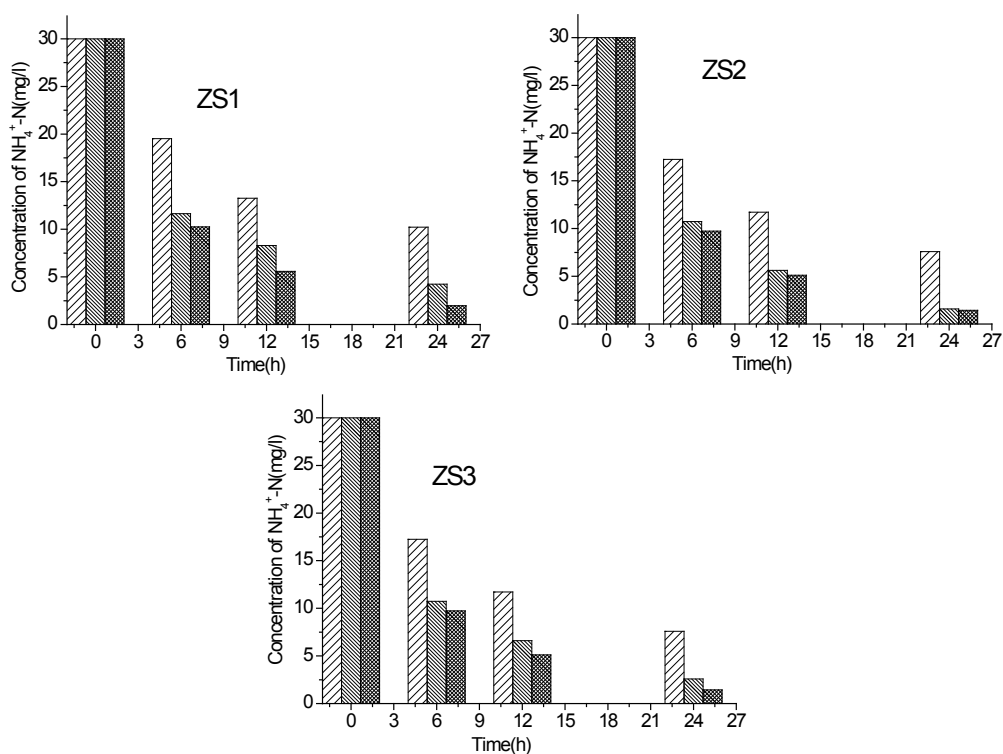
Figure 4. Effects of temperature on $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal of strains

图 4. 不同温度对菌株脱氮作用的影响

Table 1. Biomass and TP/COD remove changes after 24 h

表 1. 菌株处理 24 h 的生物量及对污染物的去除作用

菌株	生物量	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除效率(%)	COD 去除率(%)	TP 去除率(%)
ZS-1	+++	92.61	76.26	65.57
ZS-2	++++	95.12	87.36	72.56
ZS-3	+++	91.14	75.11	65.11

注: +++表示生长速度和稳定性的等级, 等级越高表示生长速度和稳定性越好。

从图4还可以看出,当温度为10℃反应24h时,3株优势菌ZS-1、ZS-2和ZS-3在低温下对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 均有一定的去除作用,去除率分别为65.89%、74.71%和62.78%。尤其是菌株ZS-2可以将污水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度降至8mg/L以下,说明3株优势菌在低温时均具有一定的脱氮效能。目前国内北方地区利用微生物处理废水工艺的一个难题就是温度对微生物生长的制约,在北方冬季污水处理厂的水温介于8℃~10℃之间,此时大多微生物的活性较低,污水处理效果不好,出水难以达到国家排放标准。本研究筛选出在较低温(10℃)条件下仍具有良好的脱氮效果(氨氮去除率大于60%)的微生物菌株,拟通过进一步低温驯化培养,获得能够耐低温的高效脱氮菌群,用于我国华北、东北、西北地区的冬季寒冷气候的污水处理工艺中,应用前景广阔。

4. 结论

本文从生物移动床填料生物膜中筛选出3株优势菌,它们均具有很好的去除 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 能力。在进行温度条件实验时,发现该3株优势菌ZS-1、ZS-2和ZS-3在低温下对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 均有一定的去除作用,去除率分别为65.89%、74.71%和62.78%。通过进一步的低温驯化与强化,可用于我国华北、东北、西北地区的冬季寒冷气候下的农村生活污水处理。

基金项目

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07202-010-05)。

参考文献 (References)

- [1] 柴社立, 蔡晶, 芮尊元. 移动床生物膜反应器及其应用[J]. 上海环境科学, 2004, 23(6): 257-261.
- [2] Mašić, A., Bengtsson, J. and Christensson, M. (2010) Measuring and Modeling the Oxygen Profile in a Nitrifying Moving Bed Biofilm Reactor. *Mathematical Biosciences*, **227**, 1-11.
- [3] 王钊, 李彦生, 张耀斌, 等. 生物移动床处理污水的应用现状[J]. 江苏环境科技, 2006, 19(z2): 133-135.
- [4] 丁进. 移动床生物膜反应器同步硝化反硝化脱氮性能研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2014.
- [5] 陈洪斌. 悬浮填料生物膜工艺的研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2005, 15(4): 514-520.
- [6] 葛怀波, 袁孟云, 刘峻. 移动床生物膜反应器挂膜及污泥驯化试验[J]. 环境科技, 2011, 24(z1): 19-21.
- [7] 荣宏伟, 胡皓, 张可方, 等. 序批式生物膜反应器挂膜启动实现短程硝化[J]. 环境工程学报, 2013, 7(6): 2063-2068.
- [8] 荆洁颖, 李文英. 移动床生物膜反应器污水处理工艺的研究现状及展望[J]. 煤化工, 2008, 36(4): 23-27.
- [9] Jaborniga, S. and Faverob, E. (2013) Single Household Greywater Treatment with a Moving Bed Biofilm Membrane Reactor (MBBMR). *Journal of Membrane Science*, **446**, 277-285. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2013.06.049>
- [10] 马华敏, 张立秋, 孙德智. 缺氧-好氧移动床生物膜反应器处理低温生活污水效能. 环境科学研究, 2010, 23(7): 958-963.
- [11] 王敏. 移动床生物膜反应器处理生活污水的实验及应用研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.