

亚硝酸型反硝化除磷污泥驯化方式的比较

张玉秀^{1,2}, 张伟伟^{1,2}, 薛涛², 支霞辉², 黄霞^{2*} (1.中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083; 2.清华大学环境科学与工程系, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084)

摘要: 以 14d 作为目标驯化时间, 采用 SBR 反应器比较了厌氧-缺氧(亚硝酸盐一次投加)、厌氧-缺氧-好氧(亚硝酸盐一次投加)、厌氧-好氧+厌氧-缺氧-好氧(亚硝酸盐一次投加)、厌氧-好氧+厌氧-缺氧-好氧(亚硝酸盐连续投加)4 种亚硝酸型反硝化除磷污泥驯化方式的优劣。结果表明, 经厌氧-好氧+厌氧-缺氧-好氧(亚硝酸盐连续投加)方法驯化后的污泥, 能承受的亚硝酸盐初始浓度最高为 80mg/L, 吸磷速率最高为 14mgP/(gVSS·h), 所需要的亚硝酸盐投加量较少, 是一种较好的亚硝酸型反硝化除磷污泥快速驯化方法。

关键词: 亚硝酸盐; 反硝化除磷; 污泥驯化; SBR

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2009)05-0493-04

Comparison of cultivated ways of denitrifying phosphorus removal sludge using nitrite as electron acceptor.

ZHANG Yu-xiu^{1,2}, ZHANG Wei-wei^{1,2}, XUE Tao², ZHI Xia-hui², HUANG Xia^{2*} (1.School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing, Beijing 100083, China; 2. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China). *China Environmental Science*, 2009,29(5): 493~496

Abstract: The effects of sludge cultivation were investigated under the conditions of anaerobic-anoxic (instantaneous nitrite dosing), anaerobic-anoxic-aerobic (instantaneous nitrite dosing), anaerobic-aerobic + anaerobic-anoxic-aerobic (instantaneous nitrite dosing), and anaerobic-aerobic + anaerobic-anoxic-aerobic (continuous nitrite dosing) using nitrite as electron acceptor applied a sequencing batch reactor (SBR) for 14 days. Sludge cultivated by the method of anaerobic-aerobic + anaerobic-anoxic-aerobic (continuous nitrite dosing) could tolerate the maximum initial nitrite concentration 80 mg/L and the highest phosphate uptake rate 14 mgP/(gVSS·h). The nitrite dosage under this condition was also needed less than others. Therefore this could be a proper way for fast cultivation of denitrifying phosphorus removal sludge using nitrite as electron acceptor.

Key words: nitrite; denitrifying phosphorus removal; sludge cultivation; SBR

反硝化聚磷菌能以硝酸盐或亚硝酸盐作电子受体进行同步脱氮除磷。反硝化除磷具有节约碳源和曝气量的优点^[1-4], 而以亚硝酸盐作电子受体, 则可通过将硝化反应控制在亚硝化阶段, 进一步节省需氧量, 降低能耗^[5]。因此有关亚硝酸型反硝化除磷技术的研究日益受到关注^[6-13]。

厌氧-缺氧是一种最直接的污泥驯化模式, 但聚磷菌在此模式下适应时间短, 厌氧-缺氧-好氧驯化模式由于有了后续的好氧段, 可以提高除磷效果, 及污泥的絮凝沉降性^[11], 厌氧-好氧+厌氧-缺氧-好氧驯化模式可预先提高污泥的含磷量, 而且亚硝酸盐连续投加有利于磷酸盐的吸收, 避免高浓度亚硝酸盐的冲击^[12]。

鉴于目前对以亚硝酸盐为电子受体的反硝化除磷污泥的驯化研究只针对一种运行模式, 且反硝化除磷污泥的驯化所需时间较长, 本研究以 14d 作为目标驯化时间, 比较了厌氧-缺氧(亚硝酸盐一次投加), 厌氧-缺氧-好氧(亚硝酸盐一次投加), 厌氧-好氧+厌氧-缺氧-好氧(亚硝酸盐一次投加), 厌氧-好氧+厌氧-缺氧-好氧(亚硝酸盐连续投加)4 种亚硝酸型反硝化除磷污泥的驯化方式的优劣, 以期得到最有效的快速驯化方法, 为亚硝酸型反硝化除磷技术的实际应用提供指导。

收稿日期: 2008-10-06

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划(2006BAC19B)

* 责任作者, 教授, xhuang@tsinghua.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料

接种污泥取自北京市清河污水处理厂的回流污泥.进水采用人工合成的自配水,其组分为(mg/L):乙酸钠 362;氯化铵 76;磷酸二氢钾 43.8;硫酸镁 66;氯化钙 15;碳酸氢钠 111.微量元素的组分为(mg/L):硫酸亚铁 0.3;硫酸锌 0.1;硫酸铜 0.1;硼酸 0.1.该自配水的水质指标为 COD250~300mg/L;TN30~40mg/L;TP5~10mg/L.

1.2 实验装置

驯化污泥采用 SBR 反应器.进水、搅拌、曝气、加药、沉淀、排水均为自动控制. SBR 有效容积为 10L,每天运行 4 个周期,每周期 6h,每周期进水时间 15min,沉淀时间 45min,排水时间 30min,其他时间随运行方式的不同而变化.运行温度控制在 20~25℃.每周期排水 5L.

1.3 实验方法

考察了 4 种亚硝酸型反硝化除磷污泥的驯化方法(表 1).由表 1 可见,驯化时间均为 14d,其中方法 C 和 D 分 2 阶段运行,每阶段 7d.

表 1 亚硝酸型反硝化除磷污泥的驯化方法

Table 1 Cultivation methods for denitrifying phosphorus removal sludge using nitrite as electron acceptor

驯化方法 编号	SBR 运行方式	运行时间 (d)	亚硝酸盐投加 方式
A	厌氧 90min,缺氧 180min	14	一次性投加
B	厌氧 90min,缺氧 120min, 好氧 60min	14	一次性投加
C	厌氧 90min,好氧 180min	7	
	厌氧 90min,缺氧 120min, 好氧 60min	7	一次性投加
D	厌氧 90min,好氧 180min	7	
	厌氧 90min,缺氧 120min, 好氧 60min	7	连续流加

注:亚硝酸盐的投加量均为 200mg/周期,则起始投加浓度为 20mg/L.采用加药泵滴加亚硝酸钠浓缩液,“一次性投加”是指在缺氧段开始后的 1min 内投加完毕,“连续流加”是指在缺氧段开始后的 1h 内均匀滴加

1.4 测定方法

采用烧杯试验测定污泥的吸磷速率.在每种驯化方法即将结束时,取适量厌氧阶段末的污泥

混合液清洗后,加入磷酸二氢钾浓缩液,使初始磷酸盐浓度为 30mg/L.考察亚硝酸盐作电子受体时,投加不定量的亚硝酸钠浓缩液并连续充氮气,测定初始亚硝酸盐浓度分别为 10,20,40,80mg/L 时的吸磷速率.考察氧气作为电子受体时,则向烧杯中吹脱空气,使溶解氧浓度维持在 2mg/L 以上.实验中每隔 10min 取样并快速离心分离,取上清液经 0.45μm 滤膜过滤后测定磷酸盐和亚硝酸盐浓度.正磷采用钼锑抗坏血酸分光光度法测定;亚硝酸盐采用 N-(1-萘基)-乙二胺分光光度法测定;MLSS(VSS)采用滤纸称重法测定^[14].

2 结果与讨论

2.1 接种污泥的吸磷速率

以氧气,10,20,40,80mg/L 亚硝酸盐作电子受体时,接种污泥的吸磷速率分别为 10.34,9.95,9.84,9.69,6.96mgP/(gVSS·h),由此可见,以氧气作电子受体进行吸磷更为有效,随着亚硝酸盐初始浓度的提高,吸磷速率逐渐降低,并在 80mg/L 时出现大幅度下降,说明亚硝酸盐对未经驯化的接种污泥产生了抑制,且随着亚硝酸盐浓度的提高,抑制作用增强.

2.2 不同方法的污泥驯化

2.2.1 驯化方法 A 厌氧段结束时和缺氧段结束时的磷酸盐浓度的变化情况如图 1 所示.

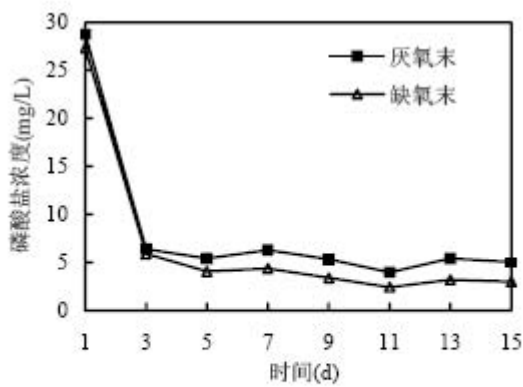


图 1 驯化方法 A 中磷酸盐浓度的变化

Fig.1 Change of phosphate concentration in cultivation method A

由图 1 可见,在驯化启动的当天,接种污泥表现出了良好的厌氧释磷能力,溶解性磷酸盐浓度

接近 30mg/L,但缺氧段结束后的磷酸盐浓度仍然很高,表明接种污泥不能立即适应完全以亚硝酸盐作电子受体进行吸磷。随后厌氧末的磷酸盐浓度迅速降低并维持在 5~7mg/L,而缺氧末的磷酸盐浓度低于厌氧末,表明污泥经过驯化已逐渐适应,具有一定的反硝化除磷能力。实验前期同时观察到污泥的沉降性能变差,出现污泥流失,之后逐渐好转,污泥浓度趋于稳定。污泥沉降性能的变化也体现了污泥对亚硝酸盐投加的适应过程。

2.2.2 驯化方法 B 为解决驯化方法 A 中污泥对亚硝酸盐的适应较慢且有污泥流失的问题,在缺氧段之后增加了好氧段,即驯化方法 B。

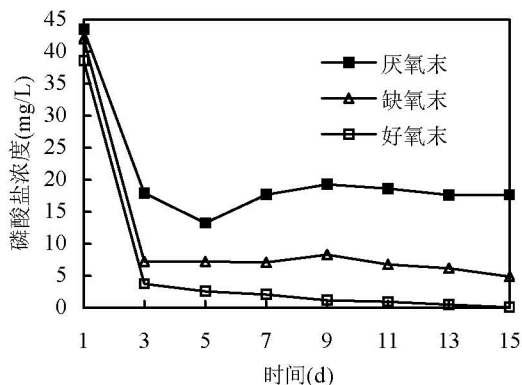


图 2 驯化方法 B 中磷酸盐浓度的变化情况

Fig.2 Change of phosphate concentration in cultivation method B

由图 2 可见,尽管在驯化启动时仍然有明显的亚硝酸盐抑制现象,但由于好氧段的存在,使得污泥可以得到一定的缓冲而快速地得到驯化,运行 2d 后,厌氧末的磷酸盐浓度接近 20mg/L,缺氧末的磷酸盐浓度低于厌氧末,缺氧段表现出明显的吸磷现象。污泥的沉降性能良好,污泥浓度稳定。

2.2.3 驯化方法 C 该方法首先通过 1 周的厌氧-好氧培养,提高污泥总体的释磷和吸磷能力,以增强污泥对亚硝酸盐投加的适应能力,再进行 1 周的厌氧-缺氧-好氧驯化,获得具有亚硝酸型反硝化除磷能力的污泥。

由图 3 可见,在厌氧-好氧驯化的第 1 阶段,厌氧末的磷酸盐浓度逐渐升高,好氧末的磷酸盐浓度逐渐降低,表明污泥的释磷和吸磷能力明显增强。进入厌氧-缺氧-好氧驯化的阶段后,厌氧释

磷浓度先下降后缓慢升高,缺氧段结束时的磷浓度较低,说明存在缺氧吸磷现象。污泥沉降性能良好,污泥浓度稳定。

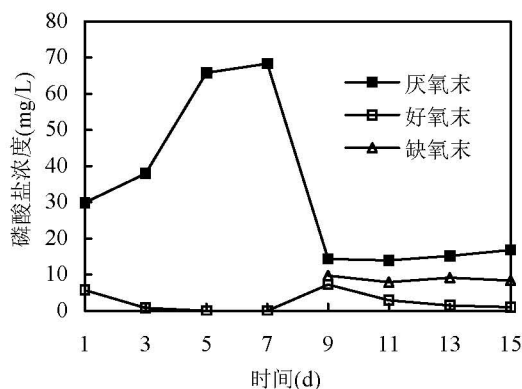


图 3 驯化方法 C 中磷酸盐浓度的变化情况

Fig.3 Change of phosphate concentration in cultivation method C

2.2.4 驯化方法 D 由于上述方法在亚硝酸盐第 1 次投加时均出现了明显的抑制现象,这可能是由于亚硝酸盐在短时间内迅速加入反应器造成了冲击负荷。为此,驯化方法 D 在驯化方法 C 的基础上,将一次性投加亚硝酸盐改为连续投加。

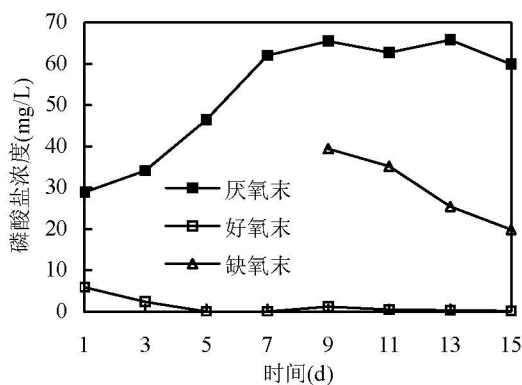


图 4 驯化方法 D 中磷酸盐浓度的变化情况

Fig.4 Change of phosphate concentration in cultivation method D

由图 4 可见,厌氧-好氧的第 1 阶段情况与驯化方法 C 类似,污泥的释磷和吸磷能力得到提高,第 2 阶段投加亚硝酸盐后没有出现明显的抑制现象,厌氧末磷酸盐浓度保持稳定,缺氧末磷酸盐浓度明显低于厌氧末,表现出良好的反硝化除磷

性能.污泥的沉降性能始终良好,污泥浓度稳定.

2.3 污泥驯化后的吸磷速率

由表 2 可见,经驯化后,污泥的亚硝酸盐反硝化除磷的吸磷速率均得到明显提高.接种污泥在亚硝酸盐初始浓度为 10mg/L 时吸磷速率最高,方法 A、B、C、D 分别在亚硝酸盐初始浓度为 20,20,40,80mg/L 时达到最高吸磷速率,从最高吸磷速率的绝对数值和相对应的亚硝酸盐初始浓度看,4 种驯化方法的有效性顺序为:D>C>B>A.其中方法 C 和 D 由于采用了 2 阶段的驯化方式,亚硝酸盐的投加消耗量实际为方法 A 和 B 的 50%.而方法 D 在亚硝酸盐初始浓度为 10,20,80mg/L 时和以氧为电子受体时的吸磷速率均为最高,亚硝酸盐初始浓度为 40mg/L 时则与方法 C 接近.综合看,方法 D 是最有效的亚硝酸盐反硝化除磷污泥快速驯化方法,同时需要的亚硝酸盐投加量也较少.

表 2 污泥驯化后以不同浓度亚硝酸盐和氧作电子受体时的吸磷速率[mgP/(gVSS·h)]

Table 2 Phosphate uptake rates of cultivated sludge using different concentration nitrite and oxygen as electron acceptor[mgP/(gVSS·h)]

污泥样品	亚硝酸盐初始浓度(mg/L)				好氧
	10	20	40	80	
接种污泥	9.95	9.84	9.69	6.96	10.34
污泥 A	10.69	10.78	9.74	9.10	10.30
污泥 B	12.57	13.27	11.76	10.48	14.45
污泥 C	12.05	12.68	13.76	12.84	14.49
污泥 D	13.22	13.34	13.54	14.00	14.56

注:污泥A、污泥B、污泥C和污泥D分别指方法A、方法B、方法C和方法D驯化的污泥

3 结论

3.1 4 种方式在 14d 的驯化下均培养出了具有反硝化除磷效果的污泥,缩短了污泥的驯化时间.

3.2 经厌氧-好氧+厌氧-缺氧-好氧(亚硝酸盐连续投加)驯化后的污泥在亚硝酸盐初始浓度达到 80mg/L 时仍未出现受抑制现象,吸磷速率达到最高值 14mgP/(gVSS·h),接近氧为电子受体的吸磷速率.因此,该驯化方法为一种良好的

亚硝酸盐反硝化除磷污泥快速驯化方法.

参考文献:

[1] Baker P S, Dold P L. Denitrification behavior in biological excess phosphorus removal activated sludge system [J]. Wat. Res., 1996,30(4):769-780.

[2] Kuba T, Van Loosdrecht M C M, Brandse F A, et al. Occurrence of denitrifying phosphorus removing bacteria in modified UCT type wastewater treatment plants [J]. Wat. Res., 1997,31(4): 777-786.

[3] Kuba T, Van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of nitrification in a two sludge system [J]. Wat. Res., 1996,30(7): 1702-1710.

[4] Bortone G, Marsili Libelli S, Tilche A, et al. Anoxic phosphate uptake in the dephanox process [J]. Wat. Sci. Tech., 1999,40(4/5): 177-183.

[5] Hu J Y, Ong S L, Ng W J, et al. A new method for characterizing denitrifying phosphorus removal bacteria by using three different types of electron acceptors [J]. Wat. Res., 2003,37(14):3463-3467.

[6] Jens Meinhold, Eva Arnold, Steven Isance. Effect of nitrite on anoxic phosphate uptake in biological phosphate removal activated sludge [J]. Wat. Res.,1999,33(18):1871-1883.

[7] Lee D S, Jeon C O, Jong M P. Biological nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in a sequencing batch reactor using single sludge system [J]. Wat. Res., 2001,35(16):3968-3976.

[8] Ahn J, Daidou T, Tsuneda S, et al. Metabolic behavior of denitrifying phosphate-accumulating organisms under nitrate and nitrite electron acceptor conditions [J]. Biosci. Bioeng., 2001, 92(5):442-446.

[9] Saito T, Brdjanovic D, Van Loosdrecht M C M. Effect of nitrite on phosphate uptake by phosphate accumulating organisms [J]. Wet. Res., 2004,38(17):3760-3768.

[10] 张晓洁,周少奇,朱明石.亚硝氮为电子受体缺氧吸磷的实验研究 [J]. 净水技术, 2007,26(1):42-46.

[11] 王爱杰,吴丽红,任南琪,等.亚硝酸盐为电子受体反硝化除磷工艺的可行性 [J]. 中国环境科学, 2005,25(5):515-518.

[12] 刘建广,付昆明,杨义飞,等.不同电子受体对反硝化除磷菌缺氧吸磷的影响 [J]. 环境科学, 2007,28(7):1472-1476.

[13] 张小玲,王磊,王志盈. NO₂⁻作为缺氧吸磷电子受体的试验研究 [J]. 环境科学, 2006,27(5):930-933.

[14] 国家环境保护局水与废水监测分析方法编委会.水与废水监测分析方法 [M]. 3 版.北京:中国环境科学出版社, 1997.

作者简介: 张玉秀(1962-),女,陕西合阳人,教授,博士,主要从事环境生物学和基因工程的研究.发表论文 30 余篇.