

翟缘,张雁秋,李燕. 厌氧/缺氧环境驯化短程反硝化聚磷菌[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):332-334.

厌氧/缺氧环境驯化短程反硝化聚磷菌

翟缘,张雁秋,李燕

(中国矿业大学环境与测绘学院,江苏徐州 221116)

摘要:以污水处理厂二沉池活性污泥为种泥,采用直接加药和厌氧/缺氧交替运行的驯化方式驯化 46 d,使得缺氧脱氮率、除磷率分别稳定在 95%、93% 以上。试验结果表明,磷的吸收量和亚硝酸盐的消耗量基本呈线性关系,可以认为系统完成了污泥的驯化,经测试表明,短程反硝化聚磷菌占全部聚磷菌的 75%。

关键词:短程反硝化聚磷菌;厌氧/缺氧;驯化;污泥

中图分类号: Q939.97;X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0332-03

作为一种新型的高效低能耗的生物脱氮除磷技术,反硝化除磷技术在近年来已成为水处理研究领域的一个热点^[1-2]。反硝化除磷是指聚磷菌(phosphorus accumulation organisms, PAO)能在缺氧的条件下利用 NO_3^- 作为吸磷的电子受体,此时聚磷菌体内的聚羟基脂肪酸酯(polyhydroxyalkanoates, PHA)并不在传统的好氧吸磷过程中被 O_2 氧化去除,而是作为 NO_3^- 反硝化的碳源,从而实现了脱氮除磷过程的耦合^[3-4]。与传统的好氧聚磷菌相比,利用反硝化聚磷菌(denitrifying phosphorus accumulation organisms, DPAO)除磷可

以减少 50% 的化学需氧量(COD)需求和 30% 的 O_2 消耗,从而实现“一碳两用”,同时可以减少 50% 的剩余污泥^[5-6]。相关研究表明,反硝化过程一般都要产生中间产物亚硝酸盐,甚至在某些试验的反硝化过程中会出现一定浓度亚硝酸盐的积累,并且亚硝酸盐可以作为反硝化聚磷菌的电子受体^[7-8]。本研究采用在密闭系统中直接厌氧/缺氧驯化的方法,经过 1.5 个月的培养,成功驯化出了短程反硝化聚磷菌。

1 材料与方法

1.1 设备与试剂

试验采用 SBR(sequencing batch reactor activated sludge process)反应器,高 60 cm,直径 30 cm,总有效容积 10 L,为有机玻璃材质。设备装配有电磁搅拌器,可使污泥在厌氧/缺氧阶段处于悬浮状态。为了保证试验污泥的绝对厌氧环境,本试验创新性地采用直接投加药品到污泥中的方法,避免了在

收稿日期:2013-12-20

作者简介:翟缘(1989—),江苏徐州人,硕士研究生,主要从事废水处理的研究。E-mail:674769387@qq.com。

通信作者:张雁秋,教授,主要从事废水处理的研究。E-mail: yqzhang@cumt.edu.cn。

[11]沙伟,王欢,师帅. 旱后复水对东亚砂藜生理生化指标的影响[J]. 武汉植物学研究,2010,28(2):246-249.

[12]中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999:128-145.

[13]李忠光,龚明. 愈创木酚法测定植物过氧化物酶活性的改进[J]. 植物生理学通讯,2008,44(2):323-324.

[14]高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版社,2000:11-26.

[15]张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2003.

[16]张蕾. 生物化学实验指导[M]. 武汉:武汉大学出版社,2011.

[17]高丽萍,夏涛,张鹤英. 猕猴桃衰老中膜脂过氧化指标——丙二醛的研究[J]. 安徽农业大学学报,2000,27(2):154-156.

[18]冯义平,毛亮,董仕鹏,等. 过氧化物酶催化去除水体中酚类内分泌干扰物的研究进展[J]. 环境化学,2013,7(7):1218-1225.

[19]陈玉胜. 外源谷胱甘肽对大豆种子萌发过程中铜毒害的缓解效应[J]. 大豆科学,2012,31(2):247-251.

[20]Zang Z C. Plant physiology and molecular biology[M]. Beijing:Science Press,1999:739-751.

[21]林武星,黄雍容,聂森,等. 盐胁迫对台湾海桐幼苗营养吸收和可溶性总糖含量的影响[J]. 西南林业大学学报,2013,4(2):1-5.

[22]裴斌,张光灿,张淑勇,等. 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报,2013(5):1386-1396.

[23]鲁建荣,李向义,薛伟,等. 两种荒漠植物叶片脱水水分生理和 PS II 活性特征[J]. 西北植物学报,2013,33(7):1427-1434.

[24]薛惠云,张永江,刘连涛,等. 干旱胁迫与复水对棉花叶片光谱、光合和荧光参数的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(11):2386-2393.

[25]陶晶,陈士刚,秦彩云,等. 盐碱胁迫对杨树各品种丙二醛及保护酶活性的影响[J]. 东北林业大学学报,2005,33(3):13-15,37.

[26]严美玲,李向东,林英杰,等. 苗期干旱胁迫对不同抗旱花生品种生理特性、产量和品质的影响[J]. 作物学报,2007,33(1):113-119.

[27]杨淑慎,高俊凤. 活性氧、自由基与植物的衰老[J]. 西北植物学报,2001,21(2):215-220.

[28]吴银明,王平,刘洪升,等. 分根 PEG 胁迫对羊草幼苗植物量、活性氧代谢及脯氨酸含量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2008,43(2):114-119.

[29]闫洪奎,刘祥,王会广,等. 低钾胁迫下耐低钾玉米可溶性蛋白、可溶性糖和钾含量的变化及其关系[J]. 玉米科学,2012,20(6):81-84.

配制溶液过程中与氧的接触,并通过控制投加药品量保证污泥混合液中各种成分的浓度,混合液微量元素溶液添加量为 0.3 mL/L。微量元素溶液配方与模拟废水成分分别见表 1、表 2。试验所用试剂均为国产分析纯。

表 1 微量元素溶液配方

微量元素等药品名	配方 (g/L)
FeCl ₃	1.50
CuSO ₄	0.03
KI	0.18
MnCl ₂	0.12
ZnSO ₄	0.12
CoCl ₂	0.15
EDTA	10.00

表 2 模拟废水成分

模拟废水成分	药品名	终浓度 (mg/L)
碳源	NaAc	150(以 COD 计算)
铵态氮	NH ₄ Cl	5(以含氮量计算)
磷酸盐	KH ₂ PO ₄	10(以含磷量计算)
亚硝态氮	NaNO ₂	20~40
碱度		60(以 CaCO ₃ 计算)

1.2 污泥的培养与驯化

试验所用污泥取自徐州市姚庄污水处理厂二沉池。将新采集的污泥淘洗 3 次,去除碎石等杂质;调节污泥浓度至 6 000 mg/L,并在污泥混合液液面上加盖泡沫板,以隔绝空气,保证厌氧环境。厌氧/缺氧 SBR 反应器每周期运行 8 h,采用瞬时加药,其中厌氧阶段 3 h;加入亚硝酸盐进入缺氧阶段后,搅拌运行 4.5 h,沉淀排水 0.5 h。

2 结果与分析

2.1 厌氧/缺氧阶段 COD 的去除性能

在厌氧阶段开始时加入碳源、氨氮和磷酸盐,首先满足微生物自身生长的需要,其次促使聚磷菌在消耗碳源的同时释磷,为缺氧阶段反硝化聚磷做好准备。COD 的变化情况及去除率见图 1。

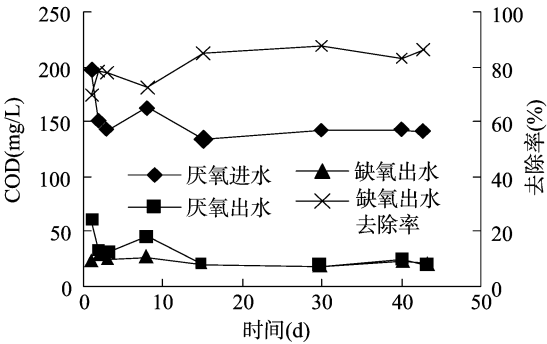


图1 厌氧、缺氧条件下COD浓度与去除率的变化

由图 1 可以看出,1 d 厌氧结束以后,COD 的剩余量仍然有 60.8 mg/L,缺氧结束后 COD 降为 23.63 mg/L。分析原因,可能是聚磷菌在厌氧阶段释磷完成后仍有碳源,即碳源添加过多。由图 1 还可以看出,在缺氧阶段加入亚硝态氮(NO₂⁻-N)以后,反硝化菌利用剩余的碳源作为电子受体,发

生反硝化反应,使 COD 进一步降低;在试验 2 d 后及以后的驯化期间将 COD 投加量改为 150 mg/L 时,厌氧结束、缺氧结束后的 COD 基本稳定在 20 mg/L,去除率在 85% 以上,说明此时碳源充足,且能避免缺氧阶段亚硝态氮与碳源的接触,从而阻止反硝化菌利用碳源作为电子受体。

2.2 亚硝态氮浓度的变化与去除率

由图 2 可以看出,反应 1 d 后,NO₂⁻-N 的去除率高达 81.62%;反应 2、3 d 后,去除率急剧下降,尤其是在反应 2 d 后的去除率只有 29.83%;反应 8 d 以后,去除率逐步提高并趋于稳定。这主要是因为反应 1 d 时在厌氧结束后有剩余的碳源,大部分亚硝态氮通过反硝化反应被去除了;2 d 时进入缺氧阶段,COD 浓度仅为 20 mg/L,NO₂⁻-N 只能被很少的反硝化聚磷菌去除,因此去除率下降;在后续阶段逐步聚集了小部分反硝化聚磷菌,利用亚硝态氮作为电子受体,发生反硝化聚磷,使得 NO₂⁻-N 去除率逐步升高;稳定运行后,即使 NO₂⁻-N 浓度由 20 mg/L 增加到 40 mg/L,系统依然有很高的去除率,且保持在 95% 以上。

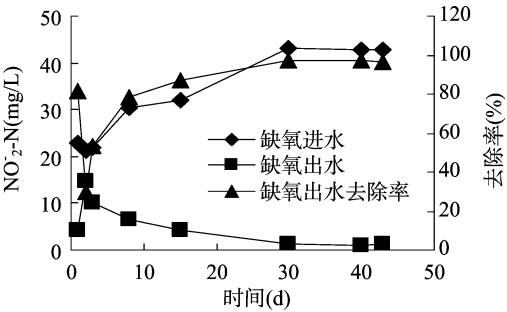


图2 缺氧阶段的亚硝态氮浓度与去除率

2.3 厌氧/缺氧阶段总磷的变化情况与去除率

聚磷菌在经过厌氧释磷以后进入缺氧阶段,利用缺氧环境中的亚硝态氮作为电子受体可以达到反硝化聚磷的目的。图 3 反映了各阶段总磷浓度的变化,可以看出,厌氧进水总磷浓度稳定在 10 mg/L 左右,厌氧结束后总磷浓度在 40 mg/L 以上,仅在反应 2、3 d 后有所下降,造成这种情况的原因主要是反应 1 d 后,缺氧结束后亚硝态氮仍有大量剩余,从而抑制了聚磷菌的厌氧释磷;在反应 10 d 后,释磷量恢复到稳定状态,结合图 1 还可以发现,虽然进水 COD 的浓度有所降低,但是稳定后的释磷量不变,进一步说明厌氧释磷是充分的。此外,从缺氧出水中的总磷浓度能够看出,虽然前 3 d 亚硝态氮有部分被去除了(图 2),但是总磷的去除率很低,分别为 47.58%、53.31%、69.43%,其主要原因是在缺氧环境中,反硝化菌优先利用剩余的碳源作为电子受体而发生反硝化反应,但只有很少量的聚磷。不难看出,随着驯化的进行,缺氧除磷率不断上升并稳定在 93% 以上,充分表明污泥已具有良好的除磷特性,活性污泥的沉降性能得到明显改善;此外,在显微镜下可明显观察到轮虫等原生和后生动物,表示水质良好,驯化已基本完成。

2.4 NO₂⁻-N 去除量与总磷去除量的关系

为了证明短程反硝化聚磷菌已经驯化成功,研究了缺氧条件下总磷的去除量与亚硝酸盐消耗之间的关系,详见图 4。

由图 4 可见,亚硝酸盐的消耗量与磷的吸收量基本呈线性关系,其关系式为:

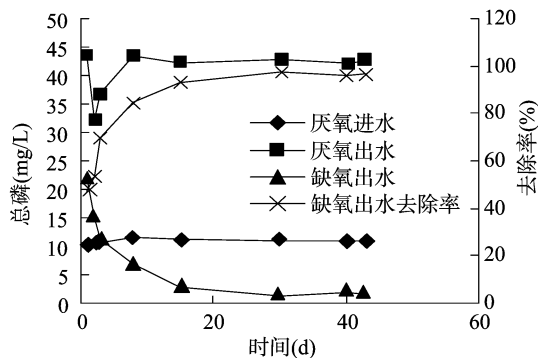
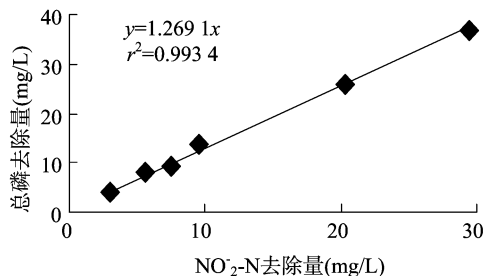


图3 进水、厌氧结束、缺氧结束时的磷浓度与去除率变化

图4 总磷的吸收量与 NO_2^- -N的消耗量之间的关系

总磷的吸收量 = $1.2691 \times \text{NO}_2^-$ -N 消耗量 ($r^2 = 0.9934$)。

检验上述回归模型是否显著, 给定水平 $\alpha = 5\%$, 经计算得 $t = 4.53$, 查表得:

$$t_{\alpha/2}(n-2) = t_{0.025}(4) = 2.7764。$$

由于 $|t| > t_{\alpha/2}(n-2)$, 所以经检验, 该线性回归显著, 认为线性回归模型成立。

2.5 活性污泥中短程反硝化聚磷菌数量的估计

对经过厌氧/缺氧交替运行方式驯化的短程反硝化聚磷菌与厌氧/好氧聚磷菌活性污泥体系进行对比。首先将厌氧/缺氧活性污泥在 SBR 反应器中经过 3 h 充分厌氧释磷, 然后将污泥平均分为 2 份, 分别置于 2 个相同容积的 SBR 反应器中, 其中 1 个以氧为电子受体, 在好氧环境下运行, 另一个投加亚硝酸盐作为电子受体, 在缺氧环境下运行, 吸磷 (PO_4^{3-} -P) 情况详见图 5。

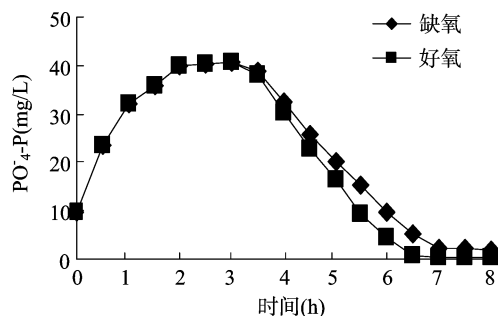


图5 缺氧吸磷活性污泥在好氧、缺氧条件下吸磷量的比较

由图 5 可以看出, 经过 3 h 的厌氧释磷后, PO_4^{3-} -P 的浓度达到 40.68 mg/L, 菌体在好氧条件下表现出良好的聚磷特性, 在好氧开始 3.5 h 后就基本检测不到 PO_4^{3-} -P 的存在, 好氧吸磷速率为 1.91 mg/h (以混合液悬浮固体浓度计)。但是, 依然可以看出, 经过驯化, 短程反硝化聚磷菌已发生很大程度聚集, 聚磷能力大幅提高。从图 5 可以看到, 3 h 厌氧释磷后, 经过 4 h 的缺氧反应, PO_4^{3-} -P 浓度已经从开始的 40.68 mg/L 降至 2.13 mg/L, 反硝化聚磷速率是 1.61 mg/h (以混合液悬浮固体浓度计)。该污泥中短程反硝化聚磷菌占全部聚磷菌的 75%。

3 结论

研究结果表明, 以亚硝态氮为电子受体的短程反硝化聚磷菌是存在的, 以厌氧/缺氧交替运行的方式, 并且直接投加药剂是可以选择并富集该菌种的。

稳定运行期间, 短程反硝化聚磷菌在厌氧阶段释磷充分, 在缺氧阶段有很高的脱氮除磷效率。缺氧结束时, NO_2^- -N 和 PO_4^{3-} -P 的浓度都在 1 mg/L 以下, 去除率分别在 95%、93% 以上。

亚硝酸盐的消耗量与磷的吸收量基本呈线性关系, 其关系式为: 总磷的吸收量 = $1.2691 \times \text{NO}_2^-$ -N 的消耗量 ($r^2 = 0.9934$)。

缺氧反硝化吸磷的效率低于好氧吸磷, 经过厌氧/缺氧条件的驯化, 短程反硝化聚磷菌占全部聚磷菌的 75%。

参考文献:

- [1] 马娟, 彭永臻, 王丽, 等. 反硝化除磷技术及其影响因素分析[J]. 工业水处理, 2009, 29(4): 4-8.
- [2] 贾学斌, 王强, 杜丛, 等. 反硝化聚磷菌富集、筛选及其特性[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(2): 35-39.
- [3] Jiang Y F, Wang L, Wang B Z, et al. Biological nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in $(\text{AO})^2$ SBR using single sludge system[J]. Journal of Environmental Sciences, 2004, 16(6): 1037-1040.
- [4] Jørgensen K S, Pauli A S L. Polyphosphate accumulation among denitrifying bacteria in activated sludge[J]. Anaerobe, 1995, 1(3): 161-168.
- [5] Kuba T, Wachtmeister A, van Loosdrecht M C M, et al. Effect of nitrate on phosphorus release in biological phosphorus removal systems[J]. Water Science and Technology, 1994, 30(6): 263-269.
- [6] Kuba T, Murnleitner E, van Loosdrecht M C, et al. A metabolic model for biological phosphorus removal by denitrifying organisms[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1996, 52(6): 685-695.
- [7] 王亚宜, 彭永臻, 王淑莹, 等. 碳源和硝态氮浓度对反硝化聚磷的影响及 ORP 的变化规律[J]. 环境科学, 2004, 25(4): 54-58.
- [8] 曹长青, 雷中方, 胡志荣, 等. 反硝化除磷过程中的影响因素探讨[J]. 中国给水排水, 2005, 21(7): 22-25.