

硝化污泥低温冲击强化试验

王程¹, 张念慈², 肖娴², 赵远², 周奕萱¹, 裴孟², 王博文²

(1. 苏州市宏宇环境科技股份有限公司常州分公司, 江苏 常州 213022;

2. 常州大学环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要:采用完全好氧式膜生物反应器富集耐低温硝化污泥,通过低温冲击强化试验研究硝化污泥的耐低温特性。结果表明,低温对硝化污泥中微生物的群落多样性影响较大,温度越低,微生物多样性越低。低温强化组投加了耐低温高硝化菌含量硝化污泥,使得硝化菌在反应器内生长趋势良好,对低温冲击的恢复更有效果,且低温硝化污泥比中温硝化污泥具有更好的氨氮及亚硝氮去除效果。

关键词:硝化污泥;低温冲击;生活污水

中图分类号:X703

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2021)04-0068-04

Enhancement Test of Low Temperature Impact on Nitrifying Sludge

WANG Cheng¹, ZHANG Nian-ci², XIAO Xian², ZHAO Yuan², ZHOU Yi-xuan¹, PEI Meng², WANG Bo-wen²

(1. Suzhou Hongyu Environmental Technology Co., Ltd., Changzhou Branch, Changzhou, Jiangsu 213022, China;

2. School of Environmental and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou, Jiangsu 213164, China)

Abstract: The low temperature resistance of nitrifying sludge was studied through low temperature impact enhancement test using complete aerobic membrane bioreactor to enrich low temperature resistant nitrifying sludge. The results showed that low temperature had a great influence in microbial community diversity. The lower the temperature was, the lower the microbial diversity was. When adding high content of nitrifying bacteria to low temperature resistant nitrifying sludge, nitrifying bacteria grew well in the reactor and had more effect on the recovery of low temperature impact. Low temperature nitrifying sludge had better removal effect on ammonia nitrogen and nitrite nitrogen than medium temperature nitrifying sludge did.

Key words: Nitrifying sludge; Low temperature impact; Domestic sewage

工业化、城市化和经济的快速发展,导致很多过剩的氨氮污染物被排入河流、湖泊、地下水等水生环境^[1-2],会使水体生态失衡^[3-5]。另外,藻类产生的有机物会导致水体产生异臭味,还会产生一些有机毒物,对水中的动植物造成危害,这些有机毒物给废水的处理增加了难度,且处理费用较高^[6]。

国内外学者对硝化菌的富集和强化污水处理系统技术展开了广泛的研究。硝化菌较为脆弱且生长周期较长,对外界的温度变化特别敏感^[7-9]。使用富集好的耐低温硝化污泥,对冬季污水厂硝化系统崩溃后的恢复有着时间短、花费少等优点。今针对冬季水温骤降导致污水厂硝化系统崩溃的情况开展研究,以好氧式膜生物反应器(MBR)为富

集装置^[10-11],富集出一种耐低温的高活性硝化菌,考察温度、进水氨氮负荷等因素对低温硝化菌富集的影响,并探讨与中温富集污泥相比时,在低温冲击下生物硝化强化的影响和效果。

1 材料与方法

1.1 强化装置与实验条件

开展低温冲击下不同硝化菌的硝化强化试验,

收稿日期:2020-05-15;修订日期:2021-05-12

基金项目:国家科技支撑计划基金资助项目(No. 2015BAC02B02-01);常州市科技支撑计划(社会发展)基金资助项目(CE20175060)

作者简介:王程(1978—),男,江苏盐城人,高级工程师,本科,从事环境影响评价和工业废水处理工作。

试验装置见图1。强化试验共运行47 d,采用序批式进出水模式,沉淀出水,每12 h换1 L水,设置水力停留时间(HRT)为24 h。运行期间,pH值为7.0~8.0,DO为2.0 mg/L~4.0 mg/L。第1天—第18天为常温稳定期,温度为21℃~25℃;第19天—第47天为低温强化期,温度为7℃~8℃;第21天开始投加硝化污泥进行强化。通过计算单位时间内氨氮的去除率,确定低温富集硝化污泥和中温硝化污泥的投加量,对照组不额外投加菌剂。强化重复试验共运行109 d,运行模式、条件均与强化试验相同。

1.2 接种污泥

接种污泥取自宜兴市某污水厂好氧池活性污泥,强化试验污泥浓度(MLSS)为 (2.98 ± 0.5) g/L,强化重复试验 MLSS 为 (3.61 ± 0.5) g/L;低温硝化污泥强化试验 MLSS 为 (8.70 ± 0.5) g/L,强化重复试验 MLSS 为 (6.17 ± 0.5) g/L;中温硝化污泥强化试验 MLSS 为 (5.68 ± 0.5) g/L,强化重复试验 MLSS 为 (9.83 ± 0.5) g/L。曝气池系统的污泥泥龄约5 d~6 d,达到硝化阶段时,污泥泥龄约8 d~20 d。

1.3 测定

试验测定的水质指标包括硝氮、亚硝氮、氨氮、化学需氧量、污泥浓度、生物相等,分析方法参照《水和废水监测分析方法》(第四版)^[12]。硝化活性的测定在10℃下进行,方法参考文献[13]。在反应器运行的2 h内,每15 min取1个水样,硝化活性依据2 h消耗的氨氮来确定。微生物生物相宏基因组测序工作委托某生物工程(上海)股份有限公司进行。在第52天、第250天各平行采集5个1 mL的硝化污泥样品,在-70℃条件下保存后测序并依据伯杰分类系统项目分类^[14-15]。

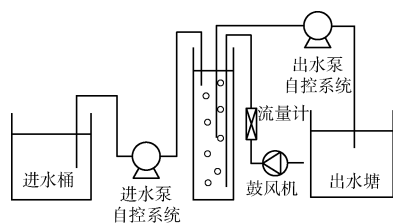


图1 强化试验单个装置

Fig. 1 Single device diagram for strengthening test

2 结果与讨论

2.1 不同硝化污泥的硝化强化效果

不同硝化污泥在低温冲击下的强化试验结果表明,在8℃低温下,富集的耐低温硝化污泥在投加菌剂5 d后就将崩溃的硝化系统出水氨氮恢复至一级A排放标准,实现了硝化系统的快速启动,且亚硝氮积累程度较低,显示了耐低温硝化污泥对于强化污水生物处理系统硝化性能的可行性和工程应用前景。

2.2 基于 OTU 丰度的样本聚类分析

对低温强化组反应器中的污泥进行基于 OTU 丰度的样本聚类分析,选取反应器运行至第18天、第26天、第47天的3个样品,分别代表低温强化前、低温强化中、低温强化后的污泥变化。另外,水质评价也可用灰色聚类分析^[16]。聚类结果显示,投加低温硝化污泥4 d后反应器中污泥与加泥前相似度较高,而运行至第47天后,反应器中的污泥与低温强化前的污泥相差较大。说明随着时间的推移,低温强化组中的硝化污泥使反应器中原本的污泥菌落分布发生了改变,故相似性较远。

2.3 属水平微生物多样性分析

低温强化组反应器在运行中的属水平微生物多样性情况见表1。Coverage覆盖率表示所有样品的数值都在0.97以上,说明该测序具有较高准确性。Simpson指数和Shannon指数表示,随着反应器进入低温强化,样品的群落多样性越来越低,即使中途额外投加了菌剂也没有改变,说明低温对微生物的多样性影响较大,温度越低,微生物多样性越低。

2.4 属水平下微生物群落结构变化

通过具体分析污泥内群落结构的分布情况,发现不同时间段内其群落的结构分布也不一样,低温强化组反应器内前二十的属水平微生物群落结构分布见表2。由表2可知,反应器进入低温前(18 d)其优势菌属为假单胞菌属(*Pseudomonas*)和不动杆菌属(*Acinetobacter*),占比分别为12.05%和10.98%;反应器刚进入低温并投加低温富集硝化菌(26 d)时优势菌属还是*Pseudomonas*(16.28%)和*Acinetobacter*(13.16%),*Pseudomonas*的占比有所上升;当反应器运行至第47天时,优势菌属发生

表1 微生物多样性指数

Table 1 Microbial diversity index

样品	Shannon 指数	ACE 指数	Chao1 指数	Coverage	Simpson
第18天	6.13	3 062.61	2 982.36	0.980	0.030
第26天	5.04	3 411.61	3 324.24	0.984	0.037
第47天	4.50	3 103.21	3 062.52	0.974	0.074

表 2 低温强化反应器内群落结构分布占比

Table 2 Distribution of community structure in low temperature enhanced reactor community

群落名称	18 d	26 d	47 d	群落名称	18 d	26 d	47 d
假单胞菌属	12.05	16.28	16.35	水生细菌属	1.10	1.56	1.42
陶厄氏菌属	2.91	7.03	25.28	硝化杆菌属	0.31	1.21	1.72
未分类菌属	11.73	10.15	7.93	烟草杆菌属	1.42	0.91	0.89
不动杆菌属	10.98	13.16	0.79	卡氏黄褐杆菌属	0.09	1.40	1.50
费氏杆菌属	8.96	7.12	3.90	硝化螺菌属	1.20	1.03	0.80
亚硝化单胞菌属	4.68	5.13	6.28	金线莲	0.79	1.12	0.95
金黄杆菌属	3.16	2.78	2.11	鞘氨醇	1.59	0.73	0.69
弧菌属	2.43	2.14	1.38	短波单胞菌属	1.22	0.41	1.43
棒状杆菌属	0.84	2.15	0.75	细菌杆菌属	0.39	1.18	0.81
红环菌属	1.49	1.12	1.33	噬氢菌属	0.43	0.61	1.53

了改变,陶厄氏菌属 (*Thauera*) 取代 *Pseudomonas* 成为绝对优势菌属。说明反应器在进入低温后 *Pseudomonas* 就不再生长,即 *Pseudomonas* 不适宜在低温下培养。*Thauera* 在低温下培养 47 d 后几乎完全取代了 *Acinetobacter*, 此时二者占比分别为 25.28% 和 0.79%。*Thauera* 同时具有脱氮、去除 COD 和苯酚等能力,而 *Acinetobacter* 也具有一定的生物降解作用,这说明 *Thauera* 更适合在低温下生长,而低温对 *Acinetobacter* 明显存在抑制作用。

随着硝化菌的投加和反应器的运行,3 个阶段中硝化杆菌属 (*Nitrobacter*)、硝化螺菌属 (*Nitrospira*) 和亚硝化单胞菌属 (*Nitrosomonas*) 的占比分别为 8.80%、7.37% 和 6.19%, 硝化菌占比稳步升高。说明反应器内的硝化菌含量并没有因为低温的抑制而降低,富集的低温硝化菌在强化时依然表现出较好的生长趋势,这也是低温强化组在低温冲击恢复的效果上比其他两组更有优势的原因。

2.5 硝化强化效果对比

使用 AUR 法^[17] 分别做强化重复试验,需投加的中温硝化污泥和低温硝化污泥的硝化活性分别为 64.27 mg/(L·h) 和 582.52 mg/(L·h), 氨氮去除效果见图 2。由图 2 可见,在第一轮低温强化时,低温强化组恢复反应器中的硝化作用比中温强化组和对照组快了 15 d,且中温强化组的强化效果只在强化开始时比对照组稍快。在第二轮低温冲击时,低温强化组依然表现出了更好的氨氮去除能力,说明低温硝化菌在常温恢复后并没有失去活性,在重新面对低温冲击时能够更快地适应低温环境并去除氨氮,而投加中温富集菌的反应器并不具备这种能力。试验表明,在低温下富集的低温硝化污泥对比中温硝化污泥,在污水厂硝化系统的启动方面有着绝对的优势。

2.6 强化前后亚硝氮积累程度对比

强化重复试验亚硝氮去除效果表明,31 d 后低温强化组亚硝氮积累量显著降低,而中温强化组和对照组的亚硝氮积累量却随着装置的运行越来越多,这两组将去除的氨氮几乎全部转化为亚硝氮。常温恢复阶段低温强化组亚硝氮含量虽然有所波动但很快恢复正常,中温强化组和对照组在温度恢复后亚硝氮含量虽有所降低,但一直在 65 mg/L 左右波动,中温强化组虽然表现比对照组稍好,但硝化作用仍然不完全。低温冲击阶段三反应器都表现出较好的硝化效果,低温强化组一天后出水即恢复几乎 100% 的亚硝氮去除效果。而中温强化组和对照组在 19 d 后两反应器亚硝氮去除率均达到 99%。综上,低温硝化污泥对比中温硝化污泥在污水厂的低温强化方面不仅有更好的氨氮去除效果,还有着更好的亚硝氮去除效果。

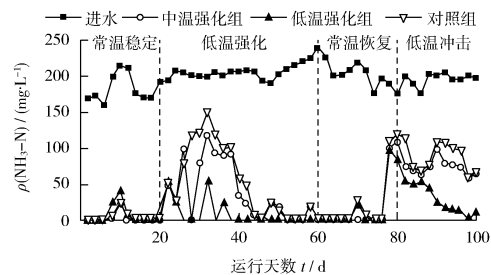


图 2 低温冲击强化过程中氨氮变化情况

Fig. 2 Variation of ammonia nitrogen concentration in low temperature impact strengthening process

3 结语

在第一次低温强化试验中,低温强化组比中温强化组和对照组分别早 15 d 和 21 d 将崩溃硝化系统出水氨氮恢复至一级 A 排放标准,实现了硝化

系统的快速启动,且亚硝氮积累程度较低,显示了低温富集硝化污泥强化污水厂生物处理系统硝化性能的可行性和工程应用前景。

低温对微生物的群落多样性影响较大,温度越低,多样性越低。由于低温强化组投加了之前富集的耐低温高硝化菌含量硝化污泥,故硝化菌在反应器内表现出良好的生长趋势,在对低温冲击恢复的效果上比其他两组更有优势。强化重复试验证明了第一次低温强化试验的准确性,并通过第二次低温冲击试验表明,反复低温冲击的硝化污泥投加,装置能够表现出更好的硝化强化效果。

在不同工艺的低温强化试验中,投加低温硝化污泥的填料强化组与悬浮污泥强化组均表现出了更好的硝化强化效果,说明低温硝化污泥不仅对低温下崩溃的不同处理工艺有着较好的启动效果,还能够适应农村生活污水这种成分复杂、COD浓度高的污水,处理效果显著。

[参考文献]

- [1] WANG H,JI G,BAI X. Enhanced long-term ammonium removal and its ranked contribution of microbial genes associated with nitrogen cycling in a lab-scale multimedia biofilter[J]. *Bioresource Technology*,2015,196:57-64.
- [2] 郑志周,李海燕. 水环境中多环芳烃的污染现状及研究进展[J]. *环境监测管理与技术*,2017,29(5):1-6.
- [3] 张占平. 水体中氨氮污染来源及其控制——富营养化的思考[J]. *内蒙古环境科学*,2008,20(5):71-72.
- [4] CHUAI X,CHEN X,YANG L,et al. Effects of climatic changes and anthropogenic activities on lake eutrophication in different ecoregions[J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*,2012,9(3):503-514.
- [5] KANNAN D,NEDUNCHEZHIAN S,MANI N. Physicochemical characteristics of groundwater from Kumbakonam Taluk of Thanjavur District-Tamilnadu (India) [J]. *International Letters of Chemistry Physics and Astronomy*,2015,59:1-9.
- [6] 刘香丽. 氨氮污染对生活用水的危害与对策[J]. *农家参谋*,2017(21):194.
- [7] 冯叶,杨立中,陈进斌,等. 废水生物脱氮低温硝化研究进展[J]. *水处理技术*,2014,40(3):5-10.
- [8] 刘洋,梁沪莲,刘意康,等. 低温海水硝化细菌富集培养过程及影响因素[J]. *河北渔业*,2017(12):1-5,17.
- [9] JIANG X,YUN H,TIAN Q,et al. Screening and application of nitrifying bacteria at low temperature [J]. *Energy Procedia*,2011,11:2681-2686.
- [10] 左金龙,崔福义,杨威,等. 膜生物反应器处理低温低浊水的工艺研究[J]. *环境科学*,2007,28(2):377-381.
- [11] 侯世全,水春雨,程学友. 生物法处理低温生活污水试验研究[J]. *安全卫生与环保*,2005,32(5):377-381.
- [12] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [13] 郝晓地,朱景义,曹秀芹,等. 硝化细菌 AOB 与 NOB 衰减速率实验测定[J]. *环境科学学报*,2008,28(12):2499-2502.
- [14] SHENG X,RUI L,SONG X,et al. Comparative study on microbial community in intermittently aerated sequencing batch reactors (SBR) and a traditional SBR treating digested piggery wastewater[J]. *中国环境科学与工程前沿:英文版*,2017,11(3):97-106.
- [15] ZHANG J,LV C,TONG J,et al. Optimization and microbial community analysis of anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge based on microwave pretreatment[J]. *Bioresource Technology*,2016,200(2):253-261.
- [16] 李亚斌,王海科,钱会,等. 宁夏彭阳水质监测断面的水质评价及预测[J]. *环境监测管理与技术*,2018,30(1):36-40.
- [17] 尹子华. 高活性硝化污泥的高效富集和生物强化效果研究[D]. 上海:上海师范大学,2016.
- [1] WANG H,JI G,BAI X. Enhanced long-term ammonium removal and its ranked contribution of microbial genes associated with nitrogen cycling in a lab-scale multimedia biofilter[J]. *Bioresource Technology*,2015,196:57-64.
- [2] 郑志周,李海燕. 水环境中多环芳烃的污染现状及研究进展[J]. *环境监测管理与技术*,2017,29(5):1-6.
- [3] 张占平. 水体中氨氮污染来源及其控制——富营养化的思考[J]. *内蒙古环境科学*,2008,20(5):71-72.
- [4] CHUAI X,CHEN X,YANG L,et al. Effects of climatic changes and anthropogenic activities on lake eutrophication in different ecoregions[J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*,2012,9(3):503-514.
- [4] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [5] ADRIAN O M,TERESA V,LU H,et al. The effect of pH on the competition between polyphosphate-accumulating organisms and glycogen-accumulating organisms[J]. *Water Research*,2005,39(15):3727-3737.
- [6] ADRIAN O,AARON M,SAUNDERS M T V, et al. Competition between polyphosphate and glycogen accumulating organisms in enhanced biological phosphorus removal systems with acetate and propionate as carbon sources [J]. *Journal of Biotechnology*,2006,123(1):22-32.
- [7] 吴昌永,彭永臻,彭轶,等. 碳源类型对 A²O 系统脱氮除磷的影响[J]. *环境科学*,2009,30(3):798-802.
- [8] 李洪静,陈银广,顾国维. 丙酸的加入对厌氧-低氧同时生物除磷脱氮系统的影响[J]. *环境科学*,2007,28(8):1681-1686.
- [9] 刘燕,陈银广,郑弘,等. 乙酸丙酸比例对富集聚磷菌生物除磷系统影响研究[J]. *环境科学学报*,2006(8):1278-1283.
- [10] 邱春生,聂海伦,孙力平,等. 不同碳源条件下聚磷菌代谢特性[J]. *环境工程学报*,2014,8(6):2191-2197.
- [11] 徐亚同. 不同碳源对生物反硝化的影响[J]. *环境科学*,1994,15(2):29-32,44.
- [12] 何嘉鹏. 多点进水 OAO 工艺模拟城镇生活污水处理的生物特性研究[D]. 郑州:郑州大学,2018.
- [13] SUN H H,WU Q,YU P,et al. Denitrification using excess activated sludge as carbon source:Performance and the microbial community dynamics [J]. *Bioresource technology*,2017,238:624-632.

本栏目编辑 吴珊

(上接第67页)