

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第4期

Vol.33 No.4

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

碳同位素比技术定量估算城市大气 CO₂ 的来源 刘卫, 位楠楠, 王广华, 姚剑, 曾友石, 范雪波, 耿彦红, 李燕 (1041)
广州大气降水中稳定同位素对 2008 年初华南地区冰雪灾害期间水汽来源的反映 廖聪云, 钟巍, 马巧红, 薛积彬, 尹焕玲, 龙昆 (1050)
北京雾霾天气期间气溶胶光学特性 于兴娜, 李新妹, 登增然登, 德庆央宗, 袁帅 (1057)
白马泉风景区夏季大气 PM_{2.5} 中二次有机物的初步研究 代东决, 李黎, 刘子芳, 赵敏, 冯加良, 赖玮, 曾燕梅, 周宇, 刘露云, 邓仕槐 (1063)
机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性 乔月珍, 王红丽, 黄成, 陈长虹, 苏雷燕, 周敏, 徐骅, 张钢锋, 陈宜然, 李莉, 陈明华, 黄海英 (1071)
法国梧桐叶片氮含量及氮同位素对城市大气湿沉降氮的响应研究 王燕丽, 肖化云, 肖红伟 (1080)
胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨 薛超, 刘春颖, 杨桂朋, 祝陈坚, 张洪海 (1086)
基于不确定性分析的太湖水体多环芳烃的生态风险评价 郭广慧, 吴丰昌, 何宏平, 冯承莲, 张瑞卿, 李会仙 (1091)
流域水质时空分布特征及其影响因素初析 黄金良, 黄亚玲, 李青生, 周增荣, 冯媛, 张祯宇 (1098)
潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究 崔经国, 单保庆, 王帅 (1108)
春季盘溪河水质日变化规律及水质评价 张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强 (1114)
西南喀斯特流域风化作用季节性变化研究 肖琼, 沈立成, 杨雷, 伍坤宇, 陈展图 (1122)
三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价 郭劲松, 谢丹, 李哲, 陈园, 孙志禹, 陈永柏, 龙曼 (1129)
淀山湖水华高发期浮游植物群落变化特征研究 徐春燕, 杨洁, 马明睿, 胡雪芹, 由文辉 (1136)
三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验 王建超, 朱波, 汪涛, 易礼军 (1144)
沂蒙山区典型小流域特殊降雨的磷素输出特征 李振炜, 于兴修, 刘前进, 井光花 (1152)
合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性 李如忠, 周爱佳, 童芳, 李峰, 钱家忠 (1159)
鹤地水库沉积物营养盐及重金属分布和污染特征分析 张华俊, 陈修康, 韩博平, 罗勇, 杨浩文, 曾艳, 陈敬安 (1167)
三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价 敖亮, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (1176)
黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价 刘志杰, 李培英, 张晓龙, 李萍, 朱龙海 (1182)
竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算 姜霞, 王雯雯, 王书航, 金相灿 (1189)
雷州近海、流沙湾和深圳湾沉积物 PAHs 污染特征分析 赵利容, 孙省利, 柯盛 (1198)
中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究 潘苏红, 张千, 孙亚莉, 解启来 (1204)
三江平原典型灌区井灌地下水中铁的随水迁移特征 邹元春, 于晓菲, 霍莉莉, 吕宪国, 姜明 (1209)
海水淡化水在既有管网输配的铁释放控制研究 田一梅, 刘扬, 赵鹏, 单金林, 杨所印, 刘伟 (1216)
新生态铁的混凝作用探索 杨雪, 张景成, 关小红 (1221)
饮用水中甲羟孕酮的臭氧氧化降解研究 岳婵媛, 缪恒锋, 任洪艳, 阮文权 (1227)
核壳式磁性碳纳米吸附剂的制备及其对水环境中金霉素的吸附研究 王懿萱, 张娣, 牛红云, 孟昭福, 蔡亚岐 (1234)
络合-超滤耦合工艺去除水中镍离子的研究 秦妹, 邵嘉慧, 何义亮, 李雯奎 (1241)
赤铁矿光助类 Fenton 降解有毒有机污染物 张钰, 顾彦, 杨慧, 何燕, 李瑞萍, 黄应平, 张爱清 (1247)
掺氮 Ta₂O₅ 诱发可见光-类 Fenton 体系降解阿特拉津研究 赵璐, 邓一荣, 杜瑛珣, 傅翔 (1252)
O₃/H₂O₂ 降解水中扑灭通效能研究 李绍峰, 孙楚 (1260)
Pr-N 共掺杂 TiO₂ 光电催化降解孔雀石绿动力学 沙爽, 周少奇, 张小娜, 周晓 (1267)
铜陵相思谷尾矿用于处理酸性矿山排水的实验研究 张楠, 陈天虎, 周跃飞, 黎少杰, 金杰, 王延明 (1272)
聚合铝铁对 A²/O 系统 EPS 及生物絮凝性能的影响 温沁雪, 刘爱翠, 陈志强, 施汉昌, 吕炳南 (1278)
温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响 张婷婷, 张建, 杨芳, 谢慧君, 胡振, 李一冉 (1283)
温度对厌氧氨氧化反应器脱氮效能稳定性的影响 李祥, 黄勇, 郑宇慧, 袁怡, 李大鹏, 潘杨, 张春蕾 (1288)
好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究 王硕, 于水利, 时文歆, 暴瑞玲, 衣雪松, 李建政 (1293)
除磷颗粒污泥系统中不同粒径颗粒的理化特性分析 李志华, 张玉蓉, 杨帆, 李胜, 姬晓琴 (1299)
利用氧化亚氮还原酶基因 (nosZ) 评价人工湿地系统中的反硝化菌 王晓君, 陈少华, 张兆基, 肖俊超 (1306)
紫外诱变法提高好氧反硝化菌降解性能的研究 于佳佳, 陈浚, 杨宣, 陈建孟 (1313)
1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究 陈哲, 张斌, 湛志强, 邱志刚, 郭迎庆, 李君文, 王景峰 (1318)
氨氮对稀有鮎鲫胚胎及卵黄囊期仔鱼的毒性效应研究 王志坚, 鲁增辉, 石萍 (1323)
多年蔬菜连作对土壤氨氧化微生物群落组成的影响 孟德龙, 杨扬, 伍延正, 吴敏娜, 秦红灵, 朱亦君, 魏文学 (1331)
生物炭施用对土壤中氯虫苯甲酰胺吸附及消解行为的影响 王廷廷, 余向阳, 沈燕, 张超兰, 刘贤进 (1339)
水稻光合同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究:¹⁴C连续标记法 聂三安, 周萍, 葛体达, 童成立, 肖和艾, 吴金水, 张杨珠 (1346)
油田污染土壤残留油组成与特征参数分析 王坚, 张旭, 李广贺 (1352)
挥发性氯代烃在湿润土壤中的平衡吸附研究 孟凡勇, 刘锐, 小林刚, 万梅, 余素林, 陈吕军 (1361)
田间土壤外源铜镍在小麦中的累积及其毒害研究 黄锦孙, 韦东普, 郭雪雁, 马义兵 (1369)
中国磷消费结构的变化特征及其对环境磷负荷的影响 马敦超, 胡山鹰, 陈定江, 李有润 (1376)
基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究 袁英, 席北斗, 何小松, 魏自民, 李鸣晓, 姜永海, 苏婧, 安达 (1383)
填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式 兰吉武, 詹良通, 李育超, 陈云敏 (1389)
生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化 方程冉, 龙於洋, 沈东升 (1397)
岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析 杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 曹建华, 罗为群, 李文军, 段晓芳 (1404)
《环境科学》征订启事(1062) 《环境科学》征稿简则(1107) 信息(1135, 1215, 1396)

温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响

张婷婷¹, 张建^{1*}, 杨芳², 谢慧君³, 胡振¹, 李一冉¹

(1. 山东大学环境科学与工程学院, 济南 250100; 2. 微山县环境保护局, 济宁 277600; 3. 山东大学环境研究院, 济南 250100)

摘要: 污水生物脱氮过程是大气中的氧化亚氮(N_2O)的一个重要来源. 以 anoxic-oxic sequencing batch reactors (A/O SBRs) 工艺为研究对象, 考察了 5 组不同温度(10、20、25、30、35℃)条件下系统的污染物去除效果和氧化亚氮释放情况. 结果表明, 温度对 COD 的去除无显著影响, 但对氮素的去除有明显影响: 在一定范围内, 随温度的升高氮的去除率升高, 但温度超过 25℃ 后, 随着温度的上升氮的去除效果下降; 温度对氧化亚氮的释放量有重要影响, 随温度的升高氧化亚氮的释放量逐渐降低 [释放量(以 MLSS 计)依次为: 530.1、260.8、218.3、104.7、57.7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$]. 对于 A/O SBRs 工艺, 氧化亚氮的释放主要集中在好氧段, 缺氧段几乎无氧化亚氮释放.

关键词: 温度; 氧化亚氮; 污水生物脱氮; 硝化反硝化; anoxic-oxic sequencing batch reactors (A/O SBRs)

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)04-1283-05

Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System

ZHANG Ting-ting¹, ZHANG Jian¹, YANG Fang², XIE Hui-jun³, HU Zhen¹, LI Yi-ran¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Shandong University, Ji'nan 250100, China; 2. Weishan Environmental Protection Agency, Jining 277600, China; 3. Environmental Research Center, Shandong University, Ji'nan 250100, China)

Abstract: Biological nitrogen removal system is a significant source of nitrous oxide (N_2O). The effect of temperature (10, 20, 25, 30, 35℃) on the pollutant removal efficiencies and N_2O emission characteristics of lab-scale A/O SBRs wastewater treatment process was evaluated. Results showed that temperature have no significant effect on the removal of COD while have a significant effect on the removal of nitrogen. During a certain range, as the temperature increasing the nitrogen removal rate increased. The nitrogen removal increased with the increase of temperature when it was below 25℃ and decreased with the increase of temperature when it was above 25℃. Significant impact of temperature on the N_2O emission was also observed. N_2O emission decreased with the increase of temperature (N_2O emission: 530.1, 260.8, 218.3, 104.7, 57.7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). For a lab-scale A/O SBRs treating wastewater, most of the N_2O was produced during the aerobic phase, while no significant N_2O emission can be detected during the oxide phase.

Key words: temperature; nitrous oxide; biological nitrogen removal; nitrification and denitrification; anoxic-oxic sequencing batch reactors (A/O SBRs)

近年来,随着我国工业化和城市化速度的加快,水体富营养化问题日渐突出,由此引发的一系列问题对人类活动造成了严重的影响^[1]. 为解决水体富营养化问题,污水生物脱氮技术得到广泛应用. 人们发现在生物脱氮过程中不仅排放氮气,还会产生氧化亚氮(N_2O). 已有研究表明, N_2O 是一种重要的温室气体,其温室效应能力是 CO_2 的 296 倍,并且其在大气中的停留时间可达 114 a^[2]. 另外,它还可以与同温层的氧原子反应生成 NO,破坏臭氧层. 随着生物脱氮技术的广泛应用,污水生物脱氮过程中 N_2O 的释放已不容忽视^[3].

除了 DO 浓度、C/N 和 pH 外,温度作为污水生物脱氮过程中的重要影响因素,对 N_2O 的释放也有

重要的影响^[4,5]. 但目前关于温度对生物脱氮过程中 N_2O 释放情况的研究较少,且基本集中在土壤化学领域^[6-9]. 我国北方城市一年四季温度变化大,导致污水处理厂处理效果不稳定,很大程度上影响了 N_2O 的释放. 因此,研究温度对污水生物脱氮过程中 N_2O 释放的影响具有较高的实际应用价值.

本研究以不同温度条件下的缺氧-好氧 SBR 反应器为对象,分析温度对污水生物脱氮系统中 N_2O

收稿日期: 2011-06-13; 修订日期: 2011-08-01

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07210-009-04); 山东大学自主创新基金杰青培育项目(2009JQ009)

作者简介: 张婷婷(1987~),女,硕士研究生,主要研究方向为污水生物处理过程中温室气体的产生和控制, E-mail: sd-lyzt@163.com

* 通讯联系人, E-mail: zhangjian00@sdu.edu.cn

释放情况的影响,同时考察了不同温度条件下 COD 去除效果和氮素转移的情况,初步探讨温度影响 N_2O 释放的作用机制。

1 材料与与方法

1.1 试验装置及参数设置

试验采用的 SBR 反应器装置如图 1 所示。反应器为有机玻璃制成,呈圆柱形,有效容积 15 L,排水比为 0.6。反应器的进出水由时间继电器,蠕动泵和电磁阀共同控制;在反应器底部装有粘沙块曝气头,通过转子流量计控制气体流量;通过电动搅拌机维持污泥悬浮及体系均匀。系统运行过程中,在好氧段末期排出部分污泥混合液,控制 MLSS 在 $3\ 200\ mg\cdot L^{-1}$ 左右。反应器中的溶解氧浓度控制在 $1.2\sim 1.3\ mg\cdot L^{-1}$ 。

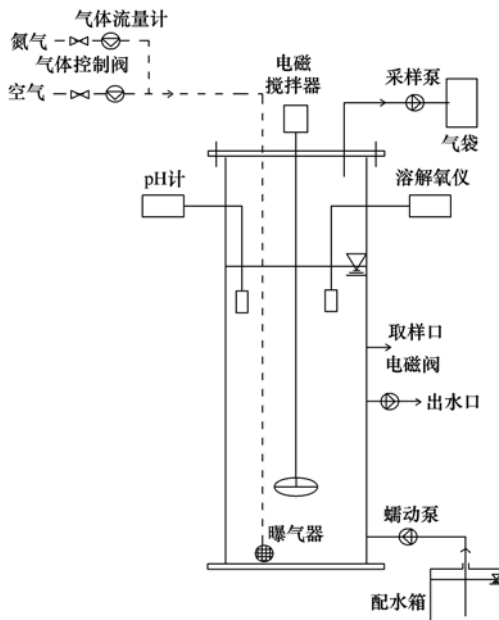


图 1 试验装置示意^[10]

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system

试验接种污泥来自济南光大水务水质净化二厂(山东,济南)的氧化沟曝气段。

本试验通过采用内置加热棒改变系统水温,控制 5 个温度梯度分别为:10、20、25、30、35℃。运行周期设定为 7 h:10 min 进水,1.5 h 缺氧反应,4.5 h 好氧反应,40 min 沉淀,10 min 出水。缺氧阶段通入氮气以控制 DO 为 $0\ mg\cdot L^{-1}$ 左右。

1.2 试验用水

试验采用人工配水,每周期进水 9 L。模拟废水 COD 浓度约为 $300\ mg\cdot L^{-1}$,氨氮浓度约为 $60\ mg\cdot L^{-1}$ 。配水方案如表 1 所示。

表 1 模拟废水组分表^[10]

Table 1 Content of synthetic wastewater

成分	用量 / $mg\cdot L^{-1}$	成分	用量 / $mg\cdot L^{-1}$
$C_6H_{12}O_6$	195	$K_2HPO_4\cdot 3H_2O$	18
$CH_3COONa\cdot 3H_2O$	195	$MgSO_4\cdot 7H_2O$	10
NH_4Cl	230	$FeSO_4\cdot 7H_2O$	10
$NaHCO_3$	200	$CaCl_2\cdot 2H_2O$	10
KH_2PO_4	11	微量元素 ¹⁾	$1\ mL\cdot L^{-1}$

1) 微量元素组分(每 L): $0.15\ g\ H_3BO_3$; $0.03\ g\ CuSO_4\cdot 5H_2O$; $0.18\ g\ KI$; $0.12\ g\ MnCl_2\cdot 4H_2O$; $0.06\ g\ Na_2MoO_4\cdot 2H_2O$; $0.12\ g\ ZnSO_4\cdot 7H_2O$; $0.15\ g\ CoCl_2\cdot 6H_2O$ 以及 $10\ g\ EDTA$

1.3 分析项目及测定方法

SBR 反应器整体密闭,间隔 15 min 取一次水样和气样。

1.3.1 DO、pH 及水质参数的测定

DO 使用溶解氧仪(HQ30d53LDO,美国)进行测定; pH 使用 pH 计(PHS-3C,中国)测定。

COD、氨氮、亚硝氮、硝氮、总氮、MLSS 的测定均按照文献[11]。

1.3.2 N_2O 的收集与测定方法

在密闭的 SBR 反应器的上部装有采样泵见图 1,通过气袋收集 N_2O 气体,采集的样品在 24 h 内进行分析。

气态氧化亚氮采用 GC-ECD(SP-3410)进行测定。所采用的色谱柱为 Poropak Q 柱,色谱条件为:进样口温度为 $50\ ^\circ C$,柱温为 $50\ ^\circ C$,检测器温度为 $390\ ^\circ C$ [12]。

2 结果与讨论

2.1 温度对系统污染物去除效果的影响

图 2 为不同温度条件下运行的反应器的 COD、

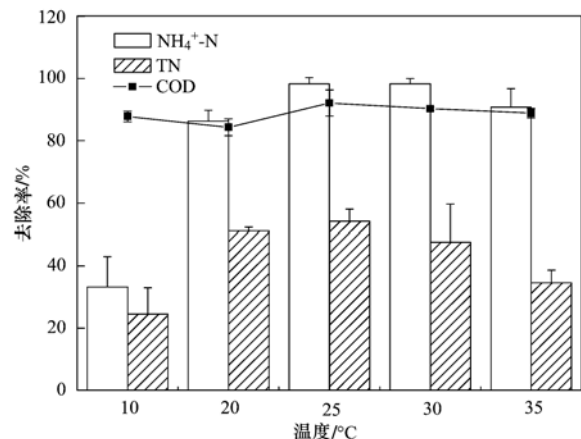


图 2 不同温度下 A/O SBRs 反应器的污染物去除效果

Fig. 2 Pollutant removal performances of the A/O SBRs under different temperature

NH_4^+ -N 和 TN 的去除情况.

2.1.1 温度对 COD 去除的影响

从图 2 可以看出温度对 COD 去除效果影响不大. 在所有温度条件下, COD 去除率均可达 85% 以上, 这是因为 COD 降解主要由异养微生物完成, 这类微生物种类丰富且在较宽的温度范围内具有活性. 出水 COD 浓度均在 $30 \sim 40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

2.1.2 温度对氮素去除的影响

由图 2 可知温度对氨氮和总氮的去除有显著影响. 当温度分别为 10、20、25、30 和 35℃ 时, 氨氮去除率分别为 33.2%、86.4%、98.3%、98.3% 和 90.8%, 总氮去除率分别为 24.6%、51.2%、54.2%、47.6% 和 44.6%. 由此可见, 在一定范围内, 随着温度的升高氮的去除效果是升高的, 但温度超过 25℃ 后, 随着温度的上升, 氮的去除效果下降.

图 3 为不同温度下典型周期内氨氮浓度的变化, 在缺氧段, 氨氮浓度基本维持不变. 由于上周期残留液中剩余氨氮浓度的差异导致不同温度下缺氧段氨氮浓度的不同. 图 4 为不同温度下典型周期内氨氧化速率, 如图所示进入好氧段后温度对氨氮氧化速率(单位微生物量单位时间内氧化氨氮的量)具有显著的影响, 这是由于当温度为 25℃ 时, 处于硝化细菌和反硝化细菌的最适生长温度范围, 氨氮氧化速率和硝氮生成速率最大^[13]. 当温度低于 20℃ 或高于 35℃ 时, 氨氮降解速度较慢导致这些温度下系统的氨氮去除率较低.

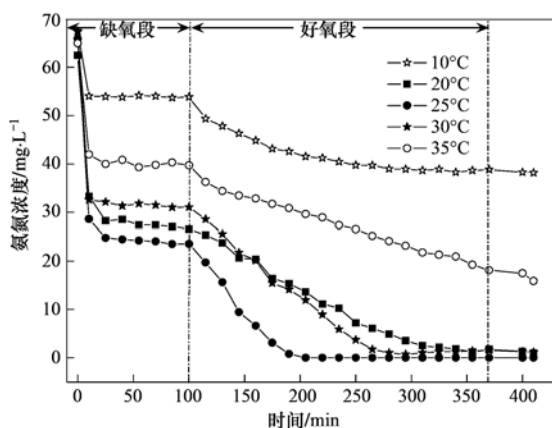


图 3 不同温度下典型周期内氨氮浓度的变化

Fig. 3 Time profiles of NH_4^+ -N concentration in a typical cycle of A/O SBRs under different temperature

2.2 温度对典型周期内硝化反硝化过程的影响

图 5 为不同温度下典型周期内硝氮、亚硝氮、DO 浓度和 pH 变化.

因为上周期残留的硝氮导致进水硝氮瞬时升高

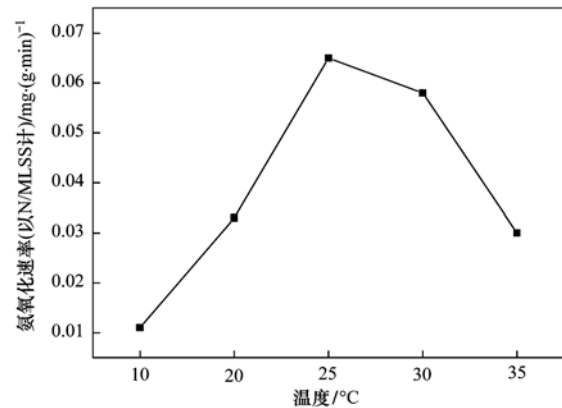


图 4 不同温度下典型周期内氨氧化速率

Fig. 4 Rate of NH_4^+ -N oxidation in a typical cycle of A/O SBRs under different temperature

如图 5(a) 所示, 随后在缺氧段硝氮发生反硝化反应, 硝氮降为零. 好氧曝气开始后, 随着硝化反应的进行, 硝氮逐渐积累, 与图 3 的氨氮变化趋势相反. DO 浓度在好氧段由于没有氧气的供给, 维持在零, 进入好氧段曝气开始后, DO 浓度快速上升达到一个相对稳定的浓度平台直至好氧硝化反应结束. 随后, 溶解氧进一步上升达到饱和溶解氧状态. 见图 5(c), 当温度为 10℃ 时 DO 浓度平台最高且持续时间最长, 这是因为当温度在 10℃ 时硝化速率最慢且此温度下氨氧化速率只有 $0.011 \text{ mg} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$, 直至好氧段结束仍有较大量的氨氮剩余. 当温度为 25℃ 时, 硝氮在 190 min 附近停止积累, DO 浓度平台也在 190 min 左右结束, 因此 DO 浓度和硝化反应有良好的相关性. 当温度为 35℃ 时, DO 浓度维持在 $2 \sim 3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 且硝氮积累较为缓慢, 这可能是由于高温下, 硝化细菌受到抑制导致硝化反应速率降低. 基于硝化反应和 DO 浓度之间良好的相关性, 现在已有研究采用 DO 在线检测作为 SBR 的污水处理过程的终点控制参数^[14].

在缺氧段和好氧段均出现明显的亚硝氮积累如图 5(b), 推测可能是由于温度对不同的酶活性不同造成, 在特定温度下温度对亚硝氮氧化/还原酶的影响大于对亚硝氮生成酶的影响. 见图 5(d), 在不同温度下 pH 维持在 6.5 ~ 7.5 之间, 适宜硝化菌和反硝化菌的生长. 当温度为 25℃ 时出现“谷峰”, 这是因为此温度下的硝化速率最快, 硝化反应耗碱导致 pH 快速下降.

2.3 温度对 N_2O 释放的影响

不同温度下典型周期内溶解态 N_2O 浓度和 N_2O 释放速率的变化情况见图 6.

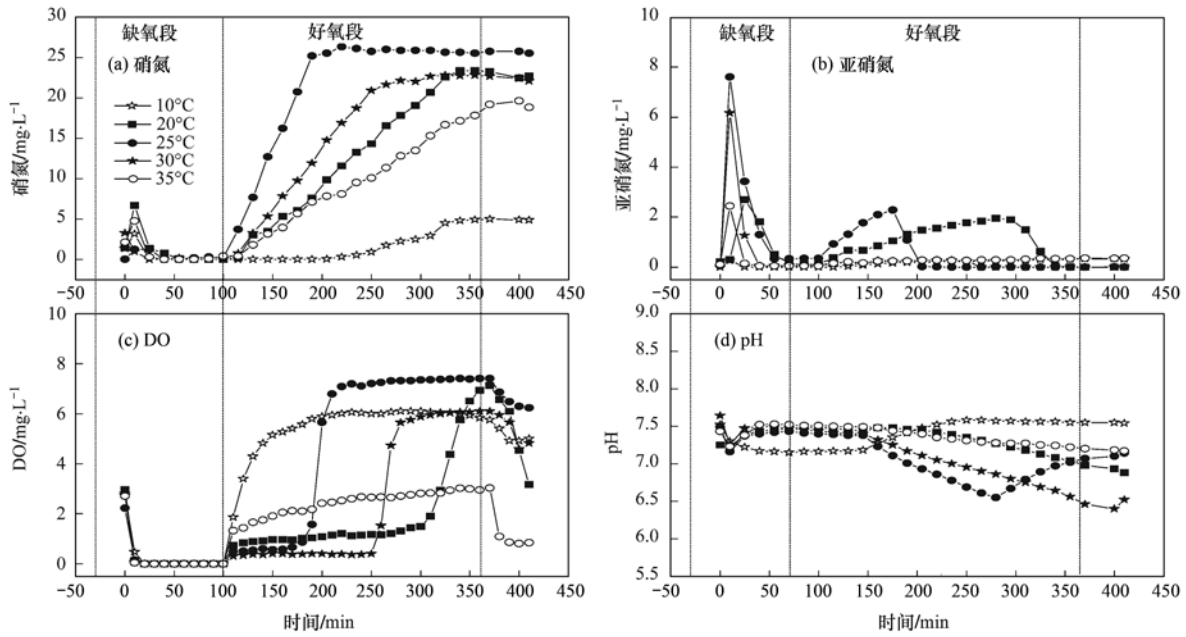


图 5 不同温度下典型周期内硝氮、亚硝氮、DO 浓度和 pH 变化

Fig. 5 Time profiles of ammonia, nitrate, nitrite, DO concentration and pH in a typical cycle of A/O SBRs under different temperature

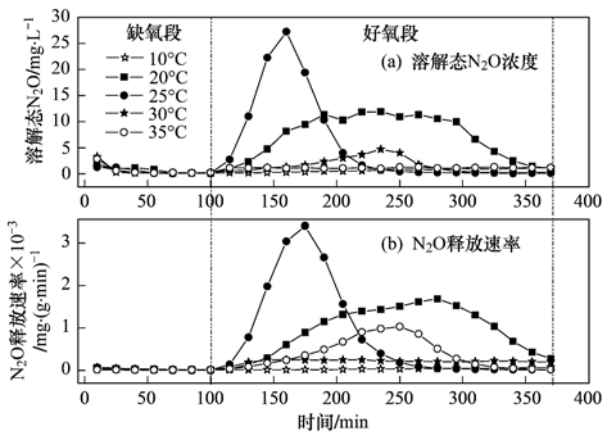


图 6 不同温度下典型周期内溶解态 N₂O 浓度和 N₂O 释放速率的变化情况

Fig. 6 Time profile of dissolved N₂O concentration and N₂O emission rate through a typical cycle of SBR under different temperature

由图 6(b)可知, N₂O 的释放集中在好氧段, 缺氧段释放不明显. 在好氧段, 当温度为 10°C 和 35°C 时无明显的 N₂O 释放, 这可能是由于这 2 个温度条件超出了硝化细菌和反硝化细菌的适宜温度范围, 硝化反应和反硝化反应均受到抑制. 由图 2 也可得知, 当温度为 10°C 和 35°C 时, 氮的去除效果不好. 进入好氧段, 曝气开始后, N₂O 释放速率迅速上升. N₂O 释放速率峰值出现的时间与氨氧化反应速率有关. 氨氧化速率快, N₂O 峰值出现的早. 当温度为

20、25 和 35°C 时, 系统氨氧化速率(以 N/MLSS 计)分别为 0.033、0.065 和 0.058 mg·(g·min)⁻¹, 如图 4, 其 N₂O 峰值出现的时间分别为 280、175 和 250 min. N₂O 释放速率的最大值出现在温度为 25°C 时, 为 3.39 μg·(g·min)⁻¹. 但是, 温度为 20°C 时 N₂O 释放的持续时间长于温度为 25°C 时. 此外, 采用 SPSS 13.0 对不同温度下 N₂O 的释放速率与溶解态 N₂O 浓度进行相关性分析, 发现在所有温度下二者均存在显著正相关 ($P < 0.01$). 这表明系统中反应生成的 N₂O 可以及时被气体从混合液中吹脱出来, 周期内 N₂O 释放速率的变化可以代表周期内 N₂O 的产生情况.

表 2 为不同温度下单位污泥周期内 N₂O 释放量. 温度为 10°C 时, 因为硝化反应和反硝化反应受低温抑制, 基本无 N₂O 的释放. 当温度高于 15°C 随着温度的升高, N₂O 的释放量降低. 这是由于温度对硝化反应和反硝化反应的整个过程都有重要影响. 低温对氧化亚氮还原酶的影响比对氧化亚氮生成酶(硝氮、亚硝氮和一氧化氮还原酶)的影响要大^[15]. 温度降低, N₂O 还原酶和 N₂O 生成酶的活性均受到

表 2 不同温度下单位污泥周期内 N₂O 释放量

Table 2 N₂O emission quantities per cycle of SBR under different temperature

温度/°C	15	20	25	30	35
N ₂ O 释放量/μg·g ⁻¹	530.1	260.8	218.3	104.7	57.5

抑制,但是前者受抑制的程度要大,从而造成低温下系统内 N_2O 的大量累积[图 5(a)],导致大量 N_2O 被吹脱出系统,造成 N_2O 的释放。

3 结论

(1)温度对 COD 的去除无显著影响,但对氮素的去除有明显影响. 在温度为 $25^{\circ}C$ 时氨氮去除率可达 98.3%,而在温度为 $10^{\circ}C$ 时去除率仅有 33%。

(2)温度对 N_2O 的释放具有重要影响. N_2O 的释放集中在好氧段,缺氧段释放不明显. 随着温度的升高, N_2O 的释放量降低. 这是由于温度对硝化反应和反硝化反应的整个过程都有重要影响。

(3)在温度为 $25^{\circ}C$ 时可达到相对高去除率和低 N_2O 的释放量. COD 去除率可达 92.16%,总氮去除可达 54.17%,单位污泥周期内 N_2O 的释放量为 $218.3 \mu g \cdot g^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] 孙扬平. 生物脱氮新技术在低碳氮比废水中的应用 [J]. 环境科学与管理, 2007, **32**(6): 411-413.
- [2] Manne A S, Richard R G. An alternative approach to establishing trade-offs among greenhouse gases [J]. Nature, 2001, **410**(6829): 675-677.
- [3] Avrahami S, Conrad R, Braker G. Effect of soil ammonium concentration on N_2O release and on the community structure of ammonia oxidizers and denitrifiers [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, **68**(11): 5685-5692.
- [4] Hanaki K, Hong Z, Matsuo T. Production of nitrous oxide gas during denitrification of wastewater [J]. Water Science and Technology, 1992, **26**(5-6): 1027-1036.
- [5] Schulthless R V, Kühni M, Gujer W. Release of nitric and nitrous oxides from denitrifying activated sludge [J]. Water Research, 1995, **29**(1): 215-226.
- [6] 孙剑辉, 魏瑞霞. 缺氧/好氧 SBR 工艺去除亚铵法造纸废水中的氮 [J]. 环境科学, 2001, **22**(4): 117-119.
- [7] 焦燕, 黄耀, 宗良纲, 等. 氮肥水平对不同土壤 N_2O 排放的影响 [J]. 环境科学, 2008, **29**(8): 2094-2098.
- [8] 刘晔, 牟玉静, 钟晋贤, 等. 氧化亚氮在森林和草原中的地-气交换 [J]. 环境科学, 1997, **18**(5): 15-18.
- [9] 王重阳, 郑靖, 顾江新, 等. 下辽河平原几种旱作农田 N_2O 排放通量及相关影响因素的研究 [J]. 农业环境科学学报, 2006, **25**(3): 657-663.
- [10] Hu Z, Zhang J, Li S P, *et al.* Effect of aeration rate on the emission of N_2O in anoxic-aerobic sequencing batch reactors (A/O SBRs) [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2010, **109**(5): 487-491.
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 200-284.
- [12] Wu J, Zhang J, Jia W L, *et al.* Impact of COD/N ratio on nitrous oxide emission from microcosm wetlands and their performance in removing nitrogen from wastewater [J]. Bioresource Technology, 2009, **100**(12): 2910-2917.
- [13] 李军, 杨秀山, 彭永臻. 微生物与水处理工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002. 68-132.
- [14] 李探微, 王亚宜, 彭永臻, 等. SBR 中 DO 的变化及其作为污水处理控制参数的研究 [J]. 浙江工业大学学报, 2001, **29**(2): 95-98.
- [15] Holtan-Hartwig L, Dösch P, Bakken L R. Low temperature control of soil denitrifying communities: kinetics of N_2O production and reduction [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, **34**(11): 1797-1806.

CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO ₂ by Carbon Isotope Composition	LIU Wei, WEI Nan-nan, WANG Guang-hua, <i>et al.</i> (1041)
Moisture Sources of Guangzhou During the Freezing Disaster Period in 2008 Indicated by the Stable Isotopes of Precipitation	LIAO Cong-yun, ZHONG Wei, MA Qiao-hong, <i>et al.</i> (1050)
Optical Properties of Aerosol During Haze-Fog Episodes in Beijing	YU Xing-na, LI Xin-mei, DENG Zen-grandeng, <i>et al.</i> (1057)
Secondary Organic Tracers in Summer PM _{2.5} Aerosols from Baima Spring Scenic Area, Yaan, Sichuan Province	DAI Dong-jue, LI Li, LIU Zi-fang, <i>et al.</i> (1063)
Source Profile and Chemical Reactivity of Volatile Organic Compounds from Vehicle Exhaust	QIAO Yue-zhen, WANG Hong-li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1071)
<i>Platanus orientalis</i> Foliar N% and δ ¹⁵ N Responses to Nitrogen of Atmospheric Wet Deposition in Urban Area	WANG Yan-li, XIAO Hua-yun, XIAO Hong-wei (1080)
Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters	XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (1086)
Uncertainty Characterization Approaches for Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Taihu Lake	GUO Guang-hui, WU Feng-chang, HE Hong-ping, <i>et al.</i> (1091)
Preliminary Analysis of Spatiotemporal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in the Jiulong River Watershed	HUANG Jin-liang, HUANG Ya-ling, LI Qing-sheng, <i>et al.</i> (1098)
Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River CUI Jing-guo, SHAN Bao-qing, WANG Shuai (1108)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality of Panxi River in Spring	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (1114)
Weathering Seasonal Variations in Karst Valley in Southwest China	XIAO Qiong, SHEN Li-cheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (1122)
Algal Community Structure and Water Quality Assessment on Drawdown Area of Kaixian Waters in Three Gorges Reservoir During Winter Storage Period GUO Jing-song, XIE Dan, LI Zhe, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics of Phytoplankton Community Changes in Dianshan Lake During Peak Period of Algal Blooms	XU Chun-yan, YANG Jie, MA Ming-rui, <i>et al.</i> (1136)
Nitrogen and Phosphorus Release from Herbaceous Vegetation Under Simulated Inundation Experiment of Water-Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area WANG Jian-chao, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (1144)
Output Characteristics of Non-point Phosphorus from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area Under the Special Rainfall	LI Zhen-wei, YU Xing-xiu, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (1152)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Urban Dusts from Hefei City	LI Ru-zhong, ZHOU Ai-jia, TONG Fang, <i>et al.</i> (1159)
Distribution and Pollution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Hedi Reservoir	ZHANG Hua-jun, CHEN Xiu-kang, HAN Bo-ping, <i>et al.</i> (1167)
Heavy Metals Distribution and Risk Assessment of Sediments in the Riverine Wetland of Sanmenxia Reservoir	AO Liang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1176)
Regional Distribution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in Surface Sediments from Coastal Wetlands of the Yellow River Delta LIU Zhi-jie, LI Pei-ying, ZHANG Xiao-long, <i>et al.</i> (1182)
Calculation of Environmental Dredging Depth of Heavy Metal Polluted Sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake	JIANG Xia, WANG Wen-wen, WANG Shu-hang, <i>et al.</i> (1189)
Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay	ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng (1198)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India	PAN Su-hong, ZHANG Gan, SUN Ya-li, <i>et al.</i> (1204)
Waterborne Iron Migration by Groundwater Irrigation Pumping in a Typical Irrigation District of Sanjiang Plain	ZOU Yuan-chun, YU Xiao-fei, HUO Li-li, <i>et al.</i> (1209)
Research on Controlling Iron Release of Desalted Water Transmitted in Existing Water Distribution System	TIAN Yi-mei, LIU Yang, ZHAO Peng, <i>et al.</i> (1216)
Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant	YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong (1221)
Degradation of Medroxyprogesterone in Drinking Water by Ozone Oxidation	YUE Chan-yuan, MIAO Heng-feng, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (1227)
Synthesis of Core/Shell Structured Magnetic Carbon Nanoparticles and Its Adsorption Ability to Chlortetracycline in Aquatic Environment WANG Yi-xuan, ZHANG Di, NIU Hong-yun, <i>et al.</i> (1234)
Removal of Nickel from Aqueous Solutions Using Complexation-Ultrafiltration Process	QIN Shu, SHAO Jia-hui, HE Yi-liang, <i>et al.</i> (1241)
Degradation of Organic Pollutants by Photo-Fenton-Like System with Hematite	ZHANG Yu, GU Yan, YANG Hui, <i>et al.</i> (1247)
Study on the Degradation of Atrazine in Photo-Fenton-Like System Under Visible Light Irradiation Promoted by N-doped Ta ₂ O ₅	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O ₃ /H ₂ O ₂	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO ₂ Photocatalyst	SHA Shuang, ZHOU Shao-qi, ZHANG Xiao-na, <i>et al.</i> (1267)
Experimental Study on Acid Mine Drainage Treatment Using Mine Tailings of Xiangsi Valley, Tongling, China	ZHANG Nan, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (1272)
Effect of Polymeric Aluminum-iron on EPS and Bio-flocculation in A ² /O System	WEN Qin-xue, LIU Ai-cui, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System	ZHANG Ting-ting, ZHANG Jian, YANG Fang, <i>et al.</i> (1283)
Effect of Temperature on Stability of Nitrogen Removal in the ANAMMOX Reactor	LI Xiang, HUANG Yong, ZHENG Yu-hui, <i>et al.</i> (1288)
Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment	WANG Shuo, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1293)
Physicochemical Characteristics of Granules with Different Size in a Granular Sludge System for Phosphorus Removal	LI Zhi-hua, ZHANG Yu-rong, YANG Fan, <i>et al.</i> (1299)
Denitrifying Bacteria of Constructed Wetland System Based on Nitrous Oxide Reductase Gene (<i>nosZ</i>)	WANG Xiao-jun, CHEN Shao-hua, ZHANG Zhao-ji, <i>et al.</i> (1306)
Improving Degradation Ability of an Aerobic Denitrifier by Ultraviolet Mutagenesis	YU Jia-jia, CHEN Jun, YANG Xuan, <i>et al.</i> (1313)
Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain	CHEN Zhe, ZHANG Bin, SEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1318)
Study on Toxic Effects of Ammonia on Embryonic and Yolk-sac Stage Larvae of Rare minnow WANG Zhi-jian, LU Zeng-hui, SHI Ping (1323)
Effects of Continuous Cropping of Vegetables on Ammonia Oxidizers Community Structure	MENG De-long, YANG Yang, WU Yan-zheng, <i>et al.</i> (1331)
Impact of Biochar Amendment on the Sorption and Dissipation of Chlorantraniliprole in Soils	WANG Ting-ting, YU Xiang-yang, SHEN Yan, <i>et al.</i> (1339)
Quantifying Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Photo-assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	NIE San-an, ZHOU Ping, GE Ti-da, <i>et al.</i> (1346)
Compositions and Diagnostic Ratios of Heavily Degraded Crude Oil Residues in Contaminated Soil in Oilfields	WANG Jian, ZHANG Xu, LI Guang-he (1352)
Study on Equilibrium Adsorption of Volatile Chlorinated Hydrocarbons on Humid Soils	MENG Fan-yong, LIU Rui, Kobayashi Takeshi, <i>et al.</i> (1361)
Toxicity and Accumulation of Copper and Nickel in Wheat Plants Cropped on Alkaline and Acidic Field Soils	HUANG Jin-sun, WEI Dong-pu, GUO Xue-yan, <i>et al.</i> (1369)
Change Traits of Phosphorous Consumption Structure in China and Their Effects on Environmental Phosphorous Loads	MA Dun-chao, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, <i>et al.</i> (1376)
Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste	YUAN Ying, XI Bei-dou, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (1383)
Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation	LAN Ji-wu, ZHAN Liang-tong, LI Yu-chao, <i>et al.</i> (1389)
Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill	FANG Cheng-ran, LONG Yu-yang, SHEN Dong-sheng (1397)
Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area	YANG Qi-yong, JIANG Zhong-cheng, MA Zu-lu, <i>et al.</i> (1404)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年4月15日 33卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 4 Apr. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码: 100085) 电话: 010-62941102, 010-62849343 传真: 010-62849343 E-mail: hjkx@ceees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ceees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码: 100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话: 010-64017032 E-mail: journal@mail.sciencep.com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@mail.sciencep.com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人