



全国中文核心期刊
中国科技核心期刊

环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第7卷 第4期

Vol.7 No.4

中国科学院 主办
生态环境研究中心
科学出版社 出版

4
2013

目 次

水 污 染 防 治

SBR 单级自养脱氮系统氮素转化途径	吕永涛	王 磊	孙 婷	王旭东	王志盈(1201)
基于 SIMULINK 的硝化反应动力学模型的仿真	罗飞杭	杨朝晖	卢 慧	罗远玲	战 琪(1206)
不同来源高浓度有机废水的集中处理	张伟军	高 雅	马士龙	张 明	王东升 徐岳阳(1213)
纯种氢氧化菌短程反硝化特性	周 莉	李正魁	王易超	范念文	(1219)
常温 CSTR 部分亚硝化影响因素及工况优化研究	仲 航	李 冬	吴 迪	曾涛涛	刘丽倩 苏东霞 张 杰(1225)
温度和污泥浓度对碱性条件下剩余污泥水解酸化的影响	苏高强	王淑莹	郑冰玉	彭永臻	(1231)
双向旋流污水净化器处理溢流污水	臧宝凤	黄勇强	徐明力	史 凯	朱 艳(1237)
铁碳布空气阴极微生物燃料电池的产电性能	唐玉兰	何亚婷	于鹏飞	孙 红	于 燕 彭 漫(1241)
十溴联苯醚共存条件下水中 Zn(II) 的生物吸附	白洁琼	尹 华	叶锦韶	彭 辉	叶 芊 何宝燕 李跃鹏 张 娜 彭素芬(1245)
微波辅助疏水膜的清洗	尹子飞	王 军	纪仲光	侯得印	(1251)
厌氧反应器废水资源化过程在线监测系统	王顺利	尚丽平	李占锋	邓 琥	刘先勇(1256)
不同因素对人工湿地基质脱氮除磷效果的影响	陈丽丽	赵同科	张成军	李 鹏	李新荣 董若征(1261)
新型化粪池处理生活污水启动阶段的实验	陈志强	关华滨			(1267)
pH 值对“Fe ⁰ -厌氧微生物”体系去除 2,4,6-三氯酚过程的影响	吴金钢	戴友芝	郭丽丽	汪桂芝	李小娜(1273)
二氧化钛颗粒制备及其对水中三价砷的去除	谢冬梅	曹林洪	崔金立		(1279)
氨基化凹凸土对水中焦化没食子酸的吸附	王春香	张 艳	薛爱莲	周守勇	赵宜江 陈智栋(1285)
吸附氧化/纳滤/吸附组合工艺处理丙烯腈工业废水	李 薇	展 侠	李继定	郑冬菊	(1290)
不同水生植物去除水体氮磷的效果	何 娜	孙占祥	张玉龙	刘鸣达	(1295)
增溶剂停留时间及对水质和浮游植物影响分析	李 岩	张饮江	刘晓培	吴 昊	张乐婷 段 婷 黎 臻 张曼曼(1301)
温度对亚硝化及氧化亚氮释放的影响	郭 宁	张 建	孔 强	苗明升	田 琳(1308)
超滤膜深度处理染整废水的膜污染机理	付乐乐	李 方	吴 亮	王 歌	(1313)
混凝沉淀去除丙烯酸丁酯废水浊度物质	谷小凤	宋玉栋	周岳溪	马力强	李 军 王 俊(1319)
连片生态浮床对微污染河水的净化效果	段金程	张毅敏	张红卫	高月香	晁建颖(1324)
循环式活性污泥工艺协同处理榨菜废水与城镇污水脱氮效果	何 强	丁文静	司马卫平		(1331)
微孔曝气变速氧化沟循环特性的中试研究	杨亚红	彭党聪	李 磊	郑阳光	韩 芸(1336)
不同类型潜流湿地处理养猪废水的对比	李鹏宇	王 振	袁林江	董 健	刘 琳 朱葛夫 刘超翔(1341)
粉煤灰制备混凝剂及其对黄河水的处理效果	李玉梅	陈莉荣	杜明展		(1346)
利用沉水植物生长期收割进行富营养化水体生态管理的实地研究	姜义帅	陈 灏	马作敏	李 静	(1351)
浊度仪法快速测定水体中硫酸盐含量	薛秀玲	李孟迪			(1359)
MBR 净化受污染地表水的自然启动及稳定运行除污染特性	杨 威	赵秋静	韩正双	李 凯	梁 恒 李圭白(1363)
RBF 与 Elman 神经网络在人工湿地复合基质去污效果预测中的应用	梁启斌	刘云根	田 昆	王万宾	(1368)
稳定表流湿地中污泥的形成及除污效果	张龙飞	王成端	王志帅		(1373)
新型多功能螯合树脂的合成及对水中 Cd(II) 离子的吸附特征	王佳佳	马慧敏	张田林		(1378)
多孔镁铝复合氧化物对水溶液中 Cr(VI) 的吸附性能	王秀娟	王海增			(1383)
啤酒废水常温厌氧消化启动及运行实验	林长松	徐龙飞	谈林友		(1389)
硫化物沉淀法处理含铅废水	何绪文	胡建龙	李静文	张晶晶	王建兵 葛 鹏(1394)
无机陶瓷膜处理油田采出水	丁 慧	彭兆洋	李 毅	温沁雪	陈志强(1399)
减压蒸馏耦合微电解处理六硝基萘二段洗水	车 冉	郝 志	叶正芳		(1405)
水解-复合生物滤池工艺处理盐化工工业废水	管 硕	张鸿涛	吴春旭	程林波	宁 涛(1411)

响应面法优化聚丙烯酸/腐殖酸/累托石吸附剂的制备条件	陈芳艳	叶伟	孙怡涵	贾丽萍	唐玉斌(1417)		
生物制剂法治理藻类水华	周晓云	黄瑞敏	刘欣	文淦斌(1425)			
不同流量分配比对多级 A/O 工艺去除有机物及脱氮的影响							
.....	王敏	张智	陈杰云	范功端	金可	梁鹏	胡玲(1430)
光催化氧化-Fenton 组合方法降解高浓度正丙醇废水	曾惠明	程慎玉	沈晓莉	马欢林(1435)			
纳滤膜在垃圾渗滤液深度处理中应用	宁桂兴	张忻	王凯	姜安平	汪桂林(1440)		

大气污染防治

Fenton 试剂法降解餐厨垃圾异味	狄彦强	刘杰民	刘思园	颜鲁春	冯振华(1445)		
特殊植物类群空气凤梨对大气污染物甲醛的净化	李俊霖	李鹏	王恒蓉	郑桂灵(1451)			
天津市纪庄子污水处理厂恶臭气体排放研究	王钊	王秀艳	高爽	白志鹏(1459)			
碳纳米管/二氧化钛/壳聚糖催化薄膜光催化活性及苯降解机理	曾丽萍	张泉	张国强(1465)				
不锈钢烧结纤维毡外加粉体助剂过滤烟尘微粒	包力	杨国华	李邯鹏	王炳辉	杜珂	黄三(1472)	
西安市冬、夏两季 PM _{2.5} 中碳气溶胶的污染特征分析	张承中	丁超	周变红	陶李	刘立忠(1477)		

固体废物处置

一株氧化亚铁硫杆菌的分离及其浸出废旧线路板中铜的效果	张婷	朱能武	许治国	石超宏(1482)						
玉米秸与鸡粪混合厌氧消化产气性能与协同作用	冯亚君	袁海荣	张良	李超	高健	李秀金(1489)				
不同存放时间太湖蓝藻产沼气潜力					赵明星	阮文权(1495)				
磁化焙烧-磁选法回收循环流化床固硫灰中铁	巫侯琴	李军	卢忠远	徐龙华	管波	韦燕飞(1500)				
掺固硫灰 AC-13 型沥青混合料配合比设计	侯莉	赵智	卢忠远	宋丽贤	彭洪	陈培军	李军(1505)			
鸡毛不溶解蛋白海绵膜的制备与表征	庄媛	吴小倩	曹张军	赵晓祥	周美华(1510)					
利用废弃物衍生燃料的热化学处理法制富含氢气合成气						吴畏(1515)				
两相厌氧消化工艺处理鸡粪	倪哲	潘朝智	牛冬杰	陈玲(1522)						
添加氮损失抑制剂对蓝藻泥堆肥质量的影响	任云	崔春红	刘奋武	占新华	周立祥(1527)					
臭氧氧化法深度处理生活垃圾焚烧厂沥滤液			穆永杰	叶杰旭	孙德智(1535)					
液晶显示器玻璃基板回收工艺			孙媛媛	李龙珠	唐惠东(1541)					
废旧线路板真空热解油合成热固性酚醛树脂										
.....	朱灶	蔡思涵	孙水裕	刘敬勇	张荣学	徐东军	钟胜	杨帆	李神勇	许婷婷(1545)

土壤污染防治

均匀电场下多环芳烃在土壤中的迁移	王翠苹	许伟	孙红文(1550)				
堆肥污泥重金属在黄土中的淋滤特征	马可婧	张明泉	蔡圃(1557)				
Fenton 氧化技术处理稠油污染土壤	刘其友	李琳	张云波	赵东风	赵朝成(1563)		
汞、铅、铬污染土壤的微生物修复	李梦杰	王翠玲	李荣春	洪俊彦	严亮	刘丽	庄立(1568)
生物强化修复石油污染土壤			张秀霞	滕芝	吴佳东(1573)		
石油烃对翅碱蓬生理特性的影响及植物-微生物联合降解			高乃媛	刘宪斌	赵兴茹(1578)		

噪声污染防治

高速列车纵向对称面气动噪声计算及外形优化					肖友刚	张平(1583)	
----------------------------	--	--	--	--	-----	----------	--

环境生物技术

润滑油高效降解菌的筛选及降解性能	郭晓燕	张志红	沈齐英	李翠清(1589)			
------------------------	-----	-----	-----	-----------	--	--	--

相关研究

侧入式搅拌槽中多相流场特性的数值模拟	张林进	陈功国	柏杨	叶旭初(1594)			
--------------------------	-----	-----	----	-----------	--	--	--

CONTENTS

Nitrogen conversion pathway of autotrophic nitrogen removal process in single SBR	Lü Yongtao Wang Lei Sun Ting Wang Xudong Wang Zhiying(1201)
Stimulation based on SIMULINK for nitrification reaction kinetics model	Luo Feihang Yang Zhaohui Lu Hui Luo Yuanling Zhan Qi(1206)
Central treatment of wastewater with high organic content from different industrial sources	Zhang Weijun Gao Ya Ma Shilong Zhang Ming Wang Dongsheng Xu Yueyang(1213)
Shortcut denitrification characterization of immobilized AOB	Zhou Li Li Zhengkui Wang Yichao Fan Nianwen(1219)
Research on influencing factors and operation optimization for CSTR partial nitrification at normal temperature	Zhong Hang Li Dong Wu Di Zeng Taotao Liu Liqian Su Dongxia Zhang Jie(1225)
Effect of temperature and sludge concentration on hydrolysis and acidification of waste activated sludge under alkaline condition	Su Gaoqiang Wang Shuying Zheng Bingyu Peng Yongzhen(1231)
Treatment of overflow using two-way cyclone flocculation hydrocyclone	Zang Baofeng Huang Yongqiang Xu Mingli Shi Kai Zhu Yan(1237)
Electricity generation performance of microbial fuel cells with carbon cloth as air-cathode and iron as cathode catalyst	Tang Yulan He Yating Yu Pengfei Sun Hong Yu Yan Peng Man(1241)
Biosorption of zinc (II) in water with decabromodiphenyl ethers	Bai Jieqiong Yin Hua Ye Jinshao Peng Hui Ye Qian He Baoyan Li Yuepeng Zhang Na Peng Sufen(1245)
Microwave assisted cleaning of hydrophobic membrane	Yin Zifei Wang Jun Ji Zhongguang Hou Deyin(1251)
Online monitoring system of anaerobic reactor in processes of transforming wastewater into resources	Wang Shunli Shang Liping Li Zhanfeng Deng Hu Liu Xianyong(1256)
Influences of different factors on effect of matrix nitrogen and phosphorus removal in substrates of constructed wetland	Chen Lili Zhao Tongke Zhang Chengjun Li Peng Li Xinrong Dong Ruozheng(1261)
Experiment on start-up phase of new modified septic tanks treating domestic sewage	Chen Zhiqiang Guan Huabin(1267)
Effect of pH values on process for removal of 2,4,6-trichlorophenol by Fe ⁰ -anaerobic microbe system	Wu Jingang Dai Youzhi Guo Lili Wang Guizhi Li Xiaona(1273)
Preparation and evaluation of TiO ₂ granule for As(III) removal from water	Xie Dongmei Cao Linhong Cui Jinli(1279)
Adsorption of pyrogallol from aqueous solution by amine modified attapulgite	Wang Chunxiang Zhang Yan Xue Ailian Zhou Shouyong Zhao Yijiang Chen Zhidong(1285)
Treatment of wastewater from acrylonitrile industries with combined processes of adsorption oxidation, nanofiltration and adsorption	Li Wei Zhan Xia Li Jiding Zheng Dongju(1290)
Efficiency of removing nitrogen and phosphorus from simulated wastewater using hydrophytes	He Na Sun Zhanxiang Zhang Yulong Liu Mingda(1295)
Retention time and effects on water quality and phytoplankton of water shade agent-True Blue	Li Yan Zhang Yinjiang Liu Xiaopei Wu Hao Zhang Leting Duan Ting Li Zhen Zhang Manman(1301)
Effect of temperature on ammonification and nitrous oxide emission in partial nitrification	Guo Ning Zhang Jian Kong Qiang Miao Mingsheng Tian Lin(1308)
Fouling mechanism in advanced treatment of dyeing wastewater by ultrafiltration membrane	Fu Lele Li Fang Wu Liang Wang Ge(1313)
Removal of turbidity from butyl-acrylate wastewater by coagulation-sedimentation	Gu Xiaofeng Song Yudong Zhou Yuexi Ma Liqiang Li Jun Wang Jun(1319)
Purification effect of ecological floating beds of flakiness connection in slightly polluted river water	Duan Jincheng Zhang Yimin Zhang Hongwei Gao Yuexiang Chao Jianying(1324)
Nitrogen removal efficiency of co-processing pickle wastewater and municipal sewage by cyclic activated sludge system(CASS) process	He Qiang Ding Wenjing Sima Weiping(1331)
Pilot study on flow characteristics of a variable-velocity oxidation ditch with fine bubble	Yang Yahong Peng Dangeong Li Lei Zheng Yangguang Han Yun(1336)
Comparison of two different constructed wetland systems to treat swine wastewater	Li Pengyu Wang Zhen Yuan Linjiang Dong Jian Liu Lin Zhu Gefu Liu Chaoliang(1341)
Preparation of coagulant from fly ash and its application in Yellow River water treatment	Li Yumei Chen Lirong Du Mingzhan(1346)
Field study on effect of harvesting submerged plant during growing season for ecological management of eutrophicated water	Jiang Yishuai Chen Hao Ma Zuomin Li Jing(1351)
Rapid determination of sulfate in water by turbidimetry	Xue Xiuling Li Mengdi(1359)
Pollutants removal characteristics of natural start-up and steady operation of membrane bioreactor (MBR) for treating polluted surface water	Yang Wei Zhao Qiujing Han Zhengshuang Li Kai Liang Heng Li Guibai(1363)
Application of RBF and Elman neural network in prediction on pollutant removal efficiency of constructed wetland with different compound substrates	Liang Qibin Liu Yungen Tian Kun Wang Wanbin(1368)
Sludge formation and decontamination effect of stable surface flow wetland systems	Zhang Longfei Wang Chengduan Wang Zhishuai(1373)
Synthesis of multifunctional chelating resin and its adsorption properties for Cd(II) in water	Wang Jiajia Ma Huimin Zhang Tianlin(1378)

- Adsorption behavior of Cr(VI) from aqueous solution on porous Mg/Al mixed oxides Wang Xiujuan Wang Haizeng(1383)
- Start-up and operation of anaerobic digestion of brewery wastewater at ambient temperature ... Lin Changsong Xu Longfei Tan Linyou(1389)
- Treatment of wastewater containing lead by sodium sulfide precipitation He Xuwen Hu Jianlong Li Jingwen Zhang Jingjing Wang Jianbing Ge Peng(1394)
- Treatment of oilfield produced water by inorganic ceramic membrane Ding Hui Peng Zhaoyang Li Yi Wen Qinxue Chen Zhiqiang(1399)
- Treatment of hexanitrostilbene wastewater by vacuum distillation coupling in micro-electrolysis Che Ran Hao Zhi Ye Zhengfang(1405)
- Salt chemical industrial wastewater treatment using hydrolysis-combined biological filter process Guan Shuo Zhang Hongtao Wu Chunxu Cheng Linbo Ning Tao(1411)
- Optimization of preparation conditions of polyacrylic acid/humic acid/rectorite adsorbent based on response surface methodology Chen Fangyan Ye Wei Sun Yihan Jia Liping Tang Yubin(1417)
- Control of algal bloom with immobilized biological catalyst Zhou Xiaoyun Huang Ruimin Liu Xin Wen Ganbin(1425)
- Influence of different influent flow distribution ratios on biological nitrogen and carbon removal by multi-stages A/O process Wang Min Zhang Zhi Chen Jieyun Fan Gongduan Jin Ke Liang Peng Hu Ling(1430)
- Treatment of wastewater containing high concentration of 1-propanol with UV photocatalysis/Fenton reagent Zeng Huiming Cheng Shenyu Shen Xiaoli Ma Huanlin(1435)
- Application of nanofiltration technology in treatment of urban solid composting leachate Ning Guixiang Zhang Xin Wang Kai Jiang Anping Wang Guilin(1440)
- Treating food waste odor by Fenton reagent method Di Yanqiang Liu Jiemin Liu Siyuan Yan Luchun Feng Zhenhua(1445)
- Purification of air pollutant—formaldehyde with special plant group—epiphytic *Tillandsia* Li Junlin Li Peng Wang Hengrong Zheng Guiling(1451)
- Research of odor emission in Jizhuangzi Sewage Treatment Plant in Tianjin Wang Zhao Wang Xiuyan Gao Shuang Bai Zhipeng(1459)
- Photocatalytic degradation activity and mechanism of CNTs/TiO₂/CS Film of gas phase benzene Zeng Liping Zhang Quan Zhang Guoqiang(1465)
- Filtering soot particles by stainless steel sintered fiber felt combining with powder Bao Li Yang Guohua Li Hanpeng Wang Binghui Du Ke Huang San(1472)
- Pollution characteristics of carbon aerosol in PM_{2.5} of Xi'an during winter and summer Zhang Chengzhong Ding Chao Zhou Bianhong Tao Li Liu Lizhong(1477)
- Isolation of an *Acidithiobacillus ferrooxidans* strain and its performance in bioleaching of copper from waste printed circuit boards Zhang Ting Zhu Nengwu Xu Zhiguo Shi Chaohong(1482)
- Performance and synergistic effect of anaerobic co-digestion of corn stover and chicken manure Feng Yajun Yuan Hairong Zhang Liang Li Chao Gao Jian Li Xiujin(1489)
- Biogas production potential of Taihu cyanobacteria at different storage times Zhao Mingxing Ruan Wenquan(1495)
- Recycling of the iron resources of CFBC fly ash by magnetizing roasting-magnetic separation Wu Houqin Li Jun Lu Zhongyuan Xu Longhua Guan Bo Wei Yanfei(1500)
- Mix design of AC-13 asphalt concrete with circulating fluidized bed combustion ash Hou Li Zhao Zhi Lu Zhongyuan Song Lixian Peng Hong Chen Peijun Li Jun(1505)
- Preparation and characterization of sponge film based on feather reduction residue Zhuang Yuan Wu Xiaoqian Cao Zhangjun Zhao Xiaoxiang Zhou Meihua(1510)
- Hydrogen-rich synthesis gas production via thermochemical of refuse derived fuel Wu Wei(1515)
- Treatment of chicken manure by two-phase anaerobic digestion reactor Ni Zhe Pan Chaozhi Niu Dongjie Chen Ling(1522)
- Effect of adding nitrogen loss inhibitor on quality of dehydrated blue-green algae compost Ren Yun Cui Chunhong Liu Fenwu Zhan Xinhua Zhou Lixiang(1527)
- Advanced treatment of leachate from MSW incineration by ozonation Mu Yongjie Ye Jiexu Sun Dezhi(1535)
- Recovery process of glass substrate from liquid crystal display Sun Yuanyuan Li Longzhu Tang Huidong(1541)
- Synthesis of thermosetting PR with WPCB vacuum pyrolysis oils Zhu Zao Cai Sihan Sun Shuiyu Liu Jingyong Zhang Rongxue Xu Dongjun Zhong Sheng Yang Fan Li Shenyong Xu Pingting(1545)
- Migration of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils under uniform electric field Wang Cuiping Xu Wei Sun Hongwen(1550)
- Leaching characteristics of heavy metals in compost sludge in loess Ma Kejing Zhang Mingquan Cai Pu(1557)
- Heavy oil-contaminated soils remediation by Fenton oxidation Liu Qiyou Li Lin Zhang Yunbo Zhao Dongfeng Zhao Chaocheng(1563)
- Microorganism remediation of Hg, Pb and Cr contaminated soil Li Mengjie Wang Cuiling Li Rongchun Hong Junyan Yan Liang Liu Li Zhuang Li(1568)
- Bioaugmentation remediation of petroleum contaminated soil Zhang Xiuxia Teng Zhi Wu Jiadong(1573)
- Influence of oil in soil on growth and physiological indexes of *suaeda heteroptera* and plant-microbial remediation Gao Naiyuan Liu Xianbin Zhao Xingru(1578)
- Numerical prediction of aerodynamic noise radiated from longitudinal symmetric plane of high-speed train and shape optimization Xiao Yougang Zhang Ping(1583)
- Screening of lube oil biodegradation strain and degrading characteristics Guo Xiaoyan Zhang Zhihong Shen Qiyang Li Cuiqing(1589)
- Numerical simulation on field characteristics of multiphase flow in side-entering stirred tank Zhang Linjin Chen Gongguo Bai Yang Ye Xuchu(1594)

温度和污泥浓度对碱性条件下剩余 污泥水解酸化的影响

苏高强 王淑莹 郑冰玉 彭永臻*

(北京工业大学北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室,北京市污水脱氮除磷处理与过程控制工程技术研究中心,北京 100124)

摘要 挥发性脂肪酸(VFAs)是脱氮除磷过程中易于利用的碳源。剩余污泥在碱性条件下发酵能产生大量的VFAs,而温度和污泥浓度是影响剩余污泥发酵的两个重要因素,为此考察了厌氧环境,温度15℃和35℃,pH为10的条件下,剩余污泥挥发性悬浮污泥浓度(VSS为1.708~11.049 g/L)对水解酸化的影响,为实现剩余污泥的资源化提供理论依据。研究得出如下结论:污泥浓度对剩余污泥溶解性化学需氧量(SCOD)溶出率影响不大。低污泥浓度和高污泥浓度均不利于剩余污泥产酸,最佳产酸的污泥浓度为8.540 g/L。各污泥浓度条件下产生的6种挥发性有机酸中乙酸的比例总是最大,且低污泥浓度条件下乙酸的百分含量要高于高污泥浓度条件下。温度对高污泥浓度条件下污泥的最大SCOD溶出量影响较大,而对低污泥浓度条件下污泥最大的产酸量影响较大。无论15℃还是35℃,中等污泥浓度对氨氮的释放量影响不大,35℃条件下污泥浓度对正磷酸盐的释放要比15℃条件下大。

关键词 污泥浓度 温度 剩余污泥 水解酸化 碱性条件

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2013)04-1231-06

Effect of temperature and sludge concentration on hydrolysis and acidification of waste activated sludge under alkaline condition

Su Gaoqiang Wang Shuying Zheng Bingyu Peng Yongzhen

(Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environmental Recovery Engineering, Engineering Research Center of Beijing, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract Volatile fatty acids(VFAs) are suitable carbon sources for nitrogen and phosphorus removal. A large amount of VFAs can be produced in the alkaline fermentation process of WAS. Temperature and sludge concentration are two critical factors for waste activated sludge (WAS) fermentation, therefore the effect of temperature and sludge concentration on hydrolysis and acidification of WAS was investigated at 15℃, 35℃ and pH = 10 under anaerobic condition. The results showed that soluble chemical oxygen demand (SCOD) production yields were impacted little by sludge concentration. Low or high sludge concentrations were disadvantage for acid production, the best sludge concentration for acid production was VSS = 8.54 g/L. At any sludge concentration investigated, acetic acid dominated in the six volatile short chain fatty acids produced by sludge fermentation, besides the percentage of acetic acids were higher at low sludge concentration than high sludge concentration. Temperature impacted significantly on the hydrolysis of WAS with higher sludge concentration, but it impacted significantly on the acidification of WAS with lower sludge concentration. Medium sludge concentration at 6.832, 8.540 g/L influenced little on ammonia release at 15℃ and 35℃, sludge concentration influenced more significantly on phosphorus release at 35℃ than at 15℃.

Key words sludge concentration; temperature; waste activated sludge; hydrolysis and acidification; alkaline condition

采用活性污泥法工艺的生活污水处理厂中存在两个重要的问题,(1)污水厂产生大量的剩余污泥(WAS),WAS的处理费用占到污水厂运行管理费用的20%~50%^[1];(2)污水生物脱氮除磷缺乏碳源^[2],污水厂往往需要补充外碳源如乙酸,甲醇和葡萄糖等来改善脱氮除磷的效果,这不仅仅增加了

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51178007);北京市教委科技创新平台项目

收稿日期:2012-02-23;修订日期:2012-04-25

作者简介:苏高强(1985~),男,博士,主要从事水污染控制与污泥资源化研究。E-mail:sugaoqiang1985@emails.bjut.edu.cn

* 通讯联系人,E-mail:pyz@bjut.edu.cn

污水厂的运行费用,而且外碳源会进一步转化为 WAS 增加污泥产量。WAS 主要由蛋白质和多糖组成,这些物质在厌氧条件下能转化为挥发性脂肪酸,同时污泥能实现减量^[3]。Ucisik 等^[4]发现,初沉污泥、混合污泥和 WAS 发酵能分别产生 270、114 和 62 mg COD/g VSS 的挥发性脂肪酸 VFA。Tong 等^[5]发现,污泥碱性发酵液作为除磷碳源的效果要好于乙酸。Min 等^[6]也发现,WAS 发酵液作为脱氮的碳源效果和甲醇效果相当。

WAS 是各种微生物的聚集体,如果 WAS 不经过预处理,水解过程就会受到严重的抑制^[7]。Chen 等^[8]指出,碱性条件下 WAS 的水解和产酸能力和酸性以及中性条件下相比能得到较大提升。虽然研究者已考察了温度和污泥浓度对污泥水解酸化的影响,但文献[9-11]中考察的酸碱条件主要为酸性和中性条件,且使用的污泥主要为初沉污泥,而对于碱性条件下温度和污泥浓度对剩余污泥水解的影响还鲜见报道,因此对其研究可以为实现 WAS 的资源化提供理论依据。为此,本文考察了温度 15℃ 和 35℃,pH 为 10 条件下,污泥浓度对 WAS 污泥水解和酸化的影响。

1 实验材料与方法

1.1 实验装置与运行方法

实验在 15℃ 和 35℃ 恒温培养箱中进行,反应器为 6 个容积为 1 L 的广口试剂瓶,各反应器均添加 900 mL 的 WAS,调节各反应器 pH 为 10,而后曝氮 3 min 驱除氧气,使用橡胶塞密闭。橡胶塞中开两个孔插入 pH 电极和玻璃棒监测 pH 和取样。使用磁力搅拌器进行搅拌,控制转速为 (100 ± 10) r/min。使用 4 mol/L 的 NaOH 和 4 mol/L 的 HCl 控制 pH 变化不超过 0.2,每天调节 2 次,pH 变化稳定后,每天调节 1 次。反应器运行 20 d,取样周期为 4 d。调节 1 号到 6 号反应器中挥发性固体浓度(VSS)分别为 1.708、3.416、5.124、6.832、8.540、11.049 g/L。考察污泥浓度对 WAS 水解酸化的影响。

1.2 污泥的来源与性质

WAS 取自本实验室的中试间歇式活性污泥法反应器(SBR),污泥在使用之前使用自来水淘洗 3 次,而后使用自来水稀释或离心浓缩的方法调节 WAS 的浓度。污泥的性质如下:pH 值 6.8,溶解性化学需氧量(SCOD)47 mg/L,总化学需氧量(TCOD)12 320 mg/L,氨氮 0.5 mg/L,正磷酸盐

28.1 mg/L,总悬浮固体(TSS)9 320 mg/L,挥发性悬浮固体(VSS)8 153 mg/L,挥发酸(VFA)0 mg/L。

1.3 测定方法

取样后在 4 000 r/min 的转速下离心 20 min,而后经过 0.45 μm 的微孔滤膜过滤,滤液用来分析 SCOD、VFA、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$,滤渣用来分析 TSS 和 VSS。pH 采用 WTW 340i 测定,TSS 和 VSS 采用重量法,SCOD 和 TCOD 采用 5B-1 型 COD 快速测定仪,氨氮采用纳氏试剂分光光度法,正磷酸盐采用钼锑抗分光光度法,SCFAs 使用安捷伦 6890N 气相色谱仪测定。每个指标测量 2 次,取平均值为实验数据。

2 结果与讨论

2.1 污泥的水解特征

污泥的水解特征可以用 SCOD 浓度的改变来表示^[8]。污泥浓度对污泥水解酸化的影响如图 1 所示,图中 1~6 号的污泥浓度分别为 1.708、3.416、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L。

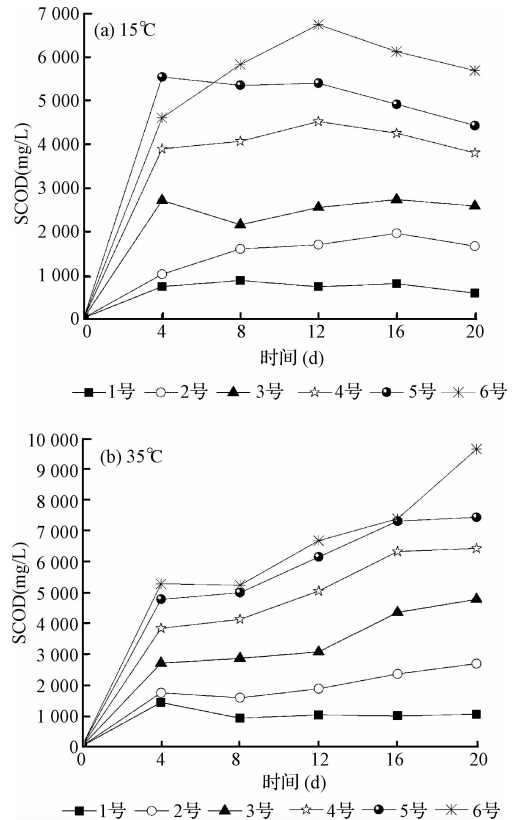


图 1 15℃ 和 35℃ 条件下污泥浓度对剩余污泥水解程度的影响

Fig. 1 Effect of sludge concentration on WAS hydrolysis at 15°C and 35°C

从图 1 可以看出,除 15℃ 条件下 4 d 时,SCOD 均随着污泥浓度的增加而增大。这是因为高浓度条件下,污泥中较多的有机颗粒溶出导致 SCOD 的浓度较高。在 15℃ 各污泥浓度条件下 SCOD 的溶出基本呈先增大后减少的趋势,这与 SCOD 的溶出与消耗有关,当 SCOD 的溶出速率大于消耗速率时,SCOD 就增大反之就减少。而在 35℃ 条件下,除 VSS 为 1.708 g/L 外,其余条件下 SCOD 均呈不断上升的趋势,说明在 35℃ 条件下 SCOD 的溶出速率要大 15℃ 条件下的。温度为 15℃ 时,VSS 为 6.832 和 11.049 g/L 的条件下,SCOD 浓度在 12 d 达到最大,说明这 2 种污泥浓度条件下最佳的水解酸化时间为 12 d。温度为 35℃ 时,在 VSS 为 6.832,8.540 g/L 条件下,16 d 后剩余污泥溶出的 SCOD 变化量不大,说明这两种污泥浓度条件下污泥最佳的水解时间为 16 d。将 15℃ 和 35℃ 条件下,各污泥在同一发酵时间溶出的 SCOD 浓度和初始 VSS 浓度进行线性拟合,结果如表 1 所示。

表 1 线性回归方程

Table 1 Line regression equations

时间(d)	15℃	相关系数	35℃	相关系数
4	$y = 517.15x - 61.306$	0.832	$y = 468.52x + 521.6$	0.9681
8	$y = 586.04x - 254.97$	0.9524	$y = 522.26x + 194.55$	0.9444
12	$y = 671.18x - 483.06$	0.9847	$y = 681.51x - 65.64$	0.9575
16	$y = 574.96x - 37.674$	0.9888	$y = 766.42x + 235.89$	0.911
20	$y = 545.34x - 193.16$	0.9934	$y = 941.31x - 257.5$	0.9908

由表 1 可知,SCOD 的浓度和 VSS 有较强的线性关系,相关系数除 15℃ 条件下 4 d 时基本在 0.9 以上,线性方程的系数为剩余污泥 SCOD 的溶出率,表示每克 VSS 能溶出多少 SCOD。这说明在碱性条件下污泥浓度对 SCOD 的溶出率影响不大,这与 Ferreiro 等^[9]的研究结果不一致,Ferreiro 等^[9]指出,酸性条件下初沉污泥的水解产率随着污泥浓度的减小而增大。这是因为本实验的条件为碱性条件,碱性条件导致剩余污泥体破碎成细微的絮体颗粒,这些小颗粒具有较大的比表面积,提升了污泥的水解能力,减少了污泥浓度对 WAS 水解的影响。

对比考察各污泥浓度条件下在 15℃ 和 35℃ 条件下最大 SCOD 的溶出量,发现 VSS 为 1.708、3.146、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L 时,15℃ 条件下要比 35℃ 条件下分别低 18%、29%、44%、31%、27% 和 33%,这是因为温度高的条件下能提高蛋白质和多糖等有机物的溶解度。从对比结果也

可知,温度对高浓度条件下的污泥最大 SCOD 溶出量的影响较大。这可能是因为 SCOD 的溶出主要是靠碱和温度的作用,污泥浓度高时溶出的 SCOD 较多,高的温度能提升物质的溶解度,因此温度对其影响较大。而污泥浓度低时 WAS 本身溶出的 SCOD 较少,即使提升温度也不会提高 SCOD 的溶出量。

2.2 污泥的产酸情况

2.2.1 污泥的产酸量

污泥发酵产酸主要由乙酸、丙酸、异丁酸、丁酸、异戊酸和戊酸组成,将其各自的浓度换算为 COD 而后相加,和为总挥发性有机酸(TVFA)^[8]。污泥的产酸情况使用 TVFA 和污泥浓度的比值来表示。不同污泥浓度条件下,WAS 的产酸情况如图 2 所示,图中 1~6 号的污泥浓度分别为 1.708、3.416、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L。

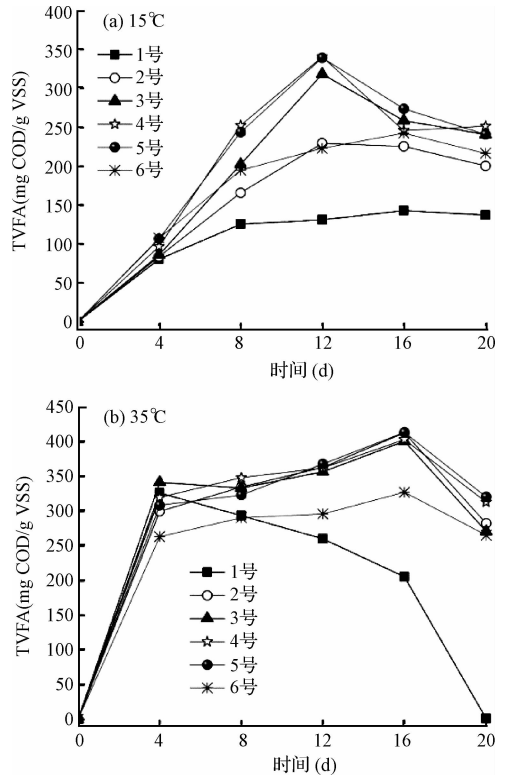


图 2 15℃ 和 35℃ 条件下污泥浓度对剩余污泥产酸的影响
Fig. 2 Effect of sludge concentration on WAS acidification at 15℃ and 35℃

由图 2 可知,15℃ 条件下 WAS 的产酸量均经历了先增大后减少的趋势。VSS 为 1.708、11.049 g/L 条件下 WAS 的产酸量在 16 d 时达到最大,分别为 143 和 243 mg COD/g VSS。而在 VSS 为 3.146、5.124、6.832 和 8.540 g/L 的条件下,污泥的产酸量在 12 d 时达到最大,分别为 230、319、341 和 338 mg

COD/g VSS。从图 2 还可以发现,当污泥浓度从 1.708 g/L 升至 8.540 g/L 时,污泥的产酸量不断增加,且 VSS 为 5.124、6.832 和 8.540 g/L 时产酸量基本相同,而当污泥浓度进一步增大至 11.049 g/L,污泥的产酸量开始减少。

对于 35℃ 条件下,污泥的的产酸量同样经历了先增加后减少的趋势,VSS 为 1.708 g/L 的条件下污泥的产酸量在第 4 天达到最大,为 326.5 mg COD/g VSS,这是因为在该条件下 SCOD 的溶出量在第 4 d 达到最大,促进了产酸过程。而在 VSS 为 3.146、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L 的条件下,污泥的产酸量在 16 d 达到最大,分别为 413.2、400.8、403.5、413.7 和 327.5 mg COD/g VSS。从图 2 可以看出低浓度和高浓度条件下,均不利于产酸。在 VSS 为 3.146、5.124、6.832 和 8.540 g/L 的条件下产酸量较大,且基本上相同。

对比图 2(a) 和图 2(b),在 35℃ 条件下污泥产酸较快,在 4 d 时各污泥浓度条件下产酸量在 264 ~ 342 mg COD/g VSS,而在 15℃ 条件下 4 d 时各污泥浓度条件下产酸量在 80 ~ 108 mg COD/g VSS,这是因为较高的温度能提高产酸细菌的活性,从而促进产酸^[12]。从上图对比也可知在 15℃ 和 35℃ 条件下低浓度和高浓度均不利于污泥的产酸,这是因为低污泥浓度条件下污泥溶出的 SCOD 较少,产酸基质缺乏导致产酸量低,而高浓度条件下不利于产酸细菌与产酸基质接触,从而抑制了产酸的过程^[11]。较利于产酸的污泥浓度为 5.124、6.832 和 8.540 g/L,而从基建费用看,VSS 为 8.540 g/L 条件下可以减少发酵反应器的体积,因此最优的污泥浓度为 VSS 为 8.540 g/L。

考察 WAS 各污泥浓度条件下在 15℃ 和 35℃ 条件下最大产酸量,发现 VSS 为 1.708、3.146、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L 时,15℃ 条件下要比 35℃ 条件下分别低 56%、44%、21%、16%、18% 和 26%,这是因为中温条件下剩余污泥能溶出更多的 SCOD,且产酸细菌的活性较高,利于产酸的进行^[12]。从对比结果仍可知,温度对低浓度条件下 WAS 最大产酸量影响较大,这可能是因为高污泥浓度条件下,污泥溶出的 SCOD 较高,产酸基质丰富,抵消了由于温度降低对产酸细菌带来的不利影响。因此在实际运行过程中,如果污泥浓度低,应在 35℃ 条件下发酵以提高产酸量,而当污泥浓度较高时可以在 15℃ 条件下发酵以节省运行成本。

2.2.2 污泥产酸组成情况

Elefsinioti 等^[13]指出,反硝化优先利用乙酸,其次为丁酸(包括异丁酸和正丁酸)和丙酸,最后是戊酸(包括异戊酸和戊酸)。Chen 等^[14]指出,适宜作为除磷碳源的两种有机酸为乙酸和丙酸,从短期看乙酸作为碳源除磷效果较好,而从长期看丙酸作为碳源要比乙酸作为碳源的除磷效果好。可见 SCFAs 的组成情况对其作为碳源被利用具有重大的影响。为此考察 12 d,15℃ 和 35℃ 条件下 6 种污泥浓度条件下污泥的产酸组成情况如图 3 所示,图中 1~6 号的污泥浓度分别为 1.708、3.416、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L。

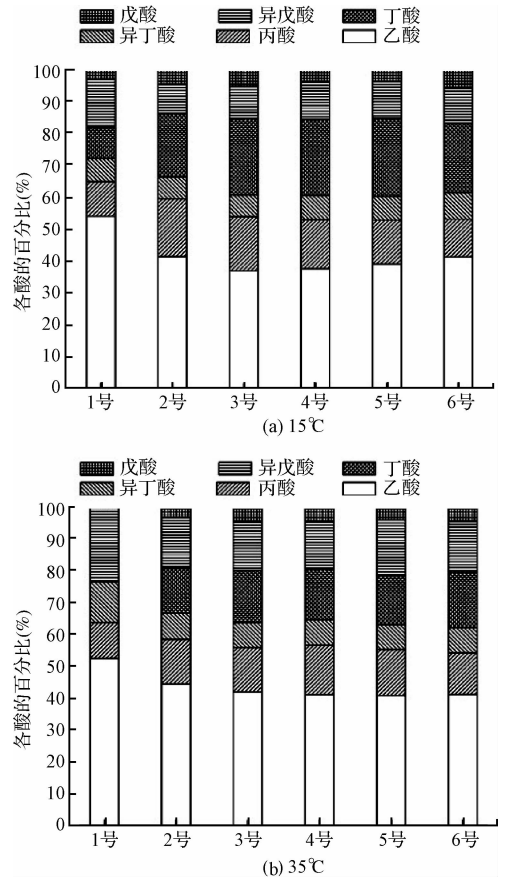


图 3 15℃ 和 35℃ 条件下污泥浓度对挥发酸组成的影响

Fig. 3 Effect of sludge concentration on constituent of at 15°C and 35°C

由图 3 可知,无论何种温度和污泥条件下乙酸的比例总是最高。15℃ 条件下 VSS 为 1.708、3.146、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L 条件下乙酸的比例分别为 54%、41%、36%、38%、39% 和 41%。35℃ 条件下 VSS 为 1.708、3.146、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L 条件下乙酸的比例分别为 52%、44%、42%、41%、41% 和 41%。15℃ 条件

下正丁酸和丙酸在多数条件下分别排第2和第3,而在35℃条件下异戊酸和正丁酸在多数条件下排第2和第3。从图3(a)和图3(b)还可以看出无论是15℃还是35℃,低浓度条件下(VSS为1.708 g/L)乙酸的比例总是最高, Cokgor等^[15]也指出,较低的污泥浓度条件下污泥产酸中乙酸的比例较高。

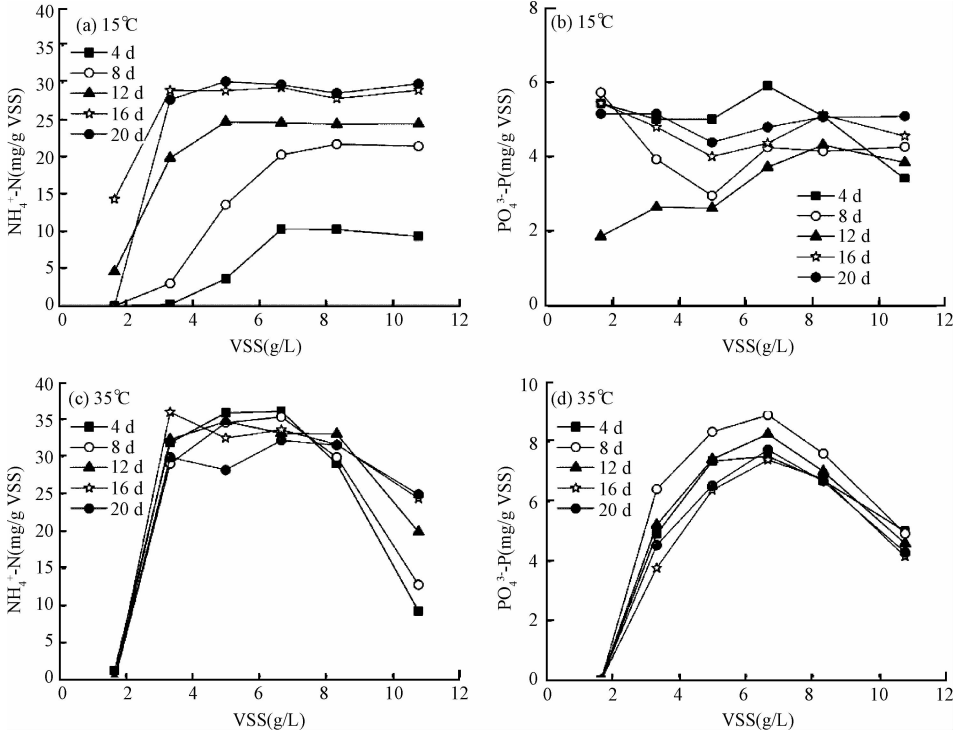


图4 15℃和35℃条件下污泥浓度对氨氮和正磷酸盐释放的影响

Fig. 4 Effect of sludge concentration on ammonia and phosphorus release at 15°C and 35°C

从图4可知,15℃条件下,随着时间的增长,除VSS为1.708 g/L条件下释放的氨氮浓度较低外,其他污泥浓度对氨氮的释放影响越来越小。20 d时VSS为3.146、5.124、6.832、8.540和11.049 g/L条件下,氨氮的释放量均在30 mg/g VSS左右。而对于正磷酸盐,污泥浓度对其影响较小,各污泥浓度条件下正磷酸盐的释放量均为2~5 mg/g VSS。

而在35℃条件下低浓度和高浓度均不利于氨氮和磷的释放,而VSS为3.146、5.124、6.832和8.540 g/L时,对氨氮的释放产生影响较小,氨氮的释放量在30~35 mg/g VSS。而对于正磷酸盐在污泥浓度对其释放影响较大,各污泥浓度条件下正磷酸盐的释放量为0~8 mg/g VSS。

将15℃和35℃条件下的结果对比可知,35℃条件下氨氮和磷的释放量要稍大于15℃条件下,这是因为35℃条件下污泥溶出的SCOD较多,且微生物的活性较强,较多的蛋白质和含磷的有机物被水解

2.3 氨氮和正磷酸盐释放情况

由于WAS中存在大量的蛋白质,WAS中微生物细胞膜由磷脂双分子层组成,且微生物内有存在多聚磷酸盐颗粒,因此WAS在水解和产酸过程中会释放出氨氮和磷。15℃和35℃条件下氨氮和正磷酸盐的释放情况如图4所示。

产酸^[12]。35℃条件下污泥浓度对正磷酸的释放的影响要大于15℃条件下。2种温度条件下VSS为1.708 g/L时氨氮的释放量几乎为零,且中等污泥浓度条件(VSS为3.146、5.124、6.832和8.540 g/L)对氨氮的释放产生影响较小。这与污泥的水解和产酸有关,在低浓度和高浓度条件下污泥产酸均较低,污泥产酸主要靠消耗蛋白质和多糖等有机物完成,因此消耗蛋白质的量也少,导致氨氮在低浓度和高浓度条件下氨氮的释放量较少,而中等浓度条件下污泥产酸基本相同因此在中等污泥浓度条件下释放的氨氮的量也基本相同。Yuan等^[11]也指出,在不控制pH的条件下当污泥浓度在5.34~16.03 g/L时,污泥浓度不会对氨氮和正磷酸的释放产生太大影响。

3 结论

考察了温度15℃和35℃,剩余污泥的VSS为

1.708、3.146、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L 对碱性条件下 WAS 水解酸化的影响,得出如下结论:

(1) 15℃ 和 35℃ 条件下污泥浓度和其溶出的 SCOD 均具有较强的线性相关性,表明污泥浓度对碱性条件下 SCOD 的溶出率无太大的影响;

(2) 15℃ 和 35℃ 条件下,低污泥浓度和高污泥浓度均不利于产酸,最佳的产酸污泥浓度为 VSS 为 8.540 g/L;

(3) 15℃ 和 35℃ 条件下,乙酸在剩余污泥发酵产生的 6 种挥发性脂肪酸中比例总是最高,且在低污泥浓度条件下污泥产酸中乙酸含量要比高浓度条件下高;

(4) 温度对高污泥浓度条件下的污泥最大 SCOD 溶出量影响较大, VSS 为 1.708、3.146、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L 时 15℃ 条件下污泥最大 SCOD 溶出量要比 35℃ 条件下分别低 18%、29%、44%、31%、27% 和 33%;

(5) 温度对低污泥浓度条件下污泥最大产酸量影响较大, VSS 为 1.708、3.146、5.124、6.832、8.540 和 11.049 g/L 时 15℃ 条件下污泥最大产酸量要比 35℃ 条件下分别低 56%、44%、21%、16%、18% 和 26%;

(5) 15℃ 条件和 35℃ 条件下中等污泥浓度均对氨氮释放影响不大,氨氮释放量分别为 30 mg/L 和 30~35 mg/L。35℃ 条件下污泥浓度对正磷酸盐的释放的影响要比 15℃ 条件下大。

参考文献

- [1] Li H., Jin Y. Y., Mahar R., et al. Effects and model of alkaline waste activated sludge treatment. *Bioresour. Technol.*, **2008**,99(11):5140-5144
- [2] Peng Y. Z., Wang X. L., Li B. K. Anoxic biological phosphorus uptake and the effect of excessive aeration on biological phosphorus removal in the A²O process. *Desalination*, **2006**,189(1-3):155-164
- [3] Feng L. Y., Chen Y. G., Zheng X. Enhancement of waste activated sludge protein conversion and volatile fatty acids accumulation during waste activated sludge anaerobic fermentation by carbohydrate substrate addition: The effect of pH. *Environ. Sci. Technol.*, **2009**,43(12):4373-4380
- [4] Ucisik A. S., Henze M. Biological hydrolysis and acidification of sludge under anaerobic conditions: The effect of sludge type and origin on the production and composition of volatile fatty acids. *Water Res.*, **2008**,42(14):3729-3738
- [5] Tong J., Chen Y. G. Recovery of nitrogen and phosphorus from alkaline fermentation liquid of waste activated sludge and application of the fermentation liquid to promote biological municipal wastewater treatment. *Water Res.*, **2009**,43(12):2969-2976
- [6] Min K. S., Park K. S., Jung Y. J., et al. Acidogenic Fermentation: Utilization of wasted sludge as a carbon source in the denitrification process. *Environ. Technol.*, **2002**,23(3):293-302
- [7] Xu G. H., Chen S. H., Shi J. W., et al. Combination treatment of ultrasound and ozone for improving solubilization and anaerobic biodegradability of waste activated sludge. *J. Hazard. Mater.*, **2010**,180(1-3):340-346
- [8] Chen Y. G., Jiang S., Yuan H. Y., et al. Hydrolysis and acidification of waste activated sludge at different pHs. *Water Res.*, **2007**,41(3):683-689
- [9] Ferreiro N., Soto M. Anaerobic hydrolysis of primary sludge: Influence of sludge concentration and temperature. *Wat. Sci. Technol.*, **2003**,47(12):239-246
- [10] Zeng R. J., Yuan Z., Keller J. Effects of solids concentration, pH and carbon addition on the production rate and composition of volatile fatty acids in prefermenters using primary sewage sludge. *Wat. Sci. Technol.*, **2006**,53(8):263-269
- [11] Yuan Q., Sparling R., Oleszkiewicz J. A. Waste activated sludge fermentation: Effect of solids retention time and biomass concentration. *Water Res.*, **2009**,43(20):5180-5186
- [12] Feng L. Y., Wang H., Chen Y. G., et al. Effect of solids retention time and temperature on waste activated sludge hydrolysis and short-chain fatty acids accumulation under alkaline conditions in continuous-flow reactors. *Bioresour. Technol.*, **2009**,100(1):44-49
- [13] Elefsiniotis P., Wareham D. G., Smith M. O. Use of volatile fatty acids from an acid-phase digester for denitrification. *J. Biotechnol.*, **2004**,114(3):289-297
- [14] Chen Y. G., Andrew A. R., Terrence M. The efficiency of enhanced biological phosphorus removal from real wastewater affected by different ratios of acetic to propionic acid. *Water Res.*, **2004**,38(1):27-36
- [15] Cokgor E. U., Oktay S., Tas D. O., et al. Influence of pH and temperature on soluble substrate generation with primary sludge fermentation. *Bioresour. Technol.*, **2009**,100(1):380-386