

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第2期

Vol.37 No.2

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

编者按	(403)
我国化学品的风险评价及风险管理	王铁宇,周云桥,李奇峰,吕永龙 (404)
土地利用回归模型在大气污染时空分异研究中的应用	吴健生,谢舞丹,李嘉诚 (413)
中国2000~2010年生态足迹变化特征及影响因素	黄宝荣,崔书红,李颖明 (420)
关中地区冬季PM _{2.5} 中碳气溶胶的污染特征及来源解析	田鹏山,曹军骥,韩永明,张宁宁,张蓉,刘随心 (427)
利用SPAMS研究南宁市冬季单颗粒气溶胶化学成分	刘慧琳,宋红军,陈志明,黄炯丽,杨俊超,毛敬英,李宏姣,梁桂云,莫招育 (434)
南京夏季市区VOCs特征及O ₃ 生成潜势的相关性分析	杨笑笑,汤莉莉,张运江,母应峰,王鸣,陈文泰,周宏仓,花艳,江蓉馨 (443)
北京城区气传花粉季节特征及与气象条件关系	孟龄,王效科,欧阳志云,任玉芬,王巧环 (452)
重庆市垃圾焚烧厂汞的分布特征与大气汞排放因子研究	段振亚,苏海涛,王凤阳,张磊,王书肖,余斌 (459)
三峡库区腹地大气微量金属干湿沉降特征	张六一,刘源,乔保清,付川,王欢博,黄怡民,杨复沫 (466)
长沙近地面水汽中稳定同位素的监测与分析	谢宇龙,章新平,姚天次,黄煌 (475)
青藏高原内陆典型冰川区“冰川-径流”汞传输过程	孙学军,王康,郭军明,康世昌,张国帅,黄杰,丛志远,张强弓 (482)
西藏湖泊沉积物重金属元素特征及生态风险评估	郭泌汐,刘勇勤,张凡,侯居峙,张宏波 (490)
坦噶尼喀湖东北部入湖河流沉积物重金属分布特征与生态风险评价	余成,陈爽,张路 (499)
近百年来新疆博斯腾湖多环芳烃的组成及变化特征	沈贝贝,吴敬禄,赵中华,曾海鳌,金苗 (507)
舟山青浜岛不同环境介质中PAHs的分布特征	郑煌,邢新丽,顾延生,桂福坤,祁士华,黄焕芳 (513)
模拟排水沟渠非点源溶质氮迁移实验研究	李强坤,宋常吉,胡亚伟,彭聪,马强,姜正曦,琚艺萌 (520)
中田河流域景观异质性对水体总氮浓度影响研究	王晶萍,李兆富,刘红玉,王刚,辛强 (527)
江西香溪流域干湿季交替下底泥氮释放机制及其对流域氮输出的贡献	韩宁,郝卓,徐亚娟,高扬,于贵瑞 (534)
巢湖水体氮磷营养盐时空分布特征	奚姗姗,周春财,刘桂建,吴蕾,王培华 (542)
合肥城郊典型农田溪流生态系统沉积物磷形态及释放风险分析	裴婷婷,李如忠,高苏蒂,罗月颖 (548)
桑沟湾表层沉积物性质及对磷的吸附特征	朱佳美,曹晓燕,刘素美,王丽莎,杨桂朋,葛成凤,路敏 (558)
苏州市古城区降雨径流颗粒物粒径分布及污染物赋存形态	李淮,吴玮,田永静,黄天寅 (565)
洪泽湖有毒和无毒微囊藻丰度及其与环境因子之间的相关分析	李大命,张彤晴,唐晟凯,段翠兰,杨俊虎,穆欢,刘小维 (573)
三峡库区消落带水体CDOM中电荷转移配合物对其紫外-可见吸收光谱的影响	江韬,梁俭,张慕雪,王定勇,魏世强,卢松 (580)
pH对高锰酸钾氧化降解苯胺类化合物动力学的影响	王辉,孙波,关小红 (588)
EDTA对Pd/Fe体系还原脱氯2,4-D的影响	周红艺,聂亚中,陈勇,雷双健 (595)
镍铝层状氧化物薄膜电极的制备及其除盐性能	王婷,朱春山,胡承志 (602)
微生物对砷的氧化还原竞争	杨婷婷,柏耀辉,梁金松,霍旻,王明星,袁林江 (609)
处理水产养殖污水潜流湿地中的厌氧氨氧化菌群特征	曾宪磊,刘兴国,吴宗凡,时旭,陆诗敏 (615)
污水回用中主要病原菌解析及其紫外消毒效应	景明,王磊 (622)
异养硝化-好氧反硝化菌 <i>Burkholderia</i> sp. YX02 强化连续流反应器中微生物群落结构解析	邵基伦,曹刚,李紫惠,黄郑郑,罗恺,莫测辉 (630)
基于新一代测序技术的A ² O与BIOLAK活性污泥宏基因组比较分析	田美,刘汉湖,申欣 (638)
1株海洋异养硝化-好氧反硝化菌的分离鉴定及其脱氮特性	孙庆花,于德爽,张培玉,林学政,李津 (647)
纳米Ni/Fe用于去除染料生产废水二级生物处理出水中AOX和色度的研究	舒小铭,徐灿灿,刘锐,赵远,陈吕军 (655)
3BER-S工艺用于再生水深度脱氮同步去除PAEs的可行性	徐鹏程,郝瑞霞,张娅,王冬月,钟丽燕,徐浩丹 (662)
合成时间对钛酸盐纳米材料的影响及其吸附水中铅的性能研究	范功端,陈丽茹,林茹晶,林茜,苏昭越,林修咏 (668)
芦苇秸秆生物炭对水中菲和1,1-二氯乙烯的吸附特性	吴晴雯,孟梁,张志豪,罗启仕,杨洁 (680)
芦苇基和污泥基生物炭对水体中诺氟沙星的吸附性能	张涵瑜,王兆炜,高俊红,朱俊民,谢超然,谢晓芸 (689)
季节性温度升高对落干期消落带土壤氮矿化影响	林俊杰,张帅,刘丹,周斌,肖晓君,马慧燕,于志国 (697)
增温及秸秆施用对冬小麦田土壤呼吸和酶活性的影响	陈书涛,桑琳,张旭,胡正华 (703)
基于GIS的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征	王幼奇,白一茹,王建军 (710)
不同产地硅藻土原位控制土壤镉污染差异效应与机制	朱健,王平,林艳,雷明婧,陈仰 (717)
紫色土对邻苯二甲酸二甲酯的淋溶吸持特征及影响因素	王强,宋娇艳,曾微,王法 (726)
几种修复措施对Cd淋失及土壤剖面运移影响	刘孝利,曾昭霞,铁柏清,陈求稳,魏祥东 (734)
河北邯郸钢铁冶炼区周边麦田土和小麦籽粒的多环芳烃含量及其组分谱特征	吴迪,汪宜龙,刘伟健,陈源琛,付晓芳,陶谢,刘文新 (740)
湿生环境中丛枝菌根(AM)对香蒲耐Cd胁迫的影响	罗鹏程,李航,王曙光 (750)
溴酸盐对水生生物的急性毒性效应	王执伟,刘冬梅,张文娟,崔福义 (756)
自组装哑铃状Fe ₃ O ₄ 微/纳米材料对十溴联苯的热催化降解	黄鑫辰,宗刚,刘烨煌,芦会杰,李倩倩,李宾克,赵彦辉,苏贵金 (765)
盐度对准好氧矿化垃圾生物反应器渗滤液处理及N ₂ O产生的影响	李卫华,孙英杰,刘子梁,马强,杨强 (775)
污泥直接干化尾气中恶臭污染物质重要性评价:以指标权重评分法为例	丁文杰,陈文和,邓明佳,罗辉,李琳,刘俊新 (782)
《环境科学》征订启事(557) 《环境科学》征稿简则(594) 信息(419,442,781)	

盐度对准好氧矿化垃圾生物反应器渗滤液处理及 N_2O 产生的影响

李卫华, 孙英杰*, 刘子梁, 马强, 杨强

(青岛理工大学环境与市政工程学院, 青岛 266033)

摘要: 准好氧矿化垃圾生物反应器对渗滤液具有良好的脱氮效果,但在硝化反硝化过程中有强温室气体 N_2O 的产生. 本文主要研究了不同回灌渗滤液盐度($7 \sim 30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)对准好氧矿化垃圾生物反应器渗滤液处理及 N_2O 产生的影响. 结果表明,进水盐度的增加对 COD 去除效果影响较小,其去除率始终大于 85%;然而盐度对氮污染物去除效果的影响较大. NH_4^+-N 和 TN 的去除率由 $7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的 98.23%、91.48% 下降至 $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的 31.75%、34.24%. 此外,盐度在 $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,出现了显著的 $\text{NO}_2^- -\text{N}$ 积累现象. 盐度对硝化、反硝化细菌均有不同的抑制作用,其中,对硝化菌的抑制作用大于反硝化菌. 随着盐度的增加, N_2O 产生量大幅增加,在盐度为 $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时 N_2O 产生量最高,为 $1397 \mu\text{g} \pm 369.88 \mu\text{g}$,占 TN 去除总量的 8.87%,是低盐度条件下($7 \sim 20 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) 的 6~117 倍,单周期内 N_2O 产生峰值随着盐度增加呈延后趋势. 从上述实验结果可知,渗滤液回灌处理时,进水盐度过高会影响脱氮效果及 N_2O 释放. 可见,盐度是渗滤液回灌时重要的控制因素.

关键词: 盐度; 准好氧矿化垃圾生物反应器; 矿化垃圾; 渗滤液; 氧化亚氮

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)02-0775-07 DOI: 10.13227/j. hjkx. 2016. 02. 049

Impact of Salinity on Leachate Treatment and N_2O Releases from Semi-aerobic Aged-refuse Bioreactor

LI Wei-hua, SUN Ying-jie*, LIU Zi-liang, MA Qiang, YANG Qiang

(School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

Abstract: Semi-aerobic Aged-refuse Bioreactor (SAARB) has a good effect on nitrogen removal in leachate, but a strong greenhouse gas (N_2O) was generated during the nitrification and denitrification process. The effect of salinity ($7 \sim 30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) on the leachate treatment and the N_2O production from SAARB system was investigated. Experimental results showed that salinity ranging from 7 to $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ had no significant effect on COD removal, and the removal efficiency was always more than 85%. On the contrary, it had a strong influence on the removal of nitrogen. The removal efficiencies of NH_4^+-N and TN decreased from 98.23% and 91.48% at $7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ salt to 31.75% and 34.24% at $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ salt, respectively. Moreover, there was significant nitrite ($\text{NO}_2^- -\text{N}$) accumulation in the presence of $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ salt. Meanwhile, salinity had different inhibition strength on nitrification and denitrification bacteria, and the order of inhibition strength was as follows: nitrification bacteria > denitrification bacteria. In addition, the N_2O production increased with salinity concentration, and the highest N_2O accumulation ($1397 \mu\text{g} \pm 369.88 \mu\text{g}$) was observed with addition of $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ salt, which accounted for 8.87% of the total nitrogen removal. Meanwhile, it was 6~117 times higher in the presence of $30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ salt than that in low salinity conditions ($7 \sim 20 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$). And the peak time of the N_2O production showed a delayed trend. These results indicated that salinity recirculation in leachate had a negative effect on the nitrogen removal and N_2O production. Overall, salinity seemed to be a key parameter during leachate recirculation.

Key words: salinity; semi-aerobic aged-refuse bioreactor (SAARB); aged-refuse; leachate; nitrous oxide (N_2O)

矿化垃圾具有比表面积大,水力渗透性能好的特性,其上附着经高浓度渗滤液长期驯化得到的优势微生物^[1,2]. 矿化垃圾构建的准好氧生物反应床,能大大提高氨氮和总氮的去除效果,具有较好的脱氮效果^[3~6]. 而脱氮过程会有伴随强温室气体 N_2O 的产生^[7],与 CO_2 相比 N_2O 虽然属于痕量气体,但其百年增温潜势约是 CO_2 的 300 倍,同时, N_2O 还能消耗平流层臭氧,对人体及其他生物产生毒性,被认为 21 世纪最主要的臭氧层破坏物质^[8,9]. 影响准好氧

矿化垃圾反应器(SAARB)处理效率的因素有很多,比如水力负荷、温度、回灌频率、渗滤液 COD 等^[10~12]. 盐度也是影响其处理效率的一个重要因素. 盐度过高会导致微生物细胞渗透压的改变,对微生物的生长起抑制作用,从而影响微生物的新陈

收稿日期: 2015-06-28; 修订日期: 2015-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(51178229, 51378268)

作者简介: 李卫华(1989~),男,博士研究生,主要研究方向为固废处置与资源化,E-mail: liweihua9886@163.com

* 通讯联系人,E-mail: yjsun1971@126.com

代谢和生物处理效率^[13]。特别是沿海地区和含盐工业废水排放的地区,高盐度的影响更为严重^[14]。盐度对于N₂O的产生也有影响,目前的研究主要集中于污水处理过程。刘甜甜等^[15]对具有短程生物脱氮污泥实验得出,盐度的突变会导致亚硝酸型反硝化过程N₂O峰值出现时间延后并且浓度增加。王珊珊等^[16]对好氧颗粒污泥全程硝化过程中通过控制进水盐度得出,随着进水盐度的增加溶解态N₂O和释放态N₂O产生量在硝化过程中均呈现先上升后下降的趋势。此外,尚会来等^[17]通过实验得出盐度 7.5 g·L⁻¹的生活污水硝化过程中N₂O产量是未调节盐度的 2.85 倍,且盐度过高波动会导致污水硝化过程中N₂O产量和转化率的大幅升高。然而盐度对矿化垃圾处理渗滤液过程中N₂O产生的影响研究并不多,特别是 SAARB 处理渗滤液过程中更为少见。

基于以上研究背景,本研究在实验室内构建 SAARB,通过调节回灌渗滤液盐度(7、10、15、20、

30 g·L⁻¹,以 NaCl 计),分析不同盐度条件下 SAARB 对回灌渗滤液的处理效果以及N₂O产生规律的影响,以期 SAARB 处理高盐度废水提供一定的理论依据,为填埋场N₂O减排提供一定的理论及工程指导。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 渗滤液

渗滤液取自某生活垃圾填埋场渗滤液调节池。具体理化性质见表 1。根据不同阶段要求,渗滤液进行配比。

1.1.2 矿化垃圾

矿化垃圾取自某生活垃圾填埋场,填埋龄为 8 a。样品在经过 48 h 风干后,人工分拣出大的塑料袋、玻璃瓶、石块、橡胶等大颗粒物质,2 mm 过筛处理后备用。矿化垃圾基本物理化学性质见表 2。

表 1 渗滤液理化性质

Table 1 Physical and chemical characteristics of leachate

指标	COD /mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N /mg·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N /mg·L ⁻¹	NO ₂ ⁻ -N /mg·L ⁻¹	TN /mg·L ⁻¹	DO /mg·L ⁻¹	ORP /mV	pH	盐度(以 NaCl 计) /g·L ⁻¹
数值	8 860 ~ 12 500	1 200 ~ 1 500	50 ~ 70	<1	1 500 ~ 1 800	0.34	-294.5	7.53	7.0

表 2 装填垃圾的物理化学特性

Table 2 Physical and chemical characteristics of aged refuse

指标	含水率/%	有机质/%	TN(以干重计) 质量分数/%	TP(以 P ₂ O ₅ 干重计) 质量分数/%	装填量 /kg	密度 /kg·m ⁻³
数值	10.00	9.00	1.86	2.39	15.00	1 061.57

1.2 实验装置及矿化垃圾装填

实验将矿化垃圾装填于有机玻璃柱内,模拟 SAARB。有机玻璃柱规格为高度1 000 mm,内径 150 mm,壁厚 5 mm。反应器底部设置渗滤液收集口和通风管,顶部设置渗滤液回灌口和气体采样口。填埋柱自下而上依次为 50 mm 渗滤液储存层,50 mm 砾石层,800 mm 矿化垃圾填埋层,50 mm 细沙层用于均匀布水,以及 50 mm 自由空间以贮存气体。实验装置如图 1 所示。

1.3 运行操作方式

实验采用如图 2 所示实验操作流程进行。实验开始前采用容积负荷渐增法^[18]对反应器进行驯化。渗滤液回灌前采用空气压缩机(35 L·min⁻¹)对反应器底部通气导管进行曝气,时间为 5 min,保证反应器内部空气完全置换。然后用蠕动泵回灌,回灌周

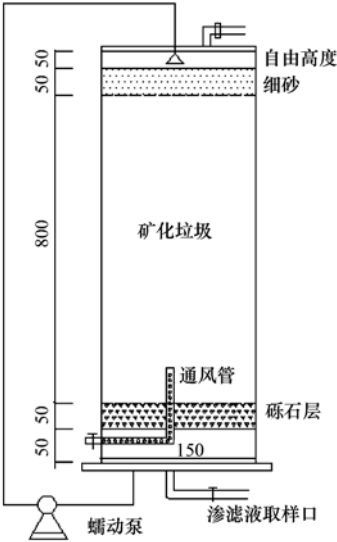


图 1 实验装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

期为 1 d,回灌量为每次 0.5 L,回灌时间为 10 min,回灌速率为 0.05 L·min⁻¹.回灌 24 h 后排空底部渗滤液并收集 100 mL 作为样品进行测定,同时采用 50 mL 注射器抽取顶部气体测定 N₂O 浓度.每个水平在至少 6 周期稳定后进行下一水平的实验.反应器进水是将渗滤液进行 1:5 稀释,并通过添加 NaCl 以调节进水盐度,同时添加渗滤液调节进水渗滤液

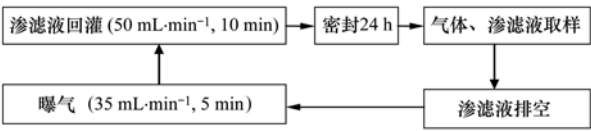


图 2 实验操作流程

Fig. 2 Experimental operation process during a single cycle

COD 和 NH₄⁺-N 浓度在一定范围内,并控制适宜的 pH,回灌采取盐度从低到高的顺序进行.实验在 25~30℃ 的室内进行.

1.4 气体和渗滤液测定和分析方法

1.4.1 测定方法

实验每天采集渗滤液和气体样品进行测定. N₂O 的测定采用 Shimaduz GC 2010 Plus 气相色谱仪分析,色谱柱为 Porapak Q (30 m × 0.53 mm × 20 μm),检测器为电子捕获监测器 ECD,载气为 99.99% 的高纯氮气.操作参数为:定量六通阀进样,进样量 1 mL,柱流量 1.0 mL·min⁻¹,分流比为 20,柱温 60℃,SPL 进样口温度 150℃,ECD 检测器温度 340℃.渗滤液分析指标和方法见表 3.

表 3 渗滤液监测指标及方法

Table 3 Leachate monitoring indexes and methods

监测指标	COD	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	TN
监测方法	重铬酸钾法	纳氏试剂比色法	N-(1-萘基)-乙二胺分光光度法	离子色谱法	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
执行标准	CJ/T 3018.12-1993	HJ 535-2009	GB 7493-87	GB/T 5750.5-2006	GB 11894-89

1.4.2 分析方法

N₂O 气体产生量按公式:

$$m = M_{N_2O} \cdot V \cdot c \cdot P \cdot R^{-1} \cdot T^{-1} + \nabla m \quad (1)$$

式中, m 为 N₂O 产生量(以 N 计),单位为 μg; c 为 N₂O 产生量(体积分数); V 为一个周期内产生的气体体积(L),实际以柱内上部预留空间体积计算; M_{N_2O} 为 N₂O 摩尔质量(28 g·mol⁻¹); P 为大气压力(atm); T 为气体温度(K); R 为理想气体常数[0.082 L·atm·(K·mol)⁻¹]; ∇m 为取气损失量(以 N 计),单位为 μg.

渗滤液中 COD、NH₄⁺-N、TN 去除率按公式:

$$w_i = \Delta q_i \cdot q_i^{-1} \quad (2)$$

式中, w_i 是各指标去除率(%); Δq_i 为进水与出水指标浓度差(mg·L⁻¹); q_i 为各指标进水浓度(mg·L⁻¹).

2 结果与讨论

2.1 出水水质分析

不同盐度条件下反应器在稳定运行后出水水质如图 3~5 所示.

由图 3 可知,随着进水盐度的增加,出水 COD 浓度逐渐升高,去除率逐渐下降,COD 去除率由最初的 95% 下降到 89%.这是由于 7 g·L⁻¹ 盐度时对微生物的抑制作用不明显,进水盐度突然增至 10

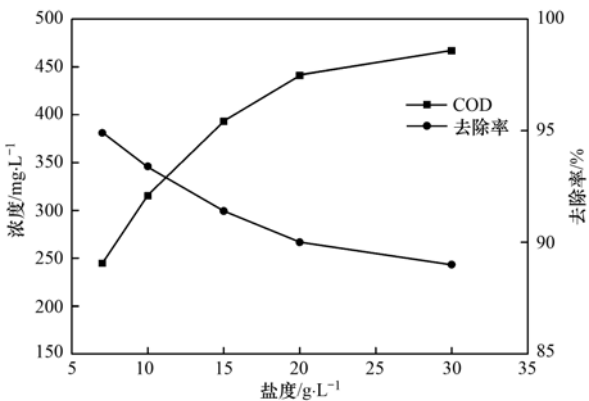


图 3 出水 COD 随进水盐度变化趋势

Fig. 3 COD of effluent leachate as a function of influent salinity

g·L⁻¹时,微生物不能立即适应而出现 COD 去除率下降的现象.后续,随着进水盐度的提高,COD 去除率稳定在 90% 左右,可见系统内的异养微生物逐渐适应了较高的盐度环境,虽然进水 COD 浓度有小范围波动,但整个实验周期 COD 去除率始终在 85% 以上.刘甜甜等^[15]在同类研究中表明,盐度对各菌群的抑制强度中对碳氧化菌的抑制强度最弱.较高的 COD 去除率表明进水渗滤液中有有机碳源得到了充分利用,这也与盐度对反硝化菌等异养菌的抑制程度相关.上述变化可以看出盐度的增加对 SAARB 去除有机物的能力存在一定的影响,但影响不大,此外在一定的盐度浓度范围内经过一定时间

的驯化,不适应高盐度环境的微生物淘汰,耐盐微生物可以通过自身渗透压调节生理作用来保护细胞体内原生质或平衡自身渗透压,逐渐恢复活性^[19,20],使系统仍能达到较高的 COD 去除率,这也与渗滤液中有机物大部分为易生物降解有机物有关。

由图 4 可知,不同进水盐度条件下,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 变化趋势基本一致。随着进水盐度的增加,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 浓度均呈逐渐上升,去除率均呈逐渐下降的趋势。出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 去除率分别由 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐度时的 98.23%、91.48% 降至 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时的 31.75%、34.24%。由于反应器在间歇曝气密封后相当于一个准好氧生物反应床,张爱平等^[21]研究发现准好氧矿化垃圾床系统内存在大量的亚硝化菌、硝化菌、厌氧反硝化菌和好氧反硝化菌,并由此表明准好氧矿化垃圾床处理渗滤液的生物脱氮机制为同步硝化反硝化,主要发生在反应床的表层和底部。本实验只对下层出水进行了水质测定,所测水质已经在反应柱内发生了充分的硝化、反硝化作用。盐度 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 去除率较高,表明反应柱内的硝化、反硝化菌群能很快适应低盐环境,并未对脱氮效果产生明显影响。当进水盐度为 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,去除率分别降至 70.16% 和 69.99%,随着后续进水盐度 ($15 \sim 30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) 的增加,去除率均显著下降,基本处于 50% 以下。这主要是由于盐度的变化使矿化垃圾体内丰富的生物类群受到不同程度的抑制作用,随着盐度升高,系统内脱氮微生物的受抑制作用增强,盐度的突然增大使不能适应高盐环境的微生物被淘汰,适应环境的脱氮微生物生存下来,并成为优势菌群,此过程也是一个菌群优化的过程。盐度对硝化细菌的抑制机制为:盐度的增加,硝化细菌受到外界环境的胁迫,会提高自身渗透压或者通过分泌溶解性微生物产物和胞外聚合物来保护自身,细胞用于维持自身新陈代谢的能量减少,导致硝化菌酶受到影响;此外,适应高盐环境酶系统的形成一方面需要能量,另一方面也需要时间,从而使其硝化能力变弱^[21,22]。而反硝化细菌对有毒有害物质的敏感性比硝化细菌低得多^[23,24]。结合图 5 可以看出,在进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 相同时,随着盐度增加,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率大幅降低的同时出水 $\text{NO}_x^- - \text{N}$ 呈现增加趋势。在盐度为 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,出水水质才出现明显的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 积累现象。由于进水 C/N 始终大于 5,根据同类研究表明此时 C 源并不是反硝化脱氮的限制因素^[25]。可见 NaCl 盐度对硝化细菌

和反硝化细菌均有抑制作用,且对硝化菌的抑制作用远大于反硝化菌。这与 Pronk 等^[26] 和王淑莹等^[27] 在 NaCl 盐度对活性污泥系统脱氮性能的影响研究结果一致。

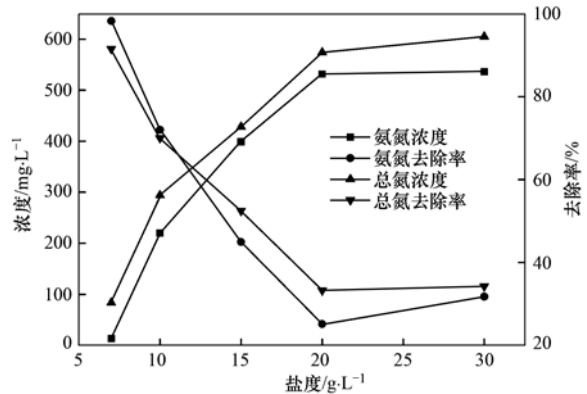


图 4 出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 随盐度变化趋势

Fig. 4 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and TN concentrations of leachate as a function of salinity

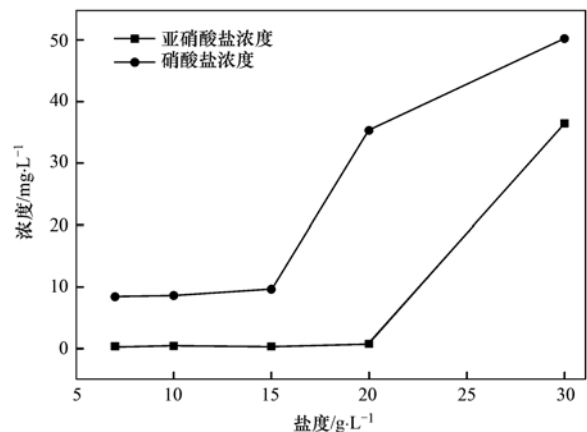


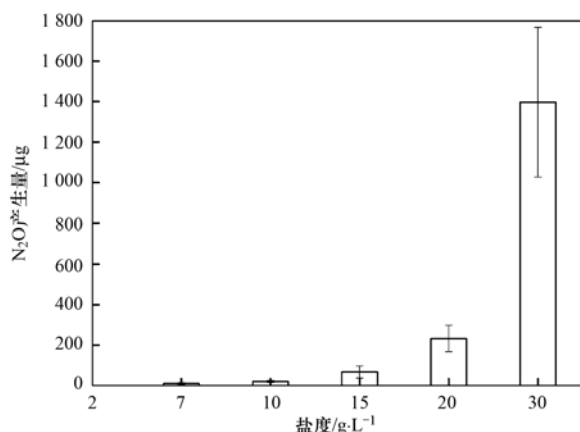
图 5 出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 随盐度变化趋势

Fig. 5 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and $\text{NO}_2^- - \text{N}$ concentrations of leachate as a function of salinity

2.2 N_2O 的产生规律分析

不同盐度条件下,反应器密闭 24 h 后,顶部预留空间气体中 N_2O 产生量变化如图 6 所示。

由图 6 可知,在进水其他条件相同时,随着盐度的增加,反应器中 N_2O 产生量呈增加趋势。在 $7 \sim 15 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐度范围内 N_2O 产生量较少,平均产生量在 $18.16 \sim 66.92 \mu\text{g}$ 之间,占 TN 去除总量的 0.08‰ ~ 0.28‰; 盐度为 $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时平均产生量为 $232.31 \mu\text{g} \pm 65.36 \mu\text{g}$,占 TN 去除总量的 1.63‰; $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 高盐度条件下其 N_2O 平均产生量最高,为 $1397 \mu\text{g} \pm 369.88 \mu\text{g}$,占 TN 去除总量的 8.87‰,是回灌低盐度条件下的 6 ~ 117 倍。可见 N_2O 的产生量与回灌渗

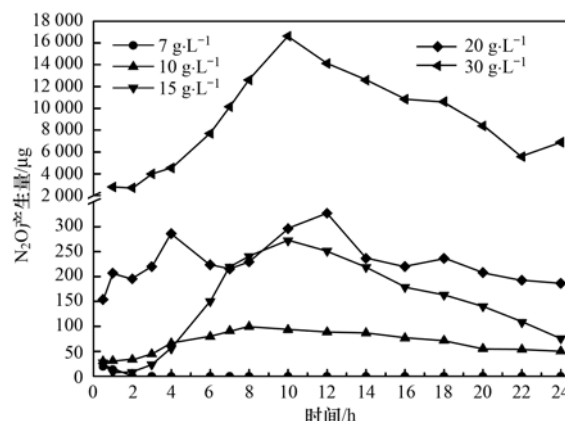
图6 N_2O 产生量随盐度变化趋势Fig. 6 Production of N_2O as a function of salinity

滤液盐度负荷呈显著的正相关。分析原因可能是盐度对硝化和反硝化微生物不同的抑制强度造成 NO_2^- -N 的积累,而 NO_2^- -N 的积累不论对硝化过程还是反硝化过程均是导致 N_2O 产生的关键因素^[28,29]。在进水盐度 $7 \sim 20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时未出现明显 NO_2^- -N 积累现象,但由于盐度增加对硝化过程的抑制作用增强,使硝化过程 N_2O 产生量增加;同时反硝化过程受抑制作用增强,反硝化过程 N_2O 产生量也增加,此外氧化亚氮还原酶 (*Nos*) 受盐度抑制作用增强^[30],使反硝化过程 N_2O 去除量减少,从而使反应器内 N_2O 产生量增加。而盐度为 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时出现了较高的 NO_2^- -N、 NO_3^- -N 积累。氨氧化细菌生成的部分 NO_2^- -N 及硝酸盐还原菌生成的 NO_2^- -N 无法进一步发生反硝化去除。而 NO_2^- -N 的积累也会导致氨氧化细菌产生异构亚硝酸盐还原酶以 NO_2^- -N 为电子受体,导致 N_2O 的产生。同时盐度对 *Nos* 存在抑制作用,使硝化和反硝化过程中产生的 N_2O 无法进一步被还原,从而导致 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐度时较其他盐度条件下 N_2O 的积累与释放量增加显著。

2.3 单周期 N_2O 产生规律分析

以上实验结果分析可知,SAARB 在对渗滤液的回灌处理中进水盐度的改变是影响渗滤液脱氮效果及 N_2O 释放的重要因素。为进一步探究盐度对 N_2O 释放的影响规律,特选不同盐度条件下一个回灌周期,探究 SAARB 内的 N_2O 产生量随时间的动态变化规律(图 7)。

由图 7 可知,随着进水盐度的增加,一个周期内 N_2O 产生量和产生特征随时间变化趋势上存在一定的差异。盐度为 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,初始 N_2O 产生量最高为 $19.61 \mu\text{g}$,然后随时间急剧下降,4 h 后 N_2O 产生量

图7 N_2O 产生量随时间变化趋势Fig. 7 Production of N_2O as a function of time

已低于仪器的检出限。盐度在 $10 \sim 20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围时, N_2O 产生量变化基本一致,呈现先缓慢升高后逐渐降低的趋势。 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐度时,反应器内 N_2O 产生量呈现先骤然升高后缓慢降低的趋势。反应至 10 h 时, N_2O 产生量达最高,为 $16620.23 \mu\text{g}$, 24 h 后, N_2O 产生量明显高于其他盐度条件,为 $6900.40 \mu\text{g}$ 。分析原因是反应器经过曝气后, O_2 充足条件下进行回灌,回灌的渗滤液首先与矿化垃圾表层接触发生硝化反应,从而使反应器产生 N_2O 。随着 O_2 的消耗以及渗滤液的下渗,反应器内存在缺氧-厌氧环境,硝化、反硝化反应同时进行^[21]。随后由于 O_2 的进一步消耗以及 NH_4^+ -N 的降低,硝化过程产生的 N_2O 虽有减少,但反硝化过程在对 NO_x^- -N 的反硝化过程中也会产生部分 N_2O ^[31],使反应器内 N_2O 在一定时间内呈升高趋势;同时存在反硝化微生物产生的 *Nos* 使 N_2O 作为反硝化的中间产物被还原为 N_2 的过程。后期由于反硝化作用的持续进行以及硝化作用的进一步减弱,使反应器内 N_2O 浓度达到峰值后开始逐渐降低。

不同盐度条件下 N_2O 产生量峰值具有较大差异,盐度为 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时 N_2O 产生量的最大值为 $16620.23 \mu\text{g}$,是低盐度 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 条件的 790 倍。低盐度 $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 条件下, N_2O 峰值出现的时间为 4 h;高盐度条件下 ($10 \sim 30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) N_2O 峰值出现在 10 ~ 12 h 之间,与低盐度相比,存在峰值延后的现象,与刘甜甜等^[15] 和 Tsuneda 等^[30] 等的研究报道一致。分析原因是随着进水盐度增加,硝化、反硝化作用所受抑制程度不同造成的。随着进水盐度的增加,硝化作用受抑制强度高,使硝化过程产生副产物 N_2O 浓度依次升高,虽然反硝化作用受抑制强度低,但其产生中间产物 N_2O 也呈升高趋势,而反硝化初期,由

于 Nos 的合成滞后而使 N_2O 不能迅速被还原成 N_2 , 造成 N_2O 积累^[32]. 因此 N_2O 峰值随进水盐度增加呈增加趋势; 而已合成的 Nos 随盐度增加所受抑制也逐渐增加, N_2O 还原作用逐渐减弱, 致使 N_2O 单周期内峰值出现的时间呈现延后趋势.

3 结论

(1) 盐度对 SAARB 回灌渗滤液的处理效果有一定影响. COD 的去除率随进水盐度的增加而降低, 但始终维持在 85% 以上. 与 COD 去除效率相比, 盐度对氮污染物的去除效果有较大影响, NH_4^+-N 、TN 的去除率分别由最初的 98.23%、91.48% 降至 31.75%、34.24%. 同时在高盐度条件下 ($30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) 时, 反应器出水出现了明显的 $NO_2^- -N$ 积累现象.

(2) 随着进水盐度的增加, N_2O 产生量显著增加. 当进水盐度为 $30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时 N_2O 产生量可达到 $(1\,397 \pm 369.88)\text{ }\mu\text{g}$, 占 TN 去除量的 8.87%, 同时单周期内 N_2O 产生量也呈增高趋势, 产生量峰值也出现延后趋势.

(3) 通过本研究发现, 回灌渗滤液存在高盐度环境时, 反应器脱氮效果会受到明显抑制, N_2O 产生量骤然增加, 也就意味着垃圾填埋场的高盐渗滤液回灌可能贡献了 N_2O 的产生, 间接影响全球温室效应.

参考文献:

- [1] 赵由才, 柴晓利, 牛冬杰. 矿化垃圾基本特性研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2006, **34**(10): 1360-1364.
- [2] 石磊, 张全, 牛冬杰, 等. 矿化垃圾反应床处理渗滤液的微生物学特性[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007, **35**(8): 1085-1089.
- [3] 张爱平, 刘丹, 何水晶. 基于准好氧矿化垃圾床的渗滤液脱氮研究[J]. 水处理技术, 2008, **34**(7): 36-38, 42.
- [4] He Y, Zhao Y C, Zhou G M, *et al.* Field assessment of stratified aged-refuse-based reactor for landfill leachate treatment [J]. Waste Management & Research, 2011, **29**(12): 1294-1302.
- [5] Xie B, Zhou L, Chong H, *et al.* Nitrogen removal through different pathways in an aged refuse bioreactor treating mature landfill leachate[J]. Applied Microbiology Biotechnology, 2013, **97**(20): 9225-9234.
- [6] Hassan M, Xie B. Use of aged refuse-based bioreactor/biofilter for landfill leachate treatment [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, **98**(15): 6543-6553.
- [7] Kampschreur M J, Temmink H, Kleerebezem R, *et al.* Nitrous oxide emission during wastewater treatment[J]. Water Research, 2009, **43**(17): 4093-4103.
- [8] De Graaff M S, Zeeman G, Temmink H, *et al.* Long term partial nitrification of anaerobically treated black water and the emission of nitrous oxide[J]. Water Research, 2010, **44**(7): 2171-2178.
- [9] Ravishankara A R, Daniel J S, Portmann R W. Nitrous oxide (N_2O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century[J]. Science, 2009, **326**(5949): 123-125.
- [10] 苏艳萍, 刘丹, 张爱萍, 等. 准好氧矿化垃圾处理渗滤液的工艺参数研究[J]. 四川环境, 2008, **27**(2): 35-38.
- [11] 何水晶, 李启彬, 刘忠鹏. 准好氧矿化垃圾床处理渗滤液的试验研究[J]. 环境科学与技术, 2009, **32**(7): 152-155.
- [12] 李贵芝, 刘丹, 李启彬, 等. 准好氧矿化垃圾生物反应床的最佳工况研究[J]. 环境科学与技术, 2012, **35**(3): 34-37.
- [13] Zhao W, Wang Y Y, Liu S H, *et al.* Denitrification activities and N_2O production under salt stress with varying COD/N ratios and terminal electron acceptors [J]. Chemical Engineering Journal, 2013, **215-216**: 252-260.
- [14] Lončar M, Zupančič M, Bukovec P, *et al.* Fate of saline ions in a planted landfill site with leachate recirculation [J]. Waste Management, 2012, **30**(1): 110-118.
- [15] 刘甜甜, 彭永臻, 王淑莹, 等. 盐度对垃圾渗滤液短程脱氮性能及其 N_2O 产量的影响[J]. 化工学报, 2012, **63**(10): 3269-3276.
- [16] 王珊珊, 梁红, 高大文. 盐度对好氧颗粒污泥硝化过程中 N_2O 产生量的影响[J]. 环境科学, 2014, **35**(11): 4237-4243.
- [17] 尚会来, 彭永臻, 张静蓉, 等. 盐度对污水硝化过程中 N_2O 产量的影响[J]. 环境科学, 2009, **30**(4): 1079-1083.
- [18] 刘丹, 张爱平, 陈锦文. 准好氧生物反应器处理渗滤液系统的驯化研究[J]. 中国给水排水, 2007, **23**(19): 80-82, 86.
- [19] Chen M X, Wang W C, Feng Y, *et al.* Impact resistance of different factors on ammonia removal by heterotrophic nitrification-aerobic denitrification bacterium *Aeromonas* sp. HN-02[J]. Bioresource Technology, 2014, **167**: 456-461.
- [20] 王子超. 盐度和重金属对序批式生物反应器性能及微生物群落结构影响的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [21] 张爱平, 刘丹, 韩智勇, 等. 准好氧矿化垃圾床处理渗滤液的脱氮菌群研究[J]. 环境科学研究, 2011, **24**(1): 102-109.
- [22] Dinçer A R, Kargı F. Salt inhibition kinetics in nitrification of synthetic saline wastewater [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2001, **28**(7-8): 661-665.
- [23] 屈晋云, 刘波, 万馥君, 等. 针对硝化菌抗盐机理的研究[J]. 环境科学与技术, 2012, **35**(9): 108-111.
- [24] Yuan C Y, Li C X, Wang Y, *et al.* Study on the salinity domestication and mechanism of nitrite nitrogen removal of *Acinetobacter lwoffii* [J]. Advanced Materials Research, 2015, **1092-1093**: 641-644.
- [25] 李鹏章, 王淑莹, 彭永臻, 等. COD/N 与 pH 值对短程硝化反硝化过程中 N_2O 产生的影响[J]. 中国环境科学, 2014, **34**(8): 2003-2009.
- [26] Pronk M, Bassin J P, De Kreuk M K, *et al.* Evaluating the main and side effects of high salinity on aerobic granular sludge[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, **98**(3): 1339-

- 1348.
- [27] 王淑莹, 唐冰, 叶柳, 等. NaCl 盐度对活性污泥系统脱氮性能的影响[J]. 北京工业大学学报, 2008, **36**(6): 631-635.
- [28] Alinsafi A, Adouani N, Béline F, *et al.* Nitrite effect on nitrous oxide emission from denitrifying activated sludge [J]. *Process Biochemistry*, 2008, **43**(6): 683-689.
- [29] Ali T U, Ahmed Z, Kim D J. Estimation of N_2O emission during wastewater nitrification with activated sludge: effect of ammonium and nitrite concentration by regression analysis [J]. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2014, **20**(4): 2574-2579.
- [30] Tsuneda S, Mikami M, Kimochi Y, *et al.* Effect of salinity on nitrous oxide emission in the biological nitrogen removal process for industrial wastewater [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2005, **119**(1-3): 93-98.
- [31] 汤洁, 方天儒, 侯克怡, 等. 盐碱区不同开发年限水田温室气体排放规律及影响因素[J]. 环境科学, 2014, **35**(12): 4727-4734.
- [32] Letey J, Valaras N, Focht D D, *et al.* Nitrous oxide production and reduction during denitrification as affected by redox potential [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1981, **45**(4): 727-730.
-

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjcx.ac.cn>). 该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能, 欢迎广大作者、读者和审稿专家使用. 目前我刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行. 作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册, 注册完毕后以作者身份登录, 按照页面上给出的提示投稿即可. 如果您在使用过程中有问题, 请及时与我刊编辑部联系.

邮政地址: 北京市海淀区双清路 18 号《环境科学》编辑部

邮 编: 100085

电 话: 010-62941102, 010-62849343

传 真: 010-62849343

E-mail: hjcx@rcees.ac.cn

网 址: www.hjcx.ac.cn

CONTENTS

Editor's comment	(403)
Risk Assessment and Risk Management of Chemicals in China	WANG Tie-yu, ZHOU Yun-qiao, LI Qi-feng, <i>et al.</i> (404)
Application of Land-use Regression Models in Spatial-temporal Differentiation of Air Pollution	WU Jian-sheng, XIE Wu-dan, LI Jia-cheng (413)
Ecological Footprint Evolution Characteristics and Its Influencing Factors in China from 2000 to 2010	HUANG Bao-rong, CUI Shu-hong, LI Ying-ming (420)
Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosol in PM _{2.5} During Winter in Guanzhong Area	TIAN Peng-shan, CAO Jun-ji, HAN Yong-ming, <i>et al.</i> (427)
Chemical Composition of the Single Particle Aerosol in Winter in Nanning Using SPAMS	LIU Hui-lin, SONG Hong-jun, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> (434)
Correlation Analysis Between Characteristics of VOCs and Ozone Formation Potential in Summer in Nanjing Urban District	YANG Xiao-xiao, TANG Li-li, ZHANG Yun-jiang, <i>et al.</i> (443)
Seasonal Dynamics of Airborne Pollens and Its Relationship with Meteorological Factors in Beijing Urban Area	MENG Ling, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (452)
Mercury Distribution Characteristics and Atmospheric Mercury Emission Factors of Typical Waste Incineration Plants in Chongqing	DUAN Zhen-ya, SU Hai-tao, WANG Feng-yang, <i>et al.</i> (459)
Characteristics of Atmospheric Dry and Wet Deposition of Trace Metals in the Hinterland of the Three Gorges Reservoir, China	ZHANG Liu-yi, LIU Yuan, QIAO Bao-qing, <i>et al.</i> (466)
Monitoring and Analysis of Stable Isotopes of the Near Surface Water Vapor in Changsha	XIE Yu-long, ZHANG Xin-ping, YAO Tian-ci, <i>et al.</i> (475)
Mercury Transport from Glacier to Runoff in Typical Inland Glacial Area in the Tibetan Plateau	SUN Xue-jun, WANG Kang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (482)
Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Core Sediments from Lakes of Tibet	GUO Bi-xi, LIU Yong-qin, ZHANG Fan, <i>et al.</i> (490)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Inflow Rivers to Northeastern Lake Tanganyika	YU Cheng, CHEN Shuang, ZHANG Lu (499)
Over One Hundred Year Sediment Record of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lake Bosten, Xinjiang	SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> (507)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Environmental Media from Qinghai Island, Zhoushan, China	ZHENG Huang, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> (513)
Transformation of Non-point Source Soluble Nitrogen in Simulated Drainage Ditch	LI Qiang-kun, SONG Chang-ji, HU Ya-wei, <i>et al.</i> (520)
Influence of Landscape Heterogeneity on Total Nitrogen Concentration in Zhongtian River Watershed	WANG Jing-ping, LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, <i>et al.</i> (527)
Nitrogen Release from Sediment Under Dry and Rainy Season Alternation and Its Contribution to N Export from Xiangxi Watershed in Jiangxi Province	HAN Ning, HAO Zhuo, XU Ya-juan, <i>et al.</i> (534)
Spatial and Temporal Distributions of Nitrogen and Phosphate in the Chaohu Lake	XI Shan-shan, ZHOU Chun-cai, LIU Gui-jian, <i>et al.</i> (542)
Phosphorus Fractions and Release Risk in Surface Sediments of an Agricultural Headwater Stream System in Hefei Suburban, China	PEI Ting-ting, LI Ru-zhong, GAO Su-di, <i>et al.</i> (548)
Surface Property and Sorption Characteristics of Phosphorus onto Surface Sediments in Sanggou Bay	ZHU Jia-mei, CAO Xiao-yan, LIU Su-mei, <i>et al.</i> (558)
Particle Size Distribution and Pollutant Speciation Analyses of Stormwater Runoff in the Ancient Town of Suzhou	LI Huai, WU Wei, TIAN Yong-jing, <i>et al.</i> (565)
Abundance of Toxic and Non-toxic <i>Microcystis</i> sp. in Lake Hongze and Its Correlation with Environmental Factors	LI Da-ming, ZHANG Tong-qing, TANG Sheng-kai, <i>et al.</i> (573)
Effect of Charge-Transfer Complex on Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Property of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Waters of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas	JIANG Tao, LIANG Jian, ZHANG Mu-xue, <i>et al.</i> (580)
Influence of pH on Kinetics of Anilines Oxidation by Permanganate	WANG Hui, SUN Bo, GUAN Xiao-hong (588)
Effects of EDTA on the Reductive Dechlorination of 2,4-D by Pd/Fe	ZHOU Hong-yi, NIE Ya-zhong, CHEN Yong, <i>et al.</i> (595)
Preparation of NiAl-MMO Films Electrode and Its Capacitive Deionization Property	WANG Ting, ZHU Chun-shan, HU Cheng-zhi (602)
Competitive Microbial Oxidation and Reduction of Arsenic	YANG Ting-ting, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (609)
Community Characteristics of ANAMMOX Bacteria in Subsurface Flow Constructed Wetland(SSFCW) for Processing of Aquaculture Waster Water	ZENG Xian-lei, LIU Xing-guo, WU Zong-fan, <i>et al.</i> (615)
Analysis of Pathogenic Bacteria in Reclaimed Water and Impact of UV Disinfection on the Removal of Pathogenic Bacteria	JING Ming, WANG Lei (622)
Analysis of the Microbial Community Structure in Continuous Flow Reactor Enhanced by Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterium <i>Burkholderia</i> sp. YX02	SHAO Ji-lun, CAO Gang, LI Zi-hui, <i>et al.</i> (630)
Comparative Metagenomics of BIOLAK and A ² O Activated Sludge Based on Next-generation Sequencing Technology	TIAN Mei, LIU Han-hu, SHEN Xin (638)
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Strain Isolated from Marine Environment	SUN Qing-hua, YU De-shuang, ZHANG Pei-yu, <i>et al.</i> (647)
Removal of AOX and Chroma in Biologically Treated Effluent of Chemical Dyestuff Wastewater with Nanoscale Ni/Fe	SHU Xiao-ming, XU Can-can, LIU Rui, <i>et al.</i> (655)
Feasibility of 3BER-S Process for the Deep Denitrification in Synch with the Removal of PAEs from Reclaimed Water	XU Peng-cheng, HAO Rui-xia, ZHANG Ya, <i>et al.</i> (662)
Influence of Reaction Time on Titanate Nanomaterials and Its Adsorption Capability for Lead in Aqueous Solutions	FAN Gong-duan, CHEN Li-ru, LIN Ru-jing, <i>et al.</i> (668)
Sorption Characteristics of Phenanthrene and 1,1-Dichloroethene onto Reed Straw Biochar in Aquatic Solutions	WU Qing-wen, MENG Liang, ZHANG Zhi-hao, <i>et al.</i> (680)
Adsorption Characteristics of Norfloxacin by Biochars Derived from Reed Straw and Municipal Sludge	ZHANG Han-yu, WANG Zhao-wei, GAO Jun-hong, <i>et al.</i> (689)
Effect of Seasonal Temperature Increasing on Nitrogen Mineralization in Soil of the Water Level Fluctuating Zone of Three Gorge Tributary During the Dry Period	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, LIU Dan, <i>et al.</i> (697)
Effects of Warming and Straw Application on Soil Respiration and Enzyme Activity in a Winter Wheat Cropland	CHEN Shu-tao, SANG Lin, ZHANG Xu, <i>et al.</i> (703)
Distribution of Urban Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation in Different Functional Zones of Yinchuan City	WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu (710)
Differential Effect and Mechanism of <i>in situ</i> Immobilization of Cadmium Contamination in Soil Using Diatomite Produced from Different Areas	ZHU Jian, WANG Ping, LIN Yan, <i>et al.</i> (717)
Characteristics of Adsorption Leaching and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate in Purple Soil	WANG Qiang, SONG Jiao-yan, ZENG Wei, <i>et al.</i> (726)
Cd Runoff Load and Soil Profile Movement After Implementation of Some Typical Contaminated Agricultural Soil Remediation Strategies	LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, TIE Bai-qing, <i>et al.</i> (734)
Concentrations and Component Profiles PAHs in Surface Soils and Wheat Grains from the Cornfields Close to the Steel Smelting Industry in Handan, Hebei Province	WU Di, WANG Yi-long, LIU Wei-jian, <i>et al.</i> (740)
Effect of Arbuscular Mycorrhiza (AM) on Tolerance of Cattail to Cd Stress in Aquatic Environment	LUO Peng-cheng, LI Hang, WANG Shu-guang (750)
Acute Toxic Effects of Bromate on Aquatic Organisms	WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> (756)
Development of Self-assembled Dumbbell-like Fe ₃ O ₄ Micro/nanomaterial for Application in Thermocatalytic Degradation of Polybrominated Biphenyls	HUANG Xin-chen, ZONG Gang, LIU Ye-xuan, <i>et al.</i> (765)
Impact of Salinity on Leachate Treatment and N ₂ O Releases from Semi-aerobic Aged-refuse Bioreactor	LI Wei-hua, SUN Ying-jie, LIU Zi-liang, <i>et al.</i> (775)
Evaluating the Significance of Odor Gas Released During the Directly Drying Process of Sludge: Based on the Multi-index Integrated Assessment Method	DING Wen-jie, CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, <i>et al.</i> (782)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2016年2月15日 第37卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 2 Feb. 15, 2016

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@ rcees. 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@ rcees. 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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行