

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第7期

Vol.39 No.7

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

近20年来中国典型区域PM _{2.5} 时空演变过程	罗毅,邓琼飞,杨昆,杨扬,商春雪,喻臻钰 (3003)
西安市PM _{2.5} 健康损害价值评估	魏国茹,史兴民 (3014)
河北香河亚微米气溶胶组分特性、来源及其演变规律分析	江琪,王飞,孙业乐 (3022)
南京北郊秋季PM _{2.5} 碳质组分污染特征及来源分析	徐足飞,曹芳,高嵩,鲍孟盈,石一凡,章炎麟,刘晓妍,范美益,张雯淇,卞航,刘寿东 (3033)
临安夏季霾和清洁天气PM _{2.5} 化学组成特征比较	梁林林,孙俊英,张养梅,刘畅,徐婉筠,张根,刘旭艳,马千里 (3042)
盘锦市秋冬季节PM _{2.5} 中碳组分特征及来源解析	张蕾,姬亚芹,张军,王士宝,李越洋,赵静琦,张伟 (3051)
南京冬季气溶胶光学特性及黑碳光吸收增强效应	黄聪聪,马嫣,郑军 (3057)
夏季青岛大气粗细粒子中微量元素的浓度、溶解度及干沉降通量	李鹏志,李茜,石金辉,高会旺,姚小红 (3067)
太原市夏季降水中溶解态重金属特征及来源	叶艾玲,程明超,张璐,何秋生,郭利利,王新明 (3075)
杭州地区大气CO ₂ 体积分数变化特征及影响因素	浦静姣,徐宏辉,姜瑜君,杜荣光,齐冰 (3082)
典型工业源VOCs治理现状及排放组成特征	景盛翱,王红丽,朱海林,杨强,卢滨,夏阳,余传冠,陶士康,李莉,楼晟荣,黄成,唐伟,井宝莉 (3090)
地级市域工业VOCs排放源产排特性及其控制技术应用现状:以秦皇岛市为例	胡旭睿,虎啸宇,王灿 (3096)
青霉素发酵尾气VOCs污染特征及健康风险评价	郭斌,么瑞静,张硕,马磊,康江,王姗姗 (3102)
轻型汽油车尾气OC和EC排放因子实测研究	黄成,胡馨遥,鲁君 (3110)
南京市大气降尘重金属污染水平及风险评价	田春晖,杨若杼,古丽扎尔·依力哈木,钱新,王金花,李慧明 (3118)
西安城区路面细颗粒灰尘重金属污染水平及来源分析	石栋奇,卢新卫 (3126)
三峡库区主要河流秋季pCO ₂ 及其影响因素	罗佳宸,毛蓉,李思悦 (3134)
泾河支流地表水地下水的水化学特征及其控制因素	寇永朝,华琨,李洲,李志 (3142)
生物滞留对城市地表径流磷的去除途径	李立青,刘雨倩,杨佳敏,王娟 (3150)
淀山湖浮游植物功能群演替特征及其与环境因子的关系	杨丽,张玮,尚光霞,张军毅,王丽卿,魏华 (3158)
抚仙湖硅藻群落的时空变化特征及其与水环境的关系	李蕊,陈光杰,康文刚,陈丽,王教元,陈小林,刘园园,冯钟,张涛 (3168)
蓝藻水华及其降解对沉积物-水微界面的影响	王永平,谢瑞,晁建颖,姬昌辉,于剑 (3179)
生物炭对人工湿地植物根系形态特征及净化能力的影响	徐德福,潘潜澄,李映雪,陈晓艺,王佳俊,周磊 (3187)
Mn-Co/蜂窝陶瓷催化剂制备及催化臭氧化对苯二酚效能	张兰河,高伟国,陈子成,张海丰,王旭明 (3194)
Fe/Cu双金属活化过一硫酸盐降解四环素的机制	李晶,鲍建国,杜江坤,冷一非,孔淑琼 (3203)
铈酸盐改性钛酸纳米片对水中Cd(II)的吸附行为及机制	康丽,刘文,刘晓娜,刘宏芳,李一菲 (3212)
铁锰原位氧化产物吸附微量磷的实验	蔡言安,毕学军,张嘉凝,董杨,刘文哲 (3222)
制备方法对铁钛复合氧化物磷吸附性能的影响:共沉淀法与机械物理混合法	仲艳,王建燕,陈静,张高生 (3230)
电导率对厌氧产酸、正渗透与微生物燃料电池耦合工艺运行性能的影响	陆宇琴,刘金梦,王新华,李秀芬,李晔 (3240)
不同磷浓度下生物除磷颗粒系统的COD需求	李冬,曹美忠,郭跃洲,梅宁,李帅,张杰 (3247)
基质浓度对ABR反应器SAD协同脱氮除碳效能影响	张敏,姜滢,汪瑶琪,韦佳敏,陈重军,沈耀良 (3254)
采用含硫铁化学污泥作为反硝化电子供体进行焦化废水中总氮深度去除	付炳炳,潘建新,马景德,王丰,吴海珍,韦朝海 (3262)
间歇曝气下短程硝化耦合污泥微膨胀稳定性	高春娣,孙大阳,安冉,赵楠,焦二龙,祝海兵 (3271)
基于高通量测序的SBR反应器丝状膨胀污泥菌群分析	洪颖,姚俊芹,马斌,徐双,张彦江 (3279)
纳米零价铁(NZVI)对厌氧产甲烷活性、污泥特性和微生物群落结构的影响	苏润华,丁丽雨,任洪强 (3286)
气水比对后置固相反硝化滤池工艺脱氮及微生物群落影响	张千,吉芳英,付旭芳,陈晴空 (3297)
活性污泥胞外多聚物提取方法的比较	孙秀玥,唐珠,杨新萍 (3306)
耐冷嗜碱蒙氏假单胞菌H97的鉴定及其好氧反硝化特性	蔡茜,何腾霞,冶青,李振轮 (3314)
PFOS前体物质(PreFOSs)降解菌的分离鉴定及其降解特性	赵淑艳,周涛,王博慧,梁田坤,柳丽芬 (3321)
采油井场土壤微生物群落结构分布	蔡萍萍,宁卓,何泽,张敏,石建省 (3329)
铜尾矿坝不同恢复年限土壤理化性质和酶活性的特征	王瑞宏,贾彤,曹苗文,柴宝峰 (3339)
广西某赤泥堆场周边土壤重金属污染风险	郭颖,李玉冰,薛生国,廖嘉欣,王琼丽,吴川 (3349)
邻苯二甲酸酯在重庆市城市土壤中的污染分布特征及来源分析	杨志豪,何明靖,杨婷,卢俊峰,魏世强 (3358)
成都平原区水稻土有机碳剖面分布特征及影响因素	李珊,李启权,王昌全,张浩,肖怡,唐嘉玲,代天飞,李一丁 (3365)
塔里木盆地北缘绿洲不同连作年限棉田土壤有机碳、无机碳含量与环境因子的相关性	赵晶晶,贡璐,安申群,李杨梅,陈新 (3373)
塔里木盆地北缘绿洲4种土地利用方式土壤有机碳组分分布特征及其与土壤环境因子的关系	安申群,贡璐,李杨梅,陈新,孙力 (3382)
高原喀斯特土壤有机碳短期稳定的温度作用机制	唐国勇,张春华,刘方炎,马艳 (3391)
施硼对水稻幼苗吸收和分泌砷的影响	朱毅,孙国新,陈正,胡莹,郑瑞伦 (3400)
不同改良剂对铅镉污染农田水稻重金属积累和产量影响的比较分析	胡雪芳,田志清,梁亮,陈俊德,张志民,朱祥民,王士奎 (3409)
南京大气臭氧浓度的季节变化及其对主要作物影响的评估	赵辉,郑有飞,魏莉,关清 (3418)
三峡库区涪陵和忠县两地居民发汞含量水平及影响因素分析	程楠,谢青,樊宇飞,王永敏,张成,王定勇 (3426)
人粪便好氧堆肥过程中典型抗生素的消减特性	时红蕾,王文昌,李倩 (3434)
COD/SO ₄ ²⁻ 对青霉素菌渣厌氧消化影响	强虹,李玉友,裴梦富 (3443)
果蔬类垃圾主发酵堆肥产物储放和利用的恶臭释放特征	何品晶,蒋宁玲,徐贤,韦顺艳,邵立明,吕凡 (3452)
曾用抗生素磺胺二甲嘧啶对稻田NH ₃ 挥发的影响	庞炳坤,张敬沙,吴杰,李志琳,蒋静艳 (3460)
《环境科学》征订启事(3141)	
《环境科学》征稿简则(3202)	
信息(3229, 3433, 3451)	

电导率对厌氧产酸、正渗透与微生物燃料电池耦合工艺运行性能的影响

陆宇琴¹, 刘金梦¹, 王新华^{1*}, 李秀芬¹, 李晔²

(1. 江南大学环境与土木工程学院, 江苏省厌氧生物技术重点实验室, 无锡 214122; 2. 浙江环科环境研究院有限公司, 杭州 310007)

摘要: 将厌氧产酸(AA)、正渗透技术(FO)与微生物燃料电池(MFC)进行耦合, 构建了用于污水处理的 AAFO-MFC 耦合工艺, 实现污水的同步产电和回用。由于电导率是 AAFO-MFC 运行的关键因素, 考察了电导率对系统运行性能的影响。结果表明, 较高的电导率可以降低 MFC 的内阻, 提高产电, 但是会加重 FO 膜污染, 导致 FO 膜通量快速衰减, 缩短运行时间。电导率对出水水质并没有显著影响, FO 膜出水的总有机碳(TOC)和总磷(TP)浓度分别低于 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 但是 FO 膜对于氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)的截留效果较差。控制反应器内电导率为 $7 \sim 8 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时, 系统整体性能表现最佳, 可以获得连续且相对稳定的输出电压, 而且 FO 膜通量下降较为缓慢, 运行周期达到 29 d。

关键词: 电导率; 微生物燃料电池; 正渗透; 产电; 污水处理

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)07-3240-07 DOI: 10.13227/j.hjks.201712150

Effects of Conductivity on Performance of a Combined System of Anaerobic Acidification, Forward Osmosis, and a Microbial Fuel Cell

LU Yu-qin¹, LIU Jin-meng¹, WANG Xin-hua^{1*}, LI Xiu-fen¹, LI Ye²

(1. Jiangsu Key Laboratory of Anaerobic Biotechnology, School of Environmental and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Zhejiang Huanke Engineering Design Co., Ltd., Hangzhou 310007, China)

Abstract: In this study, a novel combined system for simultaneous recovery of bioelectricity and water from wastewater was developed by integrating anaerobic acidification and a forward osmosis (FO) membrane with a microbial fuel cell (AAFO-MFC). Conductivity was thought to be an important factor affecting the performance of the AAFO-MFC system. Thus, effects of conductivity on the performance of AAFO-MFC system in treating synthetic wastewater were investigated. The results indicated that a higher conductivity increased the bioelectricity production, owing to a reduction in the internal resistance. However, it resulted in a rapid decrease of FO water flux and a shorter operating time because of a severer membrane fouling. The conductivity had no impact on the water quality of the effluents. The total organic carbon (TOC) and total phosphorus (TP) concentrations in the FO permeate were less than 4 and 0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively, at all conductivity levels. However, the rejection of the FO membrane for $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ was lower at all conductivity levels. The optimal comprehensive performance of this system was obtained when the conductivity was maintained at $7 \sim 8 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$. In this case, the AAFO-MFC system achieved continuous and relatively stable power generation, and the water flux of FO membrane was relatively stable during a long-term operation of approximately 29 days.

Key words: conductivity; microbial fuel cell; forward osmosis; bioelectricity production; wastewater treatment

正渗透(FO)和微生物燃料电池(MFC)作为两种新兴的技术,已经在污水处理与回用领域引起越来越多的关注。FO过程利用膜两侧的渗透压差作为驱动力,使水分子自发地通过半透膜,具有出水水质好和膜污染趋势小等优点^[1~3]。然而,采用FO处理污水时,污水中所含的有机物仅仅是被截留,并未得到回收利用^[4]。MFC利用微生物作为催化剂,可将污水中的有机物直接转化成电能,但其出水水质较差,无法直接排放或回用^[5~8]。针对FO和MFC的优点和缺点,有学者提出将两种技术进行耦合,在同一系统中同时实现污水回用和生物电回收^[9,10]。目前,FO与MFC的耦合方式主要是采用FO膜代

替MFC中的质子交换膜,形成正渗透微生物燃料电池(OsMFC),借助FO膜的高效截留能力提高出水水质和产电性能^[9~13]。然而,FO膜的反向盐渗透和膜污染限制了OsMFC的长期稳定运行^[14~16]。针对OsMFC存在的问题, Liu等^[17]将FO膜、厌氧产酸(AA)和MFC进行全新的耦合(AAFO-MFC),改变FO膜作为质子交换膜的作用,利用其对小分子有机物的高效截留能力,实现污水水质的提升以及

收稿日期: 2017-12-19; 修订日期: 2018-01-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(51578265)

作者简介: 陆宇琴(1993~),女,硕士研究生,主要研究方向为污水处理与资源化, E-mail: 2437622315@qq.com

* 通信作者, E-mail: xhwang@jiangnan.edu.cn

有机物的富集,然后利用 MFC 使有机物以生物电的形式回收,实现了系统的长期稳定运行。

在 AAFO-MFC 系统中,较高的电导率不仅导致 FO 膜通量快速下降,而且影响污泥浓度、污泥粒径以及胞外聚合物(EPS)等污泥性质,加重 FO 膜污染^[16]。然而,在一定范围内提高电导率可以促进离子传递,从而降低内阻,提高 MFC 的产电性能^[14, 15]。因此,电导率是限制 AAFO-MFC 系统运行的关键因素,寻找最佳的电导率具有十分重要的意义。本研究的目的是考察电导率对 AAFO-MFC 系统运行性能的影响,以期获得最佳的电导率。

1 材料与方法

1.1 实验装置

AAFO-MFC 系统由生物反应器和单室空气阴极 MFC 两部分耦合而成,如图 1 所示。生物反应器的有效体积为 4.5 L,内置 FO 和微滤(MF)两个膜组件。FO 膜的材质为醋酸纤维(CTA),有效膜面积为 0.025 m²,采用活性层朝向原料液(AL-FS)的方式运行。FO 膜采用 0.5 mol·L⁻¹的 NaCl 作为汲取液。为了维持汲取液盐度的稳定,借助电导率控制仪,通过补充 5 mol·L⁻¹的高浓度 NaCl 溶液来实现。MF 膜为聚偏氟乙烯(PVDF)材质,平均孔径为 0.2 μm,有效膜面积为 0.025 m²。为了减缓膜污染以及提高传质效果,借助自身产生的生物气进行曝气。气体循环速率控制在 2 L·min⁻¹左右。为了提高产酸的效果,通过向反应器中加入 NaOH 溶液来维持反应器中污泥混合液的 pH 在 9.5 左右。

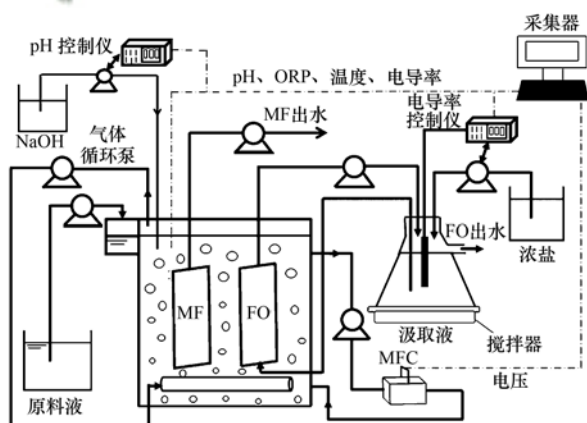


图 1 AAFO-MFC 装置

Fig. 1 Flow diagram of the AAFO-MFC system

本实验采用单室空气阴极 MFC,其有效体积为 160 mL。MFC 与生物反应器联通,即生物反应器中的污泥混合液进入 MFC,在产电菌利用厌氧产酸产

生的小分子有机物之后,再回流到生物反应器中。阳极材料为石墨毡(三业碳素有限公司,北京),电极面积 40 cm²。阴极为活性炭-PTFE 空气阴极,电极面积为 40 cm²。MFC 两电极间通过外接 500 Ω 的电阻相连接。

1.2 运行条件

AAFO-MFC 的进水为模拟生活污水,其总有机碳(TOC)、氨氮(NH₄⁺-N)、总氮(TN)和总磷(TP)浓度分别为(146.3 ± 2.69)、(28.1 ± 1.19)、(31.7 ± 1.90)和(2.2 ± 0.11) mg·L⁻¹。模拟生活污水的配方为:葡萄糖 230 mg·L⁻¹、蛋白胨 60 mg·L⁻¹、无水乙酸钠 40 mg·L⁻¹、牛肉膏 20 mg·L⁻¹、NaHCO₃ 198 mg·L⁻¹、KH₂PO₄ 12 mg·L⁻¹、NH₄HCO₃ 170 mg·L⁻¹、MgCl₂·6H₂O 2.4 mg·L⁻¹、无水 CaCl₂ 1.2 mg·L⁻¹、FeCl₃·6H₂O 1 mg·L⁻¹。接种污泥取自无锡太湖新城污水处理厂,在运行前首先用模拟生活污水在碱性条件下进行厌氧驯化。待厌氧酸化污泥性质稳定后,再接种到生物反应器中。MFC 直接利用生物反应器中的混合液作为接种物和底物,直至连续稳定产电,完成驯化过程。

为了避免高盐度带来的不利影响,一般控制耦合 FO 的生物反应器的电导率为 4 ~ 5 mS·cm⁻¹^[17]。此外,根据 Fan 等的研究^[18],当电导率为 9 ~ 10 mS·cm⁻¹时,产电效果较好。基于以上分析,为了考察电导率对 AAFO-MFC 整体运行性能的影响,通过调节 MF 膜的通量,分别将生物反应器中的电导率控制在 4 ~ 5、7 ~ 8 和 9 ~ 10 mS·cm⁻¹。

整个实验过程都在恒温箱中进行,温度始终维持在(28 ± 0.5)℃。污泥停留时间(SRT)控制在 80 d,混合液悬浮物浓度(MLSS)为 2 ~ 3 g·L⁻¹。为了获得较好的产酸效果,在实验过程中使用 0.2 mol·L⁻¹的氢氧化钠(pH = 13.5)调节反应器中的 pH 值在 9.5 ± 0.2^[17, 19, 20]。

1.3 测定方法

1.3.1 水质分析

膜通量采用单位时间内通过单位膜面积的透过液量来表示,单位 L·(m²·h)⁻¹。电导率和 pH 分别采用便携式电导率仪(EC300A, YSI, 美国)和台式 pH 计(DELTA 320, 梅特勒-托利多)进行测定。进水、滤液、MF 出水、FO 出水的氨氮、TN、TP 以及 MLSS 和混合液挥发性悬浮固体浓度(MLVSS)均采用国家标准方法测定^[21]。进水、滤液、MF 出水、FO 出水的 TOC 采用 TOC 分析仪(TOC-Vcsh, 岛津, 日本)测定。污泥混合液中 EPS 采用加热法提

取^[22],其浓度采用蛋白质和多糖加和的形式表示.蛋白质采用考马斯亮蓝法测定^[22],而多糖采用苯酚-硫酸法测定^[22].

1.3.2 电化学分析

输出电压 U 由数据采集卡 (RBH8221 型,瑞博华,北京) 自动记录,每 30 min 记录一次. 电流 I 由欧姆定律 $I = U/R$ 计算,其中 R 为外电阻. 电压输出达到峰值且稳定时,通过改变外电阻 ($10 \sim 10\,000\ \Omega$) 分别测得 MFC 在不同外电阻时的输出电压,然后根据 $P = U^2/R$ 、 $p = IU/A$ 和 $i = I/A$,分别求得输出功率、功率密度和电流密度,并绘制极化曲线和功率密度曲线. MFC 内阻由极化曲线的斜率计算得到^[23].

1.3.3 VFA 的测定

采用 GC-2010 气相色谱仪 (岛津,日本) 测定污泥混合液中的挥发性脂肪酸 (VFA). 将 2 mL 污泥混合液在 $12\,000\ \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 下离心 10 min,所得上清液经 $0.45\ \mu\text{m}$ 膜过滤后,取 0.5 mL 滤液于离心管中,加入等体积 $3\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的磷酸酸化后,再加入等体积 $0.835\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 4-甲基戊酸作为内标物进行气相色谱分析. 采用 AOC-20i 自动进样装置. 毛细管柱型号 PEG-20M, $30\ \text{m} \times 0.32\ \text{mm} \times 0.50\ \mu\text{m}$. 气化室温度 250°C , FID 检测器温度 250°C . 采用一阶程序

升温,柱箱初始温度 80°C ,保留 2 min,升温速率 $15^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$,升至 190°C ,停留 1 min. 氮气作为载气.

2 结果与讨论

2.1 电导率对产电的影响

不同电导率条件下 AAFO-MFC 电压输出情况如图 2 所示. 从中可以看出,在每个电导率条件下,AAFO-MFC 系统均表现出连续且相对稳定的电压输出,但随着运行时间的增加,电压均略有下降并分别稳定在 0.41、0.39 和 0.35 V. 整个运行周期结束后,通过改变外阻,获得 MFC 的极化曲线和最大功率密度曲线. 由图 2 可知,电导率为 $9 \sim 10\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时, MFC 获得的最大功率密度最高,为 $4.55\ \text{W} \cdot \text{m}^{-3}$,电导率为 $7 \sim 8\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时次之,而电导率为 $4 \sim 5\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 最低. 与电导率为 $9 \sim 10\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 相比,电导率为 $7 \sim 8\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 和 $4 \sim 5\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时, MFC 所获得的最大功率密度分别下降了 7.4% 和 22.2%. 各电导率所对应 MFC 的表观内阻分别为 167.1、181.4 和 $234.8\ \Omega$. 以上结果表明,电导率越高, MFC 内阻越低,获得的功率密度也越大. 这是由于较高的电导率会促进电子以及离子传递,从而降低内阻,提高产电性能^[15,24].

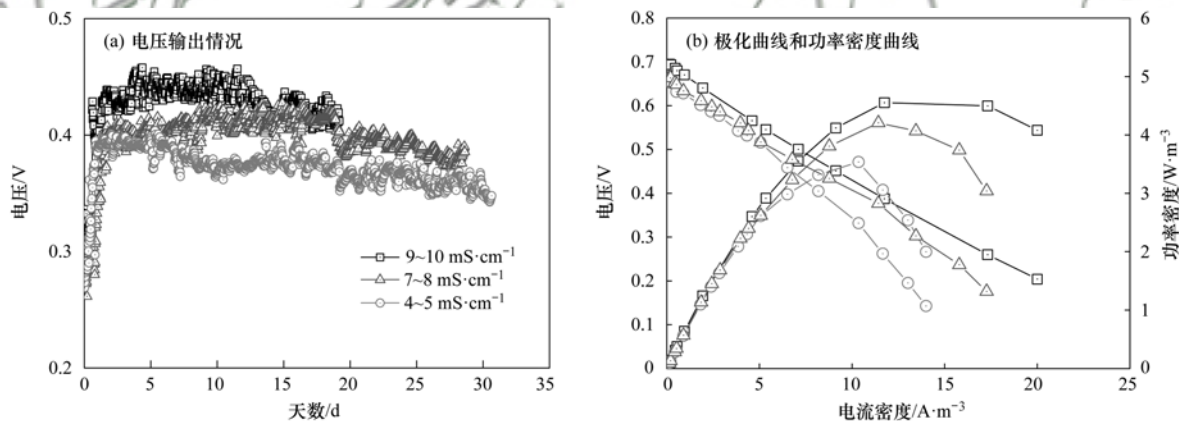


图 2 不同电导率条件下电压输出情况以及极化曲线和功率密度曲线

Fig. 2 Electricity generation, power density, and polarization curves at different conductivities

2.2 电导率对 FO 膜通量的影响

不同电导率条件下, FO 膜通量随时间的变化如图 3 所示. 从中可以发现,在所有电导率条件下, FO 膜通量都分为初期的快速下降和后期的缓慢下降两个阶段. 当 FO 膜通量降至 $2\ \text{L} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 以下时, AAFO-MFC 运行结束. 这与相关报道中 FO 膜处理污水过程中的通量变化情况一致^[25].

此外,从图 3 还可以看出,在电导率为 $9 \sim 10\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时, FO 膜通量下降较快,仅在运行 19 d

后,通量即降至 $2\ \text{L} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 以下,通量下降速率为 $0.25\ \text{L} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. 然而,在电导率为 $7 \sim 8\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 和 $4 \sim 5\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时, FO 膜通量的下降则较为平缓,运行周期分别为 29 d 和 31 d,对应的通量下降速率分别为 $0.15\ \text{L} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $0.14\ \text{L} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. 与电导率为 $9 \sim 10\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 相比,电导率为 $7 \sim 8\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 和 $4 \sim 5\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时, AAFO-MFC 系统的运行时间分别提高了 52.6% 和 63.1%. 因此,较高的电导率水平不利于反应器长

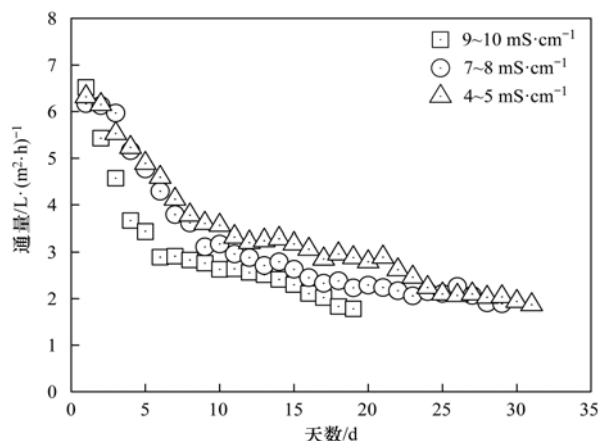


图3 不同电导率条件下膜通量随时间的变化

Fig. 3 Changes in water fluxes of the FO membrane with operating time at different conductivities

期运行. 然而, 相比于 $7 \sim 8 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, 较低的电导率水平 ($4 \sim 5 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) 并没有明显延长 FO 膜运行时间, 这可能是由于电导率为 $4 \sim 5 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时, FO 膜通量较大, 通量的增加反而会造成更加严重的膜污染^[26].

2.3 电导率对出水水质的影响

2.3.1 TOC 去除以及 VFA 变化

为了考察电导率对 AAF0-MFC 系统去除有机物的影响, 分别定期测定进水、滤液、MF 出水及 FO 出水中 TOC 的变化, 结果如图 4 所示. 从中可以看出, 在各个电导率条件下, AAF0-MFC 系统对有机物都表现出较好的整体去除效果. 其中, 由于 FO 膜对有机物具有较好的截留性能, 每个电导率条件下的 FO 出水中 TOC 的浓度均低于 $4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, FO 膜对 TOC 的去除率均大于 97%. 相对于 FO 膜, MF 膜出水中的 TOC 浓度略高, 这表明 FO 膜截留能力优于 MF 膜. 相比之下, 控制反应器电导率为 $9 \sim 10 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的条件下, 滤液中的 TOC 浓度较其他电导率条件明显要高, 这可能是由于高的电导率条件对微生物活性有一定的抑制作用, 影响了生物反应器对有机物的去除.

此外, 在不同电导率条件下, 污泥混合液中的 VFA 仅有乙醇被检测到, 并未发现其他的挥发酸, 比如乙酸等. 相关文献表明, 乙醇同样可以作为 MFC 的底物^[27,28]. 这说明, 在 AAF0-MFC 系统中, 主要通过厌氧产酸过程将复杂有机物转化为易被 MFC 利用的小分子乙醇和有机酸, 同时利用 FO 膜的高效截留能力实现积累, 从而提高产电.

2.3.2 NH_4^+ -N、TN 和 TP 的变化

由图 5 可以发现, AAF0-MFC 系统在不同电导

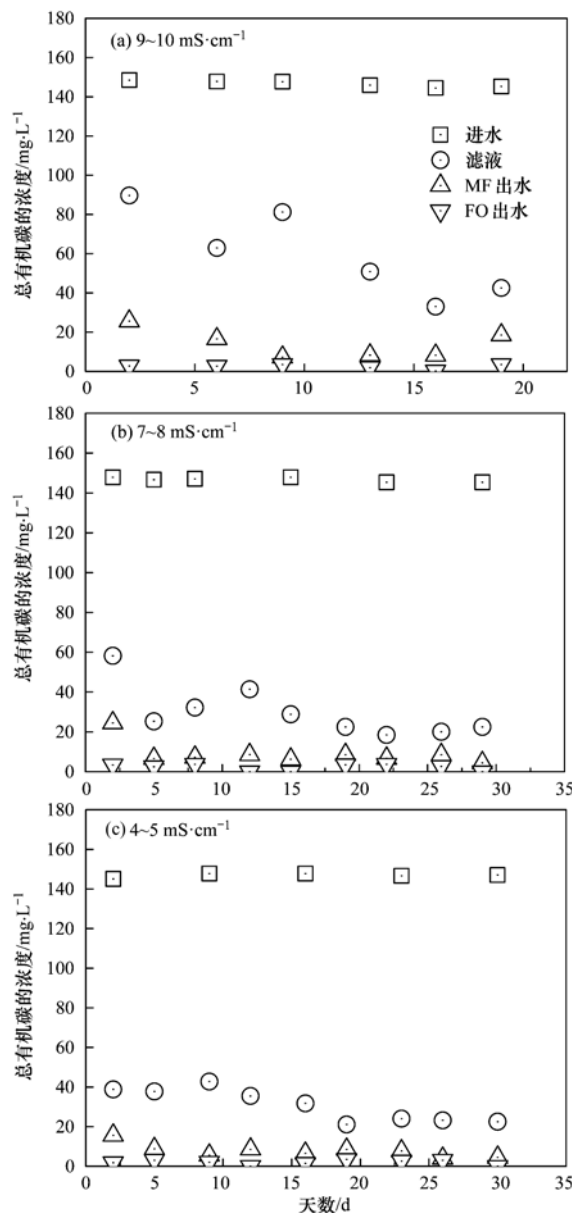


图4 不同电导率条件下进水、滤液、MF 出水和 FO 出水中 TOC 的变化

Fig. 4 Variations in TOC concentrations of the influent, sludge supernatant, and MF and FO effluents at different conductivities

率条件下运行时, FO 膜对 NH_4^+ -N 的截留效果均不太理想, 出水中 NH_4^+ -N 浓度仍然较高, 对 NH_4^+ -N 的截留率分别为 20% ~ 28%, 16% ~ 23% 和 18% ~ 25%. 事实上, FO 膜对 NH_4^+ -N 截留效果差这一现象在文献[15]中也有报道. 相比于 FO 膜, MF 膜截留能力更差, 甚至对 NH_4^+ -N 没有截留. 此外, 由于生物反应器处于厌氧酸化阶段, 主要发生有机氮向 NH_4^+ -N 的转化, NH_4^+ -N 就成为 TN 的主要存在形式. 因此, 滤液、MF 和 FO 出水中 TN 的变化规律与 NH_4^+ -N 相同, 不再赘述. 对于 TP 来说, 由图 6 可以看出, 在不同电导率条件下反应器中的 TP 均出现

一定程度的累积,但由于 FO 膜的高效截留作用,FO 出水中的 TP 浓度均低于 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,对 TP 的

截留率均达到 95% 以上,明显优于 MF 膜. 电导率并未对 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 TP 的去除产生显著影响.

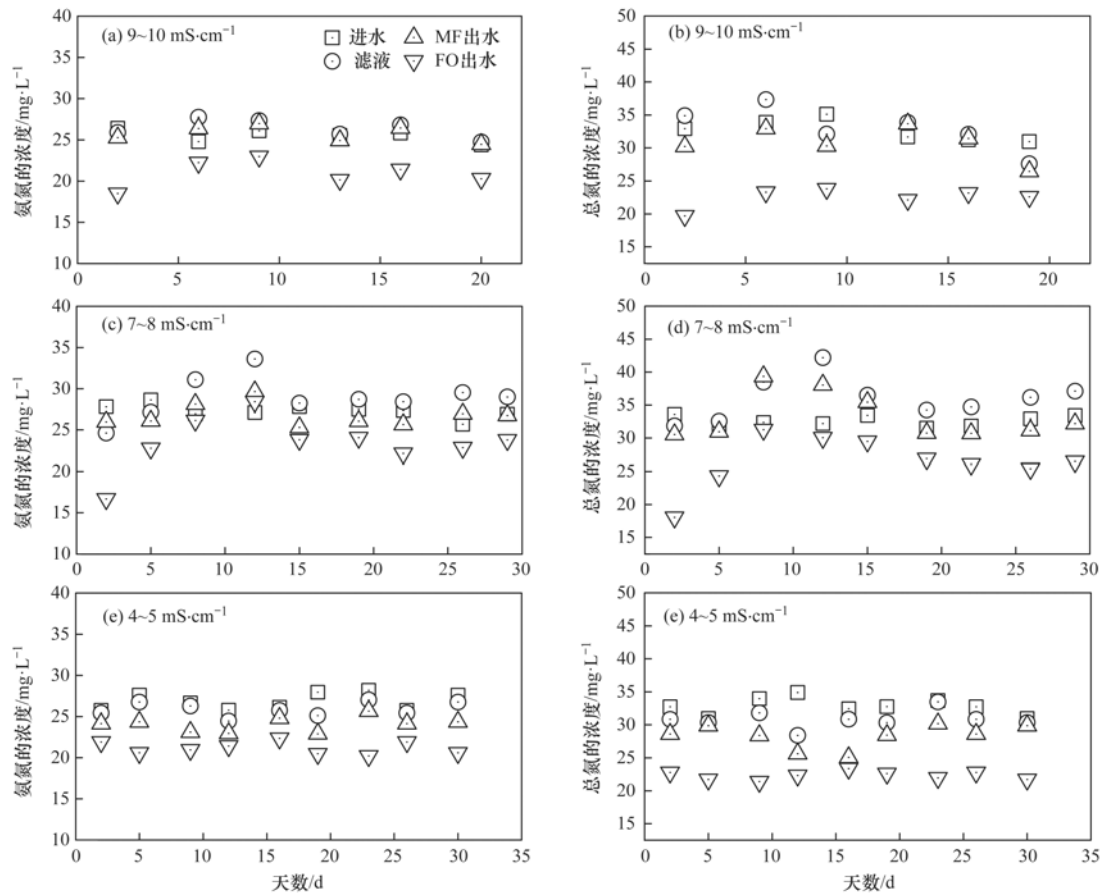


图5 不同电导率条件下进水、滤液、MF 出水和 FO 出水中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 TN 的变化

Fig. 5 Variations in $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ and TN concentrations of the influent, sludge supernatant, and MF and FO effluents at different conductivities

2.4 EPS 变化情况

EPS 主要由微生物产物 (SMP) 和胞外聚合物 (BEPS) 两部分组成,对污泥性质以及膜污染均具有较大的影响. 在本实验中,进水主要以葡萄糖作为碳源,因此, SMP 和 BEPS 均以多糖为主^[22]. 在不同电导率条件下,反应器中 SMP、BEPS 以及污泥浓度的变化情况如图 7 所示. 从中可以看出,当电导率为 $9 \sim 10 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时,污泥浓度明显下降,从最初的 $2.54 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右下降至 $1.08 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,而其他两组实验中污泥浓度虽有所降低,但下降幅度较小. 导致污泥浓度下降的原因主要有两方面,一方面是由于通量的下降,水力停留时间过长,营养物质匮乏,细胞发生内源消化^[29]; 另一方面,反应器内盐度的累积对微生物的活性产生抑制^[28]. 对比 3 组实验可知,后者是导致本实验中污泥浓度下降较快的主要原因. 此外,反应器内电导率为 $9 \sim 10 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时, SMP 和 BEPS 的浓度均明显高于其他两组实验. 这是因为在较高的盐度环境下,微生物

细胞为了适应环境会发生水解等现象,导致 EPS 含量会有所上升^[2]. 考虑到 EPS 对膜污染的重要贡献,较高的 EPS 含量可能会加重 AAFO-MFC 系统运行过程中 FO 膜的生物污染. 因此,控制反应器内电导率为 $9 \sim 10 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 会造成较为严重的膜污染,缩短 FO 膜运行时间,这与 2.2 节中的实验结果相一致.

3 结论

(1) 较高的电导率可以降低 MFC 的内阻,提高产电. 然而,较高的电导率对微生物活性会产生抑制,造成 EPS 浓度的上升,加重膜污染,导致 FO 膜通量快速衰减,缩短运行时间.

(2) 电导率对出水水质没有显著影响. 在各电导率条件下, FO 膜对有机物以及 TP 均具有较好的截留能力,其中 FO 出水中有机物去除率均可达 97% 以上, FO 出水中 TP 均低于 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 然而, FO 膜对于 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的截留效果较差.

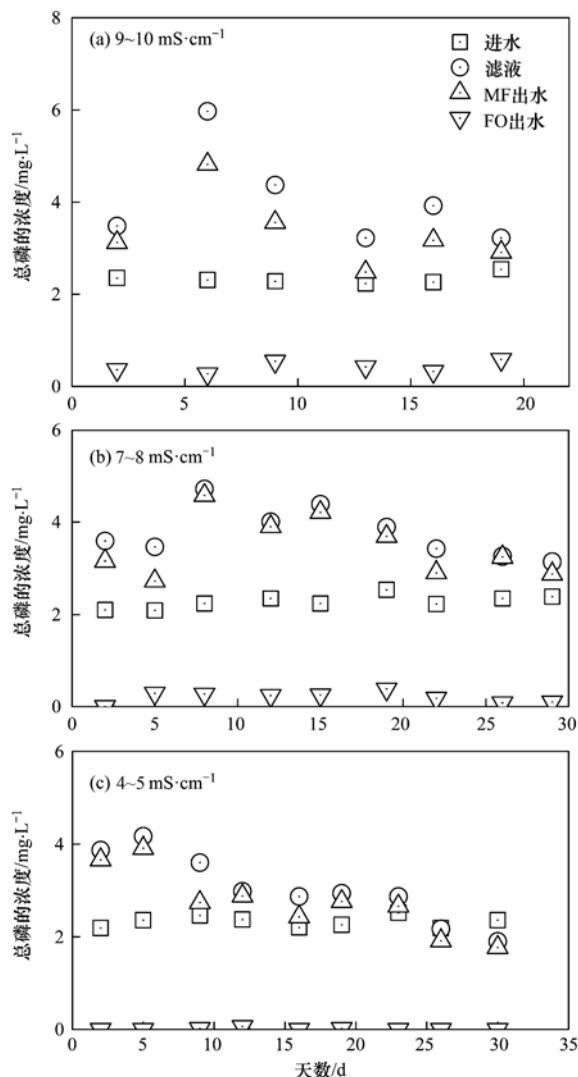


图6 不同电导率条件下进水、滤液、MF出水和FO出水中TP的变化

Fig. 6 Variations in TP concentrations of the influent, sludge supernatant, and MF and FO effluents at different conductivities

(3) AAFO-MFC 的最佳电导率为 $7 \sim 8 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, 此时污泥性质较为稳定, FO 膜通量衰减相对较小, 电压稳定在 0.39 V , 最大功率密度为 $4.21 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$.

参考文献:

- [1] Cath T Y, Childress A E, Elimelech M. Forward osmosis: principles, applications, and recent developments[J]. *Journal of Membrane Science*, 2006, **281**(1-2): 70-87.
- [2] Chen L, Gu Y S, Cao C Q, *et al.* Performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor with forward osmosis membrane for low-strength wastewater treatment [J]. *Water Research*, 2014, **50**: 114-123.
- [3] Holloway R W, Regnery J, Nghiem L D, *et al.* Removal of trace organic chemicals and performance of a novel hybrid ultrafiltration-osmotic membrane bioreactor [J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **48**(18): 10859-10868.
- [4] Achilli A, Cath T Y, Marchand E A, *et al.* The forward osmosis

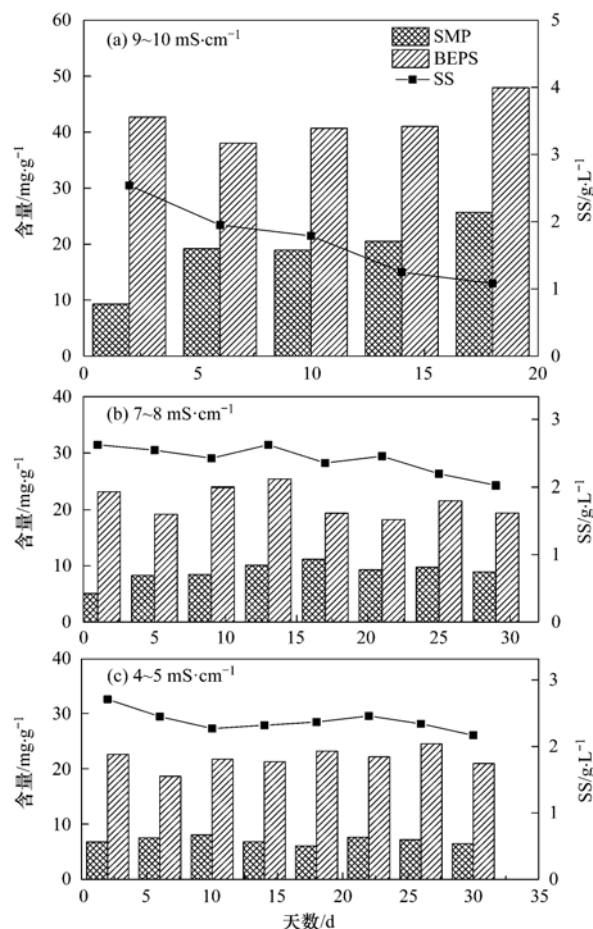


图7 不同电导率条件下EPS和污泥浓度的变化

Fig. 7 Variations in EPS and MLSS under different conductivities

membrane bioreactor: a low fouling alternative to MBR processes [J]. *Desalination*, 2009, **239**(1-3): 10-21.

- [5] Zhang X Y, He W H, Ren L J, *et al.* COD removal characteristics in air-cathode microbial fuel cells[J]. *Bioresource Technology*, 2015, **176**: 23-31.
- [6] Logan B E, Wallack M J, Kim K Y, *et al.* Assessment of microbial fuel cell configurations and power densities [J]. *Environmental Science & Technology Letters*, 2015, **2**(8): 206-214.
- [7] 唐玉兰, 彭漫, 于燕, 等. 处理垃圾渗滤液的 Fe/C 空气阴极 MFC 性能研究[J]. *环境科学*, 2012, **33**(6): 2125-2130. Tang Y L, Peng M, Yu Y, *et al.* Performance of microbial fuel cells with Fe/C catalyst carbon felt air-cathode for treating landfill leachate [J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(6): 2125-2130.
- [8] 孙洪伟, 王淑莹, 张树军. 高氮渗滤液短程深度脱氮及反硝化动力学[J]. *环境科学*, 2010, **31**(1): 129-133. Sun H W, Wang S Y, Zhang S J. Advanced nitrogen removal via nitrite from landfill leachate with high nitrogen concentration and kinetics of denitrification [J]. *Environmental Science*, 2010, **31**(1): 129-133.
- [9] Ge Z, He Z. Effects of draw solutions and membrane conditions on electricity generation and water flux in osmotic microbial fuel cells[J]. *Bioresource Technology*, 2012, **109**: 70-76.
- [10] Ge Z, Ping Q Y, Xiao L, *et al.* Reducing effluent discharge and recovering bioenergy in an osmotic microbial fuel cell treating

- domestic wastewater[J]. *Desalination*, 2013, **312**: 52-59.
- [11] Ismail Z Z, Ibrahim M A. Desalination of oilfield produced water associated with treatment of domestic wastewater and bioelectricity generation in microbial osmotic fuel cell [J]. *Journal of Membrane Science*, 2015, **490**: 247-255.
- [12] Werner C M, Logan B E, Saikaly P E, *et al.* Wastewater treatment, energy recovery and desalination using a forward osmosis membrane in an air-cathode microbial osmotic fuel cell [J]. *Journal of Membrane Science*, 2013, **428**: 116-122.
- [13] Zhang F, Brastad K S, He Z. Integrating forward osmosis into microbial fuel cells for wastewater treatment, water extraction and bioelectricity generation [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, **45**(15): 6690-6696.
- [14] Lefebvre O, Tan Z, Kharkwal S, *et al.* Effect of increasing anodic NaCl concentration on microbial fuel cell performance [J]. *Bioresource Technology*, 2012, **112**: 336-340.
- [15] Karthikeyan R, Selvam A, Cheng K Y, *et al.* Influence of ionic conductivity in bioelectricity production from saline domestic sewage sludge in microbial fuel cells [J]. *Bioresource Technology*, 2016, **200**: 845-852.
- [16] Wang X H, Chang V W C, Tang C Y. Osmotic membrane bioreactor (OMBR) technology for wastewater treatment and reclamation: advances, challenges, and prospects for the future [J]. *Journal of Membrane Science*, 2016, **504**: 113-132.
- [17] Liu J M, Wang X H, Wang Z W, *et al.* Integrating microbial fuel cells with anaerobic acidification and forward osmosis membrane for enhancing bio-electricity and water recovery from low-strength wastewater[J]. *Water Research*, 2017, **110**: 74-82.
- [18] Fan Y Z, Hu H Q, Liu H. Sustainable power generation in microbial fuel cells using bicarbonate buffer and proton transfer mechanisms[J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, **41**(23): 8154-8158.
- [19] Xie L, Liu H, Chen Y G, *et al.* pH-adjustment strategy for volatile fatty acid production from high-strength wastewater for biological nutrient removal[J]. *Water Science & Technology*, 2014, **69**(10): 2043-2051.
- [20] Yuan H Y, Chen Y G, Zhang H X, *et al.* Improved bioproduction of short-chain fatty acids (SCFAs) from excess sludge under alkaline conditions[J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, **40**(6): 2015-2029.
- [21] 国家环境保护总局. 水和废水检测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [22] Chen K, Wang X H, Li X F, *et al.* Impacts of sludge retention time on the performance of submerged membrane bioreactor with the addition of calcium ion [J]. *Separation and Purification Technology*, 2011, **82**: 148-155.
- [23] Logan B E, Hamelers B, Rozendal R, *et al.* Microbial fuel cells: methodology and technology[J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, **40**(17): 5181-5192.
- [24] Yang F, Ren L J, Pu Y P, *et al.* Electricity generation from fermented primary sludge using single-chamber air-cathode microbial fuel cells[J]. *Bioresource Technology*, 2013, **128**: 784-787.
- [25] Wang X H, Chen Y, Yuan B, *et al.* Impacts of sludge retention time on sludge characteristics and membrane fouling in a submerged osmotic membrane bioreactor [J]. *Bioresource Technology*, 2014, **161**: 340-347.
- [26] Kitade T, Wu B, Chong T H, *et al.* Fouling reduction in MBR-RO processes: the effect of MBR F/M ratio[J]. *Desalination and Water Treatment*, 2013, **51**(25-27): 4829-4838.
- [27] Sharma Y, Li B K. The variation of power generation with organic substrates in single-chamber microbial fuel cells (SCMFCs) [J]. *Bioresource Technology*, 2010, **101**(6): 1844-1850.
- [28] De Los Angeles Fernandez M, De Los Angeles Sanroman M, Marks S, *et al.* A grey box model of glucose fermentation and syntrophic oxidation in microbial fuel cells [J]. *Bioresource Technology*, 2016, **200**: 396-404.
- [29] Yogalakshmi K N, Joseph K. Effect of transient sodium chloride shock loads on the performance of submerged membrane bioreactor[J]. *Bioresource Technology*, 2010, **101**(18): 7054-7061.

CONTENTS

Spatial-Temporal Change Evolution of PM _{2.5} in Typical Regions of China in Recent 20 Years	LUO Yi, DENG Qiong-fei, YANG Kun, <i>et al.</i>	(3003)
Evaluation the Extent of Health Damage Caused by PM _{2.5} Particulate in Xi'an City	WEI Guo-ru, SHI Xing-min	(3014)
Analysis of Chemical Composition, Source and Evolution of Submicron Particles in Xianghe, Hebei Province	JIANG Qi, WANG Fei, SUN Ye-le	(3022)
Characteristics and Source Analysis of Carbonaceous Components of PM _{2.5} During Autumn in the Northern Suburb of Nanjing	XU Zu-fei, CAO Fang, GAO Song, <i>et al.</i>	(3033)
Comparison of Chemical Components Characteristics of PM _{2.5} Between Haze and Clean Periods During Summertime in Lin'an	LIANG Lin-lin, SUN Jun-ying, ZHANG Yang-mei, <i>et al.</i>	(3042)
Characteristics and Sources of Carbon Components in PM _{2.5} During Autumn and Winter in Panjin City	ZHANG Lei, JI Ya-qin, ZHANG Jun, <i>et al.</i>	(3051)
Aerosol Optical Properties and Light Absorption Enhancement of EC During Wintertime in Nanjing	HUANG Cong-cong, MA Yan, ZHENG Jun	(3057)
Concentration, Solubility, and Dry Deposition Flux of Trace Elements in Fine and Coarse Particles in Qingdao During Summer	LI Peng-zhi, LI Qian, SHI Jin-hui, <i>et al.</i>	(3067)
Characteristics and Sources of Dissolved Heavy Metals in Summer Precipitation of Taiyuan City, China	YE Ai-ling, CHENG Ming-chao, ZHANG Lu, <i>et al.</i>	(3075)
Characteristics of and Factors Affecting Atmospheric CO ₂ Concentration in Hangzhou	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, JIANG Yu-jun, <i>et al.</i>	(3082)
Treatment Status and Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds from Typical Industrial Sources	JING Sheng-ao, WANG Hong-li, ZHU Hai-lin, <i>et al.</i>	(3090)
Characteristics of Industrial VOCs Emission Sources and Control Technology Application in a Prefecture-level City Region-Based on Qinhuangdao City	HU Xu-rui, HU Xiao-yu, WANG Can	(3096)
Pollution Condition and Health Risk Assessment of VOCs in Fermentation Exhaust from Penicillin Production	GUO Bin, YAO Rui-jing, ZHANG Shuo, <i>et al.</i>	(3102)
Measurements of OC and EC Emission Factors for Light-duty Gasoline Vehicles	HUANG Cheng, HU Qing-yao, LU Jun	(3110)
Pollution Levels and Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Nanjing	TIAN Chun-hui, YANG Ruo-zhu, Gulizhaer Yilihamu, <i>et al.</i>	(3118)
Contamination Levels and Source Analysis of Heavy Metals in the Finer Particles of Urban Road Dust from Xi'an, China	SHI Dong-qi, LU Xin-wei	(3126)
pCO ₂ in the Main Rivers of the Three Gorges Reservoir and Its Influencing Factors	LUO Jia-chen, MAO Rong, LI Si-yue	(3134)
Major Ionic Features and Their Possible Controls in the Surface Water and Groundwater of the Jinghe River	KOU Yong-chao, KUA Kun, LI Zhou, <i>et al.</i>	(3142)
Urban Runoff Phosphorus Removal Pathways in Bioretention Systems	LI Li-qing, LIU Yu-qing, YANG Jia-min, <i>et al.</i>	(3150)
Succession Characteristics of Phytoplankton Functional Groups and Their Relationships with Environmental Factors in Dianshan Lake, Shanghai	YANG Li, ZHANG Wei, SHANG Guang-xia, <i>et al.</i>	(3158)
Spatio-temporal Variations of Diatom Community and Their Relationship with Water Environment in Fuxian Lake	LI Rui, CHEN Guang-jie, KANG Wen-gang, <i>et al.</i>	(3168)
Effects of Algal Blooms and Their Degradation on the Sediment-water Micro-interface	WANG Yong-ping, XIE Rui, CHAO Jian-ying, <i>et al.</i>	(3179)
Effect of Biochar on Root Morphological Characteristics of Wetland Plants and Purification Capacity of Constructed Wetland	XU De-fu, PAN Qian-cheng, LI Ying-xue, <i>et al.</i>	(3187)
Preparation of Mn-Co/Ceramic Honeycomb Catalyst and Its Performance on Catalytic Ozonation of Hydroquinone	ZHANG Lan-he, GAO Wei-wei, CHEN Zi-cheng, <i>et al.</i>	(3194)
Degradation Mechanism of Tetracycline Using Fe/Cu Oxides as Heterogeneous Activators of Peroxymonosulfate	LI Jing, BAO Jian-guo, DU Jiang-kun, <i>et al.</i>	(3203)
Behavior and Mechanisms of Cd(II) Adsorption from Water by Niobate-Modified Titanate Nanosheets	KANG Li, LIU Wen, LIU Xiao-na, <i>et al.</i>	(3212)
Trace Amounts of Phosphorus Removal Based on the in-suit Oxidation Products of Iron or Manganese in a Biofilter	CAI Yan-an, BI Xue-jun, ZHANG Jia-ning, <i>et al.</i>	(3222)
Effect of Preparation Methods on Phosphate Adsorption by Iron-Titanium Binary Oxide: Coprecipitation and Physical Mixing	ZHONG Yan, WANG Jiang-yan, CHEN Jing, <i>et al.</i>	(3230)
Effects of Conductivity on Performance of a Combined System of Anaerobic Acidification, Forward Osmosis, and a Microbial Fuel Cell	LU Yu-qin, LIU Jin-meng, WANG Xin-hua, <i>et al.</i>	(3240)
COD Requirement for Biological Phosphorus Removal Granule System Under Different Phosphorus Concentrations	LI Dong, CAO Mei-zhong, GUO Yue-zhou, <i>et al.</i>	(3247)
Effect of Substrate Concentration on SAD Collaborative Nitrogen and Carbon Removal Efficiency in an ABR Reactor	ZHANG Min, JIANG Ying, WANG Yao-qi, <i>et al.</i>	(3254)
Evaluation of Advanced Nitrogen Removal from Coking Wastewater Using Sulfide Iron-containing Sludge as a Denitrification Electron Donor	FU Bing-bing, PAN Jian-xin, MA Jing-de, <i>et al.</i>	(3262)
Stability of Nitrification Combined with Limited Filamentous Bulking Under Intermittent Aeration	GAO Chun-di, SUN Da-yang, AN Ran, <i>et al.</i>	(3271)
Filamentous Sludge Microbial Community of a SBR Reactor Based on High-throughput Sequencing	HONG Ying, YAO Jun-qin, MA Bin, <i>et al.</i>	(3279)
Impact of Nano Zero-Valent Iron (NZVI) on Methanogenic Activity, Physiological Traits, and Microbial Community Structure in Anaerobic Digestion	SU Run-hua, DING Li-li, REN Hong-qiang	(3286)
Effects of Gas/Water Ratio on the Characteristics of Nitrogen Removal and the Microbial Community in Post Solid-Phase Denitrification Biofilter Process	ZHANG Qian, JI Fang-ying, FU Xu-fang, <i>et al.</i>	(3297)
Comparison of Extraction Methods of Extracellular Polymeric Substances from Activated Sludge	SUN Xiu-yue, TANG Zhu, YANG Xin-ping	(3306)
Identification and Characterization of a Hypothermic Alkaliphilic Aerobic Denitrifying Bacterium <i>Pseudomonas monteilii</i> Strain H97	CAI Xi, HE Teng-xia, YE Qing, <i>et al.</i>	(3314)
Isolation, Identification, and Biodegradation Behaviors of a Perfluorooctane Sulfonic Acid Precursor (PreFOSs) Degrading Bacterium from Contaminated Soil	ZHAO Shu-yan, ZHOU Tao, WANG Bo-hui, <i>et al.</i>	(3321)
Microbial Community Distributions in Soils of an Oil Exploitation Site	CAI Ping-ping, NING Zhuo, HE Ze, <i>et al.</i>	(3329)
Characteristics of Soil Physicochemical Properties and Enzyme Activities over Different Reclaimed Years in a Copper Tailings Dam	WANG Rui-hong, JIA Tong, CAO Miao-wen, <i>et al.</i>	(3339)
Risk Analysis of Heavy Metal Contamination in Farmland Soil Around a Bauxite Residue Disposal Area in Guangxi	GUO Ying, LI Yu-bing, XUE Sheng-guo, <i>et al.</i>	(3349)
Occurrence and Distribution of Phthalate Esters in Urban Soils of Chongqing City	YANG Zhi-hao, HE Ming-jing, YANG Ting, <i>et al.</i>	(3358)
Profile Distribution of Paddy Soil Organic Carbon and Its Influencing Factors in Chengdu Plain	LI Shan, LI Qi-quan, WANG Chang-quan, <i>et al.</i>	(3365)
Correlation Between Soil Organic and Inorganic Carbon and Environmental Factors in Cotton Fields in Different Continuous Cropping Years in the Oasis of the Northern Tarim Basin	ZHAO Jing-jing, GONG Lu, AN Shen-qun, <i>et al.</i>	(3373)
Soil Organic Carbon Components and Their Correlation with Soil Physicochemical Factors in Four Different Land Use Types of the Northern Tarim Basin	AN Shen-qun, GONG Lu, LI Yang-mei, <i>et al.</i>	(3382)
Short-term Mechanism of Warming-induced Stability for Organic Carbon in the Karst Plateau Soil	TANG Guo-yong, ZHANG Chun-hua, LIU Fang-yan, <i>et al.</i>	(3391)
Effects of Boron Treatment on Arsenic Uptake and Efflux in Rice Seedlings	ZHU Yi, SUN Guo-xin, CHEN Zheng, <i>et al.</i>	(3400)
Comparative Analysis of Different Soil Amendment Treatments on Rice Heavy Metal Accumulation and Yield Effect in Pb and Cd Contaminated Farmland	HU Xue-fang, TIAN Zhi-qing, LIANG liang, <i>et al.</i>	(3409)
Seasonal Variation in Surface Ozone and Its Effect on the Winter Wheat and Rice in Nanjing, China	ZHAO Hui, ZHENG You-fei, WEI Li, <i>et al.</i>	(3418)
Hair Mercury Concentrations in Residents of Fuling and Zhongxian in the Three Gorges Reservoir Region and Their Influence Factors	CHENG Nan, XIE Qing, FAN Yu-fei, <i>et al.</i>	(3426)
Removal of Typical Antibiotics During Aerobic Composting of Human Feces	SHI Hong-lei, WANG Xiao-chang, LI Qian	(3434)
Effect of COD/SO ₄ ²⁻ Ratio on Anaerobic Digestion of Penicillin Bacterial Residues	QIANG Hong, LI Yu-you, PEI Meng-fu	(3443)
Characteristics of Odor Emissions from Fresh Compost During Storage and Application	HE Pin-jing, JIANG Ning-ling, XU Xian, <i>et al.</i>	(3452)
Effects of the Veterinary Antibiotic Sulfamethazine on Ammonia Volatilization from a Paddy Field Treated with Conventional Synthetic Fertilizer and Manure	PANG Bing-kun, ZHANG Jing-sha, WU Jie, <i>et al.</i>	(3460)