

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

**2013**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

16 届亚运会期间广州城区 PM<sub>2.5</sub> 化学组分特征及其对霾天气的影响 ..... 陶俊, 柴发合, 高健, 曹军骥, 刘随心, 张仁健 (409)

北京地区秋季雾霾天 PM<sub>2.5</sub> 污染与气溶胶光学特征分析 ..... 赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 马志强, 董璠, 何迪 (416)

上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究 ..... 王倩, 陈长虹, 王红丽, 周敏, 楼晟荣, 乔利平, 黄成, 李莉, 苏雷燕, 牟莹莹, 陈宜然, 陈明华 (424)

杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征 ..... 谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠 (434)

保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别 ..... 李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 王跃思 (441)

春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究 ..... 周变红, 张承中, 王格慧 (448)

华东区域高山背景点 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 背景值及污染特征 ..... 苏彬彬, 刘心东, 陶俊 (455)

基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估 ..... 田秀英, 蔡强, 刘锐, 张永明 (462)

积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征 ..... 张刚, 王宁, 艾建超, 张蕾, 杨净, 刘子琪 (468)

靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究 ..... 徐林波, 高勤峰, 董双林, 刘佳, 傅秀娟 (476)

正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究 ..... 欧杰, 王延华, 杨浩, 胡建芳, 陈霞, 邹军, 谢云 (484)

干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素 ..... 刘玉燕, 刘浩峰, 张兰 (494)

降尘收集方法对降尘效率的影响 ..... 张正德, 董治宝 (499)

海河流域水生生态功能一级二级分区 ..... 孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶 (509)

长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究 ..... 时志强, 张运林, 王明珠, 刘笑茵 (517)

内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究 ..... 黄昌春, 李云梅, 徐良将, 杨浩, 吕恒, 陈霞, 王延华 (525)

溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响 ..... 邱昭政, 罗专溪, 赵艳玲, 颜昌宙 (532)

自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究 ..... 张华兵, 刘红玉, 李玉凤, 安静, 薛星宇, 侯明行 (540)

淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制 ..... 周亮, 徐建刚, 孙东琪, 倪天华 (547)

高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征 ..... 崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 陈玲, 肖尚斌, 向坤, 张涛 (555)

城市雨水径流水质演变过程监测与分析 ..... 董雯, 李怀恩, 李家科 (561)

复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果 ..... 任峰, 陆忆夏, 刘琴, 汤杨杨, 王世和, 高海鹰, 乔杰, 王为进 (570)

给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究 ..... 郑琦, 陈超, 张晓健, 陆品品, 刘源源, 陈雨乔 (576)

1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用 ..... 李三华, 张奇亚 (583)

水生植物热解生物油对中肋骨条藻抗氧化酶活性的影响 ..... 姚远, 李锋民, 李媛媛, 单时, 李杰, 王震宇 (589)

TiO<sub>2</sub> 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学 ..... 张轶, 黄若男, 王晓敏, 王齐, 丛燕青 (596)

皮革废水有机污染物生物降解特性研究 ..... 王勇, 李伟光, 杨力, 宿程远 (604)

链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究 ..... 谢练武, 方继超, 郭亚平 (611)

一种负载型生物载体的制备及性能研究 ..... 杨基先, 曾红云, 周义, 邱珊, 马放, 王蕾, 肖大伟 (616)

基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*) 培养研究 ..... 嵇雯雯, 夏会龙, 方治国, 刘惠君 (622)

温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响 ..... 陈汉龙, 严媛媛, 何群彪, 戴晓虎, 周琪 (629)

天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH<sub>4</sub> 的影响 ..... 姚敦璠, 陈天虎, 王进, 周飞跃, 岳正波 (635)

蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征 ..... 青宪, 韩静磊, 温炎桑 (642)

基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究 ..... 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜 (647)

区域地下水污染风险评价方法研究 ..... 杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟 (653)

地下水有机污染源识别技术体系研究与示范 ..... 王晓红, 魏加华, 成志能, 刘培斌, 纪轶群, 张干 (662)

祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究 ..... 朱凌宇, 潘剑群, 张威 (668)

黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应 ..... 骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 周宝库, 徐明岗, 张敬业, 夏平平 (676)

根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响 ..... 张晶, 于玲玲, 辛木贞, 苏德纯 (685)

长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究 ..... 罗璐, 周萍, 童成立, 石辉, 吴金水, 黄铁平 (692)

外源 Cr(III) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究 ..... 郑顺安, 郑向群, 李晓辰, 刘书田, 姚秀荣 (698)

某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征 ..... 潘峰, 王利利, 赵浩, 尤奇中, 刘林 (705)

大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析 ..... 刘芳, 王书肖, 吴清茹, 林海 (712)

天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征 ..... 姚丹, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 王艳萍, 刘国卿 (718)

沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定 ..... 吴唯, 史江红, 陈庆彩, 张晖, 刘晓薇 (724)

动物饲料中砷、铜和锌调查及分析 ..... 姚丽贤, 黄连喜, 蒋宗勇, 何兆桓, 周昌敏, 李国良 (732)

氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究 ..... 王点点, 宋宁慧, 吴文铸, 由宗政, 何健, 石利利 (740)

2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性 ..... 倪雪, 刘娟, 高彦征, 朱雪竹, 孙凯 (746)

嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究 ..... 厉闾, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平 (753)

固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响 ..... 唐阔, 马安周, 于清, 邓雪梅, 吕迪, 庄国强 (760)

16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性 ..... 刘卫国, 梁存珍, 杨金生, 王桂萍, 刘苗杰 (767)

氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响 ..... 刘涛, 李冬, 曾辉平, 畅晓燕, 张杰 (773)

筒青霉 (*Penicillium simplicissimum*) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征 ..... 沈莹, 胡天觉, 曾光明, 黄丹莲, 尹璐, 刘杨, 吴娟娟, 刘晖 (781)

石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究 ..... 杨萌青, 李立明, 李川, 李广贺 (789)

土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响 ..... 王桂珍, 李兆君, 张树清, 马晓彤, 梁永超 (795)

生活垃圾填埋过程含水率变化研究 ..... 李睿, 刘建国, 薛玉伟, 张媛媛, 岳东北, 聂永丰 (804)

动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化 ..... 吴昊, 张盼月, 郭建斌, 吴永杰 (810)

《环境科学》征订启事(447)      《环境科学》征稿简则(493)      信息(508,588,610,731)      专辑征稿通知(788)

# 皮革废水有机污染物生物降解特性研究

王勇<sup>1,2</sup>, 李伟光<sup>1,2\*</sup>, 杨力<sup>1,2</sup>, 宿程远<sup>1,2</sup>

(1. 城市水资源开发利用(北方)国家工程研究中心, 哈尔滨 150090; 2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

**摘要:** 选取二萘磺酸钠、单宁酸及杨梅栲胶3种皮革鞣剂, 接种皮革废水处理厂的活性污泥, 在批式试验中研究了好氧及厌氧降解特性及降解动力学。以实际皮革废水为研究对象, 同样采用批式试验考察了好氧及厌氧降解过程COD变化规律。结果表明, 对于皮革鞣剂的去除及矿化, 好氧降解优于厌氧降解。好氧降解二萘磺酸钠、单宁酸及杨梅栲胶的去除率分别为>90%、>90%、50%~75%; 厌氧降解的去除率分别为10%~40%、>95%、20%~30%; 好氧及厌氧降解单宁酸的COD去除率分别为>75%、<75%。好氧降解单宁酸及杨梅栲胶的一级动力学速率常数 $k$ 值受初始浓度影响较小, 而好氧降解二萘磺酸钠的 $k$ 值受到初始浓度显著影响, 二萘磺酸钠 $\geq 70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 对微生物产生毒性作用,  $k$ 值明显下降。皮革废水生物降解具有明显阶段性特征, 快速及慢速降解期内COD浓度与反应时间呈现很好的线性关系, 好氧最大比降解速率是厌氧最大比降解速率的11.6倍。

**关键词:** 皮革废水; 皮革鞣剂; 生物降解; 一级反应动力学; COD去除

**中图分类号:** X794 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2013)02-0604-07

## Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater

WANG Yong<sup>1,2</sup>, LI Wei-guang<sup>1,2</sup>, YANG Li<sup>1,2</sup>, SU Cheng-yuan<sup>1,2</sup>

(1. National Engineering Research Center of Urban Water Resources, Harbin 150090, China; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

**Abstract:** In the batch experiments inoculated with activated sludge from tannery wastewater treatment plant, biodegradation characteristics and kinetics of three tanning agents, naphthalene-2-sulfonic sodium, tannic acid and bayberry tannin, were studied under aerobic and anaerobic conditions. And the aerobic/anaerobic biodegradation laws of real tannery wastewater with respect to COD change were also investigated using the same batch experiments. The results showed aerobic degradation was superior to anaerobic degradation for tanning agent removal and mineralization. The removal rates of naphthalene-2-sulfonic sodium, tannic acid and bayberry tannin by aerobic biodegradation were >90%, >90% and 50%-75%, respectively whereas 10%-40%, >95% and 20%-30%, respectively by anaerobic degradation. In terms of COD removal about tannic acid biodegradation, the removal rates under aerobic and anaerobic conditions were >75% and <75%, respectively. The first-order kinetic constants during aerobic biodegradation of tannic acid and bayberry tannin were slightly influenced by initial concentrations while initial concentration had a significant effect on the first-order kinetics rate in the case of naphthalene-2-sulfonic sodium aerobic-biodegradation because naphthalene-2-sulfonic sodium with initial concentration  $\geq 70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  was toxic to microorganism leading to a significant decline of kinetic constants. Biodegradation of real tannery wastewater under aerobic and anaerobic conditions represented obvious stage characteristics and the COD concentration had a good linear correlation with reaction time in the phases of fast degradation and slow degradation. The aerobic maximum specific degradation rate was 11.6 times higher of anaerobic degradation.

**Key words:** tannery wastewater; tanning agent; biodegradation; first-order kinetics; COD removal

皮革行业是用水大户, 每加工1 t皮革原料产生30~40 m<sup>3</sup>废水<sup>[1,2]</sup>。据2010年中国环境统计年鉴, 2009年我国皮革、毛皮、羽毛及其制品业排放废水总污量为 $24\,964 \times 10^4 \text{ t}$ , 占工业废水总排放量的1.19%; COD排放量为57 568 t, 占工业废水COD总排放量的1.52%<sup>[3]</sup>。皮革废水含有大量无机和有机污染物, 除高盐度、铬盐和硫化物是主要的无机污染物, 皮革废水有机负荷高, 综合废水COD浓度1 000~4 000 mg·L<sup>-1</sup><sup>[4-6]</sup>。

皮革废水的处理技术主要包括化学絮凝<sup>[1,7,8]</sup>、

生物氧化<sup>[9-13]</sup>、高级氧化技术<sup>[14-19]</sup>及膜滤<sup>[2,20,21]</sup>。化学絮凝用作预处理, 去除硫化物、铬盐、颗粒及胶体类有机物<sup>[1,7,8]</sup>; 高级氧化技术及膜滤用于深度处理, 其中高级氧化去除难降解有机污染物, 膜滤去除有机污染物及盐度<sup>[9-19]</sup>。生物氧化处于核心位置, 因为大部分有机污染物及氨氮在生

收稿日期: 2012-04-26; 修订日期: 2012-08-19

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAC57B03)

作者简介: 王勇(1982~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为水污染控制, E-mail: wangyongsuzhou@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: hitlwg@126.com

物处理单元进行去除. 生物单元运行好坏直接影响后续深度处理的运行费用, 以高级氧化技术的代表 Fenton 为例, 过氧化氢投加量是 Fenton 运行费用的主要影响因素, 而废水 COD 浓度又决定过氧化氢投加量<sup>[19]</sup>. 因此, 充分发挥生物氧化的处理能力对皮革废水处理体系的经济、高效运行至关重要.

皮革废水的部分有机污染物来自植鞣工段使用的天然及人工皮革鞣剂, 皮革鞣剂属于难生物降解有机物, 导致生物处理后的 COD 浓度偏高<sup>[14]</sup>. 尽管皮革鞣剂属于难降解污染物, 但能被某些特定微生物降解<sup>[22-24]</sup>; 微生物具有很强的适应能力, 能够根据污染物的变化产生特定的酶系统, 皮革废水处理厂的微生物是否能够降解皮革鞣剂是一个待解决的问题. 此外, 皮革废水生物处理工艺的水力停留时间存在很大差异, 合理的水力停留时间又是生物处理经济、高效运行的关键<sup>[9,25]</sup>. 因此, 本研究考察皮革废水处理厂的活性污泥对 3 种皮革鞣剂的好氧及厌氧降解特性, 3 种皮革鞣剂分别为二萘磺酸钠、单宁酸及杨梅栲胶; 采用批式试验研究好氧及厌氧处理实际皮革废水的 COD 变化规律, 以期生物处理水力停留时间的选择提供一定的依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 主要试剂及仪器

钨酸钠、磷钼酸、碳酸钠、单宁酸、磷酸、硫酸为分析纯, 二萘磺酸钠为化学纯, 杨梅栲胶取自皮革生产工厂, 分析用水为超纯水.

UV-2600 紫外可见分光光度计(上海尤尼柯仪器有限公司), 5B-1 型消解器及 5B-3C 型 COD 快速测定仪(兰州连华环保科技有限公司), 6175 台式 pH 计(上海任氏电子有限公司).

### 1.2 试验流程和方法

皮革鞣剂及皮革废水的生物降解批式试验在 2 L 烧杯内进行, 水浴锅控制 25℃ 恒温, 搅拌机保证活性污泥与降解基质充分混合. 活性污泥取自皮革废水处理厂的水解酸化池和曝气池, 经淘洗、沉淀, 将浓缩污泥转至烧杯. 皮革鞣剂溶液由添加营养液及 N、P 的自来水配制, 根据试验需要添加一定量的皮革鞣剂. 皮革废水取自污水处理厂调节池, 然后投加硫酸亚铁和聚丙烯酰胺进行混凝沉淀, 取上清液进行试验; 由于皮革废水缺少磷源, 需要投加磷酸二氢钠. 所有溶液的 pH 控制在 7.0~8.0. 间隔时间取水样, 立即进行离心, 然后取上清液进行分析测定. 皮革废水的水样经离心后用 0.45 μm 滤器进行

过滤, 滤液进行 COD 测定, 该结果为溶解性 COD.

### 1.3 分析方法

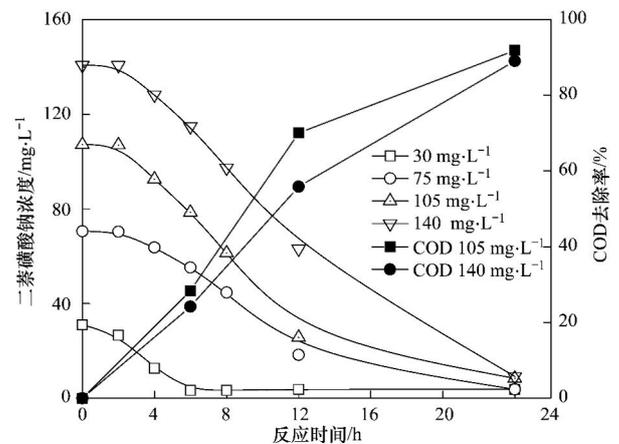
pH 值采用玻璃电极法测定, 化学需氧量(COD)采用快速消解分光光度法测定. 二萘磺酸钠浓度由 220 nm 处吸光度进行表征; 单宁酸和杨梅栲胶浓度由总酚含量间接表征, 总酚测定参照文献<sup>[26]</sup>的方法.

## 2 结果与讨论

### 2.1 皮革鞣剂的好氧生物降解

二萘磺酸钠的好氧生物降解过程如图 1 所示, 反应初始阶段(0~2 h) 污染物浓度降幅不大, 初始浓度  $\geq 70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时几乎没有降解. 二萘磺酸钠属于毒性物质<sup>[22]</sup>, 当浓度较高时微生物需要一段适应时间, 适应期过后微生物进入降解期, 由图 1 可以看出, 2 h 后二萘磺酸钠快速降解. 选取 2~8 h 的数据进行一级反应动力学拟合, 结果如表 1 所示, 初始浓度为 70、105、140  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的速率常数  $k$  值接近, 但远小于初始浓度 30  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $k$  值, 表明二萘磺酸钠  $\geq 70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  对微生物产生毒性作用, 降解速率明显下降, 需要延长反应时间才能有效去除污染物; 初始浓度为 70~140  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时微生物的降解活性相似, 因而反应速率常数较接近; 经皮革废水驯化的好氧微生物对二萘磺酸钠的耐受性较强, 140  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的接触浓度并未完全抑制微生物活性.

COD 变化可以指示污染物的矿化程度, 好氧微生物降解二萘磺酸钠的 COD 变化情况如图 1 所示.



图例 ■ COD 105  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  表示初始浓度 105  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的皮革鞣剂在不同反应时间的 COD 去除率, 其它类同, 下同; 反应条件: MLSS 1 220.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , MLVSS 920.5  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 温度 25℃

图 1 二萘磺酸钠好氧生物降解浓度-时间曲线及 COD 去除率  
Fig. 1 Aerobic biodegradation of naphthalene-2-sulfonic sodium: time-dependent profiles of concentration and COD removal rate

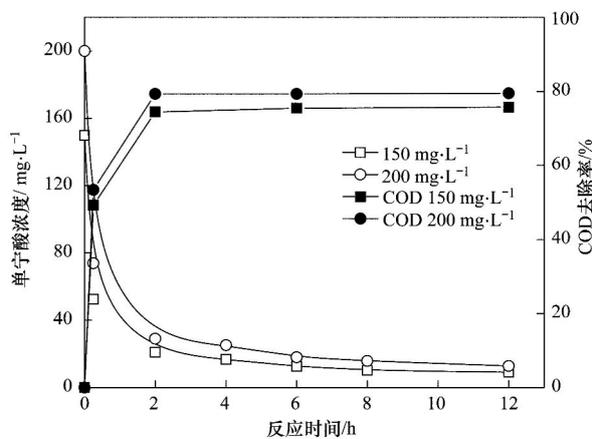
初始浓度为  $105 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  及  $140 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 反应 24 h, COD 去除率  $\geq 85\%$ , 表明经皮革废水驯化的好氧微生物能够有效矿化二萘磺酸钠.

表 1 二萘磺酸钠好氧降解一级动力学速率常数

Table 1 First-order kinetics rate constants in aerobic biodegradation of naphthalene-2-sulfonic sodium

二萘磺酸盐初始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	反应速率常数 $k/\text{h}^{-1}$	$R^2$
30	0.517 2	0.973 7
70	0.075 0	0.972 1
105	0.084 4	0.962 2
140	0.060 7	0.981 7

单宁酸的好氧生物降解过程如图 2 所示, 单宁酸降解很快, 反应 2 h 去除率  $> 85\%$ , 随后进入缓慢降解期. 单宁酸能使可溶性蛋白质凝固, 破坏微生物酶系统, 但是有些微生物能够分泌水解酶降解单宁酸, 消除单宁酸对酶系统的破坏作用<sup>[24]</sup>. 显然, 本试验使用的活性污泥含有能够产生单宁酸水解酶的微生物, 从而有效降解单宁酸, 并且  $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的接触浓度并未明显抑制微生物活性. 选取 0.25 ~ 8 h 的试验数据进行一级反应动力学拟合, 结果如表 2 所示, 好氧降解单宁酸基本满足一级动力学, 速率常数受单宁酸浓度影响较小, 初始浓度 150、 $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时的  $k$  值分别为 0.191 9、 $0.180 5 \text{ h}^{-1}$ , 表明微生物降解活性基本相同. 从图 2 的 COD 去除率的变化情况可以看出, 反应 2 h, COD 浓度已迅速降低, 去除率  $> 75\%$ , 2 h 后 COD 去除率基本维持不变, 但小于单宁酸去除率, 表明好氧微生物降解单宁酸的部分中间产物不能继续降解.



反应条件: MLSS  $1 220.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , MLVSS  $920.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 温度  $25^\circ\text{C}$

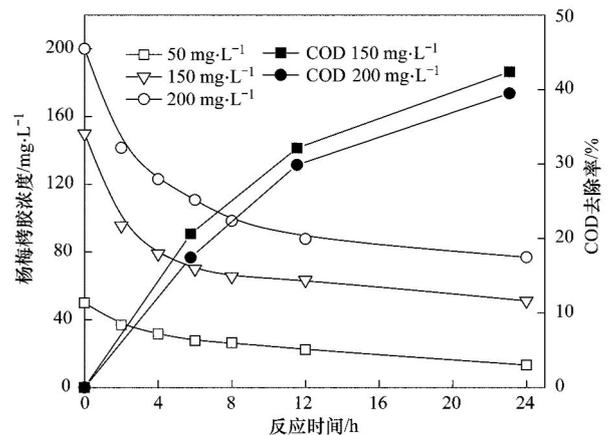
图 2 单宁酸好氧生物降解浓度-时间曲线及 COD 去除率  
Fig. 2 Aerobic biodegradation of tannic acid: time-dependent profiles of concentration and COD removal rate

表 2 单宁酸好氧降解一级动力学速率常数

Table 2 First-order kinetics rate constants in aerobic biodegradation of tannic acid

单宁酸初始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	反应速率常数 $k/\text{h}^{-1}$	$R^2$
150	0.191 9	0.870 8
200	0.180 5	0.842 5

杨梅栲胶的好氧生物降解过程如图 3 所示, 0 ~ 2 h 浓度降幅较大, 降解速率高于反应后期; 污染物降解主要发生在前 12 h, 12 ~ 24 h 浓度降幅很小. 选取 2 ~ 8 h 的数据进行一级反应动力学拟合, 结果如表 3 所示, 初始浓度 50、150、 $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的速率常数  $k$  值接近, 表明好氧微生物具有相似的降解活性, 降解速率仅由污染物浓度决定, 且  $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的杨梅栲胶没有抑制微生物活性. 但是, 好氧微生物对杨梅栲胶降解不充分, 去除率仅为  $50\% \sim 75\%$ . 由图 3 的 COD 去除率变化可以看出, COD 去除率约为 40% 左右, 低于杨梅栲胶去除率, 表明好氧降解杨梅栲胶不仅污染物本身去除率低, 而且矿化率低.



反应条件: MLSS  $1 694.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , MLVSS  $1 136.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 温度  $25^\circ\text{C}$

图 3 杨梅栲胶好氧生物降解浓度-时间曲线及 COD 去除率  
Fig. 3 Aerobic biodegradation of bayberry tannin: time-dependent profiles of concentration and COD removal rate

表 3 杨梅栲胶好氧降解一级动力学速率常数

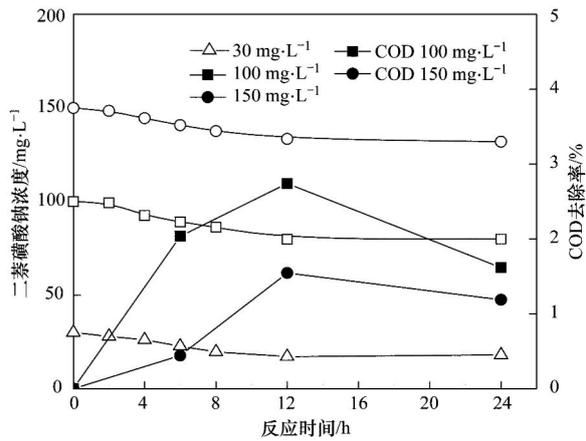
Table 3 First-order kinetics rate constants in aerobic biodegradation of bayberry tannin

杨梅栲胶初始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	反应速率常数 $k/\text{h}^{-1}$	$R^2$
50	0.058	0.960 6
150	0.059	0.991 5
200	0.060	0.984 9

## 2.2 皮革鞣剂的厌氧生物降解

二萘磺酸钠的厌氧生物降解过程如图 4 所示, 与好氧降解相似, 反应开始阶段 (0 ~ 2 h) 污染物浓

度几乎没有降低,降解处于停滞期; 2 h 后二萘磺酸钠开始缓慢降解,一直持续到 12 h,12~24 h 降解停止. 与好氧降解相比,二萘磺酸钠厌氧降解的去除率很低,初始浓度 30、100 及 150 mg·L<sup>-1</sup> 时 24 h 去除率分别为 40%、20%、12%. 厌氧降解速率的缓慢可由反应速率常数进一步表征,选取 2~8 h 的数据进行一级反应动力学拟合,结果如表 4 所示. 初始浓度 30、100 及 150 mg·L<sup>-1</sup> 时厌氧降解的速率常数  $k$  值分别为 0.059 5、0.022 8、0.013 6 h<sup>-1</sup>, 而初始浓度 105 mg·L<sup>-1</sup> 好氧降解的  $k$  值为 0.084 4 h<sup>-1</sup>, 相似初始浓度时好氧降解的反应速率为厌氧降解的 3.7 倍. 由图 4 的 COD 去除率的变化可以看出,整个降解过程去除率小于 3%, 考虑到 COD 测定方法的误差 ( $\pm 5\%$ ), 可见厌氧降解二萘磺酸钠不能实现矿化. 从以上分析可以看出,厌氧微生物不能有效降解二萘磺酸钠并且不能实现矿化,而好氧微生物具有明显优势: 反应 24 h 二萘磺酸钠接近完全去除, COD 去除率  $\geq 85\%$ .



反应条件: MLSS 1 252.6 mg·L<sup>-1</sup>, MLVSS 913.0 mg·L<sup>-1</sup>, 温度 25℃  
 图 4 二萘磺酸钠厌氧生物降解浓度-时间曲线及 COD 去除率  
 Fig. 4 Anaerobic biodegradation of naphthalene-2-sulfonic sodium; time-dependent profiles of concentration and COD removal rate

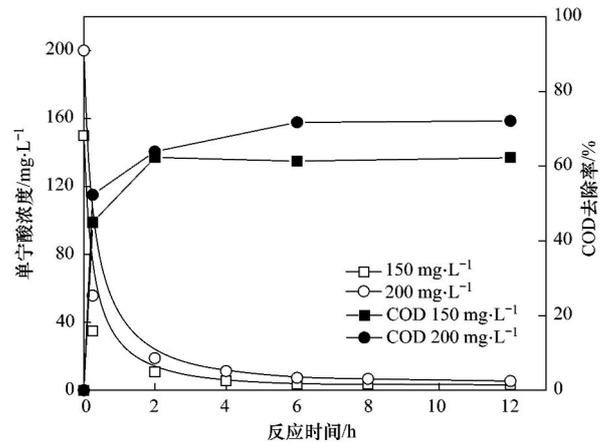
表 4 二萘磺酸钠厌氧降解的一级动力学速率常数

Table 4 First-order kinetics rate constants in anaerobic degradation of naphthalene-2-sulfonic sodium

二萘磺酸盐初始浓度/mg·L <sup>-1</sup>	反应速率常数 $k/h^{-1}$	$R^2$
30	0.059 5	0.980 3
100	0.022 8	0.965 5
150	0.013 6	0.998 8

单宁酸的厌氧生物降解过程如图 5 所示,单宁酸降解速度很快,2 h 去除率 >90%, 随后进入缓慢降解期; 与好氧降解相比,厌氧降解速度更快些. 选

取 0.25~6 h 的数据进行一级反应动力学拟合,结果如表 5 所示. 厌氧降解单宁酸同样满足一级动力学,速率常数受单宁酸浓度影响较小,初始浓度 150、200 mg·L<sup>-1</sup> 的  $k$  值分别为 0.386 6、0.340 7 h<sup>-1</sup>. 厌氧降解的速率常数高于好氧降解的速率常数,前者约为后者的 2.0 倍. 从图 5 的 COD 去除率变化可以看出,虽然单宁酸厌氧降解的反应速率高于好氧降解,但好氧降解的 COD 去除率大于厌氧降解,厌氧降解的最大 COD 去除率 <75%.



反应条件: MLSS 1 336.0 mg·L<sup>-1</sup>, MLVSS 1 021.5 mg·L<sup>-1</sup>, 温度 25℃  
 图 5 单宁酸厌氧生物降解浓度-时间曲线及 COD 去除率  
 Fig. 5 Anaerobic biodegradation of tannic acid; time-dependent profiles of concentration and COD removal rate

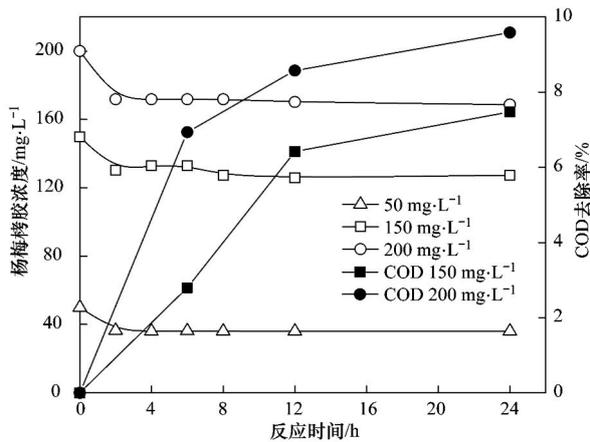
表 5 单宁酸厌氧降解一级动力学速率常数

Table 5 First-order kinetics rate constants in anaerobic biodegradation of tannic acid

单宁酸初始浓度/mg·L <sup>-1</sup>	反应速率常数 $k/h^{-1}$	$R^2$
150	0.386 6	0.942 9
200	0.340 7	0.934 6

杨梅栲胶的厌氧生物降解过程如图 6 所示,初始浓度 50、150、200 mg·L<sup>-1</sup> 时,杨梅栲胶仅在最初 2 h 内有明显降解,2~24 h 降解基本停止,杨梅栲胶的去除率分别为 27%、26%、23%, 低于好氧降解 50%~75% 的去除率. 厌氧降解与好氧降解相比,0~2 h 二者的去除率相差不大,但是 2~24 h 好氧降解继续进行,而厌氧降解基本停止,因此整个反应过程中厌氧降解的去除率远低于好氧降解的去除率. 由图 6 的 COD 去除率变化可以看出, COD 去除率低于 10%, 小于杨梅栲胶的去除率,表明杨梅栲胶厌氧降解生成的中间产物不能被厌氧微生物有效矿化.

### 2.3 皮革废水好氧生物降解的 COD 变化规律

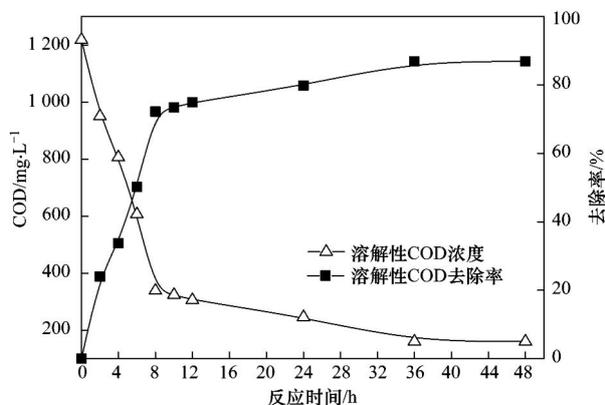


反应条件: MLSS  $1\ 165.5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , MLVSS  
 $857.5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 温度  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

图 6 杨梅栲胶厌氧生物降解浓度-时间曲线及 COD 去除率

Fig. 6 Anaerobic degradation of bayberry tannin; time-dependent profiles of concentration and COD removal rate

图 7 表示好氧微生物降解皮革废水 COD 浓度随反应时间的变化, 反应条件为: MLSS  $2\ 879\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , MLVSS  $1\ 896\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 反应温度  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 由 COD- $t$  曲线斜率看出, 皮革废水有机物好氧降解经历 3 个阶段:  $0\sim 8\ \text{h}$ , 快速降解期;  $8\sim 36\ \text{h}$ , 慢速降解期;  $36\sim 48\ \text{h}$ , 反应停滞期.  $8\ \text{h}$  及  $36\ \text{h}$  时 COD 去除率分别为  $72\%$ 、 $87\%$ , 皮革废水 COD 降解速率的变化趋势与上述皮革鞣剂好氧降解过程相似,  $0\sim 8\ \text{h}$  为快速降解期, 大部分污染物在这一时间段进行降解. COD 浓度与反应时间具有很好的线性关系:  $c_{\text{COD}} = 1\ 195 - 103.96t$ ,  $t \in [0, 8]$ ,  $R^2 = 0.9844$ ;  $c_{\text{COD}} = 385 - 6.17t$ ,  $t \in [8, 36]$ ,  $R^2 = 0.9942$ ; 由直线斜率可以看出,  $0\sim 8\ \text{h}$  COD 降解速率是  $8\sim 36\ \text{h}$



反应条件: MLSS  $2\ 879\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , MLVSS  $1\ 896\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 温度  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

图 7 皮革废水好氧生物降解的 COD 浓度-时间曲线及 COD 去除率

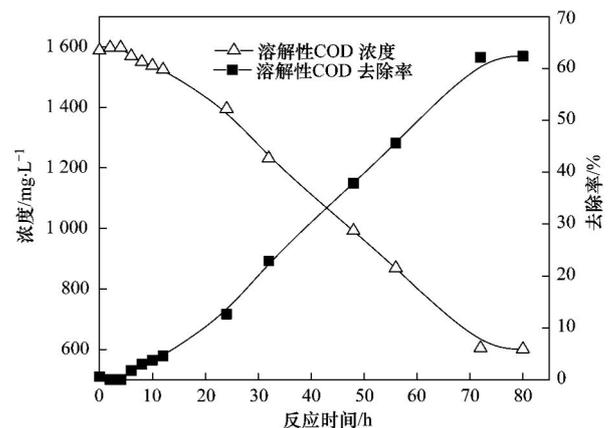
Fig. 7 Aerobic biodegradation of tannery wastewater; time-dependent profiles of COD concentration and COD removal rate

的 17 倍.

根据以上分析, COD 降解主要集中在  $0\sim 8\ \text{h}$ , 反应时间为  $8\ \text{h}$  最具经济性, 当延长反应时间提高处理效率, 反应时间最多为  $36\ \text{h}$ , 继续延长时间没有意义; 好氧微生物降解皮革废水可以达到很好的处理效果, COD 去除率高达  $87\%$ , 出水 COD 为  $160\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 当进一步降低 COD 浓度需要采用化学氧化法, 比如 Fenton、臭氧氧化等.

#### 2.4 皮革废水厌氧生物降解的 COD 变化规律

图 8 表示厌氧微生物降解皮革废水 COD 浓度随反应时间的变化, 反应条件为: MLSS  $= 4\ 131\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , MLVSS  $= 3\ 384\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 反应温度  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 根据 COD- $t$  曲线斜率的变化, 皮革废水有机物厌氧降解经历 4 个阶段:  $0\sim 6\ \text{h}$ , 反应停滞期;  $6\sim 24\ \text{h}$ , 慢速降解期;  $24\sim 72\ \text{h}$ , 快速降解期;  $72\sim 80\ \text{h}$ , 反应停滞期. 慢速降解期与快速降解期内 COD 浓度与反应时间的线性关系良好, 关系式如下:  $c_{\text{COD}} = 1\ 631 - 9.67t$ ,  $t \in [6, 24]$ ,  $R^2 = 0.9922$ ;  $c_{\text{COD}} = 1\ 768 - 16.20t$ ,  $t \in [24, 72]$ ,  $R^2 = 0.9983$ , 慢速期与快速期的降解速率相差不大, 后者为前者的 1.7 倍, 但远小于皮革废水好氧降解快速期的反应速率. 考虑微生物浓度的影响, 厌氧最大比降解速率是好氧最大比降解速率的  $1/11.6$ , 较小的反应速率导致厌氧降解 COD 去除率偏低,  $24\ \text{h}$  及  $72\ \text{h}$  时 COD 去除率分别为  $12\%$ 、 $62\%$ .



反应条件: MLSS  $4\ 131\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , MLVSS  $3\ 384\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 温度  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

图 8 皮革废水厌氧生物降解 COD 浓度-时间曲线及 COD 去除率变化

Fig. 8 Anaerobic biodegradation of tannery wastewater; time-dependent profiles of COD concentration and COD removal rate

根据以上分析, 皮革废水厌氧降解速率远小于好氧降解速率, 需要延长反应时间才能实现较高的 COD 去除率; 厌氧降解可以取得较好的处理效果,

72 h COD 去除率为 62%, 出水 COD 为  $600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 厌氧处理后的 COD 浓度仍较高, 根据皮革鞣剂的生物降解特性, 部分 COD 可以通过好氧处理继续削减。

### 3 结论

(1) 好氧及厌氧降解均能有效去除单宁酸, 但好氧降解的矿化率更高; 二萘磺酸钠和杨梅栲胶只有在好氧降解时具有较高的去除率和矿化率; 好氧降解时, 二萘磺酸钠和单宁酸更容易去除。对于 3 种皮革鞣剂, 好氧降解优于厌氧降解。

(2) 一级反应动力学可以初步描述 3 种皮革鞣剂的生物降解过程。好氧降解单宁酸及杨梅栲胶时, 其速率常数  $k$  值受初始浓度影响较小; 好氧降解二萘磺酸钠的  $k$  值受到初始浓度显著影响, 初始浓度  $70$ 、 $105$ 、 $140 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $k$  值接近, 但远小于初始浓度  $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的  $k$  值; 单宁酸厌氧降解的速率常数  $k$  值约为好氧降解  $k$  值的 2.0 倍。

(3) 皮革废水有机污染物的生物降解具有明显阶段性特征, 好氧降解过程分为 3 个阶段:  $0 \sim 8 \text{ h}$ , 快速降解期;  $8 \sim 36 \text{ h}$ , 慢速降解期;  $36 \sim 48 \text{ h}$ , 反应停止期; 厌氧降解过程分为 4 个阶段:  $0 \sim 6 \text{ h}$ , 反应停滞期;  $6 \sim 24 \text{ h}$ , 慢速降解期;  $24 \sim 72 \text{ h}$ , 快速降解期;  $72 \sim 80 \text{ h}$ , 反应停止期。

(4) 快速及慢速降解期内 COD 浓度与反应时间呈现很好线性关系, 好氧降解快速期与慢速期的速率比值为 17:1, 厌氧降解快速期与慢速期的速率比值为 1.7:1。考虑微生物浓度的影响, 厌氧最大比降解速率是好氧最大比降解速率的 1/11.6。

#### 参考文献:

- [1] Song Z, Williams C J, Edyvean R G J. Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation [J]. *Desalination*, 2004, **164**(3): 249-259.
- [2] Suthanharajan R, Ravindranath E, Chitra K, *et al.* Membrane application for recovery and reuse of water from treated tannery wastewater [J]. *Desalination*, 2004, **164**(2): 151-156.
- [3] 国家统计局, 环境保护部. 2010 中国环境统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010. 30-35.
- [4] Reemtsma T, Jekel M. Dissolved organics in tannery wastewaters and their alteration by a combined anaerobic and aerobic treatment [J]. *Water Research*, 1997, **31**(5): 1035-1046.
- [5] Cokgor E U, Karahan O, Orhon D. The effect of mixing pharmaceutical and tannery wastewaters on the biodegradation characteristics of the effluents [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, **156**(1-3): 292-299.
- [6] Karahan Ö, Dogruel S, Dulekgurgen E, *et al.* COD fractionation of tannery wastewaters-particle size distribution, biodegradability and modelling [J]. *Water Research*, 2008, **42**(4-5): 1083-1092.
- [7] Haydar S, Aziz J A. Coagulation-flocculation studies of tannery wastewater using combination of alum with cationic and anionic polymers [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **168**(2-3): 1035-1040.
- [8] Haydar S, Aziz J A. Characterization and treatability studies of tannery wastewater using chemically enhanced primary treatment (CEPT)-a case study of saddiq leather works [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **163**(2-3): 1076-1083.
- [9] Lefebvre O, Vasudevan N, Torrijos M, *et al.* Anaerobic digestion of tannery soak liquor with an aerobic post-treatment [J]. *Water Research*, 2006, **40**(7): 1492-1500.
- [10] Munz G, Gualtiero M, Salvadori L, *et al.* Process efficiency and microbial monitoring in MBR (membrane bioreactor) and CASP (conventional activated sludge process) treatment of tannery wastewater [J]. *Bioresource Technology*, 2008, **99**(18): 8559-8564.
- [11] Iaconi C D, Lopez A, Ramadori R, *et al.* Combined chemical and biological degradation of tannery wastewater by a periodic submerged filter (SBBR) [J]. *Water Research*, 2002, **36**(9): 2205-2214.
- [12] El-Sheikh M A, Saleh H I, Flora J R, *et al.* Biological tannery wastewater treatment using two stage UASB reactors [J]. *Desalination*, 2011, **276**(1-3): 253-259.
- [13] Schenk H, Wiemann M, Hegemann W. Improvement of anaerobic treatment of tannery beamhouse wastewater by an integrated sulphide elimination process [J]. *Water Science and Technology*, 1999, **40**(1): 245-252.
- [14] Schrank S G, José H J, Moreira R F P M, *et al.* Elucidation of the behavior of tannery wastewater under advanced oxidation conditions [J]. *Chemosphere*, 2004, **56**(5): 411-423.
- [15] Kurt U, Apaydin O, Gonullu M T. Reduction of COD in wastewater from an organized tannery industrial region by electro-fenton process [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, **143**(1-2): 33-40.
- [16] Iaconi C D, Ramadori R, Lopez A. The effect of ozone on tannery wastewater biological treatment at demonstrative scale [J]. *Bioresource Technology*, 2009, **100**(23): 6121-6124.
- [17] 王成军, 黄瑞敏, 卿海波, 等. Fenton 试剂法深度处理皮革废水生化出水的研究 [J]. *工业用水与废水*, 2008, **39**(2): 49-51.
- [18] Schrank S G, José H J, Moreira R F P M, *et al.* Applicability of Fenton and  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  reactions in the treatment of tannery wastewaters [J]. *Chemosphere*, 2005, **60**(5): 644-655.
- [19] Gernjak W F, Krutzler T, Glaser A, *et al.* Photo-Fenton treatment of water containing natural phenolic pollutants [J]. *Chemosphere*, 2003, **50**(1): 71-78.
- [20] 陈立军, 陈丽琼, 张欣宇, 等. 超滤在制革废水处理中的应用 [J]. *中国皮革*, 2006, **35**(21): 45-48.
- [21] Fababuj-Roger M, Mendoza-Roca J A, Galiana-Aleixandre M V, *et al.* Reuse of tannery wastewaters by combination of

- ultrafiltration and reverse osmosis after a conventional physical-chemical treatment [J]. *Desalination*, 2007, **204**(1-3): 219-226.
- [22] Song Z, Edwards S R, Burns R G. Treatment of naphthalene-2-sulfonic acid from tannery wastewater by a granular activated carbon fixed bed inoculated with bacterial isolates *Arthrobacter globiformis* and *Comamonas testosteroni* [J]. *Water Research*, 2006, **40**(3): 495-506.
- [23] Mannucci A, Munz G, Mori G, *et al.* Anaerobic treatment of vegetable tannery wastewaters; a review [J]. *Desalination*, 2010, **264**(1-2): 1-8.
- [24] 黄文, 石碧, 姚开. 植物单宁的生物降解[J]. *化学通报*, 2002, **65**(5): 321-325.
- [25] Ganesh G, Balaji G, Ramanujam R A. Biodegradation of tannery wastewater using sequencing batch reactor-respirometric assessment [J]. *Bioresource Technology*, 2006, **97**(15): 1815-1821.
- [26] Lowry O H, Rosebrouh N J, Farr A L, *et al.* Protein measurement with the Folin phenol reagent [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1951, **193**(1): 265-275.

## 关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明。

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为.自即日起,我们各刊在接受作者投稿时,要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果,文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊。

2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前,所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊。

我们将认真对待作者所作的上述承诺,并建立信息共享机制,对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动。

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任.我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法,并积极宣传和配合。

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部

## CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM <sub>2.5</sub> and Its Impact on Hazy Weather During 16 <sup>th</sup> Asian Games in Guangzhou .....	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i> ( 409 )
PM <sub>2.5</sub> Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area .....	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i> ( 416 )
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China .....	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i> ( 424 )
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou .....	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i> ( 434 )
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City .....	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> ( 441 )
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival .....	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui ( 448 )
Characteristics of PM <sub>10</sub> and PM <sub>2.5</sub> Concentrations in Mountain Background Region of East China .....	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun ( 455 )
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose .....	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> ( 462 )
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control .....	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i> ( 468 )
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique .....	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i> ( 476 )
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and δ <sup>13</sup> C Records in the Sediments of Shijiu Lake .....	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i> ( 484 )
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City .....	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan ( 494 )
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency .....	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao ( 499 )
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China .....	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i> ( 509 )
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River .....	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i> ( 517 )
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body .....	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jiang, <i>et al.</i> ( 525 )
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate .....	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i> ( 532 )
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland .....	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> ( 540 )
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin .....	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i> ( 547 )
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River .....	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> ( 555 )
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area .....	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke ( 561 )
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage .....	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i> ( 570 )
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis .....	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i> ( 576 )
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium .....	LI San-hua, ZHANG Qi-ya ( 583 )
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities .....	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> ( 589 )
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO <sub>2</sub> Photocatalytic Combined Technologies .....	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i> ( 596 )
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater .....	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i> ( 604 )
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645 .....	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping ( 611 )
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline .....	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i> ( 616 )
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization .....	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> ( 622 )
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content .....	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i> ( 629 )
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter .....	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i> ( 635 )
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products .....	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen ( 642 )
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model .....	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> ( 647 )
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution .....	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i> ( 653 )
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application .....	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i> ( 662 )
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain .....	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei ( 668 )
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization .....	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> ( 676 )
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return .....	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i> ( 685 )
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations .....	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i> ( 692 )
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis .....	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-chen, <i>et al.</i> ( 698 )
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise .....	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i> ( 705 )
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant .....	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i> ( 712 )
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin .....	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> ( 718 )
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments .....	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i> ( 724 )
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds .....	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i> ( 732 )
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field .....	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i> ( 740 )
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity .....	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i> ( 746 )
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6 .....	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i> ( 753 )
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection .....	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i> ( 760 )
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method .....	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i> ( 767 )
Assessment of the Effect of Influent NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process .....	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i> ( 773 )
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes .....	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> ( 781 )
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil .....	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i> ( 789 )
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters .....	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i> ( 795 )
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill .....	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yue-wei, <i>et al.</i> ( 804 )
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms .....	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-bin, <i>et al.</i> ( 810 )

# 《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)

2013年2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 15, 2013

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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊