

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第7期

Vol.36 No.7

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年12月中国中东部地区严重灰霾期间上海市颗粒物的输送途径及潜在源区贡献分析	李莉, 蔡蓓琳, 周敏 (2327)
长三角冬季一次霾过程气溶胶及其水溶性离子的区域分布特征	王曼婷, 朱彬, 王红磊, 薛国强, 何俊, 徐宏辉, 曹锦飞 (2337)
北京城区大气 PM _{2.5} 主要化学组分构成研究	刘保献, 杨懂艳, 张大伟, 陈添, 赵红帅, 陈圆圆, 陆皓昀 (2346)
2014年春季山东省 PM _{2.5} 跨界输送研究	贾海鹰, 程念亮, 何友江, 陈云波, 杜晓惠, 单晓丽 (2353)
燃煤电厂产生和排放的 PM _{2.5} 中水溶性离子特征	马子珍, 李振, 蒋靖坤, 叶芝祥, 邓建国, 段雷 (2361)
南京夏季城市冠层大气 CO ₂ 浓度时空分布规律的观测	高韵秋, 刘寿东, 胡凝, 王淑敏, 邓力琛, 于洲, 张圳, 李旭辉 (2367)
北京市机动车尾气排放因子研究	樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 曲松 (2374)
北京不同污染地区园林植物对空气颗粒物的滞纳能力	张维康, 王兵, 牛香 (2381)
长三角地区火电行业主要大气污染物排放估算	丁青青, 魏伟, 沈群, 孙予罕 (2389)
基于区域循环模型 IAP-N 的安徽省农用地 N ₂ O 排放量估算	韩云芳, 韩圣慧, 严平 (2395)
不同源汇信息提取方法对区域 CO ₂ 源汇估算及其季节变化的影响评估	张芳, 周凌晔, 王玉诏 (2405)
实测/预测辽河铬(VI)水生生物基准与风险评估	王晓南, 闫振广, 刘征涛, 张聪, 王伟莉 (2414)
博尔塔拉河河水、表层底泥及河岸土壤重金属的污染和潜在危害评价	张兆永, 吉力力·阿不都外力, 姜逢清 (2422)
岩溶泉水化学性质及 δ ¹³ C _{DIC} 影响因素	赵瑞一, 吕现福, 刘子琦, 吕春艳 (2430)
柳江流域柳州断面水化学特征及无机碳汇通量分析	原雅琼, 何师意, 于爽, 孙平安, 王艳雪, 武招云, 李新桂, 谢明鲜, 刘文, 李瑞, 张华生 (2437)
重庆市主城区次级河流总氮总磷污染特征分析及富营养化评价	庆旭瑶, 任玉芬, 吕志强, 王效科, 庞容, 邓睿, 孟龄, 马慧雅 (2446)
三峡库区消落带土壤邻苯二甲酸二丁酯静态释放特征	王法, 王强, 木志坚, 杨志丹, 宋娇艳 (2453)
干湿循环对三峡支流消落带沉积物中可转化态氮及其形态分布的影响	林俊杰, 张帅, 杨振宇, 何立平, 周依, 张倩茹 (2459)
天山天池夏季叶绿素 a 的分布及富营养化特征研究	王斌, 马健, 王银亚, 尹湘江 (2465)
西大海湖沉积物营养盐垂直分布特征变化分析	段木春, 肖海丰, 臧淑英 (2472)
草街水库蓄水后嘉陵江浮游植物群落特征及水质评价	杨敏, 张晟, 刘朔孺 (2480)
宁波三江口水域原核生物群落结构分析	胡安谊, 李姜维, 杨晓永, 王弘杰, 于昌平 (2487)
全氟化合物对表层沉积物中细菌群落结构的影响	孙雅君, 王铁宇, 彭霞薇, 王佩 (2496)
蓝藻腐解-金鱼藻生长耦合作用对水质及植物生长的影响	马月, 王国祥, 曹勤, 王小云, 马杰 (2504)
生物滞留设施对城市地表径流低浓度磷吸附基质研究	李立青, 龚燕芳, 颜子钦, 单保庆 (2511)
复合填料生物渗滤系统处理城市雨水径流的研究	王晓璐, 左剑恶, 千里里, 邢薇, 缪恒峰, 阮文权 (2518)
3种典型消毒副产物对细菌抗生素抗性的影响	吕露, 张梦露, 王春明, 林惠荣, 于鑫 (2525)
基于透射光法探讨水流流速对 DNAPL 运移分布的影响	高燕维, 郑菲, 施小清, 孙媛媛, 徐红霞, 吴吉春 (2532)
BDD 和 PbO ₂ 电极电化学氧化苯并三氮唑的对比研究	伍娟丽, 张佳维, 王婷, 倪晋仁 (2540)
开放系统下方解石对邻苯二甲酸的吸附	李振炫, 黄利东, 陈艳芳, 缪晔, 刘大刚, 许正文 (2547)
碳纳米管-羟磷灰石对铅的吸附特性研究	张金利, 李宇 (2554)
刚果红分子印迹聚合物纳米微球的合成及吸附性能	常自强, 陈复彬, 张玉, 时作龙, 杨春艳, 章竹君 (2564)
碱热-酸热法合成二氧化钛-钛酸纳米管复合纳米材料对 Cd(II) 和苯酚的同步去除	雷立, 晋银佳, 王婷, 赵泉, 晏友, 刘文 (2573)
固定化菌剂对污水和牛粪中雌二醇和己烯雌酚的去除作用	李欣, 凌婉婷, 刘静娴, 孙敏霞, 高彦征, 刘娟 (2581)
PN-ANAMMOX 一体化反应器处理电子行业 PCB 废水	袁琬, 李祥, 周呈, 陈宗姮 (2591)
Fenton 氧化深度处理石化废水厂二级出水研究	王翼, 吴昌永, 周岳溪, 张雪, 董波, 陈学民 (2597)
制革废水和印染废水的综合毒性评估及鉴别	黄利, 陈文艳, 万玉山, 郑国娟, 赵远, 蔡强 (2604)
不同溶解氧条件下 A/O 系统的除碳脱氮效果和细菌群落结构变化	陈燕, 刘国华, 范强, 汪俊妍, 齐鲁, 王洪臣 (2610)
利用主要缺氧段 ORP 作为连续流单污泥污水脱氮除磷系统调控参数	王晓玲, 宋铁红, 殷宝勇, 李静文, 李紫棋, 余勇 (2617)
连续流态下以实际低基质生活污水培养好氧颗粒污泥及其脱氮性能	姚力, 信欣, 鲁航, 朱辽东, 谢思建 (2626)
广东清远电子垃圾拆解区农田土壤重金属污染评价	张金莲, 丁疆峰, 卢桂宇, 党志, 易筱筠 (2633)
山东省临沂市土壤有机氯农药滴滴涕残留量与空间分布特征	喻超, 王增辉, 王红晋, 代杰瑞, 庞绪贵, 赵西强, 刘华峰 (2641)
金华市萤石矿区土壤氟污染评价	叶群峰, 周小玲 (2648)
土壤碳收支对秸秆与秸秆生物炭还田的响应及其机制	侯亚红, 王磊, 付小花, 乐毅全 (2655)
黄土区果园和刺槐林生态系统土壤有机碳变化及影响因素	李如剑, 王蕊, 李娜娜, 姜继韶, 张彦军, 王志齐, 刘庆芳, 吴得峰, 郭胜利 (2662)
缙云山土地利用方式对土壤轻组及颗粒态有机碳氮的影响	雷利国, 江长胜, 郝庆菊 (2669)
塔里木河上游典型绿洲土壤酶活性与环境因子相关分析	朱美玲, 贡璐, 张龙龙 (2678)
不同部位玉米秸秆对两种质地黑土 CO ₂ 排放和微生物量的影响	刘四义, 梁爱珍, 杨学明, 张晓平, 贾淑霞, 陈学文, 张士秀, 孙冰洁, 陈升龙 (2686)
1株对叔丁基邻苯二酚降解菌的筛选鉴定及响应面法优化其降解	贺强礼, 刘文斌, 杨海君, 彭晓霞, 关向杰, 黄水娥 (2695)
耐高浓度沼液产油小球藻的分离鉴定与特征分析	杨周, 王文国, 马丹炜, 汤晓玉, 胡启春 (2707)
水介质中 C ₆₀ 纳米晶体颗粒与 Cu ²⁺ 对小鼠腹腔巨噬细胞的复合毒性研究	于叶, 卞为林, 张慧敏, 张波, 何义亮 (2713)
地表水体中同时分析 18 种糖皮质激素方法的建立	郭文景, 常红, 孙德智, 吴丰昌, 杨浩 (2719)
《环境科学》征订启事 (2553) 《环境科学》征稿简则 (2640) 信息 (2546, 2609, 2616, 2647)	

制革废水和印染废水的综合毒性评估及鉴别

黄利^{1,2}, 陈文艳¹, 万玉山¹, 郑国娟², 赵远¹, 蔡强^{1,2*}

(1. 常州大学环境与安全工程学院, 常州 213000; 2. 浙江清华长三角研究院浙江省水质科学与技术重点实验室, 嘉兴 314006)

摘要: 研究采用成组生物毒性试验(发光菌急性毒性、斑马鱼幼鱼急性毒性, 斑马鱼胚胎发育毒性和小球藻急性毒性), 结合理化指标, 通过毒性单位、平均毒性(average toxicity, AvTx)、毒性指数(toxic print, TxPr)、最敏感的测试(most sensitive test, MST)和潜在毒性效应指数(potential ecotoxic effects probe, PEEP)对不同工艺阶段印染及制革废水进行毒性削减评估。结果表明 PEEP 能兼顾废水排放量与毒性效应, 更为客观地表征了废水综合毒性, PEEP 评价结果显示制革废水和印染废水的毒性削减率分别达到 36.8% 和 23.2%。最后, 以发光菌作为受试生物, 采用毒性鉴别评估(toxicity identification evaluation, TIE)技术, 对印染废水进行毒性鉴别。结果表明, 印染废水中主要的致毒物质为非极性有机污染, 其次为可滤性化合物, 然后是重金属、氧化性物质以及挥发性物质。

关键词: 印染废水; 制革废水; 成组生物毒性; 毒性评价; 毒性鉴别评估

中图分类号: X703.1; X79 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)07-2604-06 DOI: 10.13227/j.hjks.2015.07.037

Comprehensive Toxicity Evaluation and Toxicity Identification Used in Tannery and Textile Wastewaters

HUANG Li^{1,2}, CHEN Wen-yan¹, WAN Yu-shan¹, ZHENG Guo-juan², ZHAO Yuan¹, CAI Qiang^{1,2*}

(1. School of Environmental and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213000, China; 2. Key Laboratory of Zhejiang for Water Quality Science and Technology, Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University Zhejiang, Jiaxing 314006, China)

Abstract: To better evaluate the toxicity of tannery and textile effluents from various emission stages, the research attempted battery of toxicological bioassays and toxicological indices. The bioassays employed Microtox test, zebra fish embryo-larval test and algae (*Chlorella vulgaris*) test. Meanwhile, toxicological indices including Toxicity Unit (TU), Average Toxicity (AvTx), Toxic Print (TxPr), Most Sensitive Test (MST) and Potential Ecotoxic Effects Probe (PEEP) were applied. The results illustrated that PEEP was the most comprehensive index to take account of the emissions and toxic potential of effluents. PEEP values showed that the reduction rates of toxicity in tannery and textile effluents were 36.8% and 23.2%, respectively. Finally, based on the Microtox toxicity test, toxicants in textile effluent were identified through the toxicity identification evaluation (TIE) studies. The results indicated that the main toxicant of textile effluent was non-polar organic pollutants, followed by filterable compounds, heavy metals, oxidizing substances and volatile components.

Key words: textile wastewater; tannery wastewater; battery of bioassays; toxicity evaluation; toxicity identification evaluation

印染废水和制革废水是难处理废水之一, 其中印染废水特点是有机物含量高、成分复杂、水质变化大、色度深、碱性强、有毒物质多等, 主要含有酸碱调节剂、重金属离子、印染助剂和染料, 制革废水具有色度深、悬浮物多、碱性大、耗氧量高含有较多的铬和硫化物等有毒的物质^[1-5]。研究表明有些处理后的工业废水的出水理化指标虽然达到国家废水排放标准, 但经常仍然对受试生物仍表现出一定的毒性^[6]。生物毒性测试结合毒性评价方法弥补了理化指标监测不足, 对于废水的安全排放提供更有意义的参考^[7]。因此, 废水生物毒性的评估对于废水排放管理是必要的。

目前对于废水毒性评估方法有三类: ①是通过毒性试验结果进行评估, 如平均毒性(average

toxicity, AvTx)法^[8]、毒性指数(toxic print, TxPr)法^[8]、潜在毒性(potentia toxicologiae, pT)法^[9]、最敏感的测试(most sensitive test, MST)法^[10]、效应-稀释平均比(effect-dilution average ratio, EDAR)法^[11]等毒性分类体系, 主要用于评估废水处理工艺的效果、废水分级以及确定优先控制污染源。②融入了收纳环境的特征, 包括潜在的生物降解能力、环境中其它生态、生物或物理化学参数等。③将废水毒性与毒性负荷相结合, 如 Costan 等^[8]于 1993 年提出的潜在毒性效应(potential ecotoxic effects probe,

收稿日期: 2014-12-15; 修订日期: 2015-03-03

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项(2012YQ15008705)

作者简介: 黄利(1990~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境毒理学, E-mail: ahuang0401@163.com

* 通讯联系人, E-mail: caiq@mail. tsinghua. edu. cn

PEEP)指数法,在多种生物毒性测试及生态毒理的测试结果的基础上,还综合考虑了工业废水的排放量与毒性之间的关系.美国环保署(USEPA)提出 TIE (toxicity identification evaluation)^[12-14]. 毒性鉴别评价体系,用于废水中致毒物质鉴别.目前国内已有不少学者分别采用了生物毒性测试^[15]和毒性鉴定评价^[16-18],但在成组生物毒性基础上对废水毒性削减程度和毒性鉴别联合评估的研究尚不多见.

本研究采用了发光菌急性毒性试验、斑马鱼幼鱼急性毒性试验、斑马鱼胚胎发育毒性试验及小球藻生长抑制试验;然后通过毒性单位及 4 种综合评价指标 AvTx、TxPr、MST 及 PEEP 对制革及印染废水不同工业段的出水毒性进行了全面而综合的评价,通过评价结果得到不同工艺段的削减情况.最后对印染废水进行毒性鉴别评估,从而确定导致废水产生毒性物质类型.

1 材料与方

1.1 水样采集及存储

污水 A 来自桐乡市 S 制革废水处理厂(见图 1). 污水 B 来自嘉兴市 P 印染厂(见图 2). 水样采集后,并置于 4℃ 下冷藏.使用前取出,自然升温至 24~26℃.

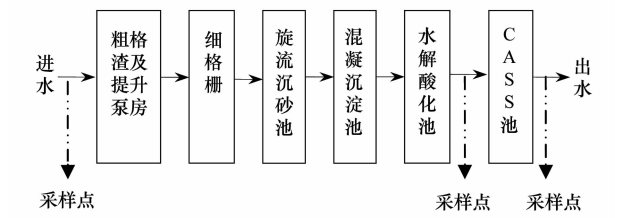


图 1 制革废水采样点示意

Fig. 1 Sampling site of tannery wastewater treatment plant

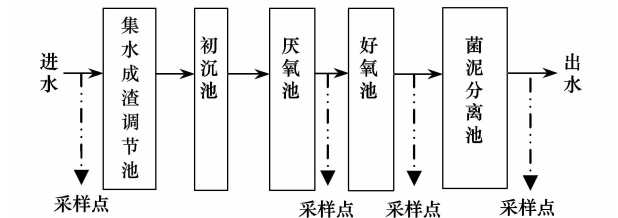


图 2 印染废水采样点示意

Fig. 2 Sampling site of textile wastewater treatment plant

1.2 仪器与试剂

原子吸收光谱(240Duo,安捷伦);紫外分光光度计(Cary100,安捷伦);倒置显微镜(Nikon,TS100-F);细胞培养板(Corning/Costar Co.,USA);

微孔板型多功能检测仪(PromegaCo. USA, Glomax Multi);隔膜真空泵(GM-0.33A);过滤装置(T-50);C₁₈柱(WondaSep,天津市津腾实验设备有限公司);玻璃纤维滤膜(Φ50,海宁市盐官飞特过滤器材厂).

试验所用主要试剂:氯化钙、硫酸镁、碳酸氢钠、氯化钾、柠檬酸、柠檬酸铁胺、乙二胺四乙酸二钠、硝酸钠、磷酸氢二钾、七水硫酸镁、二水合氯化钙、碳酸钠、硼酸、四水合氯化锰、七水合硫酸锌、二水合高锰酸钠、五水合硫酸铜、六水合硝酸钴、EDTA、硫代硫酸钠、甲醇、二氯甲烷、己腈、氯化钠(上述试剂均为分析纯).

数据处理使用 Origin 8.0 软件.

1.3 试验方法

1.3.1 基本理化监测指标

pH 值(玻璃电极法,GB/T 6920-1986);COD(重铬酸钾法,GB/T 11914-1989);NH₄⁺-N(纳氏试剂比色法,GB/T 7479-1987);TP(钼酸铵分光光度法,GB/T 11893-1989);电导率(电导仪,参考文献[19]的方法);Cu、Pb、Zn、Cd、Cr(原子吸收分光光度计,GB/T 7475-1987).

1.3.2 斑马鱼幼鱼急性毒性及胚胎发育毒性试验

幼鱼的获得:运用实验室长期稳定培养的达到性成熟斑马鱼,按照雌雄比 1:2 的比例置于孵化盒中孵化,挑出正常幼鱼用于急性毒性试验;形成受精卵后,立即收集鱼卵,用标准稀释水冲洗 2~3 次,取出残留物,用显微镜挑出正常分裂的胚胎,用于斑马鱼胚胎发育毒性试验.96 h 斑马鱼幼鱼急性毒性试验方法参照文献[20];斑马鱼胚胎发育毒性试验方法参照文献[21].

1.3.3 发光菌急性毒性试验

供试生物:明亮发光杆菌(Photobacterium phosphoreum) T₃ 小种,实验室制作的发光细菌冻干粉,初始发光强度高于 200 万光子数.方法参考刘保奇等^[22]的研究.

1.3.4 小球藻生长抑制试验

试验用小球藻(Chlorella vulgaris). 小球藻生长抑制试验方法参照文献[23]. 最大吸收峰及小球藻初始接种浓度的确定参考梁长华^[24]的研究,得到藻液的最大吸收波长为 685 nm.

1.3.5 毒性鉴别评估

经曝气、过滤、添加 Na₂S₂O₃、添加 EDTA 及 C₁₈固相萃取等一系列物理化学处理后,用发光菌分别对处理后废水、洗脱液与未处理的废水进行毒性

比较,毒性试验同 1.3.3 节^[12~14].

2 计算公式及毒性分级标准

2.1 毒性计算公式

AvTx 的计算公式见公式(1)^[25].

$$AvTx = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N}$$
 (1)

式中, T_i 为第 i 个毒性试验的毒性单位; N 为参与评价的生物毒性指数数.

TxPr 的计算公式见公式(2)^[25].

$$TxPr = AvTx \times n$$
 (2)

式中, n 为生物测定为阳性结果的毒性试验数.

MST 为最敏感的测定生物测定所对应的毒性单位值,即毒性单位最大值^[25].

PEEP 的计算见公式(3)^[8].

$$PEEP = \lg\left[1 + n\left(\sum \frac{T_i}{N}\right)Q\right]$$
 (3)

式中, T_i 为第 i 个毒性试验的毒性单位; n 为生物测定为阳性结果的毒性试验数; N 为参与评价的生物毒性指数数; Q 为排水量($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$).

2.2 毒性分级标准

对不同待测废水的急性(发育)毒性进行等级评定,毒性的分级标准分别根据毒性单位的大

小^[26]、AvTx、TxPr 及 MST 大小^[27]、PEEP 大小对水样的综合毒性进行等级评定^[8].

3 结果与讨论

3.1 基本理化指标

制革和印染废水的各工艺段的重金属含量见表 1 和 2,常规理化指标见表 3 和表 4,主要指标分别达到了《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)的二级标准和《污水排入城市下水道水质标准》(CJ 343-2010)的 A 级标准,可以直接排放.

表 1 制革废水进水及各工艺段的重金属含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 1 Concentration of heavy metals of influent and different

treatment process stages of tannery wastewater/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

废水来源	Cr	Zn	Cu	Cd	Pb
进水	1.895	0.994	0.163	0.008	0.034
混凝沉淀池	1.624	0.740	0.142	0.008	0.021
出水	0.526	0.237	0.022	0.001	0.010

表 2 印染废水进水及各工艺段的重金属含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 2 Concentration of heavy metals of influent and different

treatment process stages of textile wastewater/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

废水来源	Cr	Zn	Cu	Cd	Pb
进水		0.078 7	0.024		
厌氧池	未检出	0.024 7	0.014	未检出	未检出
好氧池		0.016 1	0.017		
菌泥分离池		0.014 3	0.012		

表 3 制革废水常规理化指标

Table 3 Routine physical and chemical indexes of tannery wastewater

废水来源	pH	电导率/ $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$	COD/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	氨氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	总磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
进水	6.94	10.17	436.4	28.234	0.409
混凝沉淀池	6.77	8.30	586.1	21.297	1.659
出水	6.80	8.06	89	1.697	0.278

表 4 印染废水常规理化指标

Table 4 Routine physical and chemical indexes of textile wastewater

废水来源	pH	电导率/ $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$	COD/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	氨氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	总磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
进水	10.01	17.07	988.4	15.04	47.80
厌氧池	7.01	17.24	1191.9	13.41	3.58
好氧池	8.08	15.25	139.5	9.95	7.67
菌泥分离池	8.06	14.21	124.0	7.31	5.08

3.2 制革废水和印染废水的综合毒性削减评估

对于制革废水和印染废水的毒性评估以及处理工艺的毒性削减分析,选择合适的评价指数很重要.当采用单一指示生物时,由于指示生物的灵敏度、选择性的差异,毒性评价效果差异较大.如表 5 可见,制革进水经过混凝沉淀及 CASS 工艺处理后对发光菌和斑马鱼幼鱼的 TU 值均为 0,显示无毒,而

对斑马鱼胚胎以及小球藻的毒性大小依次显示为微毒、微毒. TU 值表明经过混凝沉淀及 CASS 工艺,对发光菌、斑马鱼幼鱼、斑马鱼胚胎和小球藻的毒性削减了 100%、100%、90.3% 和 93.3%. 经过混凝沉淀和 CASS 工艺后 AvTx、TxPr、MST 和 PEEP 的结果分别显示为,有毒,微毒,微毒、微毒. 其中 TxPr 最为敏感,得到进水、混凝沉淀和 CASS 池分

别呈现极毒、有毒、有毒。

对于印染废水毒性评估如表 6,可见进水经过厌氧池、好氧池及菌泥分离池工艺处理后对于发光菌的 TU 值为 0.27,显示无毒,而对斑马鱼幼鱼、斑马鱼胚胎以及小球藻的毒性大小依次为低毒、微毒、微毒。TU 值表明经过厌氧池、好氧池及菌泥分

离池工艺处理后对于发光菌、斑马鱼幼鱼、斑马鱼胚胎和小球藻的毒性削减了 84.1%、66.7%、87.4% 和 93.1%。而通过 AvTx、TxPr、MST 和 PEEP 的评价结果分别显示为,微毒,有毒,微毒、微毒。其中 TxPr 最为敏感,得到进水、厌氧池、好氧池及菌泥分离池分别呈现极毒、极毒、有毒、有毒。

表 5 制革废水的毒性当量及根据不同评价指标的废水毒性评价¹⁾

项目	毒性当量				排水量 /m ³ ·h ⁻¹	AvTx	TxPr	MST	PEEP
	发光菌	斑马鱼幼鱼	斑马鱼胚胎	小球藻					
进水	5.81 ^h	2.31 ^h	5.18 ^h	6.64 ^h	1 250	4.99 ⁱ	19.94 ^{vt}	6.64 ⁱ	4.40 ^{ht}
混凝沉淀池	1.73 ^h	1.29 ^h	1.52 ^h	2.64 ^h		1.80 ⁱ	7.18 ⁱ	2.64 ⁱ	3.95 ^{mt}
CASS 池	0 ^{nt}	0 ^{nt}	0.50 st	0.45 st		0.24 ⁱ	0.48 st	0.50 st	2.78 st

1) 上标中 nt 为无毒; st 为微毒; lt 为低毒; t 为有毒; mt 为中毒; ht 为高毒; vt 为极毒,下同

表 6 印染废水的毒性当量及根据不同评价指标的废水毒性评价

项目	毒性当量				排水量 /m ³ ·h ⁻¹	AvTx	TxPr	MST	PEEP
	发光菌	斑马鱼幼鱼	斑马鱼胚胎	小球藻					
进水	1.70 ^h	4.29 ^h	4.76 ^h	9.97 ^h	104	5.18 ⁱ	20.72 ^{vt}	9.97 ⁱ	3.41 ^{mt}
厌氧池	0.76 st	3.42 ^h	2.81 ^h	7.40 ^h		3.60 ⁱ	14.40 ^{vt}	7.40 ⁱ	3.20 ^{mt}
好氧池	0.55 st	1.77 ^h	0.70 st	3.01 ^h		1.51 ⁱ	6.04 ⁱ	3.01 ⁱ	2.86 st
菌泥分离池	0.27 ^{nt}	1.43 ^h	0.60 st	0.69 st		0.75 st	3.00 ⁱ	1.43 ⁱ	2.62 st

通过对本试验中两种废水的毒性评价可以看出,TxPr 最为敏感;在不考虑排放量的情况下根据 AvTx、TxPr、MST 指标显示 S 制革废水出水毒性略低于 P 印染废水出水,但是考虑排放量情况下 PEEP 评价结果显示 S 制革废水出水毒性又略高于 P 印染废水出水毒性,因此可以得到 PEEP 能够更综合地评价废水的毒性,为相关部门排放提供参考。

3.3 毒性鉴别评估

图 3 为未处理及经不同物理化学处理后的印染

废水对发光菌的毒性当量。EDTA 添加处理组对毒性的削减程度明显高于要曝气处理组和 Na₂S₂O₃ 添加处理组,但低于过滤处理组对毒性的削减程度。过滤后再进行添加 EDTA 和 Na₂S₂O₃ 处理后的毒性变化与之前类似,表明重金属及可滤型物质对印染废水的生物毒性具有部分贡献。本研究对 5 种重金属(Cu、Pb、Zn、Cd 及 Cr)的含量进行了测定,其中 Cu、Zn 的含量较高,因此推测印染废水的部分毒性来自于金属 Cu 和 Zn。房春娟等^[28]指出 Cu 对明亮

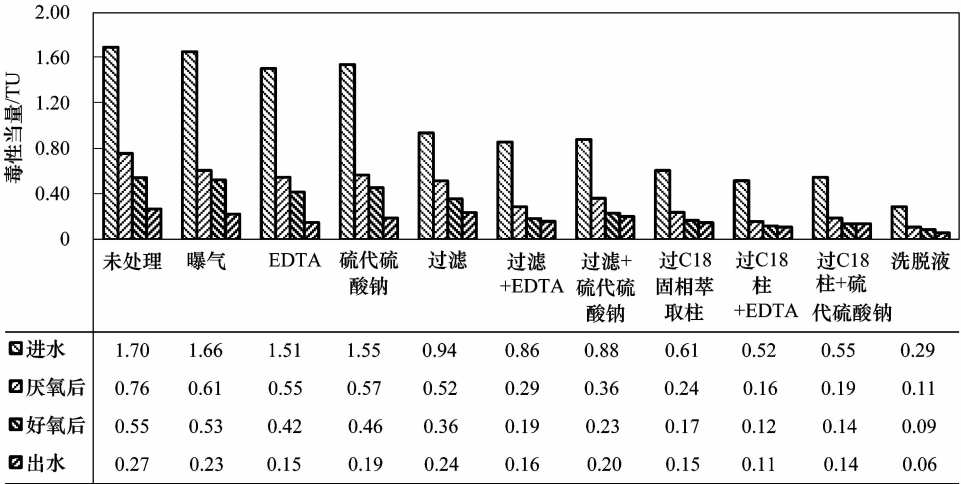


图 3 不同化学处理后的印染废水对发光菌的毒性当量

Fig. 3 Toxic units of textile wastewater with various chemical treatments determined by luminescent bacteria

发光杆菌 T_3 的 EC_{50} 为 $6.328\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 于海等^[29] 报道, Zn 对明亮发光杆菌 T_3 的 EC_{50} 为 $5.1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 因此可计算出该印染废水中金属 Cu、Zn 对发光菌的毒性当量分别为 0.06 TU 及 0.30 TU, 基本与经 EDTA 添加处理后降低的毒性当量一致. 与未经处理的印染废水相比, 经 C_{18} 固相萃取柱处理后, 毒性得到了显著降低; 洗脱液均存在毒性; 对于进水、厌氧池、好氧池及菌泥分离池出水, 与未处理组的毒性相比, 过滤及 C_{18} 固相萃取处理组均显现出明显的毒性降低, 特别是 C_{18} 固相萃取处理组更显著. 综合以上结果分析表明, 推测非极性有机污染物是印染废水中主要的致毒物质, 而可滤型物质、重金属、氧化性和挥发性物质导致的毒性较小.

4 结 论

(1) 通过比较毒性单位、AvTx、TxPr、MST 及 PEEP 这 5 种毒性评价法, PEEP 法能够更有效、全面而综合地评价废水毒性; 由制革及印染废水的综合毒性评价结果可知, 目前的排污标准还不能完全避免有毒废水的排放.

(2) 印染废水毒性鉴别评估表明现有处理工艺对于可滤性物质有较好降解, 非极性有机物在一定程度上得到降解, 而对于重金属和氧化物的去除率相对较低, 由于经整个工艺处理后, 非极性有机物的毒性贡献率降低, 重金属及氧化物的毒性贡献率增大. 因此, 对于印染废水深度处理及回用, 深度处理工艺应更多考虑重金属和氧化物的去除.

参考文献:

[1] Tigini V, Giansanti P, Mangiavillano A, *et al.* Evaluation of toxicity, genotoxicity and environmental risk of simulated textile and tannery wastewaters with a battery of biotests [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2011, **74** (4): 866-873.

[2] 张宇峰, 滕洁, 张雪英, 等. 印染废水处理技术的研究进展 [J]. *工业水处理*, 2003, **23** (4): 23-24.

[3] 郭莉, 刘薇, 金一和. 印染废水处理过程及排放水对草履虫遗传毒性评价 [J]. *生态毒理学报*, 2013, **8** (6): 903-908.

[4] 李晓星, 俞从正, 马兴元. 制革废水处理的研究进展 [J]. *中国皮革*, 2003, **32** (19): 26-27.

[5] 夏宏, 杨德敏. 制革废水及其处理现状综述 [J]. *皮革与化工*, 2014, **31** (1): 25-27.

[6] 邹叶娜, 蔡焕兴, 薛银刚, 等. 成组生物毒性测试法综合评价典型工业废水毒性 [J]. *生态毒理学报*, 2012, **7** (4): 381-388.

[7] 徐建英, 赵春桃, 魏东斌. 生物毒性检测在水质安全评价中的应用 [J]. *环境科学*, 2014, **35** (10): 3991-3995.

[8] Costan G, Bermingham N, Blaise C, *et al.* Potential ecotoxic

effects probe (PEEP): A novel index to assess and compare the toxic potential of industrial effluents [J]. *Environmental Toxicology and Water Quality*, 1993, **8** (2): 115-140.

[9] Krebs F. Small-scale freshwater toxicity investigations [M]. New York: Springer-Verlag, 2005. 115-137.

[10] Vindimian É, Garric J, Flammarion P, *et al.* An index of effluent aquatic toxicity designed by partial least squares regression, using acute and chronic tests and expert judgements [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1999, **18** (10): 2386-2391.

[11] Ronco A, Rossini G B, Sobrero C, *et al.* The application of hazard assessment schemes using the watertox toxicity testing battery [A]. In: Blaise C, Féraud J F (eds.). *Small-scale Freshwater Toxicity Investigations* [M]. Netherlands: Springer, 2005. 233-255.

[12] U. S. Environmental Protection Agency. Methods for aquatic toxicity identification evaluations: Phase I toxicity characterization procedures. Second edition, EPA/600/6-91/003 [R]. Duluth: Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency, 1991.

[13] U. S. Environmental Protection Agency. Methods for aquatic toxicity identification evaluations: Phase II toxicity identification procedures for samples exhibiting acute and chronic toxicity, EPA/600/R-92/080 [R]. Duluth: Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency, 1993.

[14] U. S. Environmental Protection Agency. Methods for aquatic toxicity identification evaluations: Phase III toxicity confirmation procedures for samples exhibiting acute and chronic toxicity, EPA/600/R-92/081 [R]. Duluth: Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency, 1993.

[15] 杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 等. 某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究 [J]. *环境科学*, 2014, **35** (1): 286-291.

[16] 石志芳, 姜霞, 程积民, 等. 毒性鉴别评估 (TIE) 在沉积物毒性评估中的应用 [J]. *环境科学与技术*, 2010, **33** (5): 89-95.

[17] 王晓, 于红霞, 王大勇. 利用模式动物线虫追踪造纸厂废水中酸碱类毒物的研究 [J]. *环境科学*, 2007, **28** (4): 876-879.

[18] 刘旦宇, 荣宏伟. 石化乙烯工业废水中关键毒性物质的鉴别 [J]. *环境工程*, 2012, **30** (4): 101-103.

[19] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 110-112.

[20] ISO (Organisation for Economic Co-operation and Development). Water Quality-Determination of the Acute Lethal Toxicity of Substances to a Freshwater Fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]-Part 1: Static method [R]. ISO7346-1. ISO, Geneva, Switzerland, 1996.

[21] 孔志明, 杨柳燕, 尹大强, 等. 现代环境生物学实验技术与方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005. 2-6.

[22] 刘保奇, 葛会林, 刘树深. 测定环境污染物对青海弧菌发光强度抑制的微板发光法研究 [J]. *生态毒理学报*, 2006, **1** (2): 186-191.

[23]

International Organization for standardization. ISO 8692: 2004 water quality: freshwater algal growth inhibition test with unicellular green algae [S]. Geneve, Switzerland: International Organization for Standardization, 2004.

[24]

梁长华. 纳米 NiO 对小球藻的生物毒性及致毒机制研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2010.

[25]

Manusadzianas L, Balkelyt L, Sadauskas K, *et al.* Ecotoxicological study of Lithuanian and Estonian wastewaters: selection of the biotests, and correspondence between toxicity and chemical-based indices [J]. Aquatic Toxicology, 2003, **63**(1): 27-41.

[26]

高磊. 印染废水的生物毒性测试方法研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2011.

[27]

李雪梅, 柯真山, 杜青, 等. 采用淡水发光菌评估污水处理厂进出水毒性的研究 [J]. 给水排水, 2010, **36**(1): 130-132.

[28]

房春娟, 孙燕, 李治. 铜与二甲基乙酰胺联合污染对发光细菌的急性毒性效应 [A]. 见: 毒理学史研究文集 (第九集)——全国第三届毒理学史研讨会论文集 [C]. 西北大学生态毒理研究所, 2010.

[29]

于海, 何苗, 蔡强. 检测水中急性毒性污染物的发光菌光纤传感器的研究 [J]. 环境科学, 2008, **29**(2): 375-379.



《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2014 年 9 月 26 日, 中国科技论文统计结果发布会在北京举行, 会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单. 《环境科学》连续 13 次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号. “百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定. 该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析, 对期刊分学科进行评比, 其评价结果客观公正, 为我国科技界公认, 并具有广泛影响.

CONTENTS

Potential Source Contribution Analysis of the Particulate Matters in Shanghai During the Heavy Haze Episode in Eastern and Middle China in December, 2013	Li Li, CAI Jun-lin, ZHOU Min (2327)
Composition and Regional Characteristics of Atmosphere Aerosol and Its Water Soluble Ions over the Yangtze River Delta Region in a Winter Haze Period	WANG Man-ting, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (2337)
Chemical Species of PM _{2.5} in the Urban Area of Beijing	LIU Bao-xian, YANG Dong-yan, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (2346)
Numerical Study on the Characteristics of Regional Transport of PM _{2.5} in Shandong Province During Spring in 2014	JIA Hai-ying, CHENG Nian-liang, HE You-jiang, <i>et al.</i> (2353)
Characteristics of Water-Soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} Emitted from Coal-Fired Power Plants	MA Zi-zhen, LI Zhen, JIANG Jing-kun, <i>et al.</i> (2361)
Direct Observation on the Temporal and Spatial Patterns of the CO ₂ Concentration in the Atmospheric of Nanjing Urban Canyon in Summer	GAO Yun-qiu, LIU Shou-dong, HU Ning, <i>et al.</i> (2367)
Emission Factors of Vehicle Exhaust in Beijing	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2374)
Adsorption Capacity of the Air Particulate Matter in Urban Landscape Plants in Different Polluted Regions of Beijing	ZHANG Wei-kang, WANG Bing, NIU Xiang (2381)
Major Air Pollutant Emissions of Coal-Fired Power Plant in Yangtze River Delta	DING Qing-qing, WEI Wei, SHEN Qun, <i>et al.</i> (2389)
Estimation of N ₂ O Emission from Anhui Croplands by Using a Regional Nitrogen Cycling Model IAP-N	HAN Yun-fang, HAN Sheng-hui, YAN Ping (2395)
Evaluation on the Impacts of Different Background Determination Methods on CO ₂ Sources and Sinks Estimation and Seasonal Variations	ZHANG Fang, ZHOU Ling-xi, WANG Yu-zhao (2405)
Measured and Predicted Aquatic Life Criteria and Risk Assessment of Chromium (VI) in Liaohe River	WANG Xiao-nan, YAN Zhen-guang, LIU Zheng-tao, <i>et al.</i> (2414)
Pollution and Potential Ecology Risk Evaluation of Heavy Metals in River Water, Top Sediments on Bed and Soils Along Banks of Bortala River, Northwest China	ZHANG Zhao-yong, Jilili Abuduwalili, JIANG Feng-qing (2422)
Influencing Factors for Hydrochemistry and δ ¹³ C _{DIC} of Karst Springs	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, LIU Zi-qi, <i>et al.</i> (2430)
Hydrochemical Characteristics and the Dissolved Inorganic Carbon Flux in Liuzhou Section of Liujiang Basin	YUAN Ya-qiong, HE Shi-yi, YU Shi, <i>et al.</i> (2437)
Characteristics of Total Nitrogen and Total Phosphorus Pollution and Eutrophication Assessment of Secondary River in Urban Chongqing	QING Xu-yao, REN Yu-fen, LÜ Zhi-qiang, <i>et al.</i> (2446)
Static Migration and Release of Dibutyl-Phthalate in the Fluctuating Zone of Three Gorges Reservoir	WANG Fa, WANG Qiang, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (2453)
Effect of Drought and Subsequent Re-wetting Cycles on Transferable Nitrogen and Its Form Distribution in the Sediment of Water Level Fluctuating Zone in the Tributary of Three Gorge Reservoir Areas	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, YANG Zhen-yu, <i>et al.</i> (2459)
Distribution of Chlorophyll-a and Eutrophication State in Tianchi Lake of Tianshan Mountains in Summer	WANG Bin, MA Jian, WANG Yin-ya, <i>et al.</i> (2465)
Vertical Distribution Characteristics and Analysis in Sediments of Xidaihai Lake	DUAN Mu-chun, XIAO Hai-feng, ZANG Shu-ying (2472)
Phytoplankton Community Structure and Water Quality Assessment in Jialing River After the Impoundment of Caojie Reservoir	YANG Min, ZHANG Sheng, LIU Shuo-ru (2480)
Analysis of Prokaryotic Community Structure in River Waters of the Ningbo Sanjiang Mouth	HU An-yi, LI Jiang-wei, YANG Xiao-yong, <i>et al.</i> (2487)
Effects of Perfluoroalkyl Substances on the Microbial Community Structure in Surface Sediments of Typical River, China	SUN Ya-jun, WANG Tie-yu, PENG Xia-wei, <i>et al.</i> (2496)
Coupling Effects of Decomposed <i>Potamogeton crispus</i> and Growing <i>Ceratophyllum demersum</i> on Water Quality and Plant Growth	MA Yue, WANG Guo-xiang, CAO Xun, <i>et al.</i> (2504)
Bioretention Media Screening for the Removal of Phosphorus in Urban Stormwater	LI Li-qing, GONG Yan-fang, YAN Zi-qin, <i>et al.</i> (2511)
Treatment of Urban Runoff Pollutants by a Multilayer Biofiltration System	WANG Xiao-lu, ZUO Jian-e, GAN Li-li, <i>et al.</i> (2518)
Effect of Three Typical Disinfection Byproducts on Bacterial Antibiotic Resistance	LÜ Lu, ZHANG Meng-lu, WANG Chun-ming, <i>et al.</i> (2525)
Laboratory Investigation of DNAPL Migration Behavior and Distribution at Varying Flow Velocities Based on Light Transmission Method	GAO Yan-wei, ZHENG Fei, SHI Xiao-qing, <i>et al.</i> (2532)
Comparative Study of Benzotriazole Electrochemical Oxidation at Boron-doped Diamond and PbO ₂ Anodes	WU Juan-li, ZHANG Jia-wei, WANG Ting, <i>et al.</i> (2540)
Sorption of <i>o</i> -Phthalate onto Calcite in Open-System	LI Zhen-xuan, HUANG Li-dong, CHEN Yan-fang, <i>et al.</i> (2547)
Adsorption Behaviors of Lead on Multi-Walled Carbon Nanotube-Hydroxyapatite Composites	ZHANG Jin-li, LI Yu (2554)
Synthesis and Study on Adsorption Property of Congo Red Molecularly Imprinted Polymer Nanospheres	CHANG Zi-qiang, CHEN Fu-bin, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (2564)
Simultaneous Removal of Cd(II) and Phenol by Titanium Dioxide-Titanate Nanotubes Composite Nanomaterial Synthesized Through Alkaline-Acid Hydrothermal Method	LEI Li, JIN Yin-jia, WANG Ting, <i>et al.</i> (2573)
Immobilization of Estrogen-degrading Bacteria to Remove the 17β-estradiol and Diethylstilbestrol from Polluted Water and Cow Dung	LI Xin, LING Wan-ting, LIU Jing-xian, <i>et al.</i> (2581)
Optoelectronic PCB Wastewater Treatment by Partial Nitrification-ANAMMOX Integrative Reactor	YUAN Yan, LI Xiang, ZHOU Cheng, <i>et al.</i> (2591)
Treatment of Petrochemical Treatment Plant Secondary Effluent by Fenton Oxidation	WANG Yi, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (2597)
Comprehensive Toxicity Evaluation and Toxicity Identification Used in Tannery and Textile Wastewaters	HUANG Li, CHEN Wen-yan, WAN Yu-shan, <i>et al.</i> (2604)
Carbon/nitrogen Removal and Bacterial Community Structure Change in an A/O Activated Sludge System Under Different Dissolved Oxygen Conditions	CHEN Yan, LIU Guo-hua, FAN Qiang, <i>et al.</i> (2610)
ORP in the Main Anoxic Stage as the Control Parameter for Nitrogen and Phosphorus Removal in the Single Sludge System with a Continuous Flow	WANG Xiao-ling, SONG Tie-hong, YIN Bao-yong, <i>et al.</i> (2617)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Real Low Concentration Domestic Wastewater and Its Denitrification Performances Under the Continuous Flow	YAO Li, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (2626)
Heavy Metal Contamination in Farmland Soils at an E-waste Disassembling Site in Qingyuan, Guangdong, South China	ZHANG Jin-lian, DING Jiang-feng, LU Gui-ning, <i>et al.</i> (2633)
Residues and Spatial Distribution Characteristics of Organochlorine Pesticides DDTs in Soil of Linyi City, Shandong Province	YU Chao, WANG Zeng-hui, WANG Hong-jin, <i>et al.</i> (2641)
Assessment of Soil Fluorine Pollution in Jinhua Fluorite Ore Areas	YE Qun-feng, ZHOU Xiao-ling (2648)
Response of Straw and Straw Biochar Returning to Soil Carbon Budget and Its Mechanism	HOU Ya-hong, WANG Lei, FU Xiao-hua, <i>et al.</i> (2655)
Changes of Soil Organic Carbon and Its Influencing Factors of Apple Orchards and Black Locusts in the Small Watershed of Loess Plateau, China	LI Ru-jian, WANG Rui, LI Na-na, <i>et al.</i> (2662)
Impacts of Land Use Changes on Soil Light Fraction and Particulate Organic Carbon and Nitrogen in Jinyun Mountain	LEI Li-guo, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2669)
Soil Enzyme Activities and Their Relationships to Environmental Factors in a Typical Oasis in the Upper Reaches of the Tarim River	ZHU Mei-ling, GONG Lu, ZHANG Long-long (2678)
Effects of Different Residue Part Inputs of Corn Straws on CO ₂ Efflux and Microbial Biomass in Clay Loam and Sandy Loam Black Soils	LIU Si-yi, LIANG Ai-zhen, YANG Xue-ming, <i>et al.</i> (2686)
Isolation, Identification of a <i>p</i> - <i>tert</i> -Butylcatechol-Degrading Strains and Optimization for Its Degradation by Response Surface Methodology	HE Qiang-li, LIU Wen-bin, YANG Hai-jun, <i>et al.</i> (2695)
Isolation, Identification and Characteristic Analysis of an Oil-producing <i>Chlorella</i> sp. Tolerant to High-strength Anaerobic Digestion Effluent	YANG Chuang, WANG Wen-guo, MA Dan-wei, <i>et al.</i> (2707)
Coupled Cytotoxicity of C ₆₀ Nano-Crystal Particle with Cu ²⁺ to the Mouse Peritoneal Microphage RAW 264. 7	YU Ye, BIAN Wei-lin, ZHANG Hui-min, <i>et al.</i> (2713)
Simultaneous Analysis of 18 Glucocorticoids in Surface Water	GUO Wen-jing, CHANG Hong, SUN De-zhi, <i>et al.</i> (2719)

《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)

2015 年 7 月 15 日 第 36 卷 第 7 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 7 Jul. 15, 2015

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 国内邮发代号: 2-821
CN 11-1895/X

国 内 定 价: 120.00 元 国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行