

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第5期

Vol.35 No.5

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角地区秸秆燃烧排放因子与颗粒物成分谱研究	唐喜斌, 黄成, 楼晟荣, 乔利平, 王红丽, 周敏, 陈明华, 陈长虹, 王倩, 李贵玲, 李莉, 黄海英, 张钢锋 (1623)
南京市大气颗粒物中水溶性离子的粒径分布和来源解析	薛国强, 朱彬, 王红磊 (1633)
2011年春季沙尘天气影响下上海大气颗粒物及其化学组分的变化特征	李贵玲, 周敏, 陈长虹, 王红丽, 王倩, 楼晟荣, 乔利平, 唐喜斌, 李莉, 黄海英, 陈明华, 黄成, 张钢锋 (1644)
结合外场观测分析珠三角二次有机气溶胶的数值模拟	郭晓霜, 司徒淑婷, 王雪梅, 丁翔, 王新明, 闫才青, 李小滢, 郑玫 (1654)
2013年夏季嘉兴市一次光化学事件的观测分析	沈利娟, 李莉, 吕升, 张孝寒, 吴博, 章国骏, 王翥 (1662)
移动监测法测量厦门春秋季节近地面 CO ₂ 的时空分布	李燕丽, 邢振雨, 穆超, 杜可 (1671)
秸秆烟尘和灰烬中元素碳的稳定同位素组成	刘刚, 李久海, 徐慧, 吴丹, 刘艳 (1680)
连续测量大气·OH的化学电离飞行时间质谱仪的研制	窦健, 花磊, 侯可勇, 蒋蕾, 谢园园, 赵无垠, 陈平, 王卫国, 田地, 李海洋 (1688)
我国重点城市水源及水厂出水中乙草胺的残留水平	于志勇, 金芬, 李红岩, 安伟, 杨敏 (1694)
巢湖水体组分垂向分布特征及其对水下光场的影响	马孟泉, 张玉超, 钱新, 马荣华, 段洪涛 (1698)
京杭大运河(杭州段)典型断面水生植物多样性调查及其与水环境相关性研究	陆胤, 许晓路, 张德勇, 王莉, 朱旭妮, 冯凤, 周巧君, 谢鹏 (1708)
合肥市区典型景观水体氮磷污染特征及富营养化评价	李如忠, 刘科峰, 钱靖, 杨继伟, 张翩翩 (1718)
重庆园博园龙景湖新建初期内源氮磷分布特征及扩散通量估算	潘延安, 雷沛, 张洪, 单保庆, 李杰 (1727)
千岛湖库区及其主要入库河流水中有机氯农药残留污染特征及健康风险评价	唐访良, 张明, 徐建芬, 阮东德, 陈峰, 吴志旭, 程新良 (1735)
九龙江流域潜在病原菌污染分析	侯丽媛, 胡安谊, 马英, 于昌平 (1742)
江湖关系变化对鄱阳湖沉积物重金属分布及生态风险影响	刘婉清, 倪兆奎, 吴志强, 王圣瑞, 曾清如 (1750)
鄱阳湖-乐安河湿地水土环境中重金属污染的时空分布特征	简敏菲, 李玲玉, 徐鹏飞, 陈朴青, 熊建秋, 周雪玲 (1759)
典型岩溶水系统中溶解性有机质的运移特征	姚昕, 邹胜章, 夏日元, 许丹丹, 姚敏 (1766)
基于扰动分析方法的 AnnAGNPS 模型水文水质参数敏感性分析	席庆, 李兆富, 罗川 (1773)
混合胁迫条件下蓝藻运动特性研究	孙秀秀, 丛海兵, 高郑娟, 崔朝杰, 曹倩倩 (1781)
不同波长和强度光照对水体汞还原的影响	李希嘉, 钟紫旋, 孙荣国, 杨鲲, 王定勇 (1788)
地下水中常见离子对纳米零价铁除 Se(IV) 动力学的影响	杨文君, 郭迎庆, 杜尔登 (1793)
溴氧化铋可见光催化降解高效氯氟酯的研究	彭一莱, 赵小蓉, 贾漫珂, 周薇, 黄应平 (1798)
石墨烯基磁性复合材料吸附水中亚甲基蓝的研究	常青, 江国栋, 胡梦璇, 黄佳, 唐和清 (1804)
电化学氧化 PFOA 阳极材料筛选及其机制研究	卓琼芳, 邓述波, 许振成, 余刚 (1810)
典型抗生素在中国西南地区某污水处理厂中的行为和归趋	甘秀梅, 严清, 高旭, 张怡昕, 訾成方, 彭绪亚, 郭劲松 (1817)
颗粒状大孔阴树脂去除有机物以及缓解膜污染的效果与机制	何欢, 董秉直, 许光红, 闫昭辉 (1824)
石墨-活性炭纤维复合电极电吸附处理含盐废水的研究	周贵忠, 王兆丰, 王珣, 李文倩, 李少香 (1832)
酞基甲基化聚苯乙烯的制备及废水生化处理应用	张华雨, 许晴, 牛春梅, 王亚君, 侯正浩, 李绍英, 陈延明, 廉静, 吴士彬, 郭建博 (1838)
FePMo ₁₂ 催化电化学反应降解染料废水的研究	王栗, 岳琳, 郭建博, 杨景亮, 廉静, 罗晓, 王开红 (1843)
实际污水培养好氧颗粒污泥及其特性研究	杨淑芳, 张健君, 邹高龙, 杜至力 (1850)
SFBR 中好氧颗粒污泥的培养及特性研究	龙焙, 杨昌柱, 濮文虹, 杨家宽, 白俊, 王晶, 周玄月, 蒋国盛, 李春阳, 刘福标 (1857)
不同好/厌氧区容积负荷对生物膜/颗粒污泥耦合工艺脱氮除磷的影响	尹航, 刘畅, 高辉, 高大文 (1866)
黄原酸化废弃污泥吸附 Cu ²⁺ 研究	岑艳, 全向春, 姜晓满 (1871)
轮叶黑藻和穗花狐尾藻对铜的吸收机制研究	薛培英, 李国新, 赵全利 (1878)
不同烧制温度下玉米秸秆生物炭的性质及对苯的吸附性能	黄华, 王雅雄, 唐景春, 朱文英 (1884)
北京常见绿化树种叶片富集重金属能力研究	李少宁, 孔令伟, 鲁绍伟, 陈波, 高琛, 石媛 (1891)
泰州市区重金属污染的藜袋法与路生法评价研究	陈勤, 方炎明, 颜赞, 陈步金 (1901)
放牧对呼伦贝尔草甸草原土壤呼吸温度敏感性的影响	王旭, 闫瑞瑞, 邓钰, 闫玉春, 辛晓平 (1909)
苹果园土壤呼吸的变化及生物和非生物因素的影响	王蕊, 郭胜利, 刘庆芳, 张彦军, 姜继超, 郭慧敏, 李如剑 (1915)
重庆铁山坪森林土壤汞释放通量的影响因子研究	王琼, 罗遥, 杜宝玉, 叶芝祥, 段雷 (1922)
上海市郊区养殖场周边环境砷含量特征	奚功芳, 周守标, 丁海城, 姚春霞, 孔娟娟 (1928)
不同施氮量下水稻分蘖期光合碳向土壤碳库的输入及其分配的量化研究: ¹³ C 连续标记法	谭立敏, 吴昊, 李卉, 周萍, 李科林, 王久荣, 葛体达, 袁红朝, 吴金水 (1933)
污灌区盐分累积对土壤汞吸附行为影响的模拟研究	郑顺安, 李晓华, 徐志宇 (1939)
石灰干化污泥稳定后土壤中 Pb、Cd 和 Zn 浸出行为的研究	李翔, 宋云, 刘永兵 (1946)
大连市海产品中短链氯化石蜡的含量与分布研究	虞俊超, 王宝盛, 王亚韩, 孟梅, 陈茹, 江桂斌 (1955)
应用生物配体模型(BLM)研究辽河与太湖水体中铜对大型溞的急性毒性	周腾耀, 曹莹, 覃璐玫, 张亚辉, 曾鸿鸣, 闫振广, 刘征涛 (1962)
氧化铜纳米颗粒对水稻幼苗根系代谢毒性的研究	王淑玲, 张玉喜, 刘汉柱, 辛华 (1968)
吐温 80 对苏云金芽孢杆菌降解三苯基锡的促进机制	黄捷, 叶锦韶, 尹华, 彭辉, 马嘉雯, 唐立椿, 王惜若 (1974)
牛粪混合液微生物燃料电池长期运行稳定性研究	焦燕, 张国栋, 赵庆良 (1981)
针铁矿对城市生活垃圾有机组分厌氧发酵的影响	杨露露, 岳正波, 陈天虎, 王进 (1988)
城市生活垃圾集装箱转运过程中污染物产生状况研究	王晓媛, 刘殷华, 汪飞, 黄长缨, 陆峰, 谢冰 (1994)
铈插层黏土负载铁催化剂在 H ₂ S 选择性催化氧化过程中催化性能的研究	孙超, 张鑫, 郝郑平, 窦广玉, 孙春宝 (2002)
脱硫类水滑石衍生复合氧化物不同方法的制备与表征	祝春蕾, 王海林, 孙春宝 (2010)
固定污染源排气中 PM _{2.5} 采样方法综述	蒋靖坤, 邓建国, 李振, 李兴华, 段雷, 郝吉明 (2018)
产甲烷微生物研究概况	李煜珊, 李耀明, 欧阳志云 (2025)
《环境科学》征稿简则(1961) 《环境科学》征订启事(1967) 信息(1643, 1687, 1803, 1837)	

溴氧化铋可见光催化降解高效氯氰菊酯的研究

彭一荣^{1,2}, 赵小蓉^{1,2}, 贾漫珂^{1,2}, 周薇^{1,2}, 黄应平^{1,2*}

(1. 三峡大学三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心, 宜昌 443002; 2. 三峡大学三峡库区生态环境教育部工程研究中心, 宜昌 443002)

摘要: 在可见光($\lambda \geq 420$ nm)照射下, 利用溴氧化铋(bismuth oxide bromide, BiOBr)作为光催化剂降解农药高效氯氰菊酯(beta-cypermethrin, beta-CP), 采用气相色谱仪跟踪检测 beta-CP 降解过程中的变化, 研究了 BiOBr 在可见光照条件下催化降解 beta-CP 的特性; 同时, 探讨了介质 pH 条件和催化剂用量对其光催化降解效果的影响; 采用化学需氧量(COD)测定仪测定了 beta-CP 光催化体系深度矿化氧化的效果. 结果表明, 在可见光激发下 BiOBr 能有效降解农药 beta-CP, 在实验条件下光催化反应 10 h 后, beta-CP 的降解率达到 94.68%; 随着催化剂用量和 pH 的增大, beta-CP 的降解速率在不断加快; 光催化反应 36 h, Vis/BiOBr/beta-CP 体系的 COD 去除率达 67.99%. 利用对苯二甲酸荧光法和过氧化物酶催化氧化方法跟踪测定光催化过程中氧化物种的变化, 结果表明其光催化反应机制涉及 $\cdot\text{OH}$ 氧化过程.

关键词: 可见光; 溴氧化铋; 高效氯氰菊酯; 光催化; 降解

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)05-1798-06 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2014.05.023

BiOBr Promoted the Photocatalytic Degradation of Beta-cypermethrin Under Visible Light

PENG Yi-zhu^{1,2}, ZHAO Xiao-rong^{1,2}, JIA Man-ke^{1,2}, ZHOU Wei^{1,2}, HUANG Ying-ping^{1,2}

(1. Collaborative Innovation Center for Geo-Hazards and Eco-Environment in Three Gorges Area, Hubei Province, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: As a visible light photocatalyst, bismuth oxide bromide (BiOBr) was used to catalyze the degradation of beta-cypermethrin (beta-CP). The photocatalytic degradation of beta-CP was studied with gas chromatography. The effects of pH and catalyst dose on the photocatalytic degradation efficiency were discussed. The oxidization and mineralization of beta-CP were detected by chemical oxygen demand (COD) analyzer. The results showed that beta-CP could be effectively degraded under visible light irradiation using BiOBr as the catalyst. At given experimental conditions, the degradation rate of beta-CP reached 94.68% after 10 h and the COD removal rate reached 67.99% after 36 h. With the increase of catalyst dose and pH value, the degradation rate was improved. The photocatalytic oxidation species was determined by peroxidase method and terephthalic acid fluorescence method. These results suggested that the photocatalytic degradation process mainly referred to hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) mechanism.

Key words: visible light; bismuth oxide bromide (BiOBr); beta-cypermethrin (beta-CP); photocatalysis; degradation

高效氯氰菊酯(beta-cypermethrin, beta-CP)属于合成拟除虫菊酯杀虫剂,由母体化合物氯氰菊酯的4个活跃立体异构体组成^[1].合成拟除虫菊酯比有机磷酸酯类和氨基甲酸酯类杀虫剂更有效^[1],并且其效力是普通氯氰菊酯的两倍多^[2],因此被广泛应用于农业来控制害虫,约占全世界四分之一的杀虫剂市场^[3].然而,beta-CP施用后,仅有小部分发挥了除虫效力,大部分残余农药则是附着在作物本体或扩散到附近的土壤、水等环境中,造成环境污染. beta-CP对鱼类^[4,5]和蜜蜂^[6]都表现出较高的毒性,对人体也具有较大的危害,如急性毒性和神经毒性等^[7,8].

现有报道对水环境中 beta-CP 降解方法的研究大多为生物方法^[3,9~12],虽然其降解效果显著,但是

降解周期过长^[13].以 Fenton 和 TiO_2 为代表的高级氧化技术来降解环境中的有毒有机污染物得到了很好的发展,利用高级氧化技术来降解 beta-CP 的报道大多集中在 Fenton 处理技术^[14,15]和以传统的 TiO_2 ^[16]或改性后的 TiO_2 ^[2,17]作为光催化剂的光催化降解技术.利用 Fenton 处理技术来降解有机污染物的效率快、矿化程度高,但是其条件苛刻、应用成本高,难以应用于实际.虽然 TiO_2 具有无二次污

收稿日期: 2013-09-14; 修订日期: 2013-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(21307073, 21207079, 21177072); 湖北省新世纪人才入选人员优先资助项目(201203); 三峡大学研究生科研创新基金项目(2012CX083); 中国科学院生态环境研究中心开放基金项目(KF2011-7)

作者简介: 彭一荣(1989~),女,硕士研究生,主要研究方向为环境催化及污染控制, E-mail: peng304_19@163.com

* 通讯联系人, E-mail: chem_ctgu@126.com

染、氧化能力强、稳定和廉价等优点,但是对太阳能的利用率低,而且只能在紫外光的照射下发挥催化效应。BiOBr 作为一种新型催化剂,在紫外光区和可见光区同时都有较好的响应^[18],BiOBr 以其独特的电子结构、良好的光性能和催化性能,较好地克服了以 TiO₂ 为代表的第二代光催化剂的太阳能利用率和量子产率低的缺陷,在光催化降解污染物方面较大的潜在应用价值,因此被广泛地用来降解如微囊藻毒素^[19]和四溴双酚 A^[20]等有毒有机污染物,具有良好的应用前景。

本研究在可见光照射($\lambda \geq 420$ nm)下,利用气相色谱(GC)^[21]对 BiOBr 可见光降解 beta-CP 的光催化过程进行跟踪检测,并测定降解过程中化学需氧量(COD)的变化,分析了农药 beta-CP 的光催化降解特性。利用对苯二甲酸荧光法和过氧化物酶催化氧化方法分别跟踪测定体系中的 H₂O₂ 和 $\cdot\text{OH}$,定量测定光催化过程中氧化物种的变化,初步探讨了 BiOBr 光催化氧化降解 beta-CP 的机制。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

仪器: Varian GC-450 气相色谱仪(美国,Varian); XPA 系列光反应器(南京胥江机电厂); FE 20 pH 计(上海梅特勒托利多仪器有限公司); Lambda 25 紫外-可见分光光度计(美国,PE); COD 测定仪(德国, Lovibond); F-4500 荧光仪(日本,Hitachi)。

试剂: 高效氯氰菊酯(乳油,有效成分 4.5%); BiOBr 参照专利(ZL 2010 10141878.9)^[22]制备; 0.1% 辣根过氧化物酶(POD); 1.0% *N,N*-二乙基对苯二胺硫酸盐(DPD); pH = 6.8 的磷酸氢二钾-氢氧化钠缓冲液; 正己烷(色谱纯); 实验用水均为二次蒸馏水。

1.2 实验过程

1.2.1 光催化降解高效氯氰菊酯

在光反应管中加入浓度为 $4.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 beta-CP 水溶液(取 0.1 mL beta-CP 乳油用二级蒸馏水定量稀释至 1 000 mL)和 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ BiOBr 催化剂,置于暗室内搅拌(转速 $400 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$) 2 h 达到吸附平衡,然后在 400 W 的金卤灯照射下进行光催化降解,使用滤光片滤去 420 nm 以下的光,确保反应在可见光($\lambda \geq 420$ nm)照射下进行,光功率密度为 $22.9 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 。按照一定的时间间隔取样,样品经

离心分离后取上清液进行样品前处理,供 GC 分析。实验均平行重复 3 次,且误差均在 $\pm 5\%$ 之内。

1.2.2 高效氯氰菊酯的分析检测

样品前处理: 取 1 mL 样品和 1 mL 正己烷于离心管中,在漩涡混合仪上振荡 30 s,静置 15 min,待分层后收集有机相于氮吹管中,样品萃取 3 次。将 3 次收集的有机相氮吹至 1 mL,待测。

GC 条件: 色谱柱为 VF-5MS(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm) 石英毛细管柱; 载气为高纯 N₂ ($\geq 99.999\%$); 进样口温度 250℃,分流进样,分流比为 10:1,载气流速 $1.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$; 程序升温为初始温度 150℃,保持 0.5 min,再以 $20 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升至 300℃,保持 7 min; 检测器为 ECD,温度为 300℃; 进样量 1 μL 。采用外标法定量,样品均以 4 个异构体的峰面积之和(用 *S* 表示)进行计算。

1.2.3 光催化降解高效氯氰菊酯过程中 COD 的变化分析

$4.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 高效氯氰菊酯水溶液在 BiOBr 用量为 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的条件进行光催化降解实验,并于一定时间间隔取样。参照 HJ/T 399-2007,测定反应过程中化学需氧量(COD)变化。

1.2.4 反应过程中氧化物种的跟踪测定

羟基自由基($\cdot\text{OH}$)的测定^[23]: 在 5 mL EP 管中,加入 1 mL $5.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 对苯二甲酸溶液,并依次加入 1 mL 不同时间光催化反应和暗反应的试液,离心后采用 F-4500 荧光仪在 $\lambda_{\text{ex}} = 315 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{em}} = 425 \text{ nm}$ 处,狭缝为 10 nm 测定 $\cdot\text{OH}$ 的强度。所测得的相对荧光强度 ΔF 为产生 $\cdot\text{OH}$ 的相对含量。

H₂O₂ 的测定^[24]: 分别取 1 mL 反应液于 10 mL 比色管中,依次加入 20 μL 质量分数为 0.1% 的 POD 溶液、1 mL pH = 6.8 的 KH₂PO₄-NaOH 缓冲溶液和 150 μL 质量分数为 1.0% 的 DPD 溶液,定容至 5 mL,摇匀后离心。空白样作参比,10 min 后,用紫外-可见分光光度计测定溶液在 510 nm 处的吸光度,根据标准曲线换算为 H₂O₂ 浓度。

2 结果与讨论

2.1 可见光条件下光催化降解 beta-CP

图 1 为 Vis/BiOBr/beta-CP 体系光催化降解过程中反应物及产物的气相色谱图。从中可知,随着光催化时间的延长,色谱图中的 beta-CP 特征峰(1, 2, 3, 4)明显降低。这表明, beta-CP 得到了有效的降解。

以 BiOBr 为光催化剂在可见光下对 beta-CP 进

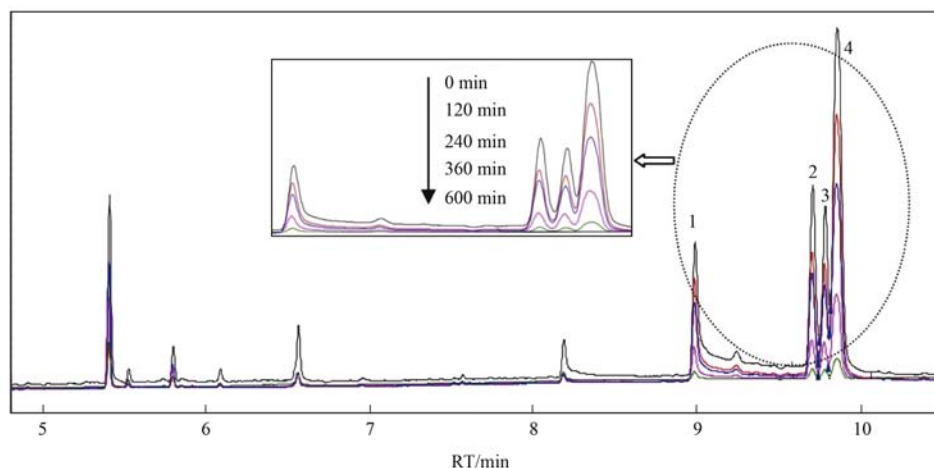
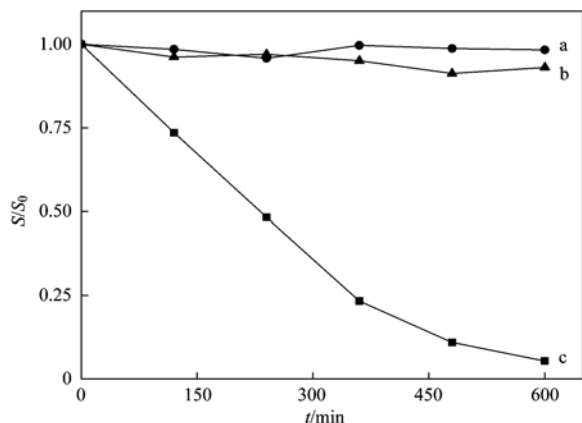


图1 Beta-CP 光催化降解的气相色谱图

Fig. 1 Gas chromatograms of beta-CP during the photocatalytic degradation

行降解,不同条件下所得降解动力学曲线如图2所示. Beta-CP 在可见光下稳定性较好,几乎不发生光解(曲线 a). 在暗反应条件下, BiOBr 对 beta-CP 吸附量为 $1.58 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (曲线 b). 在达到吸附平衡后,经过 600 min 的可见光照射 beta-CP 的降解效率达 94.68% (曲线 c), beta-CP 的光催化降解为表观一级动力学过程,可以用 Langmuir-Hinshelwood 模型来描述,反应动力学常数为 $k = 0.027 \text{ min}^{-1}$. 这表明,在可见光照射下 BiOBr 能有效地光催化降解 beta-CP.



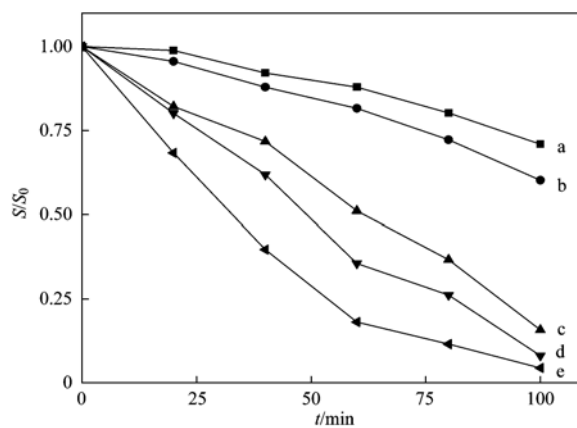
$[\text{beta-CP}] = 4.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $[\text{BiOBr}] = 0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{pH} = 6.34$
a. Vis/beta-CP; b. dark/BiOBr/beta-CP; c. Vis/BiOBr/beta-CP

图2 Beta-CP 的降解动力学曲线

Fig. 2 Degradation kinetics curve of beta-CP

2.2 催化剂用量对 beta-CP 降解的影响

在可见光照射下,催化剂 BiOBr 用量对 beta-CP 降解效率的影响见图3. 从中可见,在实验条件范围内(催化剂用量 $0.5 \sim 3.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$),随着催化剂投加量的增加, beta-CP 降解反应动力学常数 k 从 0.004



$[\text{beta-CP}] = 4.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{pH} = 6.34$

a. $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; b. $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; c. $1.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$;
d. $2.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; e. $3.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

图3 催化剂用量对 beta-CP 光催化降解的影响

Fig. 3 Effect of BiOBr dose on the degradation of beta-CP

min^{-1} 增大到 0.190 min^{-1} . 以上表明,在一定条件下,可以通过增加催化剂用量加速 beta-CP 的降解.

2.3 不同 pH 条件下对 beta-CP 光催化降解的影响

图4为不同 pH 值条件对 Vis/BiOBr/beta-CP 体系光催化降解和 Vis/beta-CP 体系光解的影响. 对 Vis/BiOBr/beta-CP 体系,用 HNO_3 和 NaOH 调节 beta-CP 水溶液的 pH 值到 2.87、4.47、6.34、8.72、10.34,光催化降解 300 min 后其降解效率分别为 65.78%、58.15%、21.37%、11.02% 和 2.61%;在相同反应时间下,对 Vis/beta-CP 体系,调节 pH 为 2.87、4.47、6.34、8.72、10.34,其 beta-CP 光解率分别达 2.53%、3.93%、8.30%、55.80%、62.80%,表明 beta-CP 在酸性条件下相对稳定^[25];溶液的 pH 值对 beta-CP 的光催化降解有较大影响.

本研究比较了两个体系光催化降解与光解情况的差值(用 Δ 表示),见表 1. 从中可知,在 pH 值为 6.34 的情况下 $\Delta_3 = 70.33\%$,差值最大,光催化降解效率最高. 一般水体 pH 值都近中性条件,并且在中性条件下光催化降解效率最高,后续实验条件 pH 选择 6.34.

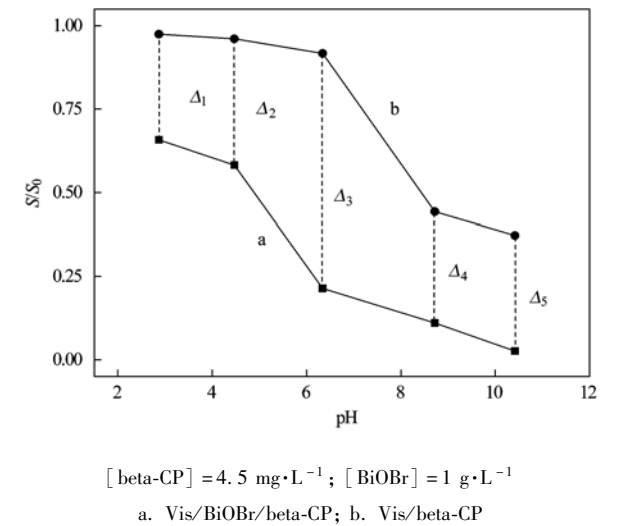


图 4 不同 pH 介质对高效氯氰菊酯降解的影响

Fig. 4 Effect of pH on the degradation of beta-cypermethrin

表 1 在不同 pH 介质中 Vis/BiOBr/beta-CP 体系和 Vis/beta-CP 体系的降解效率差值(Δ)的比较
Table 1 Comparison of the degradation efficiency differentials (Δ) in the systems of Vis/BiOBr/beta-CP and Vis/beta-CP at different pH values

pH	2.87	4.47	6.34	8.72	10.34
$\Delta/\%$	31.69	37.91	70.33	33.22	34.63

2.4 高效氯氰菊酯光催化降解过程中氧化物种的测定

本研究中通过采用对苯二甲酸荧光法和过氧化

物酶催化氧化方法跟踪监测了光催化过程中 H_2O_2 和 $\cdot\text{OH}$ 的变化来探讨其降解机制. 图 5(a)为 Dark/BiOBr/beta-CP 和 Vis/BiOBr/beta-CP 水相体系光催化降解过程中 H_2O_2 浓度的变化情况. 从中可知,在 Dark/BiOBr/beta-CP 体系中,基本没有 H_2O_2 产生;而在 Vis/BiOBr/beta-CP 反应体系光催化反应过程中产生了 H_2O_2 .

在实验条件下, H_2O_2 的浓度随着反应时间的延长而增大,在 120 min 时 H_2O_2 浓度达到最大值;而后随着光照时间的延长,随着部分 H_2O_2 被消耗及 beta-CP 逐步被降解, H_2O_2 浓度逐渐下降. 光催化体系中 H_2O_2 生成的动力学曲线表明, H_2O_2 是一个中间产物,在可见光的照射下它会进一步分解成为更活泼的活性氧自由基,使 beta-CP 的降解更为彻底.

图 5(b)为 Dark/BiOBr/beta-CP 和 Vis/BiOBr/beta-CP 水相体系光催化降解过程中 $\cdot\text{OH}$ 浓度的变化. 从中可知,在有 BiOBr 和可见光照射的条件下,随着光催化反应的不断进行, $\cdot\text{OH}$ 不断生成,在 90 min 时 $\cdot\text{OH}$ 产生量最大,之后呈下降趋势.

通过对上述 beta-CP 光催化降解过程中氧化物种的跟踪监测和分析可知,可见光照射下,BiOBr 被光激发产生空穴-电子对,由于 BiOBr 特殊的导带价带结构,其价带上的空穴不能氧化水^[18],而是通过导带上的电子与溶解氧发生反应生成超氧自由基,进而被电子还原成 H_2O_2 ,最后 H_2O_2 分解形成 $\cdot\text{OH}$,与吸附在 BiOBr 表面的 beta-CP 发生反应达到降解目的.

2.5 高效氯氰菊酯的深度矿化(氧化)

COD 的变化值可以直接反映体系中底物的矿化氧化程度. 图 6 为 Dark/BiOBr/beta-CP 和 Vis/BiOBr/beta-CP 体系 COD 的变化情况. 从中可知,

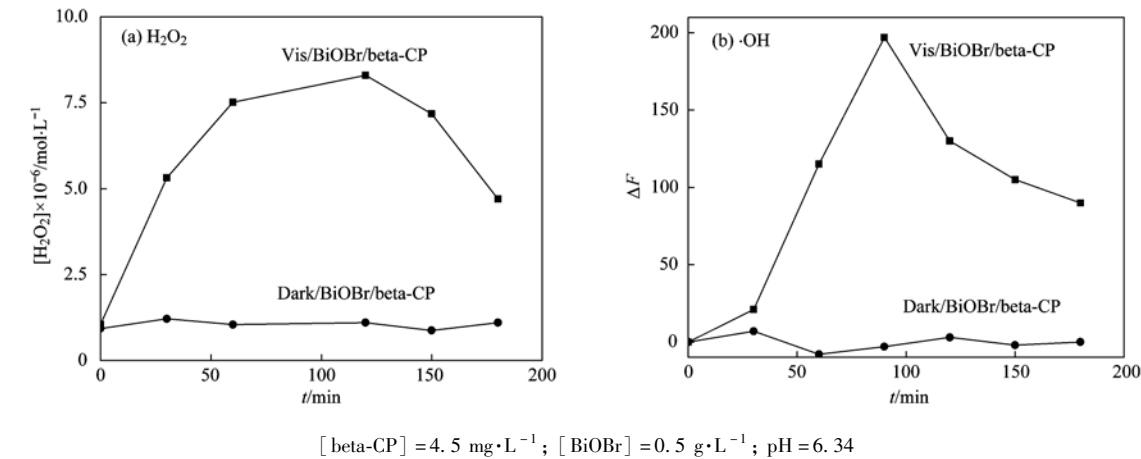
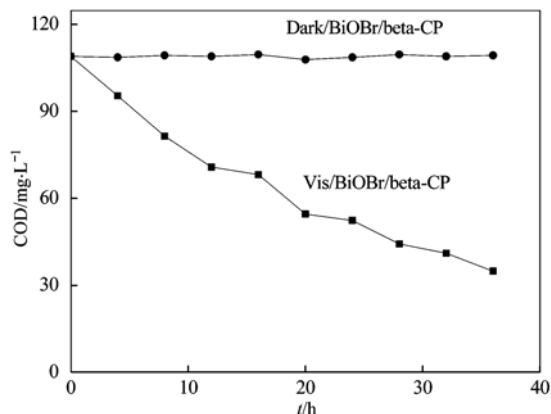


图 5 高效氯氰菊酯光催化降解过程中 H_2O_2 和 $\cdot\text{OH}$ 的变化

Fig. 5 Change of H_2O_2 and $\cdot\text{OH}$ during the beta-cypermethrin degradation

在达到吸附平衡后,暗反应体系的 COD 变化不明显. 而可见光条件下,反应 36 h 后 COD 去除率达 67.99%. 这进一步表明, BiOBr 对 beta-CP 有良好的矿化氧化效果.



[beta-CP] = 4.5 mg·L⁻¹; [BiOBr] = 1.0 g·L⁻¹; pH = 6.34

图 6 高效氯氰菊酯光催化降解过程中 COD 的变化

Fig. 6 COD removal during the degradation of beta-cypermethrin

3 结论

本研究分析了 BiOBr 在可见光下光催化降解 beta-CP 的特性,探讨了介质 pH 条件和催化剂用量的影响,随着催化剂用量和 pH 的增大,beta-CP 的降解速率不断加快. 通过跟踪测定 beta-CP 光催化降解过程中的 COD 值,表明在可见光照射下 BiOBr 能有效地深度氧化 beta-CP; 同时跟踪测定了氧化物种的变化,表明降解过程涉及到·OH 的高效氧化作用.

参考文献:

- [1] Zhang C, Jia L, Yan C Y, *et al.* Biodegradation of beta-cypermethrin by two *Serratia* spp. with different cell surface hydrophobicity [J]. *Bioresource Technology*, 2010, **101**(10): 3423-3429.
- [2] Yao B H, Wang L M, Wang C, *et al.* Preparation and performances of RuO₂/TiO₂ films photocatalyst supported on float pearls [J]. *Chinese Journal of Chemical Physics*, 2007, **20**(6): 789-795.
- [3] Chen S H, Hu M Y, Liu J J, *et al.* Biodegradation of beta-cypermethrin and 3-phenoxybenzoic acid by a novel *Ochrobactrum lupini* DG-S-01 [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, **187**(1-3): 433-440.
- [4] Bradbury S P, Coast J R. Toxicokinetics and toxicodynamics of pyrethroid insecticides in fish [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1989, **8**(5): 373-380.
- [5] Saha S, Kaviraj A. Acute toxicity of synthetic pyrethroid cypermethrin to some freshwater organisms [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, **80**(1): 49-52.
- [6] 董学兴, 杨家新, 吕林兰, 等. 环境激素氯氰菊酯对萼花臂尾轮虫繁殖的影响 [J]. *环境科学*, 2012, **33**(9): 3266-3271.
- [7] Garey J, Wolff M S. Estrogenic and antiprogesteragenic activities of pyrethroid insecticides [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 1998, **251**(3): 855-859.
- [8] Shafer T J, Meyer D A, Crofton K M. Developmental neurotoxicity of pyrethroid insecticides: critical review and future research needs [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2005, **113**(2): 123-136.
- [9] 廖敏, 马爱丽, 谢晓梅. 缺陷假单胞菌 M5R14 粗酶液降解拟除虫菊酯类农药特性初探 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(6): 1793-1798.
- [10] Zhang C, Wang S H, Yan Y C. Isomerization and biodegradation of beta-cypermethrin by *Pseudomonas aeruginosa* CH7 with biosurfactant production [J]. *Bioresource Technology*, 2011, **102**(14): 7139-7146.
- [11] Yu F B, Shan S D, Luo L P, *et al.* Isolation and characterization of a *Sphingomonas* sp. strain F-7 degrading fenvalerate and its use in bioremediation of contaminated soil [J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 2013, **48**(3): 198-207.
- [12] 段晓芹, 郑金伟, 张隽, 等. 3-PBA 降解菌 BA3 的降解特性及基因工程菌构建 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(1): 240-246.
- [13] Ma Y, Chen L S, Qiu J G. Biodegradation of beta-cypermethrin by a novel *Azoarcus indigens* strain HZ5 [J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Waters*, 2013, **48**(10): 851-859.
- [14] Affam A C, Kutty S R M, Chaudhuri M. Solar photo-fenton induced degradation of combined chlorpyrifos, cypermethrin and chlorothalonil pesticides in aqueous solution [J]. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2012, **62**: 82-88.
- [15] Colombo R, Ferreira T C R, Alves S A, *et al.* Application of the response surface and desirability design to the Lambda-cyhalothrin degradation using photo-Fenton reaction [J]. *Journal of Environmental Management*, 2013, **118**: 32-39.
- [16] Yu B B, Zeng J B, Gong L F, *et al.* Investigation of the photocatalytic degradation of organochlorine pesticides on a nano-TiO₂ coated film [J]. *Talanta*, 2007, **72**(5): 1667-1674.
- [17] 姚秉华, 郑怀礼, 杨丽芹, 等. CdS/TiO₂/漂珠复合光催化剂制备及其降解高效氯氰菊酯研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2007, **27**(5): 1010-1014.
- [18] Fang Y F, Ma W H, Huang Y P, *et al.* Exploring the reactivity of multicomponent photocatalysts: insight into the complex valence band of BiOBr [J]. *Chemistry-A European Journal*, 2013, **19**(9): 3224-3229.
- [19] Fang Y F, Huang Y P, Yang J, *et al.* Unique ability of BiOBr to decarboxylate D-GLU and D-MeAsp in the photocatalytic degradation of microcystin-LR in water [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, **45**(4): 1593-1600.

- [20] Xu J, Meng W, Zhang Y, *et al.* Photocatalytic degradation of tetrabromobisphenol A by mesoporous BiOBr: Efficacy, products and pathway [J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2011, **107**(3-4): 355-362.
- [21] Alder L, Greulich K, Kempe G, *et al.* Residue analysis of 500 high priority pesticides: better by GC-MS or LC-MS/MS? [J]. *Mass Spectrometry Reviews*, 2006, **25**(6): 838-865.
- [22] 方艳芬, 程根伟, 鲁旭阳, 等. 一种溴氧化铋光催化剂的制备方法 [P]. 中国专利. ZL 2010 10141878. 9.
- [23] 陈冠华, 田益玲, 杨更亮, 等. 荧光分光光度法测定中药对羟自由基的清除率 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, **22**(4): 634-636.
- [24] Huang Y P, Li J, Ma W H, *et al.* Efficient H_2O_2 oxidation of organic pollutants catalyzed by supported iron sulfophenylporphyrin under visible light irradiation [J]. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2004, **108**(22): 7263-7270.
- [25] 夏会龙, 陈宗懋. 氯氰菊酯和马拉硫磷农药的水解动力学研究 [J]. *农业环境保护*, 1989, **8**(5): 1-3.
-

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

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

邮政地址:北京市海淀区双清路18号《环境科学》编辑部

邮 编:100085

电 话:010-62941102, 010-62849343

传 真:010-62849343

E-mail: hjkx@rcees.ac.cn

网 址: www.hjkx.ac.cn

CONTENTS

Emission Factors and PM Chemical Composition Study of Biomass Burning in the Yangtze River Delta Region	TANG Xi-bin, HUANG Cheng, LOU Sheng-rong, <i>et al.</i> (1623)
Size Distributions and Source Apportionment of Soluble Ions in Aerosol in Nanjing	XUE Guo-qiang, ZHU Bin, WANG Hong-lei (1633)
Characteristics of Particulate Matters and Its Chemical Compositions During the Dust Episodes in Shanghai in Spring, 2011	LI Gui-ling, ZHOU Min, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (1644)
Numerical Modeling Analysis of Secondary Organic Aerosol (SOA) Combined with the Ground-based Measurements in the Pearl River Delta Region	GUO Xiao-shuang, SITU Shu-ping, WANG Xue-mei, <i>et al.</i> (1654)
Observation of a Photochemical Event in Jiaying During Summer 2013	SHEN Li-juan, LI Li, LÜ Sheng, <i>et al.</i> (1662)
Spatial and Temporal Variations of Near Surface Atmospheric CO ₂ with Mobile Measurements in Fall and Spring in Xiamen, China	LI Yan-li, XING Zhen-yu, MU Chao, <i>et al.</i> (1671)
Isotope Compositions of Elemental Carbon in the Smoke and Ash from Crop Straw Combustion	LIU Gang, LI Jiu-hai, XU Hui, <i>et al.</i> (1680)
Development of a Chemical Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometer for Continuous Measurements of Atmospheric Hydroxyl Radical	DOU Jian, HUA Lei, HOU Ke-yong, <i>et al.</i> (1688)
Residual Levels of Acetochlor in Source Water and Drinking Water of China's Major Cities	YU Zhi-yong, JIN Fen, LI Hong-yan, <i>et al.</i> (1694)
Vertical Distribution of Water Quality and Its Influence on Underwater Light Field in Lake Chaohu	MA Meng-xiao, ZHANG Yu-chao, QIAN Xin, <i>et al.</i> (1698)
Correlation Between Aquatic Plant Diversity and Water Environment in the Typical Sites of Hangzhou Section of the Beijing-Hangzhou Grand Canal	LU Yin, XU Xiao-lu, ZHANG De-yong, <i>et al.</i> (1708)
Nitrogen and Phosphate Pollution Characteristics and Eutrophication Evaluation for Typical Urban Landscape Waters in Hefei City	LI Ru-zhong, LIU Ke-feng, QIAN Jing, <i>et al.</i> (1718)
Distribution of Nitrogen and Phosphorus in the Sediments and Estimation of the Nutrients Fluxes in Longjing Lake, Chongqing City, During the Initial Impoundment Period	PAN Yan-an, LEI Pei, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1727)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides (OCPs) in the Water of Lake Qiandao and Its Major Input Rivers	TANG Fang-liang, ZHANG Ming, XU Jian-fen, <i>et al.</i> (1735)
Distribution of Potential Pathogenic Bacteria in the Jiulong River Watershed	HOU Li-yuan, HU An-yi, MA Ying, <i>et al.</i> (1742)
Influence of the River-lake Relation Change on the Distribution of Heavy Metal and Ecological Risk Assessment in the Surface Sediment of Poyang Lake	LIU Wan-qing, NI Zhao-kui, WU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1750)
Spatiotemporal Variation Characteristics of Heavy Metals Pollution in the Water, Soil and Sediments Environment of the Lean River-Poyang Lake Wetland	JIAN Min-fei, LI Ling-yu, XU Peng-fei, <i>et al.</i> (1759)
Dissolved Organic Matter (DOM) Dynamics in Karst Aquifer Systems	YAO Xin, ZOU Sheng-zhang, XIA Ri-yuan, <i>et al.</i> (1766)
Sensitivity Analysis of AnnAGNPS Model's Hydrology and Water Quality Parameters Based on the Perturbation Analysis Method	XI Qing, LI Zhao-lu, LUO Chuan (1773)
Movement Characteristics of <i>Cyanobacteria</i> Under Stress of Water-Lifting Aeration	SUN Xiu-xiu, CONG Hai-bing, GAO Zheng-juan, <i>et al.</i> (1781)
Influence of Light Wavelength and Intensity on the Reduction of Divalent Mercury in Aquatic System	LI Xi-jia, ZHONG Zi-xuan, SUN Rong-guo, <i>et al.</i> (1788)
Dynamic Effects of Commonly Co-Existing Anions on the Removal of Selenite from Groundwater by Nanoscale Zero-Valent Iron	YANG Wen-jun, GUO Ying-qing, DU Er-deng (1793)
BiOBr Promoted the Photocatalytic Degradation of Beta-cypermethrin Under Visible Light	PENG Yi-zhu, ZHAO Xiao-rong, JIA Man-ke, <i>et al.</i> (1798)
Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution onto Magnetic Fe ₃ O ₄ /Graphene Oxide Nanoparticles	CHANG Qing, JIANG Guo-dong, HU Meng-xuan, <i>et al.</i> (1804)
Selection of Electrochemical Anodic Materials for PFOA Degradation and Its Mechanism	ZHUO Qiong-fang, DENG Shu-bo, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (1810)
Occurrence and Fate of Typical Antibiotics in a Wastewater Treatment Plant in Southwest China	GAN Xiu-mei, YAN Qing, GAO Xu, <i>et al.</i> (1817)
Effects and Mechanism on Removing Organics and Reduction of Membrane Fouling Using Granular Macro-Porous Anion Exchange Resin in Drinking Water Treatment	HE Huan, DONG Bing-zhi, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (1824)
Research on Treatment of High Salt Wastewater by the Graphite and Activated Carbon Fiber Composite Electrodes	ZHOU Gui-zhong, WANG Zhao-feng, WANG Xuan, <i>et al.</i> (1832)
Preparation and Application of the Quinonyl Chloromethylation Polystyrene in Biological Treatment of Wastewater	ZHANG Hua-yu, XU Qing, NIU Chun-mei, <i>et al.</i> (1838)
Enhanced Electro-Catalytic Oxidation of Dye Wastewater with FeMo ₁₂ Adopted Catalyst	WANG Li, YUE Lin, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (1843)
Formation and Characterization of Aerobic Granules in a Pilot-scale Reactor for Real Wastewater Treatment	YANG Shu-fang, ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, <i>et al.</i> (1850)
Research on Cultivation of Aerobic Granular Sludge and Its Characteristics in Sequencing Fed Batch Reactor	LONG Bei, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1857)
Effect of Different Volume Loading of Aerobic/Anaerobic Zone on Nitrogen and Phosphorus Removal by Biofilm and Granular Sludge Coupling Process	YIN Hang, LIU Chang, GAO Hui, <i>et al.</i> (1866)
Adsorption of Cu ²⁺ by Xanthate-Functionalized Waste Sludge	CEN Yan, QUAN Xiang-chun, JIANG Xiao-man (1871)
Mechanisms of Copper Uptake by Submerged Plant <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle and <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	XUE Pei-ying, LI Guo-xin, ZHAO Quan-li (1878)
Properties of Maize Stalk Biochar Produced Under Different Pyrolysis Temperatures and Its Sorption Capability to Naphthalene	HUANG Hua, WANG Ya-xiong, TANG Jing-chun, <i>et al.</i> (1884)
Beijing Common Green Tree Leaves' Accumulation Capacity for Heavy Metals	LI Shao-ming, KONG Ling-wei, LU Shao-wei, <i>et al.</i> (1891)
Assessment of Heavy Metal Contamination by Moss-bag Method and Road-dust Method for Taizhou Urban Area	CHEN Qin, FANG Yan-ming, YAN Yun, <i>et al.</i> (1901)
Effect of Grazing on the Temperature Sensitivity of Soil Respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Rui-rui, DENG Yu, <i>et al.</i> (1909)
Variation Characteristic in Soil Respiration of Apple Orchard and Its Biotic and Abiotic Influencing Factors	WANG Rui, GUO Sheng-li, LIU Qing-fang, <i>et al.</i> (1915)
Influencing Factors of Mercury Emission Flux from Forest Soil at Tieshanping, Chongqing	WANG Qiong, LUO Yao, DU Bao-yu, <i>et al.</i> (1922)
Characteristics of Arsenic Content in the Livestock Farms' Surrounding Environment in Shanghai Suburbs	XI Gong-fang, ZHOU Shou-biao, DING Hai-cheng, <i>et al.</i> (1928)
Input and Distribution of Rice Photosynthesized Carbon in the Tillering Stage Under Different Nitrogen Application Following Continuous ¹³ C Labeling	TAN Li-min, WU Hao, LI Hui, <i>et al.</i> (1933)
Simulation Study on the Effect of Salinity on the Adsorption Behavior of Mercury in Wastewater-Irrigated Area	ZHENG Shun-an, LI Xiao-hua, XU Zhi-yu (1939)
Leaching Behavior of Pb, Cd and Zn from Soil Stabilized by Lime Stabilized Sludge	LI Xiang, SONG Yun, LIU Yong-bing (1946)
Levels and Distribution of Short Chain Chlorinated Paraffins in Seaford from Dalian, China	YU Jun-chao, WANG Thanh, WANG Ya-wei, <i>et al.</i> (1955)
Application of Biotic Ligand Model for the Acute Toxicity of Copper to <i>Daphnia magna</i> in Water of Liaohe River and Taihu Lake	ZHOU Teng-yao, CAO ying, QIN Lu-mei, <i>et al.</i> (1962)
Phytotoxicity of Copper Oxide Nanoparticles to Metabolic Activity in the Roots of Rice	WANG Shu-ling, ZHANG Yu-xi, LIU Han-zhu, <i>et al.</i> (1968)
Enhancing Effect of Tween 80 on Degradation of Triphenyltin by <i>Bacillus thuringiensis</i>	HUANG Jie, YE Jin-shao, YIN Hua, <i>et al.</i> (1974)
Long-term Performance of Microbial Fuel Cell Using Manure as Substrate	JIAO Yan, ZHANG Guo-dong, ZHAO Qing-liang (1981)
Influence of Goethite on Anaerobic Fermentation of Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW)	YANG Lu-lu, YUE Zheng-bo, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (1988)
Pollutants Produced in Municipal Refuse Container During Transfer Process	WANG Xiao-yuan, LIU Yin-hua, WANG Fei, <i>et al.</i> (1994)
Selective Catalytic Oxidation of H ₂ S over Supported Fe Catalysts on CeO ₂ -Intercalated Laponite Clay	SUN Chao, ZHANG Xin, HAO Zheng-ping, <i>et al.</i> (2002)
Preparation by Different Methods and Characterization of Desulfurization Mixed Oxides Derived from Hydrotalcites	ZHU Chun-lei, WANG Hai-lin, SUN Chun-bao (2010)
Sampling Methods for PM _{2.5} from Stationary Sources: a Review	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, LI Zhen, <i>et al.</i> (2018)
A Research Overview of Methanogens	LI Yu-shan, LI Yao-ming, OUYANG Zhi-yun (2025)

《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)

2014年5月15日 35卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 5 May 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行