

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)
菹草腐解-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	杨阳, 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)	

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¹, 王强^{1,2*}, 木志坚^{1,2}, 杨志丹¹, 宋娇艳¹

(1. 西南大学资源环境学院, 教育部三峡库区生态环境重点实验室, 重庆 400716; 2. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400716)

摘要: 为了解特大型水库消落带优先有机污染物迁移转化规律, 以邻苯二甲酸二丁酯 (DBP) 为代表性优先污染物, 采用静态淹水法研究了土壤中 DBP 浓度、上覆水离子强度、有机质含量等因素对三峡库区消落带土壤中 DBP 静态释放规律的影响。结果表明, 消落带土壤中 DBP 在淹水前期由土壤向上覆水中迁移释放, 该过程分为短暂但是释放速率较快的快速释放阶段和释放时间较长但释放速率较慢的慢速释放阶段, 此过程可以很好地用二室一级动力模型拟合。随着土壤中添加的 DBP 浓度的增大, DBP 向上覆水快速释放速率加快, 而快速释放比例则减小; 慢释放速率和慢速释放比例则正好相反。随着上覆水离子强度的增加, 快速释放比例增加, 使 DBP 向上覆水释放量增加。上覆水高浓度的 DBP 在淹水初期会抑制土壤 DBP 的释放而且使 DBP 释放达到最大值的时间延迟。上覆水添加腐殖酸后, 快速释放速率、慢速释放速率和快速释放比例均增大, 从而使 DBP 向上覆水的释放量也增加。

关键词: 三峡库区; 消落带; 邻苯二甲酸二丁酯; 迁移释放; 影响因素

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)07-2453-06 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2015.07.017

Static Migration and Release of Dibutyl-Phthalate in the Fluctuating Zone of Three Gorges Reservoir

WANG Fa¹, WANG Qiang^{1,2*}, MU Zhi-jian^{1,2}, YANG Zhi-dan¹, SONG Jiao-yan¹

(1. Key Laboratory of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment of Chongqing, Chongqing 400716, China)

Abstract: Phthalic acid esters (PAEs) have received increasing attention in recent years due to their widespread use and hazards to human health and fertility in the environment. In order to understand the migration and release processes of organic pollutants in huge fluctuating zone soil, Dibutyl-phthalate (DBP) was chosen as a typical substance, and its migration and release characteristics in the fluctuating zone of the Three Gorges Reservoir to overlying water and the impacts of DBP concentration in the soil, ionic strength and the concentration of organic matter in overlying water on the process were studied using static flooding method. The results showed that DBP migrated from the soil to the overlying water in the early days after flooding, and the release process of DBP was divided into two phases: one was quick release with a relatively short releasing time and a rapid releasing rate; the other was slow release with a relatively long releasing time and a slow releasing rate. The migration and release processes were well fitted by two-compartment first-order kinetics. After different concentrations DBP were added into soil, the rate of quick release increased with the increasing DBP concentrations in soil while the percent of quick release decreased with the increasing DBP concentrations. The results of rate of slow release and the percent of slow release were on the contrary. The water conditions of overlying water could impact the migration and releasing process of DBP when the soil in fluctuating zone was flooded. The amount of DBP released into the overlying water would increase when the ionic strength in the water increased. At the same time, when the ionic strength increased, in spite of the decreasing quick release rate, the percent of quick release increased. The higher concentration of organic matter in overlying water, the more the amount of DBP released into the overlying water. At the same time, all of the rates of quick release, slow release and the percent of quick release would increase with the increasing concentrations of organic matter, while there was almost no influence on the percent of slow release of DBP.

Key words: Three Gorges Reservoir; fluctuating zone; dibutyl-phthalate; migration and release; influencing factors

邻苯二甲酸酯 (phthalic acid esters, PAEs) 及其代谢产物具有致畸性、致突变、致癌性, 并显示出较强的雌激素效应^[1~4], 是我国及欧美等国家确定的环境优先污染物^[5~7]。近年来由于工业生产和塑料制品的大量使用, 使作为橡胶、塑料增塑剂的 PAEs 不断进入大气、土壤以及水环境, 不仅对环境

造成危害, 而且通过食物链及呼吸、饮食和皮肤接

收稿日期: 2014-12-26; 修订日期: 2015-02-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41371211); 国家留学基金项目 (201206995025); 中央高校基本科研业务专项 (XDK2010C041); 西南大学生态学重点学科“211 工程”建设项目

作者简介: 王法 (1991 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境科学与工程, E-mail: 1215452247@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: wqiang0496@aliyun.com

触等途径进入人和动物体内,威胁人类的健康^[8-10]. 近年来发生的“饮料、白酒塑化剂事件”凸显了其危害^[11].

三峡水库是我国重要的淡水资源库和水生生态系统,由于特殊的调度方式,使库区周围形成了大面积的消落带,而且研究表明,三峡库区消落带是典型的脆弱生态系统,其中 82% 的消落带处于轻度到中等脆弱水平,15% 的消落带处于高度脆弱至极脆弱的水平^[12]. 有机污染物在消落带的赋存状态及迁移转化对三峡库区消落带的生态环境脆弱性必然产生影响. PAEs 目前在国内各大流域中已被广泛检出,并且我国部分流域沉积相中 DBP 浓度极高,如长江武汉段 DBP 丰、枯水期干流沉积相中含量分别为 11.7 ~ 246.0 mg·kg⁻¹ 和 25.4 ~ 84.3 mg·kg⁻¹^[13],黄河干流沉积相中 DBP 含量分别为 18.12 ~ 30.42 mg·kg⁻¹ 和 9.29 ~ 50.69 mg·kg⁻¹^[14],一旦环境条件发生变化,沉积物中 DBP 可再释放出来污染水体、污染底栖生物和鱼类,进而威胁到人类^[15,16];资料表明,三峡库区部分源水中邻苯二甲酸正丁酯(DBP)最高浓度分别已达到 9.48 μg·L⁻¹,具有一定的生态、健康风险^[17]. 对于 PAEs 与沉积物的相互作用已有一些研究成果,但重点是沉积物/土壤、颗粒物对 PAEs 的吸附-解吸及其影响因素^[18-22],PAEs 在沉积物或水环境中的浓度分布特征研究也较多^[13-15,23,24],然而对于 PAEs 在特大型水库消落带土-水界面的迁移转化还少见报道. 通常条件下影响有机污染物在土壤中吸附-解吸的因素包括水体 pH、离子强度、有机质含量、温度、光照、微生物等方面^[25,26],这些因素是否也会影响 PAEs 在消落带与水体之间的迁移释放? 迁移转化机制是什么? 对这些问题的回答是阐释消落带 PAEs 生态环境风险的必要前提,但目前在这些方面的研究极为缺乏. 为了解这些影响及其机制,以库区消落带典型土壤作为对象,研究了三峡库区消落带 DBP 静态迁移释放的规律,在前期考察了溶解氧、温度、光照、共存干扰物质、微生物活性等影响条件基础上^[27],本文进一步研究了土壤中 DBP 浓度、上覆水离子强度、上覆水有机质含量等因素对其影响,以期为进一步研究特大型水库消落带土-水界面 PAEs 的迁移转化因素与机制、阐明库区消落带土壤 PAEs 的水环境生态风险提供理论支撑,对于三峡水库和长江中下游生态与环境安全具有十分重要的意义.

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 主要试剂及仪器设备

邻苯二甲酸二丁酯(成都市科龙化工试剂厂,分析纯,含量 >99.5%)、腐殖酸(聚峰科技化学公司,中国上海,等级符合 Q/JFC 043-2004 标准)、二氯甲烷(成都科龙化工试剂厂,分析纯)、甲醇(美国 Tedia 公司,色谱纯)、CaCl₂(国药集团化学试剂有限公司,分析纯).

带可见紫外检测器(日本岛津,SPD-20AL)的高效液相色谱仪(日本岛津,LC-20AT),色谱柱(Inertsil ODS-SP)、旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂 RE52-99).

1.1.2 土样的制备

根据三峡库区消落带土壤的主要类型,选取重庆市开县 170 m 高程的消落带区域表层 1~4 cm 土壤作为供试土样. 于 2011 年 9 月采集土样,风干、研磨过 2 mm 筛备用,其理化性质见表 1.

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical characteristics of the soil sample			
土壤性质	pH	有机质/g·kg ⁻¹	CEC/cmole·kg ⁻¹
紫色潮土	8.85	8.91	5.85

1.2 三峡水库消落带 DBP 迁移释放的静态模拟

静态模拟试验参照宋娇艳等^[27]所用装置与方法. 装置采用高 22 cm、直径 18 cm 的玻璃箱,上不密闭. 配置模拟长江水质:离子浓度为 0.004 mol·kg⁻¹,pH 为 8.14,电导率为 46.4 μS·cm⁻¹,溶解氧为 6.36 mg·L⁻¹.

淹水试验首先在装置底部装入已添加 DBP 并经陈化的土壤 1 kg,加水浸润饱和,然后加入模拟江水 3.5 L,保持水深为 12 cm. 在上覆水中部插入可调速的定时搅拌器及通气小管,通气管可通入空气、氮气调节溶解氧浓度. 在设置试验条件下,分别于淹水 1、3、5、8、10、12、18、24、30 d,用注射器从距土-水界面 3 cm 处取水样 50 mL 并测定水样中 DBP 含量.

1.2.1 消落带土壤中 DBP 含量对其向上覆水释放的影响

参考长江等干流沉积相中 DBP 浓度范围配置含 DBP 土壤样品:添加 DBP 使供试土壤中的 DBP 初始浓度分别为 5、40、100、200 mg·kg⁻¹,陈化 20 d 后分别称取 1 kg 土壤至静态模拟装置内,按照上

述步骤进行淹水,在设定的时间采取水样分析。

1.2.2 水体性质对三峡水库消落带土壤 DBP 向上覆水释放的影响

称取添加 DBP 初始浓度 $40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 并陈化 20 d 的土壤 1 kg 装入静态模拟装置内。分别在模拟江水中加入氯化钙、腐殖酸调节上覆水中的离子含量、有机质浓度,按照上述同样步骤进行淹水、取样、分析。探讨上覆水离子浓度、有机质含量对消落带土壤 DBP 向上覆水释放的影响。

1.3 水体 DBP 测定方法

采用液-液萃取-高效液相色谱法监测水体 DBP 浓度。流动相:甲醇和超纯水(体积比 $85\%:15\%$),流动相流速 $1\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,检测波长为 224 nm ,单次进样 $20\text{ }\mu\text{L}$,单次运行时间 10 min ,DBP 的检出限为 $0.042\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,精密度为 1.91% ,加标回收率为 $84.0\%\sim94.2\%$,符合要求。

1.4 数据处理

1.4.1 试验数据处理

应用 Excel 2007、Matlab 7.10 统计软件进行处理和分析;1.2 节所有试验均进行 3 次重复,在进行离群值统计检验后,取其平均值加以计算。

1.4.2 DBP 向上覆水迁移释放模型

采用丁辉等^[28]研究提出的“二室一级动力学”模型来描述 DBP 向上覆水迁移释放动力学特征,其研究指出有机污染物从土壤向上覆水迁移释放主要包括有机污染物从土壤/沉积物的颗粒上解吸到间隙水中、有机污染物在间隙水中的单相扩散、有机污染物从间隙水中向上覆水的两相扩散等 3 个过程,而第一过程是整个迁移释放的主要决速步骤,可以借助二室一级动力学模型(1)来描述:

$$\frac{Q_t}{Q_0} = F_{\text{rap}} \exp(-k_{\text{rap}}t) + F_{\text{slow}} \exp(-k_{\text{slow}}t) \quad (1)$$

式中, Q_0 、 Q_t 分别是有机污染物在沉积物中的初始浓度、释放解吸开始后 t 时刻残留在沉积物中吸附质的浓度($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$); k_{rap} 、 k_{slow} 分别是快速释放和慢速释放阶段的速率常数, d^{-1} ; F_{rap} 、 F_{slow} 分别是快速释放和慢速释放在整个释放过程中所占的分数。

2 结果与讨论

2.1 土壤中 DBP 含量对其向上覆水释放的影响

图 1 显示了消落带土壤中添加不同水平 DBP 浓度,上覆水中 DBP 浓度随淹水时间的变化趋势。从中可知,在土壤中添加不同水平的 DBP 后,DBP 向上覆水释放的规律基本相同:土壤中 DBP 在淹水

的 1 d 内就会快速地扩散到水体中,此后随着淹水时间的延长,水体中的 DBP 浓度加大,直到第 12 d 达到释放的最大值;持续淹水,水体中的 DBP 又呈现出由水体向土壤中迁移的行为,使上覆水中 DBP 浓度随着淹水时间的增加而降低,最终在淹水后的第 24 d 基本上达到一个平稳的状态。DBP 从土壤向上覆水释放过程呈现出在初始阶段释放速度较快,而后释放速度减慢的特征,这与其他有机污染物的释放规律一致^[28]。

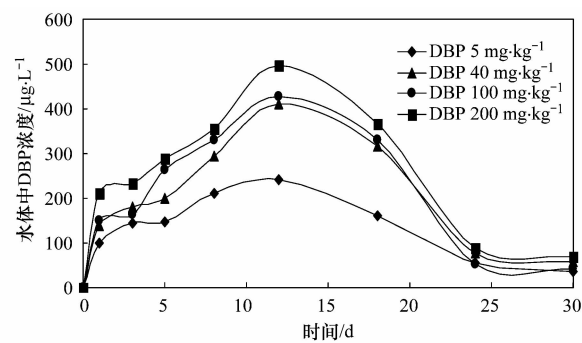


图 1 土壤中 DBP 浓度对 DBP 向上覆水释放的影响

Fig. 1 Influence of DBP concentration in the soil on the releasing of DBP to overlying water

采用“二室一级动力学”模型来描述 DBP 向上覆水迁移释放动力学特征,表 2 显示了淹水过程中 DBP 动力学相关参数,从中可以看出,土壤中 DBP 向上覆水释放的过程中,快速释放速率 k_{rap} 要远远大于慢速释放速率 k_{slow} ,但是快速释放比例 F_{rap} 最大仅为 7.06% ,而慢速释放比例 F_{slow} 却占到了整个释放过程的 92.9% 以上,表明慢速释放是最主要的释放过程。

从表 2 还可以看出,快释放速率随着土壤中添加的 DBP 浓度的增大而加快,慢速释放速率则减慢;然而快速释放比例则随着土壤中添加的 DBP 浓度的提高而减小,慢速释放比例则增大。土壤/沉积物中吸附点位具有不同的能量,DBP 添加到土壤中时会优先占据高能量的吸附点位。土壤中 DBP 初始负载量越低,结合在高能量点位上的 DBP 比例越高,在淹水过程中,这部分 DBP 会较难迁移至其他的介质中,因此土壤/沉积物中 DBP 浓度越低,DBP 分子迁移量也越低。此外,土壤 DBP 初始负载量的大小也会对它在沉积物中有机质内的扩散与吸附产生影响,DBP 含量越大,向有机质扩散的速率也越高,导致沉积物中有机质发生一定的膨胀疏松,从而使得 DBP 在淹水的过程中更容易迁移出来^[29]。

表 2 土壤中 DBP 浓度对 DBP 释放的二室一级动力学释放参数的影响

Table 2 Influence of DBP concentration in the soil on the two-compartment first-order kinetics parameters of DBP releasing to overlying water					
$Q_0/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	$k_{\text{rap}}/\text{d}^{-1}$	$F_{\text{rap}}/\%$	$k_{\text{slow}}/\text{d}^{-1}$	$F_{\text{slow}}/\%$	R^2
5	2.037	7.06	0.009 6	92.9	0.987 9
40	15.47	0.88	0.002 2	99.1	0.988 9
100	20.58	0.43	0.000 8	99.5	0.966 1
200	23.97	0.26	0.000 5	99.7	0.959 5

郭志顺^[24]的检测结果表明三峡库区 7 个水体断面 DBP 浓度范围为 0.506 ~ 3.033 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,从结果来看,本研究在土壤中添加的 DBP 浓度与长江武汉段干流沉积相中 DBP 含量基本相当的条件下,土壤中的 DBP 向上覆水达到最大释放时,上覆水中 DBP 的浓度远远高于正常长江水体断面 DBP 检测结果,即使是淹水后期达到“平衡”后,上覆水中 DBP 最低浓度也高达 35 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,仍然比正常长江水体断面 DBP 检测结果高. 因而表明一旦消落带土壤/沉积物遭受了 DBP 污染,将极有可能增加水体的污染物浓度,如果库区大面积消落带出现了这种情况,其影响将不容乐观. 好在目前像长江武汉段的沉积相 DBP 严重污染的江段还不多,比如长江重庆段沉积相 DBP 含量范围仅为 0.545 6 ~ 1.378 3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[23],让人们重新看到了希望.

2.2 水体条件对消落带土壤淹水过程邻苯二甲酸二丁酯迁移释放的影响

2.2.1 水体离子强度对消落带土壤淹水过程邻苯二甲酸二丁酯迁移释放的影响

从图 2 中可以看出不同离子强度处理下的淹水土壤中 DBP 释放特征基本与对照相似. 然而,离子强度对反应前后期的影响有所不同,在达到最大释放量(12 d)以前,增加一倍与两倍离子强度处理的 DBP 释放浓度均要比对照大,并且随着离子强度增加,上覆水 DBP 浓度增加;而在后期,对照上覆水 DBP 浓度却比增加一倍与两倍离子强度处理的浓度大.

从表 3 二室一级动力学参数中可以看出,随着离子强度增大,DBP 快速释放的百分比增大,慢速释放的百分比减少;添加离子强度的处理下的慢速释放速率略微高于对照,而快速释放速率则随离子浓度的增大明显低于对照. 说明随着上覆水离子强

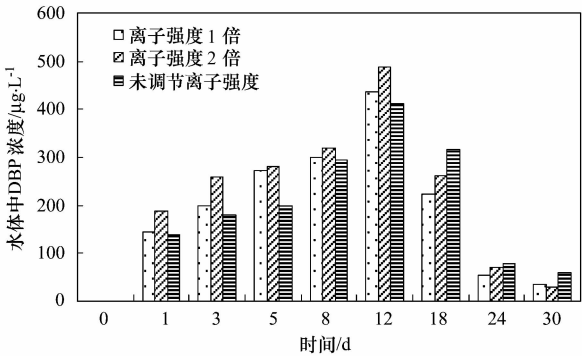


图 2 水体离子强度对消落带土壤 DBP 向上覆水迁移释放的影响

Fig. 2 Influence of ionic strength on the releasing of DBP from the soil to overlying water

度的增加,尽管降低了 DBP 的快速释放速率,但增加了快速释所占比例.

离子强度的增加对有机污染物在土水界面的迁移存在两种相反的影响,一是在水体中加入一定量的 CaCl_2 后, Ca^{2+} 可以同沉积物中的有机质(腐殖酸)的负电荷中和,使得腐殖酸分子间的静电排斥力下降,加大了腐殖酸聚集体的形成,加强了腐殖质和矿物质的反应、腐殖质的胶束化,从而使土壤/沉积物吸附点位减少,降低了土壤对吸附质的吸附^[21],而且当 Ca^{2+} 离子浓度增加, Ca^{2+} 会与 DBP 分子产生竞争吸附,从而降低颗粒物对 DBP 的吸附,该影响将增加上覆水中 DBP 浓度;二是离子强度的上升会使非极性化合物溶解度降低,同时影响疏水性化合物如 DBP 在固相有机质中的活度系数,导致沉积物对 DBP 吸附性增强,从而增加 DBP 的分配系数,使其更多地向沉积物中迁移^[21],该影响将降低上覆水中 DBP 浓度. 因而可以推测,在反应前期第一种影响占据主要地位,而在反应后期第二种

表 3 上覆水离子强度对土壤中 DBP 释放的二室一级动力学释放参数的影响

Table 3 Influence of ionic strength on the two-compartment first-order kinetics parameters of DBP releasing from the soil to the overlying water					
离子强度	$k_{\text{rap}}/\text{d}^{-1}$	$F_{\text{rap}}/\%$	$k_{\text{slow}}/\text{d}^{-1}$	$F_{\text{slow}}/\%$	R^2
对照(未调节)	15.47	0.88	0.002 2	99.1	0.988 9
一倍	2.533	1.13	0.002 2	98.9	0.989 3
两倍	5.144	1.40	0.002 3	98.6	0.975 5

影响成为主要因素.

近年来发现由于工业排放、环境酸化、季节性变化、周期性蓄水等原因导致了长江口水体 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 离子浓度以及总硬度的上升趋势显著^[30],因此上覆水离子浓度的影响对于消落带有机污染物的迁移转化是一个不可忽略的因素.

2.2.2 上覆水中有机质含量对消落带土壤淹水过程中邻苯二甲酸二丁酯迁移释放的影响

在土壤/沉积物的环境中,疏水性有机污染物的分配、迁移和生物有效性均可能受到有机质的控制^[31]. 溶解性腐殖酸是地表水溶解性有机质(DOM)中最主要,也是含量最高的成分. 天然水体中总有机碳(TOC)含量一般在几 $mg \cdot L^{-1}$ ~ 20 $mg \cdot L^{-1}$ 之间^[23,32]. 为了解上覆水中有机质对迁移释放过程的影响,在模拟江水中加入溶解性腐殖酸调节水体中的 TOC 含量分别为 5、10、15、25 $mg \cdot L^{-1}$,探讨水体 DOM 对 DBP 释放迁移的影响,其结果如图 3 所示.

从图 3 可以看到,虽然改变了水体中的 DOM 浓度,土壤 DBP 的释放迁移趋势与对照相似. 但是,

水体中添加了腐殖酸后,DBP 向水体迁移的量比对照大,并且随着水体中添加的腐殖酸浓度增加而加大,二室一级动力学参数(表 4)也印证了此结果. 添加了腐殖酸的处理其快速释放比例、快速释放速率、慢速释放速率均大于对照. 这说明在上覆水中添加有机质能够增强土壤中 DBP 的释放,但过高浓度(25 $mg \cdot L^{-1}$)的有机质含量却一定程度上放缓了土壤中 DBP 的快速释放.

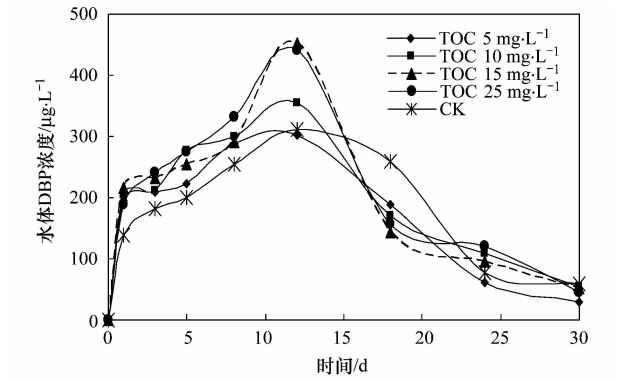


图 3 水体腐殖酸含量对消落带 DBP 向水体迁移释放的影响
Fig. 3 Influence of concentrations of humic acid in the water on the releasing of DBP in the soil to the overlying water

表 4 上覆水腐殖酸浓度对土壤 DBP 的二室一级动力学释放参数的影响

Table 4 Influence of concentrations of humic acid in the water on the two-compartment first-order kinetics parameters of DBP releasing from the soil to the overlying water					
上覆水 TOC 浓度/ $mg \cdot L^{-1}$	k_{rap}/d^{-1}	$F_{rap}/\%$	k_{slow}/d^{-1}	$F_{slow}/\%$	R^2
CK	1.459	1.44	0.000 9	98.6	0.976 3
5	5.466	1.56	0.001 0	98.4	0.986 9
10	10.18	1.64	0.001 3	98.4	0.990 4
15	23.94	1.48	0.001 9	98.5	0.960 3
25	3.642	1.46	0.002 0	98.5	0.997 1

水体有机质中的腐殖酸会形成疏水孔区域,使得 DBP 这类水溶性很低、疏水性极强的有机污染物能够向水体有机质迁移,增大了有机污染物的水溶性,使其更加容易从土壤中迁移出来,造成了有机质含量高的水体中 DBP 的释放量也越大. 随着工业废水、生活废水的排放、库区季节性变化和周期性蓄水,三峡库区 DOM 含量有上升的趋势,最近杜炯等^[23]测定了长江重庆段 12 个监测点水相有机质 TOC 含量为 11.83 ~ 15.61 $mg \cdot L^{-1}$,高于江河 7 $mg \cdot L^{-1}$ 的平均含量,水体有机质含量的波动明显影响 PAEs 在水相与间隙水相之间的分配,这与本研究结果是一致的.

3 结论

(1)研究了三峡库区消落带土壤邻苯二甲酸二

丁酯(DBP)向上覆水静态迁移释放规律. 结果表明,在淹水前期 DBP 由土壤向上覆水中迁移释放,分为快速和慢速释放阶段,其中后者是主要控速步骤,可以很好地用二室一级动力模型拟合. 在淹水中期释放达到最大值,继续淹水后,释放到水体中的 DBP 转而向土壤中迁移,最终在淹水后期上覆水 DBP 含量达到平衡状态.

(2)随着土壤中添加的 DBP 浓度的增大,快释放速率加快,慢速释放速率减慢;而快速释放比例减小,慢速释放比例则增大.

(3)随着上覆水离子浓度的增加,降低了 DBP 的快速释放速率,增加了快速释放比例,并使向上覆水释放量增加.

(4)上覆水添加腐殖酸后,快速释放速率和慢速释放速率均增大,同时轻微地增加了快速释放的比例.

参考文献：

[1] Kessler W, Numtip W, Völkel W, *et al.* Kinetics of di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) and mono (2-ethylhexyl) phthalate in blood and of DEHP metabolites in urine of male volunteers after single ingestion of ring-deuterated DEHP [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2012, **264** (2) : 284-291.

[2] Maradonna F, Evangelisti M, Gioacchini G, *et al.* Assay of vtg, ERs and PPARs as endpoint for the rapid in vitro screening of the harmful effect of Di-(2-ethylhexyl)-phthalate (DEHP) and phthalic acid (PA) in zebrafish primary hepatocyte cultures[J]. *Toxicology in Vitro*, 2013, **27**(1) : 84-91.

[3] Cirillo T, Fasano E, Esposito F, *et al.* Di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) and di-n-butylphthalate (DBP) exposure through diet in hospital patients [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2013, **51**: 434-438.

[4] 李伟, 赵晶, 余健, 等. 模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基) 酯试验研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(3) : 943-949.

[5] 陈湖星, 杨雪, 张凯, 等. 1 株高效 BBP 降解菌的分离与特性研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(7) : 2882-2888.

[6] Khan N A, Jung B K, Hasan Z H, *et al.* Adsorption and removal of phthalic acid and diethyl phthalate from water with zeolitic imidazolate and metal-organic frameworks [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2015, **282**(23) : 194-200.

[7] Hsu Y L, Tsai E M, Hou M F, *et al.* Obtusifolin suppresses phthalate esters-induced breast cancer bone metastasis by targeting parathyroid hormone-related protein [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, **62** (49) : 11933-11940.

[8] Han S W, Lee H, Han S Y, *et al.* An exposure assessment of DI-(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP) and DI-n-Butyl Phthalate (DBP) in human semen [J]. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 2009, **72**(21-22) : 1463-1469.

[9] Zheng Z, He P J, Shao L M, *et al.* Phthalic acid esters in dissolved fractions of landfill leachates [J]. *Water Research*, 2007, **41**(20) : 4696-4702.

[10] 周益奇, 刘云霞. 北京市污水处理厂中邻苯二甲酸酯污染水平及其归趋[J]. *环境科学*, 2013, **34**(4) : 1357-1362.

[11] 李妍. 直击台湾塑化剂危机[N]. *中国经济周刊*, 2011, 22.

[12] 周永娟, 仇江啸, 王姣, 等. 三峡库区消落带生态环境脆弱性评价[J]. *生态学报*, 2010, **30**(24) : 6726-6733.

[13] 王凡, 沙玉娟, 夏星辉, 等. 长江武汉段水体邻苯二甲酸酯分布特征研究[J]. *环境科学*, 2008, **29**(5) : 1163-1169.

[14] 沙玉娟, 夏星辉, 肖翔群. 黄河中下游水体中邻苯二甲酸酯的分布特征[J]. *中国环境科学*, 2006, **26**(1) : 120-124.

[15] 刘近, 邓代永, 许玫英, 等. 典型电器工业区河涌沉积物中有机污染物特征分析[J]. *环境科学*, 2013, **34**(3) : 1142-1149.

[16] Chi J, Gao J. Effects of *Potamogeton crispus* L.-bacteria interactions on the removal of phthalate acid esters from surface water[J]. *Chemosphere*, 2015, **119**: 59-64.

[17] 陈济安, 邱志群, 舒为群, 等. 我国水环境中邻苯二甲酸酯污染现状及其生物降解研究进展[J]. *癌变·畸变·突变*, 2007, **19**(3) : 212-214.

[18] 程雅婷. 邻苯二甲酸酯类有机污染物在河流沉积物中的吸附/脱附行为研究[D]. 广州: 中山大学, 2005. 35-65.

[19] Zhou J L, Liu Y P. Kinetics and equilibria of the interactions between diethylhexyl phthalate and sediment particles in simulated estuarine systems[J]. *Marine Chemistry*, 2000, **71**(1-2) : 165-176.

[20] 李立忠, 刘子元, 孙杰. 土壤对酞酸酯类化合物(PAES) 的吸附作用[J]. *中南民族大学学报(自然科学版)*, 2006, **25** (1) : 15-17.

[21] 崔慧慧, 李炳华, 陈鸿汉, 等. 中国土壤与沉积物中邻苯二甲酸酯污染水平及其吸附研究进展[J]. *生态环境学报*, 2010, **19**(2) : 472-479.

[22] 郭宏栋, 周敏, 童丹, 等. 邻苯二甲酸酯在黄河沉积物上的吸附特性[J]. *环境科学与技术*, 2009, **32**(1) : 6-9.

[23] 杜炯, 罗固源, 许晓毅. 长江重庆段两江水相、间隙水和沉积物中邻苯二甲酸酯的分布与分配[J]. *环境科学学报*, 2013, **33**(2) : 557-562.

[24] 郭志顺. 三峡库区重庆段典型持久性有机污染物的污染状况分析 [D]. 重庆: 重庆大学, 2006. 25-36.

[25] 舒月红, 黄小仁, 贾晓珊. 1, 2, 4, 5-四氯苯在沉积物中的解吸动力学 [J]. *环境科学*, 2009, **30**(3) : 743-747.

[26] 徐进, 张奇, 王世和, 等. 湖滨湿地基质-水界面磷释放特性研究 [J]. *中国给水排水*, 2007, **23**(1) : 43-47.

[27] 宋娇艳, 木志坚, 王强, 等. 环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响[J]. *环境科学*, 2015, **36**(1) : 143-150.

[28] 丁辉, 王胜强, 孙津生, 等. 海河干流底泥中六氯苯残留及其释放规律[J]. *环境科学*, 2006, **27**(3) : 533-537.

[29] 傅献群, 沈文霞, 姚天扬, 等. 物理化学 [M]. (第五版). 北京: 高等教育出版社, 2006. 39-47.

[30] 李丹, 邓兵, 张国森, 等. 近年来长江口水体主离子的变化特征及影响因素分析[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2010, (2) : 34-42.

[31] 韦婧, 宋静, 黄玉娟, 等. 溶解性富里酸对土壤中多环芳烃迁移的影响[J]. *土壤学报*, 2013, **50**(2) : 230-236.

[32] 宋照风, 方战强. 珠江广州河段水体中溶解性有机质的特性 [J]. *轻工科技*, 2013, (5) : 118-120.

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 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 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 17 β -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