

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

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

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM_{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估 谢元博, 陈娟, 李巍 (1)

长白山 PM_{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)

青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响 柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)

重庆市大气二噁英污染水平及季节变化 张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)

西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放 卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)

西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放 张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)

杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征 蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)

模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究 符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)

川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化 童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)

重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化 余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)

汉江上游金水河流域氮湿沉降 王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 (66)

麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)

兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究 吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)

中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究 马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)

水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO₂ 释放的影响 柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)

黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征 吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)

浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价 马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)

POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测 张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)

降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义 陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师阳 (123)

锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素 唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)

子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征 赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)

水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响 宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)

黄东海表层沉积物中磷的分布特征 宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)

河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究 张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)

沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制 武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)

三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析 敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)

太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价 毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)

滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究 王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)

浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术 王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)

光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究 王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)

同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究 刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)

垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究 孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)

油田区土壤石油烃组分残留特性研究 胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)

水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态 谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)

土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响 廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)

水稻土团聚体 Cu²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化 许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)

Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响 刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)

淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌侵染 2 种湿地植物的影响 马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)

太湖水质与水生生物健康的关联性初探 周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)

3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较 姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)

某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究 杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)

异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响 胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)

Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价 王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)

基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究 郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)

微囊藻毒素降解菌 *Paucibacter* sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性 游狄杰, 陈晓国, 向荟圯, 欧阳溱, 杨冰 (313)

硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究 杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)

降解纤维素产甲烷的四菌复合系 吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)

中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素 谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)

内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究 史晶晶, 耿元波 (341)

南京河流夏季水-气界面 N₂O 排放通量 韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)

杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响 肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)

生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究 彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)

不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究 卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)

硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用 严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)

县域尺度的京津冀都市圈 CO₂ 排放时空演变特征 汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)

保水剂性能及其农用安全性评价研究进展 李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

《环境科学》征订启事 (65) 《环境科学》征稿简则 (220) 信息 (226, 270, 298, 364)

3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较

姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅*

(南京大学环境学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京 210023)

摘要: 我国本土水生生物急性毒性数据较少, 通过研究 Cr(VI)、2,4,6-三氯酚和硝基苯对蛋白核小球藻 (*Chlorella pyrenoidosa*)、斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) 和摇蚊幼虫 (*Chironomidae larvae*) 的急性毒性效应, 为制定和完善我国水质基准提供本土数据支持. 结果表明, Cr(VI)、2,4,6-三氯酚和硝基苯对蛋白核小球藻的 96 h 半抑制效应浓度 (96 h-EC₅₀) 依次为 1.34、4.55 和 86.58 mg·L⁻¹; 对斜生栅藻的 96 h-EC₅₀ 依次为 19.52、3.71 和 74.15 mg·L⁻¹; 当 Cr(VI) 达到 1 500 mg·L⁻¹ 时, 摇蚊幼虫 48 h 死亡率仅为 15%, 2,4,6-三氯酚和硝基苯对摇蚊幼虫的 48 h 半致死效应浓度 (48 h-LC₅₀) 分别为 9.29 mg·L⁻¹ 和 98.34 mg·L⁻¹. 3 种典型污染物的毒性评估结果显示, Cr(VI) 对小球藻为高等毒性、对斜生栅藻为中等毒性, 2,4,6-三氯酚对两种微藻均为高等毒性, 硝基苯对两种微藻均为中等毒性; 3 种污染物对摇蚊幼虫的毒性顺序为: 2,4,6-三氯酚 > 硝基苯 > Cr(VI).

关键词: 六价铬; 2,4,6-三氯酚; 硝基苯; 水生生物; 急性毒性; 水质基准

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0279-07

Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria

JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, LI Mei

(State Key Laboratory of Pollution Control & Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Two species of microalgae *Chlorella pyrenoidosa*, *Scenedesmus obliquus* and a red worm *Chironomidae larvae* were selected as test organisms in determining the acute toxicity effects of Cr(VI), 2,4,6-trichlorophenol and nitrobenzene. The results were able to provide more information on water quality criteria and more data on their toxicity to indigenous aquatic organisms in China. The 96 h-EC₅₀ values of Cr(VI), TCP and nitrobenzene on *C. pyrenoidosa* were 1.34 mg·L⁻¹, 4.55 mg·L⁻¹ and 86.58 mg·L⁻¹, respectively, while those of *S. obliquus* were 19.52 mg·L⁻¹, 3.71 mg·L⁻¹ and 74.15 mg·L⁻¹, respectively. The mortality of *C. larvae* was 15% when the concentration of Cr(VI) was increased to 1 500 mg·L⁻¹. The 48 h-LC₅₀ values of TCP and nitrobenzene on *C. larvae* were 9.29 mg·L⁻¹ and 98.34 mg·L⁻¹, respectively. These results indicated that Cr(VI) showed higher toxicity to *C. pyrenoidosa*, while only moderate toxicity to *S. obliquus*; TCP had higher toxicity to *C. pyrenoidosa* and *S. obliquus*; while nitrobenzene was only moderately toxic to both species of microalgae. The toxicity among the three pollutants to *C. larvae* was in the order of TCP > nitrobenzene > Cr(VI).

Key words: hexavalent chromium; 2,4,6-trichlorophenol; nitrobenzene; aquatic organisms; acute toxicity effect; water quality criteria

随着工农业的快速发展, 各种污染物的排放量与日俱增. 有研究证实, 工业废水成分复杂, 含有多种对人体具有潜在危害的可导致生物细胞遗传损伤作用的化学物质^[1, 2], 如重金属、多环芳烃、硝基苯、酚类和苯系化合物等, 不仅对水生生物造成直接损害, 而且还对其生长发育产生不可逆的影响, 最终通过食物链的迁移和富集危及人体健康^[3, 4]. 重金属铬 [Cr(VI)]、2,4,6-三氯酚 (TCP) 和硝基苯作为中国水环境优先控制污染物黑名单中的 3 种典型污染物^[5], 对水质、水生生物以及人体造成一定程度的潜在影响和危害. 已有研究显示, Cr(VI) 在细胞内参与氧化还原过程, 影响细胞正常的新陈代谢,

其化合物具有致癌、致畸作用^[6, 7]; TCP 和硝基苯则易通过脂溶作用进入细胞体内, 形成活性氧自由基类物质, 引发脂质过氧化反应, 导致自由基对生物体的损伤并使生物膜变性, 致使组织破坏和老化、脂肪代谢异常等^[8, 9].

重金属铬、TCP 和硝基苯作为我国水域中重要的污染物, 相关污染事件时有发生, 如云南曲靖铬污

收稿日期: 2013-04-16; 修订日期: 2013-06-03

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2012ZX07501-003-002); 国家自然科学基金项目 (21077052); 江苏省科技支撑项目 (BE2012737)

作者简介: 姜东生 (1987 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境毒理学, E-mail: jiangds1@163.com

* 通讯联系人, E-mail: meili@nju.edu.cn

染事件^[10]、松花江硝基苯泄漏事件^[11]等,这些污染事件均对环境和社会造成巨大影响. 研究上述污染物的生态毒性,对于制定相关安全阈值、开展水生生态风险评估以及突发事件处理都具有重要意义.

蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)隶属于绿藻门(Chlorophyta)小球藻属(*Chlorella*),斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)隶属于绿藻门(Chlorophyta)栅藻属(*Scenedesmus*),摇蚊幼虫(*Chironomidae larvae*)隶属于双翅目(Diptera)摇蚊科(Chironomidae)昆虫,三者均为我国常见淡水生物,作为水生生态系统中的初级生产者和初级消费者,是我国水环境监测的优良指示生物^[12]. 本研究以这3种本土水生物种作为受试生物,通过急性毒性实验研究Cr(VI)、TCP和硝基苯的毒性效应,以期为我国水质基准研究提供一定参考.

1 材料与方法

1.1 实验材料

蛋白核小球藻(*C. pyrenoidosa*)和斜生栅藻(*S. obliquus*)由中国科学院水生生物研究所淡水藻类藻种库(FACHB)提供,采用SE培养基在光照培养箱中扩大培养^[13];摇蚊幼虫(*C. larvae*)购自南京市夫子庙花鸟虫鱼市场,实验室驯养后进行实验. 化学试剂 $K_2Cr_2O_7$ 、TCP和硝基苯均为分析纯.

1.2 实验方法

1.2.1 微藻培养及染毒

取处于对数生长期的蛋白核小球藻和斜生栅藻,接种光密度值(D_{680})为0.1左右,密度约为 $2 \times 10^5 \sim 6 \times 10^5 \text{ ind} \cdot \text{mL}^{-1}$,分别添加Cr(VI)母液,使其终浓度分别为0.05、0.1、1、5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.1、1、10、50 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;添加TCP母液,终浓度均为0.1、1、5、10 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;添加硝基苯母液,终浓度均为1、10、50、100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 每个浓度3个平行,并设空白对照组,其中TCP和硝基苯暴露组中另设助溶剂(DMSO)对照组. 培养温度为 $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 、光照强度为 $80 \sim 90 \mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s})^{-1}$,光暗周期为12 h:12 h,连续培养96 h. 每天定时摇动并随机更换位置,以减少实验误差.

1.2.2 微藻生长及毒性测定

通过血球计数板计数蛋白核小球藻和斜生栅藻细胞数,确定微藻细胞密度与培养液 D_{680} 值之间的线性关系,结果见表1,其中 y 为细胞密度($\text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$). 通过 D_{680} 值反映染毒后藻细胞密度的变化,从而反映污染物对微藻的毒性强度.

表1 微藻细胞密度 y 与光密度值(D_{680})之间的线性关系

Table 1 Linear relationship between number of algae and optical density		
微藻名	线性关系	相关系数 R^2
蛋白核小球藻	$y = (431.62 \times D_{680} - 4.0425) \times 10^5$	0.994
斜生栅藻	$y = (191.92 \times D_{680} - 0.9545) \times 10^5$	0.999

1.2.3 摇蚊幼虫培养及毒性测定

选取四龄期摇蚊幼虫,置于曝气24 h自来水中驯养48 h后,挑选活动正常、反应灵敏、大小基本一致的摇蚊幼虫随机分组于玻璃器皿中($20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$)进行实验,每组10只. 同时随机挑选10只摇蚊幼虫进行测量,其平均体长为1.47 cm,平均体重为25.6 mg. Cr(VI)采用静态实验,TCP和硝基苯采用半静态实验,每24 h更换溶液. 每天观察中毒症状和死亡情况,并将死亡摇蚊幼虫及时取出. 死亡标准为用玻璃棒轻压摇蚊幼虫的尾部没有反应.

预实验以10为公比做间隔设置浓度,以求出24 h的100%死亡浓度和48 h无死亡浓度. 正式实验以几何级数做间距,选择5个浓度[Cr(VI)、TCP和硝基苯对应浓度组分别为500、650、850、1100、1500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,7.2、8.6、10.4、12.4、15 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和90、100、112、125、140 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$],在3个依次的几何系列浓度中测得20%~80%的死亡率以估算 LC_{50} 值. 每个实验组设置3个平行样,并设空白对照.

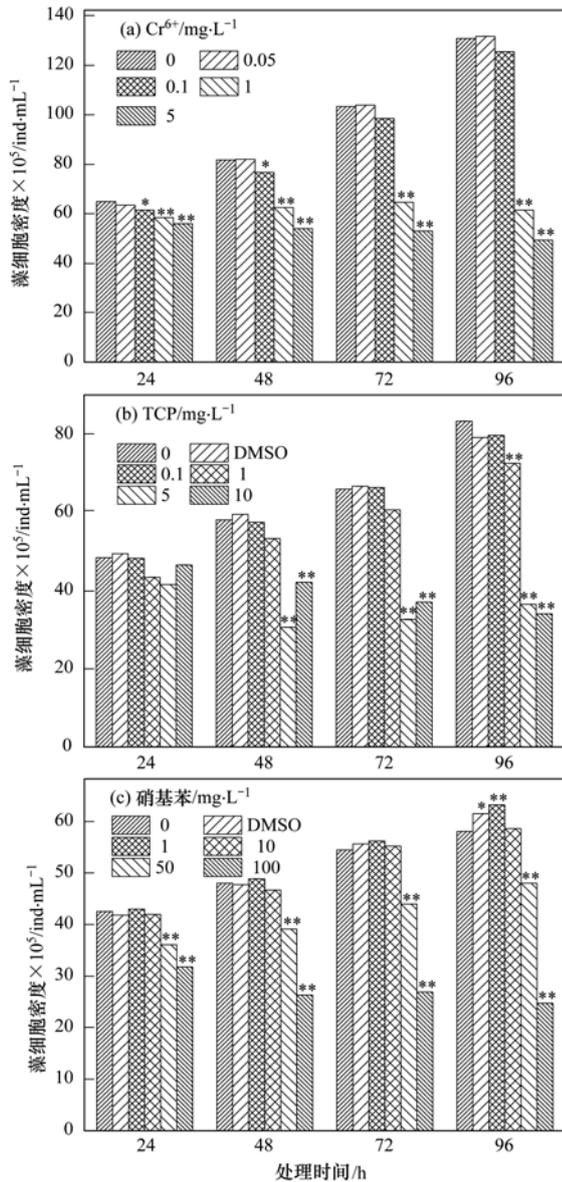
1.3 数据处理

各实验至少设3个平行,使用每组实验3个平行数据,取其平均值与标准差进行统计分析. 统计用Origin 7.5软件进行ANOVA分析,将实验组与对照组进行显著性 t 检验,以 $P < 0.05$ 作为显著性依据. 根据微藻毒性实验数据,求出线性回归方程,计算96 h- EC_{50} ,并对剂量反应方程进行 χ^2 检验,以验证其可靠性^[14]. 摇蚊幼虫实验中自然死亡率采用Abbott公式加以校正,并用新复方极差法进行方差分析,48 h- LC_{50} 采用直线回归法计算^[15].

2 结果与分析

2.1 3种污染物对微藻生长的影响

由图1和图2结果可见,与空白对照相比,溶剂对照组(DMSO)对藻类生长的影响很小,差异不显著. 低浓度Cr(VI)($< 0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)和硝基苯($< 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)具有刺激微藻生长的作用,96 h后栅藻和小球藻的细胞密度均有一定增加,而低浓度



数据为 3 个平行的平均值 ± 标准差, 其中, * 代表与空白组相比差异显著 $P < 0.05$, ** 代表 $P < 0.01$, 下同

图 1 3 种污染物对蛋白核小球藻生长的影响

Fig. 1 Effects of Cr, TCP and nitrobenzene on the growth of *C. pyrenoidosa*

TCP ($< 0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 对两种微藻生长无明显影响; 高浓度 $\text{Cr}(\text{VI})$ ($> 1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)、TCP ($> 1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 和硝基苯 ($> 10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 则均能显著抑制微藻生长, 96 h 后细胞密度随污染物浓度增加而明显下降, 且呈现较好的剂量-效应关系。

2.2 3 种污染物作用下微藻的 EC_{50} 及回归方程

3 种典型污染物对两种微藻的剂量反应关系分别见表 2 和表 3, 其反应方程符合精度要求, $\text{Cr}(\text{VI})$ 、TCP 和硝基苯对蛋白核小球藻的 96 h- EC_{50} 分别为 1.34、4.55 和 86.58 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 对斜生栅

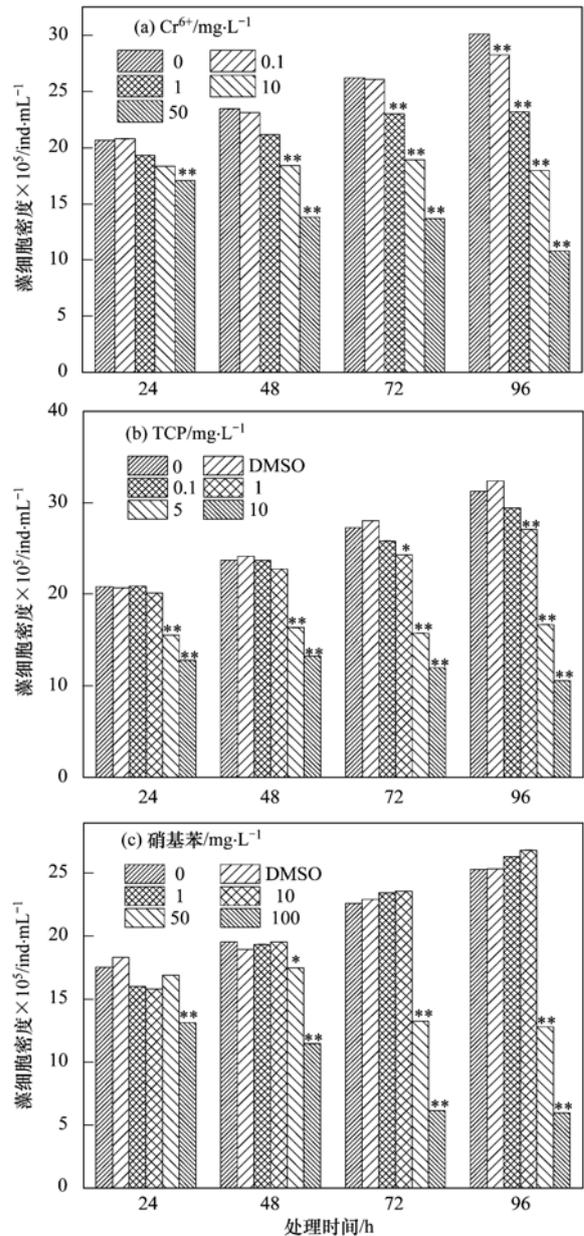


图 2 3 种污染物对斜生栅藻生长的影响

Fig. 2 Effects of Cr, TCP and nitrobenzene on the growth of *S. obliquus*

藻的 96 h- EC_{50} 分别为 19.52、3.71 和 74.15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 根据国家环境保护总局《新化学物质危害评估导则》(HJ/T 154-2004) 中的分级标准^[16], 得出 $\text{Cr}(\text{VI})$ 和 TCP 对蛋白核小球藻属高等毒性, 硝基苯属中等毒性, 毒性大小依次为: $\text{Cr}(\text{VI}) > \text{TCP} > \text{硝基苯}$; $\text{Cr}(\text{VI})$ 和硝基苯对斜生栅藻属中等毒性, TCP 属高等毒性, 毒性大小依次为: $\text{TCP} > \text{Cr}(\text{VI}) > \text{硝基苯}$.

2.3 3 种污染物对摇蚊幼虫的急性毒性

通过 3 种污染物对摇蚊幼虫的毒性实验数据分析, 得出各时间段浓度对数与概率单位的回归方程

表 2 3 种污染物作用下蛋白核小球藻的 96 h-EC₅₀及回归方程Table 2 EC₅₀ and regression equations for the three typical pollutants on *C. pyrenoidosa* in 96 hours

污染物	回归方程	R ²	χ ² 检验	96 h-EC ₅₀ /mg·L ⁻¹	毒性等级
Cr(VI)	$y = 0.9364x + 4.8803$	0.977	0.408	1.34	高
TCP	$y = 3.0942x + 3.0287$	0.855	4.386	4.55	高
硝基苯	$y = 4.3300x - 3.3890$	0.901	3.033	86.58	中

表 3 3 种污染物作用下斜生栅藻的 96 h-EC₅₀及回归方程Table 3 EC₅₀ and regression equations for the three typical pollutants on *S. obliquus* in 96 hours

污染物	回归方程	R ²	χ ² 检验	96 h-EC ₅₀ /mg·L ⁻¹	毒性等级
Cr(VI)	$y = 0.7972x + 3.9713$	0.962	0.242	19.52	中
TCP	$y = 1.3819x + 4.2131$	0.999	0.004	3.71	高
硝基苯	$y = 3.1332x - 0.8594$	0.969	1.273	74.15	中

以及 LC₅₀ 的 95% 置信区间(表 4)。根据文献[16], 由表 4 可以看出, 3 种典型污染物对摇蚊幼虫有不同的毒性作用。其中(在 24 h 或 48 h)Cr(VI) 对摇蚊幼虫表现为低等毒性, TCP 在 24 h 和 48 h 对摇蚊

幼虫分别表现为中等毒性和高等毒性, 硝基苯在 24 h 和 48 h 对摇蚊幼虫分别表现为低等毒性和中等毒性。在 48 h 时, 3 种污染物对摇蚊幼虫的毒性大小依次为: TCP > 硝基苯 > Cr(VI)。

表 4 3 种污染物对摇蚊幼虫 LC₅₀ 的线性回归方程和 95% 置信区间Table 4 Regression equations and 95% confidence interval for LC₅₀ of the three typical compounds for *C. larvae*

污染物	染毒时间/h	线性回归方程	R ²	LC ₅₀ /mg·L ⁻¹	LC ₅₀ 的 95% 置信区间/mg·L ⁻¹
Cr(VI)	24	—	—	—	—
	48	—	—	—	—
TCP	24	$y = 9.7713x - 5.6017$	0.971	12.16	10.2 ~ 14.6
	48	$y = 7.1233x - 1.8970$	0.921	9.29	5.8 ~ 15.0
硝基苯	24	$y = 15.801x - 27.937$	0.944	121.48	117.6 ~ 125.5
	48	$y = 11.706x - 18.327$	0.928	98.34	93.6 ~ 103.3

2.4 3 种污染物急性毒性数据及其水质基准比较

在水生生物基准方面, 美国 EPA 1985 年发布了《确定国家保护水生生物水质基准定值及其应用的指南》, 并于 2003 年提出了水生生物基准方法学修改建议, 指出基准中要为每个化合物制定两个值: 基准最大值(criteria maximum concentration, CMC), 又称急性基准值, 是为了防止高浓度的污染物短期作用对水生生物造成急性毒性效应; 基准连续浓度(criteria continuous concentration, CCC), 又称为慢性基准值, 是为了防止低浓度的污染物长期作用对水生生物造成的慢性毒性效应。本研究中的 3 种典型污染物国内外水质基准与标准值如表 5 所示, 吴丰昌等^[17]使用物种敏感度分布法推导 Cr(VI) 水质基准过程中, 选取了 81 个生物物种的毒性数据, 经计算其急性毒性数据平均值为 7.34 mg·L⁻¹, 而本研究通过计算得到的 Cr(VI) 对蛋白核小球藻和斜生栅藻的 96 h-EC₅₀ 分别为 1.34 mg·L⁻¹ 和 19.52 mg·L⁻¹, 其中蛋白核小球藻的 96 h-EC₅₀ 小于 7.34

mg·L⁻¹, 表明其对 Cr(VI) 较为敏感。雷炳莉等^[18]探讨太湖流域 TCP 水质基准时, 采用毒性百分数排序法和物种敏感度分布法推导其水质基准时, 筛选了 29 个生物急性毒性数据, 计算得到急性毒性平均值为 3.68 mg·L⁻¹, 与本研究中 TCP 对蛋白核小球藻和斜生栅藻的 EC₅₀ 值(分别为 4.55 mg·L⁻¹ 和 3.71 mg·L⁻¹) 较为接近。本研究中硝基苯对两种微藻的 EC₅₀ 分别为 86.58 mg·L⁻¹ 和 74.15 mg·L⁻¹, 吴丰昌等^[17]在使用急性物种敏感度分布法推导硝基苯水质基准时, 14 个物种急性毒性数据的平均值为 47.09 mg·L⁻¹, 使用毒性百分数排序法分析硝基苯对中国物种的急性毒性数据时, 筛选的最敏感 4 个属包括栅藻属^[19]。

TCP 和硝基苯对摇蚊幼虫的 48 h-LC₅₀ 分别为 9.29 mg·L⁻¹ 和 98.34 mg·L⁻¹, 摇蚊幼虫对上述 3 种典型污染物不太敏感。但是作为我国淡水水域广泛存在的生物物种, 摇蚊幼虫的急性毒性数据也将在水质基准的推导过程中发挥重要作用。

表 5 3 种典型污染物质的水质基准或标准值¹⁾/μg·L⁻¹Table 5 Aquatic criteria or standards of three typical pollutants/μg·L⁻¹

污染物	国内学者研究结果		美国基准		中国地表水环境质量标准				
	CMC	CCC	CMC	CCC	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
Cr(VI)	45.79 ^[17]	14.22 ^[17]	16	11	10	50	50	50	100
TCP	648 ^[18]	198 ^[18]	—	—			200*		
硝基苯	572 ^[17]	114 ^[17]	3 145	878			17*		

1) —表示没有获得数据; *表示集中式生活饮用水地表水源地标准限值,没有分级

3 讨论

作为一种常见的重金属污染物,铬对水生生物的毒性效应已有许多报道^[20-23]. 有文献报道 Cr(VI) 对中国林蛙 (*Rana chensinensis*) 幼体、孔雀鱼 (*Poecilia reticulata*) 和河南华溪蟹 (*Sinopotamon henanense*) 的 96 h-LC₅₀ 分别为 28.81、43.40 和 111.24 mg·L⁻¹^[24-26]. 耿宝荣等^[27] 及梁峰等^[28] 分别探讨了 Cr(VI) 对无尾两栖类蝌蚪和黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 的急性毒性影响. 铬对水生生物的毒性效应研究多涉及鱼类、两栖类和甲壳类,国内针对藻类的研究相对较少^[7, 14]. 本研究结果显示在 Cr(VI) 作用下,蛋白核小球藻的 96 h-EC₅₀ 为 1.34 mg·L⁻¹,与文献报道的 Cr(VI) 对其 96 h-EC₅₀ (4.96 mg·L⁻¹) 基本一致^[14]. 另外,本研究中斜生栅藻 96 h-EC₅₀ 为 19.52 mg·L⁻¹,相比蛋白核小球藻对 Cr(VI) 的耐受性更强,研究结果与魏群等^[7] 的报道一致,其原因可能与小球藻的细胞个体更小且为球状有关. 摇蚊幼虫对各类污染物的耐受能力不同,如摇蚊属 (*Chironomus*) 的种类耐有机污染,而前突摇蚊属 (*Procladius*) 的种类耐重金属污染^[29]. 本实验所用摇蚊幼虫对 Cr(VI) 耐受能力很强,即使当 Cr(VI) 浓度为 1 500 mg·L⁻¹ 时,摇蚊幼虫 48 h 的死亡率仅为 15%,实验所用材料可能为前突摇蚊属. 通过比较上述毒性数据, Cr(VI) 对微藻的毒性效应要高于其他水生动物,表明重金属通过各种途径进入水体后,首当其冲的受害者是初级生产者藻类,相比细菌或水生动物而言,微藻对毒物更敏感,研究结果与文献^[30, 31] 的结果一致.

本研究中, TCP 对蛋白核小球藻和斜生栅藻的 96 h-EC₅₀ 分别为 4.55 mg·L⁻¹ 和 3.71 mg·L⁻¹, 对摇蚊幼虫的 48 h-LC₅₀ 为 9.29 mg·L⁻¹. 张亚辉等^[32] 的研究结果显示 pH 为 6.0、7.8 和 9.0 时 TCP 对大型蚤 (*Daphnia magna*) 的 48 h-LC₅₀ 分别为 0.75、1.76 和 1.16 mg·L⁻¹; 杨永滨等^[33] 研究发现 TCP 对斑马鱼 (*Danio rerio*) 48 h-LC₅₀ 为 1.63 mg·L⁻¹; Yin 等^[34]

测定了部分水生动物和浮游植物对 TCP 的毒性数据,其急性毒性 (LC₅₀) 范围是 1.46 ~ 9.29 mg·L⁻¹, 与本研究结果基本一致. 但金小伟等^[35] 研究发现, TCP 对河蚬 (*Corbicula fluminea*) 的 96 h-LC₅₀ 为 41.98 mg·L⁻¹, 相比鱼类和其他水生生物, TCP 对河蚬的毒性较低,可能是因为河蚬具有坚硬的外壳保护,使其身体未完全暴露于污染物之中,从而降低了污染物对其的毒害作用.

2005 年松花江水污染事件发生后,硝基苯成为环境工作者的研究热点. 周群芳等^[36] 研究发现硝基苯对日本青鳉 (*Oryzias latipes*) 和稀有鮎鲫 (*Gobiocypris rarus*) 的 48 h-LC₅₀ 分别为 141.4 mg·L⁻¹ 和 133.0 mg·L⁻¹, 刘祎男等^[37] 报道了硝基苯对霍甫水丝蚓 (*Limnodrilus hoffmeisteri*) 的 48 h-LC₅₀ 为 96.77 μL·L⁻¹ (116.61 mg·L⁻¹). 本研究中硝基苯对蛋白核小球藻 (86.58 mg·L⁻¹)、斜生栅藻 (74.15 mg·L⁻¹) 和摇蚊幼虫 (98.34 mg·L⁻¹) 的 EC₅₀ (LC₅₀) 值,与其他研究中泥鳅 (*Misgurnus bipartitus*) (96.04 mg·L⁻¹)、中国林蛙 (*Rana chensinensis*) 蝌蚪 (117.04 mg·L⁻¹) 和中华圆田螺 (*Cipangopaludina cahayensis*) (104.23 mg·L⁻¹) 的毒性响应值基本接近^[38, 39]. 赵志刚等^[39]、李铁军等^[40] 对三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 和日本沼虾 (*Macrobrachium nipponense*) 的研究结果显示,硝基苯对其 96 h-LC₅₀ 分别为 7.60 mg·L⁻¹ 和 0.033 7 mg·L⁻¹,表明这两种水生生物对硝基苯更为敏感. 硝基苯对浮游植物的毒性效应在我国研究较少,王宏等^[41] 研究发现,硝基苯对斜生栅藻的 96 h-EC₅₀ 为 16.50 mg·L⁻¹,本实验研究结果 (74.15 mg·L⁻¹) 与之相当,且均表现为中等毒性.

蛋白核小球藻和斜生栅藻是我国河流、湖泊中的重要生物物种^[12],且对上述污染物质比较敏感,因此水质基准的推导过程中,藻类毒性数据的搜集、筛选和应用,将会使我国水质基准值更加客观. 本研究中 TCP 和硝基苯对摇蚊幼虫的 48 h-LC₅₀ 分别为 9.29 mg·L⁻¹ 和 98.34 mg·L⁻¹,与雷炳莉等^[18] 在

推导 TCP 水质基准过程中得到的摇蚊幼虫急性毒性几何平均值 ($2\ 060\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) 较为接近; 吴丰昌等^[19]在推导硝基苯水质基准时, 采用的节肢动物门蚊科库蚊属数据为国外数据, 这可能会对我国水质基准值产生影响。因此, 本研究数据对上述 3 种典型污染物基准的完善和修订有着重要意义。

4 结论

(1) 低浓度的 3 种污染物能够促进微藻生长, 浓度升高则抑制其生长, 且浓度越高, 生长抑制效应越强; Cr(VI) 对摇蚊幼虫作用不显著, TCP 和硝基苯对其有明显的剂量-效应关系。

(2) 参考国家环境保护总局《新化学物质危害评估导则》(HJ/T 154-2004) 中的分级标准, 染毒 96 h 后, Cr(VI)、TCP 和硝基苯对蛋白核小球藻分别属高等毒性、高等毒性和中等毒性, 对斜生栅藻分别属中等毒性、高等毒性和中等毒性; 染毒 48 h 后, 3 种污染物对摇蚊幼虫分别属低等毒性、高等毒性和中等毒性。

(3) 蛋白核小球藻对 Cr(VI) 较为敏感, TCP 对 2 种微藻均较为敏感, 硝基苯对上述 3 种水生生物敏感性较差。

参考文献:

- [1] Horstmann M, McLachlan M S. Concentrations of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDD) and dibenzofurans (PCDF) in urban runoff and household wastewaters[J]. *Chemosphere*, 1995, **31** (3): 2887-2896.
- [2] Stevens J, Green N J L, Jones K C. Survey of PCDD/Fs and non-ortho PCBs in UK sewage sludges[J]. *Chemosphere*, 2001, **44**(6): 1455-1462.
- [3] 陈传平, 张庭廷, 何梅, 等. 苯胺, 苯酚对淡水藻类生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, **18**(1): 219-223.
- [4] Saha N C, Bhunia F, Kaviraj A. Toxicity of phenol to fish and aquatic ecosystems[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1999, **63**(2): 195-202.
- [5] 黄玉瑶. 内陆水域污染生态学: 原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 106-119.
- [6] Svecevičius G. Acute toxicity of hexavalent chromium to European freshwater fish [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2006, **77**(5): 741-747.
- [7] 魏群, 胡智泉, 李根保, 等. 铬离子对藻类生长的影响[J]. *生态环境*, 2008, **17**(1): 12-15.
- [8] 朱小燕, 杨英利, 李亚岚, 等. 4 种淡水藻对硝基苯的抗性机制[J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2006, **40**(4): 570-574.
- [9] Blum J, Fridovich I. Inactivation of glutathione-peroxidase by superoxide radical[J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1985, **240**(2): 500-508.
- [10] 吴学安. 铬渣污染: 环境安全警钟再鸣[J]. *环境保护*, 2011, (17): 56.
- [11] 范振一, 姜春龙. 松花江污染事件对佳木斯江段水质影响分析[J]. *黑龙江环境通报*, 2009, **33**(4): 61-62.
- [12] 齐鑫, 马勇军, 潘志祥. 水环境中的摇蚊幼虫研究进展[J]. *台州学院学报*, 2008, **30**(6): 38-42.
- [13] 任佳, 麻晓霞, 马玉龙, 等. 三种微藻与苯酚的相互作用研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, **40**(20): 10560-10562.
- [14] 陈海柳, 潘纲, 闫海, 等. Cr(VI) 抑制淡水蓝绿藻生长的毒性效应[J]. *环境科学*, 2003, **24**(2): 13-18.
- [15] 苏寿泯, 叶炳辉. 现代医学昆虫学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996. 185-188.
- [16] 国家环境保护总局. 新化学物质危害评估导则[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004. 11-12.
- [17] 吴丰昌, 冯承莲, 张瑞卿, 等. 我国典型污染物水质基准研究[J]. *中国科学(D 辑): 地球科学*, 2012, **42**(5): 665-672.
- [18] 雷炳莉, 金小伟, 黄圣彪, 等. 太湖流域 3 种氯酚类化合物水质基准的探讨[J]. *生态毒理学报*, 2009, **4**(1): 40-49.
- [19] 吴丰昌, 孟伟, 张瑞卿, 等. 保护淡水水生生物硝基苯水质基准研究[J]. *环境科学研究*, 2011, **24**(1): 1-10.
- [20] Murti R, Omkar, Shukla G S. Chromium toxicity to a freshwater prawn *Macrobrachium lamarrei* (h. m. edwards) [J]. *Toxicology Letters*, 1983, **18**(3): 257-261.
- [21] 吴彰宽, 陈国江. 二十三种有害物质对对虾的急性致毒试验[J]. *海洋科学*, 1988, (4): 36-40.
- [22] 石戈, 王健鑫, 王日昕. Cr⁶⁺ 对中国林蛙蝌蚪生长发育的毒性效应[J]. *浙江农业学报*, 2007, **19**(3): 220-224.
- [23] 赵娜, 朱琳, 冯鸣凤. 不同 pH 条件下 Cr⁶⁺ 对三种藻的毒性效应[J]. *生态毒理学报*, 2010, **5**(5): 657-665.
- [24] 王维君. 铬对中国林蛙 (*Rana chensinensis*) 幼体的毒性效应[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006.
- [25] 赵岩. 几种重金属对孔雀鱼的毒性效应研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2010.
- [26] 米静洁, 袁慧, 王兰. 铜·镉·铬·铅对河南华溪蟹的急性毒性作用[J]. *安徽农业科学*, 2008, **36**(17): 7273-7274, 7321.
- [27] 耿宝荣, 姚丹, 纪冰, 等. 重金属铬离子对两种无尾两栖类蝌蚪的急性毒性影响[A]. 见: 中国动物学会两栖爬行动物学分会 2005 年学术研讨会暨会员代表大会论文集[C]. 长春: 吉林人民出版社, 2005. 133-139.
- [28] 梁峰, 杨绍贵, 孙成. 六价铬对黄颡鱼仔鱼和稚鱼的急性毒性效应研究[J]. *农业环境科学学报*, 2010, **29**(9): 1665-1669.
- [29] 谢建春. 水体污染与水生动物[J]. *生物学通报*, 2001, **36**(6): 10-11.
- [30] 邱昌恩. 六种常见重金属对藻类的毒性效应概述[J]. *重庆医科大学学报*, 2006, **31**(5): 776-778.
- [31] Radix P, Léonard M, Papantoniou C, et al. Comparison of four chronic toxicity tests using algae, bacteria, and invertebrates assessed with sixteen chemicals [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2000, **47**(2): 186-194.
- [32] 张亚辉, 曹莹, 王一喆, 等. 3 种氯酚化合物对大型溞的联合

- 毒性[J]. 生态毒理学报, 2011, 6(4): 403-409.
- [33] 杨永滨, 刘征涛, 郑明辉, 等. 卤代酚对斑马鱼的急性联合毒性效应研究[J]. 环境科学研究, 2007, 20(2): 5-8.
- [34] Yin D Q, Hu S Q, Jin H J, *et al.* Deriving freshwater quality criteria for 2,4,6-trichlorophenol for protection of aquatic life in China[J]. Chemosphere, 2003, 52(1): 67-73.
- [35] 金小伟, 查金苗, 许宜平, 等. 3 种氯酚类化合物对河蚬的毒性和氧化应激[J]. 生态毒理学报, 2009, 4(6): 816-822.
- [36] 周群芳, 傅建捷, 孟海珍, 等. 水体硝基苯对日本青鳉和稀有鮰鲫的亚急性毒理学效应[J]. 中国科学(B 辑): 化学, 2007, 37(2): 197-206.
- [37] 刘祎男, 范学铭, 阚晓微, 等. 苯、苯酚、硝基苯对水丝蚓的急性毒性及超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 水生生物学报, 2008, 32(3): 420-423.
- [38] 王哲娟. 苯, 苯酚, 硝基苯对泥鳅的急性毒性及抗氧化酶活性影响的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2010.
- [39] 赵志刚, 张志生, 高士祥. 硝基苯对 3 种中国土著水生生物的毒性[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(1): 54-59.
- [40] 李铁军, 郭远明, 尤炬炬, 等. 苯酚, 苯胺, 氯苯和硝基苯对三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus* (Miers) 的急性毒性研究[J]. 现代渔业信息, 2009, 24(1): 15-17.
- [41] 王宏, 沈英娃, 卢玲, 等. 几种典型有害化学品对水生生物的急性毒性[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 49-52.

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jun-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《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1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 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