

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第6期

Vol.34 No.6

**2013**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

2008 ~ 2010 年北京城区大气 BTEX 的浓度水平及其 O<sub>3</sub> 生成潜势 ..... 曹函玉, 潘月鹏, 王辉, 谭吉华, 王跃思 (2065)

利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态 ..... 牟莹莹, 楼晟荣, 陈长虹, 周敏, 王红丽, 周振, 乔利平, 黄成, 李梅, 李莉, 王倩, 黄海英, 邹兰军 (2071)

沈阳市降水化学成分及来源分析 ..... 张林静, 张秀英, 江洪, 张清新 (2081)

秦皇岛大气污染物浓度变化特征 ..... 刘鲁宁, 申雨璇, 辛金元, 吉东生, 王跃思 (2089)

禽类肉鸡生长过程 NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的排放 ..... 周忠凯, 朱志平, 董红敏, 陈永杏, 尚斌 (2098)

碳化硅协同分子筛负载型催化微波辅助催化氧化甲苯性能 ..... 王晓晖, 卜龙利, 刘海楠, 张浩, 孙剑宇, 杨力, 蔡力栋 (2107)

生物滴滤塔净化多组分废气的研究 ..... 张定丰, 房俊逸, 叶杰旭, 邱松凯, 钱东升, 戴启洲, 陈东之 (2116)

在氧化和还原氛围下脉冲电晕法降解二硫化碳废气 ..... 金圣, 黄立维, 李国平 (2121)

模拟大气 CO<sub>2</sub> 水平升高对春季太湖浮游植物生理特性的影响 ..... 赵旭辉, 汤龙升, 史小丽, 杨州, 孔繁翔 (2126)

一种确定湖泊水质基准参照状态浓度的新方法 ..... 华祖林, 汪靛 (2134)

HSPF 径流模拟参数敏感性分析与模型适用性研究 ..... 李燕, 李兆富, 席庆 (2139)

基于非点源污染的水质监测方案研究 ..... 吴喜军, 李怀恩, 李家科, 李强坤, 董雯 (2146)

不同雨强下黄棕壤坡耕地径流养分输出机制研究 ..... 陈玲, 刘德富, 宋林旭, 崔玉洁, 张革 (2151)

春季东海赤潮发生前后营养盐及溶解氧的平面分布特征 ..... 李鸿妹, 石晓勇, 陈鹏, 张传松 (2159)

三峡库区大宁河枯水期藻细胞的时空分布 ..... 张永生, 郑丙辉, 王坤, 姜霞, 郑浩 (2166)

湖泊沉积物溶解性有机氮组分的藻类可利用性 ..... 冯伟莹, 张生, 焦立新, 王圣瑞, 李畅游, 崔凤丽, 付绪金, 甄志磊 (2176)

刚毛藻分解对上覆水磷含量及赋存形态的影响 ..... 侯金枝, 魏权, 高丽, 孙卫明 (2184)

反复扰动下磷在沉积物和悬浮物以及上覆水间的交换 ..... 李大鹏, 王晶, 黄勇 (2191)

三峡库区主要支流表层沉积物多溴联苯醚的分布特征 ..... 李昆, 赵高峰, 周怀东, 刘晓茹, 余丽琴, 文武, 张盼伟 (2198)

UV 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 联合消毒灭活饮用水中大肠杆菌研究 ..... 张一清, 周玲玲, 张吉 (2205)

臭氧降解水中邻苯二甲酸二甲酯的动力学及影响因素 ..... 于丽, 张培龙, 侯甲才, 庞立飞, 李越, 贾寿华 (2210)

硝酸根对水体中甲基汞光化学降解的影响 ..... 毛雯, 孙荣国, 王定勇, 马明, 张成 (2218)

炔雌醇氯化反应的动力学和机制研究 ..... 王斌楠, 刘国强, 孔德洋, 陆隽鹤 (2225)

金属离子对 δ-MnO<sub>2</sub> 去除对叔辛基酚抑制作用的研究 ..... 李非里, 牟华倩 (2232)

核壳表面磁性印迹聚合物的制备及其对水中双酚 A 的特异性去除 ..... 刘建明, 李红, 熊振湖 (2240)

有机蒙脱石负载纳米铁去除溶液中四溴双酚 A 的研究 ..... 闫梦玥, 庞志华, 李小明, 赵建宇, 罗隽 (2249)

纳滤预处理测定景观水体中溶解性有机氮质量浓度及其分布特征 ..... 于红蕾, 霍守亮, 杨周生, 席北斗, 谷逢宇, 张靖天 (2256)

改性水凝胶的制备及其对 Pb<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 吸附性能研究 ..... 吴宁梅, 李正魁 (2263)

直接大红 4BE 的磷钨酸均相催化还原脱色 ..... 魏红, 李克斌, 李娟, 陈经涛, 张涛 (2271)

基于微气泡曝气的生物膜反应器处理废水研究 ..... 张磊, 刘平, 马锦, 张静, 张明, 吴根 (2277)

Fenton 法处理竹制品废水生化出水的研究 ..... 郭庆稳, 张敏, 王炜, 杨治中, 吴东雷 (2283)

二价铁离子对 UASB 反应器厌氧发酵产氢效能的影响 ..... 李永峰, 王艺璇, 程国玲, 刘春妍 (2290)

进水底物浓度对蔗糖废水产酸合成 PHA 影响研究 ..... 陈志强, 邓毅, 黄龙, 温沁雪, 郭子瑞 (2295)

接种好氧颗粒污泥快速启动硝化工艺的过程研究 ..... 刘文如, 沈耀良, 丁玲玲, 丁敏 (2302)

聚磷污泥去除高浓度铅的影响因素研究 ..... 杨敏, 卢龙, 冯涌, 方超, 李雄清 (2309)

体积分数传递系数在好氧颗粒污泥系统中的变化特性初步分析 ..... 李志华, 范长青, 王晓昌 (2314)

我国淡水水体中双酚 A (BPA) 的生态风险评价 ..... 汪浩, 冯承莲, 郭广慧, 张瑞卿, 刘跃丹, 吴丰昌 (2319)

麦穗鱼物种敏感性评价 ..... 王晓南, 刘征涛, 闫振广, 张聪, 何丽, 孟双双 (2329)

不同评估方法得出的五氯酚的 PNEC 值的比较研究 ..... 雷炳莉, 文育, 王艺陪, 康佳, 刘倩 (2335)

桂林市交警头发 Hg、Pb 含量及分布研究 ..... 钱建平, 张力, 李成超, 黄栋 (2344)

直流电场处理后降线藻趋光性对 Cl<sup>-</sup> 和 Hg<sup>2+</sup> 的响应 ..... 王飞翔, 袁玲, 黄建国 (2350)

UV-B 辐射对青冈凋落叶化学组成和分解的影响 ..... 宋新章, 卜涛, 张水奎, 江洪, 王志坤, 赵明水, 刘永军 (2355)

7 种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征 ..... 刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 杨聃聃 (2361)

溶解氧对碳氮硫共脱除工艺中微生物群落影响解析 ..... 于皓, 陈川, 张莉, 王爱杰 (2368)

不同耕地利用方式下土壤微生物活性及群落结构特性分析: 基于 PLFA 和 MicroResp<sup>TM</sup> 方法 ..... 陈晓娟, 吴小红, 刘守龙, 袁红朝, 李苗苗, 朱捍华, 葛体达, 童成立, 吴金水 (2375)

典型滨海湿地干湿交替过程氮素动态的模拟研究 ..... 陈建刚, 曹雪 (2383)

三峡库区巫山建坪地区土壤镉等重金属分布特征及来源研究 ..... 刘意章, 肖唐付, 宁增平, 贾彦龙, 黎华军, 杨菲, 姜涛, 孙旻 (2390)

北京市不同区位耕作土壤中重金属总量与形态分布特征 ..... 陈志凡, 赵焯, 郭廷忠, 王永锋, 田青 (2399)

季节变化对贵阳市不同功能区地表灰尘重金属的影响 ..... 李晓燕 (2407)

东营市孤岛地区土壤中类二噁英类 PCBs 的污染特征 ..... 王登阁, 崔兆杰, 傅晓文, 殷永泉, 许宏宇 (2416)

模拟氮沉降对森林土壤有机物淋溶的影响 ..... 段雷, 马萧萧, 余德祥, 谭炳全 (2422)

甲基 β 环糊精对污染场地土壤中多环芳烃的异位增效洗脱修复研究 ..... 孙明明, 滕应, 骆永明, 李振高, 贾仲君, 张满云 (2428)

胶质芽胞杆菌对印度芥菜根际土壤铜含量及土壤酶活性影响 ..... 杨榕, 李博文, 刘微 (2436)

长期施用粪肥蔬菜基地蔬菜中典型抗生素的污染特征 ..... 吴小莲, 向垒, 莫测辉, 姜元能, 严青云, 李彦文, 黄献培, 苏青云, 王纪阳 (2442)

有机废弃物堆肥培肥土壤的氮矿化特性研究 ..... 张旭, 席北斗, 赵越, 魏自民, 李洋, 赵昕宇 (2448)

北京市生活垃圾转运站耗能和排污特征及其影响因素分析 ..... 王昭, 李振山, 冯亚斌, 焦安英, 薛安 (2456)

氨对垃圾焚烧飞灰浸出特性的影响及地球化学模拟 ..... 官贞珍, 陈德珍, Thomas Astrup (2464)

焚烧飞灰预处理工艺及其无机氯盐的行为研究 ..... 朱芬芬, 高冈昌辉, 大下和傲, 姜惠民, 北岛义典 (2473)

富含中孔与酸性基团的生物炭的制备与吸附性能 ..... 李坤权, 李焯, 郑正, 张雨轩 (2479)

生物炭技术缓解我国温室效应潜力初步评估 ..... 姜志翔, 郑浩, 李锋民, 王震宇 (2486)

基于物质流分析的钾素流动与循环研究 ..... 白桦, 曾思育, 董欣, 陈吉宁 (2493)

《环境科学》征订启事 (2115) 《环境科学》征稿简则 (2224) 信息 (2217, 2289, 2349, 2398) 专辑征稿通知 (2478)

# 直流电场处理后隆线蚤趋光性对 $\text{Cr}^{6+}$ 和 $\text{Hg}^{2+}$ 的响应

王飞祥, 袁玲\*, 黄建国

(西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

**摘要:** 为了利用水蚤趋光性更灵敏地检测水体中的有毒物质, 试验以自主选育的、趋光性强的隆线蚤 (*Daphnia carinata*) 单克隆为材料, 研究了直流电场对水蚤趋光性的影响和对重金属  $\text{Cr}^{6+}$  和  $\text{Hg}^{2+}$  的响应. 结果表明, 在直流电场中, 随电场强度增大和处理时间延长, 隆线蚤的趋光性由正变负. 其中, 不影响趋光性的临界电场强度和处理时间分别是 0.01 mA 和 5 min. 用 0.01 mA 的直流电场处理隆线蚤 5 min 后, 隆线蚤对  $\text{Cr}^{6+}$  或  $\text{Hg}^{2+}$  的趋光指数检测下限显著降低,  $\text{Cr}^{6+}$  的检测下限浓度由  $56 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (未经电场处理) 下降为  $32 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (电场处理),  $\text{Hg}^{2+}$  的检测下限浓度由  $5.6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (未经电场处理) 下降为  $4.2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (电场处理). 说明适当的直流电场处理隆线蚤后, 能显著降低水蚤趋光指数检测毒物的下限, 扩大检测范围, 提高监测灵敏度.

**关键词:** 直流电场; 隆线蚤; 趋光指数;  $\text{Cr}^{6+}$ ;  $\text{Hg}^{2+}$

中图分类号: X835 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)06-2350-05

## Changes in Phototaxical Index of *Daphnia carinata* Under Electric Field of Direct Current in Response to $\text{Cr}^{6+}$ and $\text{Hg}^{2+}$

WANG Fei-xiang, YUAN Ling, HUANG Jian-guo

(College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** In order to detect toxicants sensitively in water by phototaxis of *Daphnia*, we studied the influence of DC electric field on phototaxis of self-bred *Daphnia carinata*, a mono-clone with high phototaxis, and the changes of their phototaxis in response to  $\text{Cr}^{6+}$  and  $\text{Hg}^{2+}$  after the treatment of DC electric field. The result indicated that the treatment of DC electric field changed their phototaxical indexes from positive to negative as the electric density increased and the time prolonged. The criteria values that showed no sign of changes in the phototaxical index of *Daphnia carinata* were 0.01 mA for 5 min. However, the limit for detecting  $\text{Cr}^{6+}$  and  $\text{Hg}^{2+}$  by their phototaxical index decreased significantly after treatment with 0.01 mA/5 min. The detection limits were only  $32 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  for  $\text{Cr}^{6+}$  and  $4.2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  for  $\text{Hg}^{2+}$  after this treatment, much lower than those without pretreatment ( $56 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  for  $\text{Cr}^{6+}$  and  $5.6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  for  $\text{Hg}^{2+}$ , respectively). Therefore, appropriate DC electric field to pre-treat *Daphnia* could decrease the detection limit, widen the concentration range of detection, and increased the sensibilities in water monitoring.

**Key words:** DC electric field; *Daphnia carinata*; phototaxical index;  $\text{Cr}^{6+}$ ;  $\text{Hg}^{2+}$

生物监测是水环境保护的重要手段, 探索灵敏、快速的生物监测技术一直是该领域的研究热点和难点. 趋光性是许多浮游生物的一种行为反应, 水蚤的趋光指数法利用它们的趋光性变化来判断水体中有毒物质的存在状态和有效浓度<sup>[1-3]</sup>. 在含重金属、农药等有害物质的水体中, 在一定浓度范围内, 毒物与水蚤趋光指数 (phototaxical index, PI) 的降低呈线性关系<sup>[4-7]</sup>, 故可利用 PI 的变化来指示水质状况. 相对于常用的半致死法, 水蚤趋光指数法耗时短、灵敏度高、容易观测, 可便于实现仪器化监测. 研究发现<sup>[5,8]</sup>, 利用隆线蚤趋光指数法检测  $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$  下限浓度分别是  $56 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $5.6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (3 h), 显著低于它们 24 h 的  $\text{LC}_{50}$  (分别是  $237.3 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $11 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ). 值得注意的是, 水蚤作为一种生物监测器, 不仅因水蚤种类不同而存在极大的差异, 而且受到环境条件 (如鱼类荷尔蒙、温度、

pH、水的硬度和食物等) 的修饰<sup>[6,7,9]</sup>. 近年来, 在发酵工业和医学等领域中, 广泛利用电场刺激细胞生物化学反应和改变动物行为. Kajiura 等<sup>[10,11]</sup> 发现, 电场强度小于  $0.1 \mu\text{V}\cdot\text{cm}^{-1}$  时, 软骨鱼类如窄头双髻鲨 (*Sphyrna tiburo*) 等的行为反应比较灵敏. 孙西同等<sup>[12]</sup> 的研究表明, 在  $0.091 \text{ mA}\cdot(\text{cm}^2)^{-1}$  的电流密度下, 直流电场能大幅度提高菌体 ATP 酶活力, 同时又促进细胞更好更快的生长, 说明电场显著影响生物的生长、代谢和行为反应. 为此, 本研究以水蚤的趋光性作为检测指标, 探索直流电场对水蚤趋光性的影响; 同时, 了解通过电刺激后, 水蚤趋光性对毒物的响应, 目的是为了进一步降低水蚤趋

收稿日期: 2012-09-03; 修订日期: 2012-12-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41171215)

作者简介: 王飞祥 (1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为植物营养与环境, E-mail: wangfeixiang\_15@126.com

\* 通讯联系人, E-mail: lingyuanh@yahoo.com.cn

光指数检测毒物的下限, 扩大检测范围, 提高水蚤生物监测的灵敏度。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 试验生物

以自主选育的、趋光性强的隆线蚤 (*Daphnia carinata*, Dc) 为试验材料。原种采集于重庆三峡库区的自然水体, 经多代孤雌生殖, 纯化获得单克隆纯生物株<sup>[13]</sup>, 现保存于西南大学资源环境学院水蚤实验室。培养条件: 温度  $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 、光照周期  $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 、光强  $1200 \text{ lx}$ 。在母蚤培养期间, 每周用充分曝气脱氯的自来水更换 3 次, 每日早晨投喂新鲜斜生栅藻, 其密度为每毫升  $2 \times 10^5$  个细胞。本试验选用出生 4 d 隆线蚤为研究对象。

#### 1.1.2 试验用水

标准毒物的稀释水为 ISO 6341-1989 人工标准水 (以下简称标准水)<sup>[14]</sup>, 用预先充氧至饱和 ( $20^\circ\text{C}$ ) 的去离子水配制,  $\text{pH} 7.5 \sim 7.8$ ,  $\text{DO} \geq 8.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 用  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 HCl 或 NaOH 调节 pH 至 7.8, 静置 24 h 后使用。pH 及 DO 分别用 PHS-3C pH 计及 JPB-607 型溶氧分析仪 (上海精科仪器公司) 测定。

#### 1.1.3 $\text{Cr}^{6+}/\text{Hg}^{2+}$ 溶液

用 AR 级  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  或  $\text{HgCl}_2$  配成  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的母液, 逐级稀释至设计要求的浓度。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 直流电场对水蚤的处理

在  $(20.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  恒温环境中, 将隆线蚤在标准水中润洗 3 次, 每次 5 min; 然后, 随机取蚤 ( $200 \pm 10$ ) 只, 放入  $22 \text{ cm} \times 6.5 \text{ cm} \times 4.5 \text{ cm}$  装有标准水的玻璃水槽, 玻璃水槽中水的高度为 3 cm, 水槽两端装上铂丝电极; 电路中串联一个数字万用表 (UYIGAO, 型号 UA9205N, 深圳市优仪高电子科技有限公司生产) 测定电流, 直流电源由兆信 RXN-605D 型 (深圳兆信电子仪器设备厂生产) 的直流电源产生, 输出的电压可以通过转动旋钮调节, 按试验设计, 分别处理 5 min 或 10 min, 再将水蚤转到趋光行为的测定装置中。

#### 1.2.2 试验设计

研究由 3 个试验组成。试验 1: 研究直流电场对隆线蚤趋光指数 PI 的影响。设置 5 种不同的直流电场处理, 分别为 0、0.01、0.02、0.04、0.05 (用电流强度表示, 单位: mA, 它们对应的电压分别为 0、

5、10、20、25 V), 在电场中处理 5 min 或 10 min 后, 再转移至标准水中放置 3 h, 测定各处理的趋光指数, 筛选出临界电流强度及处理时间 (指不引起 PI 值发生显著变化的电流强度及时间); 试验 2: 研究电场处理隆线蚤后, 趋光性对  $\text{Cr}^{6+}$  的响应。用不同的直流电场 (与试验 1 的处理相同) 处理水蚤后, 将它们转移至  $56 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \text{Cr}^{6+}$  (隆线蚤趋光指数检测  $\text{Cr}^{6+}$  下限浓度)<sup>[5]</sup> 的标准水中, 3 h 后测定 PI; 用临界电流强度处理水蚤, 研究  $\text{Cr}^{6+}$  浓度分别为 0、28、32、56  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  标准水中隆线蚤 PI 的变化。试验 3: 研究电场处理隆线蚤后, 趋光性对  $\text{Hg}^{2+}$  的响应。用不同的直流电场 (与试验 1 的处理相同) 处理水蚤后, 将它们转移至  $5.6 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \text{Hg}^{2+}$  (隆线蚤趋光指数检测  $\text{Hg}^{2+}$  下限浓度)<sup>[8]</sup> 的标准水, 3 h 后测定 PI; 用临界电流强度处理水蚤, 研究  $\text{Hg}^{2+}$  浓度分别为 0、2.8、3.5、4.2、5.6  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  的标准水中隆线蚤 PI 的变化。

#### 1.2.3 趋光性行为的测定

利用水蚤趋光行为测定装置<sup>[15]</sup> 测定隆线蚤的趋光指数。在  $(20.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  恒温环境中, 随机取出 10 只隆线蚤, 放入待测液反应 3 h, 再移入测定装置, 暗适应 5 min 后开启光源光照刺激 10 min。在照光期间, 从第 6 min 开始每隔 1 min, 记录各光区的水蚤分布数目。各处理 5 次重复, 共做 3 个批次。趋光指数 (PI) 的计算公式为:

$$\text{PI} = \frac{U - L}{U + M_1 + M_2 + L}$$

式中, PI 为趋光指数, 变化于  $[-1, 1]$  之间,  $U$ 、 $M_1$ 、 $M_2$ 、 $L$  是隆线蚤在对应区域内的分布数目。

#### 1.2.4 数据处理

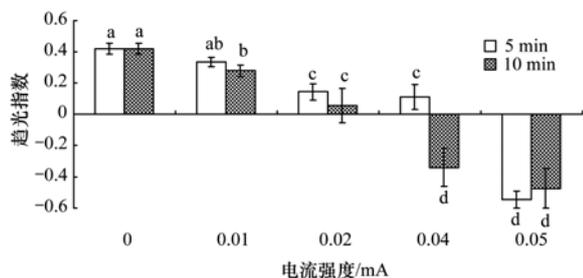
用 Excel 对试验数据进行基本计算, SPSS 18.0 软件进行方差分析, 多重比较采用 Duncan 法, 显著水平设为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 直流电场对隆线蚤趋光行为的影响

图 1 可见, 不用电场处理 (对照, 0 mA) 的隆线蚤, 在标准水中的 PI 为 0.42。用电场处理隆线蚤后, 除 0.01 mA/5 min (电流强度/处理时间, 下同) 处理的 PI 值与对照无显著差异之外, 其余的 PI 值均发生了显著变化。当处理电流强度由 0.01 mA  $\rightarrow$  0.05 mA 时, 隆线蚤的 PI 由正值变为负值; 在相同电流强度下, 水蚤在电场中停留 10 min 的 PI 值比 5 min 的 PI 值低, 处理时间越长, 隆线蚤 PI 值

降幅越大. 因此,在标准水环境中,用 0.01 mA/5 min 的电场处理隆线蚤,可视为不影响趋光性的临界电场.



图中不同小写字母表示差异显著  $P < 0.05$ , 下同

图 1 直流电场对隆线蚤趋光指数的影响

Fig. 1 Effects of electric field of direct current on the phototaxical index of *Daphnia carinata*

相关分析表明,电流强度与趋光指数呈显著负相关,它们的相关系数分别为  $r = -0.898^*$  ( $n = 15$ ,  $P < 0.05$ , 处理 5 min) 和  $r = -0.985^{**}$  ( $n = 15$ ,  $P < 0.01$ , 处理 10 min).

## 2.2 不同直流电场处理隆线蚤后趋光性对 $\text{Cr}^{6+}$ 和 $\text{Hg}^{2+}$ 的响应

在没有电场处理的条件下,隆线蚤趋光指数法对  $\text{Cr}^{6+}$  和  $\text{Hg}^{2+}$  的检测下限分别是  $56 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $5.6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  [5,8], 对应的 PI 值分别为 0.354 ( $\text{Cr}^{6+}$ , 见图 2) 和 0.149 ( $\text{Hg}^{2+}$ , 见图 3). 在相应毒物的检测下限标准水中,随着处理电流强度增大,隆线蚤 PI 值显著下降,由正变负. 0.01 mA 的电流强度处理 5 min 后, PI 值分别降为 0.123 ( $\text{Cr}^{6+}$ ) 和 0.058 ( $\text{Hg}^{2+}$ ), 当电流强度升高到 0.05 mA (处理 5 min) 时, PI 值进一步降到  $-0.163$  ( $\text{Cr}^{6+}$ ) 和  $-0.151$  ( $\text{Hg}^{2+}$ ), 表明提高电流强度使隆线蚤趋光性对  $\text{Cr}^{6+}$  和  $\text{Hg}^{2+}$  的响应发生了背光移动的现象. 此外,延长电场处理时间对隆线蚤 PI 值的影响类似于增大电流强度的处理,即在相同的电流强度下(如 0.04 mA 和 0.05 mA  $\text{Cr}^{6+}$  的标准水中,或 0.01、0.02、0.04、0.05 mA  $\text{Hg}^{2+}$  的标准水中),延长处理时间(由 5 min 变为 10 min),使隆线蚤趋光性对  $\text{Cr}^{6+}$  和  $\text{Hg}^{2+}$  的响应出现明显的背光移动(图 2、图 3).

## 2.3 直流电场处理隆线蚤后趋光性对不同浓度的 $\text{Cr}^{6+}$ 和 $\text{Hg}^{2+}$ 的响应

图 3 和图 4 是采用两组隆线蚤,一组未经电场处理(白柱),另一组经 0.01 mA 的临界电场处理 5 min(黑柱)后,将它们分别放入不同浓度  $\text{Cr}^{6+}$  (图 4) 和  $\text{Hg}^{2+}$  (图 5) 溶液 3 h,测定各处理的趋光性. 隆线蚤不经电场处理(对照)的趋光指数监测  $\text{Cr}^{6+}$

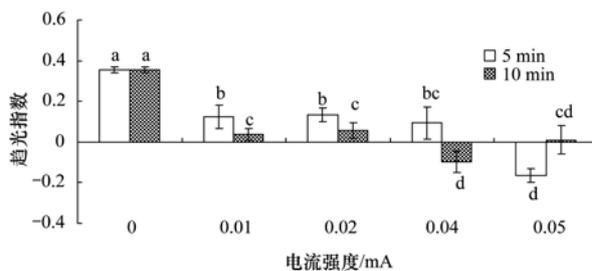


图 2 直流电场处理后隆线蚤趋光性对  $56 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \text{Cr}^{6+}$  的响应

Fig. 2 Changes in phototaxical index of *Daphnia carinata* under different electric fields of direct currents in response to  $56 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \text{Cr}^{6+}$

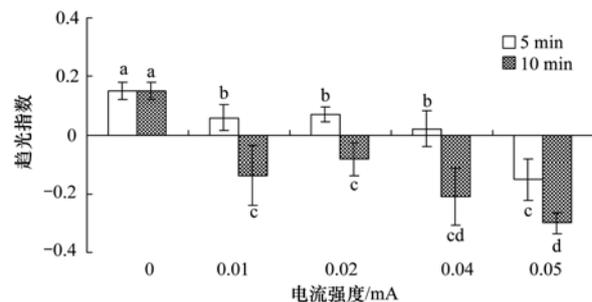


图 3 直流电场处理后隆线蚤趋光性对  $5.6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \text{Hg}^{2+}$  的响应

Fig. 3 Changes in phototaxical index of *Daphnia carinata* under different electric field of direct currents in response to  $5.6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \text{Hg}^{2+}$

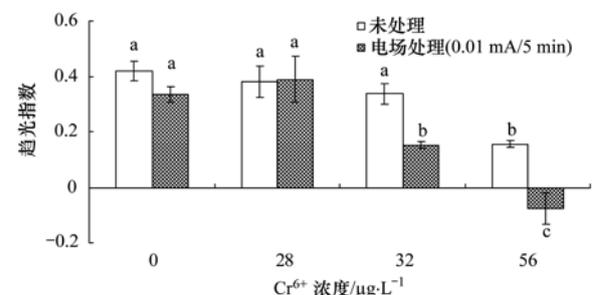


图 4 直流电场处理后隆线蚤趋光性对不同浓度  $\text{Cr}^{6+}$  的响应

Fig. 4 Changes in phototaxical index of *Daphnia carinata* under electric field of direct currents in response to different  $\text{Cr}^{6+}$  concentrations

的下限浓度为  $56 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  的下限为  $5.6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 用 0.01 mA/5 min 处理后,隆线蚤趋光指数监测  $\text{Cr}^{6+}$  的下限降低至  $32 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 检测浓度下移了 42.86%, 而趋光指数监测  $\text{Hg}^{2+}$  的下限降低至  $4.2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 检测浓度下移了 25.0%, 说明用 0.01 mA 的直流电场处理隆线蚤 5 min 后,提高了趋光指数法检测  $\text{Cr}^{6+}$  和  $\text{Hg}^{2+}$  的灵敏性.

## 3 讨论

电场对生物体的影响是多方面的,包括有利和

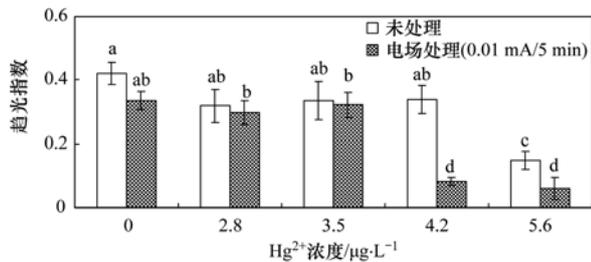


图5 直流电场处理后隆线蚤趋光性对不同浓度  $\text{Hg}^{2+}$  的响应

Fig. 5 Changes in phototaxical index of *Daphnia carinata* under electric field of direct current in response to different  $\text{Hg}^{2+}$  concentrations

有害作用等,而这一切取决于电场强度和生物的个体差异. 电场对水生生物影响的研究与应用主要集中于它们的生物化学反应和行为学. 在直流电场中,随着电场强度的逐渐加大,可观察到西伯利亚鲟幼鱼受到刺激变得活跃→部分失去平衡(活动不协调)→完全失去平衡→完全麻醉→鳃动停止等过程<sup>[16]</sup>. 此外,在较低电场强度的作用下,某些软骨鱼的运动活跃而灵敏<sup>[10,11]</sup>;在发酵工业中,利用电场刺激菌体酶活性,能促进细胞生长,增加代谢产物<sup>[17,18]</sup>.

水蚤的趋光性是一种遗传属性,但受环境条件修饰<sup>[6,7,9]</sup>. 在不同的直流电场中,随着电流强度增加和处理时间延长,PI 值由正变负,即隆线蚤的正趋光性转变为背光运动(负趋光性),说明电场对水蚤的趋光性有明显的影 响. 在 0.04 ~ 0.05 mA 的直流电场中,水蚤运动能力减弱,部分失去平衡,产生了明显的危害作用. 但是,用 0.01 mA 电流强度处理隆线蚤 5 min,与未进行电场处理的隆线蚤趋光指数相比无显著差异,同时观察到水蚤的运动迅速而活跃,这与软骨鱼受低电场的刺激情况类似<sup>[10]</sup>,说明用适量的直流电场处理,可能会提高水蚤对某些环境反应的灵敏性. 本试验结果表明,0.01 mA/5 min 直流电场处理隆线蚤后,明显地提高了对  $\text{Cr}^{6+}$  和  $\text{Hg}^{2+}$  反应的灵敏性. 对大多数鱼类而言,在低电压(12 V)时,可以方便地进行各种操作,对鱼类生理活动影响也较小<sup>[19]</sup>;但电压大于 100 V 时,会引起鱼类生理学损伤,降低存活率<sup>[20]</sup>. 此外,电场可影响鱼类的呼吸系统,低电压使它们呼吸频率加快<sup>[21]</sup>. 30 V 电压的试验中,麻醉时鳃动频率为(117 ± 21)次·min<sup>-1</sup>,鳃动频率明显提高<sup>[20]</sup>. 在感电阈值下,鲤出现尾柄肌肉轻微抖动,游动自如,活动不受限制;随着电压上升,鲤的背鳍张开,鳃的运动频率加快<sup>[22]</sup>. 说明适量的电场处理刺激鱼类呼吸和

游动,也可能提高它们的灵敏性,类似水蚤对电场的响应.

不进行电场处理,隆线蚤趋光指数检测  $\text{Cr}^{6+}$  和  $\text{Hg}^{2+}$  下限浓度分别 56  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  和 5.6  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 24 h 半致死法检测  $\text{Cr}^{6+}$  和  $\text{Hg}^{2+}$  的  $\text{LC}_{50}$  分别为 237.3  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  和 11  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ <sup>[5,8]</sup>,前者的检测下限分别比后者降低了 76% 和 49%. 用 0.01 mA 直流电场处理水蚤 5 min 后,将它们分别置于一系列低于 56  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  和 5.6  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (隆线蚤趋光指数检测  $\text{Cr}^{6+}$  和  $\text{Hg}^{2+}$  下限浓度)溶液中,隆线蚤的趋光指数分别在 32  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  和 4.2  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  处发生了显著变化,说明电场提高了水蚤对毒物的敏感性,降低了检测下限. 生物监测是水质监测的重要手段,但难于获得理想的生物检测器. 水蚤繁殖快,易于培养,对水体中的有害物质较为敏感<sup>[23,24]</sup>. 试验选育的隆线蚤趋光性强,对毒物反应比较灵敏,方便观察,方便实现仪器化监测,是比较理想的生物监测器<sup>[25]</sup>. 经适当的电场处理后,进一步降低了趋光指数法检测毒物的下限,提高了灵敏度,对于改进水蚤趋光指数法监测水质的技术有一定理论和应用价值.

#### 4 结论

(1) 在直流电场中,电流强度和处理时间对隆线蚤的趋光性影响各异,随电场强度增大和处理时间延长,隆线蚤的正趋光性变为负趋光性;当电流强度大于 0.01 mA,处理时间超过 5 min 后,隆线蚤的趋光指数开始发生显著变化.

(2) 用 0.01 mA 的直流电场处理隆线蚤 5 min 后,隆线蚤趋光指数法监测  $\text{Cr}^{6+}$  和  $\text{Hg}^{2+}$  的检测下限浓度分别降低了 42.86% 和 25.0%. 因此,利用适当的电场处理水蚤,能提高水蚤对毒物的敏感性,从而降低检测下限,提高生物监测的灵敏度.

#### 参考文献:

- [1] Michels E, Leynen N, Cousyn C, et al. Phototactic behavior of *Daphnia* as a tool in the continuous monitoring of water quality: Experiments with a positively phototactic *Daphnia magna* clone [J]. Water Research, 1999, 33(2): 401-408.
- [2] Elnabarawy M T, Welter A N, Robideau R R. Relative sensitivity of three *Daphnia* species to selected organic and inorganic chemicals [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1986, 5(4): 393-398.
- [3] Slooff W, Canton J H, Hermens J L M. Comparison of the susceptibility of 22 freshwater species to 15 chemical compounds. I. (sub) acute toxicity tests [J]. Aquatic Toxicology, 1983, 4(2): 113-128.
- [4] Yuan L, Michels E, De Meester L. Changes in phototactic

- behavior of *Daphnia magna* clone C<sub>1</sub>242 in response to copper, cadmium and pentachlorophenol [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2003, **15**(6): 841-847.
- [ 5 ] 吴永贵, 黄建国, 袁玲. 利用隆线蚤趋光行为评价铬的生物毒性[J]. *应用生态学报*, 2005, **16**(1): 171-174.
- [ 6 ] De Meester L. An analysis of the phototactic behaviour of *Daphnia magna* clones and their sexual descendants [ J ]. *Hydrobiologia*, 1991, **225**(1): 217-227.
- [ 7 ] De Meester L. Genotype, fish-mediated chemical, and phototactic behavior in *Daphnia magna* [J]. *Ecology*, 1993, **74**(5): 1467-1474.
- [ 8 ] 郭晓燕. 利用水蚤趋光性监测水中的拟除虫菊酯类农药和汞 [D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [ 9 ] Flickinger A L, Bruins R J F, Winner R W, *et al.* Filtration and phototactic behavior as indices of chronic copper stress in *Daphnia magna* Straus [ J ]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1982, **11**(4): 457-463.
- [ 10 ] Kajiura S M. Electroreception in neonatal bonnethead sharks, *Sphyrna tiburo* [J]. *Marine Biology*, 2003, **143**(3): 603-611.
- [ 11 ] Kajiura S M, Holland K N. Electroreception in juvenile scalloped hammerhead and sandbar sharks [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2002, **205**(23): 3609-3621.
- [ 12 ] 孙西同, 马洁, 孙晓彦, 等. 大肠杆菌的直流电场刺激过程 [J]. *微生物学通报*, 2010, **37**(10): 1440-1446.
- [ 13 ] 吴永贵, 熊焱, 林初夏, 等. 不同形态 P 对 Cu、Zn、Cd 联合生物毒性效应的影响 [J]. *环境科学学报*, 2006, **26**(12): 2045-2051.
- [ 14 ] ISO. Water quality-determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* straus (*Cladocero: crustacea*) [ S ]. 1989, ISO6341-1989.
- [ 15 ] 吴永贵, 袁玲, 黄建国.  $\text{Cl}^{6+}$  的隆线蚤趋光指数与  $\text{LC}_{50}$  急性毒性的比较 [J]. *环境科学学报*, 2004, **24**(5): 905-909.
- [ 16 ] 冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 电麻醉对西伯利亚鲟幼鱼行为特性与血清离子浓度的影响 [J]. *海洋渔业*, 2009, **31**(1): 41-47.
- [ 17 ] She P, Song B, Xing X H, *et al.* Electrolytic stimulation of bacteria *Enterobacter dissolvens* by a direct current [ J ]. *Biochemical Engineering Journal*, 2006, **28**(1): 23-29.
- [ 18 ] 刘滨, 马洁, 孙西同, 等. 直流电场对脱硫菌红串红球菌 NCC-1 生长及脱硫性能的影响 [J]. *石油化工*, 2010, **39**(6): 669-674.
- [ 19 ] Sternitt D A, Elliott S T, Schmidt A E. Electrical anesthesia for immobilizing adult coho salmon in freshwater [ J ]. *North American Journal of Fisheries Management*, 1994, **14**(2): 453-456.
- [ 20 ] Jennings C A, Looney G L. Evaluation of two types of anesthesia for performing surgery on striped bass [ J ]. *North American Journal of Fisheries Management*, 1998, **18**(1): 187-190.
- [ 21 ] 刘建康. 高级水生生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [ 22 ] 许传才, 姜昭阳, 陈勇. 直流电场中鲤的行为特性及体长与电刺激阈值的关系 [J]. *大连水产学院学报*, 2006, **21**(3): 264-267.
- [ 23 ] 周永欣, 章宗涉. 水生生物毒性试验方法 [M]. 北京: 农业出版社, 1989: 24-145.
- [ 24 ] Adema D M M. *Daphnia magna* as a test animal in acute and chronic toxicity tests [J]. *Hydrobiologia*, 1978, **59**(2): 125-134.
- [ 25 ] 杨静, 袁玲, 唐毅. 利用隆线蚤趋光行为检测水体中五氯酚钠和镉的研究 [J]. *环境科学学报*, 2006, **26**(6): 1011-1015.

## CONTENTS

Concentrations and Ozone Formation Potentials of BTEX During 2008-2010 in Urban Beijing, China	CAO Han-yu, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2065)
Aging and Mixing State of Particulate Matter During Aerosol Pollution Episode in Autumn Shanghai Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	MU Ying-ying, LOU Sheng-rong, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (2071)
Chemical Characteristics and Source Assessment of Rainwater at Shenyang	ZHANG Lin-jing, ZHANG Xiu-ying, JIANG Hong, <i>et al.</i> (2081)
Variation of Atmospheric Pollutants in Qinhuangdao City	LIU Lu-ning, SHEN Yu-xuan, XIN Jin-yuan, <i>et al.</i> (2089)
NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> and CO <sub>2</sub> Emissions from Growing Process of Caged Broilers	ZHOU Zhong-kai, ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, <i>et al.</i> (2098)
Synergetic Effects of Silicon Carbide and Molecular Sieve Loaded Catalyst on Microwave Assisted Catalytic Oxidation of Toluene	WANG Xiao-hui, BO Long-li, LIU Hai-nan, <i>et al.</i> (2107)
Removal of Mixed Waste Gases by the Biotrickling Filter	ZHANG Ding-feng, FANG Jun-yi, YE Jie-xu, <i>et al.</i> (2116)
Decomposition of Carbon Disulfide by Pulse Corona Under Oxidizing and Reducing Atmosphere	JIN Sheng, HUANG Li-wei, LI Guo-ping (2121)
Effects of Simulated Elevation of Atmospheric CO <sub>2</sub> Concentration on the Physiological Features of Spring Phytoplankton in Taihu Lake	ZHAO Xu-hui, TANG Long-sheng, SHI Xiao-li, <i>et al.</i> (2126)
A New Method for Estimation the Lake Quality Reference Condition	HUA Zu-lin, WANG Liang (2134)
Parameter Sensitivity Analysis of Runoff Simulation and Model Adaptability Research Based on HSPF	LI Yan, LI Zhao-fu, XI Qing (2139)
Study on Water Quality Monitoring Scheme Based on Non-Point Source Pollution	WU Xi-jun, LI Hui-en, LI Jia-ke, <i>et al.</i> (2146)
Characteristics of Nutrient Loss by Runoff in Sloping Arable Land of Yellow-brown Under Different Rainfall Intensities	CHEN Ling, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (2151)
Distribution of Dissolved Inorganic Nutrients and Dissolved Oxygen in the High Frequency Area of Harmful Algal Blooms in the East China Sea in Spring	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, CHEN Peng, <i>et al.</i> (2159)
Temporal-Spatial Distribution of Algal Cells During Drought Period in Daning River of Three Gorges	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, WANG Kun, <i>et al.</i> (2166)
Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen Components in the Lake Sediment to Algae	FENG Wei-ying, ZHANG Sheng, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2176)
Influence of Decomposition of <i>Cladophora</i> sp. on Phosphorus Concentrations and Forms in the Overlying Water	HOU Jin-zhi, WEI Quan, CAO Li, <i>et al.</i> (2184)
Phosphorus Exchange Between Suspended Solids Sediments Overlying Water Under Repeated Disturbance	LI Da-peng, WANG Jing, HUANG Yong (2191)
Distribution Characteristics of PBDEs in Surface Sediment from the Three Gorges Reservoir of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Hui-dong, <i>et al.</i> (2198)
Study on UV and H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Combined Inactivation of <i>E. coli</i> in Drinking Water	ZHANG Yi-qing, ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji (2205)
Kinetics and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate Degradation in Aqueous Solution by Ozonation	YU Li, ZHANG Pei-long, HOU Jia-cai, <i>et al.</i> (2210)
Effects of Nitrate Ion on Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	MAO Wen, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2218)
Chlorination of Ethynyl Estradiol: A Kinetic and Mechanistic Study	WANG Bin-nan, LIU Guo-qiang, KONG De-yang, <i>et al.</i> (2225)
Metal Ions Restrain the Elimination of 4- <i>tert</i> -Octylphenol by $\delta$ -MnO <sub>2</sub>	LI Fei-li, MOU Hua-qian (2232)
Removal of Bisphenol A in Aqueous Solutions by Core-shell Magnetic Molecularly Imprinted Polymers	LIU Jian-ming, LI Hong-hong, XIONG Zhen-hu (2240)
Research on Removal of Tetrabromobisphenol A from Synthetic Wastewater by Nanoscale Zero Valent Iron Supported on Organobentonite	YAN Meng-yue, PANG Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (2249)
Measurement of Dissolved Organic Nitrogen with Nanofiltration Pretreatment and Its Distribution Characteristics in Landscape Water	YU Hong-lei, HUO Shou-liang, YANG Zhou-sheng, <i>et al.</i> (2256)
Preparation of a Novel Modified Hydrogel and Study of Its Adsorption Performance	WU Ning-mei, LI Zheng-kui (2263)
Photocatalytic Reductive Degradation of Direct Red 4BE by Posphotungstic Acid	WEI Hong, LI Ke-bin, LI Juan, <i>et al.</i> (2271)
Wastewater Treatment Using a Microbubble Aerated Biofilm Reactor	ZHANG Lei, LIU Ping, MA Jin, <i>et al.</i> (2277)
Research on Fenton Treatment of the Biochemical Processes Effluent of Bamboo Industry Wastewater	GUO Qing-wen, ZHANG Min, WANG Wei, <i>et al.</i> (2283)
Effect of Fe <sup>2+</sup> on Fermentation Hydrogen Production in an UASB	LI Yong-feng, WANG Yi-xuan, CHENG Guo-ling, <i>et al.</i> (2290)
Influence of Substrate Concentration on PHA Production Using Fermented Sugar Cane as Substrate	CHEN Zhi-qiang, DENG Yi, HUANG Long, <i>et al.</i> (2295)
Study on Rapid Start-up of a Nitrifying Process Using Aerobic Granular Sludge as Seed Sludge	LIU Wen-ru, SHEN Yao-liang, DING Ling-ling, <i>et al.</i> (2302)
Influencing Factors of High-Concentration Lead Removal Using the Phosphorus-Accumulating Sludge	YANG Min, LU Long, FENG Yong, <i>et al.</i> (2309)
Preliminary Study on Characteristics of Volumetric Oxygen Transfer Coefficient in Granular Sludge Systems	LI Zhi-hua, FAN Chang-qing, WANG Xiao-chang (2314)
Ecological Risk Assessment of Bisphenol A in Chinese Freshwaters	WANG Hao, FENG Cheng-lian, GUO Guang-hui, <i>et al.</i> (2319)
Species Sensitivity Evaluation of <i>Pseudorasbora parva</i>	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (2329)
Comparison of Aquatic Predicted No-Effect Concentrations (PNECs) for Pentachlorophenol Derived from Different Assessment Approaches	LEI Bing-li, WEN Yu, WANG Yi-pei, <i>et al.</i> (2335)
Study on Hair Hg and Pb Content Distribution of Traffic Polices, Guilin	QIAN Jian-ping, ZHANG Li, LI Cheng-chao, <i>et al.</i> (2344)
Changes in Phototaxial Index of <i>Daphnia carinata</i> Under Electric Field of Direct Current in Response to Cr <sup>6+</sup> and Hg <sup>2+</sup>	WANG Fei-xiang, YUAN Ling, HUANG Jian-guo (2350)
Effect of UV-B Radiation on the Chemical Composition and Subsequent Decomposition of <i>Cyclobalanopsis glauca</i> Leaf Litter	SONG Xin-zhang, BU Tao, ZHANG Shui-kui, <i>et al.</i> (2355)
Leaf Micro-morphology and Features in Adsorbing Air Suspended Particulate Matter and Accumulating Heavy Metals in Seven Tress Species	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (2361)
Effect of Dissolved Oxygen on Microbial Community in Simultaneous Removal of Carbon, Nitrogen and Sulfur Process	YU Hao, CHEN Chuan, ZHANG Li, <i>et al.</i> (2368)
Microbial Activity and Community Structure Analysis Under the Different Land Use Patterns in Farmland Soils: Based on the Methods PLFA and MicroResp <sup>TM</sup>	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, LIU Shou-long, <i>et al.</i> (2375)
Effects of Drying-rewetting Alternation on Nitrogen Dynamics in a Typical Coastal Wetland: A Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (2383)
Cadmium and Selected Heavy Metals in Soils of Jianping Area in Wushan County, the Three Gorges Region: Distribution and Source Recognition	LIU Yi-zhang, XIAO Tang-fu, NING Zeng-ping, <i>et al.</i> (2390)
Total Contents of Heavy Metals and Their Chemical Fractionation in Agricultural Soils at Different Locations of Beijing City	CHEN Zhi-fan, ZHAO Ye, GUO Ting-zhong, <i>et al.</i> (2399)
Influence of Season Change on the Level of Heavy Metals in Outdoor Settled Dusts in Different Functional Areas of Guiyang City	LI Xiao-yan (2407)
Characteristics of Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls Contamination in Soils of Gudao Region in Dongying	WANG Deng-ge, CUI Zhao-jie, FU Xiao-wen, <i>et al.</i> (2416)
Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Organic Matter Leaching in Forest Soil	DUAN Lei, MA Xiao-xiao, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2422)
<i>Ex-situ</i> Remediation of PAHs Contaminated Site by Successive Methyl- $\beta$ -Cyclodextrin Enhanced Soil Washing	SUN Ming-ming, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2428)
Effects of <i>Bacillus mucilaginosus</i> on the Cd Content of Rhizosphere Soil and Enzymes in Soil of <i>Brassica juncea</i>	YANG Rong, LI Bo-wen, LIU Wei (2436)
Concentrations of Antibiotics in Vegetables from Manure-mended Farm	WU Xiao-lian, XIANG Lei, MO Ce-hui, <i>et al.</i> (2442)
Characteristics of Organic Nitrogen Mineralization in Organic Waste Compost-Amended Soil	ZHANG Xu, XI Bei-dou, ZHANG Yue, <i>et al.</i> (2448)
Characteristics and Influence Factors of the Energy Consumption and Pollutant Discharge of Municipal Solid Waste Transfer Stations in Beijing	WANG Zhao, LI Zhen-shan, FENG Ya-bin, <i>et al.</i> (2456)
Influence of Ammonia on Leaching Behaviors of Incineration Fly Ash and Its Geochemical Modeling	GUAN Zhen-zhen, CHEN De-zhen, Thomas Astrup (2464)
Pretreatment Technology for Fly Ash from MSWI and the Corresponding Study of Chloride Behavior	ZHU Fen-fen, Takaoka Masaki, Oshita Kazuyuki, <i>et al.</i> (2473)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of Mesoporous Activated Carbon with Acidic Groups	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (2479)
Preliminary Assessment of the Potential of Biochar Technology in Mitigating the Greenhouse Effect in China	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (2486)
Research of Potassium Flow and Circulation Based on Substance Flow Analysis	BAI Hua, ZENG Si-yu, DONG Xin, <i>et al.</i> (2493)

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年6月15日 34卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 6 Jun. 15, 2013

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