

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第2期

Vol.33 No.2

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



# 目次

基于人体健康风险的水污染事件污染物安全阈值研究 .....	郑丙辉, 罗锦洪, 付青, 秦延文, 胡林林 (337)
基于人体健康风险的水污染事件遗传性致癌物安全浓度研究 .....	罗锦洪, 郑丙辉, 付青, 黄民生 (342)
湿地水环境健康评价方法及案例分析 .....	李玉凤, 刘红玉, 郝敬峰, 郑因, 曹晓 (346)
北运河下游典型河网区水体中氮磷分布与富营养化评价 .....	单保庆, 菅宇翔, 唐文忠, 张洪 (352)
漳卫南运河流域水质时空变化特征及其污染源识别 .....	徐华山, 徐宗学, 唐芳芳, 于伟东, 程燕平 (359)
黄河三角洲浅层地下水化学特征及形成作用 .....	安乐生, 赵全升, 叶思源, 刘贯群, 丁喜桂 (370)
沉积物扰动持续时间对悬浮物中磷形态数量分布的影响 .....	李大鹏, 黄勇, 李勇, 潘杨 (379)
沉水植物生长期对沉积物和上覆水之间磷迁移的影响 .....	王立志, 王国祥, 俞振飞, 周贝贝, 陈秋敏, 李振国 (385)
长寿湖表层沉积物氮磷和有机质污染特征及评价 .....	卢少勇, 许梦爽, 金相灿, 黄国忠, 胡文 (393)
洪泽湖沉积物中营养盐和重金属的垂向分布特征研究 .....	张文斌, 余辉 (399)
降雨对农家堆肥氮磷流失的影响及其面源污染风险分析 .....	彭莉, 王莉玮, 杨志敏, 陈玉成, 乔俊婧, 赵中金 (407)
浅水湖泊水动力过程对藻型湖区水体生物光学特性的影响 .....	刘笑菡, 冯龙庆, 张运林, 赵林林, 朱梦圆, 时志强, 殷燕, 丁艳青 (412)
基于半分析模型的太湖春季水体漫衰减系数 $K_d$ (490) 估算及其遥感反演 .....	刘忠华, 李云梅, 李瑞云, 吕恒, 檀静, 郭宇龙 (421)
基于 QAA 算法的巢湖悬浮物浓度反演研究 .....	张红, 黄家柱, 李云梅, 徐伟凡, 刘忠华, 徐昕 (429)
好氧/厌氧潜流湿地结构工艺优化 .....	李锋民, 单时, 李媛媛, 李扬, 王震宇 (436)
邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻活性氧自由基的影响 .....	别聪聪, 李锋民, 李媛媛, 王震宇 (442)
Rac-及 S-异丙甲草胺对 2 种微藻毒性特征影响研究 .....	蔡卫丹, 刘惠君, 方治国 (448)
羟基自由基致死船舶压载水海洋有害生物研究 .....	白敏冬, 张拿慧, 张芝涛, 陈操, 孟祥盈 (454)
天然菱铁矿改性及强化除砷研究 .....	赵凯, 郭华明, 李媛, 任燕 (459)
零价铁降解 4-氯硝基苯动力学研究 .....	廖娣劫, 杨琦, 李俊鎔 (469)
水体中氧氟沙星的光化学降解研究 .....	邵萌, 杨桂朋, 张洪海 (476)
阿替洛尔在硝酸根溶液中的光降解研究 .....	季跃飞, 曾超, 孟翠, 杨曦, 高士祥 (481)
吡啶在紫外光辐射下的生物降解 .....	方苗苗, 阎宁, 张永明 (488)
蜜环菌漆酶对蒽醌类染料的脱色条件优化 .....	朱显峰, 秦仁炳, 余晨晨, 范书军 (495)
$\epsilon$ -聚赖氨酸生产废菌体对六价铬吸附影响的研究 .....	曹玉娟, 张杨, 夏军, 徐虹, 冯小海 (499)
丝状菌污泥致密过程的强化条件研究 .....	李志华, 孙玮, 姬晓琴, 王晓昌 (505)
亚硝化颗粒污泥对温度变化的响应特性研究 .....	罗远玲, 杨朝晖, 徐峥勇, 周玲君, 黄兢, 肖勇, 曾光明, 汪理科 (511)
我国典型工程机械燃油消耗量及排放清单研究 .....	李东玲, 吴烨, 周昱, 杜让, 傅立新 (518)
北京市 $PM_{10}$ 自动监测网络优化研究 .....	齐玲, 赵越, 谢绍东 (525)
道路绿化带对街道峡谷内污染物扩散的影响研究 .....	徐伟嘉, 幸鸿, 余志 (532)
$Fe^{II}$ (EDTA) 络合协同 RDB 去除 $NO$ 废气效能及过程分析 .....	陈浚, 杨宣, 於建明, 蒋轶锋, 陈建孟 (539)
UV-B 辐射对亚热带森林凋落叶氮、磷元素释放的影响 .....	宋新章, 张慧玲, 江洪, 余树全 (545)
干热河谷林地燥红土固碳特征及“新固定”碳表观稳定性 .....	唐国勇, 李昆, 孙永玉, 张春华 (551)
九龙江河口表层水体及沉积物中甲烷的分布和环境控制因素研究 .....	郭莹莹, 陈坚, 尹希杰, 孙治雷, 邵长伟 (558)
秋季黄河口滨岸潮滩湿地系统 $CH_4$ 通量特征及影响因素研究 .....	姜欢欢, 孙志高, 王玲玲, 牟晓杰, 孙万龙, 宋红丽, 孙文广 (565)
我国典型非木浆造纸二噁英排放研究 .....	王志芳, 丁琼, 王开祥, 吴昌敏, 曲云欢, 赵晓冬 (574)
典型电器工业区河涌沉积物中的多溴联苯醚空间和垂直分布 .....	邱孟德, 邓代永, 余乐洹, 孙国萍, 麦碧娴, 许玫英 (580)
电子废物拆解区农业土壤中多氯联苯的污染特征 .....	王学彤, 李元成, 张媛, 缪绎, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (587)
北京科教园区绿地土壤中多环芳烃的残留特征与潜在风险 .....	彭驰, 王美娥, 欧阳志云, 焦文涛, 陈卫平 (592)
上海城市样带土壤重金属空间变异特征及污染评价 .....	柳云龙, 章立佳, 韩晓非, 庄腾飞, 施振香, 卢小遮 (599)
海河流域北部地区河流沉积物重金属的生态风险评价 .....	尚林源, 孙然好, 王赵明, 汲玉河, 陈利顶 (606)
三峡库区消落带不同水位高程土壤重金属含量及污染评价 .....	王业春, 雷波, 杨三明, 张晟 (612)
超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中细菌群落结构分析 .....	叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝健, 蔡明山, 许燕滨, 占星星 (618)
大庆聚驱后油藏内源微生物群落结构解析与分布特征研究 .....	赵玲侠, 高配科, 曹美娜, 高梦黎, 李国强, 朱旭东, 马挺 (625)
不同碳源刺激对老化污染土壤中 PAHs 降解研究 .....	尹春芹, 蒋新, 王芳, 王聪颖 (633)
应用电致化学发光分子探针技术对微小原甲藻的检测 .....	朱霞, 甄毓, 米铁柱, 于志刚, 池振明, 路兴岚 (640)
软骨藻酸直接竞争 ELISA 方法的建立及优化 .....	王茜, 程金平, 高利利, 董宇, 席磊 (647)
固相萃取-高效液相色谱法同时测定水体中的 10 种磺胺类抗生素 .....	洪蕾洁, 石璐, 张亚雷, 周雪飞, 朱洪光, 林双双 (652)
五氯酚对 HeLa 细胞毒性及 DNA 损伤的研究 .....	金帮明, 王辅明, 熊力, 张晓峰, 刘堰 (658)
建筑陶瓷碳计量与优化模型研究 .....	彭军霞, 赵宇波, 焦丽华, 曾路, 郑为民 (665)
《环境科学》征订启事 (447)      《环境科学》征稿简则 (475)      信息 (524, 586, 605, 624)	

# 基于人体健康风险的水污染事件遗传性致癌物安全浓度研究

罗锦洪<sup>1,2</sup>, 郑丙辉<sup>2\*</sup>, 付青<sup>2</sup>, 黄民生<sup>1</sup>

(1. 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海 200062; 2. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012)

**摘要:** 确定水污染事件中遗传性致癌物短期暴露安全浓度, 是目前我国水环境管理中急需解决的问题。在假设遗传性致癌物暴露剂量与致癌风险呈线性相关的前提下, 提出了水体中遗传性致癌物安全浓度计算流程, 建立了采用遗传性致癌物终生暴露安全浓度计算短期暴露安全浓度的方法。在我国 2000~2010 年间发生的 60 起水污染事故中, 特征污染物为砷的水污染事件为 6 起, 占总污染事件比例为 10%, 这一结果表明砷为我国水污染事件中高发的特征污染物。根据水污染事件遗传性致癌物短期暴露安全浓度计算方法, 得出砷短期暴露安全浓度为  $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 表明该方法在水污染事件应急管理中具有一定的可行性。

**关键词:** 水污染事件; 遗传性致癌物; 短期暴露; 人体健康风险; 安全浓度; 砷

中图分类号: X820.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)02-0342-04

## Safety Concentration of Genotoxic Carcinogens in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk

LUO Jin-hong<sup>1,2</sup>, ZHENG Bing-hui<sup>2</sup>, FU Qing<sup>2</sup>, HUNG Min-sheng<sup>1</sup>

(1. School of Resource and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** It was an urgent problem to determine short-term exposure safety concentration of genetic carcinogens in water pollution accident in China. Based on the hypothesis that the relationship between exposure dosage and carcinogenic risk was linear, the calculation process of genetic carcinogens safety concentration was put forwarded, and the method using life-time exposed safety concentration to calculate short-term exposure safety concentration was set up. Based on the statistical result of water pollution accident occurred in China during 2000-2010, arsenic was a major characteristic contaminate in water pollution accident. According to the method of short-term exposure safety concentration of genotoxic carcinogens, the safety concentration of arsenic was  $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , it showed that the method was feasible in emergence management of water pollution accident.

**Key words:** water pollution accident; genotoxic carcinogens; short-term exposure; human health risk assessment; safety concentration; arsenic

近几年来国内外化工厂爆炸、企业超标排放、船舶溢油等水污染事件时有发生<sup>[1~4]</sup>。水污染事件的污染特征为各种对人体有毒、有害污染物在短期内大量进入水体, 给附近的居民和水生态造成了巨大的影响。如何确定污染物短期暴露的安全浓度, 避免引起公众不必要的惊恐, 并为公众和政府提供正确评价水污染事件的依据, 成为水污染事件应急管理的重要课题。目前国内外针对水污染事件的研究主要集中在建立污染物扩散的预警模型<sup>[5~11]</sup>、污染物慢性暴露人体健康风险评估方面<sup>[12~15]</sup>, 而对于致癌物短期暴露安全浓度的研究较少<sup>[16,17]</sup>。本研究通过对水污染事件遗传性致癌物短期暴露风险与暴露剂量的分析, 构建水污染事件中遗传性致癌物短期暴

露安全浓度的计算方法, 以期为水污染事件应急管理提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究对象

本文所研究的水污染事件遗传性致癌物安全浓度是指由于污染物短时间内大量进入水源地造成短期内水质严重恶化情景下, 人体短期内饮用污染水体而不造成健康危害的水体中遗传性致癌物的最大

收稿日期: 2011-04-12; 修订日期: 2011-06-23

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07528-003, 2009ZX07419-003)

作者简介: 罗锦洪(1984~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为流域水环境管理, E-mail: ljhg2002@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: zhengbh@craes.org.cn

浓度. 由于遗传毒性化学致癌物的始动过程是在体细胞的遗传物质中诱发突变, 在任何暴露水平都具有理论上的危险性, 为无阈值污染物<sup>[18]</sup>, 因此只能在一定可接受风险下, 讨论人体可短期暴露遗传性致癌物的浓度.

1.2 遗传性致癌物短期暴露风险与暴露剂量的关系

遗传性致癌物高剂量短期暴露是指人体在较短时间内持续暴露于高浓度遗传性致癌物中<sup>[17]</sup>. 计算遗传性致癌物短期暴露安全浓度的前提是确定致癌风险与暴露剂量之间的关系. 目前较多采用的假设为污染物致癌风险与暴露剂量成线性相关<sup>[19]</sup>. 例如, 人体对某一致癌物每年摄入量为1 000 g, 那么持续 70 a 摄入该致癌物所致的癌症风险与 1 a 内摄入 70 000 g 致癌物导致的人体发生癌症机率相等.

表 1 部分机构推荐的最大可接受风险水平和可忽略风险水平

机构	最大可接受风险水平/a <sup>-1</sup>	可忽略风险水平/a <sup>-1</sup>	备注
瑞典环境保护局	1 × 10 <sup>-6</sup>	—	化学污染物
荷兰建设和环境保护部	1 × 10 <sup>-6</sup>	1 × 10 <sup>-8</sup>	化学污染物
英国皇家协会	1 × 10 <sup>-6</sup>	1 × 10 <sup>-7</sup>	—
美国环境保护署	1 × 10 <sup>-4</sup>	—	—
国际辐射防护委员会(ICRP)	5 × 10 <sup>-5</sup>	—	—

表 2 各种风险水平及其可接受程度

风险值/a <sup>-1</sup>	危险性	可接受程度
10 <sup>-3</sup>	危险性特别高, 相当于人的自然死亡率	不可接受, 必须采取措施改进
10 <sup>-4</sup>	危险性中等	应采取改进措施
10 <sup>-5</sup>	与游泳事故和煤气中毒事故属同一数量级	人们对此关心, 并愿采取措施预防
10 <sup>-6</sup>	相当于地震和天灾风险	人们并不关心该类事故的发生
10 <sup>-7</sup>	相当于陨石坠落伤人	没人愿意为该事故投资加以防范

1.4 遗传性致癌物短期暴露安全浓度计算方法

参照致癌物终生慢性暴露安全浓度的定义, 将水污染事件遗传性致癌物短期暴露安全浓度(safety concentration, SC<sub>a</sub>)定义为: “在致癌物人体短期暴露导致的年风险属于人体可接受范围内(10<sup>-6</sup> ~ 10<sup>-4</sup> a<sup>-1</sup>)时, 人体经饮水途径可接受的水体中遗传性致癌物浓度, mg·L<sup>-1</sup>”.

在假设致癌物的致癌风险与暴露剂量呈线性相关的前提下, 采用动物慢性暴露实验中所测得的毒理学数据计算致癌物短期暴露的安全浓度. 假设动

1.3 水体中遗传性致癌物安全浓度计算流程

水体污染事件中遗传性致癌物安全浓度计算流程为: 第一步: 确定水污染事件中致癌物短期暴露的持续时间. 基于安全考虑应将污染物暴露持续时间定为 10 d; 第二步: 确定致癌物暴露剂量与致癌风险之间的关系<sup>[20,21]</sup>; 第三步: 确定敏感人群. 由于儿童对水体中致癌物比成年人更敏感, 因此在水污染事件中一般选择儿童作敏感人群; 第四步: 根据水污染事件的具体情况, 设置合理的可接受风险水平. 不同机构设置的可接受风险水平和各种风险水平及其可接受程度如表 1、表 2 所示<sup>[22]</sup>. 第五步: 计算遗传性致癌物短期暴露的安全浓度. 按照致癌物暴露剂量与致癌风险之间线性相关的假设, 采用致癌物终生暴露安全浓度推算不同人群 1 d 和 10 d 暴露下的暴露安全浓度<sup>[20,23]</sup>.

物实验中的癌症发生率  $I_e$  对应的致癌物积累剂量为  $d_e \times t_e$ , 则致癌物短期暴露致癌风险与动物实验致癌风险的关系采用式(1)表示:

$$\frac{SC_a \times t_a}{d_e \times t_e} = \frac{I_a}{I_e} \tag{1}$$

式中, SC<sub>a</sub> 为致癌物短期暴露的安全浓度, mg·L<sup>-1</sup>;  $d_e$  为慢性动物实验中动物的日均暴露剂量, mg·L<sup>-1</sup>;  $t_a$  为致癌物短期暴露持续时间, d;  $t_e$  为动物实验暴露持续时间, d;  $I_a$  为致癌物人体短期暴露的最大可接受年风险, a<sup>-1</sup>;  $I_e$  为动物暴露实验中供试动物的癌症风险, d<sup>-1</sup>.

将式(1)变形可得采用动物实验结果, 计算人体短期暴露安全浓度的公式(2):

$$SC_a = \frac{I_a}{I_e} \times \frac{t_e}{t_a} \times d_e \tag{2}$$

同样, 对于致癌物终生暴露风险与动物暴露实验风险之间的关系可用式(3)表示:

$$\frac{SC_e \times t_e}{d_e \times t_e} = \frac{I_e}{I_e} \tag{3}$$

式中, SC<sub>e</sub> 为致癌物终生暴露安全浓度, mg·L<sup>-1</sup>;  $t_e$  为人一生存活的天数为 25 000 d(接近 70 a), d;  $I_e$

为致癌物终生暴露的最大可接受的年风险,  $a^{-1}$ .

将式(3)转化可得终生暴露安全浓度的计算公式:

$$SC_c = \frac{I_c}{I_e} \times \frac{t_e}{t_c} \times d_e \quad (4)$$

将式(2)与式(4)相除,则得到使用致癌物终生暴露安全浓度计算短期暴露安全浓度的公式(5):

$$SC_a = SC_c \times \frac{t_c}{t_a} \times \frac{I_a}{I_c} \quad (5)$$

当  $t_a = 10 \text{ d}$ 、 $t_c = 25\,000 \text{ d}$  时,式(5)则表示致癌物短期暴露安全浓度  $SC_a$ .

$$SC_a = SC_c \times \frac{I_a}{I_c} \times 2\,500 \quad (6)$$

由于目前建立的遗传性致癌物终生暴露安全浓度均是以成年人作为暴露人群,根据污染物急性人体健康风险评估原则,需要考虑对污染物对易感人群(儿童、孕妇等)的暴露,需增加额外的安全因子,该因子一般取 10. 综合以上因素得出水污染事件中遗传性致癌物短期暴露安全浓度计算公式:

$$SC_a = SC_c \times \frac{I_a}{I_c} \times 250 \quad (7)$$

因为动物实验已经广泛认为是进行人体健康风险评估的可行方式,在生物体代谢过程、修复机制和器官特性方面的影响因素已经在动物实验中考虑,并且在使用动物实验数据推算终生暴露安全浓度时,已经考虑了模型推算过程中的不确定因素. 因此在使用致癌物终生暴露安全浓度计算致癌物短期暴露安全浓度时,为避免风险推算过程中涉及的不确定因素的重复计算,则不必再次考虑不确定因素,可直接采用终生暴露安全浓度计算致癌物短期暴露的安全浓度.

## 2 水污染事件遗传性致癌物短期暴露安全浓度的计算——以砷为例

通过数据检索方式对 2000 ~ 2010 年我国水污染事件进行了初步统计. 2000 ~ 2010 年期间共发生对人体存在短期人体健康风险的水污染事件 60 起,其中特征污染物为砷的水污染事件为 6 起,占总污染事件比例为 10%. 国际癌症研究中心(international agency research for cancer, ICRC)将砷划定为 A 类,即为对人体存在明显致癌作用的化学物. 按照 1.4 节所述水污染事件中致癌物短期暴露安全浓度计算方法,计算水体中砷短期暴露安全浓度.

采用美国 EPA 推荐的人体饮用水含砷水导致

的年致癌风险为  $10^{-4} a^{-1}$  时,水体中砷的安全浓度( $0.002 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )作为推算人体短期暴露安全浓度的基础. 由于水污染事件为短期暴露事件,参考美国 EPA 的方法,将此次水污染事件的最大可接受年风险定为  $10^{-4} a^{-1}$ ,则水污染事件砷短期暴露的安全浓度计算过程如式(8)所示.

$$\begin{aligned} SC_a &= SC_c \times \frac{I_a}{I_c} \times 250 \\ &= 0.002 \times \frac{10^{-4}}{10^{-4}} \times 250 \\ &= 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned} \quad (8)$$

## 3 结论

(1)在假设遗传性致癌物的暴露剂量与致癌风险呈线性相关的前提下,建立了根据致癌物终生暴露安全浓度计算致癌物短期暴露安全浓度的计算公式:  $SC_a = SC_c \times \frac{I_a}{I_c} \times 250$ . 初步调查了我国近年来水污染事件特征污染物,结果表明 2000 ~ 2010 年期间共发生对人体存在短期人体健康风险的水污染事件 60 起,其中特征污染物为砷的水污染事件为 6 起,占总污染事件比例为 10%,这一结果表明砷为我国水污染事件高发致癌污染物之一. 采用致癌物短期暴露安全浓度计算公式得出砷短期暴露的安全浓度为  $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

(2)本研究所提出的水污染事件遗传性致癌物安全浓度计算方法,虽然尽量将影响致癌物暴露安全阈值的参数考虑其中,但由于国内外关于水污染事件遗传性致癌物短期暴露安全浓度的研究较少,我国处于起步阶段可以借鉴的资料更少,因此本研究所建立的水污染事件遗传性致癌物安全浓度计算方法的合理性、有效性还需要进一步的实践论证.

### 参考文献:

- [1] 何进朝. 突发性水污染事故预警应急系统研究[D]. 成都: 四川大学, 2005.
- [2] 张旺, 万军. 国际河流重大突发性水污染事故处理-莱茵河、多瑙河水污染事故处理[J]. 水利发展研究, 2006, 6(3): 56-58.
- [3] 崔伟中, 刘晨. 松花江和沱江等重大水污染事件的反思[J]. 水资源保护, 2006, 22(1): 1-4.
- [4] 张勇, 徐启新, 杨凯, 等. 城市水源地突发性水污染事件研究述评[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(12): 1-4.
- [5] 饶清华, 曾雨, 张江山, 等. 突发性环境污染事故预警应急系统研究[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(10): 97-101.
- [6] 张波, 王桥, 李顺, 等. 基于系统动力学模型的松花江水污

- 染事故水质模拟 [J]. 中国环境科学, 2007, **27**(6): 811-815.
- [7] 吴钢, 蔡井伟, 付海威, 等. 模糊综合评价在大伙房水库下游水污染风险评价中应用 [J]. 环境科学, 2007, **28**(11): 2438-2441.
- [8] 司鹄, 毕海普. 数值分析三峡库区突发事故污染物运移特性 [J]. 环境科学, 2008, **29**(9): 2432-2436.
- [9] 饶清华, 曾雨, 张江山, 等. 闽江下游突发性水污染事故时空模拟 [J]. 环境科学学报, 2011, **31**(3): 554-559.
- [10] 张征. 突发性水污染事故预警指标筛选及体系构建研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [11] 郭羽, 贾海峰. 水污染预警 DSS 系统框架下的白河水质预警模型研究 [J]. 环境科学, 2010, **31**(12): 2866-2872.
- [12] 杨宇, 胡建英, 陶澍. 天津地区致癌风险的预期寿命损失分析 [J]. 环境科学, 2005, **26**(1): 168-172.
- [13] 许海萍, 张建英, 张志剑, 等. 致癌与非致癌环境健康风险的预期寿命损失评价法 [J]. 环境科学, 2007, **28**(9): 2148-2152.
- [14] 曾光明, 卓利, 钱政林, 等. 水环境健康风险评价模型及其应用 [J]. 水电能源科学, 1997, **15**(4): 28-33.
- [15] 高继军, 张力平, 黄圣彪, 等. 北京市饮用水源水重金属污染物健康风险的初步评价 [J]. 环境科学, 2004, **25**(2): 47-50.
- [16] Chen J J, Kodell R L, Gaylor D W. Using the biological two-stage model to assess risk from short-term exposure [J]. Risk Analysis, 1988, **8**(2): 223-230.
- [17] Verhagen H, Feron V J, Van Vliet P W. Risk assessment of peak exposure to genotoxic carcinogens [R]. Hague: Health council of the Netherlands, 1994. 1-25.
- [18] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality [M]. (3rd ed). Geneva: WHO express, 2008. 155-156.
- [19] Bos P M J, Van Raaij M T M. Risk assessment of peak exposures to carcinogenic substances [R]. Netherland: RIVM, 2002. 1-17.
- [20] US Environmental Protection Agency (US EPA). Guidelines for carcinogen risk assessment [R]. Washing, DC: Office of Health and Environmental Assessment, 2005. 88-129.
- [21] Bos P M J, Baars B J, Van Raaij M T M. Risk assessment of peak exposure to genotoxic carcinogens: a pragmatic approach [J]. Toxicology Letters, 2004, **151**(1): 43-50.
- [22] 李丽娜. 上海市多介质环境中持久性毒害污染物的健康风险评估 [D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [23] National Research Council. Risk assessment in the Federal Government: managing the process [M]. Washington, DC: National Academy Press, 1983. 51-85.

## CONTENTS

Safety Value of Contaminant in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk .....	ZHENG Bing-hui, LUO Jin-hong, FU Qing, <i>et al.</i> ( 337 )
Safety Concentration of Genotoxic Carcinogens in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk .....	LUO Jin-hong, ZHENG Bing-hui, FU Qing, <i>et al.</i> ( 342 )
A Quantitative Method and Case Analysis for Assessing Water Health .....	LI Yu-feng, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> ( 346 )
Temporal and Spatial Variation of Nitrogen and Phosphorus and Eutrophication Assessment in Downstream River Network Areas of North Canal River Watershed ...	SHAN Bao-qing, JIAN Yu-xiang, TANG Wen-zhong, <i>et al.</i> ( 352 )
Spatiotemporal Variation Analysis and Identification of Water Pollution Sources in the Zhangweinan River Basin .....	XU Hua-shan, XU Zong-xue, TANG Fang-fang, <i>et al.</i> ( 359 )
Hydrochemical Characteristics and Formation Mechanism of Shallow Groundwater in the Yellow River Delta .....	AN Le-sheng, ZHAO Quan-sheng, YE Si-yuan, <i>et al.</i> ( 370 )
Impacts of Sediment Disturbance Time on the Distribution of Phosphorus Forms in Suspended Solids .....	LI Da-peng, HUANG Yong, LI Yong, <i>et al.</i> ( 379 )
Influence of Submerged Macrophytes on Phosphorus Transference Between Sediment and Overlying Water in the Growth Period .....	WANG Li-zhi, WANG Guo-xiang, YU Zhen-fei, <i>et al.</i> ( 385 )
Pollution Characteristics and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments of Lake Changshouhu in Chongqing, China .....	LU Shao-yong, XU Meng-shuang, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> ( 393 )
Vertical Distribution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Lake Hongze .....	ZHANG Wen-bin, YU Hui ( 399 )
Effects of Rainfall on Nitrogen and Phosphorus Loss from Courtyard Compost and Its Risk of Nonpoint Source Pollution .....	PENG Li, WANG Li-wei, YANG Zhi-min, <i>et al.</i> ( 407 )
Effects of Hydrodynamic Process on Bio-optical Properties in Algal-Dominated Lake Region of Shallow Lake .....	LIU Xiao-han, FENG Long-qing, ZHANG Yun-lin, <i>et al.</i> ( 412 )
Estimation and Remote Sensing Inversion of Diffuse Attenuation Coefficient $K_d(490)$ in Lake Taihu in Spring Based on Semi-analytical Model .....	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, LI Rui-yun, <i>et al.</i> ( 421 )
Monitoring the Total Suspended Matter of Lake Chaohu Based on Quasi-Analytical Algorithm .....	ZHANG Hong, HUANG Jia-zhu, LI Yun-mei, <i>et al.</i> ( 429 )
Optimization of Aerobic/Anaerobic Subsurface Flow Constructed Wetlands .....	LI Feng-min, SHAN Shi, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> ( 436 )
Effects of Allelochemical Dibutyl Phthalate on <i>Gymnodinium breve</i> Reactive Oxygen Species .....	BIE Cong-cong, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> ( 442 )
Toxicity Effects of <i>Rac</i> - and <i>S</i> -Metolachlor on Two Algae .....	CAI Wei-dan, LIU Hui-jun, FANG Zhi-guo ( 448 )
Studies for Killing the Oceanic Harmful Organisms in Ship's Ballast Water Using Hydroxyl Radicals .....	BAI Min-dong, ZHANG Na-hui, ZHANG Zhi-tao, <i>et al.</i> ( 454 )
Modification of Natural Siderite and Enhanced Adsorption of Arsenic .....	ZHAO Kai, GUO Hua-ming, LI Yuan, <i>et al.</i> ( 459 )
Kinetic Study of 4-Chloronitrobenzene Degradation by Zero-Valent Iron .....	LIAO Di-jie, YANG Qi, LEE Chun-chi ( 469 )
Photochemical Degradation of Ofloxacin in Aqueous Solution .....	SHAO Meng, YANG Gui-peng, ZHANG Hong-hai ( 476 )
Photodegradation of Atenolol in Aqueous Nitrate Solution .....	JI Yue-fei, ZENG Chao, MENG Cui, <i>et al.</i> ( 481 )
Biodegradation of Pyridine Under UV Irradiation .....	FANG Miao-miao, YAN Ning, ZHANG Yong-ming ( 488 )
Optimization on Decoloration Conditions of Anthraquinone Dyes by Laccase from <i>Amillariella mellea</i> .....	ZHU Xian-feng, QIN Ren-bing, YU Chen-chen, <i>et al.</i> ( 495 )
Biosorption of Chromium( VI ) by Waste Biomass of $\epsilon$ -Poly-L-lysine Fermentation .....	CAO Yu-juan, ZHANG Yang, XIA Jun, <i>et al.</i> ( 499 )
Investigation on Enhanced Conditions for the Densification of Filamentous Sludge .....	LI Zhi-hua, SUN Wei, JI Xiao-qin, <i>et al.</i> ( 505 )
Effect of Temperature on the Response Characteristics of Shortcut Nitrification Granular Sludge .....	LUO Yuan-ling, YANG Zhao-hui, XU Zheng-yong, <i>et al.</i> ( 511 )
Fuel Consumption and Emission Inventory of Typical Construction Equipments in China .....	LI Dong-ling, WU Ye, ZHOU Yu, <i>et al.</i> ( 518 )
Optimization of PM <sub>10</sub> Monitoring Network in Beijing .....	QI Ling, ZHAO Yue, XIE Shao-dong ( 525 )
Effect of Greenbelt on Pollutant Dispersion in Street Canyon .....	XU Wei-jia, XING Hong, YU Zhi ( 532 )
Investigation of Effect and Process of Nitric Oxide Removal in Rotating Drum Biofilter Coupled with Absorption by Fe <sup>II</sup> (EDTA) .....	CHEN Jun, YANG Xuan, YU Jian-ming, <i>et al.</i> ( 539 )
Effect of UV-B Radiation on Release of Nitrogen and Phosphorus from Leaf Litter in Subtropical Region in China .....	SONG Xin-zhang, ZHANG Hui-ling, JIANG Hong, <i>et al.</i> ( 545 )
Characteristics of Carbon Sequestration and Apparent Stability of New Sequestered Carbon in Forested Torrid Red Soil at Dry-Hot Valley .....	TANG Guo-yong, LI Kun, SUN Yong-yu, <i>et al.</i> ( 551 )
Spatial Distribution of Methane in Surface Water and Sediment of Jiulongjiang Estuary and the Effect Environment factors of It .....	GUO Ying-ying, CHEN Jian, YIN Xi-jie, <i>et al.</i> ( 558 )
Methane Fluxes and Controlling Factors in the Intertidal Zone of the Yellow River Estuary in Autumn .....	JIANG Huan-huan, SUN Zhi-gao, WANG Ling-ling, <i>et al.</i> ( 565 )
Study on Dioxin Emission for Typical Non-Wood Pulp Making in China .....	WANG Zhi-fang, DING Qiong, WANG Kai-xiang, <i>et al.</i> ( 574 )
Horizontal and Vertical Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediment from a Typical Electrical Equipment Industrial Area .....	QIU Meng-de, DENG Dai-yong, YU Le-huan, <i>et al.</i> ( 580 )
Characteristics of Polychlorinated Biphenyls in Soils from an Electronic Waste Recycling Area .....	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> ( 587 )
Characterization and Potential Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Green Space Soils of Educational Areas in Beijing .....	PENG Chi, WANG Mei-e, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> ( 592 )
Spatial Variability and Evaluation of Soil Heavy Metal Contamination in the Urban-transect of Shanghai .....	LIU Yun-long, ZHANG Li-jia, HAN Xiao-fei, <i>et al.</i> ( 599 )
Assessment of Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of Rivers in Northern Area of Haihe River Basin, China .....	SHANG Lin-yuan, SUN Ran-hao, WANG Zhao-ming, <i>et al.</i> ( 606 )
Concentrations and Pollution Assessment of Soil Heavy Metals at Different Water-level Altitudes in the Draw-down Areas of the Three Gorges Reservoir .....	WANG Ye-chun, LEI Bo, YANG San-ming, <i>et al.</i> ( 612 )
Analysis of Community Structure on Sludge Aerobic/anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment .....	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> ( 618 )
Research on Population Structure and Distribution Characteristic of Indigenous Microorganism in Post-polymer-Flooding Oil Reservoir .....	ZHAO Ling-xia, GAO Pei-ke, CAO Mei-na, <i>et al.</i> ( 625 )
Study on Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) with Different Additional Carbon Sources in Aged Contaminated Soil .....	YIN Chun-qin, JIANG Xin, WANG Fang, <i>et al.</i> ( 633 )
Detection of <i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) Schiller with the Electrochemiluminescence-Molecular Probe .....	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> ( 640 )
Development of Direct Competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for the Determination of Domoic Acid .....	WANG Qian, CHENG Jin-ping, GAO Li-li, <i>et al.</i> ( 647 )
Simultaneous Determination of 10 Sulfonamide Antibiotics in Water by Solid-phase Extraction and High Performance Liquid Chromatography .....	HONG Lei-jie, SHI Lu, ZHANG Ya-lei, <i>et al.</i> ( 652 )
Effects of Pentachlorophenol on DNA Damage and Cytotoxicity of HeLa Cells .....	JIN Bang-ming, WANG Fu-ming, XIONG Li, <i>et al.</i> ( 658 )
Modeling of Carbon Dioxide Measurement and Optimization on Building Ceramic Industry .....	PENG Jun-xia, ZHAO Yu-bo, JIAO Li-hua, <i>et al.</i> ( 665 )

# 《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)

2012年2月15日 33卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 2 Feb. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行