

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, 郝敬锋, 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)
ϵ -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污染物安全阈值研究

郑丙辉¹, 罗锦洪^{1,2}, 付青¹, 秦延文¹, 胡林林¹

(1. 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; 2. 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海 200062)

摘要: 水污染事件急性人体健康风险评估是环境科学的一个新兴研究领域. 在简要介绍污染物急性风险评估方法的基础上, 建立了水污染事件特征污染物安全阈值的计算模型. 根据水污染事件特征污染物安全阈值计算方法, 对我国 2000~2010 年间发生的主要水污染事件特征污染物的急性暴露安全阈值进行研究. 结果表明不同水污染事件特征污染物的急性暴露安全阈值: 氰化钠、镉、甲醛、氨氮、甲苯、硝基苯、微囊藻毒素-LR 分别为 0.1、0.6、8、20、6、0.07、0.004 mg·L⁻¹. 比较了急性安全阈值计算方法, 其差异性在于污染物毒理学范围不同、饮用水暴露比例不同、暴露敏感人群不同.

关键词: 水污染事件; 污染物; 急性暴露; 安全阈值; 饮用水

中图分类号: X820.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)02-0337-05

Safety Value of Contaminant in Water Pollution Accident Based on Human Health Risk

ZHENG Bing-hui¹, LUO Jin-hong^{1,2}, FU Qing¹, QIN Yan-wen¹, HU Lin-lin¹

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

Abstract: The acute human health risk assessment of contaminant in water pollution accident is a new study field of environmental sciences. This study established a model for calculating acute safety value of contaminant in water pollutant. The acute safety value of contaminant in mainly water pollution during 2000-2010 was calculated by this model. The safety value of sodium cyanide, cadmium, formaldehyde, ammonia, toluene, nitrobenzene, microcystin-LR were 0.1, 0.6, 8, 20, 6, 0.07, 0.004 mg·L⁻¹, respectively. The differences of safety value calculate methods between acute and chronic exposure were compared from the following aspects, the toxicology exposure end-point, allocation of intake, exposure sensitive subpopulation.

Key words: water pollution accident; contaminant; acute human health risk; safety values; drinking water

近年来, 国内外重大水体突发性污染事件频发^[1~4], 水污染事件成为人们关注的热点问题. 在以往的研究中, 国内外研究者主要在水污染事件中污染物的迁移扩散^[5~9]、安全预警方面开展了大量研究^[10~12]. 对于水污染事件健康风险评估方面的研究较少且主要集中在污染物慢性暴露方面^[13~18]. 我国在以往水污染事件管理中均采用地表水环境质量和生活饮用水卫生标准作为判断水体是否安全的基准^[19,20]. 这 2 个标准均只适用于人体终生饮用的安全剂量, 若用于水污染事件污染物急性暴露评估, 存在过高估计水污染事件危害程度的可能性. 因此开展基于人体健康的污染物急性暴露安全阈值的研究显得尤为重要. 世界卫生组织 (WHO)、美国、荷兰等国际组织和政府一致认为人体可以在短时期饮用高于慢性暴露允许的日均暴露量 (ADI) 的水体^[21~24]. 目前国外主要采用污染物急性参考剂量 (acute reference dose, aRfD) 和健康建议值 (health advisory, HA)^[22~25] 表征污染物急性暴露的安全阈

值. 我国在农药残留急性膳食风险评估中也采用急性参考剂量^[25~27], 但关于水污染事件污染物急性暴露安全阈值的研究尚属空白. 本研究的主要目的为: 建立水污染事件特征污染物安全阈值计算方法, 并计算我国近年来水污染事件污染物的安全阈值, 以期水污染事件管理提供理论依据.

1 研究对象与研究方法

1.1 研究对象

本文所研究的水污染事件特征污染物安全阈值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, 人体短期内饮用受污染水体而不造成健康危害的水体中污染物的最高浓度. 由于遗传毒性化学致癌物的始动过程是在体细胞的

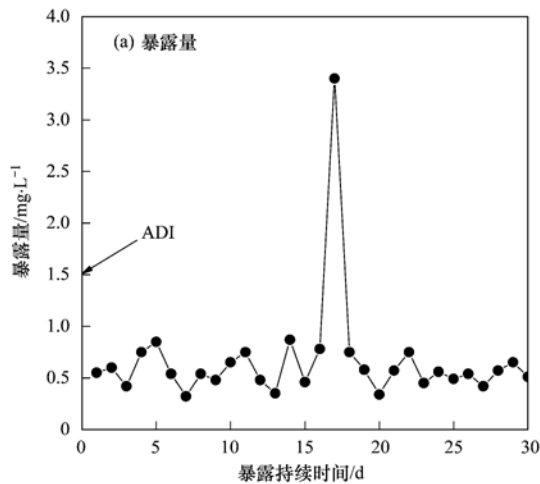
收稿日期: 2011-04-12; 修订日期: 2011-06-23

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: 郑丙辉 (1963~), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为流域水环境管理, E-mail: zhengbh@craes.org.cn

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^[25],不适于采用阈值计算方法进行讨论,因此本研究仅讨论水污染事件中有阈值污染物和非遗传致癌物急性暴露的安全阈值。

1.2 水污染事件急性人体暴露情景



日常生活中,时常会出现水体中某种物质浓度高于人体可接受的日均摄入量(ADI)的情景,例如船舶溢油、化工厂爆炸、交通事故污染饮用水源时。对于这种情景,荷兰政府在急性膳食暴露评估指南中进行了分类,暴露情景如图1所示^[23]。

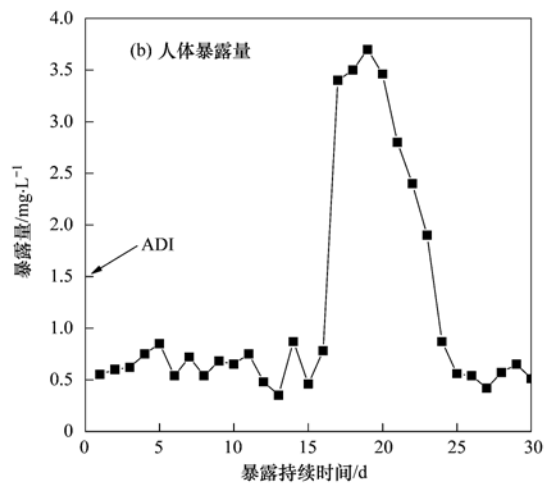


图1 急性膳食暴露情景

Fig. 1 Exposure scenario of acute dietary exposure assessment

图1(a)为人体偶尔1次摄入高于ADI浓度的食物或饮用水的暴露情景,如偶尔误饮或误食含量较高浓度的水体或食物。图1(b)为人体对该化学物质存在连续几天高于ADI的暴露,这种暴露情景在突发性水污染事故中更为常见,这种情况下,可以假设人体对该污染物的暴露完全来自饮用水途径,而不用考虑来自食物和其它途径的暴露。

1.3 特征污染物安全阈值计算方法

水污染事件特征污染物控制阈值的计算步骤分以下3个:①水体中污染物急性暴露毒理学数据的收集;②根据收集的急性暴露数据,判定污染物急性暴露时是否为阈值污染物;③污染物急性暴露安全阈值的计算。

水污染事件中污染物安全阈值(safety values, SV)指“在水污染事件中人体短时间内可以放心饮用的水体中污染物的浓度,单位为 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ”。国内外在制定化学物经不同途径暴露时的人体安全阈值时,一般采用污染物的无不良反应浓度、暴露人群体重、日均饮水量、饮用水占日均耐受量的比例及数据来源的不确定因子来确定水质基准,计算过程如公式(1)所示。

$$\text{SV} = \frac{\text{NOAEL} \times \text{BW}}{\text{UF} \times D} \times P \quad (1)$$

式中,SV为污染物暴露的安全阈值, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;

NOAEL为污染物的无不良反应浓度, $\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$;BW为暴露人群体重,kg;D为暴露人群日均饮水量, $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$;P饮用水占日均耐受量的比例;UF为不确定因子。

污染物无不良反应浓度(NOAEL)的选择对于确定污染物安全阈值合适与否具有重要的意义。制定不同暴露场景、不同暴露途径的指导值最好选用与之相对应的暴露时间里污染物的无不良反应浓度作为计算依据。如美国在建立突发性水污染事故的饮用水健康建议值时,采用少于7d的污染物毒理学暴露终点值作为确定1d健康建议值(1-d HA)的计算依据。采用少于30d暴露的终点值数据作为10d健康建议值(10-d HA)的计算依据^[8,15]。

暴露人群体重(BW)和暴露人群日均饮水量(D)是2个计算安全阈值的默认值。目前普通接受的原则为:一个成年人日均饮水量的默认设定值是2L,而体重的默认设定值是60kg;日均饮水量的默认设定值是1L,而体重的默认设定值是10kg。对大部分物质而言,饮用水摄入量的范围是很小的。在水污染事件中,基于安全性考虑应选择儿童日均饮用量和体重作为计算基础。

饮用水占日均耐受量的比例(P):在建立水污染事件污染物安全阈值中,应该根据污染事故影响区域的具体情况设定。当水污染当地居民除来

自于饮用水外,还有来自于食物、空气等其它途径的暴露时,应该减小该值,反之则需增大比例。除此之外,对于不能获得计算污染物短期暴露的无不良反应浓度,但必需设定污染物短期暴露的安全阈值时,可采用污染物慢性暴露的无不良反应浓度作为计算污染物短期暴露安全阈值的基础,但是需要提高饮用水占日均暴露量的比例,甚至可达到 100%。

1.4 污染物急性暴露毒理学数据的来源

污染物急性暴露毒理学数据主要采用 2 种方式确定:①通过全面检索已报道的污染物短期暴露的相关资料。化学物急性暴露毒理学数据可参考美国进行的国家毒理学项目(national toxicology program, NTP)、世界卫生组织进行的国际化学品安全项目(the international programmed on chemical safety, IPCS)所建立的化学物质毒理学数据。污染物短期暴露终点值数据的收集主要包括污染物在肝或肾方面的毒性、免疫学或神经毒性影响方面的数据。对收集到的污染物数据进行分析,如果结果表明该污染物短期暴露具有致癌风险,则需要采用其它的计算方法。污染物暴露终点值应尽量选择来自于人体或动物实验方面的研究成果,最好采用来自于饮用水方面的数据,如果缺少经口的实验数据,也可以考虑使用来自于其它暴露途径(吸入途径、注射途径)的数据。②开展单一污染物暴露的毒理学实验。当已有的数据不足以精确地反映污染物的急性暴露信息时,需要进行单一污染物的毒理学研究实验。进行毒理学实验之前首先需要确定污染物的敏感物种和相关的毒理学终点。毒理学终点主要包括血液毒性、免疫毒性、神经毒性、肝和肾神经作用、内分泌影响和发育影响。需要进行不同水平的动物实验和对照组实验,动物实验的目的在于确定最合适的 NOAEL 或 LOAEL,暴露时间包括 7 d 和 14 d 共 2 阶段,并需进行重复实验以验证数据的可靠性。

1.5 我国主要水污染事件特征污染物的筛选及其安全阈值的计算

通过数据检索方式对 2000 ~ 2010 年我国突发性水污染事件进行了初步统计,筛选具有急性人体健康危害的水污染事件,按照 1.3 节所述污染物急性暴露安全阈值计算方法对水污染事件特征污染物的急性暴露安全阈值进行计算。

2 结果与分析

2.1 我国主要水污染事件的特征污染物及其安全阈值

2000 ~ 2010 年我国突发性水污染事件统计结果显示出:在统计期间共发生对人体存在急性健康危害的水污染事件 60 起,其中特征污染物明确经饮水途径急性暴露为阈值污染物的事件为 48 起,占总污染事件的比例为 80%。2000 ~ 2010 年我国主要水污染事件统计结果如表 1 所示。

表 1 中结果显示采用水污染事件污染物安全阈值计算方法所得到的安全阈值均高于地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中规定的标准值。这一结果表明,以常规状况下慢性暴露标准作为水污染事故应急处理的决策依据存在不妥之处,可能夸大事件的危害性,造成不必要的社会恐慌和经济损失。因此在水污染事件应急处理中,应该根据污染物急性暴露的毒理学数据、暴露人群特征、污染物经饮水途径暴露量占日均可耐受浓度的比例,来确定急性暴露的安全阈值。

2.2 急性暴露安全阈值与慢性暴露安全阈值差异性分析

(1) 污染物毒理学暴露终点不同

目前的水体污染物慢性健康风险评估,一般采用美国综合风险信息信息系统(IRIS)中提供的化学物终生暴露未观察到不利反应浓度水平(NOAEL)和慢性参考剂量(RfD)作为计算依据。对于污染物急性人体健康风险暴露评估,WHO、荷兰和美国等都要求使用与急性暴露时间相对应的毒理学实验数据来计算化学物质急性人体健康风险,美国 EPA 在计算短期暴露的健康建议值时“计算 1 d 的健康建议值时,推荐使用人体或动物 7 d 之内的暴露实验的毒理学数据,如果没有 7 d 的暴露数据,趋于保守估计也使用更长暴露时间的数据,如 10 d 的或更长时期的暴露数据^[30]”。EPA 在计算化学物 10 d 健康建议值时,推荐采用 30 d 或者亚慢性(少于 7 a)的毒理学数据,如果以上 2 种暴露时间段的毒理学数据都不可取时,可以采用更长时间的暴露数据来得出更为保守的健康建议值^[31]”。

(2) 饮用水暴露量占日均耐受量的比例不同

急性暴露与慢性暴露的另一区别在于慢性暴露主要考虑人体对于污染物低剂量、长期暴露。慢性暴露情景下,污染物对人体的暴露除考虑来自于饮用水途径,还需要考虑来自于食物暴露、住宅暴露等多途径长期暴露贡献。而急性暴露情景重点考虑污染物短时间、高剂量的暴露,因此在计算水污染事件特征污染物安全阈值时,应增大饮用水暴露量占日均耐受量的比例甚至忽略来自于其它途径的暴露^[22]。

表 1 2000 ~ 2010 年我国主要水污染事件特征污染物的急性暴露安全阈值

Table 1 Safety values of characterize pollutant in the primary water pollution accident in China from 2000-2010

污染事件概况	特征污染物	污染物毒理学特征	急性暴露安全 阈值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	地表水质量 标准/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
2000 年 9 月, 陕西丹凤县翻车事件, 5.1 t 氰化钠泄漏进入铁峪河	氰化钠	氰化物急性暴露将引心血管、呼吸和神经传递的变化, 较多研究表明大脑对氰化物最为敏感, 由于氰化物造成的死亡一般是由于中枢神经系统的抑郁, 从而导致脑细胞色素氧化酶活性所致. 老鼠经口半致死浓度 (以体重计, 下同) 为 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.1	0.05
2004 年 4 月, 福建南平市闽江受甲醛污染事件	甲醛	老鼠经口急性暴露数据实验结果显示, 甲醛半致死浓度 $\text{LD50} = 800\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	8	0.9
2001 年 6 月广西陆川县发生交通事故导致 13T 甲苯泄漏进入九州江, 下游城市一度停止取水	甲苯	甲苯经口暴露途径具有较低的急性毒性, 老鼠半致死浓度范为 $2.6 \sim 7.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 体重之间. 老鼠经口途径短期暴露的无不良反应浓度 $\text{NOAEL} = 625\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	6	0.7
2005 年广东韶关、清远、英德等市镉污染 2005 年 12 月, 湖南湘江株洲和长沙段镉污染事件 2006 年 7 月, 湖南株洲 1 人死亡数千人中毒, 工厂排污造成镉中毒	镉	镉经饮用水途径的毒性并不强烈, 小鼠经口急性暴露的半致死浓度 $\text{LD50} = 60\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 且主要表现为胃肠道的上皮细胞脱落, 胃和肠道的黏膜坏死的, 肝、心脏和肾脏营养不良等. 小鼠实验表明经口短期镉暴露并不明显增加肿瘤数量, 此结果表明镉经口暴露不具有致癌风险	0.6	0.005
2004 年四川省简阳市川化集团技术改造工程故障, 严重超标排放 20 d, 造成沱江水质受到重大污染	氨氮	在动物暴露实验中, 不同铵盐的半致死浓度范围为 $350 \sim 750\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 单一剂量暴露实验将导致肺水肿, 神经系统紊乱、肾损伤及酸中毒等. 氨氮短期暴露将导致酸中毒、轻微的器官变化及血压升高	20	0.5
2005 年 11 月松花江水污染事件, 大量含苯系污染物进入松花江	硝基苯	老鼠半致死浓度范围为 $600 \sim 640\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 硝基苯急性暴露导致人体脾肿大、肝脏肿大、触疼及血清成分变化、头痛、精神错乱, 眩晕和恶心及呼吸中止甚至昏迷	0.07	0.017
2007 年太湖蓝藻污染事件	微囊藻毒素-LR	微囊藻毒素-LR 具有较强的急性毒性, 老鼠经口暴露的半致死浓度为 $5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 短期暴露无不良反应浓度为 $40\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. 急性暴露将导致肝损伤, 体现在肝细胞结构改变, 肝重量增加, 心脏停止跳动, 其它器官如肾、肺也会受到影响	0.004	0.001

(3) 暴露敏感群体不同

考虑到水污染事故应急暴露主要是短时期的暴露, 所以仅需考虑短期内连续饮用污染水体的风险, 而不用考虑污染物对人体的终生影响. 因此, 在计算水污染事故特征污染物安全阈值时一般采用 10 kg, 每天饮用水 1 L 的儿童作为暴露群体^[22]. 慢性暴露安全阈值考虑人体一生中持续、低剂量摄入而不造成人体健康危害的水体污染物浓度, 因此需采用成年人的体重和日均饮水量作为计算人体污染物暴露量的基准.

3 结论

(1) 目前我国在处理水污染事件时多采用 GB 3838-2002《地表水环境质量标准》和 GB 5749-2006《生活饮用水卫生标准》, 这 2 个标准均是基于人体慢性长期饮用水体中污染物而建立的标准值. 2000

~ 2010 年我国水污染事件的特征污染物急性暴露安全阈值: 氰化钠、镉、甲醛、氨氮、甲苯、硝基苯、微囊藻毒素-LR 分别为 0.1、0.6、8、20、6、0.07、0.004 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 按照污染物急性暴露安全阈值计算方法所得到的安全阈值均高于慢性标准所规定的标准值. 这一结果表明采用常规状况下的慢性标准作为水污染事件应急处理的决策依据存在不妥之处, 存在夸大事件危害性的可能性, 造成不必要的人力、财力、物力损失及不必要的社会恐慌. 在水污染事件应急处理过程中, 确定特征污染物的急性安全阈值应综合考虑污染物的急性暴露毒理学数据、暴露人群对污染物的暴露行为特征、污染物不同暴露途径的来源贡献率大小等因素. 对于目前较难确定合适的安全阈值的污染物, 可暂时直接采用国外的急性毒理参数, 满足水污染事故人体健康风险评估需求. 如 FAO/WHO 农药残留专家联席会议建立的 387 种

农药的急性参考剂量^[21], 美国在饮用水健康项目, 提供了 175 种化学物质健康建议值的资料^[22], 以及欧盟和 WHO 公布的部分化学物质的急性暴露安全阈值的。

(2) 本研究所提出的水污染事件特征污染物安全阈值计算方法, 虽然尽量将影响急性暴露安全阈值的参数考虑其中, 但由于国内外对水污染事件污染物急性暴露安全阈值的研究较少, 我国更处于起步阶段, 可以借鉴的资料也较少, 因此本研究所建立的水污染事件特征污染物安全阈值计算方法的合理性、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] 司鸽, 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] 李二平, 侯嵩, 孙胜杰, 等. 水质风险评价在跨界水污染预警体系中的应用 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(6): 963-966.
- [13] 邹滨, 曾永年, Zhan B F, 等. 城市水环境健康风险评价 [J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(2): 94-98.
- [14] 高继军, 张力平, 黄圣彪, 等. 北京市饮用水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.
- [15] 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.
- [16] 陈超, 陈振楼, 张翠, 等. 上海市主要饮用水源地水重金属健康风险初步评价 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(1): 60-65.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB 5749-2006, 生活饮用水卫生标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [20] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB 3838-2002, 地表水环境质量标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [21] Food and Agriculture Organization/World Health Organization (FAO/WHO). Report of the joint meeting of the FAO panel of experts on pesticide residues in food and the environment and the WHO expert group on pesticide residues [R]. Switzerland: FAO/WHO, 2005.
- [22] Donohue J M, Lipscomb J C. Health advisory values for drinking water contaminants and the methodology for determining acute exposure values [J]. Science of the Total Environment, 2002, 288(1-2): 43-49.
- [23] Van Raaij M T M. Guidance document for setting an acute reference dose in Dutch national pesticide evaluations [R]. Netherland: RIVM, 2001.
- [24] Solecki R, Davies L, Dellarco V, et al. Guidance on setting of acute reference dose (aRfD) for pesticides [J]. Food and Chemical Toxicology, 2005, 43(11): 1569-1593.
- [25] 刘志伟, 陈秉衡. 一个新的毒理学阈值—急性参考剂量 [J]. 卫生研究, 2003, 32(1): 76-77.
- [26] 高仁君, 陈隆智, 张文吉. 农药残留急性膳食风险评估研究进展 [J]. 食品科学, 2007, 28(2): 363-368.
- [27] 高仁君, 王蔚, 陈隆智, 等. JMPR 农药残留急性膳食摄入量计算方法 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(4): 101-105.
- [28] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality [M]. (3rd ed.). Geneva: WHO express, 2008. 155-156.
- [29] National Research Council. Risk assessment in the Federal Government: managing the process [M]. Washington, DC: National Academy Press, 1983. 51-85.
- [30] US Environmental Protection Agency (US EPA). Guidelines for authors of EPA office of water health advisories for drinking water contaminants [R]. Washington D C: US EPA, 1989. 24-30.
- [31] US Environmental Protection Agency (US EPA). Guidelines for authors of EPA office of water health advisories for drinking water contaminants [M]. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. 165-173.

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 ϵ -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 ₁₀ 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 ^{II} (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

国内外公开发行人