

黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物健康风险评估

董继元¹, 王式功^{2,3}, 尚可政^{2,3}

(1.兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000; 2.兰州大学半干旱气候变化教育部重点实验室, 兰州 730000; 3.兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

摘要:近年来黄河兰州段的邻苯二甲酸酯类污染日渐严重, 为研究黄河兰州段水体中邻苯二甲酸酯类有机污染物对人体产生的潜在健康危害风险, 根据黄河兰州段 2005 年 5 个采样点水质监测数据, 应用美国环境保护局(USEPA)的健康风险评估方法对邻苯二甲酸酯类有机污染物通过饮水和皮肤接触 2 种途径进入人体的健康风险进行了初步评价。结果表明, 黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物的非致癌风险指数值均小于 1, 其中邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯的非致癌风险指数值相对较高, 在 10^{-2} 数量级, 高于邻苯二甲酸正丁酯。从位于兰州市饮用水水源地范围内的 3 号采样点(S3)采集的水样中邻苯二甲酸酯类有机污染物的非致癌风险指数值偏高, 具有较高的健康风险。不同暴露途径健康风险的对比表明, 饮水是水体中有毒有机污染物危害人体健康的最主要途径, 其对人体健康总风险的贡献远大于洗浴皮肤暴露。常规的自来水处理工艺不能有效地去除源水中微量 PAEs 等有机污染物, 因此地面水特别是饮用源水 PAEs 污染具有较大的健康风险。与国内其他地区相比, 黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物的非致癌风险亦较高。

关键词:黄河; 水环境; 邻苯二甲酸酯类; 健康风险评估

中图分类号: X820.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2010)05-0963-06

Water Environmental Health Risk Assessment of Phthalic Acid Esters in Lanzhou Reach of Yellow River

DONG Ji-yuan¹, WANG Shi-gong^{2,3}, SHANG Ke-zheng^{2,3}

(1.China Key Laboratory of Western China's Environmental Systems of Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2.China Key Laboratory of Semi-Arid Climate Change of Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3.College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The phthalic acid esters (PAEs) pollution of the Lanzhou Reach of Yellow River area has been more and more serious in recent years. In order to investigate potential health risk to human bodies caused by organic pollutants of phthalic acid esters in waters there, based on water quality monitoring data from 5 sampling sites in the Lanzhou reach of the Yellow River in 2005, a preliminary assessment of the health risk caused by ingestion from drinking water and dermal contact with shower water was performed by using a health risk method of USEPA. The results showed that the non-carcinogenic risk index values of organic pollutants of phthalic acid esters were far below 1. The non-carcinogenic risks of di-2-ethylhexyl phthalate were around 10^{-2} , higher than dibutyl phthalate. The non-carcinogenic risk index value of phthalic acid esters at sampling site 3(S3) located in drinking water sources of Lanzhou City was relatively high, and might carry a higher health risk. The comparison of health risks of different routes of exposure showed that the drinking water was the main route of PAEs endangering the human health, its contribution to the total risk was much higher than the dermal contact with shower water. The routine treatment technology of tap water could not remove effectively the trace organic pollutants (such as PAEs, etc). Therefore, the PAEs pollution of surface water carried a great health risk, especially when surface water was used as a drinking-water resource. Compared with other regions in China, the non-carcinogenic risk of phthalic acid esters in the Lanzhou Reach of the Yellow River were much higher.

Keywords: Yellow River; water environment; phthalic acid esters; health risk assessment

收稿日期: 2009-10-16

基金项目: 国家自然科学基金(40675077); 国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAC03A10, 2008BAC40B04-6)

作者简介: 董继元(1982—), 男, 甘肃兰州人, 博士研究生, 主要研究方向为干旱区环境有机污染机制。E-mail: yuiopdongjiyuan@163.com

邻苯二甲酸酯类(Phthalic Acid Esters, PAEs)是一类重要的有机化合物,主要用作塑料增塑剂,也可用作农药载体、驱虫剂、化妆品、香味品、润滑剂和去泡剂的生产原料。环境中微量 PAEs 可产生扰乱动物内分泌的生化 and 整体效应,是环境内分泌干扰化合物中的一类^[1]。随着工业的发展,PAEs 的用量逐渐增多,且 PAEs 在环境中残留期较长,生物对 PAEs 有较强的富集作用。因此,一旦 PAEs 进入自然生态系统中,会对公众健康带来潜在危害。兰州有众多石油化工生产企业,随着石化工业的发展及塑料制品的大量使用,黄河兰州段邻苯二甲酸酯类的污染日趋严重^[2]。

健康风险评价(Health Risk Assessment, HRA)是20世纪80年代以后兴起的狭义环境风险评价的重点,它是以风险度作为评价指标,把环境污染与人体健康联系起来,定量描述污染物对人体产生健康危害的风险^[3]。近年来,我国研究者应用美国环保局推荐的健康风险评价模型^[4-5],分别对长江口、北京官厅水库等有毒有机物的污染健康风险进行了评价^[6-7]。但到目前为止,针对黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物健康风险评价鲜见报道,因此评价黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物对人群的健康风险,以及如何采取相应的规划和管理措施,具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

FINNIGAN TRACE DSQ2000 型气相色谱四级杆质谱联用仪(美国热电集团),配 DB-5MS 柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);EASY 固相萃取柱(德国 Macherey Nagel 公司)。甲醇、二氯甲烷、丙酮、正己烷采用 HPLC 级,均为色谱纯,99.9%。所有有机溶剂购自天津市光复精细化工研究所和天津市四友生物医学技术有限公司。有机溶剂没有经过二次处理。所有标准样品均购自德国 Dr. Ehrerstorfer 公司。所有玻璃容器在使用前均用重铬酸钾浸泡,再分别用自来水、超纯水、丙酮淋洗后在烘箱中 200℃烘 2 h,以除去有机物的污染,然后存放在相对无有机物的环境中备用。为降低邻苯二甲酸酯的污染,实验中避免使用塑料制品^[2]。

1.2 实验方法

1.2.1 样品采集

采样断面选择主要以兰州地区作为中心,在兰州的上游和下游设采样断面,自上而下设置以下各断面。S1 断面:对照断面(黄河与其支流湟水河汇合前,

西固达川乡黄河桥,没有受到一级支流的污染,污染源主要是青海省黄河沿岸的污染源)。S2 断面:监测断面(黄河兰州段一级支流湟水进黄河入口处,西固达川乡湟水桥)。S3 断面:兰州市饮用水水源地范围内(自来水厂取水点上游 200 m 处,柴门村吊桥)。S4 断面:污染断面(东岗杨家湾黄河大桥,该断面有兰州市工业废水、生活污水等污染源)。S5 断面:自净断面(什川黄河大桥, S4 断面下游 25 km 处)。采样区域和采样点位置见图 1。于 2005 年 3—4 月,对每个采样断面进行采样。每个断面用深水采样器按断面四分法在左、中、右 3 点约在水面下 0.5 m 处平行采样,水样装入棕色玻璃瓶中并溢流,棕色瓶置于冰水中,每个样品采集 1 000 mL。采样后尽快(6 h 内)将样品送达实验室,在 4℃条件下贮藏待萃取^[2]。

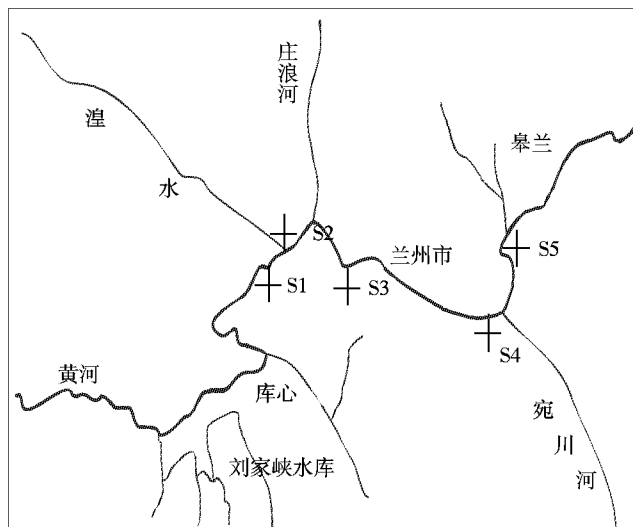


图1 黄河兰州段采样位置示意图

Figure 1 Map of sampling sites in the Lanzhou Reach of Yellow River

1.2.2 样品的前处理

样品的预处理:处理前将样品合并,用量筒量取 500 mL 水样,先用预先在 450℃焙烧 4 h 的玻璃纤维滤膜 GF-1(0.7 μm)过滤,再用纤维素过滤膜(0.45 μm)过滤以除去水样中的悬浮物和杂质。过滤后,用 5 mL 甲醇冲洗滤膜阻留的分析物,将冲洗液加入上述的滤液^[2]。

EASY 固相萃取:依次用二氯甲烷 5 mL、甲醇 5 mL、超纯水 5 mL 清洗 EASY 固相萃取柱(SPE 柱,3 mL,200 mg),先让溶剂在小柱中停留 5 min 左右,使其完全浸润填料,以大约 2~3 mL·min⁻¹ 的流速流出。控制 500 mL 水样流速,使水样呈滴状流过 SPE 柱,以约 5~10 mL·min⁻¹ 流过小柱^[2]。

EASY 洗脱:萃取完毕后,用 5 mL 甲醇:超纯水(5:95)淋洗小柱,真空干燥小柱 30 min。然后采用二氯甲烷:丙酮:正己烷(体积比为 4:3:3)10 mL 洗脱剂在柱中停留 1 min 后,以 $2 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 的流速将分析物洗脱。将收集的洗脱液在 40°C 水浴中用高纯氮气缓慢吹干,用 $200 \mu\text{L}$ 二氯甲烷溶解,保存于 4°C 下待测^[2]。

1.2.3 样品分析

气相色谱条件:FINIGANTRACE DSQ 气质联用仪,DB-5MS 柱($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm} \times 0.25 \mu\text{m}$);进样口温度 280°C ;柱温初始 50°C ,保持 2 min,以 $2^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升到 78°C ,以 $1^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升到 94°C ,保持 2 min,以 $4^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升到 200°C ,保持 2 min,以 $8^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升到 250°C ,保持 10 min,最后以 $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升到 280°C ,保持 10 min;无分流进样 $1 \mu\text{L}$;载气为高纯氦气(99.999%),流量为 $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

质谱条件:接口温度 280°C ,EI 源,能量 70 eV,质量范围 50~550,溶剂延迟 3 min,全扫描方式,NIST 谱库。根据相对保留时间和扣除本底后在 NIST 谱库中进行手工检索并与标准质谱图比较进行定性,确定了黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物的种类。

从检出数量、检出率来看,邻苯二甲酸正丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯在各断面均检出。所以使用气相色谱仪-氢火焰离子化检测器(Gas Chromatography-flame ionization detector,GC-FID)对邻苯二甲酸正丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯进行了定量分析。采用外标法定量分析样品中的邻苯二甲酸正丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯,其标准曲线的相关系数分别为 0.999 4 和 0.988 1,二者的加标回收率分别为 94.3 和 89.9^[2]。

1.3 评价方法

关于对水体中污染物的健康风险评价,有多种方法和模型^[8],虽然其计算方法不尽相同,但其依据的基本原理是相通的。本研究拟采用美国环境保护署(USEPA)的暴露计算方法^[4-5],并结合文献[6]的方法,对黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物的健康风险进行初步评价。

由表 1 黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物浓度可以看出^[2],邻苯二甲酸正丁酯(DBP)、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)在各断面均检出。故选择上述 2 种代表性有毒有机污染物进行健康风险评价。

1.3.1 风险分类

水环境健康风险评价主要是针对水环境中对人体有害的物质,这些物质可分为 2 类:致癌物和非致

表 1 黄河兰州段水体中 PAEs 浓度

Table 1 Concentrations of PAEs in the Lanzhou Reach of Yellow River

采样点 编号	备注	监测断面	$C/\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	
			邻苯二甲酸 正丁酯	邻苯二甲酸 二(2-乙基己 基)酯
S1	对照断面	西固达川乡黄河桥	5.02	36.00
S2	监测断面	西固达川乡湟水桥	1.48	1.04
S3	饮用水水源地	柴门村吊桥	3.64	33.95
S4	污染断面	东岗黄河大桥	13.89	109.93
S5	自净断面	什川黄河大桥	4.41	4.68
水环境标准值			3	8

癌物。根据国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer,IARC)对化学物质致癌性的划分,邻苯二甲酸正丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯均属于非致癌物,所以本研究采用美国环境保护署(USEPA)的健康风险评价方法,对黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物通过饮水和洗浴 2 种途径进入人体所产生的非致癌健康风险进行评价。

1.3.2 非致癌风险评价

一般认为生物体对非致癌物的反应有剂量阈值,低于阈值则认为不产生不利于健康的影响。本研究中对非致癌物质只考虑超过国家标准的部分。非致癌风险通常用风险指数(HI)进行描述,其定义为由于暴露造成的长期日摄入量与参考剂量的比值,可用下式计算^[4-7]:

$$HI = CDI/RfD \quad (1)$$

式中:CDI 为长期日摄入量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; RfD 为污染物的参考剂量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。本评价过程中所用参考剂量由 USEPA 网站(<http://www.epa.gov/ebtpages/humanhealth.html>)查得。

1.3.3 长期日摄入量(CDI)的计算

长期日摄入量的计算采用 USEPA 使用的计算公式,具体为^[4-7]:

饮水途径暴露计算:

$$CDI = C \times U \times EF \times ED / (BW \times AT) \quad (2)$$

皮肤接触暴露途径计算:

$$CDI = I \times A_{sd} \times EF \times FE \times ED / (BW \times AT \times f) \quad (3)$$

$$I = 2 \times 10^{-3} \times k \times C \times \sqrt{6 \times \tau \times TE / \pi} \quad (4)$$

式中:C 为水中化学物质的质量浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; U 为日饮用水量, $\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$; EF 为暴露频率, $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$; ED 为暴露延时, a; BW 为平均体重, kg; AT 为平均暴露时间, d; I 为每次洗澡时皮肤对污染物的吸附量, $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{次}^{-1}$;

Asd 为人体的表面积, cm^2 ; FE 为洗澡频率, $\text{次}\cdot\text{d}^{-1}$; TE 为洗澡的时间, h ; f 为肠道吸附比率 (量纲为 1); k 为皮肤吸附参数, $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$; τ 为延滞时间, h , 其值与污染物种类有关。

本研究计算所需参数的取值全部来自文献[4-7]: 日饮水量(U)为 $2\text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$; 暴露频率(EF)取 $365\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$; 暴露延时(ED), 对于非致癌物取 30 a, 对于致癌物取 70 a; 平均体重(BW)取 70 kg ; 平均暴露时间(AT), 对于非致癌物取 30 a (即 $10\,950\text{ d}$), 对于致癌物取 70 a (即 $25\,550\text{ d}$); 人体表面积(Asd)取 $16\,600\text{ cm}^2$; 洗澡频率(FE)取 $0.3\text{ 次}\cdot\text{d}^{-1}$; 洗澡的时间(TE)取 0.4 h ; 肠道吸附比率(f)取 1; 皮肤吸附参数(k)取 $0.001\text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$; 假设每种污染物的延滞时间(τ)为 1 h 。计算中所使用的各种物质的化学及毒理学参数均由 USEPA 网站查得(见表 2)。

表 2 邻苯二甲酸酯类的化学及毒理学特性	
Table 2 Chemical and toxicological character of phthalic acid esters	
化学物质	非致癌参考剂量(RfD)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$
邻苯二甲酸正丁酯	0.1
邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	0.02

2 结果与分析

在所有的采样点中, 邻苯二甲酸正丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯均普遍检出, 特别是在西固柴门村吊桥监测断面邻苯二甲酸正丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯的浓度较高, 均超过国家地表水环境质量标准(GB 3838—2002), 而西固柴门村吊桥监测断面位于兰州市城市生活饮用水地表水源保护区范围内, 较高的 PAEs 污染物浓度说明兰州市城市生活饮用水地表水源已受到一定程度的 PAEs 污染。

根据 USEPA 的暴露评价模型和评价参数, 可以计算出黄河兰州段邻苯二甲酸酯类通过饮水途径和洗浴过程的非致癌风险值(见表 3)。根据 USEPA 的相关定义^[4], 对于非致癌风险, 当风险指数超过 1 时, 认为会对人体健康产生危害。由计算结果可以看出, 黄河兰州段 5 个采样点的邻苯二甲酸酯类的非致癌风险指数值均远远低于 1, 说明这些污染物不会对人体产生明显的非致癌健康危害。但要说明的是, 邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯的非致癌风险指数计算值明显高于邻苯二甲酸正丁酯, 在西固柴门村吊桥监测断面邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯的非致癌风险指

数计算值高出邻苯二甲酸正丁酯 1 个数量级。邻苯二甲酸正丁酯和邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯被美国 USEPA 列为优先控制的有毒污染物, 且具有类雌激素活性, 对生态环境和人体健康具有较大危害性。而西固柴门村吊桥位于兰州市城市生活饮用水地表水源保护区范围内, 是兰州市生活饮用水的重要来源, 常规的自来水处理工艺如加氯、高锰酸钾氧化等方法都不能有效地去除源水中微量 PAEs 等有机污染物, 因此邻苯二甲酸正丁酯和邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯通过饮水途径和洗浴过程对兰州市人群健康产生的危害不容忽视。

表 3 邻苯二甲酸酯类的非致癌风险				
Table 3 Non-cancerous risk of phthalic acid esters				
类别	监测断面	饮水风险	洗浴风险	总风险
邻苯二甲酸正丁酯	西固达川乡黄河桥	1.43×10^{-3}	6.24×10^{-6}	1.44×10^{-3}
	西固达川乡湟水桥	4.23×10^{-4}	1.84×10^{-6}	4.25×10^{-4}
	柴门村吊桥	1.04×10^{-3}	4.53×10^{-6}	1.04×10^{-3}
	东岗黄河大桥	3.97×10^{-3}	1.73×10^{-5}	3.99×10^{-3}
	什川黄河大桥	1.26×10^{-3}	5.49×10^{-6}	1.27×10^{-3}
邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	西固达川乡黄河桥	5.14×10^{-2}	2.24×10^{-4}	5.17×10^{-2}
	西固达川乡湟水桥	1.49×10^{-3}	6.47×10^{-6}	1.49×10^{-3}
	柴门村吊桥	4.85×10^{-2}	2.11×10^{-4}	4.87×10^{-2}
	东岗黄河大桥	1.57×10^{-1}	6.84×10^{-4}	1.58×10^{-1}
	什川黄河大桥	6.69×10^{-3}	2.91×10^{-5}	6.71×10^{-3}

3 讨论

由于邻苯二甲酸正丁酯和邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯被广泛地应用而且难以降解, 这 2 种污染物在整个世界水环境中的浓度比其他 PAEs 含量高, 并且引起了广泛的重视。因此, 选取黄河兰州段这 2 种污染物的浓度与其他地区水体的浓度相比较^[2,9-16], 如表 4 所示。

黄河兰州段水体中的邻苯二甲酸正丁酯浓度高于马来西亚的 Klang 河、长江三峡库区、上海黄浦江; 而比东北松花江和黄河小浪底浓度要低得多; 与黄河孟津桥、长江武汉段、浙江钱塘江浓度水平相近。黄河兰州段水体中的邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯浓度明显高于英国 Trent 河和马来西亚的 Klang 河, 与黄河中下游 3 个不同断面比较, 黄河兰州段水体中的邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯浓度亦远高于黄河中下游 3 个不同断面。与国内其他地区主要河流断面相比, 黄河兰州段水体中的邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯浓度也维持在较高的水平。综上所述, 黄河兰州段

表 4 黄河兰州段 PAEs 浓度与国内外水体的比较
Table 4 PAEs concentrations in all kinds of water bodies
at home and abroad

位置	C/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	
	邻苯二甲酸正丁酯	邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯
黄河兰州段	5.69	37.12
黄河小浪底	21.00	24.00
黄河孟津桥	4.28	0.347
黄河花园口	n.d.	15.00
长江武汉段	8.33	14.67
长江三峡库区	1.62	1.78
上海黄浦江	0.604	1.25
东北松花江	93.87	20.89
浙江钱塘江	7.13	2.00
英国 Trent 河	n.d	11.25
马来西亚 Klang 河	1.97	23.45

注:n.d.表示未检出。

水中PAEs 污染处于中等偏上水平。

由表 5 可以看出,黄河兰州段邻苯二甲酸正丁酯的非致癌风险计算值处于中等偏上水平。而邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯非致癌风险计算值大小依次是黄河兰州段>黄河小浪底>东北松花江>马来西亚的Klang 河>黄河花园口>长江武汉段>浙江钱塘江>长江三峡库区>上海黄浦江>黄河孟津桥>英国 Trent 河。邻苯二甲酸正丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯是重要的环境激素类物质及美国 EPA 优先控制污染物,上述两种有机污染物将给黄河兰州段居民的健康造成很大的潜在威胁,应予以重视。

黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物的来源与

中国其他地区相比存在一定差异。兰州市位于青藏高原东北侧的黄河河谷盆地内,南面皋兰山海拔 2 129 m,北面九州台海拔 2 067m,市区中心海拔 1 517.2 m,盆地呈椭圆形,河谷盆地分东、西两部分,中间是狭窄的连接地段,河谷盆地内气流闭塞。兰州市主导风向为东北风,其频率为 37.0%,全年静风和小风日数占 60%以上;1 月份平均风速为 $0.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,静风频率为 81%。造成静风的原因是兰州西北东南分别有乌鞘岭、华家岭、兴隆山、马衔山、冷龙岭等大山,大风经常被阻挡和屏蔽,这种特殊的闭塞地形导致静风现象的产生。静风现象的增多,不利于兰州大气污染物扩展稀释。兰州市逆温现象较为严重,全年约有 80%的天数出现逆温,出现逆温现象时其持续时间长,有时甚至终日不散,抑制了兰州大气污染物的扩散与稀释^[7]。除上述的因素外,还有其他的一些气象动力因素。比如特殊的地理位置,兰州地处青藏高原的北麓,由于高原对空气侧向摩擦作用,使得在兰州和西宁上空有负涡度产生,长期维持着一小高压,俗称“兰州小高”而高压中盛行下沉气流,也使得兰州的污染物相对难以扩散^[8]。邻苯二甲酸正丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯属于半挥发性有机污染物,二者的饱和蒸汽压较低,不易挥发扩散。而黄河兰州段的上游存在较大规模的石油化工产业,每年废水和废气的排放量相当可观,故黄河兰州段邻苯二甲酸酯类污染可能来源于两部分:一是石化工业废水、二是兰州地区植被覆盖率较低,每年冬春季沙尘暴频发,降尘量较大,相当数量的邻苯二甲酸酯类有机污染物可以通过沙尘暴沉降途径进入到黄河兰州段水体中。其他地区邻苯二

表 5 不同地区水体中邻苯二甲酸酯类的健康风险指数值
Table 5 Human health risk index value of phthalic acid esters in the water body of different regions

位置	邻苯二甲酸正丁酯			邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯		
	饮水	洗浴	总风险	饮水	洗浴	总风险
黄河兰州段	1.63×10^{-3}	7.08×10^{-6}	1.63×10^{-3}	5.30×10^{-2}	2.31×10^{-4}	5.33×10^{-2}
黄河小浪底	6.00×10^{-3}	2.61×10^{-5}	6.03×10^{-3}	3.43×10^{-2}	1.49×10^{-4}	3.44×10^{-2}
黄河孟津桥	1.22×10^{-3}	5.32×10^{-6}	1.23×10^{-3}	4.96×10^{-4}	2.16×10^{-6}	4.98×10^{-4}
黄河花园口	—	—	—	2.14×10^{-2}	9.33×10^{-5}	2.15×10^{-2}
长江武汉段	2.38×10^{-3}	1.04×10^{-5}	2.39×10^{-3}	2.10×10^{-2}	9.12×10^{-5}	2.10×10^{-2}
长江三峡库区	4.63×10^{-4}	2.02×10^{-6}	4.65×10^{-4}	2.54×10^{-3}	1.11×10^{-5}	2.55×10^{-3}
上海黄浦江	1.73×10^{-4}	7.52×10^{-7}	1.73×10^{-4}	1.79×10^{-3}	7.79×10^{-6}	1.80×10^{-3}
东北松花江	2.20×10^{-2}	9.56×10^{-5}	2.21×10^{-2}	3.41×10^{-2}	1.48×10^{-4}	3.42×10^{-2}
浙江钱塘江	2.04×10^{-3}	8.87×10^{-6}	2.05×10^{-3}	2.86×10^{-3}	1.24×10^{-5}	2.87×10^{-3}
英国 Trent 河	—	—	—	3.21×10^{-4}	1.40×10^{-6}	3.23×10^{-4}
马来西亚 Klang 河	5.62×10^{-4}	2.45×10^{-6}	5.64×10^{-4}	3.35×10^{-2}	1.46×10^{-4}	3.36×10^{-2}

注:“—”为没有相关计算数据。

甲酸酯类有机污染物主要来源于工业废水、生活污水的排放。

4 结论

黄河兰州段邻苯二甲酸酯类有机污染物健康风险值都在能够接受的合理范围内,故认为目前其并不会对人体健康构成明显的危害。但与国内外其他地区相比,邻苯二甲酸酯类有机污染物非致癌风险仍较高,尤其是位于兰州市城市生活饮用水地表水源保护区范围内的西固柴门村吊桥断面的邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯的非致癌风险值偏高,健康危害的风险相对较大,应引起环保部门的重视,必要时建议采取相应的措施。

参考文献:

- [1] 胡晓宇, 张克荣, 孙俊红, 等. 中国环境中邻苯二甲酸酯类化合物污染的研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2003, 13(1): 9-14.
HU Xiao-yu, ZHANG Ke-rong, SUN Jun-hong, et al. Research on pollution of phthalic acid ester in the environment, China[J]. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 2003, 13(1): 9-14.
- [2] 牛静萍, 刘亚平, 阮 烨, 等. 黄河兰州段环境激素的污染水平[J]. 环境与健康杂志, 2006, 23(6): 527-529.
NIU Jing-ping, LIU Ya-ping, RUAN Ye, et al. Investigation of environmental hormone level in Lanzhou Reach of Yellow River[J]. *Journal of Environmental Health*, 2006, 23(6): 527-529.
- [3] 曾光明, 卓 利, 钟政林, 等. 水环境健康风险评估模型[J]. 水科学进展, 1998, 9(3): 212-217.
ZENG Guang-ming, ZHUO Li, ZHONG Zheng-lin, et al. Assessment models for water environmental health risk analysis[J]. *Advances in Water Science*, 1998, 9(3): 212-217.
- [4] U S EPA. Guidelines for exposure assessment[R]. FRL4129-5 Washington DC: Office of Health and Environmental Assessment, U. S. EPA, 1992.
- [5] U S EPA. Risk assessment guidance for superfund (Volume I) human health evaluation manual, EPA/540/1-89/002[R]. Washington: Office of Emergency and Remedial Response, 1989.
- [6] 张映映, 冯 流, 刘征涛. 长江口区域水体半挥发性有机污染物健康风险评估[J]. 环境科学研究, 2007, 20(1): 18-23.
ZHAN Ying-ying, FENG Liu, LIU Zheng-tao. Health risk assessment on semi volatile organic compounds in water of Yangtze estuary area[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(1): 18-23.
- [7] 万译文, 康天放, 周忠亮, 等. 北京官厅水库水体中挥发性有机物健康风险评估[J]. 环境科学研究, 2009, 22(2): 150-154.
WAN Yi-wen, KANG Tian-fang, ZHOU Zhong-lian, et al. Health risk assessment of volatile organic compounds in water of Beijing Guanting Reservoir[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(2): 150-154.
- [8] 曾光明, 卓 利, 钟政林, 等. 水环境健康风险评估模型及其应用[J]. 水电能源科学, 1997, 15(4): 28-33.
ZENG Guang-ming, ZHUO Li, ZHONG Zheng-lin, et al. Assessment models for water environmental health risk analysis[J]. *International Journal Hydroelectric Energy*, 1997, 15(4): 28-33.
- [9] 沙玉娟, 夏星辉, 肖翔群. 黄河中下游水体中邻苯二甲酸酯的分布特征[J]. 中国环境科学, 2006, 26(1): 120-124.
SHA Yu-juan, XIA Xing-hui, XIAO Xiang-qun. Distribution characters of phthalic acid ester in the waters middle and lower reaches of the Yellow River[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(1): 120-124.
- [10] 王 凡, 沙玉娟, 夏星辉, 等. 长江武汉段水体邻苯二甲酸酯分布特征研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 1163-1168.
WANG Fan, SHA Yu-juan, XIA Xing-hui, et al. Distribution characteristics of phthalic acid esters in the Wuhan section of the Yangtze River[J]. *Environmental Science*, 2008, 29(5): 1163-1168.
- [11] 许 川, 舒为群, 罗财红, 等. 三峡库区水环境多环芳烃和邻苯二甲酸酯类有机污染物健康风险评估[J]. 环境科学研究, 2007, 20(5): 57-60.
XU Chuan, SHU Wei-qun, LUO Cai-hong, et al. Water environmental health risk assessment of PAHs and PAEs in the Three Gorges Reservoir[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(5): 57-60.
- [12] 胡雄星, 韩中豪, 周亚康, 等. 黄浦江表层水体中邻苯二甲酸酯的分布特征及风险评估[J]. 环境化学, 2007, 26(2): 258-259.
HU Xiong-xing, HAN Zhong-hao, ZHOU Ya-kang, et al. Distribution and risk assessment of phthalic acid ester in surface water of the Huangpu River[J]. *Environmental Chemistry*, 2007, 26(2): 258-259.
- [13] 邵晓玲, 马 军. 松花江水中 13 种内分泌干扰物的初步调查[J]. 环境科学学报, 2008, 28(9): 1910-1915.
SHAO Xiao-ling, MA Jun. Preliminary investigation on 13 endocrine disrupting chemicals in the Songhua River[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(9): 1910-1915.
- [14] 张蕴晖, 陈秉衡, 郑力行, 等. 环境样品中邻苯二甲酸酯类物质的测定与分析[J]. 环境与健康杂志, 2003, 20(5): 283-286.
ZHANG Yun-hui, CHEN Bing-heng, ZHENG Li-xing, et al. Determination of phthalates in environmental samples [J]. *Journal of Environment Health*, 2003, 20(5): 283-286.
- [15] Long J L A, House W A, Parker A, et al. Micro-organic compounds associated with sediments in the Humber rivers[J]. *Science of the Total Environment*, 1998, 210/211: 229-253.
- [16] Tan G H. Residue levels of phthalate esters in water and sediment samples from the Klang River basin[J]. *Bullet of Environmental Contamination and Toxicology*, 1995, 54: 171-176.
- [17] 褚 润, 张国珍, 谢红刚. 兰州市大气污染成因分析[J]. 兰州交通大学学报, 2006, 25(4): 59-62.
CHU Run, ZHANG Guo-zhen, XIE Hong-gang. Analysis of the cause of Lanzhou air pollution[J]. *Journal of Lanzhou Jiaotong University (Natural Sciences)*, 2006, 25(4): 59-62.
- [18] 李春华. 气象条件对兰州空气质量的影响[J]. 甘肃科技, 2005, 21(5): 6-7.
LI Chun-hua. The influence of weather condition on air quality in Lanzhou[J]. *Gansu Science and Technology*, 2005, 21(5): 6-7.