

黄河兰州段多环芳烃类有机污染物健康风险评价

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, 甘肃 兰州 730000; 2.兰州大学半干旱气候变化教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000;
3.兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:近年来黄河兰州段的多环芳烃污染日渐严重。为研究黄河兰州段水体中多环芳烃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 2004 年 11 个采样点水质监测数据,应用美国环境保护局(USEPA)的健康风险评价方法对黄河兰州段多环芳烃类有机污染物通过饮水和皮肤接触途径进入人体的健康风险进行了初步评价。结果表明:黄河兰州段多环芳烃类有机污染物的非致癌风险指数值均小于 1,其中萘的非致癌风险指数值在 10^{-3} 数量级,高于其他污染物。苯并(a)芘的致癌风险指数值在 10^{-4} 数量级以下。从位于西固八盘峡的 1 号采样点(S1)采集的水样中萘的非致癌风险指数值偏高。在所有采样点中,西固八盘峡的 1 号采样点(S1)污染较重,具有较高的健康风险。与国内其他地区相比,黄河兰州段萘的非致癌风险亦较高。常规的自来水处理工艺不能有效地去除源水中微量 PAHs 等有机污染物,因此地面水特别是饮用水 PAHs 污染具有较大的健康风险。

关键词:黄河;水环境;持久性有机污染物;健康风险评价

中图分类号:X820.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2009)09-1892-06

Water Environmental Health Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lanzhou Reach of the 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 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) pollution of the Lanzhou reach of the Yellow River has been more and more serious in recent year. In order to investigate potential health risk to human bodies caused by organic pollutants of polycyclic aromatic hydrocarbons in waters there, based on water quality monitoring data from 11 sampling sites in the Lanzhou reach of the Yellow River in 2004, 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 US EPA. The results showed that the non-carcinogenic risk index values of organic pollutants of polycyclic aromatic hydrocarbons were far below 1. The non-carcinogenic risk index value of naphthalene was around 10^{-3} , higher than that of other pollutants. The carcinogenic risk index value of benzo[a]pyrene was below 10^{-4} . The non-carcinogenic risk index value of naphthalene at sampling site 1 (S1) located in the Bapan Gorge of Xigu district was relatively high. Among all the sampling sites, the sampling site 1 (S1) in the Bapan Gorge of Xigu district was the most heavily polluted, and might carry a higher health risk. Compared with other regions in China, the non-carcinogenic risk of naphthalene in the Lanzhou reach of the Yellow River were much higher. The routine treatment technology of tap water can not remove effectively the trace organic pollutants (such as PAHs, etc). Therefore, the PAHs pollution of surface water carries a great health risk, especially when surface water is used as a drinking-water resource.

Keywords: Yellow River; water environment; persistent organic pollutants (POPs); health risk assessment

多环芳烃(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 简

称 PAHs)是一类持久性有机污染物,广泛地存在于各种环境介质中。大部分 PAHs 对生物都有一些不利的影响,如免疫毒性、致癌性和致基因突变性等,还被证实具有内分泌干扰物的作用。因此,多环芳烃引起了人们极大的重视,美国环保局提出了将 16 种 PAHs 作为优先控制污染物^[1-3]。黄河兰州段位于黄河

收稿日期:2009-02-20

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。

E-mail:yuiopdongjiyuan@163.com

上游,城市人口密集,工矿企业众多,主要为煤炭、石油、电力、制药和化工等企业,现状为工业废水大部分未经处理或少部分只经一级处理便直接排入黄河^[4],是黄河干流目前污染相对较为严重的河段之一。黄河兰州段水体的污染已由过去的无机物转向有机物,其中多环芳烃类化合物是主要的有机污染物^[5]。到目前为止,针对黄河兰州段多环芳烃类有机污染物的健康风险评价鲜见报道,本文利用 USEPA 的健康风险评价模型,对黄河兰州段多环芳烃类有机污染物的健康风险进行了初步评价。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

Waters1525 高效液相色谱, Waters2475 荧光检测器, Waters2486 紫外检测器, Waters 反相柱 (Waters, 5C18-MS-II, 4.6×250 mm); 旋转蒸发仪 (RE-52AA); 离心机 (LGR10-4.2); Waters OasisTMHLB 固相萃取柱。正己烷、二氯甲烷、甲醇、乙腈均为色谱纯; PAHs 标样; 氧化铝和中性硅胶 (100~200 目) 于 150 ℃ 烘 4 h, 无水硫酸钠 (分析纯) 于 450 ℃ 烘 8 h 备用。

1.2 实验方法

1.2.1 样品采集

2004 年 11 月, 沿黄河兰州段, 从上游到下游共选取 11 个采样点, 具体采样点列于表 1, 采样区域和采样点位置见图 1。每个采样点取 3 L 水样, 采样期间该河段河流基本参数为: 平均水温 10 ℃, 悬浮物平均含量 $0.29 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 值 8.40, DO 值 $8.68 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均流量 $1120 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表 1 黄河兰州段采样点

Table 1 Sampling sites in the Lanzhou reach of the Yellow River

采样点编号	采样点名称	采样点编号	采样点名称
S1	八盘峡	S7	油污混匀处
S2	兰维厂	S8	污水处理厂
S3	兰炼管道桥	S9	吊桥下
S4	中山桥	S10	峡谷
S5	油污背景	S11	什川
S6	油污干管		

1.2.2 样品处理

对水样进行离心, 取上清液作为待分析的水样品, 底层固体作为悬浮物样品。从上清液中取 1 L 水样品进固相萃取柱。固相萃取柱先用 2 mL 甲醇/二氯甲烷 (1/1, V/V) 润洗, 1 mL 甲醇活化, 1 mL 超水平衡; 水样上样速度为 $8 \sim 10 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$; 用 2 mL 甲醇/超

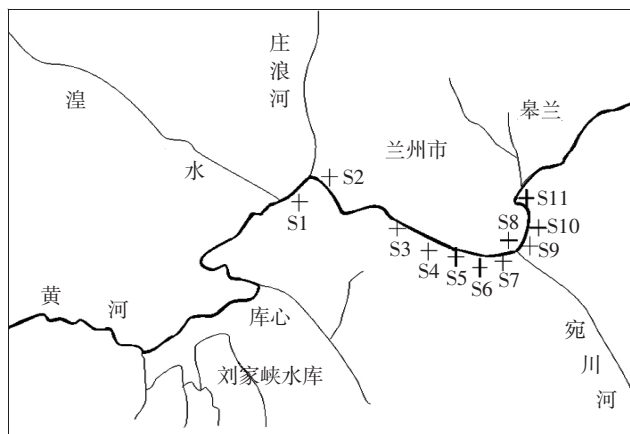


图 1 黄河兰州段采样位置示意图

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

纯水 (1/20, V/V) 净化, 抽干后用 5 mL 二氯甲烷洗脱, 洗脱液在 40 ℃ 旋转蒸发至近干, 用甲醇定容至 1 mL, 经 $0.45 \mu\text{m}$ 有机滤膜过滤, 准备 HPLC 分析。

1.2.3 样品分析

Waters HPLC 测定 PAHs 条件: Waters C18 反相柱, 流动相乙腈/水 (80/20, V/V), 等度洗脱流速 $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$; 荧光检测器激发波长为 280 nm, 发射波长为 355 nm; 紫外检测器检测波长为 254 nm; 进样量为 20 μL 。定性方法采用已有的 PAHs 标准样品进行标定。16 种 PAHs 的基质加标回收率为 78.5%~91.7%。本文中数据均已经过回收率校正。

2 多环芳烃类有机污染物健康风险评价

关于对水体中的污染物进行健康风险评价, 有多种方法和模型^[6-7], 虽然其计算方法不尽相同, 但其依

表 2 样品分析结果

Table 2 Analytical results of the samples

采样点名称	$C/\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$			
	萘	荧蒹	苊	苯并(a)苊
八盘峡	3.69	1.34	0.99	0.17
兰维厂	0.14	0.17	0.12	0.12
兰炼管道桥	0.22	0.18	0.1	0.12
中山桥	1.6	0.24	0.28	0.13
油污背景	0.34	0.13	0.46	0.12
油污干管	5.22	0.32	0.34	0.73
油污混匀处	0.96	0.32	0.14	0.12
污水处理厂	0.99	0.17	0.11	0.12
吊桥下	0.9	0.37	1.65	0.13
峡谷	0.85	0.39	0.19	0.13
什川	0.88	0.38	0.92	0.13

据的基本原理是相通的。本研究采用 USEPA 的暴露计算方法^[8-9],并结合文献[10]的方法,建立了黄河兰州段多环芳烃类有机污染物的健康风险评价模型。

本研究水样处理与分析方法的具体内容、计算风险指数所用的水体有机污染物的数据均来自文献[11]。由文献[11]可知,在黄河兰州段,16种多环芳烃类有机污染物普遍检出,其中萘、苯并(a)芘、荧蒽、芘在黄河兰州段水体中浓度较高,且上述4种有机污染物被美国环保局列入优先控制污染物黑名单,故选择萘、苯并(a)芘、荧蒽、芘4种代表性有毒有机污染物进行健康风险评价。

2.1 风险分类

进行风险评价时,可按照致癌性将风险分为致癌风险和非致癌风险^[8-10]。

2.1.1 非致癌风险(常规毒性风险)

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。作者在该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^[8-10]:

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

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, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

需要指的是,致癌物质也存在非致癌风险。该研究评价过程中所用的参考剂量由 USEPA 网站(<http://www.epa.gov/ebtpages/humanhealth.html>)查得。

2.1.2 致癌风险(遗传毒性风险)

对于致癌性物质,一般认为没有剂量阈值,只要有微量存在,即会对人体产生不利影响。致癌风险通常用风险值(Risk)表示,其定义为长期日摄入量与致癌斜率因子的乘积,表示暴露于该物质而导致的一生中超过正常水平的癌症发病率。可用下式计算^[8-10]:

$$\text{低剂量暴露: Risk}=CDI\times SF \quad (2)$$

当用低剂量计算值大于0.01时换用下式计算:

$$\text{高剂量暴露: Risk}=1-\exp(-CDI\times SF) \quad (3)$$

式中,SF为污染物的致癌斜率因子, $\text{kg}\cdot\text{d}\cdot\text{mg}^{-1}$ 。

2.2 长期日摄入量(CDI)的计算

长期日摄入剂量的计算采用 USEPA 使用的计算公式,具体如下^[8-10]:

饮水途径暴露:

$$CDI=C\times U\times EF\times ED/(BW\times AT) \quad (4)$$

皮肤接触暴露途径:

$$CDI=I\times A_{sd}\times EF\times FE\times ED/(BW\times AT\times f) \quad (5)$$

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

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, $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{次}^{-1}$;A_{sd}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[8-10]:日饮用水量(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30a,对于致癌物取70a;平均体重(BW)取70kg;平均暴露时间(AT),对于非致癌物取30a(即10950d),对于致癌物取70a(即25550d);人体表面积(A_{sd})取 16600 cm^2 ;洗澡频率(FE)取 $0.3\text{ 次}\cdot\text{d}^{-1}$;洗澡的时间(TE)取0.4h;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1h。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3)。

表3 多环芳烃的化学及毒理学特性

Table 3 Chemical and toxicological properties of polycyclic aromatic hydrocarbons

化学物质	致癌斜率因子(SF)/ $\text{kg}\cdot\text{d}\cdot\text{mg}^{-1}$	非致癌参考剂量(RfD)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$
萘	—	0.02
荧蒽	—	0.04
芘	—	0.03
苯并(a)芘	7.3	—

注:“—”为没有查到相关数据。

3 结果与讨论

在所有的采样点中,萘、荧蒽、芘、苯并(a)芘均普遍检出,特别是在八盘峡断面,萘、荧蒽、芘、苯并(a)芘的浓度较高,而八盘峡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PAHs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PAHs污染。

根据 USEPA 的暴露评价模型和评价参数,可以分别计算出黄河兰州段4种不同多环芳烃类有机污染物通过饮水途径和洗浴过程的健康风险指数值(见表4)。根据 USEPA 的相关定义^[9],对于非致癌风险,

当健康风险指数值超过 1 时,认为会对人体健康产生危害。从表 4 可以看出,黄河兰州段 11 个采样点的萘、荧蒹、芘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。但要说明的是萘的非致癌风险指数计算值高出荧蒹、芘 1 个数量级。在西固八盘峡监测断面萘、荧蒹、芘的非致癌风险指数计算值亦远高于黄河兰州段其他监测断面(邻近排污口的断面不包括在内)。萘、荧蒹被列入我国水中优先控制污染物黑名单,而八盘峡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不能有效地去除源水中微量 PAHs 等有机污染物,因此萘、荧蒹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。

对于致癌风险,USEPA 推荐的可接受的致癌风

险指数值为 1.0×10^{-4} ,认为低于该值是可以接受的。由计算结果可以看出,除油污干管断面超标外,黄河兰州段其他 10 个采样点苯并(a)芘致癌风险指数值数量级均在 10^{-4} 以下,因此可以认为黄河兰州段的苯并(a)芘不会对人体产生明显的致癌危害。

通过比较黄河兰州段、长江三峡库区、长江武汉段、杭州钱塘江、黄河中下游小浪底和花园口段面以及法国赛纳河和美国密西西比河不同多环芳烃类有机污染物浓度和健康风险指数计算值(表 5)发现^[12-17],由于上述地区气候、产业结构、地理环境等存在较大的差异,导致各地区水环境中多环芳烃类有机污染物的浓度不同。黄河兰州段 PAHs 平均含量为 $4.020 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($\Sigma 16\text{PAH}$)、长江三峡库区 PAHs 平均含量为 $0.552 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($\Sigma 8\text{PAH}$)、长江武汉段 PAHs 平均含量为 $2.095 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($\Sigma 11\text{PAH}$)、杭州钱塘江 PAHs 平均

表 4 多环芳烃的健康风险指数值

Table 4 Human health risk index value of polycyclic aromatic hydrocarbons

采样点名称	非致癌风险指数值						致癌风险指数值	
	萘		荧蒹		芘		苯并(a)芘	
	饮水	洗浴	饮水	洗浴	饮水	洗浴	饮水	洗浴
八盘峡	5.27×10^{-3}	2.30×10^{-5}	9.57×10^{-4}	4.17×10^{-6}	9.43×10^{-4}	4.11×10^{-6}	3.55×10^{-5}	1.54×10^{-7}
兰维厂	2.00×10^{-4}	8.71×10^{-7}	1.21×10^{-4}	5.29×10^{-7}	1.14×10^{-4}	4.98×10^{-7}	2.50×10^{-5}	1.09×10^{-7}
兰炼管道桥	3.14×10^{-4}	1.37×10^{-6}	1.29×10^{-4}	5.60×10^{-7}	9.52×10^{-5}	4.15×10^{-7}	2.50×10^{-5}	1.09×10^{-7}
中山桥	2.29×10^{-3}	9.95×10^{-6}	1.71×10^{-4}	7.46×10^{-7}	2.67×10^{-4}	1.16×10^{-6}	2.71×10^{-5}	1.18×10^{-7}
油污背景	4.86×10^{-4}	2.11×10^{-6}	9.29×10^{-5}	4.04×10^{-7}	4.38×10^{-4}	1.91×10^{-6}	2.50×10^{-5}	1.09×10^{-7}
油污干管	7.46×10^{-3}	3.25×10^{-5}	2.29×10^{-4}	9.95×10^{-7}	3.24×10^{-4}	1.41×10^{-6}	1.52×10^{-4}	6.93×10^{-7}
油污混匀处	1.37×10^{-3}	5.97×10^{-6}	2.29×10^{-4}	9.95×10^{-7}	1.33×10^{-4}	5.81×10^{-7}	2.50×10^{-5}	1.09×10^{-7}
污水处理厂	1.41×10^{-3}	6.16×10^{-6}	1.21×10^{-4}	5.29×10^{-7}	1.05×10^{-4}	4.56×10^{-7}	2.50×10^{-5}	1.09×10^{-7}
吊桥下	1.29×10^{-3}	5.60×10^{-6}	2.64×10^{-4}	1.15×10^{-6}	1.57×10^{-3}	6.84×10^{-6}	2.71×10^{-5}	1.18×10^{-7}
峡谷	1.21×10^{-3}	5.29×10^{-6}	2.79×10^{-4}	1.21×10^{-6}	1.81×10^{-4}	7.88×10^{-7}	2.71×10^{-5}	1.18×10^{-7}
什川	1.26×10^{-3}	5.27×10^{-6}	2.71×10^{-4}	1.18×10^{-6}	8.76×10^{-4}	3.81×10^{-6}	2.71×10^{-5}	1.18×10^{-7}

表 5 不同地区水体中多环芳烃的健康风险指数值

Table 5 Human health risk index value of polycyclic aromatic hydrocarbons in the water bodies of different regions

采样点	非致癌风险指数值						致癌风险指数值	
	萘		荧蒹		芘		苯并(a)芘	
	饮水	洗浴	饮水	洗浴	饮水	洗浴	饮水	洗浴
兰州	2.05×10^{-3}	8.93×10^{-6}	2.60×10^{-4}	1.13×10^{-6}	4.59×10^{-4}	2.00×10^{-6}	3.83×10^{-5}	1.67×10^{-7}
武汉	1.64×10^{-4}	7.15×10^{-7}	2.33×10^{-4}	1.01×10^{-6}	4.02×10^{-5}	1.75×10^{-7}	9.35×10^{-6}	4.07×10^{-8}
杭州	—	—	3.20×10^{-3}	1.39×10^{-5}	2.81×10^{-3}	1.22×10^{-5}	4.60×10^{-4}	3.36×10^{-3}
小浪底	2.91×10^{-4}	1.27×10^{-6}	1.57×10^{-5}	6.84×10^{-8}	1.81×10^{-5}	7.88×10^{-8}	2.50×10^{-6}	1.09×10^{-8}
花园口	1.50×10^{-4}	6.53×10^{-7}	9.29×10^{-6}	4.04×10^{-8}	2.00×10^{-5}	8.71×10^{-8}	6.26×10^{-7}	2.72×10^{-9}
三峡库区	—	—	9.38×10^{-5}	1.49×10^{-4}	1.12×10^{-4}	1.78×10^{-4}	—	—
美国密西西比河	—	—	3.09×10^{-6}	1.35×10^{-8}	4.86×10^{-5}	2.11×10^{-7}	—	—
法国赛纳河	—	—	2.20×10^{-6}	9.59×10^{-9}	4.95×10^{-6}	2.16×10^{-8}	—	—

注:“—”为没有相关计算数据。

含量为 $41.505 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($\Sigma 10\text{PAH}$)、黄河中下游小浪底和花园口段面 PAHs 平均含量分别为 0.369 和 $0.182 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($\Sigma 15\text{PAH}$)、法国赛纳河 PAHs 平均含量为 $0.02 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($\Sigma 11\text{PAH}$)、美国密西西比河 $0.0408 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($\Sigma 13\text{PAH}$)。与国内的一些河流相比,黄河兰州段水相中 PAHs 的浓度比长江三峡库区、长江武汉段和黄河中下游小浪底、花园口段面的浓度要高,比杭州钱塘江的浓度要低。与国外的一些河流相比,黄河兰州段水相中 PAHs 浓度明显高于赛纳河和密西西比河,说明黄河兰州段水体的 PAHs 污染已较为严重。

由表 5 可以看出,黄河兰州段苯的非致癌风险指数计算值明显高于中国其他地区水体的计算值。荧蒽和芘的非致癌风险指数计算值亦较高。苯并(a)芘的致癌总风险大小依次是:杭州钱塘江>黄河兰州段>长江武汉段>黄河小浪底>黄河花园口。多环芳烃类的苯是重要的环境激素类物质及美国 EPA 优先控制污染物,而苯并(a)芘是致癌性最强的化合物,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。

黄河兰州段多环芳烃类有机污染物的来源与中国其他地区相比存在一定的差异。黄河兰州段水环境中多环芳烃的来源主要是石油及其炼制产品燃烧,还存在矿石、煤、木炭燃烧等混合污染源;长江三峡库区水体的多环芳烃主要来源于燃料燃烧;长江武汉段 PAHs 的污染主要是燃烧源,其中包括化石燃料、煤以及木材的燃烧;黄河小浪底、花园口断面 PAHs 主要来源于煤炭燃烧。黄河兰州段的上游存在较大规模的石油化工产业,每年排放的废水和废气的量相当可观,故黄河兰州段多环芳烃类有机污染物可能来源于两部分:一是石油化工业废水,二是兰州地区每年冬春季沙尘暴频发,降尘量较大,相当数量的多环芳烃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。长江三峡库区、长江武汉段、黄河小浪底和花园口断面多环芳烃类有机污染物主要来源于石油、煤等燃料以及木材、天然气、汽油、重油、纸张、作物秸秆、烟草等含碳氢化合物的物质,经不完全燃烧或在还原性气氛中热分解生成的。

4 结论

黄河兰州段多环芳烃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。但与国内其他地区相比,多环芳烃类的苯非致癌风险仍较高,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八盘峡监测断面苯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] Malik A, Singh K P, Mohan D, et al. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in Gomti River system, India[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2004, 72(6): 1211-1218.
- [2] QIAO-Min, WANG Chun-xia, HUANG Sheng-biao, et al. Composition, sources, and potential toxicological significance of PAHs in the surface sediments of the Meiliang Bay, Taihu Lake, China[J]. *Environment International*, 2006, 32(1): 28-33.
- [3] 罗雪梅, 刘昌明, 何孟常. 黄河沉积物中多环芳烃的分布特征及来源分析[J]. *环境科学研究*, 2005, 18(2): 48-50.
LUO Xue-mei, LIU Chang-ming, HE Meng-chang. Distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment from the Yellow River[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2005, 18(2): 48-50.
- [4] 马和梅. 黄河兰州段水污染现状调查与防治[J]. *甘肃环境研究与检测*, 2002, 15(4): 303-304.
MA He-mei. The present situation investigation and control of water pollution in the Lanzhou Reach of the Yellow River [J]. *Gansu Environmental Study and Monitoring*, 2002, 15(4): 303-304.
- [5] 杨玉霞, 徐晓琳. 黄河兰州段水环境中多环芳烃来源解析[J]. *地下水*, 2007, 29(1): 20-23.
YANG Yu-xia, XU Xiao-lin. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in water environment of the Lanzhou reach of the Yellow River [J]. *Ground Water*, 2007, 29(1): 20-23.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] U S EPA. Guidelines for exposure assessment[R]. FRL4129-5 Washington DC: Office of Health and Environmental Assessment, U S EPA, 1992.
- [9] U S EPA. Risk assessment guidance for superfund (Volume I) human health evaluation manual, EPA/540/1-89/002[R]. Washington DC: Office of Emergency and Remedial Response, 1989.
- [10] 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.
ZHANG 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.
- [11] 戴树桂. 黄河兰州段典型污染物迁移转化特性及承纳水平研究[M].

- 北京:化学工业出版社, 2006:17-190.
- DAI Shu-gui. The research on transport and transformation Characteristics of typical pollutants and capacity level in the Lanzhou Reach of the Yellow River [M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2006:17-190.
- [12] 郭志顺,罗财红,张卫东,等.三峡重庆库区 PAHs 污染研究[J].四川大学学报, 2006,43(6):1337-1340.
- GUO Zhi-shun, LUO Cai-hong, ZHANG Wei-dong, et al. Research on PAHs pollution of the Three Gorges Reservoir in Chong Qin[J]. *Journal of Sichuan University*, 2006, 43(6):1337-1340.
- [13] 冯承莲,夏星辉,周追,等.长江武汉段水体中多环芳烃的分布及来源分析[J].环境科学学报, 2007,27(11):1900-1908.
- FENG Cheng-lian, XIA Xing-hui, ZHOU Zhui, et al. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Wuhan section of the Yangtze River[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(11):1900-1908.
- [14] CHEN Bao-liang, XUAN Xiao-dong, ZHU Li-zhong, et al. Distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface waters, sediments and soils of Hangzhou City, China[J]. *Water Research*, 2004, 38(16):3558-3568.
- [15] LI Gong-chen, XIA Xing-hui, YANG Zhi-feng, et al. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the middle and lower reaches of the Yellow River, China[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 144(3):985-993.
- [16] Fernandes M B, Sicre M A, Boireau A, et al. Polyaromatic hydrocarbon (PAH) distributions in the Seine River and its estuary[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1997, 34(11):857-867.
- [17] Mitra S, Bianchi T S. Preliminary assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon distributions in the lower Mississippi River and Gulf of Mexico[J]. *Marine Chemistry*, 2003, 82(4):273-288.