

乌鲁木齐市饮用水源地中邻苯二甲酸酯健康风险评价

韩芹芹¹, 王涛¹, 邵龙美¹, 李凡^{2*}

(1. 乌鲁木齐市环境监测中心站, 新疆维吾尔自治区 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆维吾尔自治区自然资源厅机关服务中心, 新疆维吾尔自治区 乌鲁木齐 830002)

摘要:采用美国环保署(US EPA)推荐的健康风险评价模型,对乌鲁木齐市饮用水源地中的邻苯二甲酸酯(PAEs)通过饮水途径致人体健康危害风险进行初步评价。结果显示,乌鲁木齐市地表饮用水源地的2种PAEs[邻苯二甲酸(2-乙基己基)酯(DEHP)和邻苯二甲酸二丁酯(DBP)]浓度全部达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)特定项目标准限值要求,DEHP总检出率达58.3%~100.0%,DBP总检出率达100%,DEHP通过饮水途径引起的致癌和非致癌总风险数量级达 10^{-10} ~ 10^{-8} ,DBP通过饮水途径引起的非致癌风险数量级达 10^{-13} ~ 10^{-11} 。乌鲁木齐市地下饮用水源地的DEHP浓度全部达到《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)中I类标准限值要求,总检出率达66.7%~100.0%,通过饮水途径引起的总风险数量级分布中,城市集中式饮用水源地为 10^{-10} ~ 10^{-9} ,县城(区)饮用水源地为 10^{-10} ~ 10^{-8} 。地表和地下饮用水源地的致癌和非致癌总风险均低于US EPA和国际癌症机构(ICRP)的最大可接受风险水平,并低于瑞典环境保护署、荷兰建设和环境署以及英国皇家协会的最大可接受风险水平,处于I级,低风险状态。

关键词:饮用水源地;邻苯二甲酸酯;健康风险评价;乌鲁木齐市

中图分类号:X824

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2022)02-0032-07

Health Risk Assessment of Phthalate Esters in Drinking Water Source Area in Urumqi City

HAN Qin-qin¹, WANG Tao¹, SHAO Long-mei¹, LI Fan^{2*}

(1. Urumqi City Environmental Monitoring Center Station, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. The Service Center of the Department of Natural Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830002, China)

Abstract: Using the health risk assessment model recommended by the United States Environmental Protection Agency (US EPA) to conduct a preliminary assessment of the risk of human health hazards caused by PAEs in drinking water sources in Urumqi City. The results showed that two kinds of PAEs (DEHP and DBP) in surface drinking water sources in Urumqi all meet the limits set by "Surface Water Environmental Quality Standards" (GB 3838—2002), the total detection rates of DEHP were 58.3%~100.0%, and DBP were 100% detected. The total carcinogenic and non-carcinogenic risk of DBP is of the order of 10^{-10} ~ 10^{-8} , and the non-carcinogenic risk of DBP caused by drinking water is of the order of 10^{-13} ~ 10^{-11} . The concentration of one kind of PAEs (DEHP) in the underground drinking water source of Urumqi City all meet the requirements of Class I standard set by "Groundwater Quality Standard" (GB/T 14848—2017), and the total detection rates were 66.7%~100.0%. The total risk order of magnitude distribution is 10^{-10} ~ 10^{-9} for urban centralized drinking water sources, and 10^{-10} ~ 10^{-8} for county (district) water sources. The total carcinogenic and non-carcinogenic risk of surface drinking water sources and underground drinking water source are lower than the maximum acceptable risk levels of US EPA and ICRP, and are lower than the maximum acceptable risk level for the Swedish Environmental Protection Agency, the Dutch Construction and Environment Agency and the Royal Society of the United Kingdom as well. The risk level is at level I and has a low risk status.

Key words: Drinking water source; Phthalates; Health risk assessment; Urumqi City

收稿日期:2021-11-14;修订日期:2021-11-21

作者简介:韩芹芹(1981—),女,高级工程师,硕士,从事环境监测与综合统计分析工作。

*通讯作者:李凡 E-mail:583107805@qq.com

邻苯二甲酸酯 (PAEs) 是重要的塑料增塑剂, 被广泛应用于塑料制品、化妆品、农药的生产中, 属于环境内分泌干扰物, 具有不稳定、难降解和代谢慢等特点。它既是美国环保署 (US EPA) 重点控制的水环境污染物质, 也是中国“水中优先控制污染物”中的有机毒物^[1]。饮用水安全事关人民群众的生命健康, 是各级政府必须重视的重大民生问题。近年来, 有学者采用 US EPA 的健康风险评价模型对乌鲁木齐市的部分饮用水源地进行了健康风险评价^[2], 评价项目主要以重金属为主, 尚未涉及 PAEs。为进一步系统地研究乌鲁木齐市饮用水源地健康风险水平, 现采用该模型, 以乌鲁木齐市环境监测中心站饮用水源地水质常规监测数据为基础, 对该市饮用水源地水体中的 PAEs 污染物通过饮水途径导致的人体健康风险进行初步评价, 为全市饮用水的使用和管理提供理论依据。

1 研究区概况

乌鲁木齐市是新疆维吾尔自治区的首府, 地处亚欧大陆腹地, 属干旱半干旱区, 气候干燥, 水资源极度匮乏, 该市饮用水源地包括地表水源地和地下水源地 2 种类型。地表水源地中, 有乌拉泊水库水源地和米东区二水厂水源地 (均为城市集中式饮用水源地), 水源补给主要来源于乌鲁木齐河、头

屯河、柴窝堡、达坂城和东山水系这五大内陆河系。地下水源地中, 三屯碑—燕儿窝水源地、柴北水源地、柴西水源地、西山水源地和水磨河水源地均属于城市集中式饮用水源地, 新化水源地、达坂城水源地、八钢水源地、石化水源地和米泉一水厂水源地均属于县城 (区) 饮用水源地, 水源补给主要由天山冰雪融化渗流及乌鲁木齐河潜流水系渗漏补给, 其次由农灌水回渗及降水回渗补给。

2 饮用水源地监测及评价结果

2.1 地表饮用水源地

地表饮用水源地监测时间为 2013—2021 年, 根据原国家环境保护总局印发的《城市集中式饮用水源地水质监测、评价与公布方案》(环发〔2002〕144 号) 的要求, 地表饮用水源地水质基本监测项目包括《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[3] 表 1 中的 24 项和表 2 中的 5 项补充项目, 每月监测 1 次, 全年监测 12 次。表 3 中包括 PAEs [邻苯二甲酸(2-乙基己基)酯 (DEHP) 和邻苯二甲酸二丁酯 (DBP) 等] 在内的优选 33 项有机特定项目, 每年监测 1 次。地表饮用水源地水质评价中, 基本项目执行《GB 3838—2002》中 III 类标准限值, PAEs 执行特定项目标准限值, DEHP 和 DBP 的标准限值分别为 0.008 和 0.003 mg/L。

表 1 2013—2021 年乌鲁木齐市地表饮用水源地水质评价结果^①

水源地名称	水质评价类别								
	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
乌拉泊水库	III (良好)	II (优)	II (优)	II (优)	II (优)	II (优)	II (优)	II (优)	II (优)
米东区二水厂	II (优)	II (优)	I (优)	I (优)	I (优)	I (优)	I (优)	I (优)	I (优)

① 米东区二水厂水源地于 2021 年起停止监测。

2013—2021 年乌鲁木齐市地表饮用水源地水质评价结果见表 1。由表 1 可见, 乌拉泊水库水源地 2013 年达到《GB 3838—2002》III 类标准限值 (良好), 2014 年至今全部达到 II 类标准限值 (优); 米东区二水厂水源地 2013—2014 年全部达到 II 类标准限值 (优), 2015—2020 年全部达到 I 类标准限值 (优), 水质状况全部为优。地表饮用水源地的 5 个补充项目全部达到《GB 3838—2002》中的补充项目标准限值, PAEs 全部达到特定项目标准限值。

2.2 地下饮用水源地

地下饮用水源地监测时间为 2017—2021 年,

新版《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)^[4] 于 2018 年正式实施, 与旧版《地下水质量标准》(GB/T 14848—93) 相比, 新增了包含 PAEs 在内的 47 项毒理学有机污染指标, 城市集中式饮用水源地每年监测 1 次, 县城 (区) 水源地每 2 年 (偶数年) 监测 1 次。地下饮用水源地水质评价执行《GB/T 14848—2017》III 类标准限值。

2017—2020 年乌鲁木齐市地下饮用水源地水质评价结果见表 2。由表 2 可见, 城市集中式饮用水源地中的三屯碑—燕儿窝和西山水源地 2018 年起全部达到 II 类标准限值; 柴北水源地全部达到 III 类标准限值; 柴西水源地除 2018 年达到 II 类标准

表 2 2017—2021 年乌鲁木齐市地下饮用水源地水质评价结果^①

水源地类别	水源地名称	水质评价类别				
		2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
城市集中式饮用水源地	三屯碑—燕儿窝	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	
	柴北	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
	柴西	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
	西山	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
	水磨河	V	V	V	V	V
县城(区)饮用水源地	新化	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	
	达坂城	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	
	八钢	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	
	石化	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	
	米泉一水厂	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	

① 三屯碑—燕儿窝水源地和县城(区)饮用水源地自 2021 年起停止监测。

限值外,其余年份全部达到Ⅲ类标准限值;水磨河水源地总硬度超出标准限值 0.21~0.35 倍,溶解性总固体超出标准限值 0.24~0.36 倍,硫酸盐超出标准限值 0.87~1.03 倍,但源水经水厂软化处理后可达标。县城(区)饮用水源地中的八钢和新化水源地分别自 2018、2019 年起全部达到Ⅱ类标准限值;达坂城水源地自 2020 年起达到Ⅱ类标准限值;石化和米泉一水厂水源地全部达到Ⅲ类标准限值,水质均满足《GB/T 14848—2017》的要求。2018 年以来,乌鲁木齐市地下饮用水源地的 DEHP 浓度全部达到Ⅰ类标准限值。

3 水环境健康风险评价方法

饮用水源健康风险评价模型主要针对化学致癌物和非致癌物,多采用 US EPA 推荐的健康风险评价模型,建立污染物对人体健康危害影响的计算模型及相关评价参数,估算污染物健康风险的可接受水平。现采用 US EPA 的暴露计算方法^[5]评估饮用水源水中 2 种 PAEs 的致癌风险和非致癌风险水平。根据国际癌症机构(IARC)对化学物质的致癌性划分,DEHP 具有致癌风险,DEHP 和 DBP 均具有非致癌风险,致癌与非致癌风险分别按式(1)~(4)计算。

$$\text{致癌风险: } R_c = [1 - \exp(-D_i \times q_i)] / 72 \quad (1)$$

$$D_i = (2.2 \times C_i) / 70 \quad (2)$$

$$\text{非致癌风险: } R_n = (D_i / \text{RfD}) \times 10^{-6} / 72 \quad (3)$$

$$\text{总健康危害风险: } R_{\text{总}} = R_c + R_n \quad (4)$$

式中: R_c 、 R_n ——致癌物、非致癌物经饮水途径产生的个人年平均健康风险; D_i ——单位体重日均暴露剂量,mg/(kg·d); q_i ——致癌强度系数,(kg·d)/mg;2.2——成人平均每日饮水量,L;

C_i ——水中污染物的实际质量浓度,mg/L;70——人均体重,kg;RfD——非致癌参考剂量,mg/(kg·d);72——乌鲁木齐市人群平均寿命,a^[5]。通过查阅 US EPA 手册资料,选取 DEHP 的 q_i 和 RfD 值为 1.40×10^{-2} (kg·d)/mg 和 0.02 mg/(kg·d),选取 DBP 的 RfD 值为 0.10 mg/(kg·d)。

US EPA 和国家辐射防护委员会(ICRP)等机构提出了对社会公众成员的最大可接受风险值水平^[5],Zhu 等^[6]参考这些机构的风险评价标准,将风险评价标准分为 6 个等级,见表 3。

表 3 风险等级、风险程度和风险值范围评价标准^①

风险等级	风险程度	风险值范围
I	低	$1.0 \times 10^{-6}^{***} \sim 1.0 \times 10^{-5}$
II	低—中	$1.0 \times 10^{-5} \sim 5.0 \times 10^{-5}^{**}$
III	中	$5.0 \times 10^{-5}^{**} \sim 1.0 \times 10^{-4}^{*}$
IV	中—高	$1.0 \times 10^{-4}^{*} \sim 5.0 \times 10^{-4}$
V	高	$5.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-3}$
VI	极高	$1.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^{-3}$

①*为 US EPA 推荐值,**为 ICRP 推荐值,***为瑞典环保署、荷兰建设和环境署及英国皇家协会推荐值。

4 分析方法与质量控制

水质样品的采集、保存及质量保证措施均参照《环境监测方法标准实用手册》^[7]和《环境水质监测质量保证手册》^[8]的技术要求执行,分析方法均参照《生活饮用水标准检验方法 有机物指标》(GB/T 5750.8—2006)^[9]实行。分析仪器为 7890A 气相色谱仪和 5975C 质谱仪(美国安捷伦公司),DEHP 和 DBP 检出限分别为 0.06 和 0.01 μg/L。采用国家环境保护部标准样品研究所提供的标准样品进行质量控制,为确保数据的准确

性,采取 10% 的平行双样和 20% 的加标回收等措施进行质量控制,相对标准偏差(RSD)均 < 10%,符合标准要求。整个分析过程所用试剂均为优级纯,实验用水均为亚沸水。监测结果低于监测方法的最低检出限时,按《水环境监测规范》(SL 219—2018)^[10] 的规定,以 1/2 最低检出限进行统计处理。

5 结果分析

5.1 地表饮用水源地水中 2 种 PAEs 浓度及评估

乌鲁木齐市地表水源地水体中 2 种 PAEs 浓度分布见表 4。由表 4 可见,2013—2021 年,地表饮用水源地的 DEHP 总检出率达到 58.3% ~ 100.0%,2014 年以来检出率呈逐年上升趋势。乌

拉泊水库水源地 DEHP 年均质量浓度为 0.06 L ~ 1.73 μg/L(0.06 L 代表未检出,检出限为 0.06 μg/L),年均最大值为 0.36 ~ 1.73 μg/L,米东区二水厂水源地 DEHP 质量浓度为 0.06 L ~ 2.06 μg/L,年均最大值为 0.41 ~ 2.06 μg/L,各水源地年均最大值均出现在 2014 年,随后基本呈逐年下降趋势。地表饮用水源地的 DBP 总检出率均为 100.0%,乌拉泊水库水源地 DBP 年均质量浓度为 0.02 ~ 2.64 μg/L,米东区二水厂水源地 DBP 年均质量浓度为 0.02 ~ 2.78 μg/L,各水源地年均最大值均出现在 2013 年。

地表饮用水源地中 2 种 PAEs 健康风险水平见表 5。

表 4 乌鲁木齐市地表水源地水体中 2 种 PAEs 浓度分布

水源地名称	年份	DEHP			DBP		
		检出率/ %	ρ (年均)/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	ρ (中值)/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	检出率/ %	ρ (年均)/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	ρ (中值)/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
乌拉泊水库	2013—2021	58.3 ~ 100.0	0.06L ~ 1.73	0.22	100.0	0.02 ~ 2.64	0.26
米东区二水厂	2013—2020	58.3 ~ 100.0	0.06L ~ 2.06	0.18	100.0	0.02 ~ 2.78	0.28

表 5 乌鲁木齐市地表水源地水体中 2 种 PAEs 健康风险水平^①

水源地名称	年份	R_c (DEHP)		R_n (DEHP)		$R_{\text{总}}$ (DEHP)		R_n (DBP)	
		最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值
乌拉泊水库	2013	1.83×10^{-10}	1.83×10^{-10}	6.55×10^{-13}	6.55×10^{-13}	1.84×10^{-10}	1.84×10^{-10}	3.23×10^{-12}	5.76×10^{-11}
	2014	1.83×10^{-10}	1.83×10^{-8}	6.55×10^{-13}	6.53×10^{-11}	1.84×10^{-10}	1.83×10^{-8}	4.15×10^{-12}	3.51×10^{-11}
	2015	1.83×10^{-10}	1.47×10^{-8}	6.55×10^{-13}	5.24×10^{-11}	1.84×10^{-10}	1.47×10^{-8}	1.96×10^{-12}	5.39×10^{-11}
	2016	7.33×10^{-10}	8.80×10^{-9}	2.62×10^{-12}	3.14×10^{-11}	7.36×10^{-10}	8.83×10^{-9}	6.55×10^{-13}	3.34×10^{-11}
	2017	4.89×10^{-10}	9.41×10^{-9}	1.75×10^{-12}	3.36×10^{-11}	4.91×10^{-10}	9.44×10^{-9}	1.75×10^{-12}	2.42×10^{-11}
	2018	7.94×10^{-10}	2.69×10^{-9}	2.84×10^{-12}	9.60×10^{-12}	7.97×10^{-10}	2.70×10^{-9}	1.31×10^{-12}	6.11×10^{-12}
	2019	1.83×10^{-10}	3.61×10^{-9}	6.55×10^{-13}	1.29×10^{-11}	1.84×10^{-10}	3.62×10^{-9}	4.37×10^{-13}	8.08×10^{-12}
	2020	1.83×10^{-10}	4.03×10^{-9}	6.55×10^{-13}	1.44×10^{-11}	1.84×10^{-10}	4.05×10^{-9}	1.53×10^{-12}	1.18×10^{-11}
	2021	1.83×10^{-10}	2.20×10^{-9}	6.55×10^{-13}	7.86×10^{-12}	1.84×10^{-10}	2.21×10^{-9}	1.53×10^{-12}	3.30×10^{-11}
	米东区二水厂	2013	1.83×10^{-10}	1.83×10^{-10}	6.55×10^{-13}	6.55×10^{-13}	1.84×10^{-10}	1.84×10^{-10}	1.75×10^{-12}
2014		1.83×10^{-10}	2.47×10^{-8}	6.55×10^{-13}	8.84×10^{-11}	1.84×10^{-10}	2.48×10^{-8}	2.18×10^{-12}	3.93×10^{-11}
2015		5.50×10^{-10}	5.99×10^{-9}	1.96×10^{-12}	2.14×10^{-11}	5.52×10^{-10}	6.01×10^{-9}	1.53×10^{-12}	5.94×10^{-11}
2016		9.17×10^{-10}	1.10×10^{-8}	3.27×10^{-12}	3.93×10^{-11}	9.20×10^{-10}	1.10×10^{-8}	2.18×10^{-12}	2.95×10^{-11}
2017		4.28×10^{-10}	1.06×10^{-8}	1.53×10^{-12}	3.78×10^{-11}	4.29×10^{-10}	1.06×10^{-8}	1.75×10^{-12}	1.35×10^{-11}
2018		6.11×10^{-10}	2.99×10^{-9}	2.18×10^{-12}	1.07×10^{-11}	6.13×10^{-10}	3.01×10^{-9}	1.09×10^{-12}	8.08×10^{-12}
2019		1.83×10^{-10}	2.51×10^{-9}	6.55×10^{-13}	8.95×10^{-12}	1.84×10^{-10}	2.51×10^{-9}	4.37×10^{-13}	7.42×10^{-12}
2020		1.83×10^{-10}	2.99×10^{-9}	6.55×10^{-13}	1.07×10^{-11}	1.84×10^{-10}	3.01×10^{-9}	1.31×10^{-12}	1.11×10^{-11}

①2013 年 DEHP 监测结果均低于检出限,按《SL 219—2018》的规定,均以 1/2 最低检出限进行统计。

由表 5 可见,DEHP 通过饮水途径引起的致癌风险数量级分布显示,饮用水源地总体达 10^{-10} ~

10^{-8} 。其中,乌拉泊水库水源地 2014—2015 年年均最大值均达到 10^{-8} ,2016 年以来年均最大值降

低一个数量级,达到 10^{-9} 。米东区二水厂水源地 2014—2017 年年均最大值均达到 10^{-8} ,2018 年以来年均最大值降低一个数量级,达到 10^{-9} 。

DEHP 通过饮水途径引起的非致癌风险数量级分布显示,饮用水源地总体达 $10^{-13} \sim 10^{-11}$ 。其中,乌拉泊水库水源地 2018 和 2021 年年均最大值为 10^{-12} ,米东区二水厂水源地 2019 年年均最大值为 10^{-12} 外,其余年份年均最大值均为 10^{-11} 。

DEHP 通过饮水途径引起的总风险数量级分布显示,饮用水源地总体达 $10^{-10} \sim 10^{-8}$,均低于 US EPA 和 ICRP 的最大可接受风险水平,并低于瑞典环境保护署、荷兰建设和环境署以及英国皇家协会的最大可接受风险水平(1.0×10^{-6}),处于 I 级,低风险状态。各饮用水源地的总健康危害风险年均值以致癌物健康危害风险为主,占总风险的 99.64% 以上。

DBP 通过饮水途径引起的非致癌风险数量级分布显示,饮用水源地总体达 $10^{-13} \sim 10^{-11}$ 。2018 和 2019 年年均最大值均为 10^{-12} ,其余年份最大值均为 10^{-11} ,即 1 年中每个人的健康最大有 10^{-11} 的概率受到水体中非致癌物的影响,概率极小,不会对暴露人群构成明显的危害。

5.2 地下饮用水源地水体中 DEHP 浓度及评估

乌鲁木齐市地下饮用水源地水体中 DEHP 浓度分布见表 6。由表 6 可见,2018—2021 年,乌鲁木齐市地下饮用水源地的 DEHP 总检出率为 66.7% ~ 100.0%,质量浓度为 0.06 L ~ 2.96 $\mu\text{g}/\text{L}$,其中城市集中式饮用水源地总检出率为 66.7% ~ 100.0%,年均质量浓度为 0.06 L ~ 0.97 $\mu\text{g}/\text{L}$,县城(区)饮用水源地检出率均为 100.0%,年均质量浓度为 0.14 ~ 2.96 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

表 6 乌鲁木齐市地下饮用水源地水体中 DEHP 浓度分布

水源地分类	年份	检出率/%	ρ (年均)/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	ρ (中值)/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
城市集中式饮用水源地	2018—2021	66.7 ~ 100.0	0.06L ~ 0.97	0.15
县城(区)饮用水源地	2018—2020	100.0	0.14 ~ 2.96	0.23
总体	2018—2021	66.7 ~ 100.0	0.06L ~ 2.96	0.18

乌鲁木齐市地下饮用水源地中 DEHP 的健康风险水平见表 7。由表 7 可见,DEHP 通过饮水途径引起的致癌风险数量级分布显示,城市集中式饮用水源地总体为 $10^{-10} \sim 10^{-9}$ 。三屯碑—燕儿窝水源地为 10^{-10} ,柴北、柴西和西山 3 个水源地 2018 和 2021 年较其他年份由 10^{-10} 升高到 10^{-9} ,水磨河水源地除 2019 年为 10^{-10} 外,其余年份均为 10^{-9} 。县城(区)饮用水源地总体为 $10^{-10} \sim 10^{-8}$,八钢、达坂城和石化水源地均为 10^{-9} ,米泉一水厂水源地为 $10^{-10} \sim 10^{-9}$,新化水源地为 $10^{-10} \sim 10^{-8}$ 。

DEHP 通过饮水途径引起的非致癌风险数量级分布显示,城市集中式饮用水源地总体为 $10^{-13} \sim 10^{-11}$ 。除柴北和柴西水源地 2021 年均均为 10^{-11} 外,各水源地其余年份均为 $10^{-13} \sim 10^{-12}$ 。县城(区)水源地总体为 $10^{-12} \sim 10^{-11}$,石化和米泉一水厂水源地均为 10^{-12} ,八钢、达坂城和新化水源地 2020 年均均为 10^{-11} ,均比 2018 年高出一个数量级。

DEHP 通过饮水途径引起的总风险数量级分布显示,城市集中式饮用水源地总体为 $10^{-10} \sim$

10^{-9} ,县城(区)水源地总体为 $10^{-10} \sim 10^{-8}$,均低于 US EPA 和 ICRP 的最大可接受风险水平,并低于瑞典环境保护署、荷兰建设和环境署以及英国皇家协会的最大可接受风险水平(1.0×10^{-6}),处于 I 级,低风险状态。各饮用水源地的总健康危害风险年均值以致癌物健康危害风险为主,占总风险的 99.22% 以上。

6 结论和建议

6.1 结论

(1)地表饮用水源地。2013 年以来,乌鲁木齐市地表饮用水源地中的 2 种 PAEs 的浓度分布显示:DEHP 和 DBP 浓度全部达到《GB 3838—2002》特定项目标准限值要求。DEHP 总检出率达 58.3% ~ 100.0%,年均质量浓度为 0.06 L ~ 2.06 $\mu\text{g}/\text{L}$,最大年均质量浓度为 0.36 ~ 2.06 $\mu\text{g}/\text{L}$,2014 年最高,随后呈逐年下降趋势。DBP 检出率均达 100%,年均质量浓度为 0.02 ~ 2.87 $\mu\text{g}/\text{L}$,最大年均质量浓度出现在 2013 年。

表 7 乌鲁木齐市地下饮用水源地中 DEHP 的健康风险水平

水源地分类	水源地名称	年份	R_c	R_n	$R_{总}$	
城市集中式饮用水源地	三屯碑—燕儿窝	2018	8.56×10^{-10}	3.06×10^{-12}	8.59×10^{-10}	
		2019	4.89×10^{-10}	1.75×10^{-12}	4.91×10^{-10}	
		2020	1.83×10^{-10}	6.55×10^{-13}	1.84×10^{-10}	
	柴北	2018	1.10×10^{-9}	3.93×10^{-12}	1.10×10^{-9}	
		2019	9.17×10^{-10}	3.27×10^{-12}	9.20×10^{-10}	
		2020	1.83×10^{-10}	6.55×10^{-13}	1.84×10^{-10}	
		2021	5.93×10^{-9}	2.12×10^{-11}	5.95×10^{-9}	
	柴西	2018	1.28×10^{-9}	4.58×10^{-12}	1.29×10^{-9}	
		2019	8.56×10^{-10}	3.06×10^{-12}	8.59×10^{-10}	
		2020	1.83×10^{-10}	6.55×10^{-13}	1.84×10^{-10}	
		2021	3.79×10^{-9}	1.35×10^{-11}	3.80×10^{-9}	
	西山	2018	3.06×10^{-9}	1.09×10^{-11}	3.07×10^{-9}	
		2019	3.67×10^{-10}	1.31×10^{-12}	3.68×10^{-10}	
		2020	7.94×10^{-10}	2.84×10^{-12}	7.97×10^{-10}	
		2021	1.83×10^{-9}	6.55×10^{-12}	1.84×10^{-9}	
	水磨河	2018	1.10×10^{-9}	3.93×10^{-12}	1.10×10^{-9}	
		2019	1.83×10^{-10}	6.55×10^{-13}	1.84×10^{-10}	
		2020	1.28×10^{-9}	4.58×10^{-12}	1.29×10^{-9}	
		2021	1.77×10^{-9}	6.33×10^{-12}	1.78×10^{-9}	
	县城(区)饮用水源地	八钢	2018	1.04×10^{-9}	3.71×10^{-12}	1.04×10^{-9}
			2020	3.12×10^{-9}	1.11×10^{-11}	3.13×10^{-9}
达坂城		2018	1.65×10^{-9}	5.89×10^{-12}	1.66×10^{-9}	
		2020	6.36×10^{-9}	2.27×10^{-11}	6.38×10^{-9}	
新化		2018	8.56×10^{-10}	3.06×10^{-12}	8.59×10^{-10}	
		2020	1.81×10^{-8}	6.46×10^{-11}	1.82×10^{-8}	
石化		2018	1.04×10^{-9}	3.71×10^{-12}	1.04×10^{-9}	
		2020	1.53×10^{-9}	5.46×10^{-12}	1.53×10^{-9}	
米泉—水厂		2018	9.17×10^{-10}	3.27×10^{-12}	9.20×10^{-10}	
		2020	1.28×10^{-9}	4.58×10^{-12}	1.29×10^{-9}	

2013 年以来,地表饮用水源地中 2 种 PAEs 的健康风险水平显示,DEHP 通过饮水途径引起的致癌和非致癌总风险数量级达 $10^{-10} \sim 10^{-8}$,DBP 通过饮水途径引起的非致癌风险数量级达 $10^{-13} \sim 10^{-11}$,均低于 US EPA 和 ICRP 的最大可接受风险水平,并低于瑞典环境保护署、荷兰建设和环境署以及英国皇家协会的最大可接受风险水平(1.0×10^{-6}),处于 I 级,低风险状态。各饮用水源地的总健康危害风险年均值均以 DEHP 致癌物健康危害风险为主,占总风险的 99.64% 以上。

(2) 地下饮用水源地。2018 年以来,乌鲁木齐市地下饮用水源地的 DEHP 浓度全部达到《GB/T 14848—2017》中 I 类标准限值要求,总检出率达 66.7% ~ 100.0%,年均质量浓度为 0.06 L ~ 2.96 $\mu\text{g/L}$,其中城市集中式饮用水源地总检出率达 66.7% ~ 100.0%,年均质量浓度为 0.06 L ~ 0.97 $\mu\text{g/L}$,县城(区)饮用水源地总检出率达 100.0%,

年均质量浓度为 0.06L ~ 2.96 $\mu\text{g/L}$ 。

地下饮用水源地的 DEHP 通过饮水途径引起的致癌和非致癌总风险数量级分布显示,城市集中式饮用水源地总体为 $10^{-10} \sim 10^{-9}$,县城(区)饮用水源地总体为 $10^{-10} \sim 10^{-8}$,均低于 US EPA 和 ICRP 的最大可接受风险水平,并低于瑞典环境保护署、荷兰建设和环境署以及英国皇家协会的最大可接受风险水平(1.0×10^{-6}),处于 I 级,低风险状态。各饮用水源地的总健康危害风险年均值以致癌物健康危害风险为主,占总风险的 99.22% 以上。

6.2 建议

乌鲁木齐市饮用水源地中 PAEs 虽未超过国家环境质量标准规定的标准限值要求,但水源地均有检出,表明水源地已受到了少量 PAEs 的污染,对当地的生态系统和人体健康存在一定的风险隐患。水源保护区生态环境保护工作直接影响环境

生态文明和居民生活质量,今后,管理部门应进一步结合污染源普查的相关研究成果,在水源保护区内加大巡查执法力度,注意排查相关排污企业,从源头上游有针对性地进行防控,同时还要进行实时监督管控,形成有效保障机制。

本研究仅对 PAEs 通过饮水途径致个人健康危害风险进行了初步评价,虽然风险值都在可接受范围内,但今后还应考虑其他暴露途径,如通过洗浴、洗漱等皮肤接触,随水汽蒸发通过呼吸道进入人体,饮食摄入等途径,以及人们的消费习惯和职业类型等因素,这需要更加复杂全面的评价方法,从而进一步完善饮用水源地的 PAEs 健康风险评价。

[参考文献]

- [1] 韩芹芹,杨永红. 2007—2013 年乌鲁木齐市集中式饮用水源地水质变化趋势分析及对策建议[J]. 干旱环境监测, 2014, 28(3): 97 - 103.
- [2] 韩芹芹,王涛,杨永红. 乌鲁木齐市主要饮用水源地水质健康风险评价[J]. 中国环境监测, 2015, 31(1): 57 - 63.
- [3] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 地下水质量标准:GB/T 14848—2017[S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [5] US EPA. Guidelines for exposure assessment; FRL41295 [R]. Washington DC: Office of Health and Environmental Assessment, 1992.
- [6] ZHU H, YUAN X Z, ZENG G M, et al. An integrated fuzzy model based on interval numbers for assessment of environmental health risks of water sources[J]. Acta Scientiae Circumstantia, 2009, 29(7): 1527 - 1533.
- [7] 中国环境监测总站. 环境监测方法标准实用手册[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2013.
- [8] 中国环境监测总站. 环境水质监测质量保证手册[M]. 北京:化学工业出版社, 2013.
- [9] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水标准检验方法 有机物指标:GB/T 5750.8—2006[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [10] 中华人民共和国水利部. 水环境监测规范:SL 219—2018[S]. 北京:中国标准出版社, 2018.

勘误更正

本刊 2022 年第 1 期文章《顶空 - 气相色谱/质谱法测定水中四乙基铅的关键因素研究》第二作者徐峥,应为徐臻。

特此更正!

《环境监控与预警》编辑部