

淮河流域安徽段水环境健康风险模糊综合评价

吴转璋, 耿天召 (安徽省环境监测中心站, 安徽合肥 230071)

摘要 [目的]对淮河流域安徽段进行水环境健康风险模糊综合评价。[方法]采用基于区间数的水环境健康风险模糊综合评价模型,针对成人和儿童分别对2015—2017年淮河安徽段的王家坝、鲁台孜、石头埠、蚌埠闸上、沫河口和小柳巷6个断面的水环境健康风险进行评估。[结果]各断面水环境风险级别均属于低—中风险以下,致癌物对人体健康危害远大于非致癌物,水体污染物质对儿童所致健康风险要明显大于对成人所致健康风险,石头埠断面和鲁台孜断面为优先控制断面,六价铬为优先控制污染物。[结论]该研究为淮河流域安徽段水环境风险管理提供理论依据。

关键词 水环境健康风险;模糊综合评价;区间数;淮河安徽段
中图分类号 X 820.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)27-0068-05

Fuzzy Comprehensive Evaluation of Water Environmental Health Risk in Anhui Section of Huaihe River Basin
WU Zhuan-zhang, GENG Tian-zhao (Environmental Monitoring Central Station of Anhui Province, Hefei, Anhui 230071)

Abstract [Objective]To carry out Fuzzy Comprehensive Evaluation of Water Environmental Health Risk in Anhui Section of Huaihe River Basin. [Method]The fuzzy comprehensive evaluation model of water environmental health risk based on interval numbers was applied to two audiences. The water environmental health risks of 6 water quality sections of Wangjia Dam, Lutaizi, Stone Port, Bengbu Gate, Estuary of Foam River and Xiaoliuxiang in the Anhui section of Huaihe were evaluated, respectively. [Result]The risk level of water environment in each section belonged to low-medium risk, and carcinogens were more harmful to human health than non-carcinogens, and the health risk caused by water pollution to children was significantly greater than that to adults. The section of the Stone Port and the Lutaizi section were the priority control sections, and six valence chromium was the priority pollutant. [Conclusion]This research provided theoretical references for the management of water environmental health risk in Anhui section of Huaihe River Basin.

Key words Water environmental health risk;Fuzzy comprehensive evaluation; Interval number;Anhui section of Huaihe River Basin

淮河地处中国东部,位于长江和黄河之间,跨河南、安徽、江苏、山东及湖北5省。淮河安徽段处于淮河中游,上自豫、皖交界的洪河口起,下至皖、苏交界的洪山头止,河道长度430 km。根据2015—2017年的安徽省环境质量报告,淮河干流安徽段总体水质状况为优^[1-3],但是其对人体健康危害的风险程度却难以通过水质指标直观反映出来。

目前水环境健康风险评价采用较多的是美国环境保护局(EPA)推荐的健康风险评价模型,该方法通过分析影响健康的环境因素,评估水体中污染物质对人体产生健康危害的可能性,目前已在许多国家和组织得到了较好的应用^[4]。模型中存在很多具有不确定性因素的参数,在各种参数中,污染物浓度的不确定性较为突出和明显。传统评价一般都采用污染物浓度的年均值,但是年均值却很难反应浓度的变化情况,而采用“区间数”来表示浓度,则能将浓度的最低值和

最高值包含在取值范围内,在一定程度上减小了由于采用浓度的年均值而产生的不确定性。区间数是指实数轴上的一个闭区间,它是一个特殊的模糊数,区间数能够包含一个参数可能数值的范围,也是解决不确定性的一种方法^[5]。鉴于此,笔者采用基于区间数的水环境健康风险模糊综合评价模型,针对成人和儿童分别对2015—2017年淮河安徽段的王家坝、鲁台孜、石头埠、蚌埠闸上、沫河口和小柳巷6个断面的水环境健康风险进行评估,旨在为该流域水环境风险管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源 数据来源于淮河流域(安徽段)6个常规国控监测断面2015—2017年数据,断面设置情况自上游至下游分别为王家坝(S1)、鲁台孜(S2)、石头埠(S3)、蚌埠闸上(S4)、沫河口(S5)、小柳巷(S6),其区位分布见图1。

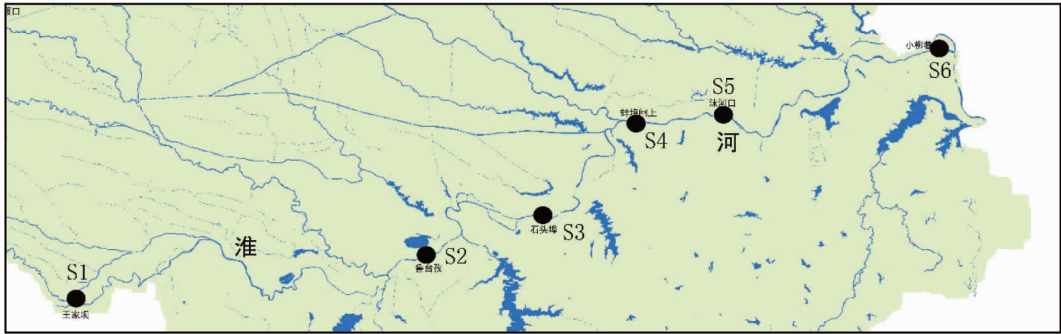


图1 淮河流域安徽段水环境质量监测点位图

Fig.1 Bitmap of water quality monitoring points in Anhui section of Huaihe River Basin

作者简介 吴转璋(1981—),女,安徽太湖人,中级工程师,硕士,从事环境监测研究。
收稿日期 2018-08-10

1.2 基于区间数的水环境健康风险模糊综合评价模型 美国环境保护局推荐的健康风险评价模型把对人体健康有害的物质大致可分为放射性物质、化学致癌物和非致癌物,其

中放射性物质和化学致癌物为基因毒物质,非致癌物为躯体毒物质。由于在水质监测中一般没有检测出放射性污染物,因此在健康风险评价过程中,主要对化学致癌物和非致癌化学有毒物质进行评价^[6-8]。依据国际癌症研究机构 and 世界卫生组织规定的化学致癌物质,选取Cr⁶⁺、Cd、As进行致癌健康风险评估,其致癌系数分别为41.0、6.1和15.0(kg·d)/mg。选取Pb、Hg、Cu、Zn、氨氮、CN⁻、F⁻、挥发酚共8种水质指标进行非致癌健康风险评估,其参考剂量见表1^[9]。

表1 非致癌物经饮水途径的参考剂量

Table 1 Reference doses of non-carcinogens through the drinking water route

非致癌物 Non-carcinogen	参考剂量 Reference dose mg/(kg·d)	非致癌物 Non-carcinogen	参考剂量 Reference dose mg/(kg·d)
Pb	1.4×10 ⁻³	CN ⁻	3.7×10 ⁻²
Hg	3.0×10 ⁻⁴	F ⁻	6.0×10 ⁻²
Zn	3.0×10 ⁻¹	氨氮	9.7×10 ⁻¹
Cu	5.0×10 ⁻³	挥发酚	1.0×10 ⁻¹

1.2.1 基于区间数的化学致癌物对健康危害的风险模型。基于区间数的化学致癌物质通过饮用水途径所致的平均个人健康危害风险计算模型如下:

[min,max]R^c=∑_{i=1}^k[min,max]R^c_{ig} (1)

[min,max]R^c_{ig}=[1-exp(-[min,max]D_{ig}·Q_{ig})]/L (2)

[min,max]D_{ig}=[min,max](C_i×M)/W (3)

式中,R^c为k种化学致癌物经过饮水途径引起的致癌年风险总值,单位为a⁻¹;R^c_{ig}为致癌物i经饮水途径导致的人体致癌年风险,单位为a⁻¹;D_{ig}为致癌物经饮水途径的单位体重日均暴露剂量,单位为mg/(kg·d);Q_{ig}为致癌物i经饮水途径的致癌强度系数,单位为(kg·d)/mg;L为人均寿命(参考《世界卫生组织统计》报告和中国实际情况,人均寿命取为75岁);C_i为单位水体中污染物的浓度,单位为mg/L;M为暴露群体日均饮水量,单位为L/d(参照美国环境保护局在饮水方案与1980年出版的国家水环境基准指南,结合我国《中国人群暴露参数手册》和安徽地区实际的气候情况、生活习惯,选取成人饮水量为1.5L/d^[10],儿童饮水量为1.0L/d^[11]);W为暴露群体的平均体质量,单位为kg[采用2010年颁布的《国民体质监测公报》和国家环境保护总局(SEPA)推荐的成人人均体重为70kg,最终选定70kg为成人人均体重,45kg为儿童人均体重^[12]]。

1.2.2 基于区间数的非致癌物对健康危害的风险模型。基于区间数的非致癌物通过饮用水途径导致个人健康危害的计算模型如下:

[min,max]Rⁿ=∑_{j=1}^l[min,max]Rⁿ_{jg} (4)

[min,max]Rⁿ_{jg}=([min,max]D_{jp}×10⁻⁶/RfD_{jp})/L (5)

式中,Rⁿ为l种非致癌污染物经饮水途径引起的健康危害年风险总值,单位为a⁻¹;Rⁿ_{jg}为非致癌物j经饮水途径所致健康危害的个人平均年风险,单位为a⁻¹;D_{jp}为非致癌物j经饮水途径的单位体重日均暴露剂量,单位为mg/(kg·d);RfD_{jp}

为非致癌物j经饮水途径的参考剂量,单位为mg/(kg·d);L为人均寿命。

1.2.3 基于区间数的水环境健康风险评价总体模型。假设各种水环境污染物对人体健康危害作用均独立,则基于区间数的水环境总的健康危害风险为:

[min,max]R_总=[min,max]R^c+ [min,max]Rⁿ (6)

1.3 评价标准的模糊化 模糊综合评价使用模糊集合对由多种影响因素决定事情做出高效评估的一种综合评估方法。对风险等级的划分采用专家咨询法进行了评价等级边界模糊化,这样可以更科学准确地描述各级风险的划分^[13]。参考美国环境保护局和国际辐射防护委员会(ICRP)的标准,把评价等级划分为5个等级,记为[a_n,b_n](n=1,2,3,4,5),见表2。

表2 评价标准的等级划分与分值

Table 2 Evaluation criteria for grade division and score

风险等级 Risk grade	风险值范围 Risk range/a ⁻¹	风险程度 Risk degree	评价分值 Evaluation socre
I级 Grade I	[1.00×10 ⁻⁵ ,5.00×10 ⁻⁵]	低风险	1
II级 Grade II	[5.00×10 ⁻⁵ ,1.00×10 ⁻⁴]	低—中风险	2
III级 Grade III	[1.00×10 ⁻⁴ ,5.00×10 ⁻⁴]	中风险	3
IV级 Grade IV	[5.00×10 ⁻⁴ ,1.00×10 ⁻³]	中—高风险	4
V级 Grade V	[1.00×10 ⁻³ ,5.00×10 ⁻³]	高风险	5

设有区间为[a,b]的风险值,则[a,b]对[a_n,b_n]的隶属度可以定量表示:

M(l)= $\frac{|[a,b]\cap[a_l,b_l]|}{|[a,b]|}$ (7)

式中,∩为2个区间的交集;||表示区间的几何长度,[a_l,b_l]表示评价标准的第l个等级,l=1,2,⋯,n;m(l)表示[a,b]对[a_l,b_l]的隶属度。

由式(7)得到[a,b]对各个等级的隶属度后,根据一级综合评判得出[a,b]的总风险值,见式(8)。

G=∑_{i=1}^lA(l)·V(l) (8)

式中,V(l)为各等级的赋值。

根据式(8)得出的总风险值G的分值来确定其所处的风险级别,风险级别确定的标准见表3。

表3 总风险值及所对应的等级

Table 3 Total risk value and corresponding level

序号 Code	G 分值 G value	风险等级 Risk level
1	0~1.5	I级
2	1.5~2.5	II级
3	2.5~3.5	III级
4	3.5~4.5	IV级
5	4.5~5.0	V级

2 结果与分析

2.1 研究区水质监测结果 对淮河流域(安徽段)各监测断面2015—2017年数据进行区间化表示,结果见表4。2015—2017年对研究区水质进行逐月监测,研究期间各断面总体水

质状况无明显变化,除入境断面王家坝总体水质满足 GB3838—2002 中Ⅲ类标准要求外,其他各监测断面总体水质均满足 GB3838—2002 中Ⅲ类标准要求。

表 4 2015—2017 年淮河流域(安徽段)各监测断面污染物浓度区间化表示的比较
Table 4 Comparison of pollutant concentration interval representation in each section of Huaihe River from 2015 to 2017

年份 Year	断面 Cross section	六价铬 Hexavalent chromium	镉 Cadmium	砷 Arsenic	铅 Lead	汞 Mercury	铜 Copper	锌 Zinc	氨氮 Ammonia nitrogen	氰化物 Cyanide	氟化物 Fluoride	挥发酚 Volatile penol
2015	王家坝	<0.004 00	[<0.000 05, 0.000 31]	[0.001 14, 0.004 06]	[0.000 36, 0.017 47]	[<0.000 04, 0.000 09]	[0.003 30, 0.129 20]	[0.007 00, 0.857 00]	[0.194 00, 1.290 00]	<0.004 00	[0.390 00, 0.550 00]	<0.000 30
	鲁台孜	[<0.004 00, 0.006 00]	[<0.00005, 0.00050]	[0.000 15, 0.000 82]	[<0.001 00, 0.005 00]	[<0.000 04, 0.000 05]	[0.001 40, 0.003 00]	[0.006 00, 0.121 00]	[0.123 00, 0.516 00]	<0.004 00	[0.370 00, 0.552 00]	<0.001 00
	石头埠	[<0.004 00, 0.006 00]	[<0.000 05, 0.000 50]	[0.000 15, 0.000 88]	[<0.001 00, 0.005 00]	<0.000 04	[<0.000 08, 0.003 30]	[<0.000 67, 0.088 00]	[0.040 00, 0.895 00]	<0.004 00	[0.394 00, 0.483 00]	<0.001 00
	蚌埠闸上	<0.004 00	<0.005 00	<0.000 50	<0.005 00	[0.000 02, 0.000 04]	<0.005 00	[0.002 50, 0.003 00]	[0.059 00, 0.657 00]	<0.004 00	[0.570 00, 0.830 00]	[0.000 15, 0.000 20]
	沫河口	<0.004 00	<0.005 00	[<0.000 50, 0.000 78]	<0.005 00	[0.000 03, 0.000 04]	<0.005 00	[0.002 50, 0.003 00]	[0.066 00, 0.870 00]	<0.004 00	[0.600 00, 0.920 00]	[0.000 15, 0.000 20]
	小柳巷	<0.004 00	<0.005 00	[0.000 80, 0.003 60]	[0.010 00, 0.020 00]	<0.000 05	[<0.005 00, 0.010 00]	[0.010 00, 0.339 00]	[0.002 00, 0.861 00]	<0.004 00	[0.200 00, 0.660 00]	[0.001 30, 0.002 90]
年份 Year	断面 Cross section	六价铬 Hexavalent chromium	镉 Cadmium	砷 Arsenic	铅 Lead	汞 Mercury	铜 Copper	锌 Zinc	氨氮 Ammonia nitrogen	氰化物 Cyanide	氟化物 Fluoride	挥发酚 Volatile penol
2016	王家坝	<0.004 00	[<0.00005, 0.00049]	[0.00070, 0.00375]	[0.00120, 0.01108]	<0.00004	[0.002 00, 0.00910]	[0.001 00, 0.503 00]	[0.130 00, 1.070 00]	<0.004 00	[0.350 00, 0.600 00]	<0.000 30
	鲁台孜	[<0.004 00, 0.006 00]	[<0.00005, 0.00145]	[<0.00030, 0.00224]	[<0.00009, 0.00744]	<0.00004	[<0.00008, 0.01780]	[<0.00067, 0.357 00]	[0.084 00, 0.847 00]	<0.004 00	[0.304 00, 0.572 00]	[<0.000 30, 0.002 00]
	石头埠	[<0.004 00, 0.006 00]	[<0.00005, 0.00039]	[0.00015, 0.00242]	[<0.00009, 0.00478]	[<0.00004, 0.00005]	[<0.00008, 0.01760]	[<0.00067, 0.557 00]	[0.107 00, 0.901 00]	<0.004 00	[0.262 00, 0.607 00]	[0.000 30, 0.001 00]
	蚌埠闸上	<0.004 00	[<0.001 00, 0.002 50]	[<0.000 10, 0.000 33]	[<0.001 00, 0.00250]	[<0.000 01, 0.000 03]	[<0.001 00, 0.00250]	[<0.005 00, 0.010 00]	[0.083 00, 0.913 00]	[<0.001 00, 0.002 00]	[0.340 00, 0.640 00]	<0.000 30
	沫河口	<0.004 00	[<0.001 00, 0.00250]	[<0.000 50, 0.000 67]	[<0.001 00, 0.002 50]	[0.000 01, 0.000 04]	[<0.001 00, 0.00250]	[<0.005 00, 0.010 00]	[0.063 00, 0.983 00]	[<0.001 00, 0.002 00]	[0.420 00, 0.830 00]	<0.000 30
	小柳巷	<0.004 00	<0.005 00	[0.000 90, 0.004 80]	[<0.020 00, 0.040 00]	<0.000 05	[<0.005 00, 0.010 00]	[<0.002 00, 0.141 00]	[0.018 00, 0.963 00]	[<0.004 00, 0.007 00]	[0.220 00, 0.560 00]	[0.001 10, 0.003 10]
年份 Year	断面 Cross section	六价铬 Hexavalent chromium	镉 Cadmium	砷 Arsenic	铅 Lead	汞 Mercury	铜 Copper	锌 Zinc	氨氮 Ammonia nitrogen	氰化物 Cyanide	氟化物 Fluoride	挥发酚 Volatile penol
2017	王家坝	<0.004 00	[<0.000 05, 0.000 25]	[0.000 32, 0.006 59]	[0.000 04, 0.005 43]	<0.000 04	[0.002 10, 0.009 50]	[0.001 00, 0.078 00]	[0.113 00, 1.540 00]	<0.0040 00	[0.337 00, 0.660 00]	<0.000 30
	鲁台孜	[0.002 00, 0.00270]	[<0.000 05, 0.000 41]	[<0.000 30, 0.001 70]	[<0.000 09, 0.006 46]	<0.000 04	[<0.000 08, 0.003 70]	[<0.000 67, 0.306 00]	[0.080 00, 0.871 00]	<0.004 00	[0.281 00, 0.499 00]	[0.000 15, 0.002 00]
	石头埠	[<0.004 00, 0.005 00]	[<0.000 05, 0.000 99]	[0.000 30, 0.002 90]	[<0.000 09, 0.006 53]	[0.000 01, 0.000 03]	[<0.000 08, 0.020 00]	[<0.00067, 0.112 00]	[0.100 00, 0.900 00]	<0.004 00	[0.313 00, 0.492 00]	[0.000 10, 0.001 90]
	蚌埠闸上	<0.004 00	[<0.000 05, 0.000 42]	[<0.000 30, 0.005 30]	[0.000 04, 0.001 41]	<0.000 04	[<0.000 08, 0.002 02]	[<0.000 70, 0.086 00]	[0.060 00, 0.518 00]	[<0.001 00, 0.002 00]	[0.290 00, 0.544 00]	<0.000 30
	沫河口	[0.002 00, 0.002 44]	[<0.000 05, 0.000 50]	[<0.000 30, 0.005 60]	[0.000 05, 0.002 10]	[0.000 02, 0.000 04]	[0.000 04, 0.020 00]	[0.000 35, 0.063 00]	[0.070 00, 0.870 00]	[<0.001 00, 0.002 00]	[0.454 00, 0.670 00]	<0.000 30
	小柳巷	<0.004 00	[0.000 03, 0.002 50]	[0.000 60, 0.003 41]	[0.000 04, 0.010 00]	[0.000 01, 0.000 02]	[0.001 44, 0.002 50]	[0.000 35, 0.038 00]	[0.040 00, 0.946 00]	<0.004 00	[0.320 00, 0.586 00]	[0.000 25, 0.001 50]

2.2 风险评价 从图 2~7 可以看出,致癌物对人体健康危害远大于非致癌物。相对于致癌物,非致癌物所致水环境健康风险可以忽略不计。淮河安徽段各断面污染物对成人所致水环境健康风险范围与儿童所致水环境健康风险范围变化趋势总体相似,各断面污染物对儿童产生的风险明显高于成人,年际之间变化趋势不明显。2015 年,各断面水环境年总风险值排序由高到低依次为石头埠>鲁台孜>小柳巷>王家坝>沫河口>蚌埠闸上;2016 年,各断面水环境年总风险值排序由高到低依次为鲁台孜>石头埠>小柳巷>王家坝>沫河口>蚌埠闸上;2017 年,各断面水环境年总风险值排序由高到低依次为石头埠>沫河口>王家坝>蚌埠闸上>小柳巷>鲁台孜。其中,石头埠断面连续 3 年、鲁台孜断面 2015 和 2016 年化学致癌物所致年风险和年总风险最大值明显高于其他断面,因为这 2 个断面六价铬浓度最大值明显高于其他断面。因此,石头埠断面和鲁台孜

断面为优先控制断面,六价铬为优先控制污染物。
2.3 模糊综合评价 根据区间隶属度公式(7),可以得出 6 个断面对相应风险等级的隶属度值,见表 5。通过隶属度计算,可以得出淮河安徽段流域水环境健康风险等级划分情况,见表 6。除鲁台孜断面和石头埠断面在 2015 年儿童水平、2016 年儿童和成人水平以及石头埠断面在 2017 年儿童水平经饮水途径所致风险等级为Ⅱ级低—中风险外,其余断面在 2015—2017 年,不论是成人还是儿童水平上,经饮水途径所致风险等级均为Ⅰ级低风险。从总体来看,2015—2017 年淮南安徽段流域的水环境健康风险级别并没有发生明显的变化,均属于低—中风险以下。
3 结论
(1)在基于区间数的模糊综合评价法的基础上,对淮河安徽段流域的水环境健康总风险进行等级评估。淮河安徽

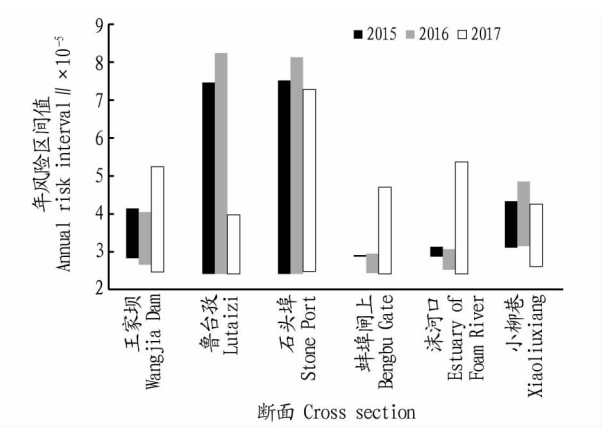


图2 不同断面化学致癌物对成人所致水环境健康年风险区间值的比较

Fig.2 Comparison of annual risk intervals of water environmental health to adults caused by chemical carcinogens in different sections

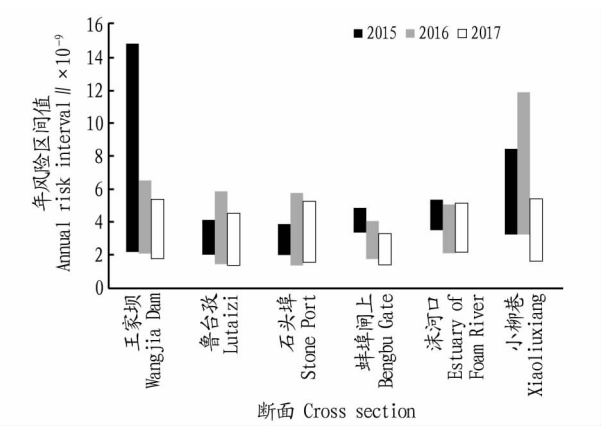


图3 不同断面非致癌物对成人所致水环境健康年风险区间值的比较

Fig.3 Comparison of annual risk interval of water environmental health to adults caused by non-carcinogenic substances in different sections

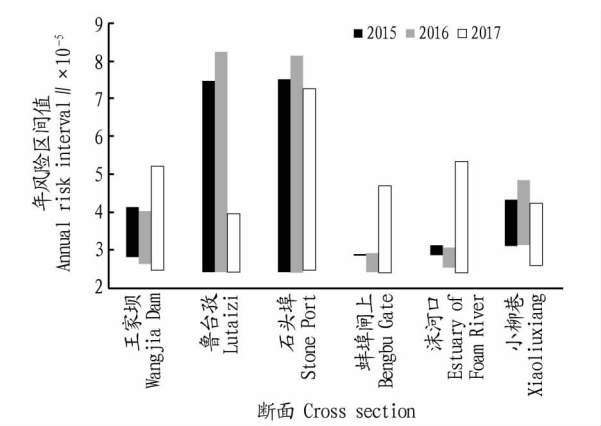


图4 不同断面污染物对成人所致水环境健康年总风险区间值的比较

Fig.4 Comparison of total annual risk interval of water environmental health to adults caused by pollutants in different sections

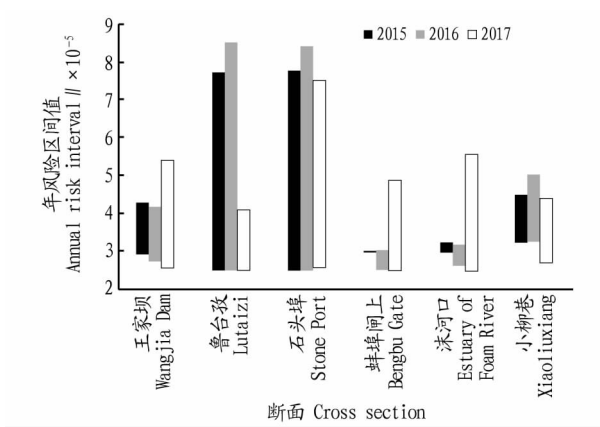


图5 不同断面化学致癌物对儿童所致水环境健康年风险区间值的比较

Fig.5 Comparison of annual risk intervals of water environmental health to children caused by chemical carcinogens in different sections

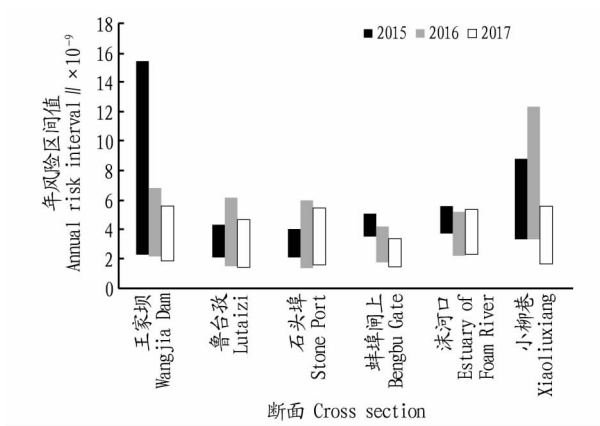


图6 不同断面非致癌物对儿童所致水环境健康年风险区间值的比较

Fig.6 Comparison of annual risk interval of water environmental health to children caused by non-carcinogen in different sections

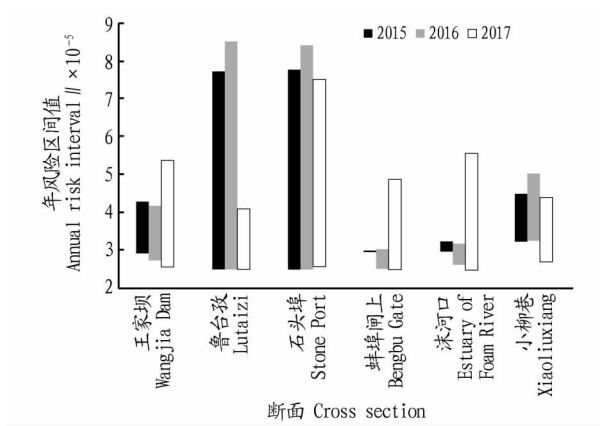


图7 不同断面污染物对儿童所致水环境健康年总风险区间值的比较

Fig.7 Comparison of the total annual risk interval of water environmental health to children caused by pollutants in different sections

表 5 区间风险值划分等级隶属度比较
Table 5 Comparison of grade membership degree of risk value division

项目 Item	王家坝 Wangjia Dam	鲁台孜 Lutaizi	石头埠 Stone Port	蚌埠闸上 Bengbu Gate	沫河口 Estuary of Foam River	小柳巷 Xiaoliuxiang
2015 年成人 Adult in 2015	1.000(低)	0.514(低)、0.486 (低一中)	0.511(低)、0.489 (低一中)	1.000(低)	1.000(低)	1.000(低)
2015 年儿童 Children in 2015	1.000(低)	0.478(低)、0.522 (低一中)	0.476(低)、0.524 (低一中)	1.000(低)	1.000(低)	1.000(低)
2016 年成人 Adult in 2016	1.000(低)	0.446(低)、0.554 (低一中)	0.454(低)、0.546 (低一中)	1.000(低)	1.000(低)	1.000(低)
2016 年儿童 Children in 2016	1.000(低)	0.415(低)、0.585 (低一中)	0.423(低)、0.577 (低一中)	1.000(低)	1.000(低)	0.993(低)、 0.007(低一中)
2017 年成人 Adult in 2017	0.923(低)、0.077 (低一中)	1.000(低)	0.528(低)、0.472 (低一中)	1.000(低)	0.884(低)、0.116 (低一中)	1.000(低)
2017 年儿童 Children in 2017	0.859(低)、0.141 (低一中)	1.000(低)	0.491(低)、0.509 (低一中)	1.000(低)	0.822(低)、0.178 (低一中)	1.000(低)

表 6 淮河流域安徽段水环境健康风险等级划分
Table 6 Classification of water environmental health risk in Anhui section of Huaihe River Basin

项目 Item	王家坝 Wangjia Dam	鲁台孜 Lutaizi	石头埠 Stone Port	蚌埠闸上 Bengbu Gate	沫河口 Estuary of Foam River	小柳巷 Xiaoliuxiang
2015 年成人 Adult in 2015	I	I	I	I	I	I
2015 年儿童 Children in 2015	I	II	II	I	I	I
2016 年成人 Adult in 2016	I	II	II	I	I	I
2016 年儿童 Children in 2016	I	II	II	I	I	I
2017 年成人 Adult in 2017	I	I	I	I	I	I
2017 年儿童 Children in 2017	I	I	II	I	I	I

段流域水环境健康总风险分析结果显示,2015—2017 年均属于低—中风险以下。

(2)致癌物对人体健康危害远大于非致癌物;相对于致癌物,非致癌物所致水环境健康风险可以忽略不计。

(3)对不同受体对象的水环境年总风险结果进行分析发现,水体污染物质对儿童所致健康风险要明显大于对成人。

(4)通过对各断面化学致癌物所致年风险值和年总风险值的排序分析,结果显示石头埠断面和鲁台孜断面为优先控制断面,六价铬为优先控制污染物。

参考文献

[1] 孙立剑. 安徽省环境质量报告书(2011—2015)[M]. 合肥:合肥工业大学出版社,2016:75—81.
[2] 朱余. 安徽省环境质量报告书(2016 年)[M]. 安徽省环境保护厅,2017:54—61.
[3] 安徽省环境保护厅. 2017 安徽省环境状况公报[R]. 2018.

[4] 陈耀宁,智国铮,袁兴中,等. 基于三角随机模拟和 ArcGIS 的河流水环境健康风险评价模型[J]. 环境工程学报,2016,10(4):1779—1806.
[5] 祝慧娜,袁兴中,曾光明,等. 基于区间数的河流水环境健康风险模糊综合评价模型[J]. 环境科学学报,2009,29(7):1527—1533.
[6] 李莹莹,张永江,邓茂,等. 武陵山区典型生态保护城市饮用水源地水质人体健康风险评价[J]. 环境科学研究,2017,30(2):282—290.
[7] 王月,安达,席北斗,等. 基于正态随机模拟的武烈河环境健康风险评价[J]. 环境工程学报,2017,11(5):3334—3340.
[8] 石勇.“十二五”期间湘江株洲段水环境健康风险评价[J]. 安徽农业科学,2017,45(13):52—55.
[9] U.S. EPA. Risk assessment guidance for supeffund;Voluma 3-Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment Chapter1,Part A[R]. Washington,DC:Office of Emergency and Remedial Response U.S. EPA,2001.
[10] U.S. EPA. Exposure Factors Handbooks of American[R]. Washington,DC;U.S. EPA,2011.
[11] U.S. EPA. Child-specific Exposure Factors Handbook[R]. Washington,DC;U.S. EPA,2008.
[12] 国家体育总局. 2010 国民体质监测公报[R]. 2011.
[13] 陈方远,吴中华,侯浩波,等. 汉江中下游水环境健康风险不确定性评价[J]. 环境科学与技术,2017,40(4):183—187.

(上接第 58 页)

[4] 李晓文,李梦迪,梁晨,等. 湿地恢复若干问题探讨[J]. 自然资源学报,2014,29(7):1257—1269.
[5] BRIAN CLOUSTON. 风景园林植物配置[M]. 陈自新,许慈安,译. 北京:中国建筑工业出版社,1992.

[6] 尹斌. 云南湿地资源及保护对策研究[J]. 黑龙江农业科学,2016(3):160—163.
[7] 上官铁梁,宋伯为,朱军,等. 黄河中游湿地资源及可持续利用研究[J]. 干旱区资源与环境,2005,19(1):7—13.
[8] 陈立国,孟好军,刘建泉. 张掖市黑河流域湿地资源保护的问题与对策[J]. 甘肃科技,2013,29(18):1—3.

科技论文写作规范——作者

论文署名一般不超过 5 个。中国人姓名的英文名采用汉语拼音拼写,姓氏字母与名字的首字母分别大写;外国人姓名、名字缩写可不加缩写点。