

汕头市湖库型饮用水水源地周边土壤 重金属污染评价及源解析

曾金樱¹, 田秀芳¹, 邱星群², 王一刚³, 张桢钰¹

(1. 汕头职业技术学院, 广东 汕头, 515041; 2. 广东省粤东技师学院, 广东 汕头, 515041;

3. 汕头市环境监测站, 广东 汕头, 515041)

摘 要:通过对汕头市湖库型饮用水水源地秋风水库和河溪水库的准保护区、集水区土壤进行重金属 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni 含量测定与分析, 并用单项污染指数和内梅罗综合污染指数开展评价, 结合相关性、主成分与聚类分析等进行源解析。结果表明: 河溪水库周边土壤以重金属 Cd 污染为主, 而秋风水库周边土壤以重金属 Hg 污染为主。河溪水库周边土壤的综合污染指数平均为 5.770, 秋风水库周边土壤的综合污染指数平均为 3.837, 均为重污染。另外 Cd、Pb 是第一主成分, 归为一类, 主要来自施用含镉肥料和汽车尾气; Cr、Zn、As、Ni 呈显著正相关, 归为一类, 主要来自土壤成岩作用; Hg 和 Cu 为第二主成分, 各单独归为一类, 主要来自于煤的燃烧和牲畜粪便。

关键词:湖库型饮用水水源地; 重金属; 评价; 源解析; 汕头市

中图分类号: X82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2022) 01-0066-05

DOI:10.13623/j.cnki.hkdk.2022.01.008

0 引言

湖库型饮用水水源地与其汇流区内的陆域是水文循环作用的一个整体。对水源地的保护, 如果忽视生态系统的完整性、水文循环的纽带作用; 忽视水域周边的生态与环境对水体的影响, 就不能从根本上保障水源地的安全^[1]。汕头市湖库型饮用水水源地分别是潮阳区的河溪水库和潮南区的秋风水库, 而多年来潮阳区贵屿镇有严重的电子垃圾污染问题^[2-4], 潮南区有练江流域污染问题^[5], 因此为保障汕头市湖库型饮用水水源地水质安全, 开展其周边土壤环境监测与评价并进行源解析, 对排查陆地风险因素具有现实意义。

1 材料与方法

1.1 采样点布设及样品采集

在 2016 年 3 月 1 日实施的《HJ 774-2015 集中式饮用水水源地环境保护状况评估技术规范》中提出对于湖库型饮用水水源地风险名录范围涉及准保护区或非点源汇入区域即集水区, 因此本研究所采集的土壤样品在准保护区布设至少 5 个采样点, 采集 0~20cm 表

层土壤, 每份土壤样品采样量为 2kg, 然后进行风干样品和新鲜样品的制备, 再进行分析测试。

选取汕头市两个湖库型水源地即河溪水库和秋风水库周边土壤环境为研究对象, 并对水库周边土壤进行环境质量监测, 如图 1、图 2、表 1 所示。

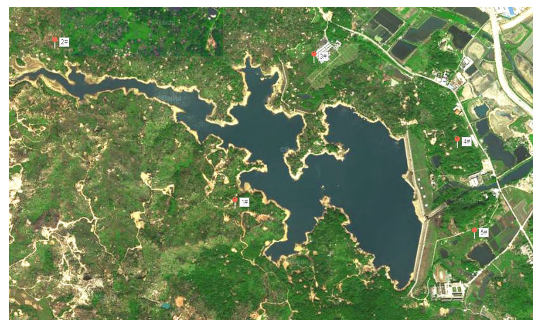


图 1 河溪水库监测点位分布图

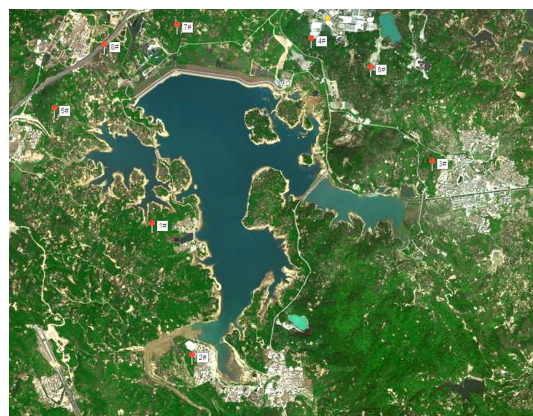


图 2 秋风水库监测点位分布图

收稿日期: 2021-04-10

基金项目: 2018 年汕头市科技局项目 (汕头市湖库型饮用水水源地周边土壤环境监测与评价); 汕头职业技术学院 2019 年度院级科研课题“练江流域污染水体浮萍修复技术研究” (SZK2019Y05)

作者简介: 曾金樱 (1980-), 女, 湖南衡阳人, 讲师, 硕士, 主要从事环境污染治理方面的研究。

表1 监测点位的经纬度

监测点位	监测点位经纬度
河溪水库	1# E116°53'78.58", N23°33'35.24"
	2# E116°52'58.93", N23°34'18.86"
	3# E116°54'18.83", N23°34'28.15"
	4# E116°55'25.91", N23°33'75.72"
	5# E116°55'15.84", N23°33'11.35"
秋风水库	1# E116°35'62.93", N23°18'22.22"
	2# E116°35'85.21", N23°16'93.31"
	3# E116°38'23.08", N23°18'71.38"
	4# E116°37'05.94", N23°19'87.65"
	5# E116°34'39.14", N23°19'02.31"
	6# E116°37'54.99", N23°19'87.68"
	7# E116°35'94.37", N23°19'92
	8# E116°35'02.03", N23°19'53.80"

1.2 土壤重金属分析测试方法

检测项目的分析测试方法详见表2。

1.3 评价方法

土壤样品监测结果按每个饮用水水源地采样点

个数做算术平均,监测结果采用土壤单项污染指数进行单因子评价和内梅罗污染指数进行综合评价。土壤单项污染指数、内梅罗污染指数的计算及土壤污染程度分级评价参照《HJ/T 166-2004 土壤环境监测技术规范》中评价方法。土壤环境质量评价标准执行《GB 15618-2018 土壤环境质量 农业用地土壤污染风险管控标准(试行)》中的风险筛选值评价。

1.4 统计分析

采用 SPSS 26.0 和 Excel 进行数据统计分析,对饮用水水源地周边土壤中重金属污染物的监测值进行相关性分析、主成分分析及聚类分析等。

2 结果与讨论

2.1 饮用水水源地周边土壤中重金属监测结果

河溪水库和秋风水库周边土壤中的 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni 的监测结果见表3。

表2 土壤重金属分析测试方法

序号	检测项目	样品制备方法	分析方法	方法来源
1	镉	风干研磨 100 目	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141
2	汞	风干研磨 100 目	原子荧光光谱法	HJ 680-2013
3	铜	风干研磨 100 目	火焰原子吸收分光光度法	HJ 491-2019
4	锌	风干研磨 100 目	火焰原子吸收分光光度法	HJ 491-2019
5	镍	风干研磨 100 目	火焰原子吸收分光光度法	HJ 491-2019
6	砷	风干研磨 100 目	原子荧光光谱法	HJ 680-2013
7	铅	风干研磨 100 目	石墨炉原子吸收分光光度法	GB/T 17141
8	铬	风干研磨 100 目	火焰原子吸收分光光度法	HJ 491-2019

表3 土壤中典型污染物监测结果

(mg/kg)

饮用水水源地	监测点位	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
河溪水库	1#点位	1.005	0.513	6.299	1.005	0.290	0.081	2.397	0.138
	2#点位	0.607	0.155	3.891	0.607	0.225	0.049	1.143	0.168
	3#点位	0.310	0.372	2.172	0.310	0.160	0.013	0.676	0.102
	4#点位	5.465	0.452	7.758	5.465	0.453	0.085	1.673	0.175
	5#点位	0.437	0.081	1.256	0.437	0.192	0.022	1.090	0.109
秋风水库	1#点位	0.184	0.192	1.249	0.184	0.127	0.058	0.298	0.066
	2#点位	0.272	0.240	1.752	0.272	0.094	0.018	0.505	0.051
	3#点位	0.462	0.324	1.831	0.462	0.127	0.058	0.737	0.029
	4#点位	0.538	0.663	4.647	0.538	0.160	0.145	0.528	0.051
	5#点位	0.247	0.132	1.692	0.247	0.160	0.045	0.991	0.095
	6#点位	0.519	0.079	4.780	0.519	0.160	0.013	0.912	0.066
	7#点位	0.373	1.668	2.992	0.373	0.225	0.018	1.698	0.058
	8#点位	0.727	2.783	1.552	0.727	0.192	0.131	1.154	0.073
国家一级标准 ^①		0.20	0.15	15	35	90	35	100	40

注:①参照《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)中的自然背景值。

通过比较发现重金属浓度如果参照《GB 15618-2018 土壤环境质量 农业用地土壤污染风险

管控标准(试行)》中的风险筛选值进行评价,河溪水库周边土壤的重金属 Cd 浓度超标率达到了

80%，秋风水库周边土壤只有 8#点位超标；重金属 Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni 均未超标。但是如果参照《GB 15618 - 1995 土壤环境质量标准》中的自然背景值进行评价，河溪水库周边土壤的重金属 Cd 浓度超标率达到了 100%，Hg 浓度超标率为 80%；秋风水库周边土壤的重金属 Cd 浓度超标率为 87.5%，Hg 浓度超标率为 75%；其他重金属

没有超标。

2.2 饮用水水源地周边土壤污染指数评价

从保护饮用水水源地的角度出发，参照《GB 15618 - 1995 土壤环境质量标准》中的自然背景值进行评价更安全。河溪水库和秋风水库周边土壤单项污染指数和内梅罗综合污染指数评价结果见表 4。

表 4 土壤中典型污染物单项及综合污染指数

饮用水水源地	监测点位	单项污染指数 P_{ip}								综合污染指数 P_N	评价等级
		Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni		
河溪水库	1#点位	5.025	3.420	0.420	0.029	0.003	0.002	0.024	0.003	3.795	重污染
	2#点位	3.035	1.033	0.259	0.017	0.003	0.001	0.011	0.004	2.181	中度污染
	3#点位	1.550	2.480	0.145	0.009	0.002	0.000	0.007	0.003	1.792	轻度污染
	4#点位	27.33	3.013	0.517	0.156	0.005	0.002	0.017	0.004	19.516	重污染
	5#点位	2.185	0.540	0.084	0.012	0.002	0.001	0.011	0.003	1.565	轻度污染
	平均值	7.824	2.097	0.285	0.045	0.003	0.001	0.014	0.003	5.770	重污染
秋风水库	1#点位	0.920	1.280	0.083	0.005	0.001	0.002	0.003	0.002	0.927	尚清洁
	2#点位	1.360	1.600	0.117	0.008	0.001	0.001	0.005	0.001	1.164	轻度污染
	3#点位	2.310	2.160	0.122	0.013	0.001	0.002	0.007	0.001	1.684	轻度污染
	4#点位	2.690	4.420	0.310	0.015	0.002	0.004	0.005	0.001	3.194	重污染
	5#点位	1.235	0.880	0.113	0.007	0.002	0.001	0.010	0.002	0.896	尚清洁
	6#点位	2.595	0.527	0.319	0.015	0.002	0.000	0.009	0.002	1.847	轻度污染
	7#点位	1.865	11.12	0.199	0.011	0.003	0.001	0.017	0.001	7.949	重污染
	8#点位	3.635	18.55	0.103	0.021	0.002	0.004	0.012	0.002	13.038	重污染
	平均值	2.076	5.068	0.171	0.012	0.002	0.002	0.009	0.002	3.837	重污染

由表 4 可知，河溪水库和秋风水库周边土壤中重金属 Cd、Hg 均超标，其中河溪水库的 Cd、Hg 平均单项污染指数分别为 7.824、2.097；秋风水库的 Cd、Hg 平均单项污染指数分别为 2.076、5.068，这说明河溪水库周边土壤以重金属 Cd 污染为主，而秋风水库周边土壤以重金属 Hg 污染为主。其中河溪水库周边土壤的综合污染指数平均为 5.770，秋风水库周边土壤的综合污染指数平均为 3.837，均为重污染，河溪水库周边土壤污染更严重。其中河溪水库周边土壤轻度污染、中度污染、重污染点位各为 2、1、2 个，占比分别为 40%、

20%、40%；秋风水库周边土壤尚清洁（警戒限）、轻度污染、重污染点位各为 2、3、3 个，占比分别为 25%、37.5%、37.5%。

2.3 饮用水水源地周边土壤中重金属源解析

2.3.1 饮用水水源地周边土壤中重金属相关性分析

重金属之间的相关性分析见表 5，由表 5 可知，Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni 相互之间存在联系，其中 Cd 与 As、Cd 与 Pb、Cd 与 Cr、As 与 Pb、As 与 Cr、Pb 和 Cr、Cr 和 Zn、Cr 和 Ni 在 $p=0.01$ 水平上显著正相关，Cr 和 Ni、As 和 Zn、As 和 Ni、Pb 与 Ni、Zn 和 Ni 在 $p=0.05$ 水平上显著正相关。

表 5 重金属之间相关性分析结果

	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
Cd	1							
Hg	0.000	1						
As	0.724**	-0.109	1					
Pb	1.000**	0.000	0.724**	1				
Cr	0.890**	0.105	0.796**	0.890**	1			
Cu	0.270	0.471	0.295	0.270	0.253	1		
Zn	0.421	0.256	0.606*	0.421	0.743**	0.091	1	
Ni	0.599*	-0.202	0.569*	0.599*	0.771**	0.029	0.563*	1

注：“*”表示在 0.05 水平上显著相关；“**”表示在 0.01 水平上显著相关。

2.3.2 饮用水水源地周边土壤中重金属主成分分析

重金属主成分分析结果见表6,由表6可知,提取了2个主成分,2个主成分累计贡献率为75.873%,其中第一主成分贡献率为56.982%、第二主成分贡献率为18.890%。结合主成分相关

系数(表7)可知,第一主成分包含的信息量最大,它的代表为Cd、Pb、Cr,其权重系数分别为0.909、0.909、0.975;第二主成分的主要代表为Hg和Cu,其权重系数分别为0.897、0.796。

表6 主成分分析结果

成份	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差的/%	累积/%	合计	方差的/%	累积/%	合计	方差的/%	累积/%
1	4.559	56.982	56.982	4.559	56.982	56.982	2.943	36.791	36.791
2	1.511	18.890	75.873	1.511	18.890	75.873	1.355	16.938	53.729
3	0.892	11.149	87.022						
4	0.513	6.414	93.436						
5	0.396	4.944	98.380						
6	0.115	1.434	99.814						
7	0.015	0.186	100.000						
8	5.108E-18	6.385E-17	100.000						

表7 主成分相关系数

成份	成份	
	1	2
Cd	0.909	0.092
Hg	-0.073	0.897
As	0.860	0.052
Pb	0.909	0.092
Cr	0.975	0.144
Cu	0.204	0.796
Zn	0.680	0.202
Ni	0.806	-0.218

2.3.3 饮用水水源地周边土壤中重金属聚类分析

利用SPSS 26.0软件将8种重金属进行聚类分析,将数据标准化到(0,1)范围,选择欧式距离法作为距离的测度方法,以离差平方和法进行聚类分析,得到聚类过程见表8,聚类过程共有7阶,在第1阶,集群1与集群2的距离最近,系数为0.000,因此,首先聚成一个类型,其余集群依次类推。

表8 重金属聚类分析

阶	组合聚类		系数	首次出现聚类的阶段		下一阶
	聚类1	聚类2		聚类1	聚类2	
1	1	4	0.000	0	0	6
2	5	7	0.284	0	0	3
3	3	5	0.648	0	2	4
4	3	8	1.099	3	0	7
5	2	6	1.711	0	0	6
6	1	2	2.794	1	5	7
7	1	3	4.094	6	4	0

重金属聚类树形见表9。8种重金属可大致归类,具体如下:Cr、Zn、As、Ni归为一类,Cd、Pb归为一类,Hg、Cu各单独归为一类。

通过主成分和聚类分析发现,Cd、Pb既是第一主成分,又归为一类,而农业土壤中重金属镉主要来自施用含镉肥料主要指磷肥或者农用塑料薄膜^[6-7],Pb主要是来自大气沉降,大气中的铅80%来自汽车尾气^[8],此外城市生活垃圾、固体废物特别是废旧电池等堆积于土地上,浸出液含铅等重金属元素,渗透进土壤当中,导致土壤中Pb含量大大增加^[9]。通过相关性分析,Cr、Zn、As、Ni呈显著正相关,而且归为一类,含量都比较低,这说明土壤Cr、Ni、As、Ni主要来自成岩作用。第二主成分为Hg和Cu,各单独归为一类。土壤中的Hg主要来自于煤的燃烧^[10-11],也可能来自于贵屿电子垃圾拆解过程中产生的Hg蒸气,这与大气迁移、干湿沉降等途径有关^[12]。土壤中的Cu主要来自牲畜粪便^[13],可能与周边零散分布的畜禽养殖场有关。

表9 重金属聚类情况统计

类别	重金属名称
第1类	Cr、Zn、As、Ni
第2类	Cd、Pb
第3类	Hg
第4类	Cu

3 结语

(1)汕头市湖库型饮用水水源地河溪水库和秋风水库周边土壤中重金属Cd、Hg均超标,其他重

金属没有超标。

(2) 河溪水库周边土壤以重金属 Cd 污染为主, 而秋风水库周边土壤以重金属 Hg 污染为主。其中河溪水库周边土壤的综合污染指数平均为 5.770, 秋风水库周边土壤的综合污染指数平均为 3.837, 均为重污染, 河溪水库周边土壤污染更严重。

(3) 结合相关性、主成分和聚类分析, Cd、Pb 是第一主成分, 归为一类, 主要来自施用含镉肥料和汽车尾气; Cr、Zn、As、Ni 呈显著正相关, 归为一类, 主要来自土壤成岩作用; Hg 和 Cu 为第二主成分, 单独归为一类, 主要来自于煤的燃烧和牲畜粪便。

参考文献:

- [1] 陈敏建, 石秋池, 王立群. 湖库型饮用水水源地安全保障技术需求分析 [J]. 中国水利, 2006 (11): 16-18.
- [2] 林文杰, 吴荣华, 郑泽纯, 等. 贵屿电子垃圾处理对河流底泥及土壤重金属污染 [J]. 生态环境学报, 2011, 20 (1): 160-163.
- [3] 肖潇, 陈德翼, 梅俊, 等. 贵屿某电子垃圾拆解点附近大气颗粒物中氯代/溴代二英、四溴双酚 A 污染水平研究 [J]. 环境科学学报, 2012, 32 (5): 1142-1148.
- [4] 罗杰, 温汉辉, 吴丽霞, 等. 广东贵屿土壤 Cd、Hg 潜在威胁评价 [J]. 地质科技情报, 2012, 31 (1): 95-99, 109.
- [5] 刘毅文, 李志鹏, 周汉葵, 等. 汕头市练江流域畜禽养殖空间布局优化研究 [J]. 广东化工, 2020, 47 (20): 232-234.
- [6] Spatial Distribution and Source Apportionment of Agricultural Soil Heavy Metals in a Rapidly Developing Area in East China [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2021 (prepublish).
- [7] 庞荣丽, 王瑞萍, 谢汉忠, 等. 农业土壤中镉污染现状及污染途径分析 [J]. 天津农业科学, 2016, 22 (12): 87-91.
- [8] 陈世川. 土壤中铅污染的危害与治理 [J]. 广西节能, 2020 (4): 26-27.
- [9] 刘庚, 牛俊杰, 张朝, 等. 某铅酸蓄电池污染场地表层土壤重金属 Pb 空间分布预测研究 [J]. 环境科学, 2014, 35 (12): 4712-4719.
- [10] 孙晶, 李伟, 吕学斌. 土壤中汞和砷的环境效应、来源及影响因素 [J]. 绿色科技, 2020 (14): 148-151.
- [11] 洪春来, 贾彦博, 杨肖娥, 等. 农业土壤中汞的生物地球化学行为及其生态效应 [J]. 土壤通报, 2007 (3): 590-596.
- [12] Atmospheric Pollution; Findings on Atmospheric Pollution Reported by A. Liu et al (Heavy metals transport pathways: The importance of atmospheric pollution contributing to stormwater pollution) [J]. Global Warming Focus, 2018.
- [13] 李荭荭, 赵明柳, 董海霞, 等. 生物炭对铜污染土壤的修复及水稻 Cu 累积的影响 [J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36 (9): 1210-1217.

Pollution Assessment and Source Interpretation of Heavy Metals in Soils around Lake and Reservoir – type Drinking Water Sources in Shantou City

ZENG Jin - ying¹, TIAN Xiu - fang¹, QIU Xing - qun², WANG Yi - gang³, ZHANG Zhen - yu¹

(1. Shantou Polytechnic, Shantou Guangdong 515041, China)

Abstract: The contents of Cd, Hg, As, Pb, Cr, Cu, Zn and Ni in the soils of the quasi protected areas and catchments of Qiufeng reservoir and Hexi reservoir in Shantou City were determined and analyzed. The single pollution index and Nemerow comprehensive pollution index were used for evaluation. The correlation, principal component and cluster analysis were adopted for source interpretation. The results showed that the soil around Hexi reservoir was mainly polluted by Cd, while the soil around Qiufeng reservoir was mainly polluted by Hg. The average comprehensive pollution index of soil around Hexi reservoir and Qiufeng reservoir is 5.770 and 3.837, respectively. In addition, Cd and Pb were the first principal components, mainly from the application of cadmium containing fertilizer and automobile exhaust; Cr, Zn, As and Ni were positively correlated, mainly from soil diagenesis; Hg and Cu were the second principal components, mainly from coal combustion and livestock manure.

Key words: lake and reservoir – type drinking water source; heavy metals; evaluation; source interpretation; Shantou City