

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2021.03-09

长江上游珍稀鱼类自然保护区代表性测站的 镉生态风险评估

马翔宇¹, 鲁建婷¹, 麻林², 钱宝³, 闫峰¹

(1. 南昌大学建筑工程学院, 江西 南昌, 330031; 2. 湖南省水利厅, 湖南 长沙, 410007;
3. 水利部长江水利委员会水文局, 湖北 武汉, 430010)

摘要: 基于生态环境部最新颁布的《淡水水生生物水质基准—镉(2020 年版)》建立风险商模型, 对长江上游珍稀鱼类自然保护区内 5 个代表性测站的镉生态风险进行评价。结果表明: (1) 屏山站、宜宾站、泸州站、高场站、富顺站的短期水质基准(short-term water quality criteria, SWQC) 年均值分别为 6.89 $\mu\text{g/l}$ 、6.68 $\mu\text{g/l}$ 、6.51 $\mu\text{g/l}$ 、6.26 $\mu\text{g/l}$ 、10.49 $\mu\text{g/l}$; 长期水质基准(long-term water quality criteria, LWQC) 年均值分别为 0.30 $\mu\text{g/l}$ 、0.30 $\mu\text{g/l}$ 、0.29 $\mu\text{g/l}$ 、0.28 $\mu\text{g/l}$ 、0.38 $\mu\text{g/l}$ 。(2) 泸州站短期风险商(short-term risk quotient, SRQ) 年均值为 0.05, 属于“低”级别, 屏山站、宜宾站、高场站、富顺站的 SRQ 分别为 0.31、0.35、0.37、0.23, 均为中级别。屏山站、宜宾站、泸州站、高场站、富顺站的长期风险商(long-term risk quotient, LRQ) 年均值分别为 7.14、7.56、1.06、7.99、6.34, 均属于“高”级别。通过本次研究发现: 长江上游珍稀鱼类自然保护区中, 存在多个测站 SRQ>1 的高风险情况, 需有关部门对川西南、川南的采矿、冶炼企业的开采、运输和污水排放进行必要的整治。同时, 加强对镉含量和水体总硬度的监测和预警应作为今后保护区水资源管理的重点之一。

关键词: 镉; 风险商; 水质基准; 生态风险; 长江

中图分类号: S932.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-4701(2021)03-0206-08

长江上游珍稀鱼类自然保护区主要包括金沙江、岷江、赤水河等长江上游干流及部分支流, 涉及云南、贵州、四川、重庆三省一市。主要保护对象为白鲟、达氏鲟、胭脂鱼等。近年来, 随着社会和经济的迅速发展, 长江上游部分河段水环境持续恶化, 严重影响了鱼类的生存和繁衍。

镉(Cd^{2+} 为主)是一种有毒重金属元素, 也是长江上游沉积物污染最严重的重金属元素之一^[1]。具有高毒性、难降解、易残留等特点, 其在水生生物体内的半衰期可达 10~35 年^[2]。大量研究证明, 镉会影响鱼类胚胎的发育和仔鱼的存活, 还可以作用于细胞的抗氧化酶系统、降低细胞对氧自由基的清除, 影响水生生物胚胎的发育、幼体的存活以及成体的繁殖^[3-4]。同时, 镉由于能使蛋白质变性且无法通过水体的自净作用去除, 是

一种会对环境、水生生物和人体健康造成潜在危害的重金属^[5]。

淡水中的镉主要来源于工业污水直接排放、铬矿渣、粉尘坠于地表水和镉渣废物的随意倾倒。此外, 水体中的重金属主要被沉积物吸附, 许多外在环境因素均可使沉积物中的重金属再次释放, 造成“二次污染”^[6-7]。早在 1972 年, 世界卫生组织就将镉列为第 3 位优先研究的食品污染物, 美国国家环境保护局(US EPA) 于 1986 年将镉列为制定水质基准时的优先控制污染物。目前, 许多国家都相继颁布了镉的淡水水生生物水质基准^[8]。但我国水质基准的研究相对滞后, 缺少适合国情的镉水生生态风险基准。长期以来, 都未能对长江上游珍稀鱼类保护区进行准确的生态风险评估。

收稿日期: 2020-12-04

项目来源: 国家自然科学基金(51709142)。

作者简介: 马翔宇(1996-), 男, 在读硕士。

水生生物基准是保护水生生物水质基准的简称,是指水环境中的污染物对水生生物及其使用功能不产生长期和短期不良或有害效应的最大允许浓度,它是水质基准的核心组成部分之一^[9]。2020 年 2 月,我国生态环境部颁布了《淡水水生生物水质基准—镉》^[10]。本研究将基于该生态风险基准,结合风险商模型和长江水利委员会水文局的监测资料,对长江上游珍稀鱼类保护区镉的生态风险进行评估,从而为长江流域的生态保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区跨越四川、云南、贵州、重庆三省一市,地理坐标为东经 104°9′~106°30′、北纬 27°29′~29°4′的长江上游干流及部分支流,宽度为各河流 10 年一遇最高水位线以下的水域和滩涂。保护区河流总长度 1 162.61km,总面积 33 174.213hm²。保护区水域分布有鱼类 189 种,其中包括白鲟、达氏鲟、胭脂鱼等 38 种国家级保护动物。

如图 1 所示,本次研究的区域为金沙江段(屏山—宜宾段)、岷江段(高场—宜宾段),沱江段(富顺—泸州段),共设置金沙江段的屏山和宜宾、岷江段的高场站、沱江段的富顺站和泸州站 5 个监测点。评价指标为水体总硬度和镉(Cd),评价数据为水利部长江水利委员会水文局 2018 年的逐月监测资料。

1.2 镉的生态风险基准

2020 年 2 月,我国生态环境部发布了《淡水水生

生物水质基准—镉》和《淡水水生生物水质基准技术报告—镉》^[11]。在上述规范中,镉的生态风险基准被划分为短期水质基准(short-term water quality criteria, SWQC)和长期水质基准(long-term water quality criteria, LWQC),分别用于评估镉对水生生物的急性毒性和慢性毒性。SWQC 表示对 95% 的中国淡水水生生物及其生态功能不产生急性有害效应的水体中镉的最大浓度。LWQC 表示对 95% 的中国淡水水生生物及其生态功能不产生慢性有害效应的水体中镉的最大浓度。

尽管水体硬度减缓重金属生物毒性的作用机制存在争议^[12-13,14],水体硬度对重金属生物毒性的减缓作用已被广为认可。生态环境部通过大量毒理学实验表明:镉的淡水水生生物水质基准和水体总硬度成正相关关系。如表 1 所示,生态环境部在《淡水水生生物水质基准—镉》给出了部分有限离散水体总硬度下的镉生态风险基准。本研究将基于 MATLAB 中的 interp1 函数进行插值,从而得到其他水体总硬度下镉的生态风险基准值。

1.3 风险商模型

风险商值模型^[15,16]是应用最为广泛的生态风险评估模型之一,计算方法为:

$$RQ=EEC/WQC \quad (1)$$

式中:RQ 为风险商值,EEC 为环境浓度,mg/L;WQC 为生态风险基准,mg/L。大量研究表明:风险商值可判别风险等级^[17],当 $0.01 \leq RQ < 0.1$ 时为低风险; $0.1 \leq RQ < 1$ 为中风险; $RQ \geq 1$ 为高风险。

需要指出的是,由于镉的生态风险基准被划分为 SWQC 和 LWQC;相应的,根据评价基准的不同,镉的风

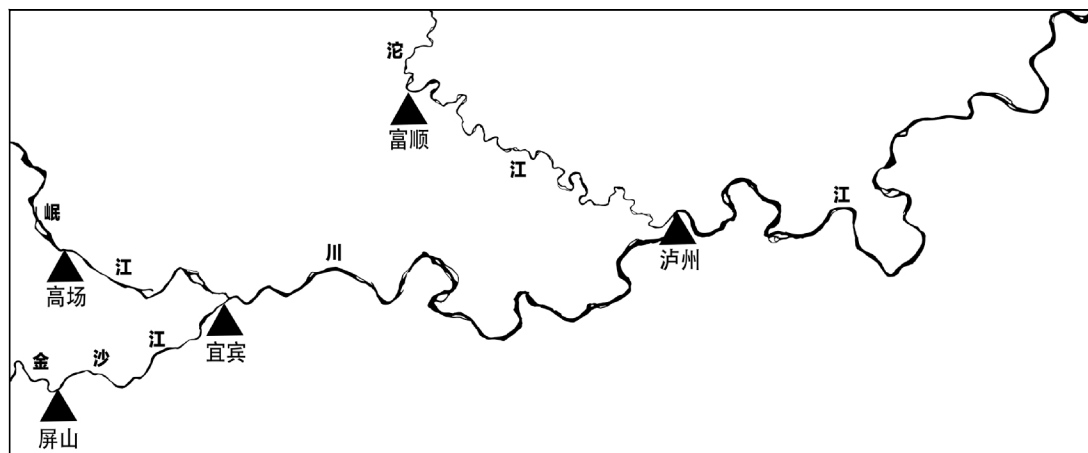


图 1 研究区域

表1 淡水水生生物水质基准—镉

水体硬度 /(mg/L)	短期水质基准 ^[1] /(μ g/L)	长期水质基准 ^[2] /(μ g/L)
50	2.1	0.15
100	4.2	0.23
150	6.5	0.29
200	8.7	0.35
250	11	0.39
300	13	0.44
350	16	0.48
450	20	0.55

险商被分为短期风险商(short-term risk quotient, SRQ)和长期风险商(long-term risk quotient, LRQ),分别用于评估镉的急性毒性和慢性毒性。

2 结果与讨论

2.1 水体硬度的特征

水的硬度(也叫矿化度)是指溶解在水中的钙盐和镁盐含量的多少,含量多的硬度大,反之则小。大量研

究表明,当水体硬度^[18]较高时,钙镁离子可以与镉离子等重金属离子产生拮抗作用,减少水生生物对金属离子的吸收,从而降低镉离子的毒性^[19],提高水体的SWQC和LWQC。

根据长江水利委员会水文局的监测资料,各测站的水体硬度的时空分布如图2所示。

各测站的水体硬度范围和均值如表2所示。

由表2可知,富顺站是水体硬度最高的测站,其水体硬度的范围为182.7~299.2mg/L,均值为239.68mg/L。高场站是水体硬度最低的测站,其水体硬度的范围为117.3~176mg/L,均值为145.07mg/L。屏山站、宜宾站、泸州站的水体硬度范围分别为136.3~194.2mg/L,126.8~185.8mg/L,132.1~170.4mg/L。均值分别为158.93mg/L,154.39mg/L,150.39mg/L。

表2 各测站水体硬度范围及均值 mg/L

测站名称	水体硬度范围	水体硬度均值
屏山	136.3~194.2	158.93
宜宾	126.8~185.8	154.39
泸州	132.1~170.4	150.39
高场	117.3~176	145.07
富顺	182.7~299.2	239.68

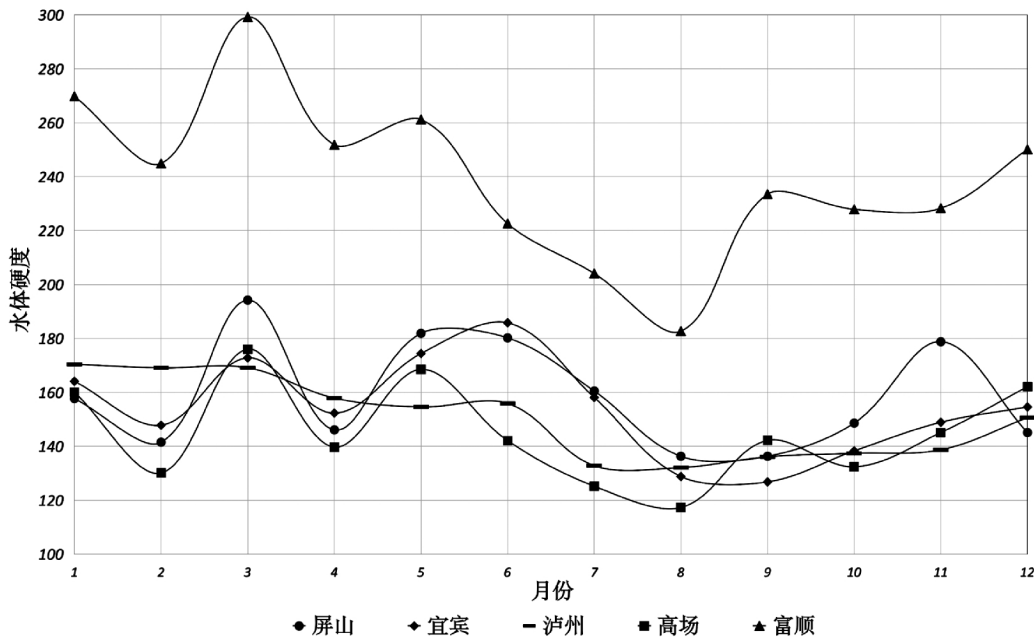


图2 长江上游珍稀鱼类保护区各测站的水体硬度的时空分布

根据资料可知,富顺站位于有“盐都”之称的四川自贡市^[20]富顺县。该地区盐矿资源丰富,因此水体中溶有大量的钙盐和镁盐。这直接导致该测站水体硬度远高于其他四个测站。其他四个测站的水体硬度相近,未表现出明显的季节性和地域性规律。这主要是钙镁离子的浓度受众多因素的影响导致。

2.2 生态风险基准的特征

根据《淡水水生生物水质基准-镉》中提供的部分有限离散水体总硬度下的镉生态风险基准,使用 MATLAB 中的 interp1 函数进行插值,得到长江上游珍稀鱼类保护区各测站的 SWQC 和 LWQC 的时空分布如图 3、图 4 所示。

各测站的 SWQC 和 LWQC 的范围和均值如表 3、表 4 所示。

由表 3、表 4 所示,富顺站是长江上游珍稀鱼类保护区中基准值最高的测站。它的 SWQC 和 LWQC 范围分别是 7.93~12.97 $\mu\text{g/L}$ 和 0.33~0.44 $\mu\text{g/L}$, 年均值分别为 10.49 $\mu\text{g/L}$ 和 0.38 $\mu\text{g/L}$ 。高场站是长江上游珍稀鱼类保护区中基准值最低的测站。它的 SWQC 和 LWQC 范围分别是 6.94~7.64 $\mu\text{g/L}$ 和 0.30~0.32 $\mu\text{g/L}$, 年均值分别为 6.26 $\mu\text{g/L}$ 和 0.28 $\mu\text{g/L}$ 。此外,屏山站的 SWQC 和 LWQC 范围分别是 5.87~8.45 $\mu\text{g/L}$ 和 0.27~0.34 $\mu\text{g/L}$, 年均值分别为 6.89 $\mu\text{g/L}$ 和 0.30 $\mu\text{g/L}$ 。宜宾站的 SWQC 和 LWQC 范围分别是 5.43~8.08 $\mu\text{g/L}$ 和 0.26~

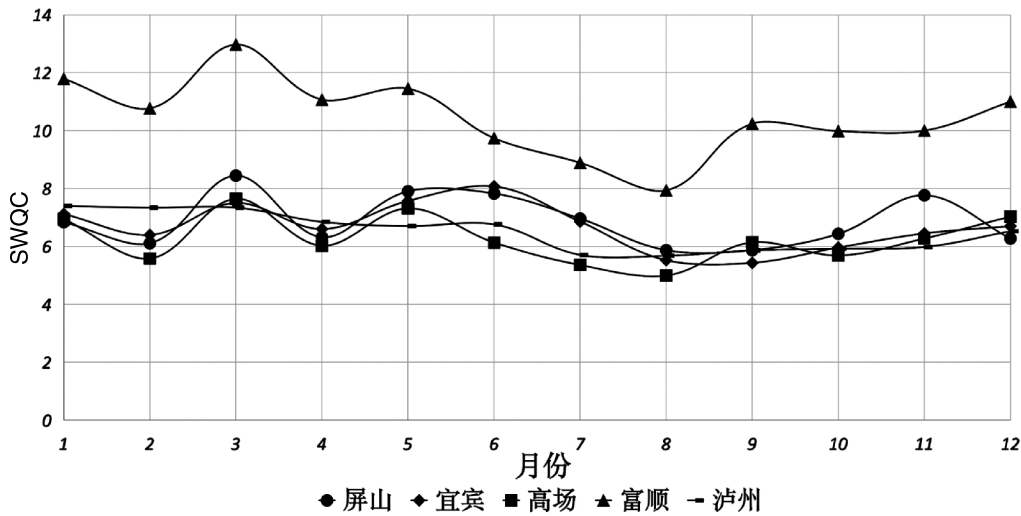


图 3 长江上游珍稀鱼类保护区各测站的 SWQC 的时空分布

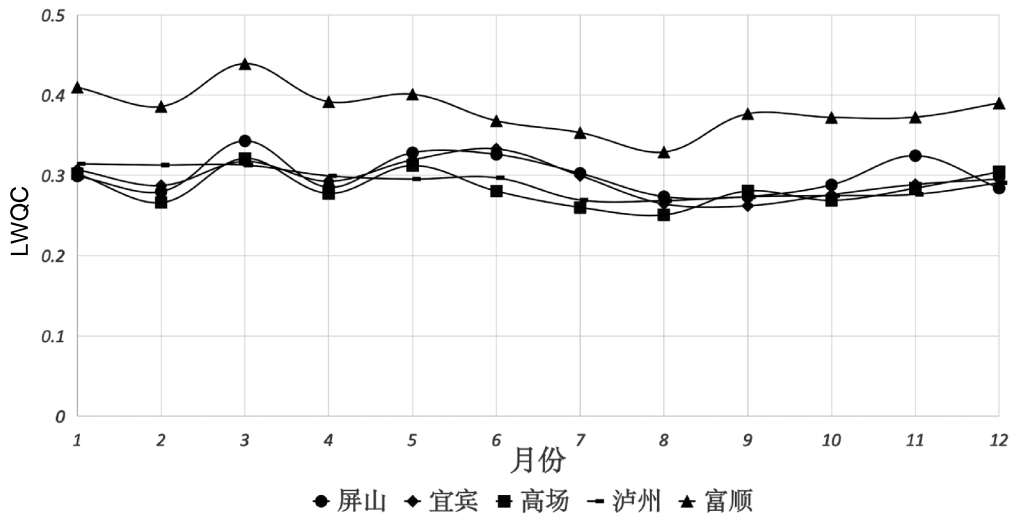


图 4 长江上游珍稀鱼类保护区各测站的 LWQC 的时空分布

表3 各测站 SWQC 范围和均值 $\mu\text{g/L}$

测站名称	SWQC 范围	SWQC 均值
屏山	5.87~8.45	6.89
宜宾	5.43~8.08	6.68
泸州	5.68~7.40	6.51
高场	6.94~7.64	6.26
富顺	7.93~12.97	10.49

表4 各测站 LWQC 范围和均值 $\mu\text{g/L}$

测站名称	LWQC 范围	LWQC 均值
屏山	0.27~0.34	0.3
宜宾	0.26~0.33	0.3
泸州	0.27~0.31	0.29
高场	0.30~0.32	0.28
富顺	0.33~0.44	0.38

0.33 $\mu\text{g/L}$, 年均值分别为 6.68 $\mu\text{g/L}$ 和 0.30 $\mu\text{g/L}$ 。泸州站的 SWQC 和 LWQC 范围分别是 5.68~7.40 $\mu\text{g/L}$ 和 0.27~0.31 $\mu\text{g/L}$, 年均值分别为 6.51 $\mu\text{g/L}$ 和 0.29 $\mu\text{g/L}$ 。

由《淡水水生生物水质基准-镉》可知, 镉的淡水水生生物水质基准和 水体总硬度成正相关关系。由于富顺站的水体硬度相对较高, 其 SWQC 和 LWQC 相较其他测站偏高。同理, 由于高场站的水体硬度相对较低, 其 SWQC 和 LWQC 均低于其他测站。

2.3 生态风险评价

根据风险商模式, 结合各测站镉的浓度和生态基准数据, 评估长江上游珍稀鱼类保护区各测站的 SRQ 和 LRQ 分别如图 5、图 6 所示。

各测站的 SRQ 和 LRQ 风险商范围、均值和风险等

级如表 5、表 6 所示。

如表 5、表 6 所示, 高场站是长江上游珍稀鱼类保护区中镉风险最高的测站。它的 SRQ 和 LRQ 风险商范围分别为 0.14~0.50 和 3.31~9.97, 均值分别为 0.37 和 7.99。其短期风险为“中”等级, 长期风险为“高”等级。泸州站的镉风险最低, 它的 SRQ 和 LRQ 风险商范围分别为 0.03~0.11 和 0.79~2.23, 均值分别为 0.05 和 1.06。其短期风险为“低”等级, 长期风险为“高”等级。屏山站, 宜宾站, 富顺站的 SRQ 风险商范围分别为 0.11~0.43, 0.19~0.46, 0.11~0.31。均值分别为 0.31, 0.35, 0.23。短期风险均为“中”等级。LRQ 风险商的范围分别为 2.50~9.13, 4.34~9.53, 3.34~7.59。均值分别为 7.14, 7.76, 6.34。长期风险

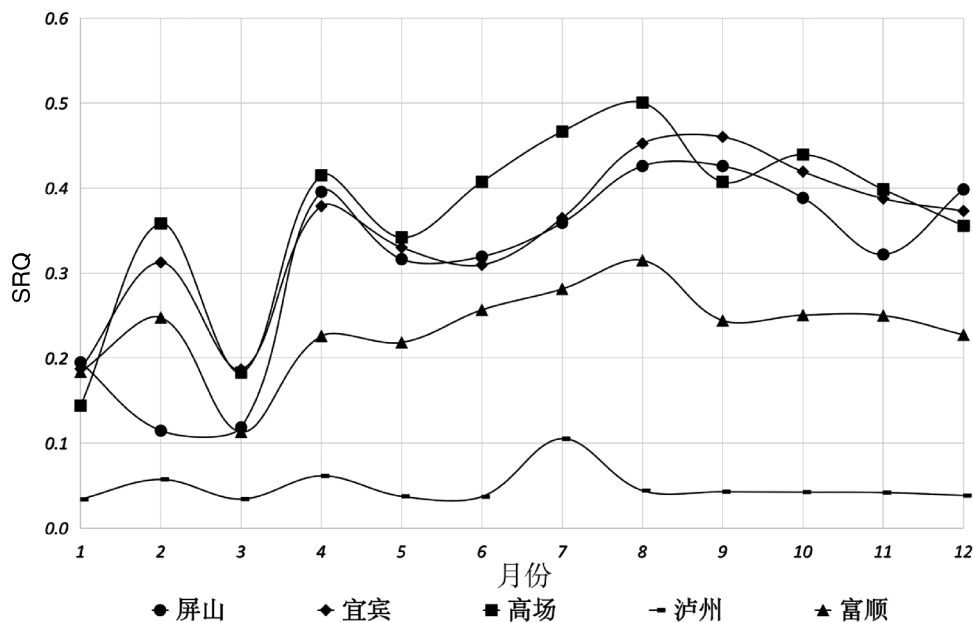


图5 长江上游珍稀鱼类保护区各测站的 SRQ 的时空分布

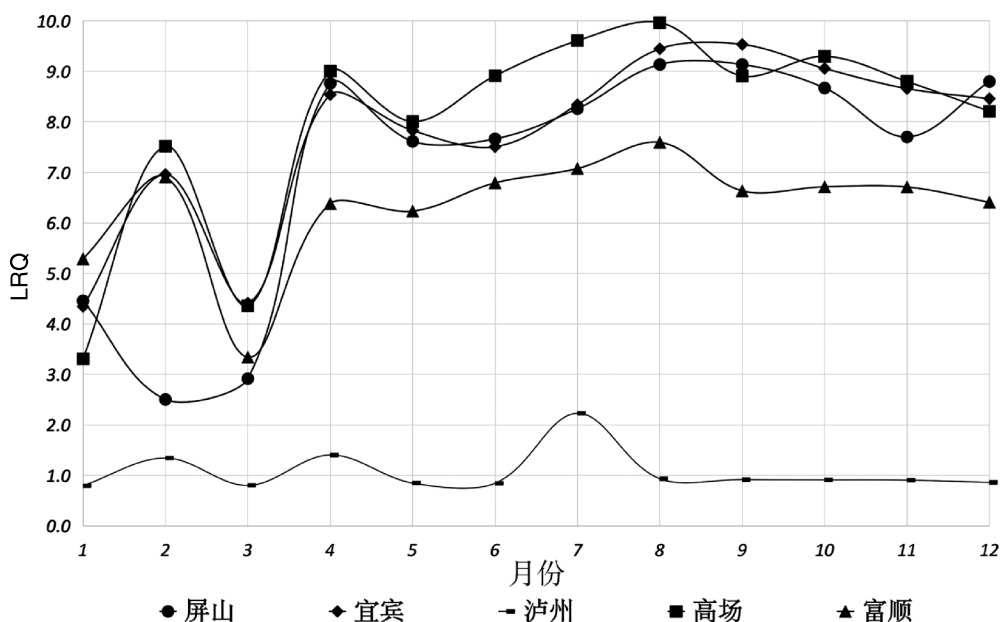


图 6 长江上游珍稀鱼类保护区各测站的 LRQ 的时空分布

表 5 各测站 SRQ 风险商的范围和均值

测站名称	SRQ 风险商范围	SRQ 风险商均值	风险等级
屏山	0.11~0.43	0.31	中
宜宾	0.19~0.46	0.35	中
泸州	0.03~0.11	0.05	低
高场	0.14~0.50	0.37	中
富顺	0.11~0.31	0.23	中

表 6 各测站 LRQ 风险商的范围和均值

测站名称	LRQ 风险商范围	LRQ 风险商均值	风险等级
屏山	2.50~9.13	7.14	高
宜宾	4.34~9.53	7.76	高
泸州	0.79~2.23	1.06	高
高场	3.31~9.97	7.99	高
富顺	3.34~7.59	6.34	高

均为“高”等级。

通过比较表 5 和表 6 中各测站的风险等级可见，各测站均存在短期风险等级和长期风险等级不同的问题，这主要是因为 SRQ 和 LRQ 使用 SWQC 和 LWQC 两种不同的基准导致。由 SWQC 和 LWQC 的定义可知：SWQC 和 LWQC 分别表示对 95% 的中国淡水水生生物及其生态功能不产生急性有害效应的水体中镉的最大浓度和对 95% 的中国淡水水生生物及其生态功能不产生慢性有害效应的水体中镉的最大浓度。这表明：研究区域内各代表性测站水体的镉含量均具有相对较低的急性有害效应，表现为“低”“中”风险等级；但各代表性测站水体的镉含量均具有相对较高的慢性有害效应，因此均表现为“高”风险等级。

总的来看，本次研究的各测站均存在镉风险较高的问题。这主要是因为川南和川西南各类金属资源集中分布，矿产的开采和冶炼企业比较集中，有大量含镉废水排放至金沙江、岷江和沱江导致。同时，镉渣废物的随意倾倒，镉离子会随着地表径流汇入河流中，同样会导致长江上游珍稀鱼类保护区的镉含量增加，进而导致镉的生态风险升高。

结合式 (1) 所示，生物安全基准高，意味着同等暴露浓度下，生态风险商更低。位于沱江下游的富顺站的 SWQC 和 LWQC 均较高，但其短期风险为“中”等级，长期风险为“高”等级。这表明该站所在位置的水体镉含量远大于其他四个测站。

因此，对金沙江、岷江和沱江中上游采矿和冶炼行

业的综合治理已是刻不容缓。其中,对沱江的综合治理更应是重中之重。

3 结 论

屏山站、宜宾站、高场站、泸州站、富顺站的 SWQC 年均值分别为 $6.89\mu\text{g/l}$ 、 $6.68\mu\text{g/l}$ 、 $6.26\mu\text{g/l}$ 、 $6.51\mu\text{g/l}$ 、 $10.49\mu\text{g/l}$ ；LWQC 年均值分别为 $0.30\mu\text{g/l}$ 、 $0.30\mu\text{g/l}$ 、 $0.28\mu\text{g/l}$ 、 $0.29\mu\text{g/l}$ 、 $0.38\mu\text{g/l}$ 。其中岷江的生态风险基准值低于金沙江段、川江段和沱江段,这是因为它的水体总硬度相对其他三者较低所致。

高场站是所有测站中镉风险最高的测站,它的 SRQ 为 0.37,属于“中”风险级,LRQ 为 7.99,属于“高”风险级。镉风险最低的测站为泸州,它的 SRQ 为 0.05,属于“低”风险级,LRQ 为 1.06,为“高”风险级。屏山站、宜宾站、富顺站的 SRQ 分别为 0.31、0.35、0.23,均为“中”风险级;LRQ 为 7.14、7.78、6.34,均为“高”风险级。

长江上游珍稀鱼类保护区中,各测站普遍存在镉风险较高的问题。加强对川西南、川南采矿和冶炼行业的治理应作为金沙江、岷江和沱江中上游各级环保部门的重点工作之一。同时,加强对长江上游珍稀鱼类保护区镉含量和水体总硬度的监测和预警应当作为保护区今后水资源管理的重点之一。

参考文献:

- [1] 刘朋超,麻泽浩,等. 长江流域重金属污染特征及综合防治研究进展[J]. 三峡生态环境监测,2018(3):33-37.
- [2] 高云峰,徐友宁,张江华. 秦岭某钼矿区开发对东川河流域 Cd 的影响[J]. 地质通报,2018,37(12):2241-2250.
- [3] 洪亚军,冯承莲,徐祖信,等. 重金属对水生生物的毒性效应机制研究进展[J]. 环境工程,2019,37(11):1-9.
- [4] 邢艳帅,朱桂芬. 重金属对水生生物的生态毒理效应及生物耐受机制研究进展[J]. 生态毒理学报,2017,12(03):13-26.
- [5] Rose Martin, Fernandes Alwyn, Mortimer David, et al. Contamination of fish in UK fresh water systems: risk assessment for human consumption [J]. Chemosphere,2015,122.
- [6] 沈洪艳,曹志会,张红燕,等. 淡水沉积物中 Cd 和 Cu 对河蚬的毒性效应研究[J]. 中国环境科学,2016,36(01):286-292.
- [7] 张家泉,田倩,许大毛,等. 大冶湖表层水和沉积物中重金属污染特征与风险评价 [J]. 环境科学,2017,38(06):2355-2363.
- [8] 冯承莲,赵晓丽,侯红,等. 中国环境基准理论与方法学研究进展及主要科学问题[J]. 生态毒理学报,2015,10(1):2-17.
- [9] US EPA. Guidelines for deriving numerical national water quality criteria for the protection of aquatic organisms and their uses [R]. Washington DC:Office of Research and Development,1985:1-57.
- [10] 生态环境部. 淡水水生生物水质基准—镉[S]. 2020.
- [11] 生态环境部. 淡水水生生物水质基准技术报告—镉[S]. 2020.
- [12] Miller T G, Mackay W. The effects of hardness, alkalinity and pH of test water on the toxicity of copper to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. Water Research,1980(14):129-133.
- [13] Bjerselius R, Winberg S, Winberg Y, et al. Ca²⁺ protects olfactory receptor function against acute Cu(II) toxicity in Atlantic salmon [J]. Aquatic Toxicology,1993,25:125-137.
- [14] Yim J H, Kim K W, Kim S D. Effect of hardness on acute toxicity of metal mixtures using *Daphnia magna*: Prediction of acid mine drainage toxicity [J]. Journal of Hazardous Materials,2006,138:16-21
- [15] US EPA. Review of ecological risk assessment methods [S]. Washington DC:US EPA,1988.
- [16] 张盼伟. 海河流域典型水体中 PPCPs 的环境行为及潜在风险研究[D]. 中国水利水电科学研究院,2018.
- [17] 王一喆,闫振广,张亚辉,等. 七大流域氨氮水生生物水质基准与生态风险评估初探[J]. 环境科学研究,2016,29(1):77-83.
- [18] 熊小琴,罗思,吴本丽,等. 不同硬度条件下 Cd²⁺和 Cu²⁺对稀有鮡鲫的急性毒性 [J]. 生态毒理学报,2016,11(03):316-322.
- [19] 倪中应,谢国雄,章明奎. 镉污染农田土壤修复技术研究进展[J]. 安徽农学通报,2017,23(06):115-120.
- [20] 自贡市决策咨询委员会. 自贡盐产业高质量发展路径研究 [J]. 决策咨询. 2020(01):23-28.

编辑:张绍付

Ecological risk assessment of cadmium at representative stations of the Endemic Fish National Nature Reserve of Yangtze River

MA Xiangyu¹, LU Jianting¹, MA Lin², QIAN Bao³, YAN Feng¹

(1. School of Architectural Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

2. Department of Water Resources of Hunan Province, Changsha 410007, China;

3. Hydrological Bureau of Yangtze River Basin Commission, Ministry of Water Resources, Wuhan 430010, China)

Abstract: The ecological risk of cadmium in five representative stations in the Upper Yangtze River Rare Fish Nature Reserve was evaluated based on the risk quotient model (RQF) of Cadmium in Freshwater Aquatic Quality Criteria (2020 Edition) issued by the Ministry of Ecology and Environment. The results show that: (1) the annual average values of short-term water quality criteria (SWQC) at Ping Shan Station, Yibin Station, Luzhou Station, Gaochang Station and Fushun Station were 6.89 $\mu\text{g/l}$, 6.68 $\mu\text{g/l}$, 6.51 $\mu\text{g/l}$, 6.26 $\mu\text{g/l}$ and 10.49 $\mu\text{g/l}$, respectively; and (2) the annual average values of long-term water quality criteria (SWQC) at Ping Shan Station, Yibin Station, Luzhou Station, Gaochang Station and Fushun Station were 6.89 $\mu\text{g/l}$, 6.68 $\mu\text{g/l}$, 6.51 $\mu\text{g/l}$, 6.26 $\mu\text{g/l}$ and 10.49 $\mu\text{g/l}$, respectively. The annual average values of the long-term water quality criteria (LWQC) are 0.30 $\mu\text{g/l}$, 0.30 $\mu\text{g/l}$, 0.29 $\mu\text{g/l}$, 0.28 $\mu\text{g/l}$, and 0.38 $\mu\text{g/l}$. (2) Short-term risk at Luzhou station is 0.30 $\mu\text{g/l}$, 0.30 $\mu\text{g/l}$, 0.29 $\mu\text{g/l}$, 0.28 $\mu\text{g/l}$, and 0.38 $\mu\text{g/l}$, respectively. The SRQ of Ping Shan Station, Yibin Station, Gaochang Station and Fushun Station are 0.31, 0.35, 0.37 and 0.23 respectively, which are all in the medium grade. The annual average long-term risk quotient (LRQ) values at Ping Shan Station, Yibin Station, Luzhou Station, Gaochang Station and Fushun Station were 7.14, 7.56, 1.06, 7.99 and 6.34 respectively, which were all at the "high" level. (3) The main factor influencing the ecological risk of cadmium is the total hardness of the water body in the Upper Yangtze River Rare Fish Nature Reserve. (4) This study found that in the Upper Yangtze River Rare Fish Nature Reserve, there are a number of measuring stations SRQ>1 high-risk situation, the relevant departments of the southwest and south of the Sichuan mining, smelting enterprises, mining, transportation and sewage discharge to carry out the necessary remediation. At the same time, strengthening the monitoring and early warning of cadmium content and total water hardness should be one of the priorities of water resources management in protected areas in the future.

Key words: Cadmium; Risk quotient; Water quality criteria; Ecological risk; Yangtze River

翻译: 马翔宇