

李杰, 刘久臣, 汤奇峰, 等. 川西高原地区水体中硒含量及分布特征研究[J]. 岩矿测试, 2018, 37(2): 183 - 192.

LI Jie, LIU Jiu-chen, TANG Qi-feng, et al. Study of the Contents and Distribution of Selenium in Water Samples from the Western Sichuan Plateau and the Incidence of Kaschin Beck Disease[J]. Rock and Mineral Analysis, 2018, 37(2): 183 - 192.

【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.201709250154】

川西高原地区水体中硒含量及分布特征研究

李杰^{1,2}, 刘久臣¹, 汤奇峰¹, 孟拓¹, 袁欣¹, 马博^{1,2}, 朱晓华^{1*}

(1. 国家地质实验测试中心, 自然资源部生态地球化学重点实验室, 北京 100037;

2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 川西高原是大骨节病比较集中的区域之一, 低硒是大骨节病的重要致病因素, 研究该地区硒含量对于防治大骨节病有重要意义。本文采用原子荧光光谱法研究川西高原阿坝地区大骨节病高发区水体样品中硒的含量特征。结果表明: 该区域水体中硒含量较低, 地下水的硒含量明显高于地表水和山泉水; 山泉水的硒含量为 0.001 ~ 0.058 $\mu\text{g/L}$, 平均值 0.0067 $\mu\text{g/L}$, 硒的分布受地质背景、pH 值和氧化还原电位(Eh 值)等条件的控制, 低硒的地质环境是导致山泉水的硒含量很低的最主要因素; 地表水的硒含量为 0.001 ~ 0.148 $\mu\text{g/L}$, 平均值 0.0221 $\mu\text{g/L}$, 硒分布的影响因素为地质背景、地理条件以及水体地球化学条件; 地下水的硒含量为 0.001 ~ 0.210 $\mu\text{g/L}$, 平均值 0.0523 $\mu\text{g/L}$, 硒分布的影响因素为地质背景、pH 值和 Eh 值, 有机质含量也是关键因素之一。研究认为, 对于以山泉水为主要饮用水源的藏民, 低硒的山泉水不能提供人体需要的硒营养, 不适合作为水源; 川西高原地表水资源丰富, 但水中的元素迁移性极强, 地表水中的硒不易进入生态链的循环, 也不适合作为饮用水源; 地下水的硒含量较高, 应推广作为当地的生活饮用水, 减少大骨节病的发病率。

关键词: 四川阿坝地区; 原子荧光光谱法; 水体样品; 硒; 地质背景; 水体地球化学条件

要点:

(1) 阿坝地区山泉水、地表水、地下水三种水体中硒元素含量普遍低, 地下水中硒含量相对较高。

(2) 低硒的影响因素有地质背景、地理环境、酸碱度(pH 值)和氧化-还原电位(Eh 值), 低硒的地质体是最主要因素。

(3) 当地居民应该改变饮用山泉水的习惯, 增加高硒饮用水的输入。

中图分类号: O657.31; O613.52

文献标识码: A

硒是人体必需的微量元素, 许多研究^[1-3]已经证实低水平硒与肿瘤、心血管疾病、衰老等密切相关, 严重影响着人体健康。缺硒会导致人体中的平衡状态被打破, 造成体内代谢异常, 引起一系列的生理变化, 对疾病的发生和发展产生深远影响, 如大骨节病。

国内外学者从发现到研究大骨节病已近 160 年, 有关硒与大骨节病的研究在全球范围内得到了广泛的关注^[4-5], 逐渐提出了生物地球化学学说(无机元素缺乏或比例失调论, 近些年以“低硒”说为代

表)、与饮水水质有关的学说和食物真菌毒素中毒学说^[6-7]。众多研究表明, 环境中硒元素过低是诱发大骨节病发生的重要因素之一, 大骨节病的发生与环境、动植物乃至人体内硒的含量有较强的相关性^[8-11]。我国对于水体与大骨节病之间的关系也开展了深入研究。胡建刚^[12]运用正交试验法对陕西永寿等大骨节病病区的饮水水质及其病情之间的关系进行了研究和实验, 认为饮用缺乏 Mg 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、Se、Sr 等组分的低矿化度水是导致大骨节病发生的重要原因; 王建平等^[13]在四川阿坝壤

收稿日期: 2017-09-25; 修回日期: 2018-01-30; 接受日期: 2018-03-10

作者简介: 李杰, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: xylxwzh@163.com。

通信作者: 朱晓华, 博士, 主要从事环境地球化学研究。E-mail: zglzby@163.com。

塘县大骨节病病区开展的环境水文地质调查,认为该地区水体中的有机质含量高,偏弱酸性,水的硬度、矿化度及钙、镁、硫酸根含量均相对较低,铁、锰含量较高,长时间饮用此类软水容易使得人体生长必需的钙质缺乏,导致骨骼不能正常发育;李顺江等^[14]运用 ICP-OES 法准确测定了西藏地区大骨节病病区和非病区中沟水、河水、泉水和溪水等 4 种饮水中多种元素的含量,发现大多数元素如 K、Ca、Mg、P、Zn、Co、Mn、Ba、Sr、V、Ni、Pb 在非病区要高于病区;并且对病区与非病区水源中微量元素的含量进行 *t* 检验,表明 Cu、Mn、Ba、Sr、Cd、V、Cr、Ni 等 8 种元素在病区与非病区的含量有显著差异。

我国是世界范围内地理环境硒缺乏范围最广、缺硒程度最严重的国家之一。全国大骨节病区呈条带状分布,主要位于从东北到川藏高原的狭长地带,包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、山西、河北、北京、河南、山东、陕西、甘肃、青海、四川、西藏等 14 个省/自治区。四川省阿坝藏族羌族自治州位于川藏高原,是大骨节病比较集中发生的区域之一^[15]。本文选取阿坝地区的水体样品作为研究对象,分别对山泉水、地表水、地下水取样,对其中的硒含量进行分析,研究环境要素如地质背景、地理环境、酸碱度(pH 值)和氧化-还原电位(Eh 值)对硒在水体中分布的影响行为,为环境硒的研究提供基础数据。

1 地质概况

研究区的大地构造位置为扬子地块的西北部,位于青藏高原东部的川西北松潘—阿坝地区。松潘—甘孜地块为众多地块的汇聚区,在平面上呈一个倒三角形的几何形态^[16]。其区域构造位置为:北部为西秦岭造山带,东南为龙门山造山带,西和西南为东昆仑及三江造山带。研究区内构造极其复杂,其中变形、褶皱、滑脱、冲断、推覆等构造发育,尤其是晚三叠世的印支运动对该区域影响较大,形成了广泛的印支造山带。构造形迹主要为北西向、北西向和东西向,也可见有南北向。研究区地层出露较为齐全,基底为一套中—上元古界的变质层系;寒武系、奥陶系地层缺失或者仅在部分地区小面积出露;志留系出露为一套浅变质的板岩和千枚岩;泥盆系、石炭系、二叠系时期基本上是一套比较稳定的碳酸盐岩沉积,未发生明显变化;三叠系地层在区内大面积分布,以砂岩、板岩或者砂板互层为主要特征;侏罗系、白垩系地层分布极为零星;第三系出露了一套

紫红色或砖红色的砾岩、砂岩、粉砂岩;第四系多为河湖相堆积,沉积物多为泥质层或泥炭层^[17]。

硒元素是一种广泛存在的元素,几乎存在于所有岩石中,其含量也与岩性密切相关。从变质岩、岩浆岩到沉积岩,总硒含量有增加的趋势^[18]。而水体中硒的来源主要为当地地质体。同时阿坝地区江河纵横,水资源非常丰富,区内包括长江、黄河两大水系,分布有麻尔曲河、阿柯河和贾曲河及其支流和溪沟以及大小海子(高原湖泊)。黄河在阿坝州流经 165 公里,长江上游四川境内的主要支流岷江、嘉陵江、涪江均发源于阿坝州。岷江干流及最大支流大渡河纵贯全境,其流域内水量充沛、天然落差大,蕴藏着丰富的水能资源。

2 实验部分

2.1 样品采集

2009 年和 2010 年两次野外工作,在阿坝研究区共采集水样品 110 件,其中地表水 46 件、地下水 21 件、山泉水 36 件。样品采集完成后封存好及时送样测试,然后系统地研究了整个地区的契合性。由于采样点多,分布较为分散,在图中不便准确标出各个采样点位置,故将采样点分布区域标识于图 1 中。

2.2 样品处理与分析

样品处理:水体样品振荡过滤后,采用原子荧光光谱法(AFS)测定过滤液中的全硒含量。

样品中 Se 含量分析:在国家地质实验测试中心完成,检测方法依据 GB/T 8538.32—1995。分析质量采用插入国家标准物质和加标回收两种方式进行控制,并通过加测重复密码样进行检验。按《生态地球化学评价样品分析技术要求》(DD 2005-03)规定,分析测试准确度和精密度符合要求,回收率范围满足 90%~110%,相对标准偏差小于 5%。

标准曲线:准确移取硒的标准工作溶液(0.1 μg/mL) 0.00、0.50、1.00、1.50、2.00、2.50 mL 于 50 mL 容量瓶中,用 20% 盐酸稀释至刻度,摇匀后即成 0.00、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 μg/L 硒的标准系列,测试并绘制荧光强度与硒标液浓度的工作曲线,用于进行样品的测定分析。

原子荧光光谱仪测量:测量条件为负高压 280 V,灯电流 70 mA,原子化器高度 7 mm,原子化温度 200℃,载气(氩气)流量 650 mL/min。方法检出限为 0.001 μg/L。

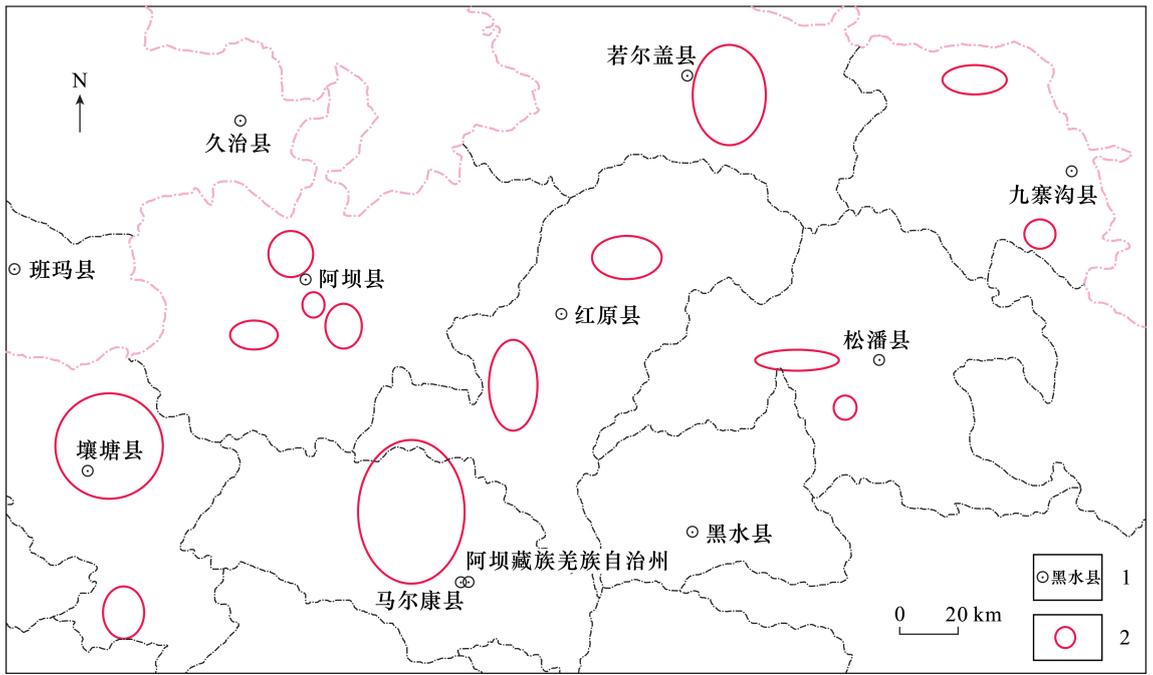


图1 样品位置图

Fig. 1 The sampling map of Tibetan Qiang Autonomous Prefecture of Ngawa, Sichuan Province

3 结果与讨论

3.1 阿坝研究区水体中硒的含量

表1是阿坝研究区水样品中硒元素含量统计,可以看出三种类型水样中的硒含量大小明显呈地下水>地表水>山泉水,地下水中的硒含量明显高于山泉水和地表水,硒平均值是山泉水的7.8倍,是地表水的2.4倍。由于环境介质中的硒主要来源于当地地质体,研究区出露的地层以三叠系的浅变质岩为主,这也就决定了岩石中硒的质量分数偏低。结合该区域变质岩样品的分析数据^[19]:岩石中硒的质量分数范围为0.030~0.132 μg/g,平均值为0.065 μg/g,这也与我国变质岩中硒的平均质量分数0.07 μg/g相当^[20]。结合表1中的数据可知,研究区硒含量受地质背景、地理环境等因素的影响,其中酸碱度(pH值)和氧化-还原电位(Eh值)是重要的控制因素。

山泉水中有近70%的样品未检出硒(图2a),而当地藏民饮水以山泉水为主,说明阿坝藏民饮用

水严重缺硒。地表水中有43.5%的样品未检出硒(图2b),而且地表水中硒的平均值和中位数差异较大,说明地表水中的硒含量也比较低,且数据不呈正态分布。地下水也有27.3%的样品未检出硒(图2c),占地下水总样品数的比例较小,平均值和中位数差异不大,但数据同样不呈正态分布。

3.2 山泉水中的硒含量

山泉水大多由岩石缝隙渗出,水中的硒主要受岩石硒含量和地质环境中pH和Eh的控制,当pH处于弱碱性或较高水平时,硒主要以 SeO_4^{2-} 的形式存在,它的溶解性较强,有利于硒元素溶出,进入水体。而该区域山泉水的pH处于弱碱性,但由于该区域地质体本身的硒含量较低(阿坝研究区212件表层土壤中有195件样品小于我国土壤低硒界限值的0.200 μg/g,占样品总数的91.98%,属于严重缺硒地区;阿坝研究区岩石内硒的含量平均值为0.065 μg/g,低于我国大部分构造单元),故导致了山泉水乃至整个区域水体中的硒含量较低。

表1 阿坝地区水样品中硒含量统计

Table 1 The statistics of Se content of water samples in Aba region

样品类型	样本数(N)	pH平均值	Eh平均值	Se含量(μg/L)				Se含量<0.001 μg/L的统计	
				最大值	最小值	平均值	中位数	样本个数(n)	占总样本数的比例(%)
山泉水	36	7.81	165	0.058	< 0.001	0.0067	< 0.001	25	69.4
地表水	46	7.91	194	0.148	< 0.001	0.0221	0.011	20	43.5
地下水	21	7.47	119	0.210	< 0.001	0.0523	0.050	6	27.3

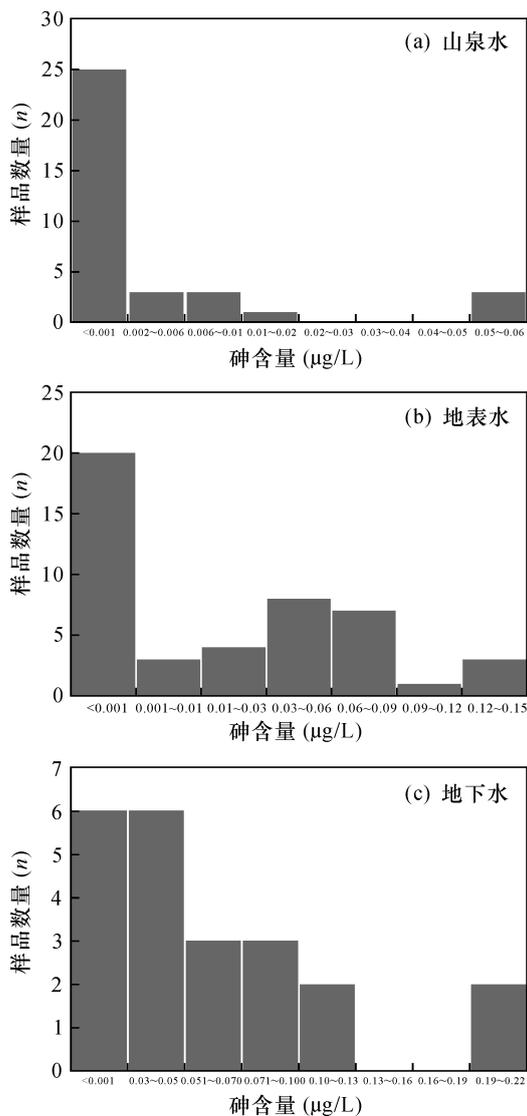


图2 阿坝地区水体样品硒含量数据分布

Fig. 2 The Se content of water samples in Aba region

山泉水是阿坝州藏民的主要饮用水源,也是大骨节病重病区居民的主要饮用水。在研究区采集的36件山泉水样品中有69.4%未检出硒,硒含量平均值为 $0.0067\ \mu\text{g/L}$,最大值仅 $0.058\ \mu\text{g/L}$ 。从人体健康的角度认为,山泉水不能提供有效的硒营养,不适合作为饮用水。

3.3 地表水中的硒含量

阿坝地区地表水资源极其丰富,每个山谷都有一条湍流不息的河流,大骨节病高发区绝大多数位于河流上游地区。当地藏民没有饮用河水的习惯,主要用于灌溉和畜用,因此,地表水成为土壤中元素补充的主要来源,也直接影响农作物中的元素丰度。

阿坝地区地表水中元素的丰度除了受地质背景

的控制外,主要与地理条件,如海拔高度、地形、地貌等因素有关,还与水量、流速、水体pH和Eh等有关。由于采样区域地形复杂,很多采样并不能很好地沿同一流域进行,本研究分析了采样点相对连续的地表水样品:阿坝县阿柯河—阿曲河流域和壤塘县上壤塘—茸木达则曲河流域。

3.3.1 阿坝县阿柯河—阿曲河流域

各样点环境参数和水中硒含量见表2,环境参数与硒含量相关分析见图3。从表2和图3中的数据可以看出,海拔高度与水中硒含量呈明显正相关(相关系数为0.9089),海拔高度还与pH呈正相关(相关系数为0.8618),与Eh呈负相关(相关系数为 -0.7875)。值得高度关注的是水体pH与硒含量呈极显著正相关,相关系数为0.9276,说明水体酸碱度对硒有较强的控制作用。Eh与硒含量呈较弱相关,相关系数为 -0.6788 ,对水体中硒含量有部分控制作用。

表2 阿坝县阿柯河—阿曲河地表水样点环境参数和硒含量统计

Table 2 Environmental parameters and Se content of surface water in Ake River and Aqu River of Aba region

样品编号	采样点所在 的乡镇	采样点所在 的村	海拔 (m)	pH	Eh (mV)	Se含量 ($\mu\text{g/L}$)
ABW-05	安斗	派克	3373	8.19	170	0.089
ABW-07	各莫	查不壤	3343	8.19	182	0.068
ABW-08	河支	甲依	3313	8.22	187	0.074
ABW-11	安羌	中安	3170	8.04	192	0.061
ABW-14	安羌	下安	3109	7.95	210	0.027
ABW-12	茸安	阿斯久	3108	7.68	188	0.013

阿柯河上游地表水中的硒较高($0.089\ \mu\text{g/L}$),但随着海拔降低,至阿曲河下游,水中的硒含量只有 $0.013\ \mu\text{g/L}$ 。海拔降低,水体pH迅速下降,Eh有所上升,导致水中的硒含量明显降低。

由此而知,阿柯河上游地质背景中的硒含量比较高,水体处于弱碱性($\text{pH} = 8.19$),硒主要以 SeO_4^{2-} 的形式存在,易于在水中迁移,阿柯河上游硒的存在形式和运移能力主要受pH控制,这也与朱建明等^[21]和Elrashidi等^[22]研究的环境中硒的存在形式相一致。

随着河支—安羌段海拔高度迅速下降,海拔落差达143m,河水中的硒被湍急的河水迅速带到下游,中途没有及时的硒源交换补充,上游带来的硒被稀释,导致阿曲河中硒含量也随之下降。河支—安

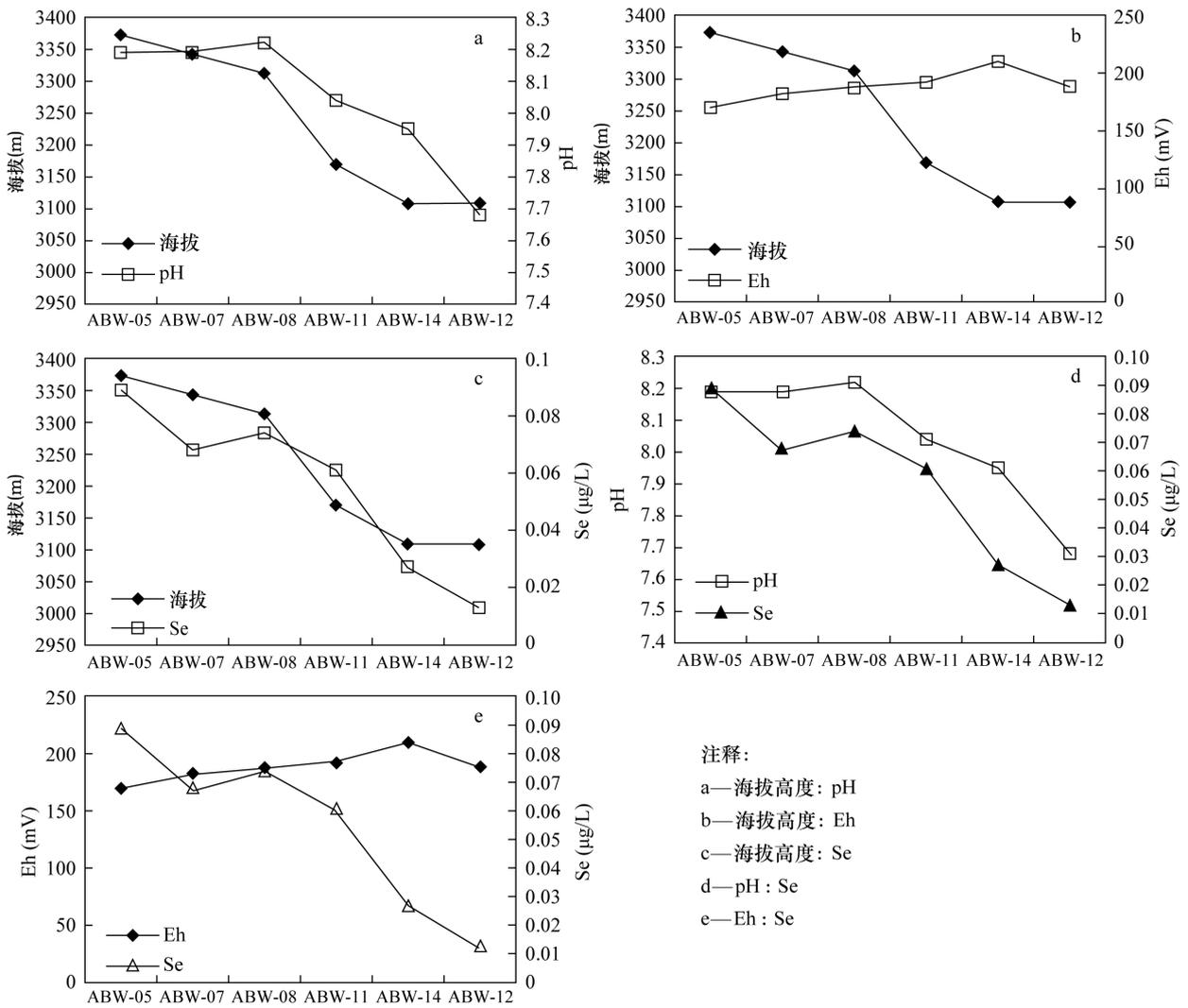


图 3 阿坝县阿柯河—阿曲河流域地表水环境参数与硒相关性分析

Fig. 3 The correlation analysis of surface water environmental parameters and Se content from Ake River and Aqu River in Ngapa county

羌段硒含量主要受地理条件——海拔落差的影响和控制。

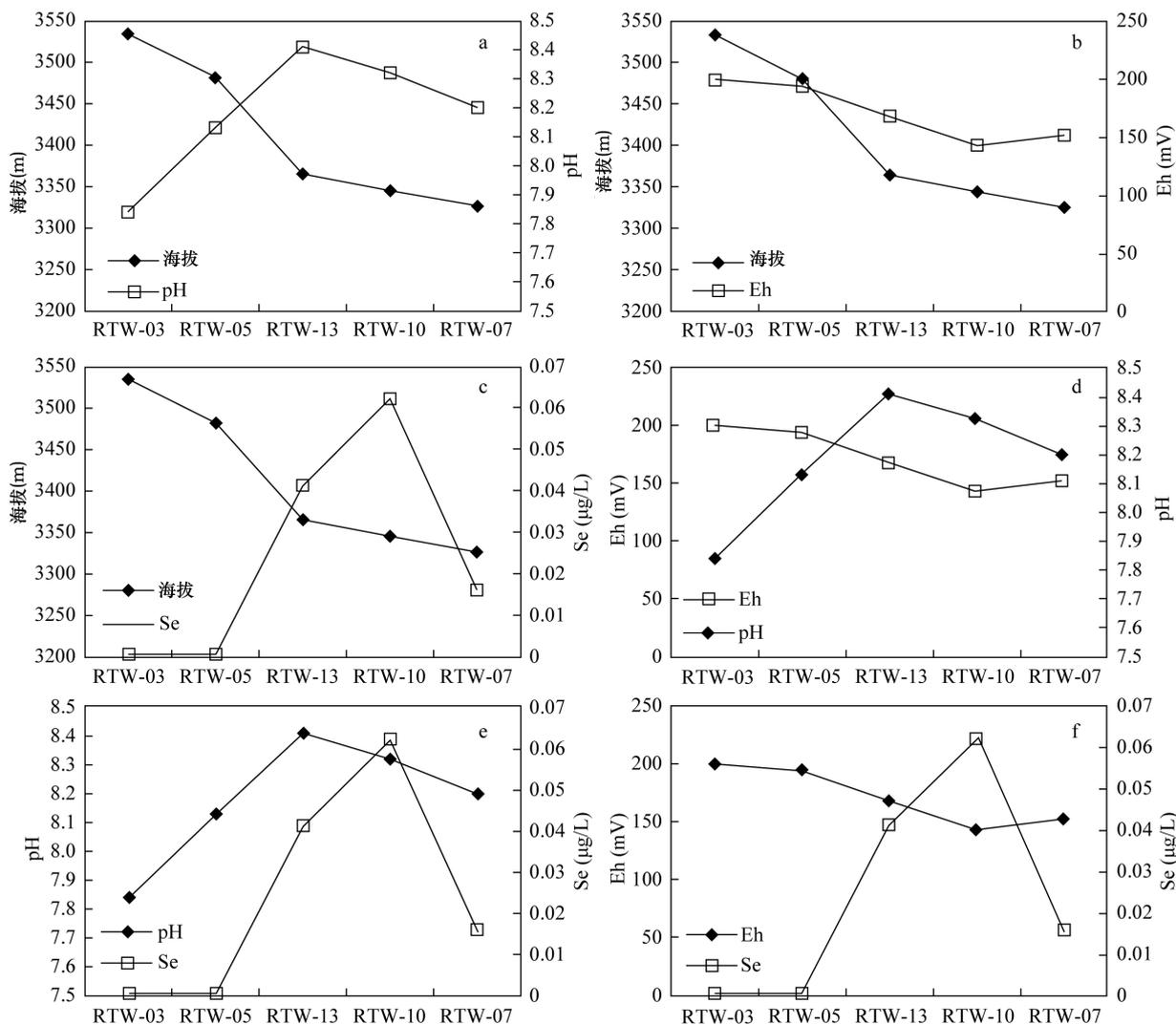
中安—下安—阿斯久段海拔落差不大,水流比较平缓,水体 pH 有所降低,但仍处于中性—弱碱性水平。同时由于海拔高度降低,在此河段水体的 Eh 明显上升,说明水体的还原性降低,氧化性增强。在这种环境条件下,有利于硒形成氧化态 SeO_4^{2-} ,增强它在水中的迁移能力,其易随水迁移,由于没有外来硒的补给,导致该区域水中的硒浓度降低。因此在阿曲河下游,控制硒迁移的是 pH 和 Eh 共同作用的结果。

3.3.2 壤塘县上壤塘—茸木达则曲河流域

该区域各样点环境参数和水中硒含量见表 3,环境参数与硒含量相关分析见图 4。从表 3 和图 4

中数据可以看出,与阿坝县阿柯河上游比较,壤塘县则曲河上游地质背景中的硒极低,在上壤塘至中壤塘段水中均未检出硒。

则曲河从雪木达到阿加,海拔落差达 169 m,水体 pH 明显上升,水中硒含量增加。在这个河段汇入则曲河的支流很多,尕多和南木达是两个人口较多的乡镇,村庄密度大,河流中硒含量的增加不排除人为因素。从相关分析结果来看,海拔高度与 Eh 的相关性非常显著,相关系数达 0.9518; Eh 与硒含量的相关系数 (-0.8075) 也比较高,可以认为随着海拔降低, Eh 值降低,水体的还原性增强,主要是由于水体的一些有机酸浓度增加所致,硒与它们的结合使得水中硒含量增加。



a—海拔高度：pH；b—海拔高度：Eh；c—海拔高度：Se；d—pH：Eh；e—pH：Se；f—Eh：Se。

图4 壤塘县则曲河流域地表水环境参数与硒相关性分析

Fig. 4 The correlation analysis of surface water environmental parameters and Se content from Zequ River in Rangtang county

表3 壤塘县则曲河地表水样点环境参数和硒含量统计

Table 3 Environmental parameters and Se content of surface water from Zequ River in Rangtang county

样品编号	采样点所在的乡镇	采样点所在的村	海拔 (m)	pH	Eh (mV)	Se 含量 (μg/L)
RTW-03	上壤塘	雪木达	3534	7.84	200	< 0.001
RTW-05	中壤塘	中壤塘	3481	8.13	194	< 0.001
RTW-13	南木达	阿加	3365	8.41	168	0.04
RTW-10	茸木达	甲拉	3345	8.32	143	0.06
RTW-07	茸木达	茸木达	3326	8.20	152	0.02

阿加至甲拉村段没有支流汇入则曲河,海拔落差很小,水面平缓,河流的 pH 略有降低,但仍属于弱碱性。在没有外源补给的前提下,河流的自净作用使水中硒含量略有降低。该结果也与王建平

等^[13]、许模等^[23]研究壤塘县得出的沿河谷高海拔上游的发病率明显低于低海拔下游的结论相吻合。

3.4 地下水中的硒含量

本研究在阿坝研究区共采集地下水样品 21 件,与山泉水和地表水相比,处于相对封闭环境的地下水,其 pH 和 Eh 值都较低,而硒含量最高。

马尔康、壤塘、阿坝、红原和松潘五个县地下水环境参数和硒含量平均值(表 4)相比较发现,硒含量:壤塘 > 阿坝 > 红原 > 松潘 > 马尔康;最高值是最低值的 7.8 倍;pH:壤塘 > 阿坝 > 松潘 > 马尔康 > 红原;Eh 值:阿坝 > 壤塘 > 松潘 > 红原 > 马尔康。

以五个县各自的地下水 pH、Eh 和 Se 含量平均值作相关分析发现,只有 pH 与 Se 有较强正相关,相关系数为 0.6846。为了排除不同地区地下水环

境不同地球化学特征对相关分析的影响,本研究对壤塘、阿坝、红原三个县的地下水环境参数和硒含量分别作相关分析。结果(表 5)表明,阿坝县地下水硒含量与 Eh 呈明显负相关,相关系数为 -0.9979 ,说明阿坝县地下水中的氧化还原环境是控制硒含量的主要因素。红原县的地下水硒含量与 pH 呈明显正相关,相关系数为 0.9771 ,地下水环境的酸碱度和氧化还原电位是影响硒含量的主要因素。

表 4 阿坝地区不同县地下水环境参数和硒含量平均值及相关分析统计

Table 4 Environmental parameters, Se content of surface water and correlation analysis of groundwater from different counties in ABA region

参数	马尔康县 (n=2)	壤塘县 (n=9)	阿坝县 (n=4)	红原县 (n=4)	松潘县 (n=2)	相关 分析	相关 系数
pH	7.48	7.77	7.58	6.97	7.54	pH: Eh	0.1486
Eh	-22	169	176	133	141	pH: Se	0.6781
Se 含量	0.0360	0.0861	0.1049	0.0134	0.0213	Eh: Se	0.4355

表 5 壤塘、阿坝、红原县地下水环境参数和硒含量相关分析统计

Table 5 The correlation analysis of groundwater environmental parameters and Se content in Rangtang, Ngapa and Hongyuan county

区域	pH: Eh 相关系数	pH: Se 相关系数	Eh: Se 相关系数
壤塘县	-0.1888	-0.4097	-0.0228
阿坝县	0.3167	-0.3054	-0.9979
红原县	0.2548	0.9771	0.3733

为了进一步揭示地下水中硒含量分布的影响因素,选择红原县安曲乡中心小学和马尔康县邓家桥两个有水文地质资料的地下水水井并分析其硒含量。表 6 是这两口水井的岩石和地下水环境参数和硒含量。数据显示,两口水井岩石的有机碳和硒含量差别较大,两口水井的 Eh 和硒含量存在明显差异。

对图 5 红原县安曲乡中心小学和马尔康县邓家桥两口水井剖面图分析发现,红原安曲乡中心小学井垂向剖面中大部分由砾石、粗砂和粉砂组成,透水

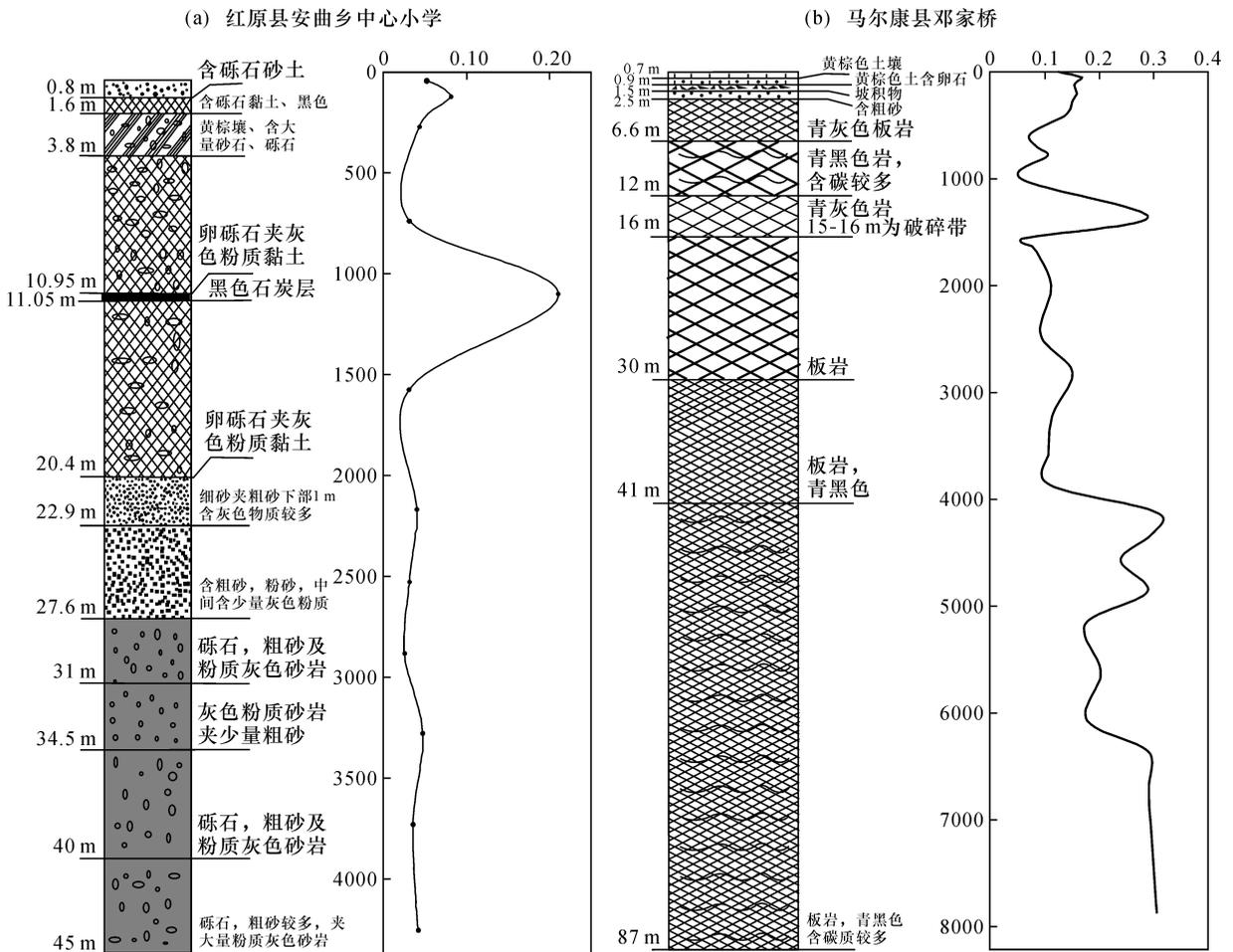


图 5 红原县安曲乡中心小学和马尔康县邓家桥地下水井剖面图

Fig. 5 The profile of water well in Hongyuan and Barkam county

表6 马尔康和红原两个水井地下水环境参数和硒含量统计

Table 6 Environmental parameters and Se content from two wells in Barkam and Hongyuan county

样品编号	采样所在的县、乡	采样所在的村	海拔(m)	岩石		地下水		
				Se含量($\mu\text{g/g}$)	有机质含量(%)	pH	Eh(mV)	Se含量($\mu\text{g/L}$)
MEKW-07	马尔康县松岗乡	邓家桥	2559	0.169	6.80	6.72	4	0.034
HYW-07	红原县安曲乡	中心小学	3515	0.058	2.20	6.82	158	<0.001

性强,仅在 10.95 ~ 11.05 m 间 10 cm 厚的黑色石炭层有硒富集,该井的水中未检出硒。马尔康邓家桥井除了在 12 m 附近有含碳质较高的黑色板岩的硒含量较高外,剖面的 41.0 ~ 87.0 m 间都是含碳质较高的碳质板岩,这个间隔岩石中的硒含量也比较高。在地下水井中,有机碳含量决定了环境的 Eh,有机质对硒元素的吸附特征控制了地下水中硒元素水平。据韩文亮等^[24]在湖北恩施的研究从而得出碳质板岩是富硒岩层中硒易于富集的场所,富硒碳质板岩中的可利用态硒主要以有机结合态硒为主,有机质在硒富集的地球化学过程中承担了重要作用。

4 结论

通过对阿坝地区三种水体中硒含量的分析与研究,水体中硒元素也是源于地质体本身,在特定地质环境中,对水体中硒含量的分析也应与地质体本身的性质相结合,对地带性的低硒现象进行分析更是如此。

(1)阿坝地区三种水体中的硒含量普遍较低,硒含量明显呈地下水 > 地表水 > 山泉水,最重要的影响为以砂岩、板岩为主的地区硒元素的质量分数偏低,同时易溶于水的硒矿物较少。

(2)阿坝研究区山泉水中的硒含量平均值为 0.0067 $\mu\text{g/L}$,最大值仅为 0.058 $\mu\text{g/L}$,对于常年以山泉水为主要饮用水源的藏民,不能提供人体健康需要的硒营养,应当尽快改善。地表水中的硒含量相比山泉水有所增加,最大值为 0.148 $\mu\text{g/L}$,硒含量与 pH 呈明显正相关。由于阿坝地区地表水资源丰富,水中的元素迁移性极强,地表水中的硒不易进入生态链的循环。

(3)阿坝研究区几类水体中,地下水的硒含量最高,除了与 pH 呈较强正相关外,有机质在硒富集的地球化学过程中起到了重要作用。

(4)大骨节病与当地水体含硒量关系密切,调节和改善环境低硒地区居民的饮水习惯,增加外源性高硒饮用水的输入,减少对低硒环境的依赖,将对大骨节病的防治具有重要的意义。

5 参考文献

- [1] 梁立军. 微量元素硒与人体健康[J]. 医学理论与实践, 2008, 21(3): 287-288.
Liang L J. The trace element selenium and the health human body [J]. The Journal of Medical Theory and Practice, 2008, 21(3): 287-288.
- [2] Tan J A, Zhu W Y, Wang W Y, et al. Selenium in soil and endemic diseases in China [J]. The Science of the Total Environment, 2002, 284: 227-235.
- [3] Zhu J M, Zuo W, Lian X B, et al. Occurrence of native selenium in Yutangba and its environmental implications [J]. Applied Geochemistry, 2004, 19: 461-467.
- [4] 李海蓉, 杨林生, 谭见安, 等. 我国地理环境硒缺乏与健康研究进展 [J]. 生物技术进展, 2017, 7(5): 381-386.
Li H R, Yang L S, Tan J A, et al. Progress on selenium deficiency in geographical environment and its health impacts in China [J]. Current Biotechnology, 2017, 7(5): 381-386.
- [5] Rayman M P. Selenium and human health [J]. Lancet, 2012, 379(9822): 1256-1268.
- [6] Sudre P, Mathieu F. Kashin-Beck disease: From etiology to prevention or from prevention to etiology [J]. International Orthopaedics, 2001, 25(3): 175-179.
- [7] 安永会, 贾小丰, 李旭峰, 等. 中国大骨节病地质环境特征及其病因研究 [J]. 中国地质, 2010, 37(3): 563-570.
An Y H, Jia X F, Li X F, et al. Geological environment characteristics and etiology research on Kaschin-Beck disease in China [J]. Geology in China, 2010, 37(3): 563-570.
- [8] 朱振源, 侯少范. 大骨节病低硒病因简论 [J]. 地方病通讯, 1984(2): 30-34.
Zhu Z Y, Hou S F. The brief comment of low selenium in Kaschin Beck disease [J]. Chinese Journal of Control of Endemic Diseases, 1984(2): 30-34.
- [9] Bech J, Suarez M, Reverter F, et al. Selenium and other trace elements in phosphate rock of Bayovar—Sechura (Peru) [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2010, 107(2): 136-145.

- [10] 徐刚要,吕晓娅,曹小刚. 陕西省大骨节病国家监测点19年监测结果分析[J]. 中国地方病防治杂志, 2009,24(6):442-446.
Xu G Y, Lü X Y, Cao X G. Analysis on monitoring data of Kaschin-Beck disease in Shannxi Province during 19 years [J]. Chinese Journal of Control of Endemic Diseases, 2009,24(6):442-446.
- [11] 徐刚要,曹小刚,吕晓娅. 2001~2003年陕西省大骨节病病情和硒盐监测报告[J]. 中国地方病学杂志, 2004,23(6):556-557.
Xu G Y, Cao X G, Lü X Y. Report of Kaschin-Beck disease prevalence and selenium salt monitoring in Shannxi Province from 2001 to 2003 [J]. Chinese Journal of Endemiology, 2004,23(6):556-557.
- [12] 胡建刚. 正交试验法在大骨节病区饮水水质研究中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 1990(3):89-95.
Hu J G. An application of the quadrature test method to studying the drinking water quality in the Kaschin-Beck disease areas [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 1990(3):89-95.
- [13] 王建平,谢洪毅. 阿坝壤塘县大骨节病区环境水地质调查[J]. 资源环境与工程, 2006,20(1):18-20.
Wang J P, Xie H Y. The environmental hydrogeology of KBD district in Rangtang county of ABA [J]. Resources Environment & Engineering, 2006,20(1):18-20.
- [14] 李顺江,杨林生,王五一,等. ICP-AES法测定西藏大骨节病区及非病区饮用水中的微量元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2007,27(3):585-588.
Li S J, Yang L S, Wang W Y, et al. Determination of trace elements in drinking water of Kashin-Beck disease affected and non-affected areas in Tibet by ICP-AES [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(3):585-588.
- [15] 黄慧,李富忠,邓佳云,等. 2007年四川省大骨节病监测结果分析[J]. 预防医学情报杂志, 2009,25(6):467-468.
Huang H, Li F Z, Deng J Y, et al. Analysis on monitoring results of Kaschin-Beck disease in Sichuan Province in 2007 [J]. Journal of Preventive Medicine Information, 2009,25(6):467-468.
- [16] 苏本勋,陈岳龙,刘飞,等. 松潘—甘孜地块三叠系砂岩的地球化学特征及其意义[J]. 岩石学报, 2006,22(4):961-970.
Su B X, Chen Y L, Liu F, et al. Geochemical characteristics and significance of Triassic sandstones of Songpan—Ganze Block [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006,22(4):961-970.
- [17] 李月. 松潘—阿坝及东缘龙门山地区构造特征及动力学分析[D]. 北京:中国石油大学, 2008.
Li Y. Analysis to the Structure Features and Dynamics of Songpan—Aba and Longmen Mountain Area [D]. Beijing: China University of Petroleum, 2008.
- [18] 樊海峰,温汉捷,凌宏文,等. 表生环境中硒形态研究现状[J]. 地球与环境, 2006,34(2):19-26.
Fan H F, Wen H J, Ling H W, et al. Recent progress in research on selenium speciation in the supergene environment [J]. Earth and Environment, 2006,34(2):19-26.
- [19] 朱晓华,刘晓端,汤奇峰,等. 阿坝高海拔地区多环境介质中硒的分布研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016,41(9):30-36.
Zhu X H, Liu X D, Tang Q F, et al. On distribution of Se in multi medium in Aba high-altitude areas [J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2016,41(9):30-36.
- [20] 夏卫平,谭见安. 中国一些岩粉中硒的比较研究[J]. 环境科学学报, 1990,10(2):125-131.
Xia W P, Tan J A. A comparative study of selenium content in Chinese rocks [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1990,10(2):125-131.
- [21] 朱建明,梁小兵,凌宏文,等. 环境中硒存在形式的研究现状[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003,22(1):75-81.
Zhu J M, Liang X B, Ling H W, et al. Advances in studying occurrence modes of selenium in environment [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2003,22(1):75-81.
- [22] Elrashidi M A, Adriano D C, Workman S M, et al. Chemical equilibria of selenium in soils: A theoretical development [J]. Soil Science, 1987, 144(2):274-280.
- [23] 许模,刘国,陈旭,等. 川西北高原壤塘县大骨节病区水环境微量元素分析[J]. 中国地质, 2010,37(3):600-606.
Xu M, Liu G, Chen X, et al. Trace element analysis of water environment in Kaschin-Beck disease area Zamtang county, Northwest Sichuan Plateau [J]. Geology in China, 2010,37(3):600-606.
- [24] 韩文亮,朱建明,秦海波,等. 恩施渔塘坝富硒碳质岩石中硒的形态分析[J]. 矿物学报, 2007,27(1):91-97.
Han W L, Zhu J M, Qin H B, et al. Selenium speciation in Se-rich rocks at Yutangba [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2007,27(1):91-97.

Study of the Contents and Distribution of Selenium in Water Samples from the Western Sichuan Plateau and the Incidence of Kaschin Beck Disease

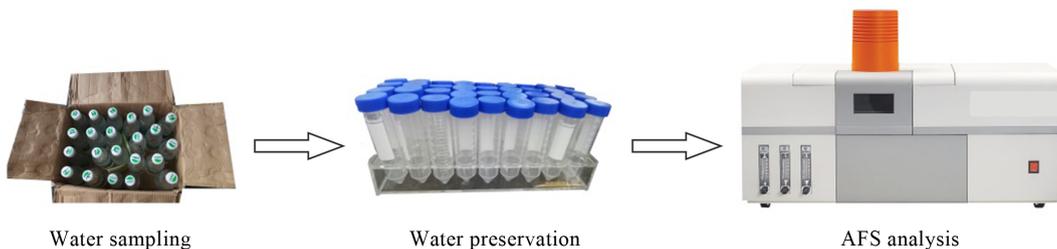
LI Jie^{1,2}, LIU Jiu-chen¹, TANG Qi-feng¹, MENG Tuo¹, YUAN Xin¹, MA Bo^{1,2}, ZHU Xiao-hua^{1*}

(1. National Research Center for Geoanalysis, The Key Laboratory of Eco-Geochemistry, Ministry of Natural Resources, Beijing 100037, China;

2. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

HIGHLIGHTS

- (1) The contents of selenium in three kinds of water bodies including spring water, surface water and groundwater are generally low in Aba region, and the selenium content in groundwater is relatively high.
- (2) The influencing factors of low selenium include geological background, geographical environment, pH and Eh. And the geological body with low selenium is the most important factor.
- (3) Local residents should change the habit of drinking spring water and increase the input of drinking water with high selenium.



ABSTRACT: The West Sichuan Plateau is one of the most concentrated areas for Kaschin Beck disease. Lack of selenium is an important factor of Kaschin Beck disease, therefore, selenium content study in this area is important for its prevention. Atomic Fluorescence Spectrometry was used to analyze the contents of selenium in water samples in the Aba region, West Sichuan Plateau. Results show that the content of selenium in water is low, and the content of selenium in groundwater is obviously higher than that of surface water and spring water. The content of selenium in spring water is 0.001 – 0.058 $\mu\text{g/L}$, with an average value of 0.0067 $\mu\text{g/L}$. The distribution of Se is controlled by geological background, pH and Eh. The low selenium geological environment is the most important factor leading to low selenium content in spring water. The selenium content of surface water is 0.001 – 0.148 $\mu\text{g/L}$, with an average value of 0.0221 $\mu\text{g/L}$, and the influence factors of selenium distribution are geological background, geographical conditions and water geochemical conditions. The content of selenium in groundwater is 0.001 – 0.210 $\mu\text{g/L}$, with an average value of 0.0523 $\mu\text{g/L}$, and the influence factors of selenium distribution are geological background, pH and Eh, as well as the content of organic matter. This study indicates that low selenium spring water cannot provide the selenium nutrition needed by Tibetans whose main drinking water source is spring water, and is thus not suitable as a water source. The surface water resources in the Western Sichuan Plateau are abundant. However, the migration of elements in water is very strong. Therefore, it is difficult for selenium in surface water to enter the ecological chain, making the surface water unsuitable as a source of drinking water. In order to reduce the incidence of local Kaschin Beck disease, groundwater with high selenium content should be used as a source of local drinking water.

KEY WORDS: Aba region of Sichuan Province; Atomic Fluorescence Spectrometry; water sample; selenium; geological background; water geochemical conditions