

夏季红碱淖水化学特征及影响因素分析

梁丽娥, 王磊*, 张正洪

(延安大学建筑工程学院, 陕西 延安 716000)

摘要:以陕北红碱淖为研究对象, 2020年6月对其湖泊水体选取9个采样点采样, 分析阴阳离子的空间分布, 并利用Piper三线图及离子比例关系分析离子来源及影响因素, 探讨红碱淖水化学特征及其影响因素。结果表明: 红碱淖水体阳离子测定值为 $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$, 阴离子测定值为 $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, 水化学类型现状为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$ 型, 水化学特征主要受碳酸盐岩和蒸发盐岩共同作用。红碱淖主要受岩石风化溶解作用控制, 人类活动对水化学特征也有一定的影响。

关键词: 红碱淖; 水化学类型; 岩石风化; 人类活动

中图分类号: X524

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2021)05-0064-04

Hydrochemical Characteristics and Influencing Factors of Hongjiannao Lake in Summer

LIANG Li-e, WANG Lei*, ZHANG Zheng-hong

(Architectural Engineering Institute, Yanan University, Yanan, Shaanxi 716000, China)

Abstract: Taking Hongjiannao Lake in northern Shaanxi as the research object, 9 sampling sites were selected for analyzing the spatial distribution of anions and cations in the lake in June 2020. The sources and influencing factors of the ions were studied according to Piper three-line diagram and ion relations. The hydrochemical characteristics and influencing factors of Hongjiannao Lake were discussed. The results indicated that the concentration of cations in Hongjiannao Lake was $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$, and the concentration of anions was $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$. The hydrochemical type was $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$. The hydrochemical characteristics of Hongjiannao Lake were mainly affected by the weathering and dissolution of carbonate rocks and evaporites, human activities also had a certain influence effect.

Key words: Hongjiannao Lake; Hydrochemical type; Rock weathering; Human activity

湖泊在整个生态系统中扮演着极其重要的角色, 是流域内水文循环的重要环节, 能够调节区域气候与生态环境^[1]。由于湖泊特殊的结构, 其物质交换方式独特, 水化学特征能较好地反映流域水文循环过程, 指示流域水岩特征, 进而反映流域自然变化及人类活动的影响^[2-3]。由于不同区域水环境特征、人类影响因素、气候特征等都存在很大差异, 湖泊水化学特征呈现不同的特点和演化阶段^[4-5]。对于西北地区沙漠型湖, 常年干旱少雨、蒸发强烈, 生态环境脆弱, 红碱淖位于陕北革命老区, 气候环境特殊敏感, 正是处于这样的特殊环境中。近年来, 陕北能源化工基地迅速发展, 这些能

源带动当地经济发展的同时, 也使得水资源陷入资源之战中, 造成该地区的水生态安全和水生态系统日益恶化。目前针对红碱淖的研究主要集中在湖泊面积变化研究方面, 湖泊已经呈现萎缩的趋势^[6-7], 对于水环境方面的研究还处于初级阶段。

收稿日期: 2020-08-05; 修订日期: 2021-08-17

基金项目: 陕西省教育厅专项科研基金资助项目(18JK0880); 延安大学博士科研启动基金资助项目(YDBK2017-19); 延安大学校级引导基金资助项目(YDY2018-13); 延安大学校级科研基金资助项目(YDQ2019-33)

作者简介: 梁丽娥(1989—), 女, 陕西渭南人, 讲师, 博士研究生, 从事水环境修复及环境演化研究。

* 通信作者: 王磊 Email: wanglei7015@163.com

随着补给流量的下降,沙漠化加剧,工业排放及旅游业的开发,红碱淖水质富营养化加剧^[8]。今从湖泊水环境入手,对红碱淖水化学特征及影响因素进行研究,旨在为红碱淖流域水环境保护、生态恢复及遗鸥的保护提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

红碱淖 (E109° 42' ~ E110° 54', N38° 13' ~ N39°27') 位于陕西省神木市西北部,地处黄土高原与内蒙古高原过渡地带,毛乌素沙漠与鄂尔多斯盆地交汇处,是全国最大的沙漠淡水湖,有“沙漠明珠”之称,也是世界濒危动物遗鸥的繁殖与栖息地。湖面大致呈三角形,沿岸有 7 条季节性河流注入:扎萨克河、壕赖河、松道沟河、东葫芦素河、七卜素河、尔林兔河和马连河,平均水深 8.2 m,最深水位 12 m,湖泊面积 44.17 km²,流域面积约 1 500 km²。红碱淖属温带半干旱大陆性季风气候,干燥多风,年均降雨量约 400 mm,多以暴雨形式集中于 7—9 月。2020 年 6 月,通过对红碱淖实地考察,结合湖泊水域特征、水文条件等在湖面选取 9 个采样点(见图 1),基本覆盖全湖,能够反映湖泊整体水环境状况。

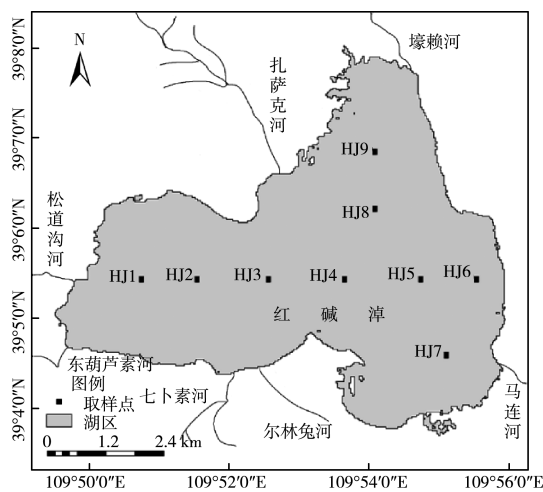


图 1 采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites

1.2 样品采集与处理

样品采集时主要利用 GPS 定位,在每个采样点水面以下 0.5 m 处采集水样 1 000 mL,并利用梅特勒 (SG8 - ELK 型, SG9 - ELK 型) 多参数笔现场

测定 pH 值、电导率、水温、溶解氧等水体理化参数。样品送回实验室后,用循环多用真空泵和孔径 0.45 μm、直径 50 mm 的微孔滤膜过滤水样,用青岛盛瀚公司生产的 CIC - 200 型离子色谱仪测定阴阳离子 (Cl⁻、SO₄²⁻、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺)。总硬度 (以 Ca²⁺ 计) = 2.497 × ρ (Ca²⁺) + 4.118 × ρ (Mg²⁺)^[9]。HCO₃⁻ 和 CO₃²⁻ 采用双指示剂滴定法测定^[10]。

1.3 数据处理

数据处理采用 Excel 2003、SPSS 17.0 和 AquaChem 3.70 等软件完成。

2 结果与讨论

2.1 各离子含量特征及空间分布

红碱淖湖泊水体 pH 值均值为 9.25,呈碱性,水体硬度均值为 73.91 mg/L,属于硬水 (硬度 > 60 mg/L)。水体中主要阳离子测定值为 Na⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺ > K⁺,优势离子为 Na⁺,其次为 Mg²⁺,分别占阳离子总量的 64.0% 和 22.2%。主要阴离子测定值为 HCO₃⁻ > Cl⁻ > SO₄²⁻,优势离子为 HCO₃⁻,其次为 Cl⁻,分别占阴离子总量的 45.5% 和 32.8%。根据地表水水化学类型分类方法中的 O. A. 阿列金分类法^[11],红碱淖湖水水化学类型为 [C]Na I 型水。对红碱淖湖泊水体阴阳离子空间分布进行分析,结果见图 2。由图 2 可见,HCO₃⁻ 测定值从取样点 HJ1 到 HJ9 呈现逐步增加的趋势,即从湖泊西部到东部逐渐增加,从南部到北部逐渐增加。Na⁺ 测定值呈现从湖西部到东部逐渐降低,从南部到北部逐渐增加的趋势。其他离子全湖变

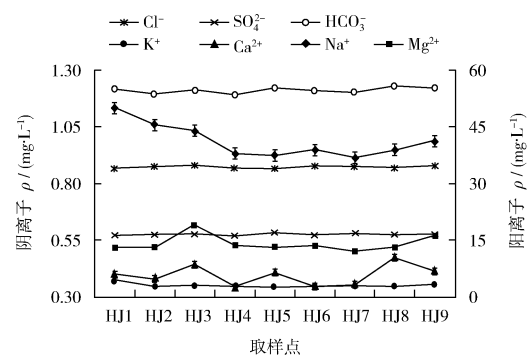


图 2 阴阳离子空间变化特征

Fig. 2 Spatial variation of major ions

化范围较小,总体呈现东岸高于西岸,湖心区低于湖岸的特征。湖东岸为红碱淖景区,人类活动较为强烈,湖北部取样点 HJ9 靠近扎萨克河入湖口位置,该河流上游为扎萨克水库,定期泄水补给红碱淖,离子浓度空间分布呈现此规律可能受湖水交换速度及湖岸区人类活动影响。

2.2 离子水化学组成

为了进一步分析红碱淖水体主要离子组成,利用 Piper 三线图进行水化学类型判别,见图 3。

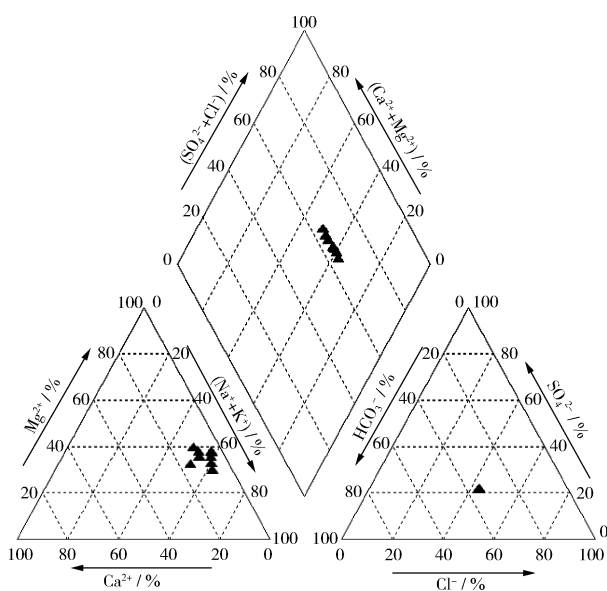


图3 红碱淖湖泊水体 Piper 三线图

Fig. 3 Piper three-line diagram of Hongjiannao Lake

由图3可见,在阳离子图中,水样点主要集中在 $Mg^{2+} - (Na^+ + K^+)$ 线,靠近 $Na^+ + K^+$ 端元。在阴离子图中,水样点主要集中在 $HCO_3^- - Cl^-$ 线,靠近 HCO_3^- 端元,说明红碱淖水化学类型现状为 $HCO_3^- \cdot Cl^- - Na^+$ 型,主要受蒸发盐岩和碳酸盐岩共同作用。Wu等^[12]2018年对红碱淖地表水和地下水进行系统研究,发现红碱淖流域地表水水化学类型主要为 $HCO_3^- - Na^+$ 型和 $Cl^- - Na^+$ 型,湖泊水体中优势离子为 HCO_3^- 、 Cl^- 和 Na^+ ,与上述研究的优势离子一致。与西北地区其他代表性湖泊相比,位于宁夏的沙湖水化学类型为硫酸钠型湖泊^[13],位于青海的青海湖为硫酸钠型^[14],位于新疆的艾比湖为硫酸钠型^[15],博斯腾湖为硫酸钠型,由淡水湖向微咸湖演化(矿化度 >1.0 g/L)^[16-17],察尔汗盐湖为氯化物型^[18]。旱区湖泊水化学类型一般演化规

律为碳酸盐型—硫酸盐型—硫酸镁型—氯化物型等^[16],说明西北地区湖泊由红碱淖至沙湖、博斯腾湖、青海湖、艾比湖至察尔汗盐湖,水化学类型遵循碳酸盐型—硫酸盐型—硫酸镁型—氯化物型的演化规律。

2.3 离子组成影响因素

离子水化学特征受自然因素和人类活动共同作用,自然因素主要包括降水、岩石风化和蒸发结晶等作用^[19]。研究表明, K^+ 、 Na^+ 离子来源于蒸发岩或硅酸盐风化产物, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 主要来源于碳酸盐、蒸发岩或硅酸盐, Cl^- 和 SO_4^{2-} 主要来源于蒸发岩溶解, HCO_3^- 主要来源于碳酸盐^[20]。通常使用离子关系图揭示离子来源及影响因素,红碱淖水样中 $K^+ + Na^+$ 与 Cl^- 毫克当量浓度比值距离1:1等量线较远,且靠近 Cl^- 线,说明 Cl^- 毫克当量浓度高于 Na^+ 毫克当量浓度,计算 $\rho(Na^+)/\rho(Cl^-)$ 值范围为0.06~0.09,平均值为0.07,说明 K^+ 、 Na^+ 主要来源于蒸发盐岩的风化溶解。 $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ 与 $HCO_3^- + SO_4^{2-}$ 比值关系数据点落在1:1等量线上方,靠近 $HCO_3^- + SO_4^{2-}$ 线,说明 $HCO_3^- + SO_4^{2-}$ 毫克当量浓度高于 $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ 毫克当量浓度,碳酸盐岩风化溶解不能完全平衡水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ,即红碱淖湖泊水样中 HCO_3^- 还有其他来源。 HCO_3^- 与 $Cl^- + SO_4^{2-}$ 比值关系数据点落在1:1等量线下方且偏离较远,说明蒸发盐岩影响作用大于碳酸盐岩。通过计算,流域岩石风化强度值 $\rho(Ca^{2+} + Mg^{2+})/\rho(K^+ + Na^+)$ 值范围为0.31~0.51,平均值为0.40,而世界水平值为2.2^[21],说明红碱淖流域离子组成主要受蒸发岩风化溶解影响。 HCO_3^- 与 Na^+ 比值关系数据点均位于1:1等量线上方,说明 Na^+ 的来源受碳酸盐岩风化溶解控制。

离子间的相关性也可以反映离子的来源,相关性强的离子具有同源性,否则相关性差^[22]。用SPSS软件对各离子相关性进行分析,结果表明: HCO_3^- 与 Ca^{2+} 显著相关,说明其有相同的物质来源,主要来源于碳酸盐的溶解; Na^+ 与 K^+ 显著相关,来源于蒸发岩或硅酸盐风化溶解,进一步验证了红碱淖水体水化学特征主要受蒸发盐岩和碳酸盐岩风化溶解的影响。流域内人类活动对水化学特征也有非常重要的影响,人类活动剧烈地区水体伴随着高含量 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 等离子^[23],且 $\rho(Cl^-)/\rho(Na^+)$ 比值较高^[24]。红碱淖

水体 Cl^- 达 872.44 mg/L, 为优势离子, $\rho(\text{Cl}^-)/\rho(\text{Na}^+)$ 值达 21.41, 说明红碱淖水体受人类活动影响较大。同时, 红碱淖东岸为旅游景区, 水上及岸边娱乐项目较多, 结合同期 TN、TP、COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 监测数据, 其均值分别为 1.92 mg/L、0.06 mg/L、71.56 mg/L、0.13 mg/L, 根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002), 达到地表水 V 类水质标准, 水体呈现富营养化状态, 进一步说明红碱淖水环境受人类活动作用。

3 结语

红碱淖水体阳离子测定值为 $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$, 优势离子为 Na^+ , 阴离子含量大小顺序为: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, 优势离子为 HCO_3^- , 根据地表水水化学类型分类方法中的 O. A. 阿列金分类法^[11], 红碱淖湖水水化学类型为 [C]Na I 型水。Piper 三线图表明, 水化学类型现状为 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl} - \text{Na}$ 型, 受碳酸盐岩和蒸发盐岩作用, 与西北地区典型湖泊水化学类型比较, 遵循旱区湖泊演化的一般规律。离子比例关系及相关性分析结果表明, 红碱淖水化学特征主要因素为岩石风化溶解, 人类活动对水体离子含量和组成特征也有一定的影响。在红碱淖水污染防治过程中要加强湖区旅游业管理, 加强湖周工业、农业活动管理, 减少人类活动的影响, 降低外源输入, 使红碱淖保持良好的生态环境水平。

上述研究仅对红碱淖湖泊水体水化学特征进行了分析, 在今后的工作中, 应结合同位素水文学对红碱淖流域地表水、地下水、降雨等进行综合分析, 揭示红碱淖流域水环境特征、水化学演变规律, 为流域生态环境保护提供一定的理论依据。

[参考文献]

- [1] 张洁, 焦树林, 赵宗权, 等. 基于 GIS 的百花湖流域土地利用变化与水质响应[J]. 环境监测管理与技术, 2020, 32(3): 14-18.
- [2] 吴用, 史小红, 赵胜男, 等. 内蒙古高原 3 大典型湖泊水化学特征及其控制因素分析[J]. 生态环境学报, 2015, 24(7): 1202-1208.
- [3] 冯泽波, 史正涛, 苏斌, 等. 滇池主要入湖河流水化学特征及其环境意义[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(3): 18-24.
- [4] 沈贝贝, 吴敬禄, 吉力力·阿不都外力, 等. 巴尔喀什湖流域水化学和同位素空间分布及环境特征[J]. 环境科学, 2020, 41(1): 173-182.
- [5] 梁丽娥, 李畅游, 史小红, 等. 2015 年 8 月呼伦湖水化学特征[J]. 湿地科学, 2016, 14(6): 936-941.
- [6] 卓静, 朱延年, 王娟, 等. 红碱淖面积时空演变规律及保护措施成效[J]. 中国沙漠, 2019, 39(4): 195-203.
- [7] 江维, 李英杰, 邓彦, 等. 红碱淖水面面积演变及其原因[J]. 人民黄河, 2018, 40(4): 72-75.
- [8] 赵宁, 马超, 杨亚莉. 1973—2013 年红碱淖水域水质变化及驱动力分析[J]. 湖泊科学, 2016, 28(5): 982-993.
- [9] DAVID R M. Handbook of hydrology[M]. New York: McGraw-Hill, 1992: 1-1424.
- [10] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989: 57.
- [11] O. A. 阿列金. 水化学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1957: 47-50.
- [12] WU C, WU X, MU W P, et al. Using isotopes (H, O, and Sr) and major ions to identify hydrogeochemical characteristics of groundwater in the Hongjiannao Lake Basin, Northwest China[J]. Water, 2020, 12(5): 1467-1486.
- [13] 陈洁. 旱区湖泊水环境及其演化研究——以宁夏沙湖为例[D]. 西安: 长安大学, 2017.
- [14] 王鹏, 尚英男, 沈立成, 等. 青海湖湖水化学演化的初步研究[J]. 环境科学, 2013, 34(3): 874-881.
- [15] 肖开提·阿不都热衣木, 汤世珍. 艾比湖水化学演化的初步研究[J]. 水环境保护, 2010, 26(4): 35-38.
- [16] 吴敬禄, 马龙, 曾海鳌. 新疆博斯腾湖水水质及其演化特征分析[J]. 地理科学, 2013, 33(2): 231-237.
- [17] 姜红, 玉素甫江·如素力, 阿迪来·乌甫, 等. 博斯腾湖矿化度遥感反演及空间分布特征研究[J]. 环境监测管理与技术, 2017, 29(2): 11-15.
- [18] 勾青梅. 中国察尔汗盐湖资源环境演化研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2011.
- [19] GAILLARDET J, DUPRÉ B, LOUVAT P. Global silicate weathering and CO_2 consumption rates deduced from the chemistry of large rivers[J]. Chemical Geology, 1999, 159(1/2/3/4): 3-30.
- [20] CHEN J S, WANG F Y, XIA X H, et al. Major element chemistry of the Changjiang (Yangtze River)[J]. Chemical Geology, 2002, 187(3/4): 231-255.
- [21] AHMAD T, KHANNA P P, CHAKRAPANI G J, et al. Geochemical characteristics of water and sediment of the Indus river, Trans-Himalaya, India: Constrains on weathering and erosion[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 1998, 16(2): 333-346.
- [22] 董维红, 孟莹, 王雨山, 等. 三江平原富锦地区浅层地下水水化学特征及其形成作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(2): 542-553.
- [23] 韩贵琳, 刘丛强. 贵州乌江水系的水文地球化学研究[J]. 中国岩溶, 2000, 19(1): 37-45.
- [24] FAN B L, ZHAO Z Q, TAO F X, et al. Characteristics of carbonate, evaporite and silicate weathering in Huanghe River basin: A comparison among the upstream, midstream and downstream[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 96: 17-26.