

巴音河流域水化学与氢氧同位素特征研究

翟婧雅^{1,2}, 金彦香^{1,2,3*}, 金鑫^{1,2,3}

(1.青海师范大学 地理科学学院, 西宁 810016; 2.青海省自然地理与环境过程重点实验室, 西宁 810016; 3.青海省人民政府-北京师范大学 高原科学与可持续发展研究院, 西宁 810016)

摘要: 【目的】分析巴音河流域水化学与氢氧同位素特征, 揭示流域内不同水体间的转换关系。【方法】结合水化学与稳定同位素技术, 分析巴音河流域不同水体的水化学特征, 探讨水体中离子来源及控制因素, 进而识别不同水体间的补给机制。【结果】流域水体 pH 平均值、TDS 平均值及 DO 平均值分别为 7.53、399 mg/L 和 5.46 mg/L; 河水、泉水中阴离子以 SO_4^{2-} 为主, 地下水中阴离子以 Cl^- 为主; 所有水体阳离子均以 Ca^{2+} 为主。水体中 $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 的比值点主要分布在蒸发-结晶作用带和岩石风化带之间, 远离大气降水带; 巴音河流域水体蒸发线的斜率 (4.94) 显著小于当地及全球大气降水线斜率; 河水氢氧稳定同位素的平均值介于流域北部山区大气降水和地下水的氢氧稳定同位素平均值之间。【结论】蒸发结晶作用和岩石风化作用是控制流域水体水化学特征的主要因素, 且蒸发岩和碳酸盐的风化溶解是流域水体离子的主要来源。上游地下水接受地表水渗漏和侧向径流补给, 比例分别为 43.36%、56.64%; 中游地下水接受地表水和河流上游补给, 比例分别为 69.51%、30.49%; 下游地表水接受地下水和泉水补给, 比例分别为 10.26%、89.74%。

关键词: 水化学; 稳定同位素; 水文过程; 干旱区内陆河流域

中图分类号: S273.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022231

OSID:



翟婧雅, 金彦香, 金鑫. 巴音河流域水化学与氢氧同位素特征研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(11): 101-106.

ZHAI Jingya, JIN Yanxiang, JIN Xin. Hydrochemical Property and Hydrogen and Oxygen Isotopes in the Bayin River Basin[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(11): 101-106.

0 引言

【研究意义】干旱区占据全球 40% 的土地面积, 水资源短缺与时空分布不均是制约干旱区社会经济发展的关键因素^[1]。通过水化学与氢氧同位素技术准确揭示干旱区内陆河流域水循环特征, 对于干旱区的可持续发展具有重要意义^[2]。【研究进展】以往研究常用数值模拟法和同位素示踪法等技术揭示流域水文过程。其中, 数值模拟法可刻画不同时空尺度上的流域水循环状态, 但其需要大量详细的流域自然地理、气象、水文等资料, 且依赖于大量参数的调校^[1,3-4]。相比之下, 水化学结合稳定同位素技术能够更准确地揭示多种水体之间的相互转化关系, 通常被认为是识别干旱和半干旱区水循环过程的可靠手段^[2]。例如, 利用水化学和同位素技术探讨地下水溶质的来源^[5]、地下水对水流的贡献率^[6]、水循环对降水的贡献^[7]、地表水与地下水间相互作用及转化机制^[8]等研究。巴音河为柴达木盆地第四大内陆河, 发源于祁连山南坡,

河水出山后大量下泄以补给地下水, 河水最终向东汇入尕斯库勒湖, 向西汇入可鲁克湖^[8]。【切入点】巴音河流域水资源分布极不均匀, 流域不同水体之间的交互作用强烈^[8]。在过去的几十年中, 巴音河流域受到拦蓄工程、农业灌溉等人类活动的强烈影响, 自然水循环状态发生显著改变^[9], 亟须准确描述巴音河流域复杂的水文过程。

【拟解决的关键问题】鉴于此, 本研究通过分析巴音河流域地表水、地下水和泉水等水体中的化学离子和氢氧同位素组成, 探讨不同水体离子的来源及控制因素, 进而识别不同水体之间的补给机制。本研究可为巴音河流域水资源的可持续利用和有效管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

巴音河流域地处我国西北内陆柴达木盆地东北部。作为柴达木盆地第四大内陆河, 流域总长约 320 km, 总面积约 17 680 km²。流域上游为黑石山及以上流域, 中游为黑石山水库到洪积扇平原前端一棵树寺院一带, 下游为一棵树寺院一带至可鲁克湖-托素湖湖区。巴音河在冲积平原中部潜入地下, 在冲积平

收稿日期: 2022-04-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42161020); 青海省科技厅自然科学基金项目 (2021-ZJ-705)

作者简介: 翟婧雅 (1997-), 女, 硕士研究生, 主要从事水文过程方面的研究。E-mail: jingyasea@163.com

通信作者: 金彦香 (1989-), 女, 副教授, 博士, 主要从事生态水文方面的研究。E-mail: jinyx13@lzu.edu.cn

原最前沿以泉水的形式溢出。地下水分布在整个平原区第四纪松散沉积物的多孔介质中^[8-9]。岩性主要有粗砾岩、中砾岩、粗粒砂岩、中粒砂岩、细粒砂岩、粉砂岩和黏土岩^[10]。

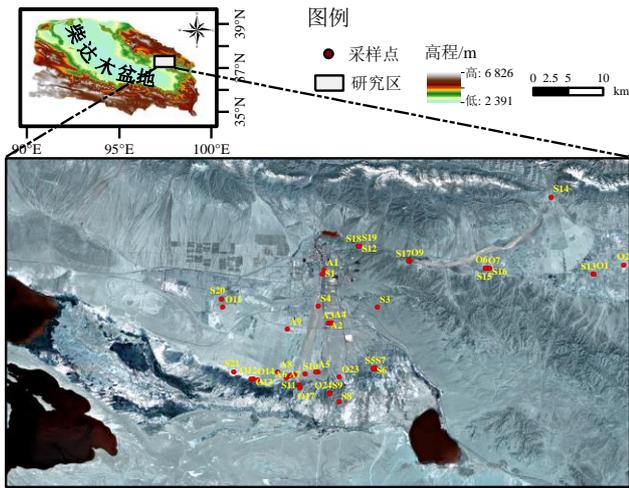


图1 巴音河流域概况及水体采样点分布

Fig.1 Overview of the study area and distribution of water sampling points in Bayin River Basin

1.2 采样与测定

于2019年10月沿巴音河进行2次野外调查,共采集河水样品18个,地下水样品9个,泉水样品5个(图1)。其中,河水样品采自流速较快,且距离河岸1~2 m、水深0.2 m处;地下水采自人工井;泉水在出露源头处采集。所有水样全部采用500 mL聚乙烯瓶采集。采集的水样要充满聚乙烯瓶,不留气泡。所有水样采集完成后用Parafilm膜进行密封处理,带回实验室后在-4 °C环境下储存。采用Aquaread

AP-1000多参数水质分析仪测定水体pH值、总溶解性固体物量(TDS)、氧化还原电位(ORP)、溶解氧量(DO)等水化学指标。所有样品均在兰州大学西部环境教育部重点实验室内进行测定。使用液态水同位素分析仪测定水体氢氧稳定同位素,测定结果以相对于维也纳标准平均海水(V-SMOW)的千分差来表示,测定精度分别是 $\pm 0.025\%$ ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)和 $\pm 0.01\%$ (D/H)。水样的 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 及 K^+ 的离子量使用ICS-2500离子色谱仪测定,测定精确度为0.1%~0.3%。

2 结果与分析

2.1 巴音河流域水体水化学组成特征

巴音河流域水体水质指标结果如表1所示。水样pH值处于6.90~9.29之间,平均值为7.53,表明研究区水体整体呈弱碱性。水样的TDS在261~619 mg/L之间变化,平均值为399 mg/L。其中,河水TDS在318~619 mg/L之间变化,平均值为498 mg/L,地下水和泉水的TDS变化范围分别为261~607 mg/L和311~559 mg/L,平均值分别为337、449 mg/L。河水TDS整体高于地下水与泉水,且变化范围较大,这可能与河水流经路程长且环境复杂有关。水样的DO在3.31~7.88 mg/L之间变化,均值为5.46 mg/L,属于天然水的正常范围^[11]。ORP可反映水溶液氧化还原能力^[12],流域内地下水和泉水的ORP较低,平均值分别为72 mv和78 mv,河水的ORP较高,平均值为105 mv,表明与河水相比,地下水和泉水的综合氧化能力较弱。

表1 巴音河流域水体水质指标统计

Table 1 Statistics of water quality indicators in Bayin River Basin

水样类型	统计值	pH值	TDS/ (mg·L ⁻¹)	ORP/mv	DO/ (mg·L ⁻¹)	离子量/(mg·L ⁻¹)						
						Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
河水	最小值	7.02	318	50	4.60	86.70	1.33	95.25	19.75	2.31	11.25	37.47
	最大值	7.63	619	131	7.88	1 835.42	16.06	2 575.52	401.50	47.14	109.81	533.82
	平均值	7.43	498	105	6.05	324.24	8.37	361.69	71.28	8.47	27.07	101.99
地下水	最小值	7.12	261	-1	3.31	94.40	7.88	75.73	17.18	2.62	11.85	45.00
	最大值	8.44	607	153	7.46	487.65	66.75	507.76	129.71	13.76	40.81	104.73
	平均值	7.51	337	72	5.22	207.20	18.58	185.43	41.34	5.43	23.23	68.12
泉水	最小值	6.90	311	15	4.69	58.58	8.23	116.51	15.29	2.18	12.56	44.19
	最大值	9.29	559	141	6.76	179.23	61.27	177.24	53.04	8.61	27.31	72.92
	平均值	7.77	449	78	5.35	122.80	21.53	137.84	29.11	4.43	16.47	58.09

河水和泉水的阴、阳离子质量浓度从高到低依次为: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$; 地下水阴、阳离子质量浓度从高到低依次为: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 。其中,河水、泉水中的阴离子以 SO_4^{2-} 为主, SO_4^{2-} 质量浓度的变化范围分

别为95.25~2 575.52 mg/L和116.5~177.24 mg/L。地下水阴离子以 Cl^- 为主,其变化范围为94.40~487.65 mg/L。河水、地下水和泉水中的阳离子均以 Ca^{2+} 为主,变化范围分别为37.47~533.82、45.00~104.73 mg/L和44.19~72.92 mg/L。

2.2 巴音河流域同位素组成特征

巴音河流域水体 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 的线性关系所组成的局地蒸发线方程为 $\delta\text{D}=4.94\delta^{18}\text{O}-13.97$ ，其斜率明显小于德令哈地区的大气降水线斜率和全球大气降水线斜率（图2），可见巴音河流域水体受到了蒸发作用的强烈影响。河水 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为-8.45‰， δD 平均值为-55.35‰，处在流域北部山区大气降水（ $\delta^{18}\text{O}$ 为-7.54‰、 δD 为-50.45‰）^[13]和地下水（ $\delta^{18}\text{O}$ 为-8.56‰， δD 为-56.09‰）之间，表明巴音河流域河水（地表水）的主要补给源是北部山区大气降水和地下径流（德令哈流域局地大气降水线（LMWL）引自朱建佳等^[13]，全球大气降水线（GMWL）引自 Craig^[14]）

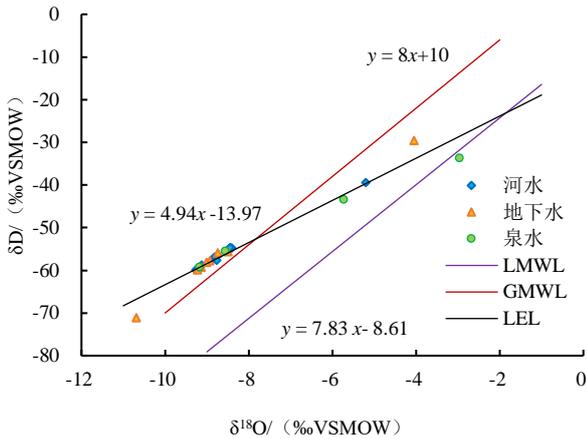


图2 巴音河流域水体氢氧同位素关系与局地蒸发线方程

Fig.2 Hydrogen and oxygen isotopes in Bayin River Basin

3 讨论

3.1 巴音河流域水体离子来源及影响因素

通常情况下，水体中的 Na^+ 与 K^+ 主要来自蒸发岩或硅酸盐的风化溶解， Cl^- 与 SO_4^{2-} 主要来自蒸发岩的风化溶解， Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 可能来自蒸发岩、碳酸盐和硅酸盐的风化溶解^[15]。水体中不同离子之间的比例可以反映水体离子来源^[16]。当 $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$ 与 SO_4^{2-} 均来自于蒸发岩的风化溶解时，水体 SO_4^{2-} 与 $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$ 比值应为 1:1。如图3(a)所示，大多数流域水样点 SO_4^{2-} 与 $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$ 的比值均位于 1:1 线下方，表明水体 SO_4^{2-} 主要来自蒸发岩的风化溶解，而除了蒸发岩外，水体 $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$ 量可能还受到碳酸盐或硅酸盐风化溶解的影响。进一步分析水体 Ca^{2+} 与 SO_4^{2-} 比值在 1:1 线上的位置发现， Ca^{2+} 与 SO_4^{2-} 比值位于 1:1 线附近（图3(b)），这表明巴音河流域水体 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 可能主要来源于蒸发岩的风化溶解，而 Mg^{2+} 可能来自碳酸盐、蒸发岩和硅酸盐的风化溶解。 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 与 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 的比值可以判断水中各离子是来源于蒸发岩、碳酸盐还是来源于硅酸盐的溶解^[16]。如图3(c)所示，巴音河流域水体 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 与 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 的比值主要分布于蒸发盐岩和碳酸盐岩区之间，表明该流域水体离子主要受控于蒸发岩和碳酸盐矿物的风化溶解，较少受到硅酸盐风化作用的影响。

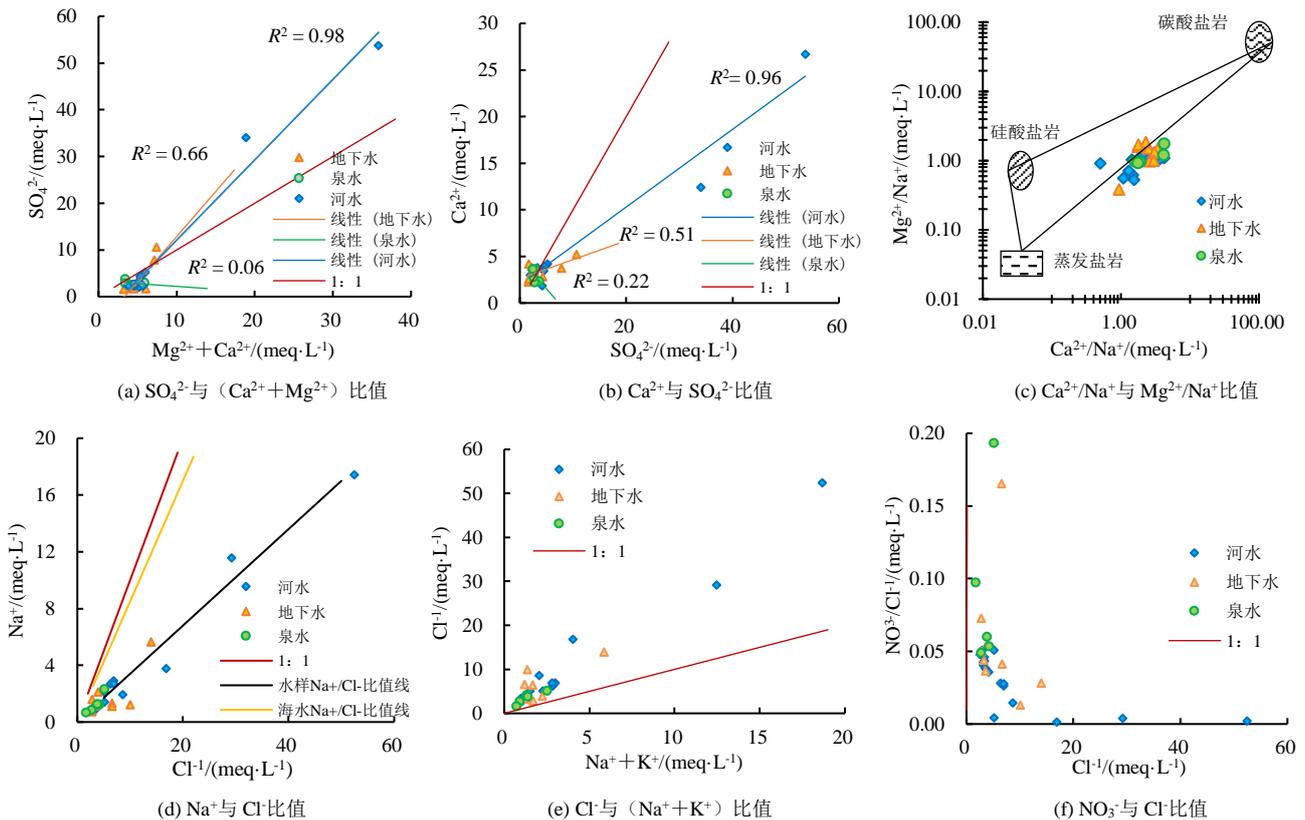


图3 巴音河流域水体离子比例

Fig.3 Proportion of ion content in Bayin River Basin

巴音河流域水样的 Na^+/Cl^- 均值为 0.34 mg/L ，小于海水 Na^+/Cl^- 均值 (0.85 mg/L) (图 3 (d)) [17]。这表明通过大气环流所携带的海盐对巴音河流域水体离子来源组成影响较小，水体中的 Na^+ 主要来源于围岩矿物的溶解。当 (Na^++K^+) 与 Cl^- 均来源于蒸发岩的风化溶解时，水体 Cl^- 与 (Na^++K^+) 比值应为 $1:1$ [18]。流域水体大多数水样点 Cl^- 与 (Na^++K^+) 比值偏离 $1:1$ 线且在其上方 (图 3 (e))，反映了 (Na^++K^+) 主要来源于蒸发岩溶解。与地下水、泉水相比，河水样品的 Cl^- 与 (Na^++K^+) 比值偏离 $1:1$ 线更为明显，这是因为河水为开阔水体，受蒸发作用影响更为显著。特别是巴音河中下游且接近于可鲁克湖-托素湖湖区的河水，离子质量浓度变化受控于蒸发浓缩作用， Cl^- 和 Na^+ 等高盐分离子逐渐富集，在塔里木河中下游也有类似的发现 [19]。

$\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ 的当量比值可用来反映人类活动对水环境的影响 [20]。巴音河流域水样具有较低的 $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ 和较高 Cl^- 质量浓度 (图 3 (f))，加之水样 NO_3^- 质量浓度均值为 12.75 mg/L ，超过了人为影响的阈值 (3 mg/L) [21]。Zhang 等 [22] 研究指出，人类活动带来的污水或粪便可能产生高质量浓度的 Cl^- 和较低的 $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ 比值。由此可见，巴音河流域水质可能受到沿途居民点生活污水和粪便的显著影响。

Gibbs [18] 通过分析世界河流、湖泊及主要海洋等水体的离子量，指出天然水体水化学特征主要受控于大气降水、岩石风化和蒸发结晶作用。巴音河流域水体 $\text{Na}^+ / (\text{Na}^++\text{Ca}^{2+})$ 比值主要分布在蒸发结晶作用和岩石风化控制区之间，且远离大气降水带 (图 4)，这表明影响巴音河流域水体离子量的过程可能主要为蒸发结晶和岩石风化，这与文广超等 [10] 对巴音河水化学的研究结论一致。

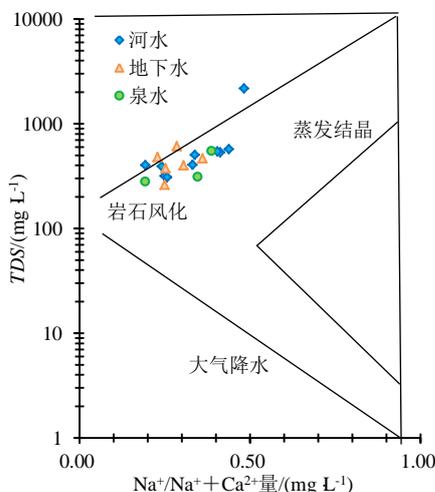


图 4 巴音河流域水体水样 Gibbs 图

Fig.4 Gibbs diagram of water samples in Bayin River Basin

3.2 巴音河流域地表水与地下水之间的转换关系

应用水化学和同位素质量平衡法 [10]，选择 $\delta^{18}\text{O}$ 作为示踪剂，探讨地表水和地下水转换关系，公式如下：

$$f_u = Q_u/Q_s \times 100\% = (C_s - C_v)/(C_u - C_v) \times 100\%, \quad (1)$$

$$f_v = Q_v/Q_s \times 100\% = (C_s - C_u)/(C_v - C_u) \times 100\%, \quad (2)$$

式中： Q_s 为混合后水体流量； Q_u 为混合前水体流量； C_s 为混合后水体 $\delta^{18}\text{O}$ 值； C_u 和 C_v 为混合前水体中 $\delta^{18}\text{O}$ 值； f_u 和 f_v 分别为地下水和地表水的转换比例。

在上游河段，地下水 ($C_s = -10.69\%$) 接受地表水 ($C_u = -10.07\%$) 和河流上游来水 ($C_v = -9.26\%$) 补给，地表水和侧向径流补给地下水的比例分别为 43.36%、56.64%；中游河段，地下水 ($C_s = -9.01\%$) 接受地表水 ($C_u = -8.76\%$) 和河流上游来水 ($C_v = -8.82\%$) 补给，补给比例分别为 69.51%、30.49%；下游河段，地表水 ($C_s = -8.59\%$) 接受地下水 ($C_u = -8.94\%$) 和泉水 ($C_v = -8.55\%$) 补给，补给比例分别为 10.26%、89.74%。本研究得出的巴音河流域各水体相互转化关系与冯林传等 [23] 研究结论一致。

4 结论

巴音河流域水化学特征主要受控于蒸发结晶和岩石风化作用。蒸发岩和碳酸盐的风化溶解是水体离子的主要来源。其中，河水、泉水阴离子以 SO_4^{2-} 为主，主要来自蒸发岩的风化溶解；地下水阴离子以 Cl^- 为主，除蒸发岩的溶解外，可能受到沿途居民点生活污水和粪便的影响；整个流域水体阳离子均以 Ca^{2+} 为主，主要来源于蒸发岩的风化溶解。

上游地下水接受地表水渗漏补给率为 43.36%，接受侧向径流补给率为 56.64%；中游地下水接受地表水补给率为 69.51%，接受河流上游补给率为 30.49%；下游地表水接受地下水补给率为 10.26%，接受泉水补给率为 89.74%。

参考文献：

- [1] JIN X, HE C, ZHANG L, et al. A modified groundwater module in SWAT for improved streamflow simulation in a large, arid endorheic river watershed in Northwest China[J]. Chinese Geographical Science, 2018, 28(1): 47-60.
- [2] WANG J, LIANG X, MA B, et al. Using isotopes and hydrogeochemistry to characterize groundwater flow systems within intensively pumped aquifers in an arid inland basin, Northwest China[J]. Journal of Hydrology, 2021, 595: 126 048.
- [3] 傅笛, 金鑫, 金彦香, 等. 巴音河中下游农业灌溉对地下水补给量与排泄量的影响[J]. 水电能源科学, 2021, 39(10): 63-67.
FU Di, JIN Xin, JIN Yanxiang, et al. Effects of agricultural irrigation on groundwater recharge and discharge in the middle and lower reaches of Bayin River[J]. Hydropower energy science, 2021, 39(10): 63-67.
- [4] JAFARI T, KIEM A S, JAVADI S, et al. Using insights from water isotopes to improve simulation of surface water-groundwater

- interactions[J]. *Science of The Total Environment*, 2021, 798: 149-253.
- [5] GONG X, WENG B, YAN D, et al. Potential recharge sources and origin of solutes in groundwater in the central Qinghai - Tibet Plateau using hydrochemistry and isotopic data[J]. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2022, 40: 101-001.
- [6] GUO X, FENG Q, YIN Z, et al. Critical role of groundwater discharge in sustaining streamflow in a glaciated alpine watershed, northeastern Tibetan Plateau[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 822: 153-578.
- [7] ZHAO L, LIU X, WANG N, et al. Contribution of recycled moisture to local precipitation in the inland Heihe River Basin[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2019, 271: 316-335.
- [8] YANG N, ZHOU P, WANG G, et al. Hydrochemical and isotopic interpretation of interactions between surface water and groundwater in Delingha, Northwest China[J]. *Journal of Hydrology*, 2021, 598: 126-243.
- [9] 韩启霞, 宋润峰, 顾小凡, 等. 巴音河河床硬化对地下水循环模式的影响研究[J]. *中国农村水利水电*, 2020(7): 60-64.
HAN Qixia, SONG Runfeng, GU Xiaofan, et al. Study on the influence of bed hardening of Bayin River on groundwater circulation model[J]. *Rural Water Conservancy and Hydropower in China*, 2020(7): 60-64.
- [10] 文广超, 王文科, 段磊, 等. 基于水化学和稳定同位素定量评价巴音河流域地表水与地下水转化关系[J]. *干旱区地理*, 2018, 41(4): 734-743.
WEN Guangchao, WANG Wenke, DUAN Lei, et al. Quantitative evaluation of the transformation relationship between surface water and groundwater in Bayin River Basin Based on hydrochemistry and stable isotopes[J]. *Arid area Geography*, 2018, 41(4): 734-743.
- [11] 史维浚. 铀的水文地球化学原理[M]. 北京: 原子能出版社, 1990.
SHI Weijun. *Hydrogeochemical principle of uranium*[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1990.
- [12] 洪妍, 郭秋梅, 董铁有, 等. ORP 的测量及数显 ORP 标定的原理[J]. *河南科技大学学报(自然科学版)*, 2006, 27(1): 18-20.
HONG Yan, GUO Qiumei, DONG Teyou, et al. Principle of ORP measurement and digital display ORP calibration[J]. *Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2006, 27(1): 18-20.
- [13] 朱建佳, 陈辉, 巩国丽. 柴达木盆地东部降水氢氧同位素特征与水汽来源[J]. *环境科学*, 2015, 36(8): 2 784-2 790.
ZHU Jianjia, CHEN Hui, GONG Guoli. Hydrogen and oxygen isotopic characteristics and water vapor sources of precipitation in eastern Qaidam Basin[J]. *Environmental Science*, 2015, 36(8): 2 784-2 790.
- [14] CRAIG H. Isotopic variations in meteoric waters[J]. *Science*, 1961, 133(3 465): 1 702-1 703.
- [15] CHEN J, WANG F, XIA X, et al. Major element chemistry of the Changjiang (Yangtze River)[J]. *Chemical Geology*, 2002, 187(3/4): 231-255.
- [16] THOMAS J, JOSEPH S, THRIVIKRAMJI K P. Hydrochemical variations of a tropical mountain river system in a rain shadow region of the southern Western Ghats, Kerala, India[J]. *Applied Geochemistry*, 2015, 63: 456-471.
- [17] 侯国华, 高茂生, 党显璋, 等. 江苏盐城滨海地区浅层地下水的水盐来源及咸化成因[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2021, 41(4): 48-59.
HOU Guohua, GANG Maosheng, DANG Xianzhang, et al. Water and salt sources and salinization causes of shallow underground salt water in Yancheng coastal area, Jiangsu Province[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2021, 41(4): 48-59.
- [18] GIBBS R. J. Mechanisms controlling world water chemistry[J]. *Science*, 1970, 170(3 962): 1 088-1 090.
- [19] 朱海勇, 陈永金, 刘加珍, 等. 塔里木河中下游地下水化学及其演变特征分析[J]. *干旱区地理*, 2013, 36(1): 8-18.
ZHU Haiyong, CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, et al. Analysis of groundwater chemistry and its evolution characteristics in the middle and lower reaches of Tarim River [J]. *Arid area Geography*, 2013, 36(1): 8-18.
- [20] 查学芳, 吴攀, 李学先, 等. 基于水化学与硫同位素的卡林型金矿区岩溶水文地球化学特征及控制因素 [J/OL]. *环境科学*: 1-15[2022-04-07].
CHA Xuefang, WU Pan, LI Xuexian, et al. Hydrogeochemical characteristics and controlling factors of karst in Carlin type gold deposit area based on hydrochemistry and sulfur isotope[J/OL]. *Environmental Science*: 1-15[2022-04-07].
- [21] OGRINC N, TAM Š E S, ZAVADLAV S, et al. Evaluation of geochemical processes and nitrate pollution sources at the Ljubljansko polje aquifer (Slovenia): A stable isotope perspective[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 646: 1 588-1 600.
- [22] ZHANG J, CAO M, JIN M, et al. Identifying the source and transformation of riverine nitrates in a karst watershed, North China: Comprehensive use of major ions, multiple isotopes and a Bayesian model[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2022: 103 957.
- [23] 冯林传. 巴音河山前冲洪积平原地下水资源开发利用研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.
FENG Linchuan. Study on the development and utilization of groundwater resources in the alluvial proluvial plain in front of Bayin River[D]. Xi'an: Chang'an University, 2011.

Hydrochemical Property and Hydrogen and Oxygen Isotopes in the Bayin River Basin

ZHAI Jingya^{1,2}, JIN Yanxiang^{1,2,3*}, JIN Xin^{1,2,3}

(1. School of the Geographical Science, Qinghai Normal University, Xining 810016, China;

2. Key Laboratory of Physical Geography and Environmental Processes, Xining 810016, China; 3. Qinghai Provincial People's Government-academy of Plateau Science and Sustainability, Beijing Normal University, Xining 810016, China)

Abstract: **【Objective】** The Bayin river basin is located in Qinghai province; the physical and chemical properties of its water vary with many factors. In this paper, we analyze the hydro-chemical properties and hydrogen and oxygen isotopes in different reaches of the basin. **【Method】**Water samples were taken from different locations in the basin, and the hydrochemical property and stable isotopes in each sample were analyzed using standard laboratory methods. **【Result】** ①The average pH, TDS and DO of the water samples are 7.53, 399 mg/L and 5.46 mg/L respectively. The

predominant anion in the surface water and groundwater is SO_4^{2-} and Cl^- , respectively, while the main cation in the waters is Ca^{2+} , in spring. ②The $\text{Na}^+(\text{Na}^++\text{Ca}^{2+})$ ratio is distributed mainly between the evaporation crystallization zone and the rock weathering zone, far away from the atmospheric precipitation zone. ③The slope of the water evaporation line is 4.94, significantly lower than that of local and global atmospheric precipitation lines. The average stable hydrogen and oxygen isotopes in the river water are between the average atmospheric precipitation and the groundwater in the mountainous region in north of the basin. ④Evaporation crystallization and rock weathering are the main factors controlling hydro-chemical property of the basin water, and rock weathering and dissolution of evaporite and carbonate are the main sources of the ions. ⑤Recharge to the upstream groundwater is surface water leakage and lateral runoff, accounting for 43.36% and 56.64% of the total recharge, respectively, while recharge to the groundwater in the middle reach is surface water and upstream river water, accounting for 69.51% and 30.49% of the total recharge, respectively. In the downstream reach, groundwater recharges the river and spring, accounting for 10.26% and 89.74% of their total recharges, respectively.

Key words: hydrochemistry; stable isotopes; hydrological processes; arid inland river basin

责任编辑: 韩 洋

(上接第 90 页)

Spatiotemporal Change in Drought and Waterlogging during Maize Growth Season in Jilin Province

GUO Enliang^{1,2}, WANG Yongfang^{1,2*}, WANG Rui³, A Runa¹, ZHANG Yaodong^{1,2}

(1. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;

2. Inner Mongolia Key Laboratory of Disaster and Ecological Security on the Mongolian Plateau, Hohhot 010022, China;

3. School of Chemical & Environmental Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: 【Objective】 Drought and waterlogging are two abiotic stresses impacting crop growth in many regions across the world. Understanding their variation is a prerequisite to their management and safeguarding agricultural production. Taking Jilin province in northeast China as an example, this paper analyzes spatiotemporal change of drought and waterlogging during maize growth season over the past 60 years. 【Method】 Daily meteorological data measured from 1961 to 2020 at 27 weather stations across the province were used to calculate the modified crop water deficit index (*mCWDI*). The daily crop coefficient (K_c) was estimated using the piecewise function. The characteristics of the drought and waterlogging were calculated using the climatic variation trend method and the center of gravity transfer method. 【Result】 Spatially, the frequency of drought shows a decreasing trend from the northwest to the southeast. Temporally, the frequency of drought decreases from the early stage to the development stage, with the drought occurring more frequently in the middle and late stages of the maize. The waterlogging occurred more frequently in the southeast and in the early and late growth stage, and less frequently in the development stage of the maize. We also found that the occurrence of waterlogging in the central province increased faster than in other regions. 【Conclusion】 Drought and waterlogging in Jilin province vary temporally and spatially. The results presented in this paper provide guidelines for improving their management and safeguarding maize production in this region.

Key words: modified crop water deficit index; drought and waterlogging; maize; Jilin province

责任编辑: 韩 洋