

天山哈密榆树沟流域春洪期水化学特征及其控制因素研究

王晓艳¹, 李忠勤^{1,2}, 周平¹, 若孜罕 塔依尔³, 高鹏³

(1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室/天山冰川站, 甘肃 兰州 730000;

2 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 3 哈密哈密水文水资源勘测局, 新疆 哈密 839000)

摘要: 2013年4月26日-5月2日, 逐日采集哈密榆树沟流域下游榆树沟水文站点的河水样。综合运用描述性统计、相关性分析、Gibbs图、阴阳离子三角图示法, 对主要的化学离子、pH值、电导率 EC 、总可溶性固体 TDS 进行了分析。结果表明: 榆树沟流域春洪期径流水体呈弱碱性, HCO_3^- 、 Ca^{2+} 是阴、阳离子中最主要的离子, Ca^{2+} 质量浓度占阳离子总数的 74.31%, HCO_3^- 质量浓度占阴离子总数的 82.07%, 水化学类型为 $HCO_3^- - Ca^{2+}$, 径流中主要离子组成、 TDS 、 EC 、pH 值受即时径流量的调节作用不大, 岩石的风化作用是水化学主要离子来源的主要控制因素, 其中主要来源于石灰岩等碳酸盐岩的风化。

关键词: EC 和 TDS ; 离子浓度; 岩石风化; 榆树沟流域

中图分类号: P641.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6060(2014)05-0922-09(922~930)

DOI:10.13826/j.cnki.cn65-1103/x.2014.05.008

水资源在自然资源中占据着非常重要的地位, 尤其是在干旱半干旱地区^[1]。在西北干旱区, 水资源是制约社会经济发展、影响生态安全的关键要素, 对未来经济社会可持续发展起着至关重要的作用^[2]。很多高山位于中国西北内陆流域上游地区, 由于高山能拦截气流中的水分使其成为干旱地区的湿岛和水塔^[3]。因此, 近年来越来越多的学者投入到这一地区的水资源研究中^[4-7]。河流中的化学物质组成受流经区岩石岩性、气候、土壤、植被、降水的化学性质以及人类活动的影响^[8-9]。而未被污染的河水的水化学性质则主要受地质条件的影响, 其余因子如气温、湿度、地形和生物等的影响不及总和的 10%^[10]。高寒山区小流域位于高海拔地区, 受人类直接活动的影响有限, 因此流域中主要化学物质组成比例主要受流域中岩石的地球化学作用控制^[11]。反之, 流域中主要离子组成更能反映流经地区的水文地质条件。

国内外学者对高寒流域天然水的化学成分及其控制因素已经进行了大量的研究^[12-16]。研究表

明, 高寒流域水化学主要离子形成的因素之一是区域的岩石风化作用^[13], 此外, 还受到蒸发-结晶、以及大气干湿沉降^[17]、冰川作用、冻土活动层状况以及水岩相互作用等因素综合影响^[18]。

哈密榆树沟流域由于位于高寒地带, 受人类活动干扰较小, 对该流域的水化学研究基本能代表未受人类活动影响的环境本底值。对该流域的水化学特征及其控制机理的研究有利于我们理解流域的水文地质条件和水化学控制因素。已有的榆树沟水体的研究大多是对降水量、径流量及季节分布、洪水及泥沙等水文特性的研究^[19-22], 而对水化学特征及其控制因子的研究很少。蔡云标^[22]对该流域水体的水化学类型、矿化度、总硬度及其年内年际变化进行了研究。而本文是根据每年的 4 月下旬~5 月上旬是榆树沟流域春洪期^[21]这一特点, 对这一时期的径流样品进行分析, 运用水化学统计的方法详细地探讨该流域径流的水化学特征、日变化过程及其影响因素, 有助于进一步理解流域该时期的地质、岩石、土壤特征和区域环境对水体的影响, 以

收稿日期: 2013-10-04; 修订日期: 2013-12-07

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41471058) 国家自然科学基金面上项目(41471058)

作者简介: 王晓艳(1984-) 女, 山东临沂人, 博士研究生, 主要从事同位素水化学研究. Email: wangxiaoyan_84@163.com

通讯作者: 李忠勤, 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事冰川与环境方面的研究. Email: lizq@lzb.ac.cn

期为流域水资源的利用提供依据,也为区域水化学、地球化学的研究积累研究资料和数据。

1 研究区概况

哈密榆树沟流域位于东天山末端哈尔里克山南坡,流域东与庙尔沟流域相连,西与故乡河流域为邻,北以东天山山脊线为界,南面是辽阔的哈密盆地。地理位置介于 $93^{\circ}57' \sim 94^{\circ}19' E$, $43^{\circ}02' \sim 43^{\circ}11' N$ 之间。流域 4 050 m 以上区域为现代冰川作用区和永久积雪覆盖区,冰川总面积约 22.85 km^2 ,冰储量 1.58 km^3 。在流域出口沿河槽以上 15 km 海拔 1 670 m 处有流域唯一水文控制站-榆树沟水文站,流域水系见图 1^[19]。

榆树沟流域地质构造主要由华力西期花岗岩、石灰岩组成。土壤由高山、亚高山草甸土、山地栗钙土和石灰岩风化土组成^[21]。总体上讲,区域内大多为光秃山地,因受寒冷和大风的影响,山体受剥

蚀作用和风蚀作用十分明显。

流域高山区有永久性积雪和冰川,中高山区有季节性积雪,因此每年 4 月下旬 ~ 5 月上旬有积雪融水(即春洪)^[24],洪水的大小取决于山区的降水、积雪深度、积雪面积和温度,具有明显的日周期变化规律。本流域的水汽来源主要受西风环流带来的大西洋气流的影响,水汽条件不充足,降水多集中在 5 ~ 9 月;春洪期降水很少,对径流的影响非常小。榆树沟水文站年平均气温为 5.9,年极端最高气温为 34.9,年极端最低气温为 -25.8^[19]。

2 采样与分析

所有样品均采集于哈密榆树沟流域的榆树沟水文站(图 1),采样时间为 2013 年流域春洪期(4 月 26 日 ~ 5 月 2 日)。样品直接用蒸馏水清洗过的聚乙烯塑料瓶采集,流水经振荡清洗 3 次之后装样,密封保存。本文中样品的采集安排,根据每天河水流量的昼夜单峰波动周期的变化,在每个周期中流量低值时采 1 个、峰值时采 1 个、涨水的中间采 1 个、落水的中间采 1 个,每天采 4 个样品,共收集径流样品 27 个。样品的分析工作在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所天山冰川观测试验站内完成。pH 值使用 PHJS-4A(0.001)测量。 EC (电导率)和 TDS(总可溶性固体)值使用 DDSJ-308A(0.001)测量,为避免受到空气中 CO_2 和 H^+ 的影响,样品在密封样品瓶内自然融化后立即进行测试^[25]。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等阳离子浓度使用 PE2380 型原子吸收光谱仪测定,四种主要离子的测量精度在 10 ng/g 以内。 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 三种阴离子浓度使用 Dionex100 型离子色谱仪测定,精度可以达到 ng g^{-1} 量级^[26]。分析结果与标准样的误差控制在 5% 以内。气象水文资料均来自榆树沟水文站。

3 结果与讨论

3.1 径流水化学特征

表 1 和图 3 所示,榆树沟流域春洪期河水样品的 pH 值变化范围为 7.62 ~ 8.24,平均值为 8.04,呈弱碱性。 EC 介于 $84.5 \sim 168.4 \mu\text{S cm}^{-1}$ 之间,逐日变化较大。径流中 $\text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ 浓度采用阴阳电离平

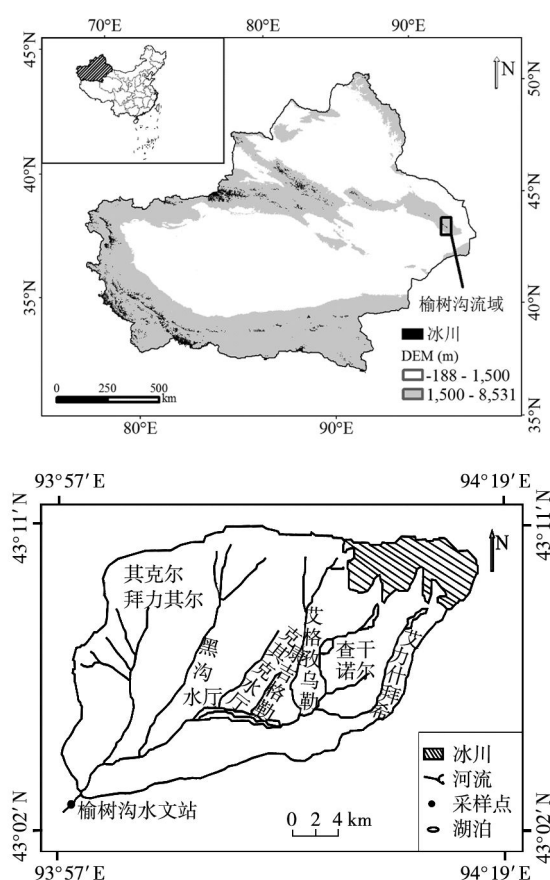


图1 天山榆树沟流域及采样点位置

Fig.1 Sketch map showing the area of Yushugou basin and the location of the sampling site

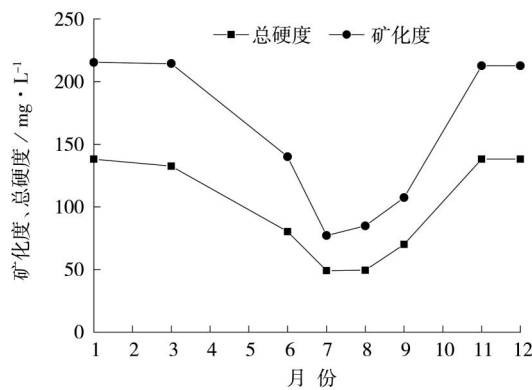


图2 2010年榆树沟水文站河水总硬度、矿化度年内变化曲线,数据引自蔡云标(2012)

Fig.2 Total hardness ,mineralization curves of Yushugou hydrometric station in 2010. The data is cited from Cai (2012)

衡法进行估算^[27-28],在弱酸环境下 CO_3^{2-} 基本可以忽略^[29-30],实验室检测发现有机酸含量很低,基本可以忽略,所以肯定主要是 HCO_3^- 与过剩阳离子平衡。根据电离平衡原理计算出 HCO_3^- 平均当量浓度为 $1\,126.56\,\mu\text{eq}\,\text{L}^{-1}$,转换为质量浓度是 $68.76\,\text{mg}\,\text{L}^{-1}$ 。阳离子中 Ca^{2+} 质量浓度含量最高,平均为 $20.97\,\text{mg}\,\text{L}^{-1}$,其次为 Mg^{2+} 和 Na^+ ,同属一个量级, K^+ 质量浓度最低。阴离子中 HCO_3^- 浓度最高,远远超过其它离子,其次分别为是 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 。阴阳离子质量浓度序列分别为 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$; Ca^{2+} 质量浓度占阳离子总数的74.31%, HCO_3^- 质量浓度占阴离子总数的82.07%,按照前苏联学者舒卡列夫水化学类型划分方法^[31],流域春洪期河水主要离子类型为 HCO_3^- - Ca^{2+} 。

径流中阳离子平均浓度总和($\text{TZ}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$)为 $28.22\,\text{mg}\,\text{L}^{-1}$,阴离子平均浓度总和($\text{TZ}^- = \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$) $83.78\,\text{mg}\,\text{L}^{-1}$,TDS含量 $68.84\,\text{mg}\,\text{L}^{-1}$,在 $100\,\text{mg}\,\text{L}^{-1}$ 以下,说明流域春洪期河水的

淡水矿化度较低($<1\,\text{g}\,\text{L}^{-1}$),属于弱矿化度水,是优良的饮用水源。蔡云标^[22]对榆树沟站10 a的河水资料分析得出矿化度的年际变化在 $141 \sim 209\,\text{mg}\,\text{L}^{-1}$ 之间,属于较低矿化度,与本研究结果相符;由图2可以看出,受水量季节性变化影响,河水年内矿化度变化表现出明显的季节变化规律,春洪期矿化度较低,在夏洪期矿化度最低,而在径流量相对稳定期(9月~次年3月)矿化度最高。这主要是由于受河流流速和比降的影响。

3.2 径流水化学组成的时间变化过程

从图3中可以看到,径流的变化表现出一定的日变化特征,在日周期内,最小径流量出现在下午16 00-18 00,最大径流量出现在22 00-24 00。采样期间没有发生降水,径流量的变化主要受到中高山区季节性积雪消融的影响^[21],而气温是影响积雪融化的主要因素。由于受到气温的影响(表2),4月26日到4月30日日径流量较大,而5月1日至5月2日日径流量较小,离子日平均值的日间变化与日径流量的变化总体呈相反的关系。这是由于在春洪期,融雪型洪水越大,其流速就越快,且河流比降大,水岩作用时间短,岩石和土壤中的无机矿物成分尚未融入水中,使得径流中各离子含量较低。反之,径流中离子含量较高。

径流中各主要离子浓度、电导率(EC)和TDS与即时径流量变化趋势没有表现出明显的相关关系(图3),说明春洪期即时径流量对径流的离子浓度没有多大影响。前人研究也显示,大部分河流中径流量与径流中所含物质浓度成乘幂函数的关系^[32],公式如下:

$$C = a \times Q^b \quad (1)$$

式中: C 为河流物质质量浓度($\text{mg}\,\text{L}^{-1}$); Q 为径流量

表1 pH、 EC ($\text{S}\,\text{cm}^{-1}$)、TDS ($\text{mg}\,\text{L}^{-1}$)及无机离子 ($\text{mg}\,\text{L}^{-1}$)日均值
Tab.1 Daily value of pH , EC ($\text{S}\,\text{cm}^{-1}$) ,TDS ($\text{mg}\,\text{L}^{-1}$) and inorganic ions ($\text{mg}\,\text{L}^{-1}$)

时间(年-月-日)	pH	EC	TDS	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	HCO_3^-
2013-4-26	8.01	150.90	72.65	22.12	2.75	3.71	0.80	9.62	1.88	3.99	70.93
2013-4-27	8.10	137.58	67.43	21.58	2.38	3.19	0.64	8.16	1.65	3.29	69.67
2013-4-28	8.01	136.78	65.78	19.70	2.49	3.36	0.69	8.42	1.77	3.56	64.17
2013-4-29	8.00	141.43	68.05	20.30	2.71	3.84	0.77	9.19	2.05	3.93	64.93
2013-4-30	7.93	135.55	64.95	18.01	2.72	3.86	0.73	9.13	2.03	3.86	59.90
2013-5-01	8.12	152.40	73.30	22.58	3.11	4.57	0.77	10.41	2.27	4.45	74.91
2013-5-02	8.13	149.88	72.08	22.90	2.93	4.26	0.77	9.79	2.12	4.10	78.36

表2 采样期间气温特征值和日径流量
Tab.2 Temperature characteristic value and day
water discharge during sampling period

时间 (年-月-日)	日均温 /	最高温 /	最低温 /	日径流量 / $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
2013-4-26	18.7	25.5	11	2.48
2013-4-27	16.8	23	8	2.67
2013-4-28	16.6	24	8	3.25
2013-4-29	16.7	23.5	9	3.06
2013-4-30	16.2	23.5	8.5	2.67
2013-5-01	14.8	22.4	8	1.52
2013-5-02	15.1	20.9	11	1.52

($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) ; a 、 b 为拟合参数。参数 b 反映河流物质质量浓度与径流量的关系变化 ,变化范围在 $-1 \sim 0$ 之间 , $b=0$,说明河流物质质量浓度不随径流量的变化而变化 ; $b=-1$,说明河流物质质量浓度完全受水量的稀释作用控制。其中一般河流的 b 值范围在 $-0.4 \sim 0$ 之间 ,全球平均值约为 -0.17 。如图4所示 ,河

水径流中 TDS 浓度和即时径流量的拟合参数 B 值为 -0.0305 ,非常接近于 0 ,表明其径流离子浓度基本不受即时径流量的调节。这反映了流域内岩石岩性和土壤对河流水化学的影响。

对离子浓度变化过程进行比较发现 ,在整个采样过程中河水中的主要离子中除 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 外 ,其它离子之间的日内变化和日间变化都基本一致 (图3) ,这可能是其离子来源不同造成的。而 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的变化规律基本保持一致 ,说明 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的来源相同 ,需要进一步分析。

河水径流中 pH 值反映了水中 H^+ 的活度 ,也是河流水化学研究中的重要指标之一。从图3中可以看到 ,在径流量最大时 pH 值出现最小值 ,径流量最小时 pH 值出现最大值 ,与离子浓度变化特征总体相反。说明离子在溶入水中的同时增加了水中 H^+ 的活度 ,即其它离子主要源于偏酸性物质输入。

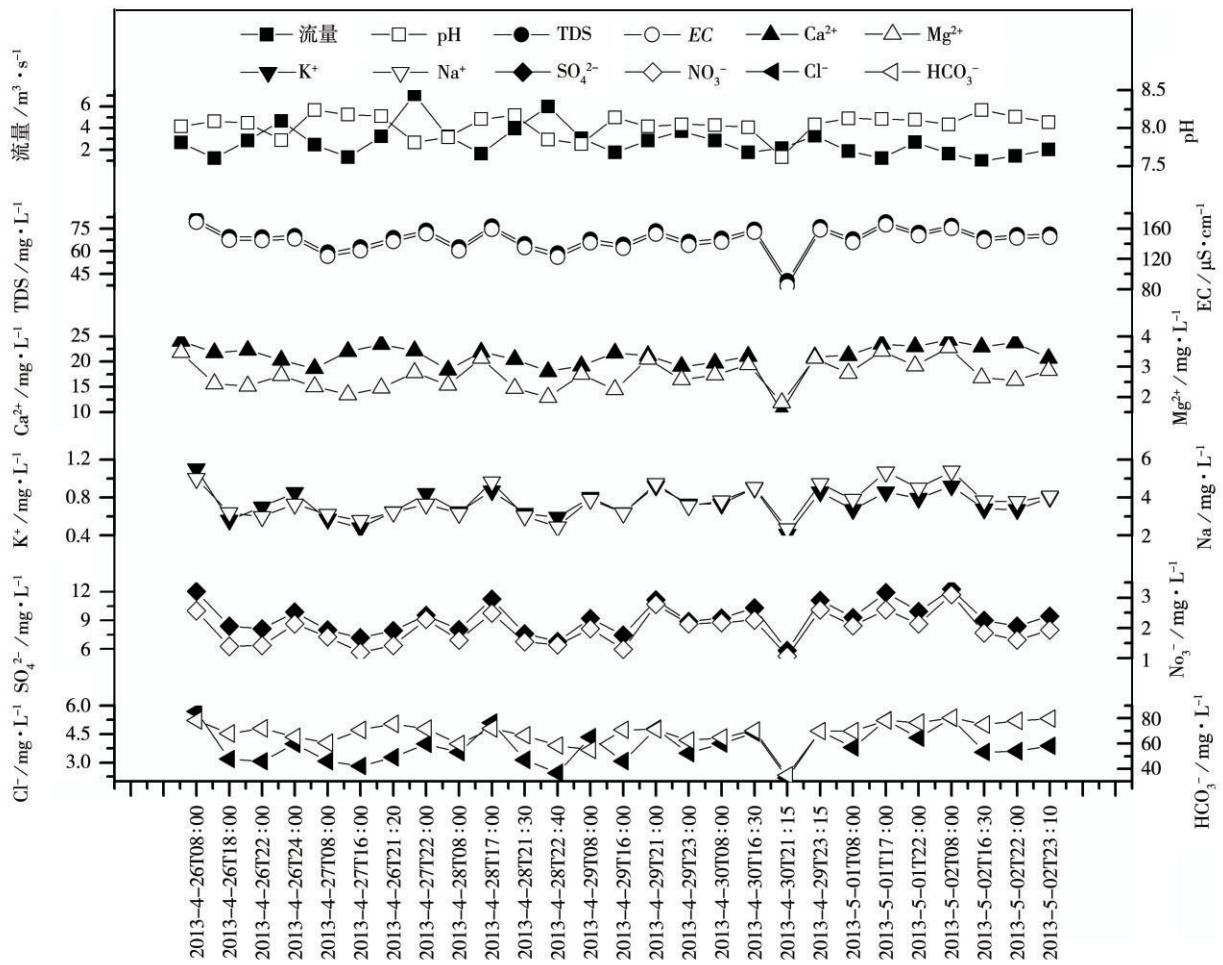


图3 主要可溶性离子浓度、EC、pH、TDS含量以及即时径流量随时间变化过程。

Fig.3 Variations of the main soluble ion concentration ,EC ,pH ,TDS content and instant water discharge

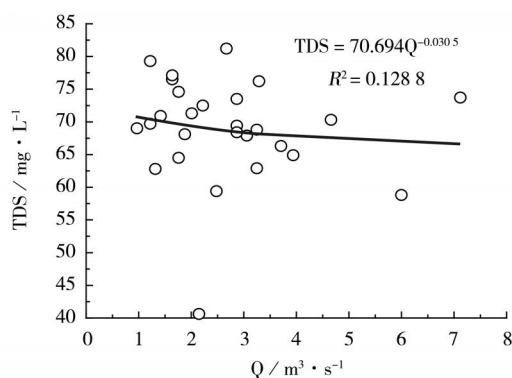


图4 径流中TDS与即时径流量之间的关系

Fig.4 Relationship between TDS and the discharge in runoff

3.3 水体主要离子来源及控制因素

河流水体离子的主要来源有大气输入(干湿沉降)、岩石和矿物风化以及人类活动输入,包括工业和农业活动等输入^[33]。Gibbs通过对世界地表水化学组成的分析,将控制天然河水组成来源的因素分为三个类型:降水控制型、岩石风化型和蒸发/结晶型,是定性地判断区域岩石、大气降水及蒸发-结晶作用对河流水化学影响的有效手段^[34]。纵坐标以对数刻度表示TDS,横坐标以算术值表示 $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 或 $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 的质量浓度比值(图5)。TDS含量很低且具有较高的离子比值(接近于1.0)的河流,主要受大气降水补给影响;TDS含量稍高且离子比值小于0.5的河流,其离子主要来源于岩石

的风化释放;落在图右上角的TDS含量很高且离子比值也高(接近于1.0)的河流测分布在蒸发作用很强的区域,海水亦落在这一区域。

通常, Cl^- 和 Na^+ 相对含量较低,而 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 含量较高的河水则反映了岩石对河水的影响; Cl^- 和 Na^+ 相对含量较高,而 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 含量较低的河水,或反映受到大气降水的影响,或反映了河水蒸发作用以后的情况^[35]。将本研究所述的榆树沟春洪期的水化学数据绘于Gibbs图中(图5),水化学离子 $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 的比值 < 0.5 ,基本都集中在 < 0.2 的范围内,离子化学组成靠近岩石风化控制端元,并且采样期间未发生降水,表明在春洪期,榆树沟流域径流中离子组成主要受岩石风化作用的影响。

为了进一步研究岩石风化作用对水体主要化学离子组成的影响,对径流中主要离子按质量浓度值作Piper三角图(图6),确定是哪类岩石的风化控制其组成。一般地,在阴离子组成三角图中,流经碳酸盐岩地区的河流以 HCO_3^- 为主导,因此数据点均落在 HCO_3^- 组分一端;流经蒸发盐岩地区的河流($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$)含量较高,其组分点落在($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$)线上,远离 HCO_3^- 一端。在阳离子组成的三角图上,主要受碳酸盐岩影响的河流,靠近 Ca^{2+} 端元;白云岩风化产物组分点会落在 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ 线上;蒸发盐矿物风化产物则应偏向 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 端元^[36]。

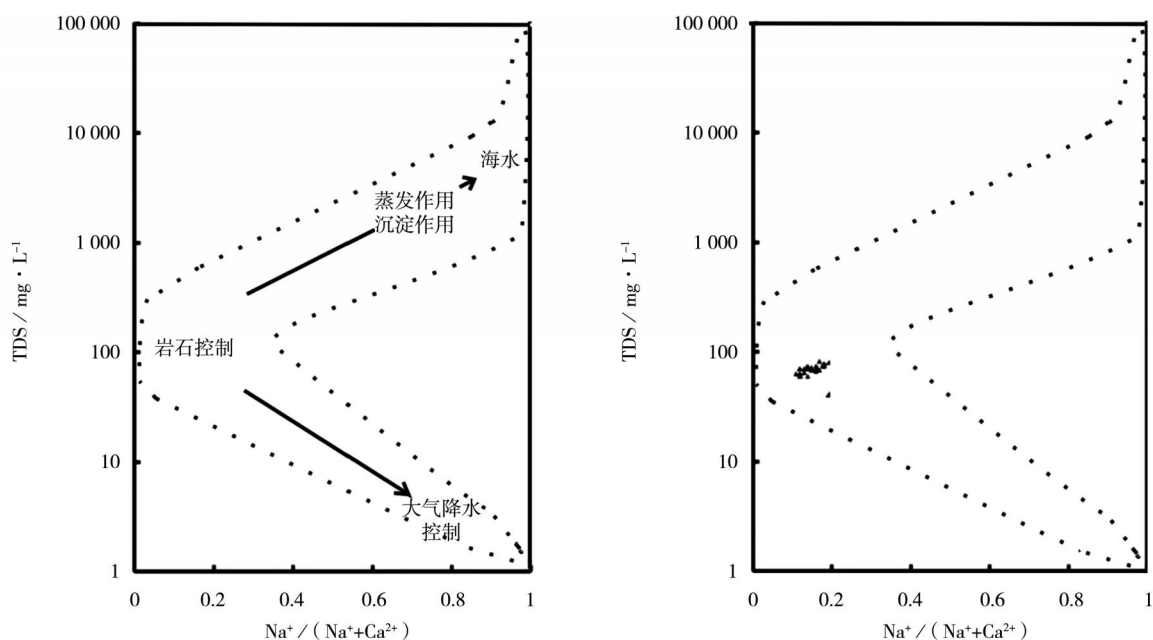


图5 径流水化学的吉布斯分布模式

Fig.5 Plots of the ions in the Gibbs boomerang envelope of runoff

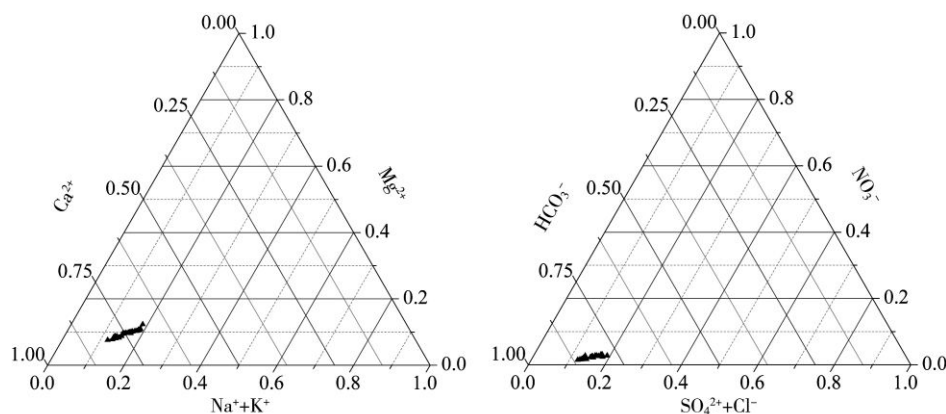


图6 径流中主要的阴阳离子组成三角图

Fig.6 Piper trilinear nomograph for the cations and anions

图6指示了春洪期榆树沟流域河水中主要阴阳离子组成。在阳离子三角图中,各组分点分布在左下角,说明 Ca^{2+} 和 $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ 是阳离子中的主要组成部分,且主要靠近 Ca^{2+} 端元,表明 Ca^{2+} 在阳离子组成中占绝对优势,榆树沟流域主要受碳酸盐岩风化的影响,阴离子三角图显示元素组分点靠近 HCO_3^{-} 端元,这也说明榆树沟水体化学成分主要受碳酸盐岩风化的控制。榆树沟流域地质构造主要由华力西期花岗岩、石灰岩组成;土壤由高山、亚高山草甸土、山地栗钙土和石灰岩风化土组成^[19],其内的碳酸盐类钙受融水侵蚀易分解溶入水中。进一步说明榆树沟流域水体组成主要受碳酸盐岩石风化的影响。

各离子间的相关系数可一定程度上解释离子的来源。 HCO_3^{-} 和 Ca^{2+} 的相关系数最大(表3),表明二者具有相同的来源,即含钙的碳酸盐岩的风化释放出来的^[37]。其它的离子之间的相关性都很高,说明这些离子来源具有一定的一致性。通常,水体中的 Na^{+} 主要来自于石盐溶解和硅酸盐矿物风化, Na^{+} ($\text{Na}^{+}=\text{Na}^{+}-\text{Cl}^{-}$)代表来自于地表硅酸盐风化所供应的那部分 Na^{+} ,因此,通常用于指示地表硅酸盐岩风化对河水中阳离子的贡献^[38]。榆树沟水中 Na^{+} 含量相对较低,说明硅酸盐岩风化对河水中阳离子的贡献率很低,表明榆树沟水体中离子的主要来源不是硅酸盐岩的风化。 K^{+} 和 Na^{+} 一般来自于钠长石、钾长石和云母等的风化,天然水中 K^{+} 常低于 Na^{+} ^[39]。榆树沟水体中, Na^{+} 的浓度高于 K^{+} 的浓度,二者间的相关系数为0.87,说明二者的来源具有一致性,而 Na^{+} 的浓度更高则可能与榆树沟流域花岗岩更偏重钠长石有关。流域岩性为华力西期花岗岩、石灰岩,

因此, Mg^{2+} 含量相对较低。河水中的 NO_3^{-} 主要源于农业活动施用的氮肥,而 SO_4^{2-} 主要源于工业活动和大气沉降等,因此河水中的 NO_3^{-} 和 SO_4^{2-} 浓度的变化主要反映了农业活动和工业活动的影响^[40]。由于该流域处于高寒地带,受农业和工业污染较小,因此,水体阴离子中 SO_4^{2-} 和 NO_3^{-} 含量都较少,且二者的相关性很高,说明其来源的共源性,而 SO_4^{2-} 的含量高于 NO_3^{-} ,可能是由于大气沉降的原因。 Cl^{-} 一般来源于 NaCl 和 MgCl_2 等岩盐的溶解^[37],其在榆树沟水体中含量较低,且与 Na^{+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 具有显著的相关性(分别为0.97、0.98、0.93),说明 Cl^{-} 主要来自于 NaCl 和 MgCl_2 等岩盐的风化。

表3 径流中各离子之间的相关系数

Tab.3 Spearman correlation of ion in runoff

	Cl^{-}	NO_3^{-}	SO_4^{2-}	Na^{+}	K^{+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	HCO_3^{-}
Cl^{-}	1							
NO_3^{-}	0.92	1						
SO_4^{2-}	0.98	0.95	1					
Na^{+}	0.97	0.92	0.97	1				
K^{+}	0.93	0.88	0.92	0.87	1			
Mg^{2+}	0.98	0.95	0.99	0.99	0.90	1		
Ca^{2+}	0.54	0.42	0.57	0.56	0.53	0.56	1	
HCO_3^{-}	0.55	0.45	0.59	0.61	0.55	0.60	0.95	1

4 结 论

本文对哈密榆树沟流域春洪期径流所采集的样品进行研究讨论,得出以下结论:

(1) 榆树沟流域春洪期径流水体pH平均值是8.04,呈弱碱性;TDS含量 68.84 mg L^{-1} ,属于弱矿化

度水, HCO_3^- 、 Ca^{2+} 是浓度最高的阴、阳离子, Ca^{2+} 质量浓度占阳离子总数的74.31%, HCO_3^- 质量浓度占阴离子总数的82.07%。阴、阳离子质量浓度序列为: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$, 分析结果表明, 这主要是由于榆树沟的岩性的影响。

(2) 尽管雪融水是榆树沟春洪期径流的重要补给源, 但即时径流量对径流中主要离子组成、TDS、EC、pH值的调节作用不大。受河流比降和流速的影响, 离子日平均值的日间变化与日径流量的变化总体呈相反的关系。

(3) Gibbs图表明控制径流离子组成的主要过程是岩石的风化作用。结合Piper三角图和离子间相关关系进一步分析表明, 径流中离子主要来源于石灰岩等碳酸盐岩的风化。水化学类型为 HCO_3^- - Ca^{2+} 。

(4) 流域岩性为华力西期花岗岩、石灰岩, Mg^{2+} 含量相对较低, 而 Na^+ 的浓度高于 K^+ 的浓度, 可能与榆树沟流域花岗岩更偏重钠长石有关。该流域处于高寒地带, 受农业和工业污染较轻, 因此, 水体阴离子中 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 含量较小, 二者具有来源的共源性, 而 SO_4^{2-} 的含量高于 NO_3^- , 可能是由于大气沉降的原因。 Cl^- 主要来自于 NaCl 和 MgCl_2 等岩盐的风化, 其含量高于 NO_3^- 。

参考文献(References)

- [1] LING Hongbo, XU Hailiang, FU Jinyi, et al. Surface runoff processes and sustainable utilization of water resources in Manas River Basin, Xinjiang, China[J]. Journal of Arid Land, 2012, 4(3): 271-280.
- [2] 陈亚宁, 杨青, 罗毅, 等. 西北干旱区水资源问题研究思考[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 1-9. [CHEN Yaning, YANG Qing, LUO Yi, et al. Ponder on the issues of water resources in the arid region of northwest China[J]. Arid Land Geography, 2012, 35(1): 1-9.]
- [3] YIN Zhenliang, XIAO Honglang, ZOU Songbing, et al. Simulation of hydrological processes of mountainous watersheds in inland river basins: taking the Heihe Mainstream River as an example[J]. Journal of Arid Land, 2014, 6(1): 16-26.
- [4] MA Lan, WEI Xiaomei, BAO Anming, et al. Simulation of groundwater table dynamics based on Feflow in the Minqin Basin, China[J]. Journal of Arid Land, 2012, 4(2): 123-131.
- [5] 朱海勇, 陈永金, 刘加珍, 等. 塔里木河中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. Variation and evolution of groundwater chemistry in the middle and lower reaches of the Tarim River[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(1): 8-18.]
- [6] 连英立, 张光辉, 聂振龙, 等. 西北内陆张掖盆地地下水温度变化特征及主要影响因素识别[J]. 干旱区地理, 2011, 34(3): 391-399. [LIAN Liying, ZHANG Guanghui, NIE Zhenlong, et al. Groundwater temperature variation characteristics and main influence factors identification in Zhangye Basin of northwest China[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(3): 391-399.]
- [7] 郜银梁, 陈军峰, 张成才, 等. 黑河中游灌区水化学空间变异特征[J]. 干旱区地理, 2011, 34(4): 575-583. [GAO Yinliang, CHEN Junfeng, ZHANG Chengcai, et al. Hydrochemical characteristics of the irrigation area in the middle reaches of the Heihe River Basin[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(4): 575-583.]
- [8] BERNER E K, BERNER R A. The global water cycle: geochemistry and environment[M]. New Jersey: Prentice-Hall, 1987.
- [9] ROY B, GAILLARDET J, ALLEGRE C J. Geochemistry of dissolved and suspended loads of the Seine river, France: Anthropogenic impact, carbonate and silicate weathering[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1999, 63: 1277-12926.
- [10] MEYBECK M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads[J]. American Journal of Science, 1987, 287(5): 401-428.
- [11] ZHANG Licheng, DONG Wenjiang. Geochemical characteristics of the river system in east China[J]. Geographical Research, 1990, 9(2): 67-75.
- [12] BROWN G H. Glacier meltwater hydrochemistry[J]. Applied Geochemistry, 2002, 17(7): 855-883.
- [13] SINGH A K, HASNAIN S I. Major ion chemistry and weathering control on a high altitude basin-Alaknanda River, Garhwal Himalaya, India[J]. Hydrological Sciences Journal, 1998, 43: 825-844.
- [14] HODSON A, PORTER P, LOWE A, et al. Chemical denudation and silicate weathering in Himalayan glacier basins: Batura Glacier, Pakistan[J]. Journal of Hydrology, 2002, 262: 193-208.
- [15] 冯芳, 李忠勤, 张明军, 等. 天山乌鲁木齐河源区径流水化学特征及影响因素分析[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2238-2247. [FENG Fang, LI Zhongqin, ZHANG Mingjun, et al. Hydrochemical characteristics and controls of runoff at the headwaters of the Urumqi River, Eastern Tianshan Mountain[J]. Resources Science, 2011, 33(12): 2238-2247.]
- [16] 蒲焘, 何元庆, 朱国锋, 等. 玉龙雪山周边典型河流雨季水化学特征分析[J]. 地理科学, 2011, 31(6): 734-740. [PU Tao, HE Yuanqing, ZHU Guofeng, et al. Hydrochemical characteristics of three rivers around Yulong Mountain in rainy season[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(6): 734-740.]
- [17] 周俊, 吴艳宏. 贡嘎山海螺沟水化学主离子特征及其控制因素[J]. 山地学报, 2012, 30(3): 378-384. [ZHOU Jun, WU Yanhong. Major ion chemistry of waters in Hailuoguo Catchment and the possible controls[J]. Journal of Mountain Science, 2012, 30(3): 378-384.]

- [18] 李翠林,侯书贵,秦大河. 天山乌鲁木齐河源径流水文化空间差异及其控制因素[J]. 冰川冻土, 2003, 25(1): 72-76.[LI Cui-lin, HOU Shugui, QIN Dahe. Spatial differences of hydro-chemical and its control factors of the headwater runoff in the Urumqi River, Tianshan Mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(1): 72-76.]
- [19] 骆光晓,艾力,祁先明,等. 榆树沟流域水文特征[J]. 新疆气象, 2002, 25(5): 19-20, 37.[LUO Guangxiao, AI Li, QI Xianming, et al. Hydrological characteristics of the Yushugou Valley[J]. Xinjiang Meteorological, 2002, 25(5): 19-20, 37.]
- [20] 马雪娟,骆光晓. 气候变化对榆树沟流域径流的影响分析[J]. 中国水运, 2009, 9(10): 190-193.[MA Xuejuan, LUO Guangxiao. Impact analysis of climate change on runoff in Yushugou River Basin[J]. China Water Transport, 2009, 9(10): 190-193.]
- [21] 张洪艳,刘虹. 新疆榆树沟流域水文水资源分析[J]. 黑龙江水利科技, 2011, 39(5): 8-9.[ZHANG Hongyan, LIU Hong. Analysis of hydrology and water resources in Yushugou River basin, in Xinjiang[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2011, 39(5): 8-9.]
- [22] 蔡云标. 哈密市榆树沟流域地表水天然水化学特征分析[J]. 新疆水利, 2012, (5): 9-11.[CAI Yunbiao. Water analysis of chemical characteristics of surface water in Yushugou River basin, Hami[J]. Xinjiang Water Resources, 2012, (5): 9-11.]
- [23] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 中国冰川目录()-天山山区(东部散流内流区)[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 69-70. [Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Science. Glacier Inventory of China()-Tianshan Mountains(Interior Drainage Area of Scattered Flow in East)[M]. Beijing: Science Press, 1986: 69-70.]
- [24] 新疆哈密市地方志编纂委员会编. 哈密县志[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1990.[Xinjiang, Hami City Local Chronicles Compilation Committee. Hami County annals[M]. Urumqi: Xinjiang People's Press, 1990.]
- [25] 效存德,姚檀栋,秦大河,等. 青藏高原雪冰电导率与降水碱度以及大气粉尘载荷变化的关系[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(5): 362-371.[XIAO Cunde, YAO Tandong, QIN Dahe, et al. The relationship between snow and ice conductivity and alkalinity and atmospheric dust loads precipitation changes in Tibetan[J]. Science in China(Ser.D), 2001, 31(5): 362-371.]
- [26] 皇翠兰,蒲健辰,李忠勤,等. DX100型离子色谱仪用于冰雪样品中阴、阳离子的测定[J]. 环境化学, 1998, 17(2): 195-199. [HUANG Cuilan, PU Jianchen, LI Zhongqin, et al. The ion concentration determination of snow and ice samples by DX-100 ion chromatography[J]. Environmental Chemistry, 1998, 17(2): 195-199.]
- [27] MITAMURA O, SEIKE Y, KONDO K, et al. First investigation of ultra-oligotrophic alpine Lake Puma Yumco in the pre-Himalaya, China[J]. Limnology, 2003, 4: 167-175.
- [28] MURAKAMI T, TERAH H, YOSHIYAMA Y, et al. The second investigation of Lake Puma Yum Co located in the Southern Tibetan Plateau, China[J]. Limnology, 2007, 8: 331-335.
- [29] HOPKINSON C, ENGLISH M C. Spatio-temporal variations of ^{18}O isotope signatures of hydrological components within a glaciated mountainous basin [C]//Proceedings of the 58th Eastern Snow Conference. Ottawa, Ontario, Canada, 2001.
- [30] LIU F J, WILLIAMS M W, CAINE N. Source waters and flow paths in an alpine catchment, Colorado Front Range, United States [J]. Water Resources Research, 2004, 40: W09401, doi: 10.1029/2004WR003076.
- [31] 魏振枢. 环境水化学[M]. 北京: 化学工业出版社教材出版中心, 2001: 82-84.[WEI Zhenshu. Environmental water chemistry [M]. Beijing: Chemical industry Press Textbook Publications Center, 2001: 82-84.]
- [32] QIN J H, HUH Y, EDMOND J M, et al. Chemical and physical weathering in the Min Jiang, a headwater tributary of the Yangtze River[J]. Chemical Geology, 2006, 187: 53-69.
- [33] 武小波,李全莲,贺建桥,等. 黑河上游夏半年河水化学组成及年内过程[J]. 中国沙漠, 2008, 28(6): 1190-1195.[WU Xiaobo, LI Quanlian, HE Jianqiao, et al. Hydrochemical characteristics and inner-year process of upper Heihe River in summer half year [J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(6): 1190-1195.]
- [34] GIBBS R J. Mechanisms controlling world water chemistry [J]. Science, 1970, 170(3962): 1088-1090.
- [35] XU H, HOU Z H, AN Z S, et al. Major ion chemistry of waters in Lake Qinghai catchments, NE Qinghai-Tibet Plateau, China[J]. Quaternary International, 2010, 212: 35-43.
- [36] MEYBECK M. Global chemical-weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads[J]. American Journal of Science, 1987, 287(5): 401-428.
- [37] 陈静生. 河流水质原理及中国河流水质[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 10-50.[CHEN Jingsheng. Principle of river water quality and water quality of Chinese rivers[M]. Beijing: Science Press, 2006: 10-50.]
- [38] SARIN M M, KRISHNASWAMI S, DILLI K, et al. Major ion chemistry of the Ganga-Brahmaputra River system-weathering processes and fluxes to the bay of Bengal[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 1989, 53(5): 997-1009.
- [39] 蒲焘,何元庆,朱国锋,等. 丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素[J]. 环境科学, 2012, 33(1): 48-54.[PU Tao, HE Yuanqing, ZHU Guofeng, et al. Geochemistry of surface and ground water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan[J]. Environmental Science, 2012, 33(1): 48-54.]
- [40] 沈照理,朱宛华,钟佐. 水文地球化学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-100.[SHEN Zhaoli, ZHU Wanhua, ZHONG Zuo. Introduction to hydrogeochemistry[M]. Beijing: Chinese Geology Press, 1993: 1-100.]

River water chemical characteristics and controls during the spring flood period in Yushugou Bbasin ,Hami ,Eastern Tianshan Mountains ,China

WANG Xiao-yan¹ , LI Zhong-qin^{1 2} , ZHOU Ping¹ , Ruozihan·Tayier³ , GAO Peng³

(1 State Key Laboratory of Cryosphere Sciences/Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2 College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 3 Hami Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Hami 839000, Xinjiang, China)

Abstract : The main ion composition of water is the indicator which can show the lithology ,climate ,ecological environment of the through area. This has been widely used to identify the basic process that controls the chemical composition of the water. The research about ion chemistry characteristics and spatial distribution can be used to determine the relationship of the rivers solute geochemical sources with regional natural conditions. There are very few reports about chemical characteristics and controls at Hami Yushugou Basin ,Xinjiang ,China. And water resource from this river is very important for production and life of Hami. An analytical study of hydrochemical characteristics and controls of the runoff during the spring flood period at Hami Yushugou Basin were carried out in this study. In order to investigate the diurnal changing characteristics of river water chemical composition ,water samples were collected at Yushugou Hydrometric Station from April 26 to May 2 ,2013. To analyze the major chemical ions ,pH ,conductivity EC ,total soluble solids TDS ,tools including the descriptive statistics ,correlation matrices ,Gibbs Figure ,triangular diagrams of anions and cations were employed. The results showed that the average pH value in runoff was alkaline (8.04) in spring flood period in Yushugou Basin. EC value in runoff samples ranged from 84.5 to 168.4 $S\ cm^{-1}$. Ca^{2+} was the dominant cation ,and HCO_3^- was the dominant anion. The average value of TDS was 68.84 $mg\ L^{-1}$,belonging to the weak water salinity. Ca^{2+} and HCO_3^- concentration account for 74.31% and 82.07% of cations and anions ,respectively. The anionic mass concentration sequence was $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$,and that of cationic was $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$. The hydrochemical type of Yushugou basin is $HCO_3^- - Ca^{2+}$. The major ion composition ,TDS , EC ,pH value in runoff were little affected by instant water discharge. Affected by river gradient and flow velocity ,the trends of the daily average value of ion and the daied water discharge were opposite. In Gibbs chart ,the ratio of hydrochemistry ion $Na^+ / (Na^+ + Ca^{2+})$ was less than 0.5 ,the scope was mainly concentrated in less than 0.2. It indicated that the major origin of ions in runoff was weathering of rocks. Based on piper trilinear monograph ,in the cationic triangle ,each point was near the Ca^{2+} endmember; in the anions triangle ,each point was near the HCO_3^- endmember. This means that the main process controlling the water chemistry is found to be carbonate ,such as Limestone ,weathering. The result of correlation coefficient between ions can partly explain the source of the ions. In result ,the correlation coefficient of Ca^{2+} and HCO_3^- was the largest which showed that they had the same source ,the release of calcium carbonate weathering. Other ions had their same source because of the high correlation between them. The conclusion is that the rocks weathering is the main factor for controlling the hydrochemical composition in spring flood period in Yushugou basin. And in this period ,the river water is the fine source of drinking water. Thus it is important to study the water chemical characteristics in this area.

Key Words : EC and TDS ; ionic concentration ; rock weathering ; Yushugou Basin