

希夏邦马峰北坡达索普冰川区冰、雪、河水的化学特征*

秦翔 姚檀栋 王晓香 皇翠兰

(中国科学院兰州冰川冻土研究所冰芯与寒区环境开放研究实验室, 兰州 730000 E-mail: icecore@ns.lzb.ac.cn)

摘要 1997-09~1997-10间在希峰地区达索普冰川采集的4类水样(表层雪、冰塔冰、冰面河水和河水)的实测资料表明, 本区各类水体 pH 值的大小顺序为: 河水> 冰面河水> 冰塔冰> 表层雪. 表层雪和冰面河水所测的阴离子中以 NO_3^- 为最大, 而冰塔冰样品以 Cl^- 最大; 阳离子含量基本上以 Ca^{2+} 为主. SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、电导率和 pH 值都与所测的阴、阳离子总量有较好的相关关系, 随所测的阴、阳离子总量升高而增大. 表层雪的电导率、 Na^+ 、 Cl^- 、所测的阴、阳离子总量和 SO_4^{2-} 与海拔高度都有较好的相关关系, 随着海拔高度上升而上升.

关键词 达索普冰川, 水体, 化学特征, 阴离子, 阳离子, 电导率, pH 值.

Chemical Characteristics of Glacier Ice, Snow and River Waters in Dasuopu Glacier on Xixabangma Peak*

Qin Xiang Yao Tandong Wang Xiaoxiang Huang Cuilan

(Lab. of Ice Core and Cold Regions Environ., Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, Lanzhou 730000, China E-mail: icecore@ns.lzb.ac.cn)

Abstract The chemistry of water samples collected in September and October of 1997 from snow, glacial meltwater, and river on the north side of Xixabangma Peak is reported. The pH value is between 5.93—8.01, with an order: river water > glacial meltwater > snow. The conductivities of samples is low, varying between 1.47—119 $\mu\text{S}/\text{cm}$. SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 F^- 、 Mg^{2+} and pH increase with total concentration. Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} total concentration and conductivity increase with altitude.

Keywords chemical characteristics, Dasuopu Glacial, Xixabangma Peak, negative ion, positive ion, conductivity, pH.

对于希夏邦马峰(以下简称“希峰”)地区冰川的研究, 在1964年考察中已经取得了丰富的资料^[1]. 在1997-08~10之间, 由姚檀栋研究员和美国俄亥俄州立大学 Thompson 教授组织了希峰冰川考察队. 通过这次考察, 首次在海拔7000m处钻取深冰芯^[2,3], 并首次在山地冰川发现了重结晶带的存在^[4], 初步研究了达索普冰川的现代过程^[5]. 考察期间, 在达索普冰川(又称野博康加勒冰川)沿不同海拔高度采集了表层雪、冰塔冰和河水样品, 共计28个. 结合前人所做的一些工作^[1,5,6], 本文就达索普冰川的

水化学特征做初步的分析和探讨.

1 采样和分析

采样位置见图1.

戴一次性塑料手套直接采取表层雪样, 装入一次性塑料保鲜袋. 将样品带回CAMP2营

* “九五”国家攀登计划项目(Climbing Project 95): KZ951-A1-204-02-03), 国家自然科学基金资助项目(The Project Supported by National Natural Science Foundation of China): 49671021 和中国科学院九五重大项目(The Great Project of CAS): KZ951-A1-402-03

秦翔: 男, 25岁, 博士生

收稿日期: 1998-05-04

地等其自然融化后,即用样品将塑料样品瓶(在实验室已经用蒸馏水和超纯水各冲洗了3次)冲洗3次后装样.采集河水样品时,先用样品冲洗3次样瓶,然后再装样.

全部样品运抵中国科学院兰州冰川冻土研究所后即放入 -15°C 的低温室内存,进行分析的前2d将样品取出,室温下自然融化后进行pH值和电导率测定,所用仪器为:pHS-2型酸度计;DDS-11A型电导率仪.另使用Dionex-300型离子色谱仪测定了样品的 K^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等阳离子;使用Dionex-100型离子色谱仪测定样品的 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 3种阴离子含量.阴、阳离子测试的标准偏差一般低于1%,只有 Cl^- 和 K^+ 可达2%.表1给出了测量结果.

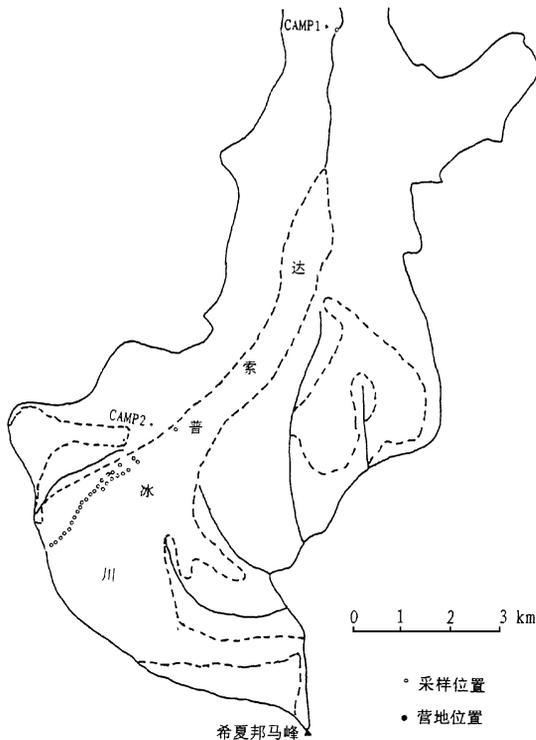


图1 达索普冰川区采样位置图

2 结果与讨论

2.1 pH值

各类水体的pH值都比较稳定,变化于

5.93—8.01之间,平均为6.30,属于偏酸性水.和其它冰川地区相比较,本区表层雪平均pH值(6.15),与南迦巴瓦峰(5.84)^[7]、贡嘎山(6.11)、天山东段(6.31)、阿尔泰山(6.43)和祁连山东段(6.43)^[8]相近,低于祁连山西段(7.24)和天山西段(6.99).本次考察中冰塔冰平均pH值为6.24,远低于1964年希峰考察时所采的冰川冰(8.40).河水的pH值变化于6.18—8.01之间,平均为6.86,比上述表层雪和冰塔冰略高.

1997-05笔者在珠峰(珠穆朗玛峰的简称)所采样品中,表层雪和河水的平均pH值分别为7.53和7.98^[9].虽然希峰与珠峰仅隔120km,但是本次采集同类样品的pH值则相对要低许多.其原因可能是,珠峰采样时间为春季,降水稀少,冰雪面受周围风化岩石及大气降尘作用时间较长,有可能增加其pH值;反之,希峰采样时间为夏末秋初,降水丰沛,冰雪面受周围风化岩石及大气降尘作用时间很短(所采表层雪样品为09-01南来气团的降雪),其pH值则偏低.

2.2 电导率

本地区表层雪、冰塔冰的电导率差别不大:15个表层雪的电导率变化于 $1.47\text{--}3.31\mu\text{s}/\text{cm}$ 之间,平均为 $2.11\mu\text{s}/\text{cm}$;冰塔冰(7个)的电导率变化于 $1.66\text{--}9.73\mu\text{s}/\text{cm}$ 之间,平均为 $2.99\mu\text{s}/\text{cm}$.除了5400m所采河水样的电导率高达 $119\mu\text{s}/\text{cm}$ 外,其余5个冰面河水的电导率变化于 $2.4\text{--}11.4\mu\text{s}/\text{cm}$ 之间,平均为 $5.9\mu\text{s}/\text{cm}$.

就表层雪样品而言,电导率随着海拔降低而降低;而对冰塔冰和冰面河水来说,电导率都随着海拔降低而增大.这样电导率随着海拔高度变化的曲线呈“V”字型,在这一点上与笔者在珠峰所做结果相同^[9].希峰达索普冰川和珠峰远东绒布冰川地形极其相似,都是从垭口发源,然后大体都向北流,其主要不同在于达索普冰川垭口(7100m)和远东绒布冰川垭口(6500m)的海拔高度不同.正是这样的地形使得来自南方的暖湿气流容易进入,在北坡形成

表 1 北坡达索普冰川区表层雪、冰塔冰、冰面河水及河水的化学特征¹⁾/mg·L⁻¹

编号	样品类型	采样日期(1997)/月-日	海拔高度/m	电导率/ $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$	pH 值	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	所测阴阳离子总量
DSP-1	表层雪	09-03	7000	3.23	6.34	0.168	0.071	36	0.099	0.061	0.177	0.013	0.164	0.789
DSP-2	表层雪	09-03	6950	2.5	6.24	0.089	0.081	30	0.049	0.043	0.045	0.011	0.134	0.481
DSP-3	表层雪	09-03	6900	2.7	6.4	0.073	0.045	0.015	0.047	0.127	0.033	0.013	0.129	0.483
DSP-4	表层雪	09-03	6850	2.5	6.36	0.053	0.046	0.021	0.026	0.128	0.026	0.013	0.149	0.463
DSP-5	表层雪	09-03	6800	3.31	6.32	0.096	0.056	0.025	0.067	0.098	0.043	0.011	0.136	0.531
DSP-6	表层雪	09-03	6750	1.8	6.04	0	0.036	0	0	0.047	0	0.009	0.047	0.139
DSP-7	表层雪	09-03	6650	1.79	6.12	0.023	0.06	0	0.005	0.053	0.012	0.012	0.06	0.225
DSP-8	表层雪	09-03	6600	1.8	6.15	0.027	0.053	0.012	0.004	0.045	0.012	0.011	0.062	0.227
DSP-9	表层雪	09-03	6550	1.59	5.95	0.025	0.052	0.012	0.004	0	0.009	0.01	0.051	0.163
DSP-10	表层雪	09-03	6500	1.66	6.1	0.023	0.045	0	0.001	0.04	0	0.012	0.067	0.187
DSP-11	表层雪	09-03	6450	1.82	6.01	0	0.053	0	0	0.012	0	0.013	0.063	0.141
DSP-12	表层雪	09-03	6400	2.12	6.25	0	0.052	0	0	0.138	0	0.018	0.113	0.322
DSP-13	表层雪	09-03	6350	1.75	5.96	0	0.043	0	0	0.017	0	0.008	0.049	0.117
DSP-14	表层雪	09-03	6300	1.47	5.93	0	0.042	0	0.001	0	0.012	0.001	0.037	0.102
DSP-15	表层雪	09-03	6250	1.65	6.14	0.04	0.021	0	0.003	0.007	0.014	0.014	0.105	0.203
DSP-16	冰塔冰	09-04	6160	1.66	6.16	0	0	0	0.006	0	0.02	0.018	0.091	0.134
DSP-17	冰面河水	09-04	6130	2.66	6.33	0.022	0.198	0.129	0.004	0	0.024	0.046	0.319	0.743
DSP-18	冰塔冰	09-04	6100	1.87	6.09	0.049	0.117	0.022	0.019	0.017	0.031	0.011	0.087	0.353
DSP-19	冰塔冰	09-04	6000	2	6.03	0.101	0	0.038	0.056	0.03	0.04	0.013	0.055	0.333
DSP-20	冰面河水	09-04	6000	2.4	6.18	0	0.143	0.078	0	0	0.019	0.031	0.253	0.524
DSP-21	冰塔冰	09-04	5900	2.04	6.13	0.051	0.037	0	0.018	0.023	0.022	0.014	0.116	0.281
DSP-22	冰面河水	09-04	5900	3.7	6.45	0.037	0.261	0.126	0.007	0	0.03	0.054	0.476	0.991
DSP-23	冰塔冰	09-04	5800	1.76	6.19	0	0	0	0	0	0.015	0.024	0.198	0.237
DSP-24	冰面河水	09-04	5800	11.4	7.14	0.030	0.043	0.1	#	#	#	#	#	#
DSP-25	冰塔冰	09-04	5700	1.84	6.11	0.51	0	0.017	0.008	0.023	0.036	0.024	0.063	0.222
DSP-26	冰面河水	09-04	5700	9.32	7.05	0.034	0.214	0.333	0.013	0	0.108	0.337	1.721	2.761
DSP-27	冰塔冰	10-08	5650	9.73	6.98	0.353	0	0.066	0.291	0	0.287	0.366	1.408	2.770
DSP-28	河水	10-08	5400	119	8.01	0.32	1.060	8890	1129	0	0.846	1.723	17.876	31.844

1)表中数值“0”表示该项值低于仪器检测限度,符号“#”表示该项内容缺失

降雪,随海拔降低各种离子浓度降低,因而电导率呈降低趋势.

沿着不同海拔高度分别采集了冰塔冰和冰面河水样品,尽量在同一高度同时采取这2种样品.对比它们电导率,同一高度冰塔冰的电导率都低于冰面河水的,而且两者之间的差值有随着海拔降低而增大的趋势.这主要是因为随着海拔降低,冰川表碛物增加,冰面河水冲刷表碛物,使其离子浓度不断地增加;而冰塔冰基本上还是保持原来成冰时的状态,所以冰面河水电导率(或所测的阴阳离子总量)增加的幅度要大于冰塔冰的.

2.3 阴阳离子总量

由于测量HCO₃⁻所需样品量比较大,所采集的样品少,所以没有测量样品中HCO₃⁻的浓度.但可以从章申等^[1]在希峰所做的工作中看

出:在希峰北坡地区,冰川冰和冰面河水样品中HCO₃⁻都是浓度最大的阴离子;而且所测样品中各种离子含量都比本次采集的同类样品同种离子含量高,这可能因2次考察时间间隔30多年之久,当时样品中各种离子含量本身就比现在的高,或者因试验方法的精确度不同而造成的系统误差,或者二者兼有.虽然没有HCO₃⁻的浓度,但是通过对同类样品所测的阴、阳离子总量(以下简称“阴阳离子总量”)作比较,仍可以得出一些可信的结论.

各类水体的阴阳离子总量变化较大.15个表层雪阴阳离子总量较低,变化于0.102—0.789mg/L之间,平均为0.305mg/L,而且阴阳离子总量随着海拔降低而下降.这一点反映了南来气团翻越垭口后对大气降雪阴阳离子总量的影响.但与前人的结论^[10—15]“矿化度随着

海拔降低而上升”相反.其主要原因是本次采样时间为夏季,所采表层雪样品为前几天降雪,受大气降尘或表碛物的影响并不大,阴阳离子总量仍然表现出明显的随海拔降低而降低的趋势.但如果降雪间隔时间较长或者进入干季时,表层雪便会受到大气降尘或表碛物的影响,而且影响随着海拔降低而增大.当表层雪受到的影响作用大于上面所提到的地形对降雪的影响以后,再采集的样品便表现出:阴阳离子总量随着海拔高度的降低而增大(即与前人的结论相同).7个冰塔冰的阴阳离子总量也较低,变化于0.102—2.77mg/L之间,其中DSP-27样品由于海拔较低,受表碛物影响很大,所以它的阴阳离子总量远高于其它样品.删去这一样品后,其余6个样品的阴阳离子总量平均为0.260mg/L,比上面表层雪的还要低一些.

冰面河水的阴阳离子总量变化于0.524—2.761mg/L之间,平均为1.255mg/L,基本上随海拔降低而上升,反映了冰面河水对表碛物中矿物质的溶解作用不断增大.对于同一海拔高度的冰塔冰和冰面河水来说,冰塔冰的阴阳离子总量都低于冰面河水的,而且两者之间的差值有随着海拔降低而增大的趋势.这一现象及其原因在上面已经讲过.DSP-28是CAMP1营地采的河水,距离达索普冰川末端约5km,因此它的阴阳离子总量(31.844mg/L)远大于其它样品,其电导率(119 $\mu\text{s}/\text{cm}$)也要大很多.

2.4 主要离子含量

根据章申等所做工作^[1],该地区阴离子含量均以 HCO_3^- 占优势.由于本次未测定 HCO_3^- ,仅就所测3种阴离子进行讨论.15个表层雪样品以 NO_3^- 最高,平均为0.05mg/L,其次才是 Cl^- ,最少的是 SO_4^{2-} .其中又分2种情况:采自7000—6800m的5个样品中, Cl^- 最高,而且随海拔降低而降低,从而进一步证实了本区降水是翻越垭口的水汽所致;其它样品中以 NO_3^- 最高.冰塔冰样品中的阴离子以 Cl^- 为最大,平均为0.086mg/L,其次才是 NO_3^- 和 SO_4^{2-} .冰面河水中的 NO_3^- 最高,平均为0.172mg/L;其次才是 SO_4^{2-} ,平均为0.153mg/

L; Cl^- 含量最低,仅含0.025mg/L.CAMP1营地河水样品(DSP-28)各种离子的浓度都远大于其它样品,但是与以前相似的样品比较并不显得大,其中阴离子以 SO_4^{2-} 最大,其次是 NO_3^- .

阳离子含量基本上以 Ca^{2+} 为主.其中表层雪含量最低,平均为0.091mg/L;冰塔冰为0.288mg/L;冰面河水较高,平均为0.693mg/L;DSP-28河水样最高,为17.876mg/L,比其它样品大2—3个量级.至于其它几种阳离子含量都比 Ca^{2+} 低很多,而且它们之间相差也不大.另外,值得一提的是:由于前人多使用原子吸收光谱仪或其它仪器测量阳离子,所以测不出 NH_4^+ ;而本次样品使用Dionex-300型离子色谱仪测定了样品的阳离子,因此测得:表层雪中 NH_4^+ 变化于0—0.138mg/L之间,平均为0.054mg/L;冰塔冰中 NH_4^+ 变化于0—0.03mg/L之间,平均为0.013mg/L.由于水中的 NH_4^+ 极易变成 NH_3 (氨气)挥发掉,所以只能在雪或冰等固态样品中测到,而在河水等液态样品中很难测到.样品中的 NH_4^+ 很可能来自大气降水的凝结核.

根据离子毫克当量计算,各类水体离子排列顺序依次为:表层雪中: $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ (\text{Mg}^{2+}), \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$.冰塔冰: $\text{Ca}^{2+} \gg \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ (\text{Na}^+) > \text{NH}_4^+, \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$.冰面河水: $\text{Ca}^{2+} \gg \text{Mg}^{2+} \gg \text{K}^+ > \text{Na}^+, \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$.

2.5 主要离子含量与阴阳离子总量的关系

通过相关分析可以看出,主要离子含量与阴阳离子总量具有一定相关性,特别是 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 与阴阳离子总量有较好的正相关关系.其次是 SO_4^{2-} 的含量有随阴阳离子总量升高而增大的趋势,但正相关性相对较差.其它几种离子则基本不随阴阳离子总量升高而变化.另外,pH值和电导率与阴阳离子总量也有较好的相关关系(图2).

2.6 离子含量与海拔高度的关系

冰塔冰和冰面河水由于样品数量较小,没有分析出与海拔高度的相关性;表层雪样品的

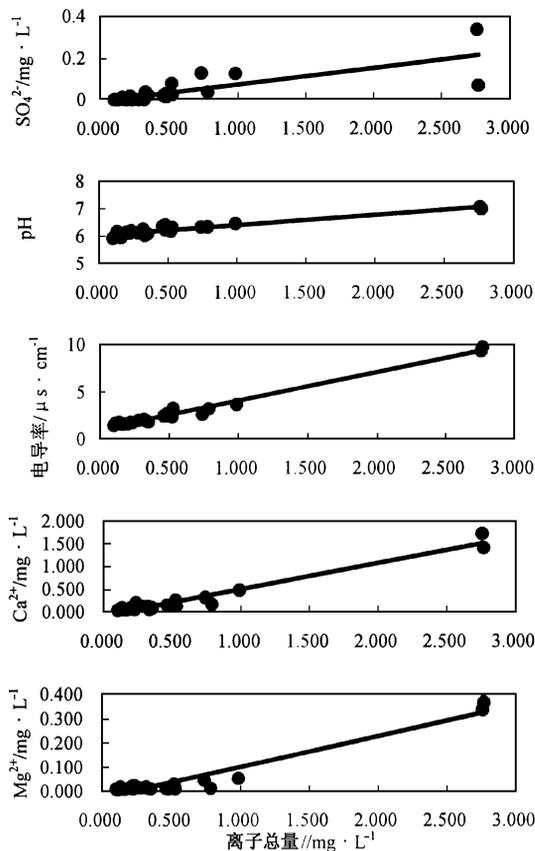


图2 主要离子浓度及pH值、电导率与阴阳离子总量的关系

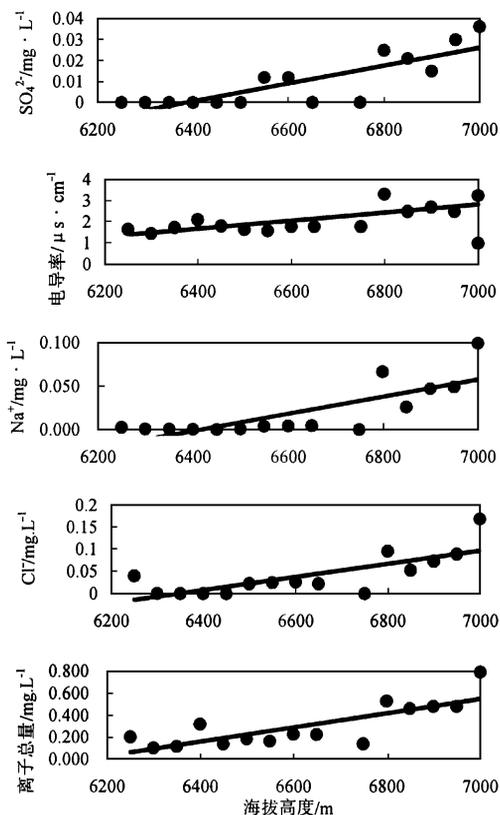


图3 表层雪样品中主要离子浓度、电导率与海拔高度的关系

SO_4^{2-} 、阴阳离子总量与海拔高度有较好的正相关性,其次 Na^+ 、 Cl^- 和电导率也有随着海拔高度上升而上升的趋势(图3),但正相关性相对较差.从而进一步证实了本区降水是翻越垭口的水汽所致.其它几种离子则基本不随海拔高度升高而变化.

3 结语

(1) 希峰地区各类水体的pH值都比较稳定,本区表层雪和冰塔冰平均pH值分别为6.15和6.24,与其它地区相比较而言,属于较低地区.河水的pH值变化于6.18—8.01之间,平均为6.86,比表层雪和冰塔冰略高.

(2) 本区表层雪、冰塔冰的电导率差别不大:表层雪的电导率变化于1.47—3.31 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之间,平均为2.11 $\mu\text{s}/\text{cm}$;冰塔冰的电导率变化

于1.66—9.73 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之间,平均为2.99 $\mu\text{s}/\text{cm}$.冰面河水的电导率变化于2.4—11.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之间,平均为5.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$.表层雪样品的电导率随着海拔降低而降低;而对于冰塔冰和冰面河水来说,电导率都随着海拔降低而增大.

(3) 各类水体所测的阴阳离子总量变化较大.表层雪所测的阴阳离子总量较低,变化于0.102—0.789 mg/L 之间,平均为0.305 mg/L ,而且矿化度随着海拔降低而下降,与前人的结果“矿化度随着海拔降低而上升”相反.冰塔冰的阴阳离子总量也较低,变化于0.102—22770 $\mu\text{m}/\text{L}$ 之间.冰面河水的阴阳离子总量变化于0.524—2.761 mg/L 之间,平均为1.255 mg/L ,基本上随海拔降低而上升.对于同一海拔高度的冰塔冰和冰面河水来说,冰塔冰的阴阳离子总量都低于冰面河水的,而且两者

之间的差值有随着海拔降低而增大的趋势。

(4) 对所测 3 种阴离子来说, 表层雪样品以 NO_3^- 最高; 冰塔冰样品 Cl^- 为最大; 冰面河水中 NO_3^- 最高, CAMP1 营地河水样品(DSP-28)阴离子以 SO_4^{2-} 最大, 阳离子含量基本上以 Ca^{2+} 为主。其中表层雪含量最低, 冰塔冰和冰面河水较高, DSP-28 河水样最高。值得一提的是: 本次样品测出表层雪和冰塔冰中的 NH_4^+ , 很可能来自大气降水的凝结核。

(5) 主要离子含量与阴阳离子总量具有一定正相关性, 特别是 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 与阴阳离子总量有较好的正相关关系。其次是 SO_4^{2-} 的含量有随阴阳离子总量升高而增大的趋势, 但正相关性相对较差。其它几种离子则基本不随阴阳离子总量升高而变化。另外, 电导率与阴阳离子总量也有较好的正相关关系。

(6) 表层雪样品的 SO_4^{2-} 、阴阳离子总量与海拔高度有较好的正相关性, 其次 Cl^- 、 Na^+ 和电导率也有随着海拔高度上升而降低的趋势, 但正相关性相对较差。其它几种离子则基本不随海拔高度升高而变化。

(7) 本区冰川区水体的化学特征分析表明, 西南气流可以翻越达索普冰川源头海拔高达 7100m 的垭口, 进入希峰北坡, 造成降水。

致谢 实验室工作得到盛文坤老师的大力支持, 在此一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- Zhang Shen, Wu Zi wang. The hydrochemical characteristics in the district of Xixabangma peak. The Science Expedition Report on Xixabangma Peak (In Chinese). Beijing: Science Press, 1982. 92_ 97
- Yao Tandong. Preliminary results from ice core at 7000m. Chinese Science Bulletin (In Chinese), 1998, 43 (1): 1_ 2
- Yao Tandong. The significance of drilling a ice core at 7000m on Tibet Plateau—one of Ten Science Process in China in 1997. Journal of Glaciology and Geocryology (In Chinese), 1998: 20(1): 1—2
- Yao Tangdong, Pu Jianchen, Wang Ninglian et al. Discovery of a new Ice-deformation in China. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 1998, 43(1): 94_ 97
- Duan Keqin, Yao Tandong, Pu Jianchen et al. Modern environment processes recorded in Dasuopu shallow ice core. Marine Geology and Quaternary Geology (In Chinese with English abstract), 1998, 18(1): 65_ 70
- Zhang Shen, Yu Weixin. The hydrochemical characteristics in the district of Qomolangma peak. The Science Expedition Report on Qomolangma Peak (1966_ 1968), Physical Geography (In Chinese). Beijing: Science Press, 1975. 102_ 123
- Zhang Wenjing, Wang Ping. The chemical characteristics of glacier ice, snow and river water in the district of Lan-jiabawa Peak. Mountain Research (In Chinese), 1984, 2 (3): 155_ 164
- Wang Ping. A study on ice and snow chemistry in China. Journal of Glaciology and Geocryology (In Chinese with English abstract), 1986, 8(1): 41_ 51
- 秦翔, 秦大河 皇翠兰等. 珠穆郎玛峰北坡绒布冰川区水体的化学特征. 环境科学, 1999, 20(1): 1—6
- Pu Jianchen, Wang Ping, Huang Cuilan. The chemical characteristics of glacier ice, snow and river water in the district of the head of Yangtze River. Chinese Journal of Environment Science (HUANJING KEXUE). 1988, 9 (4): 14_ 19(中文版)
- Li Yuefang, Yao Tandong, Huang Cuilan. Spatial variations of chemical species in Guliya ice cap. Journal of Glaciology and Geocryology (In Chinese with English abstract). 1993, 15(3): 467_ 473
- Yan Tandong, Sheng Wenkun, Yang Zhihong. A study on ice and snow chemistry in Qing-Zang (Tibet) Plateau. Glaciological Climate and Environment of Qing-Zang Plateau (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993. 8_ 15
- Huang Cuilan, Pu Jianchen. The features of cations within glacier ice, snow and river water in the district of Xidatan Meikuang glacier. Journal of Glaciology and Geocryology (In Chinese with English abstract), 1995, 17(3): 283_ 288
- Sheng Wenkun, Wang Ninglian, Pu Jianchen. The hydrochemical characteristics in the Dongkemadi glacier area, Tanggula Range. Journal of Glaciology and Geocryology (In Chinese with English abstract), 1996, 18(3): 235_ 243
- Reynolds B, Chapman P J, French M C et al. Major, minor, and trace element chemistry of surface waters in the Everest region of Nepal. Biogeochemistry of Seasonally Snow-Covered Catchments (Proceedings of a Boulder Symposium. July). IAHS Publ, 1995. 228, 405_ 412