

珠穆朗玛峰地区新降雪的化学特征

张东启, 秦大河, 任贾文, 康世昌, 王晓香, 皇翠兰(中国科学院寒区旱区环境与工程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: 根据 1998 年 8、9 月份在珠穆朗玛峰东侧东绒布冰川源头所采集的新降雪样的化学成分资料并与不同时期前人在该地区采集的降水样进行对比, 初步探讨了该地区降水的化学特征及其气候环境意义。结果表明, 珠峰地区夏末降水非常纯净, 主要离子浓度可与南极和格陵兰地区相当, 代表了全球偏远地区的大气环境本底值; 珠峰地区不同季节降水的化学成分有明显的差异, 反映了不同的水汽来源和气候状况。8~9 月的水汽主要来源于南亚季风; 4~5 月的降水深受中亚干旱、半干旱区粉尘的影响, 说明其降水的化学特征具有气候敏感性。

关键词: 珠峰地区; 降水化学特征; 气候敏感性

中图分类号: X832 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)02-03-0123

Chemical Characteristics of Fresh Snow in Mount Everest Region

Zhang Dongqi, Qin Dahe, Ren Jiawen, Kang Shichang, Wang Xiaoxiang, Huang Cuilan(Laboratory of Ice Core and Cold Regions Environment, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China E-mail: icecore@ns.lzb.ac.cn)

Abstract: The chemistry of fresh snow samples collected in August and September, 1998 from Mount Everest was studied and compared with other fresh snow samples collected in different seasons in this region. The results indicated that major species in precipitation were very low in late summer in Mount Everest region and may be representative of the background of precipitation chemistry of remote regions in the world. Chemical Characteristics of fresh snow in different seasons had distinct differences and they may reflect different moist source and climatic status. The precipitation in August and September was mainly come from Indian summer monsoon and in April and May it was influenced deeply by the dust of semi-arid and arid regions in central Asia. This indicates the precipitation in this region is climatic sensitive.

Key words: Mount Everest region; chemical characteristics of fresh snow; climatic sensitivity

珠穆朗玛峰(以下简称珠峰)地区人类活动微弱, 是全球具有代表大气环境本底的地区之一^[1]。

在喜马拉雅山脉南、北坡珠峰周围地区已经进行了一些降水化学特征的研究^[1~5]。1998-08~09, 笔者在珠峰北坡东绒布冰川上采集了降落在冰面上的新鲜雪样共计 29 个。本文拟通过对其化学成分的分析, 并与不同降水期间前人在邻近冰川区所采集的雪样的化学成分进行对比, 认识该区降水化学的基本特征, 探讨该地区降水的物质来源及其气候、环境意义。

1 采样和分析

样品的采集是在珠峰东侧的东绒布冰川惹普拉冰流雪线以上 6250 m~6490 m 处进行的(见图 1)。这支冰流宽约 1000 m, 向北倾斜, 垭口处为一小平台, 其南侧即是尼泊尔。南侧除有一两处小山峰高出垭口外, 再无其它山脉阻挡, 南来气流可以畅通无阻地越过垭口。由于 8、9 月份为非消融期, 冰面上为夏季历次降雪所

覆盖, 未见有融水和冰面径流。

每次降雪期间或降雪后不超过 12 h, 从 6250 m 至 6490 m 每上升 50 m 采集 1 表层雪样。共采集了 6 次降雪的 29 个样品。采样时戴一次性塑料手套直接采取表层雪样然后装入一次性塑料保鲜袋。样品带到冰面一侧 6300 m 营地自然融化后再转入聚乙烯塑料样品瓶(该样品瓶事先已在超净化实验室内用蒸馏水和去离子水洗净, 密封后运至营地)。

样品于 9 月底运抵兰州冰川冻土研究所后立即存放于 -15℃ 的低温室保存。在分析前 2 d 将样品取出并在室温(约 23℃)下自然融化然后进行主要离子成分的

基金项目: 中国科学院“九五”重大项目(KZ951-A1-402-03); 攀登计划项目(95-预-40); 国家自然科学基金项目(49871022)

作者简介: 张东启(1971~), 男, 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所博士生, 主要研究方向为雪冰化学与全球变化。

收稿日期: 2000-06-07

分析. K^{+} 、 Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 是用 PE-2380 型原子吸收光谱仪测定的, Cl^{-} 、 NO_3^{-} 、 SO_4^{2-} 等阴离子是用 Dionex-300 型离子色谱仪测定的, 所有离子的测量精度可达 $\mu g/L$ 级^[6].

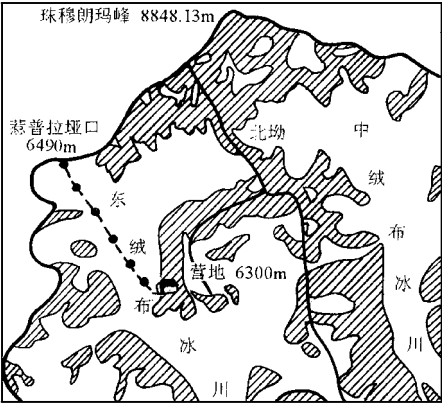


图 1 珠穆朗玛峰东绒布冰川积累区降水样品采集点

2 结果与讨论

2.1 样品分析结果

把所有样品的分析结果列于表 1, 可以看出, 6 次降雪主要离子浓度的变化具有明显的同相性, 即阴离子的质量百分比浓度排序为: $NO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-}$. 阳离子的浓度排序为: $Ca^{2+} > K^{+} > Na^{+} > Mg^{2+}$. 主要离子浓度与降雪量成反比关系, 即降雪量越大, 各种离子浓度越低, 这反映了降水对主要离子的冲洗作用^[7]. 所有样品的 Cl^{-}/Na^{+} 平均为 2.08, 很接近水温为 $25^{\circ}C$, 含盐度为 35‰ 的海洋水体中 Cl^{-} 与 Na^{+} 的浓度比值 1.80. 各种离子之间的相关性分析(见表 2)表明 Cl^{-} 与 Na^{+} 和 K^{+} 的相关性很高, 其相关系数分别为 0.83 和 0.62(置信度为 99.9%), 表明它们为相同的海相来源. 这进一步验证了 8、9 月份珠峰地区降水的水汽主要是来自海洋性的印度夏季风^[3]. 以尘埃来源为主的离子如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 的较高含量以及它们之间的高相关性则反映出仍有季风或局地对流云系携带来的陆

表 1 各次降雪及所有降雪的离子浓度平均值/ $\mu g \cdot L^{-1}$

日期 /月·日	样品个数	降雪厚度 /cm	主要离子浓度							
			Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	Ca^{2+}	Cl^{-}	NO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}/Na^{+}
08-30 ~ 08-31	5	6	3.4	9.6	6.6	18.8	16.5	147.1	31.1	2.50
08-31 ~ 09-01	8	16	1.0	1.0	4.2	16.0	10.4	39.0	24.2	2.47
09-01	5	6	2.8	16.3	16.0	42.6	19.9	199.1	46.6	1.24
09-04	1	12	2.0	-	3.0	20.0	4.7	56.1	28.0	1.56
09-07	5	10	2.8	38.0	10.2	30.0	24.8	210.6	45.4	2.39
09-09	5	8	6.0	12.4	8.4	57.4	18.9	203.7	77.4	2.31
平均		9.7	3.0	8.6	8.1	30.9	15.9	142.6	42.1	2.08

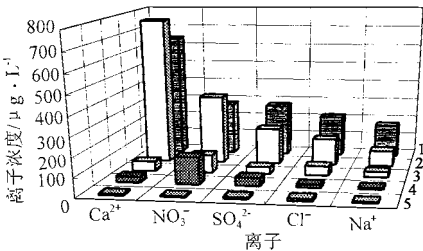
源物质对该地区的降水化学产生影响.

表 2 珠峰新降雪主要离子浓度之间的相关系数
($R \geq 0.45$ 的置信度为 99%)

离子	Na^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^{-}	NO_3^{-}	SO_4^{2-}
K^{+}	0.70	0.34	0.83	0.62	0.12	0.34
Na^{+}		0.23	0.49	0.83	0.20	0.25
Ca^{2+}			0.62	0.38	0.67	0.81
Mg^{2+}				0.60	0.35	0.76
Cl^{-}					0.41	0.41
NO_3^{-}						0.59

2.2 珠峰地区降水化学特征的比较

将 8~9 月份采集样品的主要化学成分与不同降水时期前人在珠峰及其邻近地区采集的降水样(表层雪样)的化学成分作一比较, 见图 2. 从图中可以看出, 该地区在不同季节所采集的样品的降水化学成分差异较大. 如珠峰地区 8~9 月份为夏季风降水期间, 水汽主要来源于孟加拉湾和印度洋, 同时降水频次又很高,



1. 珠峰中绒布冰川 1986-04 ~ 05^[3] 2. 珠峰中绒布冰川 1986-04 ~ 05^[1] 3. 希夏邦马峰达索普冰川 1997-08 ~ 09
4. 珠峰东绒布冰川 1998-08 ~ 09 5. Ngazumpa 冰川 1989 ~ 1990^[4]

图 2 珠峰地区降水主要化学成分的比较
这使得降水中各种离子含量较低, 与同期在距离珠峰 100km 的希夏邦马峰达索普冰川上采集的降水样品的浓度相当. 而 2 月中旬至 5 月中旬是中亚干旱、半干旱地区尘暴活动盛期, 最强事件一般发生在 4 月底和 5

月初^[8],因此 3~5 月份在该地区采集的降水样品^[2,3]受粉尘天气的影响,各种离子含量明显升高,尤其以陆源性物质 Ca^{2+} 升高最为明显,如 8、9 月份降雪样中 Ca^{2+} 浓度仅 $30.9\mu\text{g/L}$,但 4、5 月份雪样中 Ca^{2+} 浓度可达到 $760\mu\text{g/L}$,是夏末浓度的 25 倍.因此,珠峰地区的降水化学特征可以反映不同的水汽来源和气候状况.从地理位置上分析,喜马拉雅山脉南侧 Ngozumpa 冰川全年降水各种离子的含量都很低, Cl^-/Na^+ 接近海水,说明其受海洋性气候的影响之深^[4];翻过喜马拉雅山脉后,珠峰降水的各种离子含量都比其南侧的 Ngozumpa 冰川有所升高.尤其以陆源物质升高最为显著,夏末时珠峰降水中 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 浓度还只是 Ngozumpa 冰川对应离子浓度的近 4 倍、21 倍和 4 倍,而春季则分别升高到了 95 倍、53 倍和 17 倍.由此可见,除季节性变化外,珠峰地区降水化学特征的地域差异也很明显.

表 3 珠峰雪样与全球其它偏远地区雪样化学成分的比较/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

采样地点	观测日期/年-月	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	Ca^{2+}	资料来源
南极点	1989-12	30.0	94.1	39.0	13.0	1.4	秦大河 ^[11]
珠峰地区	1998-08~09	15.9	142.6	42.1	8.1	30.9	本研究
格陵兰中部	1987	17.4	142.7	93.2	4.3	7.9	Yang 等 ^[12]
北极点	1995-05	4238.2	118.9	676.7	3519.9	280.0	效存德 ¹⁾

1) 效存德,冰冻圈关键地区表层雪冰内杂质记录及其环境意义,中国科学院博士论文,1997,43

的作用,使得各种离子含量相对较低.

3 结论

珠峰东绒布冰川 8~9 月份降水化学成分中 NO_3^- 浓度最高, Mg^{2+} 最低,各种离子浓度与降水量成反比; Cl^-/Na^+ 以及 Cl^- 、 Na^+ 的高相关性表明其主要水汽来源于海洋性的南亚季风.与全球其它偏远地区相比,珠峰地区降水也是相当纯净,代表了全球偏远地区大气环境本底;不同季节珠峰降水的化学特征反映了不同水汽来源和气候状况,说明其降水有气候敏感性.

参考文献:

1 Jenkins Mark, James Drever et al. Chemical composition of fresh snow on Mount Everest. *Journal of Geophysical Research*, 1987, **D9**:10999~11002.
2 王鼎新,李洪珍等.珠穆朗玛峰地区大气环境本底初步探讨,珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1975)(气象与环境).北京:科学出版社,1980.171~188.
3 Wake Cameron, Paul Mayswski et al. A review of central Asian glaciochemical data. *Annals of Glaciology*, 1990, **14**, 301~306.
4 Wake Cameron, Paul Mayswski et al. Regional distribution

2.3 珠峰雪样与世界其它偏远地区雪样的化学成分

选取全球其它偏远地区的降水化学成分与珠峰样品进行比较,可以看出,珠峰地区 8、9 月份降水样品相当洁净,除 Ca^{2+} 外,其主要化学成分与南极和格陵兰中部地区相当,而比受到人类活动污染的北极点要低 1~2 个数量级.以 NO_3^- 为例,Barrie 在北美的研究认为,降水 NO_3^- 浓度高于 $620\mu\text{g/L}$ 的地区都可能受到人类活动的影响^[9],而珠峰 8~9 月降水样品中的 NO_3^- 浓度仅为 $142.6\mu\text{g/L}$,远低于 $620\mu\text{g/L}$ 的界限值,这表明珠峰地区的降水基本未受到人类活动的影响,可以代表全球偏远地区的自然环境本底.究其原因,一是本地区远离人类活动中心,加之海拔又很高,已处于对流层中上部,人类活动污染物较难到达.另外,该地区全年降水的 80%集中在夏季^[10],仅 1998-08-31~09-09 日采样期间就观测到大小降水事件共 10 次,降雪总厚度大于 50cm,如此高的降水频次对大气起到了“清洗”

of monsoon and desert dust signals recorder in Asian glaciers. *Geophysical Research Letters*, 1993, **14**, 1411~1414.
5 秦翔,秦大河等.珠穆朗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.
6 皇翠兰,李忠勤.原子吸收光谱对雪冰中基本阳离子的测定. *冰川冻土*, 1994, **16**(4), 346~350.
7 田立德,姚檀栋等.希夏邦马夏季降水中水化学特征. *环境科学*, 1998, **19**(6), 1~5.
8 Merrill J, Uematsu M, Bleck R. Meteorological analysis of long range transport of mineral aerosol over the north Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 1989, **94**: 8584~8598.
9 Barrie L A. The spatial distribution of precipitation acidity and major ion wet deposition in north America during 1980. *Tellus*, 1984, **36**13:333~355.
10 谢自楚,苏珍.珠穆朗玛峰地区冰川的发育条件、数量及分布.珠穆朗玛峰地区科学考察报告 1966~1968(现代冰川与地貌).北京:科学出版社,1975.1~13.
11 秦大河.南极冰盖表层雪内的物理过程和现代气候及环境记录.北京:科学出版社 1995,98~124.
12 Yang Q, Paul Mayswski et al. Chemical species spatial distribution and relationship to elevation and snow accumulation rate over the Greenland Ice Sheet. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**(D13), 18629~18637.