

# 乌鲁木齐河源1号冰川雪-冰界面含氮离子迁移研究

王圣杰<sup>1)</sup>, 张明军<sup>1,2)</sup>, 王飞腾<sup>2)</sup>, 李忠勤<sup>2,1)</sup>, 张晓宇<sup>2)</sup>

1)西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃兰州 730070;

2)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

**摘要:** 冰川积累区雪-冰界面附近的化学物质迁移对冰芯记录的形成具有重要意义, 为讨论主要含氮离子在这一界面的迁移, 本研究基于2004年11月至2006年3月在天山乌鲁木齐河源1号冰川连续采集的64组雪冰样品分析了 $\text{NO}_3^-$ 与 $\text{NH}_4^+$ 的变化情况。结果表明, 雪层底部干季(11月至翌年3月)含氮离子浓度的平均值高于湿季(4—10月)的, 而冰层顶部离子浓度的平均值则相反, 即干季的低于湿季的, 雪-冰界面附近5 cm与15 cm尺度上均有体现; 干季的离子浓度雪冰比(雪层底部与冰层顶部含氮离子浓度的比值)平均值大于湿季的, 即干季雪层底部含氮离子的浓度一般高于冰层顶部的浓度, 湿季其表现出相反的趋势; 雪-冰界面附近含氮离子的迁移反映了环境信息的记录过程, 受到融水和气温变化等因素的综合影响。

**关键词:** 乌鲁木齐河源1号冰川; 硝酸根( $\text{NO}_3^-$ ); 铵根( $\text{NH}_4^+$ ); 雪-冰界面

中图分类号: P595; P462 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2011.06.07

## Observed Nitrogen-Containing Ion Transportation at the Firn-Ice Interface of the Urumqi Glacier No. 1 in Tianshan Mountains

WANG Sheng-jie<sup>1)</sup>, ZHANG Ming-jun<sup>1,2)</sup>, WANG Fei-teng<sup>2)</sup>, LI Zhong-qin<sup>2,1)</sup>, ZHANG Xiao-yu<sup>2)</sup>

1) College of Geography and Environment Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070;

2) State Key Laboratory of Cryospheric Sciences/Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000

**Abstract:** In order to investigate the nitrogen-bearing ion transportation at the firn-ice interface in the accumulation zone of glacier, the authors collected 64 sets of firn and ice samples at the Urumqi Glacier No. 1 in the Tianshan Mountains from November 2004 to March 2006, and analyzed the concentrations of nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) and ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). The results indicated that the mean ion concentration at firn bottom was higher in the dry season (from November to March) than that in the wet season (from April to October), and the mean ion concentration at the ice top was higher in the wet season than that in the dry season, which was observed at the firn-ice interface with the widths of 5 cm and 15 cm, respectively; the mean concentration ratio of ions between the firn bottom and the ice top in the dry season was generally higher than that in the wet season, suggesting that during the dry season the concentration at the firn bottom was generally higher than that at the ice top, whereas during the wet season the situation was quite opposite; the ion transportation at the firn-ice interface constituted a process of recording the environmental information, which was influenced by the melt water of snowpack, air

本文由国家自然科学基金项目(编号: 41161012、40701035)、教育部新世纪优秀人才支持计划项目(编号: NCET-10-0019)、国家重点基础研究发展计划(973)项目(编号: 2010CB951003)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-EW-311)、冰冻圈科学国家重点实验室自主基金项目(编号: SKLCS-ZZ-2010-04)联合资助。

收稿日期: 2011-10-08; 改回日期: 2011-10-28。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 王圣杰, 男, 1987年生。硕士研究生。主要从事全球变化与地球化学研究。E-mail: geowang@126.com。

通讯作者: 张明军, 男, 1974年生。教授, 博士生导师。主要从事气候变化与冰川研究。通讯地址: 730070, 甘肃省兰州市安宁东路967号。E-mail: mjzhang2004@163.com。

temperature and some other factors.

**Key words:** Urumqi Glacier No. 1; nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ); ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ); firn-ice interface

冰川为全球变化研究提供了一种重要的介质,记录了不同时空尺度的环境信息(吴中海等, 2002; 尹观等, 2004; 周在明等, 2010)。冰芯中含氮离子的浓度记录受到自然源与人类源的综合影响(王圣杰等, 2010), 具有丰富的环境意义, 因此近年来受到广泛的重视(段克勤等, 2010; Eichler et al., 2011; Kaufmann et al., 2010; Kellerhals et al., 2010; Laluraj et al., 2011; Zhao et al., 2011)。实际上, 冰芯中含氮离子浓度记录的形成过程伴随着一系列的变化, 其中在雪-冰界面(即雪层底部与冰层顶部之间)的离子迁移十分复杂(侯书贵等, 1996)。侯书贵等(1999)研究了天山乌鲁木齐河源1号冰川(以下简称1号冰川)积累区雪-冰界面上  $\text{NO}_3^-$  浓度的变化, 观察到了雪层底部与冰层顶部离子的浓度比(即雪冰比)由大于1逐渐变为小于1的过程。李向应等(2008)分析了天山奎屯河哈希勒根51号冰川与庙尔沟平顶冰川含氮离子浓度的雪冰比, 发现不同冰川区雪-冰界面附近含氮离子的浓度特征也存在差异。然而, 受分析与观测条件的限制, 关于这一界面的观测采样期普遍较短。近年来, 有学者通过对1号冰川雪层中  $\text{NO}_3^-$  的后沉积过程研究发现, 雪层剖面中的浓度峰值需要经过长期的改造才能进入雪层底部的附加冰内(王圣杰等, 2011a; 张晓宇, 2011; Zhao et al., 2006), 但对雪-冰界面附近含氮离子迁移的关注仍相对较少。

本研究在前期工作的基础上, 根据在1号冰川积累区连续采集的雪坑底部粒雪与附加冰样品, 探讨了该典型大陆性冰川积累区雪-冰界面附近含氮离子的迁移, 可以为冰芯中含氮离子记录的修正、气候信息重建、乃至雪冰现代过程的模拟提供参考依据, 从而科学地认识冰芯记录到的环境信息。

## 1 数据与方法

1号冰川位于天山山脉北坡乌鲁木齐河源区(图1), 采样点为冰川东支积累区海拔4130 m处。本研究使用的样品采集于2004年11月至2006年3月(即经历了干季-湿季-干季变化过程), 取样频率一般为1次/周, 共取得64组连续的雪坑剖面。每次采样后回填雪坑, 待下次采样时重新挖开并向前挖进, 在相同的层位上取样(Li et al., 2006; Zhang et al., 2011)。根据对采样期内雪坑物理剖面的观察, 雪层特征在该时段内具有良好的连续性, 可以进行雪-冰

界面的微观研究。本研究使用的雪样采集于雪-冰界面以上5 cm与15~25 cm处的粒雪层, 冰样采自界面以下5 cm与15 cm处的附加冰层。雪冰样品在采集和运输过程中均严格遵守操作规范, 样品密封后从野外运回兰州的中国科学院天山冰川观测试验站实验室后低温保存。

雪冰样品中的  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  浓度测定使用 Dionex-320 型离子色谱仪, 精度可达到 ng/g 量级。其中,  $\text{NO}_3^-$  选取 AS11-HC(4 mm × 250 mm)分离柱, AG11-HC(4 mm × 50 mm)保护柱, ASRS-4 mm 抑制器, 15 mmol/L NaOH 淋洗液;  $\text{NH}_4^+$  选取 Dionex IonPac CS12A(4 mm × 250 mm)分离柱, CG12A(4 mm × 50 mm)保护柱, CAES 阳离子抑制器, 15 mmol/L MSA 淋洗液(赵中平等, 2004)。

## 2 分析与讨论

### 2.1 雪层底部与冰层顶部离子浓度的季节变化

根据采样区降水量的年内分布特征, 可以将全年分为干季(11月至翌年3月)与湿季(4—10月)(Li et al., 2008)。选取每组雪坑中雪层最底部与冰层最顶部相邻的2个样品(间距一般为10 cm)作为雪-冰界面的不同介质, 从而得到  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  浓度的波动曲线(图2)。参考5点滑动平均值可以发现,  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  存在着明显的季节变化特征。干季雪层中的含氮离子浓度平均值( $\text{NO}_3^-$  为 152 ng/g,  $\text{NH}_4^+$  为 96 ng/g)大于湿季的平均值( $\text{NO}_3^-$  为 80 ng/g,  $\text{NH}_4^+$  为 86 ng/g), 而干季冰层中的离子浓度平均值( $\text{NO}_3^-$  为 137 ng/g,  $\text{NH}_4^+$  为 87 ng/g)小于湿季的平均值( $\text{NO}_3^-$  为 238 ng/g,

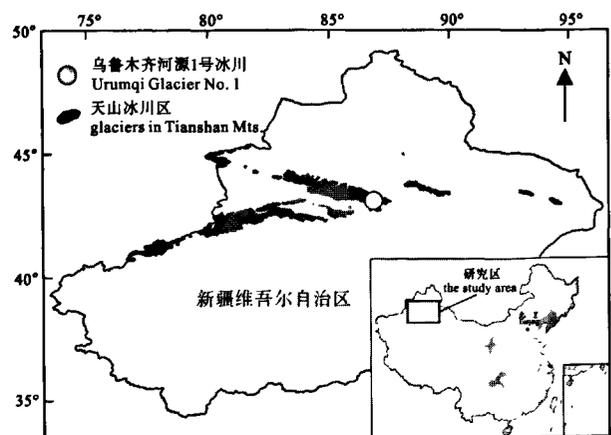


图1 天山乌鲁木齐河源1号冰川位置示意图  
Fig. 1 Location of the Urumqi Glacier No. 1 in the Tianshan Mountains

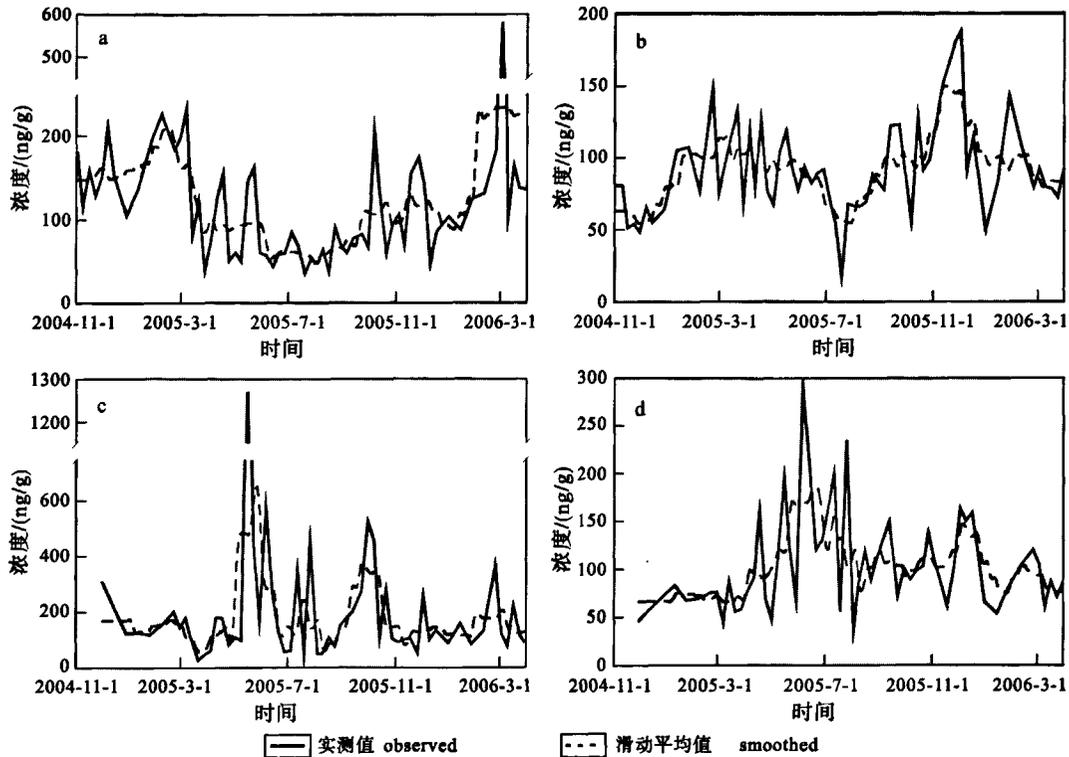


图2 2004年11月—2006年3月雪-冰界面5 cm内NO<sub>3</sub><sup>-</sup>与NH<sub>4</sub><sup>+</sup>浓度的变化(阴影部分所示为湿季)  
 Fig. 2 Variations of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentrations at the firn-ice interface within 5 cm from November 2004 to March 2006 (the wet season is shaded)

a-雪层底部NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度; b-雪层底部NH<sub>4</sub><sup>+</sup>浓度; c-冰层顶部NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度; d-冰层顶部NH<sub>4</sub><sup>+</sup>浓度

a-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration at firn bottom; b-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentration at firn bottom; c-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration at ice top; d-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentration at ice top

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>为121 ng/g)。

雪层底部的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度在进入干季以后一直相对较高,这一高值大致持续到2004年11月至2005年3月上旬,3月7日达到一个峰值(233 ng/g);在3月7日这一峰值出现以后,浓度突然下降,在3月28日甚至浓度仅为37 ng/g,在接下来的2个月里面出现明显的波动,形成了4月中旬(最高155 ng/g)与5月中下旬(最高163 ng/g)的2个峰值时段;5月下旬以后,雪层中的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度变幅很小,处于相对较低的水平;10月上旬以后,其浓度在波动中迅速上升,于10月7日(204 ng/g)、11月26日(174 ng/g)与2006年3月8日(582 ng/g)出现了峰值。可见,雪层中的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度在干季保持着相对较高的浓度值。

冰层顶部的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度与雪层中的变化趋势有很大的差别,这表明离子在雪-冰界面可能发生着迁移。就冰层顶部的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度而言,进入干季以后变化相对较小,2005年5月中旬突然增高,浓度从5月9日的97 ng/g增至5月16日的1271 ng/g,之后虽有回落,但仍在6月上旬(最高584 ng/g)、7月下旬(最高446 ng/g)、9月下旬(最高524 ng/g)与10月上旬(最高456 ng/g)出现峰值;10月中旬以后,峰值出

现的频率与强度则大大减弱。

雪层底部的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>浓度变化与NO<sub>3</sub><sup>-</sup>有相似之处,但是干季高值的突降时间略晚,发生在2005年6月下旬至7月中旬,6月28日、7月5日、12日与19日连续4个样品中离子浓度分别为92 ng/g、72 ng/g、55 ng/g、17 ng/g。此外,湿季低值区也比NO<sub>3</sub><sup>-</sup>在时间上要短,在7月中旬的最低值出现后又开始回升,没有出现NO<sub>3</sub><sup>-</sup>那样的长时间持续低值时段。冰层顶部的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>,相对于NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的湿季多峰型变化而言则显得较为简单,即在2004年11月至2005年3月基本稳定,2005年4月至6月上旬呈波动中上升,6月6日达到最大值288 ng/g,6月上旬至8月中旬在波动中下降,之后虽仍处于波动中但没有出现类似6月的较大峰值。

以上分析的是雪-冰界面上5 cm内的浓度变化,为了观察该界面上更大尺度的变化特征,可以将样本间距适当扩大(图3)。对比5 cm与15 cm尺度下雪-冰界面上含氮离子的浓度变化特征,可以发现二者仍是较为相似的,干湿季的关系也基本吻合。

### 2.2 雪-冰间离子浓度差异的季节变化

在雪-冰界面附近存在着复杂的物质交换与能

量交换, 计算雪层底部与冰层顶部样品中含氮离子浓度的比值, 可以得出这一界面上下离子浓度的相对大小, 从而判断其是否在雪-冰之间存在迁移现象。就含氮离子浓度雪冰比的干湿季差异来说, 干季的雪冰比平均值大于湿季的平均值(图 4)。也就是

说, 干季雪层底部含氮离子的浓度一般高于冰层顶部的浓度, 湿季则相反。从含氮离子浓度的 5 点滑动平均值可以发现, 干湿季的界限与雪冰比有着较好的对应关系, 干季雪冰比一般大于 1, 而湿季雪冰比一般小于 1。

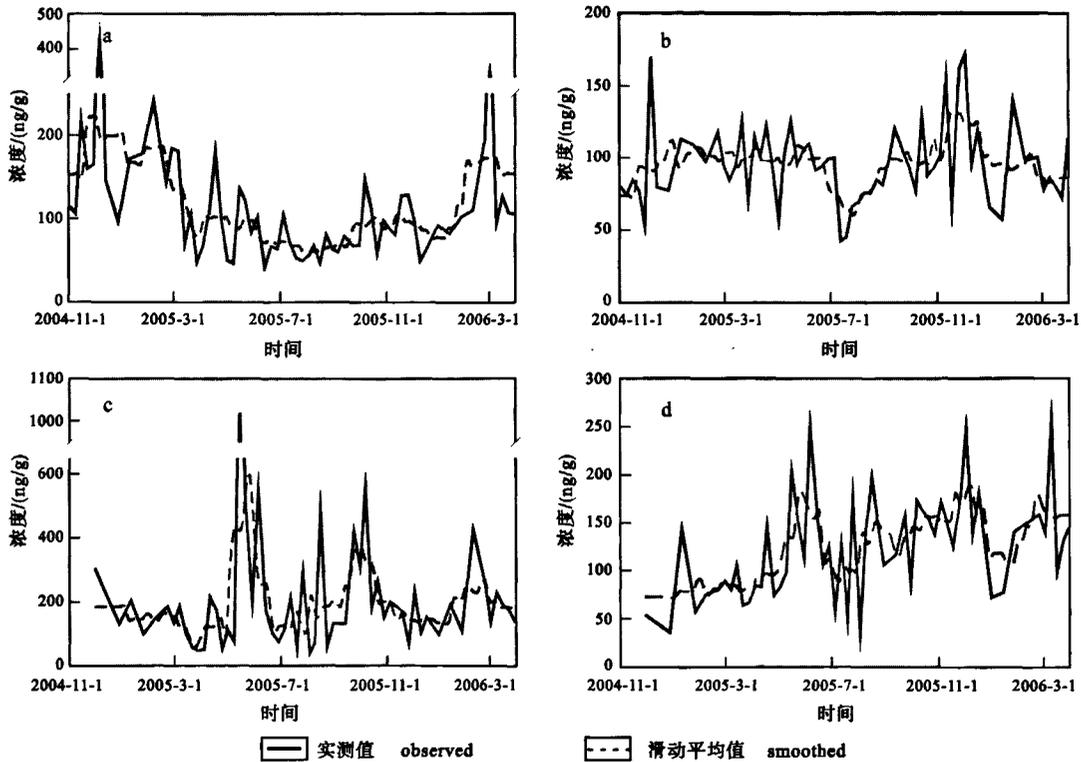


图 3 2004 年 11 月—2006 年 3 月雪-冰界面 15 cm 内  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  浓度的变化 (阴影部分所示为湿季)

Fig. 3 Variations of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  concentrations at the firn-ice interface within 15 cm from November 2004 to March 2006 (the wet season is shaded)

a-雪层底部  $\text{NO}_3^-$  浓度; b-雪层底部  $\text{NH}_4^+$  浓度; c-冰层顶部  $\text{NO}_3^-$  浓度; d-冰层顶部  $\text{NH}_4^+$  浓度

a- $\text{NO}_3^-$  concentration at firn bottom; b- $\text{NH}_4^+$  concentration at firn bottom; c- $\text{NO}_3^-$  concentration at ice top; d- $\text{NH}_4^+$  concentration at ice top

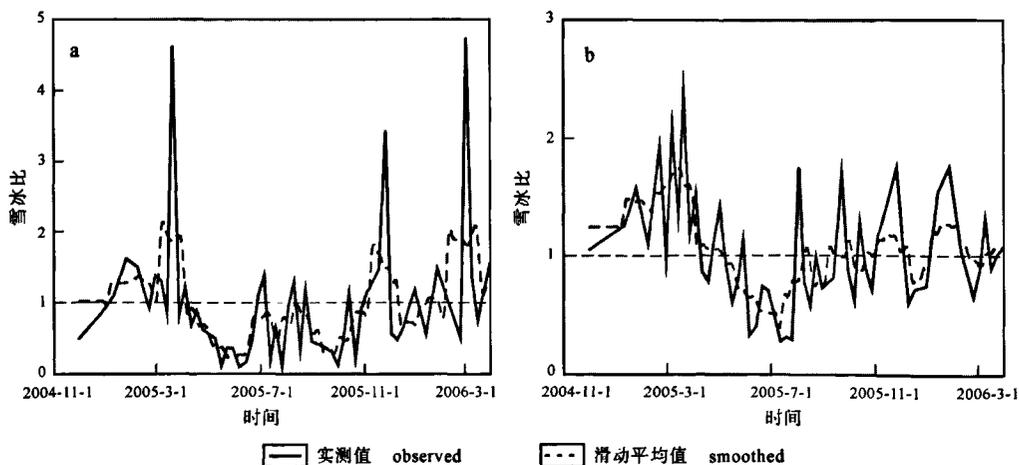


图 4 2004 年 11 月—2006 年 3 月雪-冰界面上  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  浓度的雪冰比的变化 (阴影部分为湿季)

Fig. 4 Variations of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  concentration ratios between firn bottom and ice top at the firn-ice interface from November 2004 to March 2006 (the wet season is shaded)

a- $\text{NO}_3^-$  浓度的雪冰比; b- $\text{NH}_4^+$  浓度的雪冰比

a- $\text{NO}_3^-$  concentration ratio; b- $\text{NH}_4^+$  concentration ratio

总体来说, 2 种离子浓度雪冰比的变化趋势是相近的, 其差异主要体现在如下方面: (1) 湿季的波动幅度不同。 $\text{NO}_3^-$  呈现出 2 个较为明显的低谷, 即 2005 年的 5—6 月和 9 月; 而  $\text{NH}_4^+$  则仅有 1 个, 出现在 6—7 月。(2) 雪冰比的极端峰值多出现在干季, 但是  $\text{NO}_3^-$  的最大值略小于  $\text{NH}_4^+$  的。就  $\text{NO}_3^-$  浓度的雪冰比而言, 最高的 3 次分别出现在 2005 年 3 月 21 日(雪冰比为 4.6)、11 月 26 日(雪冰比为 3.4)、2006 年 3 月 3 日(雪冰比为 4.7); 相比之下,  $\text{NH}_4^+$  出现的最大值则仅为 2.4。

表 1 列举了天山典型冰川区雪-冰界面附近含氮离子浓度的雪冰比。乌鲁木齐河源 1 号冰川含氮离子浓度雪冰比与庙尔沟平顶冰川积累区的 2 个雪坑(李向应等, 2008)实测值较为接近, 雪冰比均在 1 附近(0.8~1.8)。然而在奎屯河哈希勒根 51 号冰川积累区测得的雪冰比则高出 1 个数量级, 这可能与该雪坑的消融程度、局地环境、样品采集与分析等因素有关。在庙尔沟平顶冰川的研究(李向应等, 2008)发现, 即使在同一冰川的消融区与积累区含氮离子浓度雪冰比也可能存在着明显差异。

### 2.3 影响含氮离子在雪-冰界面迁移的因素

雪冰中含氮离子的浓度记录反映了大气环境的信息, 其浓度剖面一般存在着明显的峰谷特征(Dong et al., 2011; Wang et al., 2011; 王圣杰等, 2011b, c; Zhang et al., 2011; Zhao et al., 2006, 2011)。研究表明, 不同时段形成的离子浓度峰值从粒雪进入附加冰中的时间可能存在着一定差异(王圣杰等, 2011a; 张晓宇, 2011; Zhao et al., 2006)。夏季是冰川成冰的主要时期, 下渗的融水一部分参与了粒雪的改造并冻结成冰, 一部分沿冰面流失(王飞腾等, 2006; 尤晓妮等, 2005)。因此, 雪-冰界面应处在动态变化中。

含氮离子在雪-冰界面的迁移现象, 是气温变化

的一种反映。湿季气温升高, 使得雪层中的淋溶作用增强, 融水增多。可溶性离子随融水流失向下迁移, 而在遇到底部冰层时可能发生冷凝, 使得局部的离子浓度有变化。关于雪-冰界面附近含氮离子浓度的峰值在中国西部冰川区(康雄冰川和岗加曲巴冰川、玉龙雪山白水 1 号冰川等)多有发现(李忠勤, 1994; 张宁宁等, 2010)。一些研究认为, 消融初期包括  $\text{NO}_3^-$  在内的离子主要聚集于污化层, 但随着消融进行, 融水带走了污化层中富集的离子, 并在下渗过程中被冻结(张宁宁等, 2010); 冰片和冰面附近出现的离子浓度异常高峰值是由淋溶作用形成的高浓度融水聚集冻结发生富集而形成的(侯书贵等, 1996; 李忠勤, 1994)。

### 3 结论

对冰川积累区雪-冰界面上离子迁移过程的长期观测, 可以为定量评估冰川记录形成过程中环境信息的损失情况乃至雪冰过程模型的建立提供参考依据, 从而科学地利用冰芯记录反演古气候信息。本研究根据在天山乌鲁木齐河源 1 号冰川连续采集的雪冰样品, 分析了干季-湿季-干季变化过程中  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  在雪-冰界面附近的迁移现象, 得出如下结论:

1) 干季雪层底部含氮离子浓度的平均值大于湿季的, 而干季冰层顶部含氮离子浓度的平均值则小于湿季的。雪-冰界面附近 5 cm 与 15 cm 尺度下, 含氮离子浓度的平均值在不同的季节均表现出了这一趋势。

2) 干季雪冰比的平均值大于 1, 而湿季雪冰比的平均值小于 1。即, 干季雪层底部含氮离子的浓度一般高于冰层顶部的浓度, 湿季则相反。

3) 雪-冰界面附近含氮离子的迁移反映了环境信息的记录过程, 受融水和气温变化等因素的综合影响。

表 1 天山典型冰川区雪-冰界面附近含氮离子雪冰比

Table 1  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  concentration ratio between firn bottom and ice top at the firn-ice interface of several glaciers in the Tianshan Mountains

研究点	采集时间	海拔/m	雪冰比		参考文献
			$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	
哈密庙尔沟平顶冰川(消融区)	2004 年 9 月	4340	9.9	11.2	李向应等, 2008
哈密庙尔沟平顶冰川(积累区)	2004 年 9 月	4450	1.8	0.8	李向应等, 2008
哈密庙尔沟平顶冰川(积累区)	2004 年 9 月	4510	1.0	1.2	李向应等, 2008
奎屯河哈希勒根 51 号冰川(积累区)	2004 年 8 月	3680	—	16.5	李向应等, 2008
乌鲁木齐河源 1 号冰川(积累区)	2004 年 11 月—2006 年 3 月	4130	1.0	1.0	本研究

致谢: 本研究是中国科学院天山冰川站雪冰过程研究项目的一部分, 谨此对参与野外采样与实验分析的全体工作人员表示诚挚的感谢。

## 参考文献:

- 段克勤, 洪健昌. 2010. 喜马拉雅山达索普冰芯近 400 a 来  $\text{NO}_3^-$  浓度的变化[J]. 冰川冻土, 32(2): 231-234.
- 侯书贵, 秦大河, 皇翠兰. 1996. 唐古拉山冬克玛底冰川雪层中淋溶作用的初步研究[J]. 冰川冻土, 18(3): 227-234.
- 侯书贵, 秦大河. 1999. 积雪淋溶作用对冰川雪层内主要阴、阳离子记录的影响[J]. 地理科学, 19(6): 536-542.
- 李向应, 刘时银, 韩添丁, 李忠勤, 卢爱刚. 2008. 天山东部冰川雪坑离子浓度特征的对比研究——以奎屯河哈希勒根 51 号冰川和哈密庙尔沟平顶冰川为例[J]. 地球科学进展, 23(12): 1268-1276.
- 李忠勤. 1994. 青藏高原冰川中的气溶胶记录研究[D]. 兰州: 中国科学院兰州冰川冻土研究所.
- 王飞腾, 李忠勤, 尤晓妮, 李传金. 2006. 乌鲁木齐河源 1 号冰川积累区表面雪层演化成冰过程的观测研究[J]. 冰川冻土, 28(1): 45-53.
- 王圣杰, 张明军, 李忠勤, 王飞腾, 张晓宇, 李亚举. 2011a. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川雪层中  $\text{NO}_3^-$  的演化过程[J]. 地球科学进展, 26(8): 897-904.
- 王圣杰, 张明军, 王飞腾, 李忠勤, 李亚举. 2011b. 冰川区积雪中  $\text{NO}_3^-$  与粉尘记录的对比研究——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例[J]. 中国环境科学, 31(6): 991-995.
- 王圣杰, 张明军, 王飞腾, 李忠勤. 2010. 雪冰中  $\text{NO}_3^-$  浓度记录的研究进展[J]. 冰川冻土, 32(6): 1162-1169.
- 王圣杰, 张明军, 王飞腾, 李忠勤. 2011c. 天山东部雪冰中硝酸根浓度对中亚生物质燃烧的响应研究[J]. 环境科学, 32(2): 338-344.
- 吴中海, 赵希涛, 朱大岗, 吴珍汉. 2002. 念青唐古拉山西布冰川区的冰碛层[J]. 地球学报, 23(4): 343-348.
- 尹观, 倪师军, 范晓, 吴昊. 2004. 冰雪消融的同位素效应及氘过量参数演化——以四川稻城水体同位素为例[J]. 地球学报, 25(2): 157-160.
- 尤晓妮, 李忠勤, 王飞腾. 2005. 利用雪层层位跟踪法研究暖型成冰作用的年限——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例[J]. 冰川冻土, 27(6): 853-860.
- 张宁宁, 何元庆, 庞洪喜, 和献中, 宋波, 李宗省. 2010. 典型海

洋型冰川区消融期雪坑层位演变及离子沉积后过程初探[J]. 冰川冻土, 32(3): 505-513.

张晓宇. 2011. 天山乌源 1 号冰川雪-冰演化过程和典型冰川区雪冰化学研究[D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所.

赵中平, 李忠勤. 2004. 离子色谱法测定大气气溶胶中的可溶性离子[J]. 现代科学仪器, (5): 46-49.

周在明, 井哲帆, 赵淑惠, 韩添丁, 李忠勤. 2010. 冰川运动速度对气候变化的响应——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例[J]. 地球学报, 31(2): 237-244.

## References:

- DONG Zhi-wen, LI Zhong-qin, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, WU Li-hua. 2011. Physico-chemical characteristics and environmental significance of snow deposition on Haxilegen Glacier No. 51 in Tian Shan, China[J]. Journal of Mountain Science, 8(3): 484-494.
- DUAN Ke-qin, HONG Jian-chang. 2010. 400-year variation of  $\text{NO}_3^-$  concentration recorded in the Dasuopu ice core, Himalayas[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 32(2): 231-234(in Chinese with English abstract).
- EICHLER A, TINNER W, BRÜTSCH S, OLIVIER S, PAPINA T, SCHWIKOWSKI M. 2011. An ice-core based history of Siberian forest fires since AD 1250[J]. Quaternary Science Reviews, 30(9-10): 1027-1034.
- HOU Shu-gui, QIN Da-he, HUANG Cui-lan. 1996. The elution of ions in two snow pits in the Dongkemadi Glacier, Tanggula Range[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 18(3): 227-234(in Chinese with English abstract).
- HOU Shu-gui, QIN Da-he. 1999. The ion elution effect on the main ion profiles of the glacier snowpacks[J]. Scientia Geographica Sinica, 19(6): 536-542 (in Chinese with English abstract).
- KAUFMANN P, FUNDEL F, FISCHER H, BIGLER M, RUTH U, UDISTI R, HANSSON M, DE ANGELIS M, BARBANTE C, WOLFF E W, HUTTERLI M, WAGENBACH D. 2010. Ammonium and non-sea salt sulfate in the EPICA ice cores as indicator of biological activity in the Southern Ocean[J]. Quaternary Science Reviews, 29(1-2): 313-323.
- KELLERHALS T, BRÜTSCH S, SIGL M, KNÜSEL S,

- GAGGELER H W, SCHWIKOWSKI M. 2010. Ammonium concentration in ice cores: a new proxy for regional temperature reconstruction[J]. *Journal of Geophysical Research*, 115(D16): D16123, doi: 10.1029/2009JD012603.
- LALURAJ C M, THAMBAN M, NAIK S S, REDKAR B L, CHATURVEDI A, RAVINDRA R. 2011. Nitrate records of a shallow ice core from East Antarctica: atmospheric processes, preservation and climatic implications[J]. *The Holocene*, 21(2): 351-356.
- LI Xiang-ying, LIU Shi-yin, HAN Tian-ding, LI Zhong-qin, LU Ai-gang. 2008. Ion concentration in snow pits on glaciers in eastern Tianshan Mountain: take Haxilegen Glacier No.51 of Kuitun River and Hami Miaoergou Flat-Topped Glacier as an example[J]. *Advances in Earth Science*, 23(12): 1268-1276(in Chinese with English abstract).
- LI Zhong-qin, EDWARDS R, MOSLEY-THOMPSON E, WANG Fei-teng, DONG Zhi-bao, YOU Xiao-ni, LI Hui-lin, LI Chuan-jin, ZHU Yuman. 2006. Seasonal variability of ionic concentrations in surface snow and elution processes in snow-firn packs at the PGPI site on Urumqi glacier No. 1, eastern Tien Shan, China[J]. *Annals of Glaciology*, 43(1): 250-256.
- LI Zhong-qin, WANG Wen-bin, WANG Fei-teng, LI Hui-lin, ZHANG Ming-jun. 2008. Characteristics of ionic concentration and  $\delta^{18}\text{O}$  and their variability in dry-season and wet-season snow on Urumqi glacier No.1, eastern Tien Shan, central Asia[J]. *Annals of Glaciology*, 49(1): 217-223.
- LI Zhong-qin. 1994. A Study on the aerosol records in the glaciers over Qing-Zang (Tibet) Plateau[D]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Chinese Academy of Sciences(in Chinese with English abstract).
- WANG Fei-teng, LI Zhong-qin, YOU Xiao-ni, LI Chuan-jin. 2006. Observation and study of the snow to ice transformation in the accumulation zone of Glacier No.1 at the headwaters of Urumqi River[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 28(1): 45-53(in Chinese with English abstract).
- WANG Fei-teng, WANG Lin, KANG Jian, KOU Fu-tang. 2011. Chemical characteristics of snow-firn pack in Altai Mountains and its environmental significance[J]. *Journal of Earth Science*, 22(4): 482-489.
- WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, LI Zhong-qin, WANG Fei-teng, ZHANG Xiao-yu, LI Ya-ju. 2011a. Evolution process of nitrate in snowpack of Glacier No.1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains[J]. *Advances in Earth Science*, 26(8): 897-904 (in Chinese with English abstract).
- WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, LI Zhong-qin, LI Ya-ju. 2011b. Relationship between nitrate and dust record in snowpack of glacier area: a case study of Glacier No.1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains[J]. *China Environmental Science*, 31(6): 991-995(in Chinese with English abstract).
- WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, LI Zhong-qin. 2010. A review of the concentration records of nitrate in snow and ice[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 32(6): 1162-1169(in Chinese with English abstract).
- WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, LI Zhong-qin. 2011c. Influence of biomass burning in central Asia on nitrate concentrations in Urumqi Glacier No.1, eastern Tianshan Mountains, China[J]. *Environmental Science*, 32(2): 338-344 (in Chinese with English abstract).
- WU Zhong-hai, ZHAO Xi-tao, ZHU Da-gang, WU Zhen-han. 2002. The moraines of Xibu Glacier area in the Nyainqentanglha Range[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(4): 343-348(in Chinese with English abstract).
- YIN Guan, NI Shi-jun, FAN Xiao, WU Hao. 2004. Isotopic effect and the deuterium excess parameter evolution in ice and snow melting process: a case study of isotopes in the water body of Daocheng, Sichuan Province[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(2): 157-160(in Chinese with English abstract).
- YOU Xiao-ni, LI Zhong-qin, WANG Fei-teng. 2005. Study on time scale of snow-ice transformation through snow layer tracing method: take the Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River as an example[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 27(6): 853-860 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, WANG Fei-teng, LI Yue-fang. 2011. Selected trace elements in snowpack on Urumqi Glacier No. 1, eastern Tianshan, China: as yielded by leaching treat-

- ment representative of real-world environmental conditions[J]. *Journal of Earth Science*, 22(4): 449-459.
- ZHANG Ning-ning, HE Yuan-qing, PANG Hong-xi, HE Xian-zhong, SONG Bo, LI Zong-xing. 2010. Preliminary study of transformation of snow to ice and ion elution during ablation period at a typical temperate glacier region[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 32(3): 505-513(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Xiao-yu, EDWARDS R. 2011. Anthropogenic sulfate and nitrate signals in snow from Bogda Glacier, eastern Tianshan[J]. *Journal of Earth Science*, 22(4): 490-502.
- ZHANG Xiao-yu. 2011. The snow-infiltration ice evolution on Urumqi Glacier No. 1 and snow chemistry on typical glacial region[D]. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute of Chinese Academy of Sciences(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Hua-biao, XU Bai-qing, YAO Tan-dong, TIAN Li-de, LI Zhen. 2011. Records of sulfate and nitrate in an ice core from Mount Muztagata, central Asia[J]. *Journal of Geophysical Research*, 116: D13304, doi: 10.1029/2011JD015735.
- ZHAO Zhong-ping, LI Zhong-qin, EDWARDS R, WANG Fei-teng, LI Hui-lin, Zhu Yu-man. 2006. Atmosphere-to-snow-to-firm transfer of  $\text{NO}_3^-$  on Urumqi glacier No. 1, eastern Tien Shan, China[J]. *Annals of Glaciology*, 43(1): 239-244.
- ZHAO Zhong-ping, LI Zhong-qin. 2004. Determination of soluble ions in atmospheric aerosol by ion chromatography[J]. *Modern Scientific Instruments*, (5): 46-49(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Zai-ming, JING Zhe-fan, ZHAO Shu-hui, HAN Tian-ding, LI Zhong-qin. 2010. The response of glacier velocity to climate change: a case study of Urumqi Glacier No. 1[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 31(2): 237-244 (in Chinese with English abstract).

## 中国地质科学院谢桂青、肖都分获中国地质学会第十三届青年地质科技奖金锤奖、银锤奖

2011年11月1日,中国地质学会在北京颁发第十三届青年地质科技奖,经过资格审查、专家评审、常务理事会议审批、网上公示等程序,共评出金锤奖10名,银锤奖40名。由中国地质学会矿床地质专业委员会推荐、中国地质科学院矿产资源研究所谢桂青研究员成为10名金锤奖获奖者之一,中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所肖都高级工程师获银锤奖。

本次获奖者是在中国地质学会各分支机构、省级地质学会和理事单位推荐的137名候选人中评选产生的。获奖者来自全国地勘行业的科研院所、大专院校、地勘单位、地勘企业等单位,专业涉及地质学科各个领域,他们在科研、生产、教学等岗位上取得了较为突出的业绩,是青年地质工作者中的代表。

截至目前,全国有525名优秀青年地质工作者获得此项荣誉。

本刊编辑部 采编