

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

|                                                              |                                      |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究 .....                                     | 陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干( 673 )             |
| 天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究 .....                                  | 王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤( 679 )               |
| 兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究 .....                                       | 赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军( 687 )             |
| 不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征 .....                               | 杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明( 694 )                 |
| 南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析 .....                                    | 王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟( 701 )            |
| 西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送 .....              | 李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁( 711 )    |
| 海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化 .....                             | 曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟( 720 )       |
| 大辽河口痕量元素砷的河口混合行为 .....                                       | 简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳( 727 )                |
| 渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价 .....                             | 徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁( 732 )            |
| 青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析 .....                            | 李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩( 741 )          |
| 广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降 .....                                    | 孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰( 746 )             |
| 上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别 .....                                   | 董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中( 754 )  |
| 溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用 .....                                  | 王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平( 760 )    |
| 地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨 .....                                  | 王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮( 771 )            |
| 用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究 .....                                     | 高清端,张薛,赵璇,赵刚( 777 )                  |
| 菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响 .....                            | 邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经( 782 )             |
| 南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响 .....                               | 胡和兵,刘红玉,郝敬峰,安静( 794 )                |
| 上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征 .....                                | 王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培( 802 )              |
| 不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化 .....                                | 何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅( 810 )            |
| 新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究 .....                                    | 何丽君,马邕文,王金泉,李东亚,王艳( 817 )            |
| 改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制 .....                                   | 李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成( 825 )                |
| 卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究 .....                                  | 江涛,吴霓,钟艳,江天久( 832 )                  |
| 芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究 .....                            | 李蕾,赵玲,尹平河( 838 )                     |
| 底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究 .....                                  | 储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君( 844 )            |
| 新型无极准分子光源深度处理水相中含 N-杂环化合物 .....                              | 叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙( 849 )             |
| La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究 .....                            | 郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟( 857 )                |
| DTT 对三苯基甲染料脱色的研究 .....                                       | 潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍( 866 )             |
| pH 及络合剂对亚铁活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究 ..... | 张成,王金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明( 871 )          |
| 臭氧降解高浓度腐殖酸动力学 .....                                          | 郑可,周少奇,杨梅梅( 879 )                    |
| 采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制 .....                               | 李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌( 885 )         |
| 活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系 .....                                   | 李婷,王毅力,冯晶,徐萌( 889 )                  |
| 不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究 .....                                      | 周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇( 896 )            |
| 颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响 .....                                    | 李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌( 903 )            |
| 氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较 .....                                 | 郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹( 910 )                |
| 生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响 .....                                  | 朱海风,周立祥,王电站( 916 )                   |
| 2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物生态研究 .....                              | 钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锟( 922 )             |
| 微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响 .....                              | 范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超( 932 )           |
| 干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征 .....                          | 贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿( 938 )               |
| 密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究 .....                               | 王淑芳,王效科,欧阳志云( 946 )                  |
| 外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响 .....                                | 莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟( 952 )                |
| 低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用 .....                                 | 姚佳佳,康福星,高彦征( 958 )                   |
| 液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响 .....                                    | 吴威,姜林,陈家军,彭胜( 965 )                  |
| 基于 PPI 的土地利用优化研究 .....                                       | 武晓峰,李婷( 971 )                        |
| 若尔盖高原湿地藻类多样性研究 .....                                         | 陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋( 979 )                |
| 3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响 .....                               | 贺学礼,王平,马丽,孟静静( 987 )                 |
| 崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征 .....                             | 郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧( 992 )        |
| 厌氧条件下 2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解 .....                            | 卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚( 1000 )          |
| 重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响 .....                                      | 熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬( 1008 )  |
| 有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究 .....                               | 林玉珍,曾光明,张斌,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋( 1015 ) |
| 高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究 .....                            | 何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建( 1020 )        |
| 四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征 .....                                   | 童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军( 1028 )              |
| 上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究 .....                                 | 陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪( 1033 )          |
| 《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)     |                                      |

# 天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究

王圣杰<sup>1</sup>, 张明军<sup>1,2\*</sup>, 王飞腾<sup>2</sup>, 李忠勤<sup>1,2</sup>

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 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, 兰州 730000)

**摘要:** 根据2002年与2004年在天山乌鲁木齐河源1号冰川与奎屯河哈希勒根51号冰川采集的粒雪与冰川冰样品, 利用热/光反射法(TOR)分析得到有机碳(OC)与元素碳(EC)的浓度, 并探讨了天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度的时空特征与环境意义。结果表明, 总碳(TC)浓度从高到低依次为: 乌鲁木齐河源1号冰川西支雪坑( $1\,943\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) > 乌鲁木齐河源1号冰川东支雪坑( $989\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) > 奎屯河哈希勒根51号冰川雪坑( $150\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) > 乌鲁木齐河源1号冰川东支冰川冰( $77\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ), OC和EC的浓度序列也较为类似; 天山冰川区雪层中OC浓度平均值为 $557\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , EC浓度平均值为 $188\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。不同冰川积累区雪层剖面的中下部污化层附近一般都会出现碳质气溶胶浓度峰值, 但某些突发性事件会使得表层雪也产生浓度峰值; 在季节性碳排放(如居民采暖、农业活动等)与碳传输(如大气环流等)的影响下, 雪层中碳质气溶胶浓度在7~11月间总体呈波动下降的趋势; 冰川冰与粒雪间碳质气溶胶浓度可能存在着数量级的差异, 这主要受到冰川所在环境、雪冰采样时空条件等因素影响; 雪层表面是否存在EC对反照率有很大影响, 模拟显示在波长为300~700 nm范围内反照率平均降低0.22。

**关键词:** 天山; 冰川; 雪层; 碳质气溶胶; 有机碳(OC); 元素碳(EC)

中图分类号: X142 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0679-08

## Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers 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>1,2</sup>

(1. College of Geography and Environment Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China; 2. State Key Laboratory of Cryospheric Science/Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The snow and ice samples, collected at Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River (UG1) and Glacier No. 51 at Haxilegen of Kuytun River (HG51) in 2002 and 2004, were analyzed for organic carbon (OC) and element carbon (EC) by thermal/optical reflectance (TOR). The spatio-temporal characteristics and environmental significance of OC and EC concentration were discussed in details. The concentration order of total carbon (TC) was: snowpack of west branch on UG1 ( $1\,943\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) > snowpack of east branch on UG1 ( $989\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) > snowpack of HG51 ( $150\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) > glacier ice of east branch on UG1 ( $77\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ), and the concentration order of OC and EC lay similar as TC. The concentration of OC and EC in snowpack of Tianshan Mountains were  $557\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  and  $188\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectively. Concentration peak of carbonaceous aerosol usually appeared near the dust layer at the bottom section of snowpack, but the some sudden events could increase the concentration in the surface snow. Because of the seasonality of carbon emission (e. g. heating and agricultural activities) and transportation (e. g. atmospheric circulation), the concentration of carbonaceous aerosol increased from July to November with fluctuations. Difference on the order of magnitude might exist between the concentration in snow (firn) and glacier ice, which was influenced by the glacier surroundings, sampling situation and other factors. EC on the surface snow affected the albedo significantly, and an average albedo reduction of 0.22 in the wavelength of 300-700 nm was simulated by SNICAR (snow, ice, and aerosol radiative) model.

**Key words:** Tianshan Mountains; glacier; snowpack; carbonaceous aerosol; organic carbon (OC); element carbon (EC)

碳质气溶胶是大气气溶胶的重要组成部分, 主要包括有机碳(organic carbon, OC)和元素碳(element carbon, EC); 其中, 元素碳是基于热学性质测试方法的概念, 若根据其光学性质测试则被称为黑碳(black carbon, BC)。碳质气溶胶可以改变地-气系统的能量收支, 通过吸收太阳辐射、加强地面反照率、影响云量等途径影响气候变化<sup>[1~4]</sup>。然而, 对于现代大气中碳质气溶胶的监测仍十分有限, 要获

取大区域及长时间序列的资料需要借助其他手

收稿日期: 2011-04-17; 修订日期: 2011-05-27

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB951003); 国家自然科学基金项目(41161012, 41171057); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-311); 冰冻圈科学国家重点实验室项目(SKLCSS-ZZ-2010-04); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0019)

作者简介: 王圣杰(1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为全球变化与环境化学, E-mail: geowang@126.com

\* 通讯联系人, E-mail: mjzhang2004@163.com

段<sup>[5]</sup>. 研究发现, 雪冰中碳质气溶胶记录可以指示全球或区域的环境变化与人类活动信息<sup>[4,6~9]</sup>. 我国在雪冰碳质气溶胶方面的研究近年来才刚刚起步. 就雪层中碳质气溶胶记录而言, 刘先勤<sup>[10]</sup>、Xu<sup>[11]</sup>等分析了青藏高原雪冰样品中 OC 和 EC 的浓度, 首次探讨了青藏高原碳质气溶胶浓度的空间分布特征; 之后, 明镜等<sup>[12,13]</sup>分析了整个中国西部冰川区雪冰中 BC 的浓度, 并模拟了 BC 产生的辐射强迫. 与此同时, 冰芯记录的研究也在青藏高原(西昆仑山<sup>[14]</sup>、喜马拉雅山<sup>[15]</sup>、唐古拉山<sup>[16]</sup>、岗日嘎布山<sup>[17]</sup>等) 逐渐开展起来.

天山山脉地处中亚内陆, 一方面碳质气溶胶排放量存在着明显的空间差异<sup>[18,19]</sup>, 另一方面在周边城市也监测到了碳质气溶胶浓度的时间变化<sup>[20,21]</sup>. 尽管中国天山山脉分布有冰川 9 035 条, 冰川面积 9 225 km<sup>2</sup>, 冰储量 1 011 km<sup>3</sup><sup>[22]</sup>, 但是有关天山冰川雪冰中碳质气溶胶记录的研究却很有限. 仅有明镜等<sup>[12,13]</sup>研究过乌鲁木齐河源 1 号冰川、奎屯河哈希勒根 48 号冰川和庙儿沟 3 号冰川的 14 个表层雪样品中 BC 的浓度及其环境意义, 而样品数量仍相对较少, 对于长时间的雪坑连续观测更鲜有报道. 因此, 本研究结合之前的历史资料, 以乌鲁木齐河源 1 号冰川(东、西支)与奎屯河哈希勒根 51 号冰川为例, 综合讨论天山冰川雪冰中碳质气溶胶的浓度特征与环境意义.

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

本研究选取乌鲁木齐河源 1 号冰川(43°06'N, 86°49'E)及奎屯河哈希勒根 51 号冰川(43°43'N, 84°24'E)作为天山代表性冰川, 先后于 2002 年和 2004 年共采集了 60 个雪冰样品(图 1). 其中, 2002 年 7 月同时在乌鲁木齐河源 1 号冰川东支积累区(采样点海拔 4 100 m, 雪层深度 80 cm)与西支积累区(采样点海拔 4 200 m, 雪层深度为 200 cm)、奎屯河哈希勒根 51 号冰川积累区(采样点海拔 4 000 m, 雪层深度为 180 cm)采集了完整的粒雪坑样品, 并在乌鲁木齐河源 1 号冰川东支冰舌区(采样点海拔 3 750 m)采集了冰川冰样品; 2004 年 7~11 月逐月在乌鲁木齐河源 1 号冰川东支积累区(采样点海拔 4 100 m)又采集了 5 组粒雪坑样品, 雪层平均深度为 155 cm. 采样时工作人员穿特制的工作服, 并使用面罩与一次性塑料手套等用具. 粒雪样品自雪坑纵剖面顶部以下依次采集, 一般直至雪坑底部冰层

附近为止. 采用玻璃质容器进行采样, 样品在冷冻状态下保存.

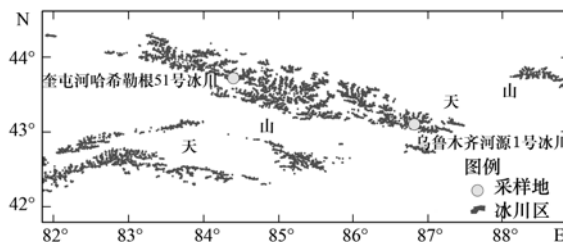


图 1 乌鲁木齐河源 1 号冰川与奎屯河哈希勒根 51 号冰川的位置

Fig. 1 Location of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River and Glacier No. 51 at Haxilegen of Kuytun River

### 1.2 样品分析

分析工作在美国沙漠研究所(desert research institute, DRI)使用热/光碳分析仪(DRI Model 2001 thermal/optical carbon analyzer, Atmoslytic Inc., Calabasas, CA, USA)进行. 分析前, 采用微波炉加热的方法加速样品融化以防止因微生物繁殖造成的影响. 融化后, 采用石英质滤膜对样品进行过滤. 测试遵循 IMPROVE(interagency monitoring of protected visual environments)分析协议规定的热/光反射法(thermal optical reflectance, TOR). 具体分析过程为, 先在纯 He 环境下逐级升温, 当温度为 120、250、450 和 550℃时, 分别得到 OC1、OC2、OC3 和 OC4, OC 释放进入氧化炉被氧化为 CO<sub>2</sub>; 之后, 在 He 环境中充入 2% 的 O<sub>2</sub> 并逐级升温, 当温度为 550、700 和 800℃时, 分别得到 EC1、EC2 和 EC3, 此时样品中的 EC 释放被氧化为 CO<sub>2</sub>. 上述各个温度梯度下产生的 CO<sub>2</sub>, 分别在还原炉中转化为可通过火焰离子检测器检测的 CH<sub>4</sub>. 整个过程都有 He-Ne 激光( $\lambda = 633 \text{ nm}$ )打在石英质滤膜上, 利用反光强度的变化可以指示出 EC 氧化的起始点. 在 OC 碳化过程中, 转化为 EC 的这部分 OC 被称为光学裂解碳(optical pyrolyzed carbon, OPC). IMPROVE 分析协议将 OC 定义为 OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + OPC, 将 EC 定义为 EC1 + EC2 + EC3 - OPC. 具体的分析流程前人已有介绍<sup>[23~25]</sup>. 该方法已被广泛运用于碳质气溶胶研究<sup>[26~28]</sup>, 特别是雪冰中碳质气溶胶<sup>[17,29]</sup>的研究.

## 2 结果

在本研究实测的雪冰样品之中, 总碳(total carbon, TC)浓度从高到低依次为乌鲁木齐河源 1 号冰川西支雪坑(1 943 ng·g<sup>-1</sup>) > 乌鲁木齐河源 1 号冰川东支雪坑(989 ng·g<sup>-1</sup>) > 奎屯河哈希勒根 51

号冰川( $150\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) > 乌鲁木齐河源 1 号冰川东支冰川冰( $77\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) (表 1). 其中, 乌鲁木齐河源 1 号冰川东、西支雪坑中 TC 浓度比奎屯河哈希勒根 51 号冰川高出 1 个数量级, 比 1 号冰川东支冰川冰甚至高出 2 个数量级. OC 和 EC 的浓度也表现出类似的特征.

表 1 天山冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度对比

| 研究区            | 样品介质 | 样品数量 | 采样时间                        | 海拔/m  | $c/\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ |     |       |
|----------------|------|------|-----------------------------|-------|---------------------------------|-----|-------|
|                |      |      |                             |       | OC                              | EC  | TC    |
| 乌鲁木齐河源 1 号冰川东支 | 雪坑   | 9    | 2002 年 7 月                  | 4 100 | 417                             | 231 | 648   |
| 乌鲁木齐河源 1 号冰川东支 | 雪坑   | 37   | 2002 年 7 月, 2004 年 7 ~ 11 月 | 4 100 | 784                             | 205 | 989   |
| 乌鲁木齐河源 1 号冰川东支 | 冰川冰  | 2    | 2002 年 7 月                  | 3 750 | 45                              | 32  | 77    |
| 乌鲁木齐河源 1 号冰川西支 | 雪坑   | 11   | 2002 年 7 月                  | 4 200 | 1 332                           | 612 | 1 943 |
| 奎屯河哈希勒根 51 号冰川 | 雪坑   | 10   | 2002 年 7 月                  | 3 900 | 104                             | 46  | 150   |

关于天山地区雪冰中碳质气溶胶浓度背景值的报道一直十分有限, 之前有研究表明天山冰川表层雪中 BC 平均浓度为  $(112 \pm 27)\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  [12]. 而基于本研究采集的 58 个雪样 (不含冰川冰), 天山地区雪层中 OC 浓度平均值为  $557\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , EC 浓度平均值为  $188\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ . 其中, EC 浓度与之前的报道 [12] 没有数量级的差异. 考虑到采样时空条件的差异, 加之测试方法不同也会对测试结果产生影响, 这一差异是合理的. 由此可见, 本研究基本反映了天山地区雪冰中碳质气溶胶浓度的一般水平.

3 讨论

3.1 雪坑中碳质气溶胶浓度剖面特征

图 2 展示的是同一时期天山乌鲁木齐河源 1 号冰川东、西支与奎屯河哈希勒根 51 号冰川积累区雪

坑中碳质气溶胶浓度剖面. 雪坑剖面中碳质气溶胶浓度存在着显著的波动, 最大值与最小值存在 1 ~ 2 个数量级的差异, 且碳质气溶胶浓度较高的层位与污化层存在着较好的对应性. 湿季强烈的淋溶作用使得沉积于雪层中的碳质气溶胶在不溶微粒较为丰富的污化层附近产生富集, 从而导致碳质气溶胶浓度剖面变化明显. 之前在青藏高原一些冰川的雪坑 [11, 13] 中也都发现污化层附近碳质气溶胶浓度普遍偏高.

具体来说, 乌鲁木齐河源 1 号冰川东支 [图 2 (a)] 表层雪中碳质气溶胶的浓度相对较高, OC、EC 浓度分别为  $636\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  和  $407\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , EC/OC 的比值为 0.64; 20 ~ 50 cm 深度间, OC 和 EC 的浓度都较低; 之后进入污化层, 二者浓度突然升高, 在 70 cm 处出现最大值, OC、EC 浓度分别为  $1\,976\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$

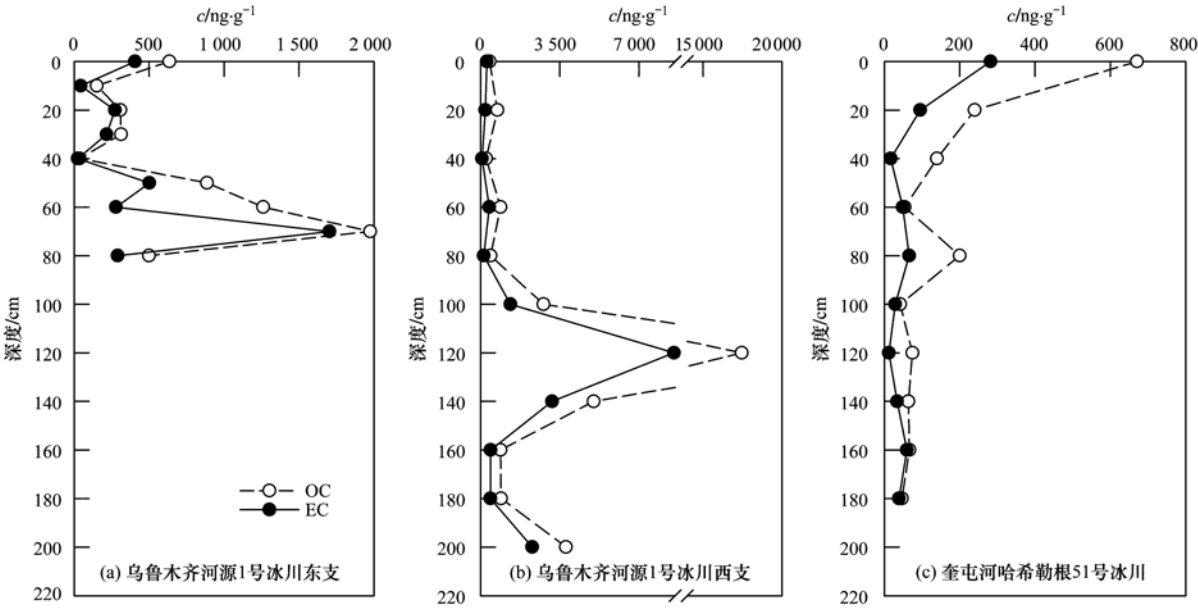


图 2 2002 年 7 月不同采样点雪坑中碳质气溶胶浓度剖面

Fig. 2 Vertical profiles of carbonaceous aerosol concentration in snowpack at the three sampling sites in July 2002

和  $1704 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , EC/OC 的比值为 0.86. 乌鲁木齐河源 1 号冰川西支[图 2(b)]表层雪中碳质气溶胶的浓度较低, OC、EC 浓度分别为  $407 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $279 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , EC/OC 的比值为 0.69; 从表层到 100 cm 间, OC、EC 的浓度亦保持较低的状态; 100 ~ 150 cm 之间, 也就是污化层所在的位置, 二者的浓度突然升高, 且在 120 cm 处达到最大值, 此时, OC、EC 浓度分别为  $17464 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $8547 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 远高于该雪坑其它深度的浓度, EC/OC 的比值为 0.49; 150 ~ 180 cm 之间, 二者的浓度开始降低; 雪坑底部(200 cm 处), 二者的浓度又有所升高.

奎屯河哈希勒根 51 号冰川[图 2(c)]雪坑中 OC、EC 的最大值出现在表层雪处, OC、EC 浓度分别为  $671 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $282 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , EC/OC 的比值为 0.42, 这说明表层雪中 OC 所占的比例相对较大, 这与乌鲁木齐河源 1 号冰川明显不同; 自表层雪向下, OC、EC 的浓度逐渐下降, 到雪坑底部其浓度分别为  $47 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $39 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ . 但是根据 Ming 等<sup>[13]</sup>在该冰川临近的哈希勒根 48 号冰川的研究, 在其他时段雪坑底部污化层附近仍可表现出 BC 浓度较高的情况. 实际上, 2 次采样之间新疆碳质气溶胶的总体排放强度变化可能并不大, 2000 年新疆的 OC 排放量为  $5.8 \times 10^4 \text{ t}$ , BC 排放量为  $2.3 \times 10^4 \text{ t}$ <sup>[18]</sup>, 而 2007 年新疆的 OC 排放量为  $4.9 \times 10^4 \text{ t}$ , BC 排放量为  $2.3 \times 10^4 \text{ t}$ <sup>[19]</sup>. 因此不同年份的报道仍具有一定的参考价值.

### 3.2 不同季节雪坑中碳质气溶胶浓度变化

根据 2004 年 7 ~ 11 月雪坑内碳质气溶胶的逐月浓度变化(图 3)可以发现, 不同季节雪层中的碳质气溶胶浓度存在着一定的变化, 这反映了碳排放与传输的季节性差异. 雪坑中的 OC 与 EC 浓度在 7 ~ 11 月间总体均呈波动下降趋势. 在新疆慕士塔格冰川区<sup>[26]</sup>的大气气溶胶中, OC 与 EC 浓度的季节序列为夏季 > 秋季 > 冬季 > 春季, 这与本研究的发展趋势是类似的.

从碳排放的季节性差异来讲, 近源的居民采暖、农业活动(如秸秆焚烧、施用化肥)等都可能产生季节性影响<sup>[19]</sup>. 实际上, 无论是在新疆典型城市(乌鲁木齐<sup>[30]</sup>、塔中<sup>[21]</sup>)的大气气溶胶 BC 浓度监测, 还是对整个中国<sup>[19]</sup>的 BC 与 OC 排放量估算结果, 都表明碳排放存在着季节性. 然而, 在青藏高原开展的冰芯研究均表明, 气团输送对碳质气溶胶(如 BC<sup>[15]</sup>、EC<sup>[17]</sup>)浓度存在着重要的影响. 这里采用美国国家海洋和大气管理局(NOAA)空气资源实验室

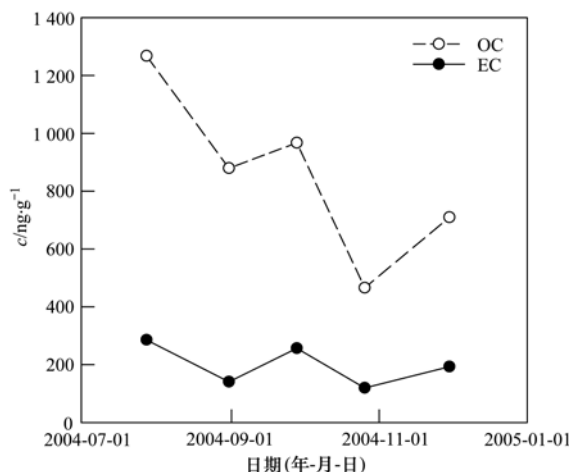


图 3 2004 年 7 ~ 11 月乌鲁木齐河源 1 号冰川雪坑中碳质气溶胶浓度变化

Fig. 3 Variation of carbonaceous aerosol concentration in snowpack of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River from July to November 2004

(ARL)的 HYSPLIT 模式来模拟 2004 年乌鲁木齐河源 1 号冰川东支积累区的气团后向轨迹(4 日回溯), 并对轨迹进行聚类分析(图 4). 虽然碳质气溶胶的沉降受到多方面的影响, 但利用后向轨迹模拟来源仍是一种较为常见有效的方法<sup>[13~15, 26]</sup>. 从图 4 可以发现, 乌鲁木齐河源区受到不同尺度的远源气团影响, 气团后向轨迹被聚类为 2 个主要的方向, 即中亚南部(T1)与欧洲东部(T2)[图 4(a)]. 这 2 个方向存在着一定的季节性差异, 夏季受中亚南部的影响相对更为明显(T1), 而冬季源自东欧的气团也可能在较短的时间内经哈萨克斯坦传输至我国境内(T2)[图 4(b)]. 考虑到燃烧事件对碳质气溶胶的显著影响, 图 4(a)中还叠加了欧洲空间局(ESA)发布的 2004 年 7 ~ 11 月火点时空分布资料. 聚类后的气团轨迹 T1 与 T2 附近均广泛分布着火点. 统计该时段内与我国较为临近的中亚五国火点燃烧记录可以发现, 主要的地表覆盖类型为裸地、草本植物或灌木、耕地等, 燃烧必然产生大量的碳质气溶胶. 之前的研究也发现, 中亚夏秋季节生物质燃烧的产物可以短期地改变天山乌鲁木齐河源区雪冰的化学成分<sup>[31, 32]</sup>. 如果再考虑到中亚城市群的碳排放情况, 其碳传输量必然更加可观. 由此可见, 远源的碳排放可以在适宜条件下对天山冰川雪冰中的碳质气溶胶浓度产生深远的影响.

### 3.3 雪坑与冰川冰中碳质气溶胶浓度差异

成冰过程中蕴含着一系列的物理和化学变化, 这在一定程度上会改变雪冰中记载的原始信息<sup>[33]</sup>.

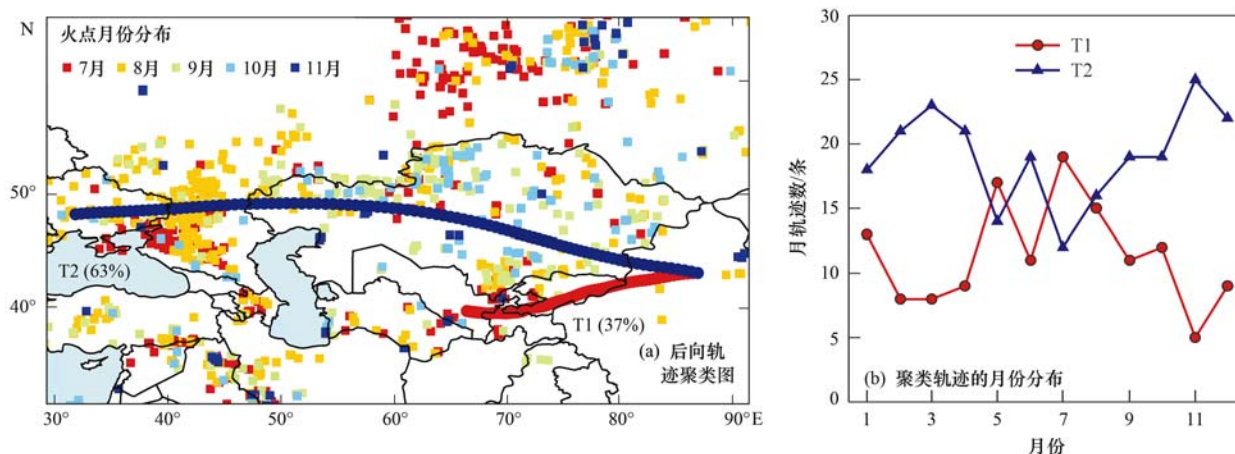


图4 2004年乌鲁木齐河源1号冰川气团后向轨迹聚类分析结果

Fig. 4 Cluster of backward trajectory from Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River in 2004

近年来冰芯中碳质气溶胶浓度的研究逐渐丰富,认识到不同介质中碳质气溶胶的差异性并估算其在气-雪-冰过程中的转化率有助于科学解读冰芯中的环境记录<sup>[26,34]</sup>.为了考察粒雪与冰川冰之间碳质气溶胶浓度的差异,本研究对比了2002年7月在1号冰川东支粒雪与冰川冰样品中碳质气溶胶浓度(图5).

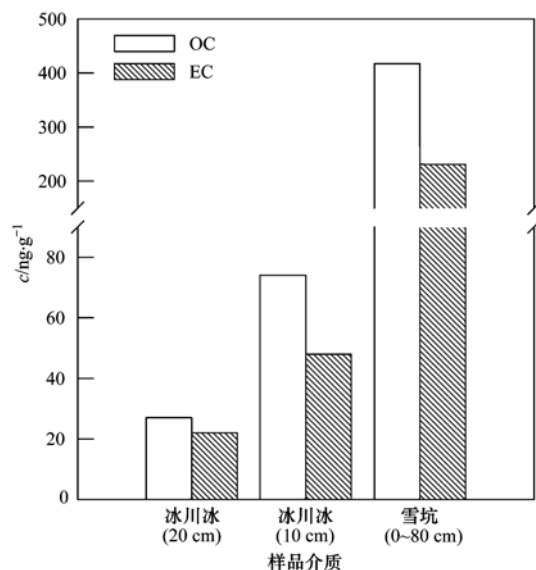


图5 2002年7月乌鲁木齐河源1号冰川不同介质中碳质气溶胶浓度

Fig. 5 Carbonaceous aerosol concentration in the snow and ice at Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River in July 2002

从图5中可以发现,与雪坑相比,乌鲁木齐河源1号冰川东支的冰川冰中碳质气溶胶浓度较低,OC、EC最高浓度仅为74 ng·g<sup>-1</sup>和48 ng·g<sup>-1</sup>.在不同的介质(粒雪与冰川冰)中,碳质气溶胶浓度差异达到

了1个数量级.虽然这里不能对冰川冰样品进一步定年分析,但之前在该冰川消融区的冰芯<sup>[35]</sup>研究表明,该区域受成冰环境影响很小,冰芯所对应20 m处的冰龄超过500 a.因此,本研究中采集的冰川冰可能代表了这一区域冰层中的碳质气溶胶水平.然而,在喜马拉雅山东绒布冰川<sup>[12,13]</sup>采集的雪冰样品则显示,雪坑中的BC浓度与长尺度冰芯(1951~2002年层)中BC浓度十分接近.在极地<sup>[36]</sup>也有类似报道显示,邻近的雪坑与冰芯中碳质气溶胶浓度可能没有数量级的差异.由此可见,不同区域的冰川冰与粒雪样品内碳质气溶胶浓度相对关系可能存在着一定的差异.这种差异的产生主要有如下几种原因:①雪层中的物质受到后沉积作用的长期影响,因而使得雪冰中的物质分布状况被强烈改造<sup>[32,33]</sup>.②雪坑记录受物质输入的影响较大,不同季节下的输入量是有差异的<sup>[19]</sup>,雪坑受采样时空条件的影响比冰芯要大.③冰川冰中的碳质气溶胶浓度也并非均质,本研究中乌鲁木齐河源1号冰川的冰川冰样品相对较少,与长序列冰芯记录的代表性可能有差异.

### 3.4 碳质气溶胶对雪反照率的影响

碳质气溶胶(特别是EC或BC)沉积在冰川表面,会改变其反照率,加速冰川的消融.为估算雪中EC对反照率的影响,这里采用了SNICAR(snow, ice, and aerosol radiative)模型的雪反照率模拟工具(snow albedo simulator, SAS)<sup>[8,9,37]</sup>.本研究根据2004年7~11月在乌鲁木齐河源1号冰川东支采集的5组雪坑样品,分别利用SNICAR模型的SAS工具模拟了有无EC情况下雪反照率的差异.由于各雪坑反射光谱曲线趋势类似,这里选取其中一个

典型雪坑(2004 年 7 月)的模拟结果作为代表[图 6(a)]. 显然,雪层中 EC 的存在对于反照率的影响十分显著. 其作用范围主要是在波长为 300 ~ 700 nm 范围内(反照率之差的平均值 0.22),当波长为 455 nm 时,有无 EC 的差异最大,反照率相差了 0.27. 当波长 > 1 000 nm 以后 EC 所起到的作用则很小,反照率相差不足 0.01. 含有 EC 的曲线,其反照率最大

值为 0.7(波长为 605 nm),在波长为 300 ~ 605 nm 时反射率呈增大趋势,在波长 > 605 nm 时,反射率开始递减,波长为 1 025 nm 时形成波谷,经过短暂回升后在波长为 1 095 nm 时反照率达到 0.27,之后反照率维持低值. 与早期研究之中天山地区积雪反射光谱曲线<sup>[38]</sup>相比,模拟情况符合实测结果. 可以看出,雪层中 EC 的存在对反照率的影响是较大的.

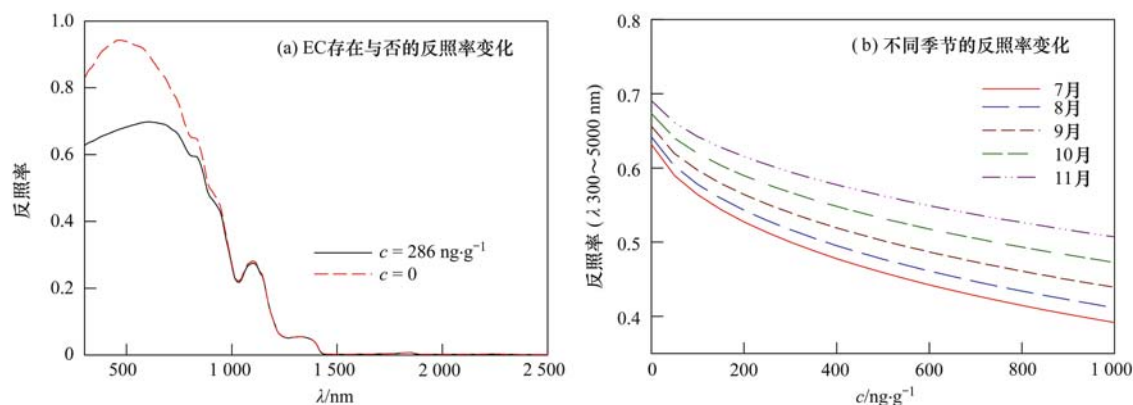


图 6 基于 SNICAR 模型不同条件下反照率的模拟结果

Fig. 6 Simulation of albedo in different situations based on the SNICAR model

上述结果仅根据单时段的雪坑资料模拟而来,实际上,由于太阳天顶角、雪层物理结构等因素的影响,不同季节 EC 浓度对反照率的影响也是有差异的. 这里同样根据 2004 年 7 ~ 11 月实际观测的雪密度、有效粒径等参数,模拟不同时段不同 EC 浓度条件下的反照率情况[图 6(b)]. 可以发现,不同时段雪层均表现出 EC 浓度越大时反照率越小的特征,且夏季比冬季变化更为显著. 也就是说,在同样的 EC 浓度条件下,夏季的反照率更小. Flanner 等<sup>[37]</sup>基于 SNICAR 模型对南极雪冰样品进行了模拟,也发现雪层中 BC 浓度越大时反照率越小,且雪粒径越大这一变化越显著. 但是,根据实地观测记录判断,图 6(b)中模拟出的季节变化显然不仅是由雪的光学有效粒径造成的,太阳辐射的季节性变化可能是更为直接的原因. 中国西北地区冬季总辐射最少,夏季最多,春季多于秋季<sup>[39]</sup>,而中国西部大多数冰川积累和消融同时发生在夏季<sup>[22]</sup>,这种季节性差异可能会加速冰川的消融. 明镜等<sup>[12]</sup>估计了 BC 在中国不同冰川表面沉降产生的辐射强迫,发现天山冰川区的辐射强迫仅次于青藏高原腹地. 近几十年来天山冰川正经历着显著的退缩<sup>[40]</sup>,碳质气溶胶对冰川消融的影响是不可忽视的.

#### 4 结论

(1) 在实测的雪冰样品之中,TC 浓度从高到低

依次为乌鲁木齐河源 1 号冰川西支雪坑 > 乌鲁木齐河源 1 号冰川东支雪坑 > 奎屯河哈希勒根 51 号冰川 > 乌鲁木齐河源 1 号冰川东支冰川冰,OC 和 EC 的浓度序列也较为类似. 天山冰川区雪层中 OC 浓度平均值为  $557 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,EC 浓度平均值为  $188 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ .

(2) 天山地区不同冰川积累区雪层剖面存在着较大的相似性,剖面中下部的污化层附近一般都会出现碳质气溶胶浓度峰值. 但是,某些突发性事件也可能会使得雪层上部(特别是表层雪)产生碳质气溶胶浓度峰值.

(3) 从夏季到冬季,雪层中碳质气溶胶的浓度呈波动下降趋势. 由于碳排放(如居民采暖、农业活动等)与碳传输(如大气环流、局地山谷风等)都存在着明显的季节性差异,这使得雪层中碳质气溶胶浓度往往也表现出季节性变化趋势.

(4) 冰川冰与粒雪中碳质气溶胶浓度间是否存在数量级的差异,与冰川所在环境、雪冰采样时空条件、样品的代表性都有着密切的关系.

(5) 雪层表面是否存在 EC 对反照率影响显著,反照率之差最大可达 0.27. 不同时段雪层均表现出 EC 浓度越大时反照率越小,且夏季比冬季变化更为显著. 在当前天山地区气候暖湿化的背景下,天山地区冰川雪冰中碳质气溶胶将对冰川消融起到促

进作用。

致谢: 本研究是中国科学院天山冰川观测试验站开展的雪冰现代过程研究项目的一部分, 谨此对参加本项研究的每一个观测和研究人員表示衷心感谢。

#### 参考文献:

- [1] Ramanathan V, Carmichael G. Global and regional climate changes due to black carbon [J]. *Nature Geoscience*, 2008, **1**(4): 221-227.
- [2] Meehl G A, Arblaster J M, Collins W D. Effects of black carbon aerosols on the Indian monsoon [J]. *Journal of Climate*, 2008, **21**(12): 2869-2882.
- [3] Ramachandran S, Kedia S. Black carbon aerosols over an urban region: radiative forcing and climate impact [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2010, **115**: D10202, doi: 10.1029/2009JD013560.
- [4] Skeie R B, Berntsen T, Myhre G, *et al.* Black carbon in the atmosphere and snow, from pre-industrial times until present [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2011, **11**(3): 7469-7534.
- [5] 何跃, 张甘霖, 杨金玲, 等. 城市化过程中黑碳的土壤记录及其环境指示意义 [J]. *环境科学*, 2007, **28**(10): 2369-2375.
- [6] 明镜, 秦大河, 效存德. 雪冰中的黑碳记录研究的历史回顾 [J]. *冰川冻土*, 2005, **27**(4): 539-544.
- [7] Thevenon F, Anselmetti F S, Bernasconi S M, *et al.* Mineral dust and elemental black carbon records from an Alpine ice core (Colle Gnifetti glacier) over the last millennium [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2009, **114**: D17102, doi: 10.1029/2008JD011490.
- [8] Flanner M G, Zender C S, Hess P G, *et al.* Springtime warming and reduced snow cover from carbonaceous particles [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(7): 2481-2497.
- [9] Yasunari T J, Koster R D, Lau K M, *et al.* Influence of dust and black carbon on the snow albedo in the NASA Goddard Earth Observing System version 5 land surface model [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2011, **116**: D02210, doi: 10.1029/2010JD014861.
- [10] 刘先勤, 王宁练, 姚檀栋, 等. 青藏高原雪冰中碳质气溶胶含量变化 [J]. *地学前缘*, 2006, **13**(5): 335-341.
- [11] Xu B Q, Yao T D, Liu X Q, *et al.* Elemental and organic carbon measurements with a two-step heating-gas chromatography system in snow samples from the Tibetan Plateau [J]. *Annals of Glaciology*, 2006, **43**(1): 257-263.
- [12] 明镜, 效存德, 杜振彩, 等. 中国西部雪冰中的黑碳及其辐射强迫 [J]. *气候变化研究进展*, 2009, **5**(6): 328-335.
- [13] Ming J, Xiao C D, Cachier H, *et al.* Black Carbon (BC) in the snow of glaciers in west China and its potential effects on albedos [J]. *Atmospheric Research*, 2009, **92**(1): 114-123.
- [14] Liu X Q, Xu B Q, Yao T D, *et al.* Carbonaceous particles in Muztagh Ata ice core, West Kunlun Mountains, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, **53**(21): 3379-3386.
- [15] Ming J, Cachier H, Xiao C, *et al.* Black carbon record based on a shallow Himalayan ice core and its climatic implications [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2008, **8**(5): 1343-1352.
- [16] Xu B Q, Cao J J, Hansen J, *et al.* Black soot and the survival of Tibetan glaciers [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, **106**(52): 22114-22118.
- [17] 王莱, 徐柏青, 郭光剑, 等. 碳质气溶胶在藏东南冰芯中的记录 [J]. *气候变化研究进展*, 2010, **6**(3): 175-180.
- [18] Cao G L, Zhang X Y, Zheng F C. Inventory of black carbon and organic carbon emissions from China [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(34): 6516-6527.
- [19] Cao G L, Zhang X Y, Gong S L, *et al.* Emission inventories of primary particles and pollutant gases for China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2011, **56**(8): 781-788.
- [20] Li J, Zhuang G S, Huang K, *et al.* Characteristics and sources of air-borne particulate in Urumqi, China, the upstream area of Asia dust [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(4): 776-787.
- [21] Li J, Huang K, Wang Q Z, *et al.* Characteristics and source of black carbon aerosol over Taklimakan Desert [J]. *Science China Chemistry*, 2010, **53**(5): 1202-1209.
- [22] Shi Y F. *Glaciers and related environments in China* [M]. Beijing: Science Press, 2008. 16-94.
- [23] Chow J C, Watson J G, Pritchett L C, *et al.* The DRI thermal/optical reflectance carbon analysis system: description, evaluation and applications in U. S. air quality studies [J]. *Atmospheric Environment (Part A: General Topics)*, 1993, **27**(8): 1185-1201.
- [24] Chow J C, Watson J G, Lu Z, *et al.* Descriptive analysis of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEX [J]. *Atmospheric Environment*, 1996, **30**(12): 2079-2112.
- [25] Chow J C, Watson J G. PM<sub>2.5</sub> carbonate concentrations at regionally representative Interagency Monitoring of Protected Visual Environment sites [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2002, **107**(D21): 8344, doi: 10.1029/2001JD000574.
- [26] Cao J J, Xu B Q, He J Q, *et al.* Concentrations, seasonal variations, and transport of carbonaceous aerosols at a remote Mountainous region in western China [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(29): 4444-4452.
- [27] Ming J, Xiao C D, Sun J Y, *et al.* Carbonaceous particles in the atmosphere and precipitation of the Nam Co region, central Tibet [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, **22**(11): 1748-1756.
- [28] 李杏茹, 王英锋, 郭雪清, 等. 2008 年奥运期间北京不同粒径大气颗粒物中元素碳和有机碳的变化特征 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(2): 313-318.
- [29] Xu B Q, Wang M, Joswiak D R, *et al.* Deposition of anthropogenic aerosols in a southeastern Tibetan glacier [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2009, **114**: D17209, doi:

- 10.1029/2008JD011510.
- [30] 李娟. 中亚地区沙尘气溶胶的理化特性、来源、长途传输及其对全球变化的可能影响[D]. 上海: 复旦大学, 2009.
- [31] Zhao Z P, Li Z Q, Edwards R, *et al.* Atmosphere-to-snow-to-firn transfer of  $\text{NO}_3^-$  on Urumqi glacier No. 1, eastern Tien Shan, China[J]. *Annals of Glaciology*, 2006, **43**(1): 239-244.
- [32] 王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等. 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*, 2011, **32**(2): 338-344.
- [33] Li Z Q, Edwards R, Mosley-Thompson E, *et al.* Seasonal variability of ionic concentrations in surface snow and elution processes in snow-firn packs at the PGPI site on Ürümqi glacier No. 1, eastern Tien Shan, China[J]. *Annals of Glaciology*, 2006, **43**(1): 250-256.
- [34] Davidson C I, Jaffrezo J L, Mosher B W, *et al.* Chemical constituents in the air and snow at Dye 3, Greenland: II. Analysis of Episodes in April 1989 [J]. *Atmospheric Environment (Part A: General Topics)*, 1993, **27**(17-18): 2723-2737.
- [35] 王林, 李忠勤, 王飞腾, 等. 乌鲁木齐河源 1 号冰川冰芯剖面物理特征及其形成机理研究[J]. *冰川冻土*, 2009, **31**(1): 11-18.
- [36] Chylek P, Johnson B, Damiano P A, *et al.* Biomass burning record and black carbon in the GISP2 ice core[J]. *Geophysical Research Letters*, 1995, **22**(2): 89-92.
- [37] Flanner M G, Zender C S, Randerson J T, *et al.* Present-day climate forcing and response from black carbon in snow[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**: D11202, doi: 10.1029/2006JD008003.
- [38] 曾群柱, 曹梅盛, 冯学智, 等. 我国西北若干种冰、雪及水体反射光谱特性的研究[J]. *中国科学(B 辑)*, 1984, **14**(4): 370-377.
- [39] 陈少勇, 邢晓宾, 张康林, 等. 中国西北地区太阳总辐射的气候特征[J]. *资源科学*, 2010, **32**(8): 1444-1451.
- [40] Wang S J, Zhang M J, Li Z Q, *et al.* Glacier area variation and climate change in the Chinese Tianshan Mountains since 1960 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, **21**(2): 263-273.

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                        |                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China .....                                                                                     | CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-pei, <i>et al.</i> ( 673 )     |
| Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains .....                                                          | WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> ( 679 ) |
| Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou .....                                                                | ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> ( 687 )             |
| Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions .....                                                                            | YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> ( 694 )                |
| Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010 .....                                                                                              | WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> ( 701 )          |
| Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China .....                                        | LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> ( 711 )         |
| Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan .....                                   | CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> ( 720 )   |
| Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary .....                                                                                                               | JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> ( 727 )       |
| Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay .....                                         | XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> ( 732 )         |
| Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment .....                                                               | LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> ( 741 )              |
| Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi .....                                                                                 | KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> ( 746 )  |
| Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai .....                                                                    | DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> ( 754 )       |
| Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification .....                                                                   | WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> ( 760 )     |
| Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment .....                                                                      | WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> ( 771 )            |
| Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge .....                                                                            | GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> ( 777 )             |
| Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay .....                                                   | DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> ( 782 )           |
| Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing .....                                                                            | HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> ( 794 )        |
| Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai .....                                            | WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> ( 802 )             |
| Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff .....                                                   | HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> ( 810 )        |
| Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland .....                                                                                   | HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> ( 817 )          |
| Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism .....                                                                              | LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> ( 825 )          |
| Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain .....                                                                                     | JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> ( 832 )                   |
| Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i> .....                                                  | LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he ( 838 )                             |
| Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir .....                                                                  | CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> ( 844 )   |
| New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution .....                                               | YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> ( 849 )          |
| Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes .....                                                                | ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> ( 857 )           |
| Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT .....                                                                                                          | PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> ( 866 )             |
| Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate .....                                            | ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> ( 871 )        |
| Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances .....                                                                                | ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei ( 879 )                         |
| Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy .....                                                          | LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> ( 885 )             |
| Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage .....                                                         | LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> ( 889 )                |
| Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age .....                                                                                           | ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> ( 896 )         |
| Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification .....                                                                               | LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> ( 903 )           |
| Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch .....                                                    | GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> ( 910 )   |
| Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching .....                                                                                    | ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan ( 916 )                  |
| Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance .....                                             | QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> ( 922 )     |
| Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity .....                                                                    | FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> ( 932 ) |
| Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem ..... | JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> ( 938 )       |
| Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China .....                                   | WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun ( 946 )                  |
| Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients .....                                                         | MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> ( 952 )           |
| Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids .....                                                                          | YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng ( 958 )                     |
| Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil .....                                                                | WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> ( 965 )               |
| Study on the Land Use Optimization Based on PPI .....                                                                                                                  | WU Xiao-feng, LI Ting ( 971 )                                        |
| Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland .....                                                                                                              | CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> ( 979 )             |
| Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi .....                                       | HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> ( 987 )                   |
| Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer .....                 | ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> ( 992 )            |
| Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition .....                                                                      | LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> ( 1000 )         |
| Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus .....                                                                                             | XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> ( 1008 )           |
| Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation .....                                                                                      | LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> ( 1015 )       |
| Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics .....                    | HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> ( 1020 )      |
| Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines .....                                                                                               | TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> ( 1028 )         |
| Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor .....                                                                              | CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> ( 1033 )         |

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 15, 2012

|         |                                                                                                                                                                     |                  |    |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主 管     | 中国科学院                                                                                                                                                               | Superintended    | by | Chinese Academy of Sciences                                                                                                                                                                                             |
| 主 办     | 中国科学院生态环境研究中心                                                                                                                                                       | Sponsored        | by | Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences                                                                                                                                             |
| 协 办     | (以参加先后为序)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清华大学环境学院                                                                                                                               | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>School of Environment, Tsinghua University                                                                                                          |
| 主 编     | 欧阳自远                                                                                                                                                                | Editor-in -Chief |    | OUYANG Zi-yuan                                                                                                                                                                                                          |
| 编 辑     | 《环境科学》编辑委员会<br>北京市2871信箱(海淀区双清路<br>18号, 邮政编码:100085)<br>电话:010-62941102, 010-62849343<br>传真:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE )<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码:100717                                                                                                                             | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                                                            |
| 印 刷 装 订 | 北京北林印刷厂                                                                                                                                                             | Printed          | by | Beijing Bei Lin Printing House                                                                                                                                                                                          |
| 发 行     | 科 学 出 版 社<br>电话:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                                | Distributed      | by | Science Press<br>Tel:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                                                                               |
| 订 购 处   | 全国各地邮电局                                                                                                                                                             | Domestic         |    | All Local Post Offices in China                                                                                                                                                                                         |
| 国外总发行   | 中国国际图书贸易总公司<br>(北京399信箱)                                                                                                                                            | Foreign          |    | China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China                                                                                                                      |

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人