

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第8期

Vol.36 No.8

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于16S rRNA 基因测序法分析北京霾污染过程中 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 细菌群落特征.....	王步英,郎继东,张丽娜,方剑火,曹晨,郝吉明,朱昕,田埂,蒋靖坤 (2727)
北京城区冬季降尘微量元素分布特征及来源分析	熊秋林,赵文吉,郭道宇,陈凡涛,束同同,郑晓霞,赵文慧 (2735)
北京市典型餐饮企业油烟中醛酮类化合物污染特征	程婧晨,崔彤,何万清,聂磊,王军玲,潘涛 (2743)
基于实际道路交通流信息的北京市机动车排放特征	樊守彬,田灵娣,张东旭,曲松 (2750)
夏季珠江三角洲地区 PM _{2.5} 化学组分特征及其对大气能见度的影响	杨毅红,瞿群,刘随心,李雄,钟佩仪,陶俊 (2758)
隧道工人的 PM ₁₀ 职业暴露特征调查分析及其健康风险评价	向华丽,杨俊,仇珍珍,雷万雄,曾婷婷,兰志财 (2768)
基于在线监测的江苏省大型固定燃煤源排放清单及其时空分布特征	张英杰,孔少飞,汤莉莉,赵天良,韩永翔,于红霞 (2775)
柴达木盆地东部降水氢氧同位素特征与水汽来源	朱建佳,陈辉,巩国丽 (2784)
长江口-浙闽沿岸沉积色素的分布特征及其指示意义	李栋,姚鹏,赵彬,王金鹏,潘慧慧 (2791)
“引江济太”过程中长江-望虞河-贡湖氮、磷输入特征研究	潘晓雪,马迎群,秦延文,邹华 (2800)
重庆市典型城镇区地表径流污染特征	王龙涛,段丙政,赵建伟,华玉妹,朱端卫 (2809)
调水调沙对黄河下游颗粒有机碳运输的影响	张婷婷,姚鹏,王金鹏,潘慧慧,高立蒙,赵彬,李栋 (2817)
青藏高原冰川区可溶性有机碳含量和来源研究	严芳萍,康世昌,陈鹏飞,柏建坤,李洋,胡召富,李潮流 (2827)
岩溶区地下水补给型水库表层无机碳时空变化特征及影响因素	李建鸿,蒲俊兵,袁道先,刘文,肖琼,于爽,张陶,莫雪,孙平安,潘谋成 (2833)
室内模拟不同因子对岩溶作用与碳循环的影响	赵瑞一,吕现福,段逸凡 (2843)
新乡市地表水体 HCHs 和 DDTs 的分布特征及生态风险评价	冯精兰,余浩,刘书卉,刘梦琳,孙剑辉 (2849)
青木关地下河系统中不同含水介质下正构烷烃对比研究	梁作兵,孙玉川,王尊波,江泽利,廖昱,谢正兰,张媚 (2857)
三峡库区长寿湖水体不同形态汞的空间分布特征	白薇扬,张成,赵锋,唐振亚,王定勇 (2863)
燃煤电厂周围渔业养殖行为对水生生态环境中汞形态变化的影响	梁鹏,王远娜,尤琼智,高雪飞,何杉杉 (2870)
运用硫同位素、氮氧同位素示踪厘清湖地下河硫酸盐、硝酸盐来源	李瑞,肖琼,刘文,郭芳,潘谋成,于爽 (2877)
藻华聚集的生态效应:对凤眼莲叶绿素和光合作用的影响	刘国锋,何俊,杨轶中,韩士群 (2887)
DOM 对被动采样技术的影响与应用	于尚云,周岩梅 (2895)
蛋白质对 PVDF 超滤膜污染行为的界面微观作用力解析	王旭东,周森,孟晓荣,王磊,黄丹曦,夏四清 (2900)
水环境中碳纳米管对沙丁胺醇降解的影响	汪祺,韩佳芮,魏博凡,周磊,张亚,杨曦 (2906)
β -In ₂ S ₃ 的制备及其太阳光下降解土霉素	艾翠玲,周丹丹,张嵘嵘,邵享文,雷英杰 (2911)
排水管道沉淀物氮释放特性的研究	陈红,卓琼芳,许振成,王劲松,魏清伟 (2918)
生物膜 CANON 反应器中沉积物影响及其成因分析	付昆明,王会芳,左早荣,仇付国 (2926)
ABR-MBR 一体化工艺节能降耗措施优化研究	吴鹏,陆爽君,徐乐中,刘捷,沈耀良 (2934)
两个 CANON 污水处理系统中氨氧化古菌的丰度和多样性研究	高景峰,李婷,张树军,樊晓燕,潘凯玲,马谦,袁亚林 (2939)
ABR 耦合 CSTR 一体化工艺好氧颗粒污泥形成机制及其除污效能研究	巫恺澄,吴鹏,徐乐中,李月寒,沈耀良 (2947)
珠江三角洲地区土壤有机氯农药分布特征及风险评价	窦磊,杨国义 (2954)
广西都安县耕地土壤重金属污染风险评价	吴洋,杨军,周小勇,雷梅,高定,乔鹏伟,杜国栋 (2964)
开封市公园地表灰尘重金属污染及健康风险	段海静,蔡晓强,阮心玲,全致琦,马建华 (2972)
我国西南地区氮饱和马尾松林土壤和植物 ¹⁵ N自然丰度对长期氮施加的响应	刘文静,康荣华,张婷,朱婧,段雷 (2981)
黄土高原纬度梯度上的植物与土壤碳、氮、磷化学计量学特征	李婷,邓强,袁志友,焦峰 (2988)
开顶式气室原位研究水稻根系对大气汞浓度升高的响应	陈剑,王章玮,张晓山,秦普丰,陆海军 (2997)
接种丛枝菌根真菌对蜈蚣草吸收砷的影响	郑文君,王明元 (3004)
水稻种植对黑土微生物生物量和碳源代谢功能的影响	赵志瑞,崔丙健,侯彦林,刘上千,王岩 (3011)
固定化菌剂载体材料腐解产物对污染土壤中芘解吸的影响	全冬丽,双生晴,李晓军,邓万荣,赵然然,贾春云,巩宗强 (3018)
零价铁和碱激发矿渣稳定/固定化处理铬渣研究	陈忠林,李金春子,王斌远,樊磊涛,沈吉敏 (3026)
Fe ³⁺ 负载凹凸棒土 (Fe/ATP) 结构表征及其稳定化修复镉 (Cd) 机制研究	杨蓉,李鸿博,周永莉,陈静,王琳玲,陆晓华 (3032)
原位生物修复提高多环芳烃污染土壤农用安全性	焦海华,潘建刚,徐圣君,白志辉,王栋,黄占斌 (3038)
镉-八氯代二苯并呋喃复合污染土壤中紫茉莉对镉的修复能力	张杏丽,邹威,周启星 (3045)
不同水分条件对蜈蚣草修复砷污染土壤的影响	刘秋辛,阎秀兰,廖晓勇,林龙勇,杨静 (3056)
磷矿粉和腐熟水稻秸秆对土壤铅污染的钝化	汤帆,胡红青,苏小娟,付庆灵,朱俊 (3062)
洛克沙肿在青菜及土壤中的残留及降解特性	邵婷,姚春霞,沈源源,张玉洁,苏楠楠,周守标 (3068)
3 种典型有机污染物对 2 种水生生物的急性毒性及安全评价	杨扬,李雅洁,崔益斌,李梅 (3074)
石油污染物对海底微生物燃料电池性能的影响及加速降解效应	孟瑶,付玉彬,梁生康,陈伟,柳昭慧 (3080)
Cu-Mn-Ce/分子筛催化剂吸附甲苯后的微波原位再生及床层温度分布探究	虎雪姣,卜龙利,梁欣欣,孟海龙 (3086)
热处理对猪粪高固厌氧消化产甲烷能力的影响	胡玉瑛,吴静,王士峰,曹知平,王凯军,左剑恶 (3094)
磷石膏对麦田 CO ₂ 排放和小麦产量的影响及其经济环境效益分析	李季,吴洪生,高志球,尚小厦,郑培慧,印进,Kakpa Didier,任迁琪,Ogou Katchele Faustin,陈素云,徐亚,姚童言,李炜,钱景珊,马世杰 (3099)
全氟和多氟烷基化合物的环境风险评估研究现状、不确定性与趋势分析	郝薛文,李力,王杰,曹燕,刘建国 (3106)
《环境科学》征订启事 (2757) 《环境科学》征稿简则 (2767) 信息 (2734,2783,3073,3079)	

青藏高原冰川区可溶性有机碳含量和来源研究

严芳萍^{1,6}, 康世昌^{1,3}, 陈鹏飞^{2,6}, 柏建坤⁴, 李洋^{2,6}, 胡召富^{1,5}, 李潮流^{2*}

(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, 兰州 730000; 2. 中国科学院青藏高原研究所青藏高原地表过程与环境变化重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101; 4. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 5. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000; 6. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 对青藏高原祁连山老虎沟12号冰川、唐古拉山小冬克玛底冰川及珠穆朗玛峰北坡东绒布冰川雪坑样品中可溶性有机碳(DOC)和主要离子的质量浓度进行了分析。结果表明3个雪坑中DOC的平均质量浓度分别为 (250.30 ± 157.10) 、 (216.92 ± 142.82) 和 $(152.50 \pm 56.11) \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 具有从北到南依次减小的空间分布特点。3个雪坑DOC和主要离子质量浓度比例分析表明, 唐古拉山冰川区和珠穆朗玛峰冰川区两个雪坑中DOC质量浓度与主要离子总质量浓度相当(DOC质量浓度占DOC与主要离子总质量浓度的比例分别为51%和49%)。相应地, 祁连山冰川区雪坑由于地理位置和气候条件等因素, 受粉尘影响较大, 导致 Ca^{2+} 的质量浓度最高可达 $5299.18 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, DOC所占比例较低(仅占5%)。青藏高原冰川区DOC与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 和 SO_4^{2-} 均呈显著正相关。主成分分析(PCA)表明, 青藏高原冰川区雪坑DOC主要是自然来源, 也有生物质、化石燃料燃烧和农业生产过程等人为排放的贡献。此外, 对3个雪坑的碳沉降通量进行了估算, LHG、TGL和ZF这3个雪坑的碳沉降通量分别为189.23、132.76和128.44 $\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$, 这对该地区碳循环的深入认识和研究具有重要意义, 同时也有利于冰川变化的研究。

关键词: 青藏高原; 冰川; DOC; 主要离子; 主成分分析

中图分类号: X131; X142 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)08-2827-06 DOI: 10.13227/j.hjks.2015.08.013

Concentration and Source of Dissolved Organic Carbon in Snowpits of the Tibetan Plateau

YAN Fang-ping^{1,6}, KANG Shi-chang^{1,3}, CHEN Peng-fei^{2,6}, BAI Jian-kun⁴, LI Yang^{2,6}, HU Zhao-fu^{1,5}, LI Chao-liu^{2*}

(1. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Key Laboratory of Tibetan Environment Changes and Land Surface Processes, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. CAS Center for Excellence in Tibetan Plateau Earth Sciences, Beijing 100101, China; 4. School of Geography, Southwest University, Chongqing 400715, China; 5. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 6. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Snowpit samples of three glaciers (Laohugou NO.12 Glacier (LHG), Small Dongkemadi Glacier on Mount Tanggula (TGL) and East Rongbuk Glacier on Mount Everest (ZF)) in the Tibetan Plateau were collected. Concentrations of DOC and major ions were analyzed. The results showed that average DOC concentrations of the snowpits of LHG, TGL and ZF were (250.30 ± 157.10) , (216.92 ± 142.82) and $(152.50 \pm 56.11) \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. DOC of TGL and ZF accounted for large parts of total values of DOC and ions. Correspondingly, DOC of LHG accounted for small part (only 5%), because LHG was located at north China and intensively influenced by natural mineral dust, which caused high concentrations of Ca^{2+} (the highest value could reach $5299.18 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) and consequently low percentage of DOC of snowpit samples. Correlation and PCA analyses were used to study the sources of DOC. DOC was significantly correlated with Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} and SO_4^{2-} . Additionally, PCA further indicated that the main potential source of DOC was the natural source of mineral dust. Meanwhile, anthropogenic pollutants (e.g. biomass, fossil combustion and agricultural related pollutants) could also not be ignored. Moreover, the carbon depositional fluxes of three snowpits were roughly estimated, and the values of LHG, TGL and ZF snowpits were 189.23, 132.76 and 128.44 $\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$, respectively, which played a significant role in the carbon cycle in this region and was also helpful for the study of glaciers fluctuation.

Key words: Tibetan Plateau; glaciers; DOC; major ions; PCA

收稿日期: 2015-01-16; 修订日期: 2015-03-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271015, 41171398); 冰冻圈科学国家重点实验室项目(SKLCSS-ZZ-2008-01)

作者简介: 严芳萍(1990~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为青藏高原冰川区可溶性有机碳, E-mail: freefly347@126.com

* 通讯联系人, E-mail: lichao-liu@itpcas.ac.cn

大气气溶胶在全球气候变化中具有重要作用^[1,2],可溶性有机碳(DOC)是大气气溶胶的重要组成部分^[3,4]. DOC有多种来源,在人类活动密集区,主要来源为化石燃料和生物质的燃烧^[3,5]. DOC有重要的气候效应,能直接或间接散射太阳辐射,从而影响大气辐射平衡,此外,因其具有亲水性故能促使云凝结核形成,进而影响气候和能见度^[4,5]. DOC可通过干湿沉降从大气中去除,通常,干沉降只能去除大气中少部分DOC,而湿沉降(降雨和降雪)是主要的去除机制^[6,7],因而,DOC沉降也是全球碳循环的重要一环^[7,8]. 目前已有大量研究对降雨中DOC含量、来源进行了探讨^[7~11]. 然而,在偏远地区,尤其是对高海拔的青藏高原地区雪冰中DOC的研究还相对比较缺乏.

青藏高原是世界上海拔最高的独特地理单元,有“世界屋脊”和“第三极”之称^[12],也被看作是是全球气候变化的“驱动机”和“放大器”^[13]. 随着气候变暖和人类活动影响的加剧,高海拔地区冰川的消融引起了广泛关注,在冰川区已经开展了关于黑碳对冰川反照率影响的研究^[14,15],以及有机物的相关研究^[16]. DOC也可能降低冰川表面的反照率导致冰川加速消融,因而对其含量和来源的研究不仅对该地区的碳循环研究有重要作用,同时,对深入理解青藏高原地区冰川变化的原因也具有重要意义.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

青藏高原平均海拔超过4 000 m,面积约250万km²,高原夏半年受印度洋季风的影响,冬半年则主要受西风环流的影响,气候呈现明显的暖湿季和干冷季. 高原南部与北部的气候及环境条件截然不同,南部为温湿的海洋性气候环境,北部则是以干旱、半干旱为主导的大陆性气候环境^[12]. 研究区域3个雪坑具体位置和详细信息见图1和表1.

表1 青藏高原地区雪坑位置信息

Table 1 Location information of the selected snowpits of the Tibetan Plateau

雪坑	经度	纬度	海拔/m	雪坑深度/cm	采样时间
LHG	96°33.33′	39°25.62′	4 989	75	2014-07-30
TGL	92°05.03′	33°04.49′	5 742	45	2014-05-20
ZF	86°56.49′	28°01.85′	6 450	130	2013-05-11

2 结果与讨论

2.1 雪坑DOC及主要离子质量浓度

LHG、TGL和ZF这3个雪坑DOC的平均质量

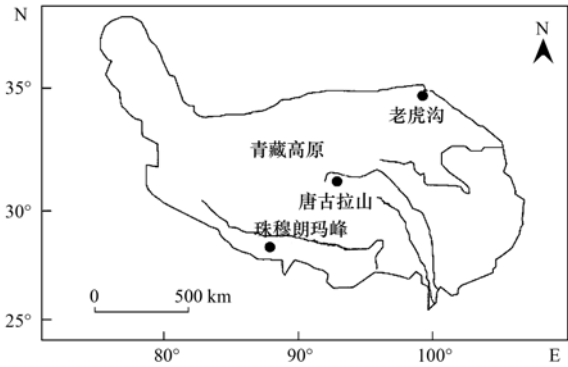


图1 青藏高原地区雪坑采样点位置示意

Fig. 1 Location map of the snowpit sampling sites of the Tibetan Plateau

1.2 样品及方法

本研究在青藏高原祁连山老虎沟12号冰川(LHG)、唐古拉山小冬克玛底冰川(TGL)及珠穆朗玛峰北坡东绒布冰川(ZF)的3个雪坑共采集了31个雪冰样品(图1和表1). 对每个雪坑进行分层取样,其中LHG和TGL雪坑采样间隔为5 cm,ZF雪坑采样间隔为10 cm,3个雪坑分别采集了15、7和9个样品,每个样品为采样区间内雪样的混合样品. 采样过程严格按照雪冰采样程序以避免潜在污染^[17,18]. 采集的样品直接盛放在预先用稀盐酸和超纯水清洗干净的125 mL聚碳酸酯方形瓶中,样品保持冻结状态运回实验室低温保存,分析前1 d将样品取出并放置于4℃环境中融化. 用孔径0.45 μm的特氟龙滤膜对样品进行过滤并分析DOC和主要阴阳离子的质量浓度. DOC用TOC-5000A(Shimadzu Corp, Kyoto, Japan)测定,仪器检出限和精度分别为15 μg·L⁻¹和±5%. 主要阳离子(Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺和NH₄⁺)和主要阴离子(Cl⁻、NO₃⁻和SO₄²⁻)分别用Dionex-6000型和Dionex-3000型离子色谱仪测定,测试精度可达到1 ng·g⁻¹,测试误差小于5%. 数据的有关计算、相关性分析和主成分分析均在SPSS 16.0中进行.

浓度分别为(250.30 ± 157.10)、(216.92 ± 142.82)和(152.50 ± 56.11) μg·L⁻¹(图2),其值具有从北到南依次减小的空间分布特点,这与粉尘在青藏高原冰川上的沉降具有一致性^[19]. 3个雪坑DOC的

值离散性较大,主要是由于 DOC 的质量浓度在污化层远高于洁净层,尽管 3 个雪坑 DOC 的平均质量浓度不同,但 Duncan's multiple range 检验表明,差异性并不显著。3 个雪坑中,LHG 雪坑 DOC 浓度最高,是因为老虎沟位于我国西北干旱与半干旱区中心位置,周围环绕着许多沙漠、戈壁以及荒漠,同时该地也位于亚洲粉尘活动的源区范围之内,因而受粉尘的影响较大^[20]。珠峰地区的 DOC 浓度为三者中最低,这是由于该冰川海拔较高,粉尘和污染物很难到达^[21]。相应地,位于青藏高原中部的 TGL 雪坑 DOC 浓度介于两者之间。

雪坑 DOC 和主要离子质量浓度数据分析结果表明,TGL 和 ZF 雪坑中 DOC 质量浓度占 DOC 和主要离子总质量浓度的很大比例(TGL,49%; ZF,51%),这一结果与喜马拉雅中段杰马央宗冰川雪坑 DOC 所得结果基本一致^[16]。老虎沟 12 号冰川区由于受高原北部局地粉尘的影响较大,主要来自粉尘的阳离子 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 占很大比例。因而,DOC 的浓度仅占 DOC 与主要离子总浓度的 5%,而主要阳离子贡献占 87%,其中仅 Ca^{2+} (最高质量浓度可达 $5\,299.18\,\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) 占到 62% (图 3)。之前在该冰

川的研究也发现由于粉尘贡献而导致的很高的 Ca^{2+} 含量(最高质量浓度接近 $6\,000\,\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)^[21]。对 LHG 和 ZF 雪坑 DOC 和与 DOC 显著相关的离子随雪坑深度的变化进行分析(图 4),结果显示两个雪坑中各指标随雪坑深度的变化曲线均具有较好的一致性,且质量浓度的高值点和雪坑污化层具有很好的对应性,表明区域大气粉尘的沉降对雪冰化学有较大影响。由于雪坑深度的原因,并未对 TGL 雪坑进行剖面上的分析。

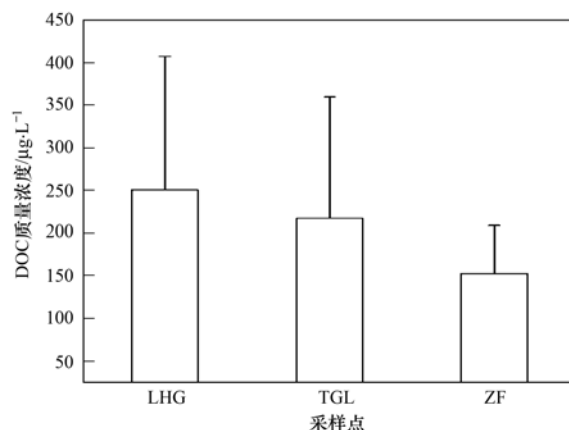


图 2 研究区雪坑 DOC 平均质量浓度

Fig. 2 Average DOC concentrations of selected snowpits

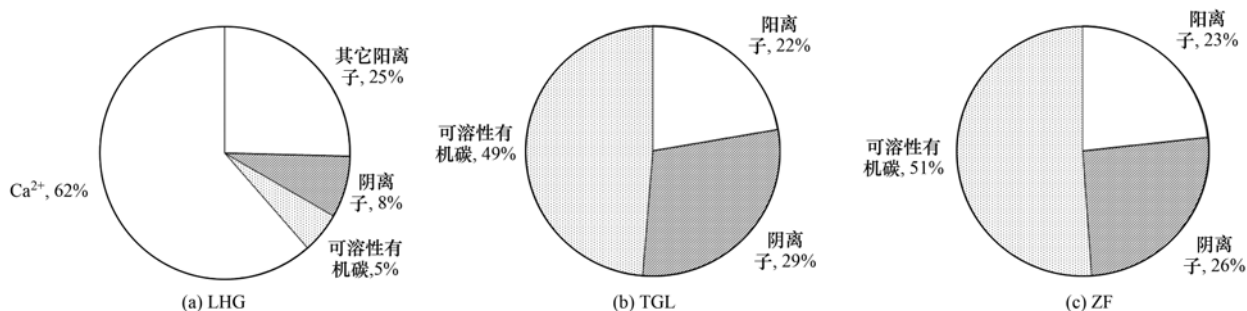


图 3 雪坑 DOC 与主要阴阳离子质量浓度比例

Fig. 3 Percentages of DOC and major ions of snowpits

2.2 青藏高原冰川区雪坑 DOC 来源分析

青藏高原冰川区雪坑中的主要离子来源已被广泛研究,并得出一些基本规律^[22~29]。比如, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 主要代表自然粉尘源, K^{+} 主要指示生物质燃烧, NH_4^{+} 主要表征农业生产过程中的释放, SO_4^{2-} 主要指示化石燃料燃烧, Cl^{-} 和 Na^{+} 代表海洋或盐湖颗粒来源。因而,可通过 DOC 与离子的关系来初步探讨其来源。LHG、TGL 及 ZF 雪坑 DOC 和主要离子质量浓度的相关性分析表明(表 2),LHG 雪坑 DOC 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 和 SO_4^{2-} 均呈显著正相关,ZF 雪坑 DOC 与 Ca^{2+} 和 K^{+} 也呈显著正相关,这一现象在 TGL 雪坑中表现的更为明显,表明位于青藏

高原内陆的 TGL 冰川雪坑 DOC 受自然源粉尘和人为源的共同影响,由于样品量较少,具体影响因素需要进一步采样和分析研究。为了进一步明确 LHG 和 ZF 雪坑 DOC 的来源,对这两个雪坑的 DOC 与主要离子质量浓度做主成分分析(PCA),见表 3。

通常,雪冰中 DOC 有多种来源,如一次有机气溶胶、二次有机气溶胶、大气粉尘和燃烧排放的有机气体等^[24]。PCA 分析结果表明,LHG 雪坑前 3 个荷载向量的累积方差贡献率占总方差的 88.43%,其中 PCA1 的方差贡献率占总方差的 64.79%, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 和 Na^{+} 在 PCA1 中的方差百分比比较大,而且在 PCA1 中 DOC 的方差百分比为

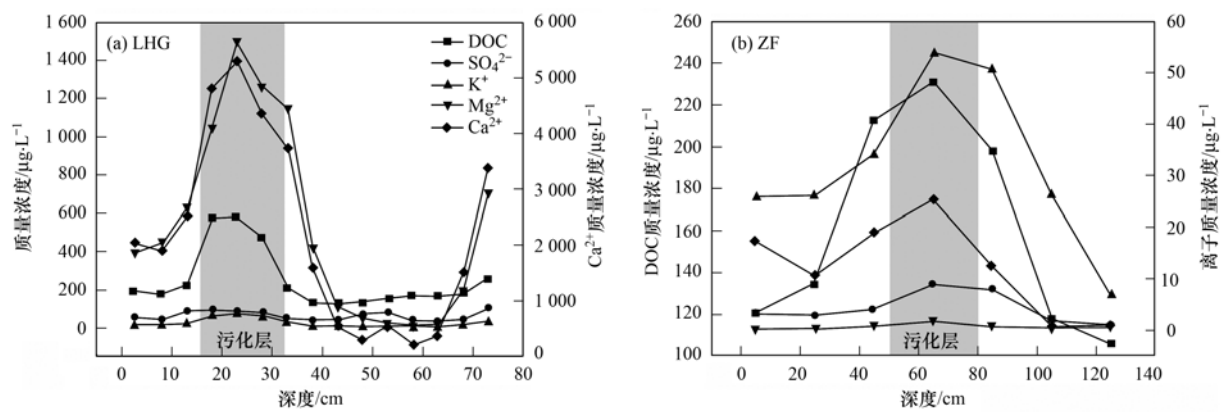


图4 LHG和ZF雪坑DOC与显著相关离子质量浓度随雪坑深度的变化

Fig. 4 Variations of DOC and some ions concentrations in the snowpits of LHG and ZF with depth

表2 研究区雪坑DOC与主要离子相关性分析¹⁾

Table 2 Correlation analysis of DOC and major ions at selected snowpits

相关系数	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
DOC _{LHG}	0.41	0.63 *	0.20	0.62 *	0.14	0.77 * *	0.84 * *	0.81 * *
DOC _{TGL}	0.94 * *	0.98 *	0.88 *	0.96 * *	0.84 *	0.96 * *	1.00 * *	0.96 * *
DOC _{ZF}	0.44	0.42	0.43	0.50	0.64	0.71 *	0.59	0.84 * *

1) * *表示在0.01水平显著相关; *表示在0.05水平显著相关

表3 青藏高原雪坑DOC与主要离子质量浓度PCA分析¹⁾

Table 3 Principal Component Analysis (PCA) of DOC and major ions concentrations at selected snowpits

指标	LHG			ZF		
	PCA1	PCA2	PCA3	PCA1	PCA2	PCA3
DOC	30.50	76.0	48.40	89.80	-9.40	33.60
Cl ⁻	95.20	19.60	0.20	44.20	83.20	32.70
SO ₄ ²⁻	78.50	36.60	-0.60	84.30	12.10	44.00
NO ₃ ⁻	17.50	87.50	-2.60	20.30	29.20	91.90
Na ⁺	92.80	23.70	21.70	57.40	79.70	15.00
NH ₄ ⁺	21.50	14.80	93.10	86.50	11.80	-37.80
K ⁺	31.60	88.30	19.80	86.70	37.50	-9.50
Mg ²⁺	60.50	62.40	16.90	93.90	18.90	-19.20
Ca ²⁺	88.50	24.90	24.60	90.20	7.00	12.80
合计	64.79	14.15	9.49	64.92	18.98	9.33

1) 合计为所有变量的方差百分比

30.50%, Ca²⁺和Mg²⁺主要表明自然源粉尘的影响^[25,27-29],而Cl⁻和Na⁺则反映盐湖颗粒的贡献^[18].因而,PCA1主要代表了DOC的自然粉尘来源. PCA2占总方差的14.15%,其中DOC、K⁺和NO₃⁻的方差百分比较大,K⁺是生物质燃烧的标志离子^[30],表明PCA2主要代表DOC的生物质燃烧来源. PCA3占总方差的9.49%,其中NH₄⁺和DOC的方差百分比较大,表明PCA3主要代表DOC的农业生产过程排放来源^[27].

ZF雪坑前3个荷载向量的累积方差贡献率占总方差的93.23%,其中PCA1的方差贡献率占总方

差的64.92%,Mg²⁺、Ca²⁺、DOC在PCA1中的方差百分比较大,表明PCA1主要代表DOC的自然粉尘来源^[25,27-29]. PCA2的方差贡献率占总方差的18.8%,其中Cl⁻和Na⁺所占方差百分比较大,DOC所占百分比为负值,表明海洋源在对ZF雪坑的DOC没有贡献^[28]. PCA3的方差贡献率占总方差的9.33%,其中NO₃⁻和DOC的方差百分比较大,表明DOC受来自南亚的人类活动及化石燃料燃烧等的影响^[16]. 珠峰毗邻大气污染严重的南亚,因而极易受到其排放的污染物的影响.

综上所述,位于青藏高原中部的TGL雪坑DOC

的来源主要有自然粉尘源和人为排放源, 由于其地处高原腹地, 自然源应该是占主导, 具体的影响因素还有待进一步研究; 距离人类活动区较近的 LHG 和 ZF 雪坑中 DOC 主要来源除自然粉尘外, 还可能在不同类型的人类活动的影响, 如生物质和化石燃料燃烧以及农业生产过程排放的影响。之前关于碳质气溶胶的研究也表明人类排放对上述冰川区大气的影响^[14,15]。

2.3 青藏高原冰川区雪坑碳沉降的估算

结合该区域已有研究^[19]对雪坑剖面的季节划分及本次采样中测得的 DOC 质量浓度和雪密度, 对 3 个雪坑的碳沉降通量进行估算。对于给定的雪坑, 碳沉降通量的估算是通过每层雪样 DOC 的质量浓度、雪层厚度和雪密度计算出每层中 DOC 的碳沉降通量, 将每层碳沉降通量叠加则得到雪坑的碳沉降通量。LHG、TGL 和 ZF 这 3 个雪坑的碳沉降通量估算值分别为 189.23、132.76 和 128.44 $\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$, 这与雪坑中其它成分如汞的沉降具有一致的空间特征^[19]。与我国北部城镇地区相比^[31], 青藏高原冰川区雪坑 DOC 的碳沉降远低于我国北部降水中 DOC 的碳沉降 $[1.4 \sim 2.7 \text{ g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}]$, 这表明青藏高原地区大气非常洁净, 受人类活动影响较小。尽管雪坑的碳沉降值较小, 但由于冰川区极为洁净的大气环境, 这些数据对高原冰川区碳循环的研究具有重要的意义, 并为以后开展其化学组成和光吸收特征等相关研究奠定基础。

3 结论

(1) 青藏高原冰川区 LHG、TGL 和 ZF 雪坑中 DOC 的质量浓度呈现从北到南依次减小的空间分布特点。

(2) 位于高原北部的 LHG 雪坑中 DOC 质量浓度远低于阴阳离子质量浓度, 其中阳离子占主导; 相应地, 位于高原中部和南部的 TGL 和 ZF 雪坑中 DOC 占主导地位, 说明青藏高原北部冰川区雪坑 DOC 受北方沙漠来源的粉尘影响较大。

(3) DOC 与主要离子的相关性和 PCA 分析结果表明: 总体上, LHG 和 ZF 雪坑 DOC 受自然粉尘影响较大, 同时也受生物质和化石燃料以及农业生产等人为排放的影响; TGL 雪坑 DOC 也受自然源和人为源的共同影响, 其中自然源占主导。

(4) LHG、TGL 和 ZF 这 3 个雪坑碳沉降通量分别为 189.23、132.76 和 128.44 $\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{a})^{-1}$, 这将

为以后青藏高原冰川区的碳循环及其它相关的研究提供重要的数据。

参考文献:

- [1] 张小曳. 中国大气气溶胶及其气候效应的研究[J]. 地球科学进展, 2007, 22(1): 12-16.
- [2] 闫才青, 郑玫, 远航. 大气棕色碳的研究进展与方向[J]. 环境科学, 2014, 35(11): 4404-4414.
- [3] 黄众思, 修光利, 蔡婧, 等. 大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中水溶性有机碳和类腐殖质碳的季节变化特征[J]. 环境科学学报, 2013, 33(10): 2664-2670.
- [4] 余学春, 贺克斌, 马永亮, 等. 北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 水溶性有机物污染特征[J]. 中国环境科学, 2004, 24(1): 53-57.
- [5] 许士玉, 胡敏. 气溶胶中的水溶性有机物研究进展[J]. 环境科学研究, 2000, 13(1): 50-53.
- [6] Jurado E, Jaward F, Lohmann R, *et al.* Wet deposition of persistent organic pollutants to the global oceans [J]. Environment Science & Technology, 2005, 39(8): 2426-2435.
- [7] Jurado E, Dachs J, Duarte C M, *et al.* Atmospheric deposition of organic and black carbon to the global oceans [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(34): 7931-7939.
- [8] Willey J D, Kieber R J, Eyman M S, *et al.* Rainwater dissolved organic carbon: concentrations and global flux [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2000, 14(1): 139-148.
- [9] Chen Y, Bond T C. Light absorption by organic carbon from wood combustion [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, 10(4): 1773-1787.
- [10] Kirillova E N, Andersson A, Han J, *et al.* Sources and light absorption of water-soluble organic carbon aerosols in the outflow from Northern China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2014, 14(3): 1413-1422.
- [11] Kieber R J, Peake B, Willey J D, *et al.* Dissolved organic carbon and organic acids in coastal New Zealand rainwater [J]. Atmospheric Environment, 2002, 36(21): 3557-3563.
- [12] 康世昌, 张强弓. 青藏高原大气污染科学考察与监测[J]. 自然杂志, 2010, 32(1): 13-18, 25.
- [13] 潘保田, 李吉均, 朱俊杰, 等. 青藏高原: 全球气候变化的驱动力与放大器——II. 青藏高原隆起的基本过程[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1995, 31(4): 160-167.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Xu J Z, Zhang Q, Li X Y, *et al.* Dissolved organic matter and inorganic ions in a Central Himalayan glacier—insights into chemical composition and atmospheric sources [J]. Environment Science & Technology, 2013, 47(12): 6181-6188.
- [17] Kang S C, Huang J, Xu Y W. Changes in ionic concentrations and $\delta^{18}\text{O}$ in the snowpack of Zhadang glacier, Nyainqentanglha mountain, southern Tibetan Plateau [J]. Annals of Glaciology,

- 2008, **49**(1): 127-134.
- [18] 崔晓庆, 任贾文, 秦翔, 等. 祁连山老虎沟 12 号冰川浅冰芯记录的气候环境信息[J]. 冰川冻土, 2012, **33**(6): 1251-1258.
- [19] Zhang Q G, Huang J, Wang F Y, *et al.* Mercury distribution and deposition in glacier snow over western China [J]. *Environment Science & Technology*, 2012, **46**(10): 5404-5413.
- [20] 董志文, 任贾文, 秦大河, 等. 祁连山老虎沟 12 号冰川积雪化学特征及环境意义[J]. 冰川冻土, 2013, **35**(2): 327-335.
- [21] Bonasoni P, Laj P, Marinoni A, *et al.* Atmospheric brown clouds in the Himalayas: first two years of continuous observations at the Nepal-climate observatory at pyramid (5 079 m) [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2010, **10**(2): 4823-4885.
- [22] Stubbins A, Hood E, Raymond P A, *et al.* Anthropogenic aerosols as a source of ancient dissolved organic matter in glaciers [J]. *Nature Geoscience*, 2012, **5**(3): 198-201.
- [23] Singer G A, Fasching C, Wilhelm L, *et al.* Biogeochemically diverse organic matter in Alpine glaciers and its downstream fate [J]. *Nature Geoscience*, 2012, **5**(10): 710-714.
- [24] Kirillova E N, Andersson A, Sheesley R J, *et al.* ^{13}C and ^{14}C based study of sources and atmospheric processing of water-soluble organic carbon (WSOC) in south Asian aerosols [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2013, **118**(2): 614-626.
- [25] 姚檀栋, 邬光剑, 蒲建辰, 等. 古里雅冰芯中钙离子与大气粉尘变化关系[J]. 科学通报, 2004, **49**(9): 888-892.
- [26] 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.
- [27] Kang S C, Mayewski P A, Qin D H, *et al.* Twentieth century increase of atmospheric ammonia recorded in Mount Everest ice core [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere* (1984-2012), 2002, **107**(D21): ACL 13-1-ACL 13-9.
- [28] 康世昌, 秦大河, 姚檀栋, 等. 喜马拉雅山中段北坡对流层中上部大气降水化学的高程分布[J]. 环境科学, 2001, **22**(2): 118-122.
- [29] 武小波, 李全莲, 王宁练, 等. 青藏高原冰川雪坑中离子浓度的区域特征及来源分析[J]. 环境科学, 2011, **32**(4): 971-975.
- [30] Szidat S, Jenk T M, Synal H A, *et al.* Contributions of fossil fuel, biomass-burning, and biogenic emissions to carbonaceous aerosols in Zurich as traced by ^{14}C [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 2006, **111**(D7): D07206.
- [31] Pan Y P, Wang Y S, Xin J Y, *et al.* Study on dissolved organic carbon in precipitation in Northern China [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(19): 2350-2357.

CONTENTS

Characterizing Beijing's Airborne Bacterial Communities in PM _{2.5} and PM ₁₀ Samples During Haze Pollution Episodes Using 16S rRNA Gene Analysis Method	WANG Bu-ying, LANG Ji-dong, ZHANG Li-na, <i>et al.</i> (2727)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Dustfall Trace Elements During Winter in Beijing	XIONG Qiu-lin, ZHAO Wen-ji, GUO Xiao-yu, <i>et al.</i> (2735)
Pollution Characteristics of Aldehydes and Ketones Compounds in the Exhaust of Beijing Typical Restaurants	CHENG Jing-chen, CUI Tong, HE Wan-qing, <i>et al.</i> (2743)
Emission Characteristics of Vehicle Exhaust in Beijing Based on Actual Traffic Flow Information	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2750)
Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Visibility in Summer in Pearl River Delta, China	YANG Yi-hong, QU Qun, LIU Sui-xin, <i>et al.</i> (2758)
Health Risk Assessment of Tunnel Workers Based on the Investigation and Analysis of Occupational Exposure to PM ₁₀	XIANG Hua-li, YANG Jun, QIU Zhen-zhen, <i>et al.</i> (2768)
Analysis on Emission Inventory and Temporal-Spatial Characteristics of Pollutants from Key Coal-Fired Stationary Sources in Jiangsu Province by On-Line Monitoring Data	ZHANG Ying-jie, KONG Shao-fei, TANG Li-li, <i>et al.</i> (2775)
Hydrogen and Oxygen Isotopic Compositions of Precipitation and Its Water Vapor Sources in Eastern Qaidam Basin	ZHU Jian-jia, CHEN Hui, GONG Guo-li (2784)
Distribution Characteristics of Sedimentary Pigments in the Changjiang Estuary and Zhe-Min Coast and Its Implications	LI Dong, YAO Peng, ZHAO Bin, <i>et al.</i> (2791)
Nutrients Input Characteristics of the Yangtze River and Wangyu River During the "Water Transfers on Lake Taihu from the Yangtze River"	PAN Xiao-xue, MA Ying-qun, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (2800)
Pollution Characteristics of Surface Runoff of Typical Town in Chongqing City	WANG Long-tao, DUAN Bing-zheng, ZHAO Jian-wei, <i>et al.</i> (2809)
Effect of Water and Sediment Regulation on the Transport of Particulate Organic Carbon in the Lower Yellow River	ZHANG Ting-ting, YAO Peng, WANG Jin-peng, <i>et al.</i> (2817)
Concentration and Source of Dissolved Organic Carbon in Snowpits of the Tibetan Plateau	YAN Fang-ping, KANG Shi-chang, CHEN Peng-fei, <i>et al.</i> (2827)
Variations of Inorganic Carbon and Its Impact Factors in Surface-Layer Waters in a Groundwater-Fed Reservoir in Karst Area, SW China	LI Jian-hong, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2833)
Modeling the Influencing Factors of Karstification and Karst Carbon Cycle in Laboratory	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, DUAN Yi-fan (2843)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of HCHs and DDTs in Surface Water Bodies in Xinxiang	FENG Jing-lan, YU Hao, LIU Shu-hui, <i>et al.</i> (2849)
Comparison Study of the Alkanes in Different Aquifer Medium Under Qingmuguan Underground System	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (2857)
Spatial Distribution Characteristics of Different Species Mercury in Water Body of Changshou Lake in Three Gorges Reservoir Region	BAI Wei-yang, ZHANG Cheng, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (2863)
Influence of Marine Aquaculture Around Coal Power Plant on Mercury Species Change in Aquatic Ecological Environment	LIANG Peng, WANG Yuan-na, YOU Qiong-zhi, <i>et al.</i> (2870)
Using $\delta^{34}\text{S}\text{-SO}_4^{2-}$ and $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ to Trace the Sources of Sulfur and Nitrate in Lihu Lake Underground Water, Guangxi, China	Li Rui, XIAO Qiong, LIU Wen, <i>et al.</i> (2877)
Ecological Effects of Algae Blooms Cluster: The Impact on Chlorophyll and Photosynthesis of the Water Hyacinth	LIU Guo-feng, HE Jun, YANG Yi-zhong, <i>et al.</i> (2887)
Influence of Natural Dissolved Organic Matter on the Passive Sampling Technique and Its Application	YU Shang-yun, ZHOU Yan-mei (2895)
Adhesion Force Analysis of Protein Fouling of PVDF Ultrafiltration Membrane Using Atomic Force Microscope	WANG Xu-dong, ZHOU Miao, MENG Xiao-rong, <i>et al.</i> (2900)
Influence of CNTs on Photodegradation of Salbutamol in Water Environment	WANG Qi, HAN Jia-rui, WEI Bo-fan, <i>et al.</i> (2906)
Preparation of $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$ and Catalytic Degradation of Oxytetracycline Under Solar Light Irradiation	AI Cui-ling, ZHOU Dan-dan, ZHANG Rong-rong, <i>et al.</i> (2911)
Nitrogen Release Performance of Sediments in Drainage Pipeline	CHEN Hong, ZHUO Qiong-fang, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (2918)
Analysis of Precipitation Formation in Biofilm CANON Reactor and Its Effect on Nitrogen Removal	FU Kun-ming, WANG Hui-fang, ZUO Zao-rong, <i>et al.</i> (2926)
Optimization of Energy Saving Measures with ABR-MBR Integrated Process	WU Peng, LU Shuang-jun, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2934)
Abundance and Community Composition of Ammonia-Oxidizing Archaea in Two Completely Autotrophic Nitrogen Removal over Nitrite Systems	GAO Jing-feng, LI Ting, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (2939)
Formation Mechanism of Aerobic Granular Sludge and Removal Efficiencies in Integrated ABR-CSTR Reactor	WU Kai-cheng, WU Peng, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2947)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Surface Soil of Pearl River Delta Economic Zone	DOU Lei, YANG Guo-yi (2954)
Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Farmland Soil in Du'an Autonomous County of Guangxi Zhuang Autonomous Region, China	WU Yang, YANG Jun, ZHOU Xiao-yong, <i>et al.</i> (2964)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Its Health Risk of Surface Dusts from Parks of Kaifeng, China	DUAN Hai-jing, CAI Xiao-qiang, RUAN Xin-ling, <i>et al.</i> (2972)
Responses of Soil and Plant ^{15}N Natural Abundance to Long-term N Addition in an N-Saturated <i>Pinus massoniana</i> Forest in Southwest China	LIU Wen-jing, KANG Rong-hua, ZHANG Ting, <i>et al.</i> (2981)
Latitudinal Changes in Plant Stoichiometric and Soil C, N, P Stoichiometry in Loess Plateau	LI Ting, DENG Qiang, YUAN Zhi-You, <i>et al.</i> (2988)
Open-top Chamber for <i>in situ</i> Research on Response of Mercury Enrichment in Rice to the Rising Gaseous Elemental Mercury in the Atmosphere	CHEN Jian, WANG Zhang-wei, ZHANG Xiao-shan, <i>et al.</i> (2997)
Influence of Uranium in <i>Pteris vittata</i> L. Inoculated by Arbuscular Mycorrhizal Fungus	ZHENG Wen-jun, WANG Ming-yuan (3004)
Impact on the Microbial Biomass and Metabolic Function of Carbon Source by Black Soil During Rice Cultivation	ZHAO Zhi-rui, CUI Bing-jian, HOU Yan-lin, <i>et al.</i> (3011)
Effect of Decomposing Products of Immobilized Carriers on Desorption of Pyrene in Contaminated Soil	TONG Dong-li, SHUANG Sheng-qing, LI Xiao-jun, <i>et al.</i> (3018)
Solidification/Stabilization of Chromite Ore Processing Residue (COPR) Using Zero-Valent Iron and Lime-Activated Ground Granulated Blast Furnace Slag	CHEN Zhong-lin, LI Jin-chunzi, WANG Bin-yuan, <i>et al.</i> (3026)
Stabilization of Cadmium Contaminated Soils by Ferric Ion Modified Attapulgite (Fe/ATP): Characterizations and Stabilization Mechanism	YANG Rong, LI Hong-bo, ZHOU Yong-li, <i>et al.</i> (3032)
Improving Agricultural Safety of Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by In Situ Bioremediation	JIAO Hai-hua, PAN Jian-gang, XU Sheng-jun, <i>et al.</i> (3038)
Competence of Cd Phytoremediation in Cd-OCDF Co-contaminated Soil Using <i>Mirabilis jalapa</i> L.	ZHANG Xing-li, ZOU Wei, ZHOU Qi-xing (3045)
Effects of Soil Moisture on Phytoremediation of As-Contaminated Soils Using As-Hyperaccumulator <i>Pteris vittata</i> L.	LIU Qiu-xin, YAN Xiu-lan, LIAO Xiao-yong, <i>et al.</i> (3056)
Effects of Phosphate Rock and Decomposed Rice Straw Application on Lead Immobilization in a Contaminated Soil	TANG Fan, HU Hong-qing, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3062)
Residue and Degradation of Roxarsone in the System of Soil-Vegetable	SHAO Ting, YAO Chun-xia, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (3068)
Acute Toxicity and Safety Assessment of Three Typical Organic Pollutants to Two Aquatic Organisms	YANG Yang, LI Ya-jie, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (3074)
Effects of Oil Pollutants on the Performance of Marine Benthonic Microbial Fuel Cells and Its Acceleration of Degradation	MENG Yao, FU Yu-bin, LIANG Sheng-kang, <i>et al.</i> (3080)
Microwave In-situ Regeneration of Cu-Mn-Ce/ZSM Catalyst Adsorbed Toluene and Distribution of Bed Temperature	HU Xue-jiao, BO Long-li, LIANG Xin-xin, <i>et al.</i> (3086)
Impact of Thermal Treatment on Biogas Production by Anaerobic Digestion of High-solid-content Swine Manure	HU Yu-ying, WU Jing, WANG Shi-feng, <i>et al.</i> (3094)
Impact of Phosphogypsum Wastes on the Wheat Growth and CO ₂ Emissions and Evaluation of Economic-environmental Benefit	LI Ji, WU Hong-sheng, GAO Zhi-qiu, <i>et al.</i> (3099)
Status Quo, Uncertainties and Trends Analysis of Environmental Risk Assessment for PFASs	HAO Xue-wen, LI Li, WANG Jie, <i>et al.</i> (3106)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2015年8月15日 第36卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 8 Aug. 15, 2015

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) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection 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 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, 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 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 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 (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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行