

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第12期

Vol.33 No.12

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

特别策划:再生水灌溉利用生态风险研究专题

序	陈卫平 (4069)
再生水灌溉利用的生态风险研究进展	陈卫平, 张炜铃, 潘能, 焦文涛 (4070)
绿地再生水灌溉土壤微生物量碳及酶活性效应研究	潘能, 侯振安, 陈卫平, 焦文涛, 彭驰, 刘文 (4081)
绿地再生水灌溉土壤盐度累积及风险分析	潘能, 陈卫平, 焦文涛, 赵忠明, 侯振安 (4088)
再生水灌溉对土壤性质及重金属垂直分布的影响	赵忠明, 陈卫平, 焦文涛, 王美娥 (4094)
模型模拟再生水灌溉对土壤水盐运动的影响	吕斯丹, 陈卫平, 王美娥 (4100)
模型模拟土壤性质和植被种类对再生水灌溉水盐运移的影响	吕斯丹, 陈卫平, 王美娥 (4108)
再生水灌溉农田土壤镉累积规律模拟研究	赵忠明, 陈卫平, 焦文涛, 王美娥 (4115)
再生水灌溉土壤人工合成麝香累积模型模拟	王美娥, 陈卫平, 焦文涛 (4121)
城市绿化草坪再生水灌溉对地下水水质影响研究	王巧环, 陈卫平, 王效科, 任玉芬, 张烨 (4127)
北京市再生水的公众认知度评估	张炜铃, 陈卫平, 焦文涛 (4133)

研究报告

北京地区臭氧时空分布特征的飞机探测研究	陈鹏飞, 张蕾, 权建农, 高扬, 黄梦宇 (4141)
世博会期间上海市大气挥发性有机物排放强度及污染源研究	王红丽, 陈长虹, 黄海英, 王倩, 陈宜然, 黄成, 李莉, 张钢锋, 陈明华, 楼晟荣, 乔利平 (4151)
贡嘎山本底站大气中 VOCs 的研究	张军科, 王跃思, 吴方堃, 孙杰 (4159)
区域大气环境风险源识别与危险性评估	张晓春, 陈卫平, 马春, 詹水芬, 焦文涛 (4167)
稻草烟中正构烷烃和正构脂肪酸的碳同位素	刘刚, 孙丽娜, 李久海, 徐慧 (4173)
汽油轿车 NEDC 循环超细颗粒物排放特性	胡志远, 李金, 谭丕强, 楼狄明 (4181)
城市道路绿化带不同植物叶片附尘对大气污染的磁学响应	隆茜, 周菊珍, 孟颖, 达良俊 (4188)
闽江口养殖塘水-大气界面温室气体通量日进程特征	杨平, 仝川, 何清华, 黄佳芳 (4194)
模拟增温对冬小麦-大豆轮作农田土壤呼吸的影响	刘艳, 陈书涛, 胡正华, 任景全, 沈小帅 (4205)
广西大石围天坑中多环芳烃的大气传输与分异	孔祥胜, 祁士华, 孙蓓, 黄保健 (4212)
松花江流域冰封期水体中多环芳烃的污染特征研究	马万里, 刘丽艳, 齐虹, 白杨, 沈吉敏, 陈忠林, 李一凡 (4220)
温州城市河流中多环芳烃的污染特征及其来源	周婕成, 陈振楼, 毕春娟, 吕金刚, 许世远, 潘琪 (4226)
温州城市河流河岸带土壤中 PAHs 的污染特征与来源	周婕成, 毕春娟, 陈振楼, 王璐, 许世远, 潘琪 (4237)
辽河水系沉积物中 PAHs 的分布特征及风险评估	武江越, 刘征涛, 周俊丽, 高富 (4244)
某炼油厂退役场地土壤与浅层地下水酚类污染特征研究	裴芳, 罗泽娇, 彭进进, 祁士华 (4251)
某大型焦化企业污染场地中多环芳烃空间分布的分异性特征	刘庚, 郭观林, 南锋, 魏文侠, 李发生, 毕如田 (4256)
太原市污灌区有机氯农药垂直分布特征及源解析	廖小平, 张彩香, 赵旭, 向青清, 李佳乐 (4263)
上海市崇明岛农田土壤中多环芳烃分布和生态风险评价	吕金刚, 毕春娟, 陈振楼, 周婕成, 韩景超 (4270)
近 50 年来深圳湾红树林湿地 Hg、Cu 累积及其生态危害评价	李瑞利, 柴民伟, 邱国玉, 贺蓓 (4276)
北运河源头区沙河水库沉积物重金属污染特征研究	张伟, 张洪, 单保庆 (4284)
太湖表层沉积物重金属赋存形态分析及污染特征	秦延文, 张雷, 郑丙辉, 曹伟 (4291)
典型季风型温冰川消融期融水化学日变化特征	朱国锋, 蒲焘, 何元庆, 王培震, 张建龙, 张宁宁, 辛惠娟 (4300)
螺-草水质净化系统氮素环境归趋的实验研究	周露洪, 谷孝鸿, 曾庆飞, 毛志刚, 高华梅, 孙明波 (4307)
固定化果胶酶抑制铜绿微囊藻生长研究	沈清清, 彭谦, 赖泳红, 纪开燕, 韩秀林 (4316)
采用膜污染指数评估天然有机物在低压超滤膜中的污染行为	肖萍, 肖峰, 赵锦辉, 秦潼, 王东升, 冯金荣, 许光 (4322)
水体中甲基汞光化学降解特征研究	孙荣国, 毛雯, 马明, 张成, 王定勇 (4329)
土霉素在乙酸水溶液中的臭氧氧化降解研究	李时银, 李小荣, 朱怡苹, 朱江鹏, 王国祥 (4335)
酰胺咪唑光降解效能与机制及其影响因素研究	陈超, 赵倩, 封莉, 张立秋 (4340)
利用 FeS 去除水中硝基苯的试验研究	王夏琳, 李睿华 (4346)
地下污水管线泄漏原位自动监测模拟实验研究	郭磊, 贾永刚, 付腾飞, 刘晓磊, 赵战坤 (4352)
表面活性剂改性沸石对水中酚类化合物吸附性能研究	谢杰, 王哲, 吴德意, 李春杰 (4361)
抗生素类制药废水厌氧消化产物急性毒性的检测	季军远, 邢雅娟, 郑平 (4367)
废砖块作为人工湿地填料的除磷能力研究	王振, 刘超翔, 李鹏宇, 董健, 刘琳, 朱葛夫 (4373)
基于生物沸石复合滤料的间歇式脱氮水处理	庆承松, 鲍韬, 陈天虎, 陈冬, 谢晶晶 (4380)
硝酸盐对厌氧生物膜和颗粒污泥的同时产甲烷反硝化性能影响研究	钟晨宇, 叶杰旭, 李若愚, 陈胜, 孙德智 (4387)
水平电场作用下活性污泥的脱水研究	季雪元, 王毅力, 冯晶 (4393)
多重环境因子对氟胺磺隆在土壤中降解的影响	宋宁慧, 单正军, 石利利, 郭敏, 许静, 孔德洋 (4400)
碱后处理对互花米草沼渣理化特性的影响研究	陈广银, 郑正, 常志州, 王海芹, 叶小梅 (4406)
含砷废渣高温烧结过程砷的矿物相结构变化与环境释放行为	王兴润, 农泽喜, 王琪 (4412)
国家大气污染物排放标准体系研究	江梅, 张国宁, 张明慧, 邹兰, 魏玉霞, 任春 (4417)
环境基准向环境标准转化的机制探讨	毕岑岑, 王铁宇, 吕永龙 (4422)
对“有毒重金属”实施 2 种总量控制监管方式的利害分析	傅国伟 (4428)
《环境科学》第 33 卷(2012 年)总目录	(4434)
《环境科学》征订启事(4099)	
《环境科学》征稿简则(4166)	
信息(4180, 4219, 4225, 4275)	
专辑征稿通知(4172)	

典型季风型温冰川消融期融水化学日变化特征

朱国锋^{1,2}, 蒲焘³, 何元庆^{2,3}, 王培震¹, 孔建龙², 张宁宁², 辛惠娟²

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730000; 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, 兰州 730000; 3. 兰州大学西部环境与气候变化研究院, 兰州 730000)

摘要: 分析了玉龙雪山白水1号冰川区2009年8月29日~9月3日4750 m处冰雪融水的pH、电导率、无机离子和 $\delta^{18}\text{O}$ 的化学特征, 结果表明, 消融期日尺度上pH值受气温变化影响较大. 碱性尘埃中的可溶盐溶解导致融水电导率增大. 一天中消融速率快时 $\delta^{18}\text{O}$ 值较低, 消融速率慢时 $\delta^{18}\text{O}$ 值较高. 受岩石岩性和海洋水汽影响, 研究区 Na^+ 、 K^+ 的平均浓度高于 Mg^{2+} 的平均浓度. 融水中阳离子主要来源于石灰岩风化, 属典型的碳酸盐溶滤水. 融水中无机离子的总含量随气温的变化而变化, 具有明显的周期性, 但是不同可溶性离子对气温变化所导致的消融速率响应幅度不一致. 局地岩石岩性、季风输送和人类活动是白水1号冰川融水中无机离子的主要来源.

关键词: 季风型温冰川; 白水1号冰川; 冰雪融水; $\delta^{18}\text{O}$; 无机离子

中图分类号: X131.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)12-4300-07

Chemical Composition and Daily Variation of Melt Water During Ablation Season in Monsoonal Temperate Glacier Region: A Case Study of Baishui Glacier No. 1

ZHU Guo-feng^{1,2}, PU Tao³, HE Yuan-qing^{2,3}, WANG Pei-zhen¹, KONG Jian-long², ZHANG Ning-ning², XIN Hui-juan²

(1. College of Geography and Environment Science of Northwest Normal University, Lanzhou 730000, China; 2. State Key Laboratory of Cryosphere Sciences, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3. Research School of Arid Environment and Climate Change, Lanzhou University, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Melt water samples collected continuously from 29 August to 3 September 2009 in the Baishui Glacier No. 1 at elevation of 4750 m were analyzed for pH, conductivity, $\delta^{18}\text{O}$ and inorganic ions. The results showed that the pH had obvious diurnal variations and was increased slightly by the influence of precipitation. The dissolution of alkaline soluble salts in the dust was the main reason for the increase of melt water conductivity; the value of $\delta^{18}\text{O}$ was relatively low in strong ablation period and high in slight ablation period. Different from other research areas, the concentrations of Na^+ , K^+ , which were influenced by lithological and marine water vapor, were higher than that of Mg^{2+} in the study area; HCO_3^- and Ca^{2+} accounted for more than 80% of total ions in snow and ice melt water, indicating that the ions mainly came from limestone and the melt water was a typical carbonate solution; The content of melt water had an obvious daily change with temperature change, but the response amplitudes were different; Monsoon transport, local rock lithology, human industrial and agricultural activities were the main sources of inorganic ions and the deciding factors of the ion composition in the Baishui Glacier No. 1.

Key words: monsoon temperate glacier; Baishui Glacier No. 1; melt water; $\delta^{18}\text{O}$; inorganic ions

全球变暖对冰川消融速度产生了强烈影响^[1-3]. 我国有较长时间尺度观测资料的19个冰川中18个出现了明显萎缩, 其中亚大陆型冰川和海洋型冰川区的9条冰川退缩幅度较大^[4], 高海拔地区冰雪融化所形成的径流是山区水资源的重要组成部分. 冰川区降水、积雪和冰体中稳定同位素和无机离子的特征是探究大气环流和研究不同人文与自然因素对水化学组成影响的有效手段^[5,6], 前人对季风型温冰川雪坑和降水的同位素、无机离子进行了研究^[7-11], 然而这些研究多是进行年际和季节对比分析, 缺乏日尺度上融水化学特征变化的研究, 融

水过程是高海拔冰雪水文过程中非常关键的一个环节, 开展微观尺度上冰川融水的水化学特征研究对于认识冰雪化学的尺度效应、海拔效应等具有重要意义, 同时有助于人们了解未来气候情景条件下流域水质的变化, 还可以为大气环境、高山生态环境、流域水文学等研究积累资料.

收稿日期: 2012-02-19; 修订日期: 2012-07-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41273010, 41271133, 41261104)

作者简介: 朱国锋(1983~), 男, 博士研究生, 研究方向为冰雪水文与水资源, E-mail: guofeng_zhu@yahoo.cn

1 研究区地理概况

玉龙雪山(北纬 $27^{\circ}10'$ ~ $27^{\circ}40'$ 、东经 $100^{\circ}10'$ ~ $100^{\circ}20'$) 位于横断山脉的南端,是欧亚大陆距赤道最近的海洋型冰川区,雨季温暖湿润,干季干旱少雨,多年(1951 ~ 2009 年)降水量在 684.1 ~ 1 213.3 mm 之间,降水量海拔垂直梯度变化较大. 分布有现代冰川 15 条,位于雪山东坡的白水 1 号冰川是本区最大的冰川(图 1),冰川区降水丰沛,年降水量 2 000 mm 左右,2009 年 10 月冰川末端海拔为 4 360 m,近 3 年(2007 ~ 2009 年)来平衡线处(4 850 m)的年平均气温均高于 -5°C ; 冰川温度在 $0.5 \sim -4^{\circ}\text{C}$ 之间,经常高于 -1°C .

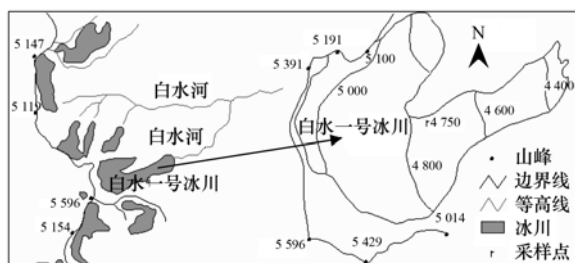


图 1 玉龙雪山与白水 1 号冰川

Fig. 1 Yulong snow mountain and Baishui Glacier No. 1

2 样品的采集、分析及其它数据来源

2.1 样品的采集与分析

以 2009 年 8 月 29 日 ~ 9 月 3 日在玉龙雪山白水 1 号冰川消融期采集了 96 组连续的融水样品,采样点如图 1(采样时间间隔为 2 h),融水样品直接装入事先清洗干净的敞口 120 mm 聚氯乙烯塑料瓶内,采样过程结束后样品运至位于云南省丽江市的中国科学院寒旱所玉龙雪山冰川与环境观测研究站冰柜内保存(2009 年 9 月 3 日 ~ 10 月 14 日),于 2009 年 10 月冷冻空运至中国科学院寒区旱区环境与工程研究所后存放于 -15°C 的低温室保存. 分析前两天将样品取出并在室温(约 23°C)下自然融化,使用上海雷磁 PHS-3B 精密 pH 酸度计测量 pH 值,误差范围 ± 0.01 ; 使用上海隆拓 DDS-308A 电导仪分析电导率,误差范围是 $\pm 0.1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; 使用 Mat-252 气体稳定同位素质谱仪测试 $\delta^{18}\text{O}$ 值,测量误差 $< \pm 0.2\%$. 使用 DX320 型离子色谱仪测定 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度; 使用 ICS1500 型离子色谱仪测定 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 浓度,其精度可达 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 级,测试数据误差 $< 5\%$,测试结果如表 1.

2.2 其它数据

降水量和气温数据来自于玉龙雪山冰川与环境观测站 4 800 m 气象站实测,冰川末端、平衡线和冰川温度数据为实测,冰川区降水的 pH、电导率、无机离子、 $\delta^{18}\text{O}$ 数据来自于对同期在白水 1 号冰川 4 700 ~ 4 800 m 收集的降水样品的实验分析. 定义一日内 02:00 ~ 翌日 09:00 为冰川封冻期,09:00 ~ 翌日 02:00 为冰川消融期.

3 分析与讨论

3.1 融水的 pH 值与电导率

白水 1 号冰川冰雪融水样品的 pH 值变化范围为 7.52 ~ 9.55,平均值为 8.21. 已有研究表明陆源气溶胶对积雪中酸的缓冲能力随着干湿沉降中 Ca^{2+} 浓度的增大而增强^[12], SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是表层新雪中主要的阴离子和致酸离子, Ca^{2+} 是主要的阳离子和中和酸性的离子,白水 1 号冰川冰雪融水中 $\text{Ca}^{2+}/(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ 当量浓度的比值平均为 164.94,说明 Ca^{2+} 能够有效中和 SO_4^{2-} 和 NO_3^- . 冰雪融化时,融水在集流过程中与岩石碎屑和冰川沉降物相互作用,造成 H^+ 损耗和融水 pH 值的上升. 消融期日尺度上融水 pH 值在不受降水直接影响的情况下,较高值一般出现在 09:00 ~ 11:00 的消融开始期,消融期日尺度上的冰川封冻期(02:00 ~ 09:00)大气干沉降中的碱性尘埃对 pH 值有一定的影响; 之后随着气温的上升,冰雪消融加剧, pH 值下降至稳定水平, 21:00 ~ 翌日 02:00,随着消融减弱, pH 值上升. 一般在 01:30 左右,气温低于 0°C 时,冰雪的消融过程停止,融水的集流过程随之停止. 受降水影响的时间段 pH 值略高于不受降水影响的时间段,但就降水本身来看,其 pH 值是低于冰雪融水的,同期收集到的降水 pH 值为 7.31,降水使冰川表面集水速度大大加快,携带和溶解碱性尘埃的能力大大提高,中和作用的增强使 pH 值整体升高. 虽然在降水影响下 pH 值波动较大,但是不会扰乱 pH 值随气温变化而变化的基本趋势. 相关性检验表明, pH 值与气温呈反相关关系($r = -0.31, P < 0.05$),与降水量呈正相关关系($r = 0.41, P < 0.05$),这与碱性金属离子对酸根离子的中和作用有关,气温上升,冰雪消融加剧时,融水运动速度加快,中和作用时间短, pH 值较低. 降水提高了冰川表面流溶解碱性尘埃的能力,使 pH 值升高.

冰雪融水样品的电导率介于 $6.9 \sim 23.6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,平均值为 $16.02 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; 同期所收集降水的电导率平均为 $3.10 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,电导率明显低于

表 1 pH、电导率、 $\delta^{18}\text{O}$ 及无机离子测试值/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 1 Test value of pH, conductivity, $\delta^{18}\text{O}$ and inorganic ions/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

时间(年-月-日 T 时)	pH	电导率/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	$\delta^{18}\text{O}$	Cl^{-}	NO_3^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	Na^{+}	K^{+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}
2009-09-29T15:00	7.82	12.69	-12.627 04	24	1	44	3 298	7	13	30	3 311
2009-09-29T17:00	7.79	13.1	-12.274 73	28	—	123	3 456	9	6	38	3 556
2009-09-29T19:00	7.66	15.04	-12.634 27	337	1	45	3 981	325	122	39	3 870
2009-09-29T21:00	7.88	19.22	-12.692 63	45	3	155	6 594	5	133	70	6 518
2009-09-29T23:00	7.9	18.22	-12.729 11	11	2	40	4 346	—	16	46	4 322
2009-09-30T00:00	7.92	17.72	-12.640 35	67	1	47	4 508	45	32	48	4 484
2009-09-30T02:00	7.8	17.67	-12.456 74	117	1	102	4 177	209	107	33	4 044
2009-09-30T09:00	8.69	20.8	-12.486 04	87	1	69	7 991	101	63	106	7 874
2009-09-30T11:00	7.96	8.27	-11.992 03	8	1	74	2 403	26	4	16	2 450
2009-09-30T13:00	8.31	8.26	-12.446 76	93	1	78	758	80	73	8	742
2009-09-30T15:00	8.27	6.9	-12.940 4	7	1	72	1 915	—	1	7	1 994
2009-09-30T17:00	8.19	8.66	-12.529 57	677	2	231	5 668	760	417	79	5 307
2009-09-30T19:00	8.42	14.05	-12.351 78	38	1	22	3 577	26	22	27	3 550
2009-09-30T21:00	8.41	15.56	-12.380 57	25	2	114	3 412	14	14	30	3 476
2009-09-30T23:00	8	14.26	-12.475 61	11	1	60	4 049	—	4	43	4 089
2009-09-31T01:00	8.37	14.19	-12.588 63	12	1	74	3 958	—	5	40	4 016
2009-09-31T09:00	8.49	18.42	-12.804 97	20	—	37	5 216	7	3	49	5 214
2009-09-31T11:00	7.97	16.99	-12.818 33	50	—	29	4 736	29	17	86	4 687
2009-09-31T13:00	7.57	13.44	-12.678 64	54	—	21	3 453	34	14	35	3 450
2009-09-31T15:00	7.67	13.03	-12.797 29	—	—	—	—	—	—	—	—
2009-09-31T17:00	7.7	13.67	-12.178 87	3	—	13	2 761	—	—	26	2 751
2009-09-31T19:00	7.52	14.05	-12.442 82	12	—	11	3 449	—	4	39	3 429
2009-09-31T21:00	8.15	14.21	-12.328 34	1 249	—	699	6 521	2 830	1 622	82	3 935
2009-09-31T23:00	8.35	15.35	-12.311 64	23	—	18	3 890	10	8	40	3 873
2009-10-01T01:00	8.71	17.68	-12.180 46	24	—	128	4 651	26	21	53	4 732
2009-10-01T09:00	8.45	19.8	-12.088 1	388	2	453	4 551	863	520	76	3 983
2009-10-01T11:00	9.55	16.42	-12.024 23	204	1	109	3 536	174	69	32	3 581
2009-10-01T13:00	8.18	13.75	-12.311 05	98	2	65	2 813	76	38	30	2 813
2009-10-01T15:00	8.07	11.65	-12.239 92	293	—	67	2 581	229	145	32	2 502
2009-10-01T17:00	8.15	10.86	-12.536 26	23	—	29	2 595	14	8	27	2 605
2009-10-01T19:00	7.91	10.9	-12.570 13	25	—	17	2 338	13	15	14	2 338
2009-10-01T21:00	8.53	16.3	-12.320 59	11	—	22	3 688	4	9	40	3 673
2009-10-01T23:00	8.87	18.5	-12.143 06	2	—	36	5 202	—	1	45	5 194
2009-10-02T00:00	8.82	18.94	-12.103 02	3	—	38	4 232	—	2	67	4 204
2009-10-02T02:00	9.27	17.54	-11.922 24	2	—	37	4 462	—	1	48	4 452
2009-10-02T08:00	8.07	22	-12.538 66	31	—	69	5 441	—	18	80	5 443
2009-10-02T10:00	8.37	16.14	-12.550 87	5	—	33	5 547	—	6	88	5 491
2009-10-02T12:00	8.29	12.34	-12.075 88	3	—	15	3 305	—	2	41	3 280
2009-10-02T14:00	8	14.91	-12.142 74	5	1	32	3 431	—	7	54	3 425
2009-10-02T16:00	7.62	14.62	-12.178 24	11	1	60	3 340	13	7	50	3 361
2009-10-02T18:00	7.94	13.6	-12.085 2	220	2	151	3 942	585	310	45	3 378
2009-10-02T20:00	7.71	18.12	-12.266 38	6	1	37	4 457	14	11	57	4 429
2009-10-02T22:00	7.9	17.01	-12.407 17	1	1	16	5 738	—	2	60	5 696
2009-10-03T02:00	7.86	18.25	-12.578 33	8	2	36	6 006	26	17	65	5 963
2009-10-03T08:00	8.42	21.3	-12.692 04	17	2	40	7 796	86	35	89	7 660
2009-10-03T10:00	8.12	15.3	-12.283 65	5	5	47	4 677	—	6	89	4 668
2009-10-03T12:00	7.96	15.53	-12.828 89	3	1	26	3 586	—	2	56	3 567

1) “—”表示缺测

融水. 融水的 pH 值和电导率呈正相关关系($r = 0.393, P < 0.01$) [图 2(b)], 因为融水呈碱性, pH 值越高, 说明溶解的碱性可溶性盐越多, 离子含量越大, 则 EC 越高, 也就是说, 使电导率增大的因素是碱性尘埃中的可溶盐.

日尺度上消融期的电导率在不受降水直接影响

的情况下, 其变化规律与 pH 值相似, 较高值一般出现在 09:00 ~ 11:00 的消融起始期, 这是由于冰川封冻期大气气溶胶沉降中的可溶离子被融水溶解所导致的, 之后随着气温上升, 冰雪消融增强, 电导率下降, 相关性分析发现电导率与气温呈反相关关系($r = -0.29, P < 0.05$). 在受降水影响的情况下, 电导

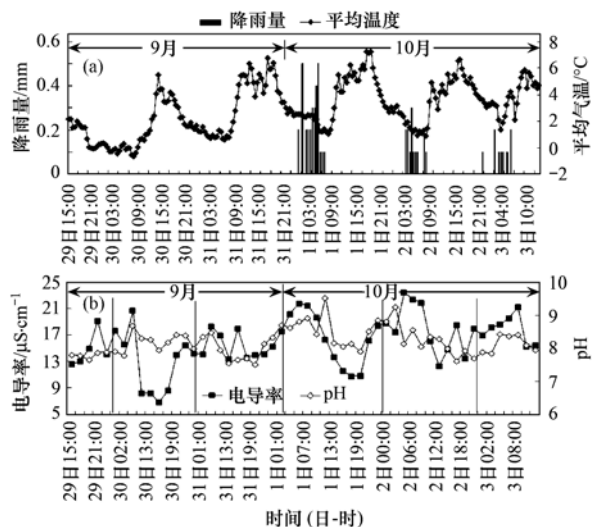


图2 白水1号冰川冰雪融水 pH 和电导率日变化规律

Fig. 2 Diurnal variations in pH and conductivity of ice-snow melt water in Baishui Glacier No. 1

率值整体有所升高,降水的扰动使融水降水混合水中碱性尘埃较多,电导率虽然波动较大,但是变化的基本趋势未被扰乱,相关性检验表明电导率与降水量没有明显的相关关系($r=0.16, P>0.01$).

3.2 稳定同位素的特征及变化规律

$\delta^{18}\text{O}$ 值随时间变化大致为消融开始时(08:00 ~ 12:00) $\delta^{18}\text{O}$ 值升高,随着消融强度的增加 $\delta^{18}\text{O}$ 值逐渐降低(图2和3),这与电导率、离子浓度的变化存在相同的变化规律,其原因主要是冰川水体稳定同位素的“海拔效应”,一日内消融首先开始于海拔较低的冰川区,而低海拔的冰川 $\delta^{18}\text{O}$ 值一般高于高海拔冰川区,而海拔越高,冰川中的 $\delta^{18}\text{O}$ 越低. 相关性检验发现 $\delta^{18}\text{O}$ 与同期平均气温不存在显著的相关关系($r=0.16, P>0.01$),据前人对月尺度上融水中 $\delta^{18}\text{O}$ 研究,气温与 $\delta^{18}\text{O}$ 变化高度相关^[13~16],可见在较短时间尺度上, $\delta^{18}\text{O}$ 含量的影响因素比较复杂,难以归纳出特定的规律. 与降水的关系表现为一次降雨过程后会伴随一个 $\delta^{18}\text{O}$ 的低值期, $\delta^{18}\text{O}$ 与单次降水事件的降水量存在负相关关系,采样期间降水事件分别发生在8月31日11:00~07:00、9月1日15:00~17:00和9月3日00:00~04:00,同期 $\delta^{18}\text{O}$ 值都相对较低(图3).

3.3 主要离子的特征及日变化

3.3.1 离子平衡

离子平衡是指溶液中阳离子电荷总和与阴离子电荷总和的平衡,理想状态是: $\sum_{\text{阳离子}} (\text{即 } \sum_{\text{Cat}}) = \sum_{\text{阴离子}} (\text{即 } \sum_{\text{An}})$. $\sum_{\text{Cat}} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] +$

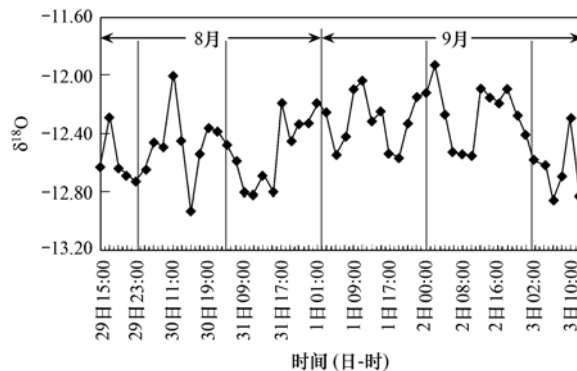


图3 白水1号冰川冰雪融水 $\delta^{18}\text{O}$ 逐日变化

Fig. 3 Daily variations of $\delta^{18}\text{O}$ in Baishui glacier No. 1

$[\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{NH}_4^+]$ 、 $\sum_{\text{An}} = [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-] + [\text{Cl}^-]$ + 其他弱酸离子,本研究中阳离子浓度为 $4\,610\, \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,不计弱酸根离子的情况下阴离子浓度为 $210\, \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,在弱碱性环境中 CO_3^{2-} 基本可以忽略^[17,18],梯度淋洗法检测发现有机酸含量很低,基本可以忽略,所以可以肯定主要是 HCO_3^- 与过剩阳离子平衡. 目前离子色谱测定法不能准确的测量 HCO_3^- 浓度,用酚酞和甲基橙双指示剂中和滴定法(GB 5750-2006《生活饮用水标准检验方法》)^[19]测定,发现存在大量 HCO_3^- ,根据离子平衡原理计算其平均浓度约为 $4\,400\, \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,与 Ca^{2+} 浓度属一个量级,该区冰雪融水属 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ 型水.

3.3.2 离子浓度特征及日变化

融水中主要可溶阴、阳离子浓度从高到底依次是: HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 和 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} . 阴离子中除 HCO_3^- 以外, SO_4^{2-} 含量较高,平均为 $100\, \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, Cl^- 次之,平均为 $90\, \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. 阳离子中 Ca^{2+} 的含量最高,平均为 $4\,190\, \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,其次分别为 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} ,同属一个量级. 与其它研究区不同的是,本研究区融水中 Na^+ 、 K^+ 的平均浓度高于 Mg^{2+} 的平均浓度,海洋源水汽形成的湿沉降是玉龙雪山冰川最主要的物质来源,因此海源离子 Na^+ 含量较高, K^+ 的含量偏高主要是由于当地基岩长石(钾长石、斜长石)和石英的含量较大,季风通道上的农业活动也贡献大量的 K^+ .

如图4,日尺度上阳离子总毫摩尔当量数中, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 所占比例在0~20%之间,变率较大,所占比重的峰值出现在13:00左右; Ca^{2+} 所占比例在79.3%~99.2%之间,所占比重峰值出现在15:00左右; Mg^{2+} 所占比例较低,最高值出现在09:00左右,值为1.30%. 阴离子毫摩尔当量数中, Cl^- 所占

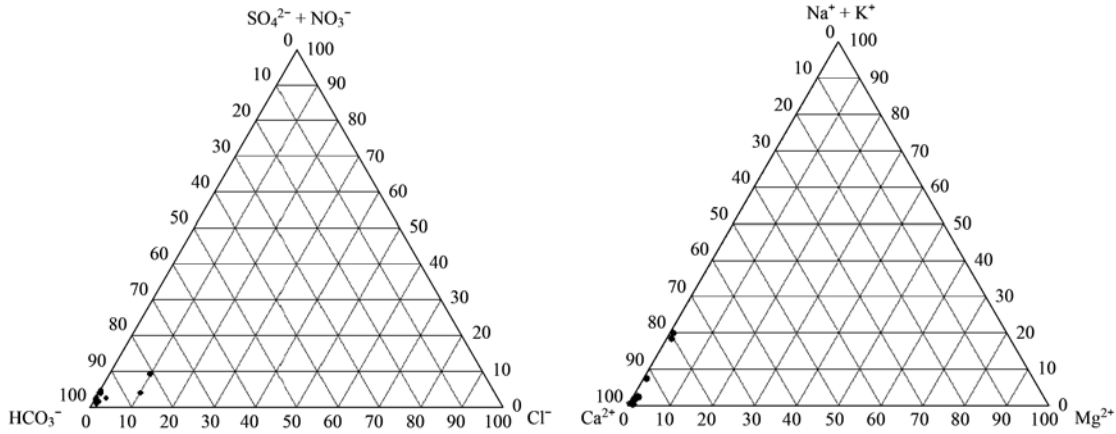


图 4 白水 1 号冰川融水化学组成

Fig. 4 Chemical composition of ice-snow melt water in Baishui Glacier No. 1

比例为 0.27% ~ 10.26%，最高值出现在 17:00 左右， HCO_3^- 比例在 80.98% ~ 98.19% 之间，最低值出现在中午 13:00 左右，最高值出现在下午 19:00 左右， $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ 所占比重在 0.77% ~ 9.08% 之间，最高值出现在中午 13:00 左右。

受陆源大气气溶胶影响，冰雪融水中可溶盐以碳酸盐为主，由于风化壳中 Ca^{2+} 含量远高于 Mg^{2+} ，因此融水中 Ca^{2+} 浓度大于 Mg^{2+} ^[20]，融水中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 含量占整体离子含量的 80% 以上，水化学类型为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ 型。一般在阳离子三角图上，蒸发盐矿物风化产物应落在 $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ 一端，石灰岩风化产物应落在 Ca^{2+} 一端，白云岩风化产物应落在石灰岩 $\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+}$ 线中间。从图 4 可以看到特征点都

落在 Ca^{2+} 一端，说明离子主要来源于石灰岩风化，冰雪融水属典型的碳酸盐溶滤水^[21]。

融水中化学物质的含量随气温的变化而变化，具有明显的日周期性，各种可溶性离子对气温变化所导致的不同消融速率响应幅度不一致， Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 对消融速率变化的响应最为显著， Na^+ 和 K^+ 对消融速率变化的响应最小，但是对降水的响应比较强烈， SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 对降水过程的响应也比较明显。对离子浓度变化过程进行比较发现，在整个采样过程中离子浓度随时间的变化存在基本一致的变化趋势，降水的影响在一定程度上会扰乱 Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 Cl^- 的变化趋势，图 5。

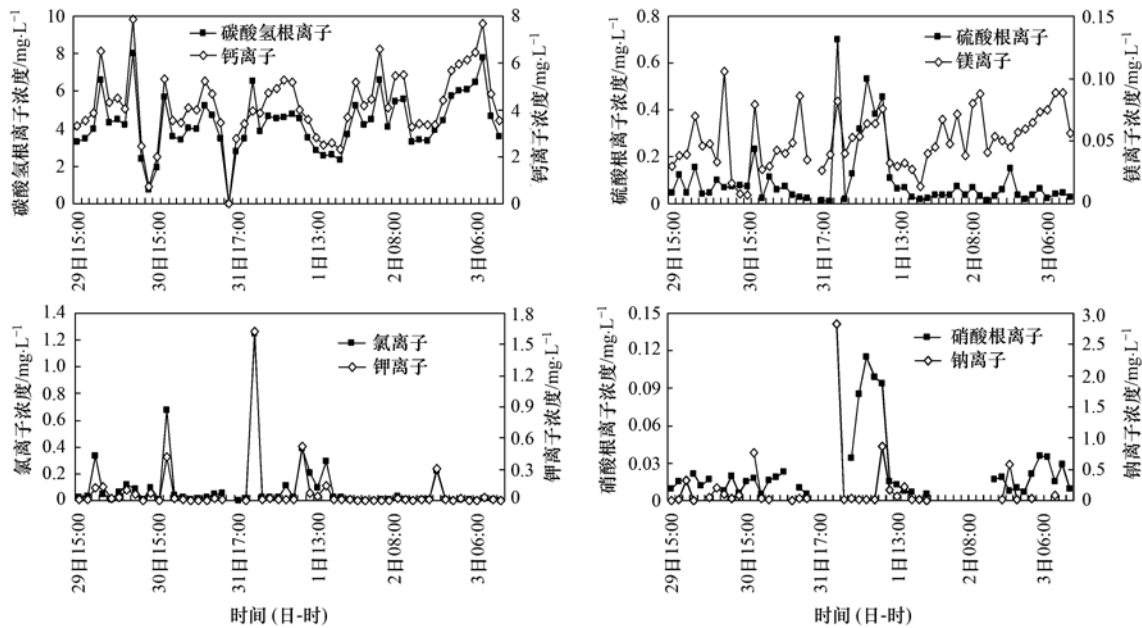


图 5 8 种常规无机离子浓度日变化

Fig. 5 Diurnal variations of main inorganic ion concentrations

3.3.3 冰雪融水离子来源分析

从表 2 可以看出, K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 在第一主成分上有较高载荷, 其载荷系数分别为 0.89、0.88、0.86、0.78, 占累计方差贡献率的 48.32%, 这 4 种离子中 K^+ 离子大部分来自于南亚和东亚季风通道上的农业活动和基岩, 高海拔冰川中的 Na^+ 和 Cl^- 主要来自于海洋水汽的输送, 高海拔冰川中的 SO_4^{2-} 主要来自于南亚和东亚季风通道上的工业活动和近源人类活动^[16]. 以上几种离子都与南亚和东亚的季风活动密切相关, 或直接来源于海盐, 或来源于季风通

道上的人类工农业活动. Ca^{2+} 、 HCO_3^- 、 Mg^{2+} 在第二主成分上载荷较高, 其载荷系数分别为 0.88、0.76、0.71, 占累计方差贡献率的 32.509%, 玉龙雪地区广泛分布的石灰岩是 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 、 Mg^{2+} 主要来源. NO_3^- 在第三主成分上载荷较高, 载荷系数为 0.92; NO_3^- 主要来自于南亚和东亚季风通道上季风的工业活动及近源人类活动^[16], 另外, 高海拔大气运动强烈, 闪电也会释放部分 NO_3^- ^[16]. 3 种主成分的解释率达到了 92.12%, 能够较好地解释玉龙雪山白水 1 号冰川冰雪融水中离子的来源.

表 2 白水 1 号冰川冰雪融水中无机离子的主成分分析

Table 2 Analysis of main control factors affecting the inorganic ion concentrations of ice-snow melt water in Baishui Glacier No. 1							
因子	初始特征值			不同离子	因子矩阵		
	得分	方差/%			1	2	3
1	3.865	48.316	48.316	Cl^-	0.859	-0.439	-0.002
2	2.601	32.509	80.825	NO_3^-	0.191	0.334	0.920
3	0.910	11.376	92.201	SO_4^{2-}	0.784	-0.240	0.095
4	0.397	4.963	97.163	HCO_3^-	0.601	0.764	-0.164
5	0.156	1.952	99.115	Na^+	0.880	-0.439	-0.032
6	0.067	0.841	99.956	K^+	0.887	-0.424	-0.017
7	0.003	0.044	100.000	Mg^{2+}	0.619	0.708	-0.074
8	2.36E-005	0.000	100.000	Ca^{2+}	0.413	0.884	-0.146

4 结论

(1) 冰雪融水在集流过程中受陆源碱性尘埃的强烈影响, pH 值远高于同期同区域降水; 碱性尘埃中的可溶盐溶解是融水样品电导率远大于同期降水的主要原因.

(2) 消融强盛期 $\delta^{18}O$ 值较低, 消融减缓期 $\delta^{18}O$ 值较高, 在时间尺度较短的情况下, 气温对冰雪融水中 $\delta^{18}O$ 的变化的影响不明显. 冰雪融水的 $\delta^{18}O$ 值整体上高于同期降水.

(3) 研究区融水中 Na^+ 、 K^+ 的平均浓度高于 Mg^{2+} 的平均浓度, 这与岩石岩性和海洋水汽影响有关. 融水中离子主要来源于石灰岩风化, 冰雪融水属典型的碳酸盐溶滤水.

(4) 冰雪融水中离子的含量具有明显的周期性, 各种可溶性离子对一天之中气温变化所导致的消融强度变化的响应幅度不一致, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 响应最为显著, Na^+ 和 K^+ 对气温变化的响应幅度最小.

参考文献:

[1] IPCC. IPCC fourth assessment report: climate change 2007[R]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007.

[2] Owen L A, Thackray G, Anderson R S, *et al.* Integrated research on mountain glaciers: Current status, priorities and

future prospects[J]. *Geomorphology*, 2009, **103**(2): 158-171.

[3] Bolch T, Buchroithner M, Pieczonka T, *et al.* Planimetric and volumetric glacier changes in the Khumbu Himal, Nepal, since 1962 using Corona, Landsat TM and ASTER data[J]. *Journal of Glaciology*, 2008, **54**(187): 592-600.

[4] Li X, Cheng G D, Jin H J, *et al.* Cryospheric change in China [J]. *Global and Planetary Change*, 2008, **62**(3-4): 210-218.

[5] Jenkins M D, James D I, Reider R G. Chemical composition of fresh snow on Mount Everest [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1987, **92**(D9): 10999-11002.

[6] 张强弓, 康世昌, 丛志远, 等. 珠穆朗玛峰极高海拔地区表层雪化学元素浓度特征[J]. *科学通报*, 2007, **52**(19), 2307-2311.

[7] 李宗省, 何元庆, 庞洪喜, 等. 我国典型季风海洋性冰川区雪坑中主要阴、阳离子的来源[J]. *地理学报*, 2007, **62**(9): 992-1001.

[8] He Y Q, Yao T D, Theakstone W H, *et al.* Recent climate significance of chemical signals in a shallow firn core from an alpine glacier in the South-Asia monsoon region[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, **20**(3): 289-296.

[9] He Y Q, Yao T D, Theakstone W H, *et al.* The irregular pattern of isotopic and ionic signals in the typical monsoon temperate-glacier area, Yulong Mountain, China [J]. *Annals of Glaciology*, 2002, **35**(1): 167-174.

[10] Pang H X, He Y Q, Lu A G, *et al.* Comparisons of stable isotopic fractionation in winter and summer at Baishui glacier No. 1 system, Mt Yulong, China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2006, **16**(3): 306-314.

- [11] 何元庆, 姚檀栋, 程国栋, 等. 玉龙山温冰川浅冰芯内气候环境信息的初步剖析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2001, **37**(4): 118-124.
- [12] Zhao D, Xiong J, Xu Y. Chemical characteristics of acid rain in China[J]. *Environmental Chemistry*, 1985, (Special Issue): 137-146.
- [13] 沈照理, 朱宛华, 钟佐荣. 水文地球化学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1993. 62-93.
- [14] 蒋辉. 环境水化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 67-85.
- [15] 武小波, 李全莲, 宋高举, 等. 祁连山七一冰川融水化学组成及演化特征[J]. 环境科学, 2008, **29**(3): 613-618.
- [16] 朱国锋, 何元庆, 蒲焘, 等. 夏季玉龙雪山地区不同水体常规阴离子特征及其来源分析[J]. 环境科学, 2011, **32**(3): 19-23.
- [17] Hopkinson C, English M C. Spatio-temporal variations of $\delta^{18}\text{O}$ isotope signatures of hydrological components within a glacierised mountainous basin [A]. In: *Proceedings of the 58th Eastern Snow Conference* [C]. Ottawa, Ontario, Canada, 2001.
- [18] Liu F J, Williams M W, Caine N. Source waters and flow paths in an alpine catchment, Colorado Front Range, United States [J]. *Water Resources Research*, 2004, **40**: W09401, doi: 10.1029/2004WR003076.
- [19] 中华人民共和国卫生部和中国国家标准化管理委员会. GB 5750-2006 生活饮用水标准检验方法[S]. 2007.
- [20] Stichler W, Rauert W, Martinec J. Environmental isotope studies of Alpine snowpack [J]. *Nordic Hydrology*, 1981, **12**(4-5): 297-308.
- [21] Taylor S, Feng X H, Kirchner J W, *et al.* Isotopic evolution of a seasonal snowpack and its melt [J]. *Water Resources Research*, 2001, **37**(3): 759-769.

CONTENTS

Preface	CHEN Wei-ping (4069)
Ecological Risks of Reclaimed Water Irrigation: A Review	CHEN Wei-ping, ZHANG Wei-ling, PAN Neng, <i>et al.</i> (4070)
Study on Soil Enzyme Activities and Microbial Biomass Carbon in Greenland Irrigated with Reclaimed Water	PAN Neng, HOU Zhen-an, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (4081)
Soil Salinity in Greenland Irrigated with Reclaimed Water and Risk Assessment	PAN Neng, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4088)
Effect of Reclaimed Water Irrigation on Soil Properties and Vertical Distribution of Heavy Metal	ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4094)
Simulation of Effect of Irrigation with Reclaimed Water on Soil Water-Salt Movement by ENVIRO-GRO Model	LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4100)
Simulation of Effects of Soil Properties and Plants on Soil Water-salt Movement with Reclaimed Water Irrigation by ENVIRO-GRO Model	LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4108)
Modeling the Cd Accumulation in Agricultural Soil Irrigated with Reclaimed Water	ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4115)
Model Simulation of the Transportation, Transformation and Accumulation of Synthetic Musk in Soils Input Through Recycle Water Irrigation	WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4121)
Impacts of Reclaimed Water Irrigation of Urban Lawn on Groundwater Quality	WANG Qiao-huan, CHEN Wei-ping, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (4127)
Public Awareness Assessment of Water Reuse in Beijing	ZHANG Wei-ling, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4133)
Temporal and Spatial Distribution of Ozone Concentration by Aircraft Sounding over Beijing	CHEN Peng-fei, ZHANG Qiang, QUAN Jian-nong, <i>et al.</i> (4141)
Emission Strength and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Shanghai During 2010 EXPO	WANG Hong-li, CHEN Chang-hong, HUANG Hai-ying, <i>et al.</i> (4151)
Study on Atmospheric VOCs in Gongga Mountain Base Station	ZHANG Jun-he, WANG Yue-si, WU Fang-kun, <i>et al.</i> (4159)
Regional Atmospheric Environment Risk Source Identification and Assessment	ZHANG Xiao-chun, CHEN Wei-ping, MA Chun, <i>et al.</i> (4167)
Carbon Isotopic Compositions of <i>n</i> -Alkanes and <i>n</i> -Alkanoic Acids in the Smoke from Combustion of Rice Straw	LIU Gang, SUN Li-na, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (4173)
Research on NEDC Ultrafine Particle Emission Characters of a Port Fuel Injection Gasoline Car	HU Zhi-yuan, LI Jin, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (4181)
Magnetic Response of Street Tree Leaves to Particulate Pollution in Shanghai	LONG Qian, ZHOU Ju-zhen, MENG Jie, <i>et al.</i> (4188)
Diurnal Variations of Greenhouse Gas Fluxes at the Water-Air Interface of Aquaculture Ponds in the Min River Estuary	YANG Ping, TONG Chuan, HE Qing-hua, <i>et al.</i> (4194)
Effects of Simulated Warming on Soil Respiration in a Cropland Under Winter Wheat-Soybean Rotation	LIU Yan, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (4205)
Transport and Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air from Dashiwei Karst Sinkholes in Guangxi, China	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, SUN Qian, <i>et al.</i> (4212)
Pollution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water of Songhua River Basin During the Icebound Season	MA Wan-li, LIU Li-yan, QI Hong, <i>et al.</i> (4220)
Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Rivers of Wenzhou City	ZHOU Jie-cheng, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan, <i>et al.</i> (4226)
Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Riparian Soils Along Urban Rivers of Wenzhou City	ZHOU Jie-cheng, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (4237)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Partial Surface Sediments of Liaohe River	WU Jiang-yue, LIU Zheng-tao, ZHOU Jun-li, <i>et al.</i> (4244)
Phenols Pollutants in Soil and Shallow Groundwater of a Retired Refinery Site	PEI Fang, LUO Ze-jiao, PENG Jin-jin, <i>et al.</i> (4251)
Heterogeneous Characteristic of PAHs' Spatial Distribution in a Large Coking Site of China	LIU Geng, GUO Guan-lin, NAN Feng, <i>et al.</i> (4256)
Vertical Distribution and Source Analysis of Organochlorine Pesticides in Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LIAO Xiao-ping, ZHANG Cai-xiang, ZHAO Xu, <i>et al.</i> (4263)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soil of the Chongming Island in Shanghai	LÜ Jin-gang, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (4270)
Mercury and Copper Accumulation During Last Fifty Years and Their Potential Ecological Risk Assessment in Sediment of Mangrove Wetland of Shenzhen, China	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (4276)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in the Sediments from Shahe Reservoir, the Upper Reach of the North Canal River	ZHANG Wei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (4284)
Speciation and Pollution Characteristics of Heavy Metals in the Sediment of Taihu Lake	QIN Yan-wen, ZHANG Lei, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (4291)
Chemical Composition and Daily Variation of Melt Water During Ablation Season in Monsoonal Temperate Glacier Region: A Case Study of Baishui Glacier No. 1	ZHU Guo-feng, PU Tao, HE Yuan-qing, <i>et al.</i> (4300)
Experimental Study on the Environmental Fate of Nitrogen in Snail-Macrophyte Ecosystem for Water Purification	ZHOU Lu-hong, GU Xiao-hong, ZENG Qing-fei, <i>et al.</i> (4307)
Growth Inhibition Effect of Immobilized Pectinase on <i>Microcystis aeruginosa</i>	SHEN Qing-qing, PENG Qian, LAI Yong-hong, <i>et al.</i> (4316)
A Novel Approach of Using Fouling Index to Evaluate NOM Fouling Behavior During Low Pressure Ultrafiltration Process	XIAO Ping, XIAO Feng, ZHAO Jing-hui, <i>et al.</i> (4322)
Characteristics of Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	SUN Rong-guo, MAO Wen, MA Ming, <i>et al.</i> (4329)
Degradation of Oxytetracycline with Ozonation in Acetic Acid Solvent	LI Shi-yin, LI Xiao-rong, ZHU Yi-ping, <i>et al.</i> (4335)
Photodegradation Performance and Mechanisms of Carbamazepine and Its Impact Factors	CHEN Chao, ZHAO Qian, FENG Li, <i>et al.</i> (4340)
Investigation of Nitrobenzene Removal by Iron Sulfide (FeS)	WANG Xia-lin, LI Rui-hua (4346)
Experimental Research on <i>In-Situ</i> Auto-Monitoring for Underground Sewage Pipeline Leakage	GUO Lei, JIA Yong-gang, FU Teng-fei, <i>et al.</i> (4352)
Adsorption of Phenol Chemicals by Surfactant-Modified Zeolites	XIE Jie, WANG Zhe, WU De-yi, <i>et al.</i> (4361)
Acute Toxicity of Antibiotics and Anaerobic Digestion Intermediates in Pharmaceutical Wastewaters	JI Jun-yuan, XING Ya-juan, ZHENG Ping (4367)
Study on Phosphorus Removal Capability of Constructed Wetlands Filled with Broken Bricks	WANG Zhen, LIU Chao-xiang, LI Peng-yu, <i>et al.</i> (4373)
Denitrification Water Treatment with Zeolite Composite Filter by Intermittent Operation	QING Cheng-song, BAO Tao, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (4380)
Influence of Nitrate on the Simultaneous Methanogenesis and Denitrification Reaction of Anaerobic Biofilm and Granular Sludge	ZHONG Chen-yu, YE Jie-xu, LI Ruoyu, <i>et al.</i> (4387)
Study on Dewatering of Activated Sludge Under Applied Electric Field	JI Xue-yuan, WANG Yi-li, FENG Jing (4393)
Effects of Multiple Environmental Factors on Trifluorsulfuron-methyl Degradation in Soils	SONG Ning-hui, SHAN Zheng-jun, SHI Li-li, <i>et al.</i> (4400)
Effect of Alkaline Post-Treatment on Physicochemical Property of Digested <i>Spartina alterniflora</i>	CHEN Guang-yin, ZHENG Zheng, CHANG Zhi-zhou, <i>et al.</i> (4406)
Structural Changes in Mineral Phases and Environmental Release Behavior of Arsenic During Sintering of Arsenic-containing Waste	WANG Xing-run, NONG Ze-xi, WANG Qi (4412)
Study on Emission Standard System of Air Pollutants	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZHANG Ming-hui, <i>et al.</i> (4417)
Mechanism for Transformation of Environmental Criteria into Environmental Standards in China	BI Cen-cen, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long (4422)
Effect Analysis on the Two Total Load Control Methods for Poisonous Heavy Metals	FU Guo-wei (4428)

《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12月15日 33卷 第12期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 12 Dec. 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) 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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行