

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第3期

Vol.39 No.3

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角典型站点冬季大气 PM_{2.5} 中 OC、EC 污染特征 康晖, 朱彬, 王红磊, 施双双 (961)

南京北郊能见度变化中二次无机盐消光的重要作用 于超, 于兴娜, 赵天良, 张蕾, 马国煦, 王咏薇 (972)

常州夏冬季 PM_{2.5} 中无机组分昼夜变化特征与来源解析 刘佳澍, 顾远, 马帅帅, 苏亚兰, 叶招莲 (980)

天津市春季道路降尘 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中的元素特征 王士宝, 姬亚芹, 李树立, 张伟, 张蕾 (990)

北京、新乡夏季大气颗粒物中重金属的粒径分布及人体健康风险评价 张鑫, 赵小曼, 孟雪洁, 王小颖, 杨帅, 许骜鹏, 王书亭, 谷超, 王梦蕾, 任浩, 张子洋, 闫广轩, 曹治国, 王跃思 (997)

山西省武乡县城大气 PM_{2.5} 痕量重金属的生态和健康风险分析 郭墨霞, 耿红, 张晋宏, 周欢, 彭妍, 翟帅莹, 李金磊, 陈雨杉 (1004)

隧道中机动车排放颗粒物及无机元素特征 李凤华, 张衍杰, 张静, 袁远, 吴琳, 毛洪钧 (1014)

河南省 2013 年大气氨排放清单建立及分布特征 王琛, 尹沙沙, 于世杰, 卫军华, 谷幸珂, 官密秘, 张瑞芹 (1023)

城市道路行道树池裸地扬尘排放特征 李贝贝, 秦建平, 祁丽荣, 杨涛, 曲松, 石爱军, 黄玉虎 (1031)

DOC 和 CDPF 对柴油公交车颗粒物组分影响 楼狄明, 耿小雨, 宋博, 谭丕强, 胡志远, 刘继跃 (1040)

南水北调中线工程总干渠河南段原水中消毒副产物前体物变化规律 黄飘逸, 徐斌, 郭东良 (1046)

广州市流溪河水体中 6 种内分泌干扰素时空分布特征与环境风险 樊静静, 王赛, 唐金鹏, 戴玉女, 王林, 龙胜兴, 何文祥, 刘帅磊, 王佳希, 杨扬 (1053)

西藏拉萨河流域河水主要离子化学特征及来源 张清华, 孙平安, 何师意, 文化, 刘明隆, 于爽 (1065)

太子河下游河流硝酸盐来源及其迁移转化过程 李艳利, 杨梓睿, 尹希杰, 孙伟 (1076)

海南岛北部海湾沉积物重金属来源、分布主控因素及生态风险评价 曾维特, 杨永鹏, 张东强, 刘兵, 张航飞, 吴多誉, 王晓林 (1085)

天津农田重金属污染特征分析及降雨沥浸影响 许萌萌, 刘爱凤, 师荣光, 蓝靖, 田永, 赵宗山 (1095)

太湖出入湖河道与湖体水质季节差异分析 查慧铭, 朱梦圆, 朱广伟, 杨周生, 许海, 沈睿杰, 钟春妮 (1102)

春季敏感时期三峡水库典型支流沉积物-水界面氨释放特性 李欣, 宋林旭, 纪道斌, 刘德富, 苏青青, 吕林鹏, 王雄, 黄亚男, 吴庆 (1113)

不同湖泊入湖河流沉积物可转化态氮的空间分布及其影响因素 周睿, 袁旭音, Marip Ja Bawk, 于辉辉, 章琪, 唐豆豆 (1122)

水文气象因素对东南山区水库硅藻异常增殖的影响 孙祥, 朱广伟, 笄文怡, 余茂蕾, 杨文斌, 朱梦圆, 许海, 国超旋, 余丽 (1129)

深水型水库热分层诱导水质及真菌种群结构垂向演替 商潘路, 陈胜男, 黄廷林, 张海涵, 康鹏亮, 王跃, 钊珍芳, 刘彤彤 (1141)

太湖竺山湾春季浮游细菌群落结构及影响因素 薛银刚, 刘菲, 孙萌, 江晓栋, 耿金菊, 滕加泉, 谢文理, 张皓, 陈心一 (1151)

分层型水源水库沉积物需氧量特性 苏露, 黄廷林, 李楠, 张海涵, 文刚, 李扬, 陈家炜, 王晓江 (1159)

污水氮浓度和 NH₄⁺/NO₃⁻ 比对粉绿狐尾藻去氮能力和植物体氮组分的影响 马永飞, 杨小珍, 赵小虎, 胡承孝, 谭启玲, 孙学成, 吴金水 (1167)

水体氮营养负荷对苦草净化能力和光合荧光特性的影响 周裔文, 许晓光, 韩睿明, 周晓红, 冯德友, 李致春, 王国祥 (1180)

化学预氧化耦合生物锰氧化对水中有机物的去除 菅之舆, 常洋洋, 王立新, 梁金松, 柏耀辉 (1188)

铜铁氧体法处理模拟染料废水 韩志勇, 韩昆, 郝昊天, 于建伟, 石宝友, 庄媛, 孔岩 (1195)

草酸根对 α-FeOOH 多相 UV-Fenton 催化能力的增效实验 苗笑增, 戴慧旺, 陈建新, 蒋柏泉, 龚烟 (1202)

生物基纳米 HZO 杂化材料的研制及其除磷特性 邱慧, 秦智峰, 刘凤玲, 梁晨, 宋明霞, 许正文, 管益东 (1212)

铁锰氧化物/生物炭复合材料对水中硝酸根的吸附特性 郑晓青, 韦安磊, 张一璇, 史良干, 张潇 (1220)

PAAm/HACC 半互穿网络水凝胶的制备及其对水中腐殖酸的吸附性能 刘泽瑛, 周少奇, 马福臻 (1233)

二氧化钛对地下水中砷硅的吸附及再生回用 马文静, 阎莉, 张建锋 (1241)

一体式絮体-超滤工艺去除腐殖酸效能与机制 李文江, 于莉芳, 苗瑞, 马百文 (1248)

中国城镇污水处理厂温室气体排放时空分布特征 闫旭, 邱德志, 郭东丽, 齐星昊, 郑仕侃, 程轲, 孙剑辉, 刘建伟 (1256)

硝化耦合 CANON 的铁锰生物净化工艺启动与运行 李冬, 曹瑞华, 杨航, 王艳菊, 吕赛赛, 张杰 (1264)

纤维载体的生物膜 CANON 反应器的启动特性 顾澄伟, 陈方敏, 李祥, 黄勇, 尤星怡, 金润, 张文静, 董石语 (1272)

DO/NH₄⁺-N 实现短程硝化过程中生物膜特性 赵青, 卞伟, 李军, 王文啸, 孙艺齐, 梁东博, 张舒燕 (1278)

AUSB 中置曝气对 CANON 颗粒污泥工艺的影响 成朔, 李冬, 张杰, 李帅, 曹瑞华, 吕赛赛 (1286)

有机碳源对启动及运行 CANON 颗粒污泥工艺的影响 李冬, 王艳菊, 吕育锋, 曹瑞华, 李帅, 张杰 (1294)

中试一体式部分亚硝化-厌氧氨氧化反应器的启动与区域特性 周正, 王凡, 林兴, 董石语, 朱强, 李祥, 黄勇 (1301)

硝化液回流比对 ABR-MBR 工艺反硝化除磷效能的影响 吕亮, 尤雯, 张敏, 吴鹏, 沈耀良 (1309)

磁性纳米铁对厌氧颗粒污泥特性及其微生物群落的影响 宿程远, 郑鹏, 卢宇翔, 袁秋红, 赵力剑, 廖黎明, 黄智 (1316)

好氧颗粒污泥系统中溶解性微生物代谢产物的特征及主要组分 杨丹, 刘东方, 杜丽琼, 黄文力 (1325)

环丙沙星对膜生物反应器中微生物群落及抗性基因的影响 戴琦, 刘锐, 梁玉婷, 舒小铭, 徐灿灿, 陈昌军 (1333)

CEM-UF 组合膜-硝化/反硝化系统处理低 C/N 废水及种群结构分析 邢金良, 张岩, 陈昌明, 张博康, 郭威, 马翔山 (1342)

磷对混养反硝化污泥活性和微生物群落结构的影响 王佩琦, 周伟丽, 何圣兵, 黄荣振 (1350)

甲烷厌氧氧化协同硝酸盐还原菌群驯化及其群落特征 薛松, 张梦竹, 李琳, 刘俊新 (1357)

城市尾水排海过程中微生物及主要致病菌扩散规律 徐爱玲, 牛成洁, 宋志文, 郎秀璐, 郭明月 (1365)

氧四环素的微生物燃料电池处理及微生物群落 严伟富, 肖勇, 王淑华, 丁蕊, 赵峰 (1379)

近 30 年余干县耕地土壤碳氮比时空变异特征及其影响因素 江叶枫, 钟珊, 李婕, 王澜珂, 郭熙 (1386)

中宁枸杞土壤碳组分分布特征及其空间异质性 王幼奇, 赵云鹏, 白一茹, 张兴 (1396)

滨海滩涂围垦区不同围垦年限土壤酶活性变化及其与理化性质关系 解雪峰, 濮励珊, 王琪琪, 朱明, 王小涵 (1404)

青藏高原中东部表层土壤中多环芳烃的分布特征、来源及生态风险评价 周雯雯, 李军, 胡健, 朱兆洲 (1413)

基于 UNMIX 模型的矿区周边农田土壤重金属源解析 卢鑫, 胡文友, 黄标, 李元, 祖艳群, 湛方栋, 邝荣禧 (1421)

铁锰双金属材料在不同 pH 条件下对土壤 As 和重金属的稳定化作用 费琦, 阎秀兰, 李永华 (1430)

我国 3 个城市人体血清中新型溴代阻燃剂水平趋势及分布特征 王庆华, 袁浩东, 金军, 李鹏, 马玉龙, 王英 (1438)

《环境科学》征订启事(979) 《环境科学》征稿简则(996) 信息(1022, 1064, 1293)

西藏拉萨河流域河水主要离子化学特征及来源

张清华^{1,2}, 孙平安², 何师意², 文化³, 刘明隆³, 于爽^{2*}

(1. 桂林理工大学环境科学与工程学院, 桂林 541004; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 国土资源部/广西岩溶动力学重点实验室, 桂林 541004; 3. 拉萨水文实验站, 拉萨 851400)

摘要: 为掌握拉萨河流域水化学的时空变化特征、来源以及主要控制因子, 于 2014 年 8 月~2015 年 7 月在拉萨河拉萨水文站断面定点采集水样, 并对其主要的化学离子进行分析. 结果表明: HCO_3^- 是主要的阴离子, 占离子总量的 68.73%, SO_4^{2-} 含量其次, Ca^{2+} 是主要的阳离子, 占离子总量的 67.75%, 其次为 Mg^{2+} , 拉萨河流域四季的 pH 值介于 8.31~8.90, 平均值为 8.59, 整体偏碱性, 其中夏季的 pH 平均值最高, 主要是因为水生植物光合作用以及浮游植物生长的影响. EC 值介于 155.0~257.0 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 之间, 平均值为 210.5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, TDS 均值为 181.35 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 高于世界河流平均值. 这是因为高原构造抬升活动频繁, 造成岩石机械风化加强, 从而加速岩石溶解. 拉萨河流域的主要离子浓度大小表现为冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季的变化规律. 离子来源分析表明, HCO_3^- 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 主要来源于碳酸盐岩的风化, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 离子主要来源于大气和岩石风化. 此外, 由于降雨和冰川融水的稀释作用, 河流中的主要离子浓度与河流径流量呈现负相关的关系.

关键词: 拉萨河; 水化学; 碳酸盐岩风化; 离子来源; 西藏

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)03-1065-11 DOI: 10.13227/j.hjxk.201706239

Fate and Origin of Major Ions in River Water in the Lhasa River Basin, Tibet

ZHANG Qing-hua^{1,2}, SUN Ping-an², HE Shi-yi², WEN Hua³, LIU Ming-long³, YU Shi^{2*}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Key Laboratory of Karst Dynamics, Ministry of Land and Resources/Guangxi, Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China; 3. Lhasa Hydrologic Experiment Station, Lhasa 851400, China)

Abstract: In order to understand the temporal and spatial variations of major ions in water and their sources in the Lhasa River Basin, water samples were collected monthly at the hydrological station in the Lhasa River from August 2014 to July. The results show that HCO_3^- is the dominant anion in the water of the Lhasa River, which accounts for 68.73% of the anions, followed by SO_4^{2-} . Ca^{2+} is the dominant cation, which accounts for 67.75% of the cations, followed by Mg^{2+} . The pH values of the river water range between 8.31 and 8.90, with a mean of 8.59 throughout the year, generally showing alkaline water. The highest pH values occur in summer, which is probably due to the photosynthesis of aquatic plants and the growth of phytoplankton. Electrical conductivity (EC) varies between 155.0 and 257.0 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, with a mean of 210.5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Because of the frequent uplift of the Tibetan Plateau that enhanced the mechanical weathering of rocks and mineral dissolution, the total dissolved solid (TDS) concentration, at an average of 181.35 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, is significantly higher than the average value of rivers around the world. The Lhasa River is recharged by surface runoff, so the concentrations of major ions in water are higher during winter, but lower in summer. An ion source analysis indicates that Ca^{2+} , Mg^{2+} , and HCO_3^- are mainly derived from chemical weathering of carbonate minerals, Cl^- , SO_4^{2-} , and NO_3^- are mainly affected by precipitation and rock weathering. Furthermore, the concentrations of major ions in the water have a negative correlation with the river discharge rate, which suggests there might be a dilution effect occurring during the rainy season.

Key words: Lhasa River; hydrochemistry; carbonate weathering; ion source; Tibet

河流是地球化学研究的一个重要介质, 通过研究流域的水体离子组成特征和分布情况可以揭示河流所流经范围内的地质特性以及人类社会活动对水体环境所造成的影响. 因此, 对陆地河流的研究越来越受到国内外学者们的关注, 如 Martin 等^[1]首先对世界主要河流的离子输送进行了汇总. Gibbs 根据影响河流中主要溶解物质的化学组分的不同方式, 把河流的天然溶质分为雨水控制型、风化控制型和结晶控制型 3 种类型^[2]. 我国在河流监测和水化学特征方面的研究虽相较于国外发达国家起步较晚, 但最近的半个世纪以来, 我国的学者对河流的

水化学问题进行了较为广泛和深入的研究, 如乐嘉祥等^[3]对我国 500 条河流进行了水化学研究, 总结了我国各地区河流的时空变化规律和水化学特征, 文献[4]指出中国大河(长江、黄河、鸭绿江、雅鲁藏布江等)河流水体中溶质的组成主要是因为碳酸

收稿日期: 2017-06-25; 修订日期: 2017-08-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41402324, 41402238); 地质调查项目(121201237000160002, 121201107000150003); 国家重点研发计划项目(2016YFC0502302); 广西自然科学基金项目(2014GXNSFBA118228)

作者简介: 张清华(1990~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境地球化学, E-mail: Tsinghua_CAGS@163.com

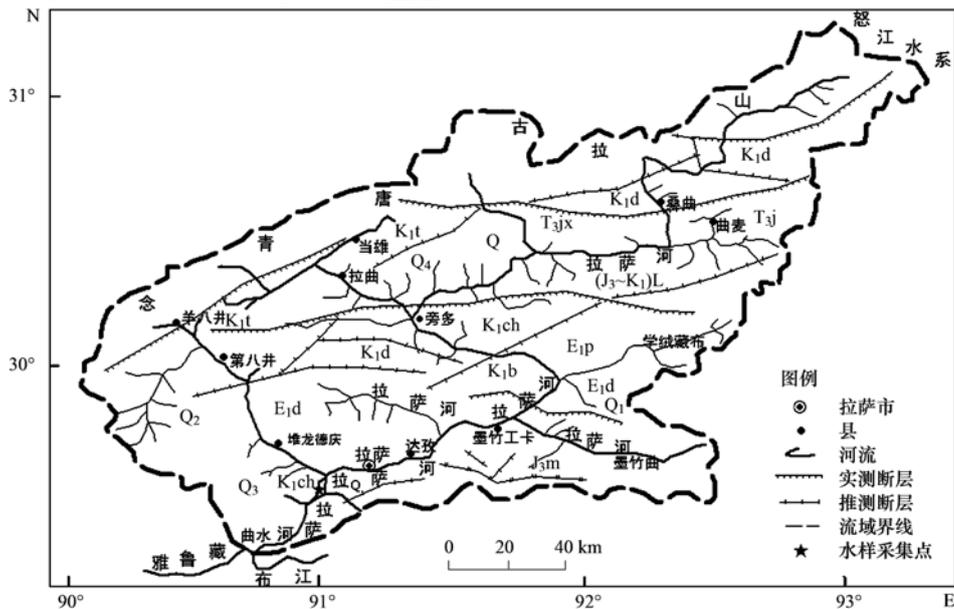
* 通信作者, E-mail: yushi@karst.ac.cn

盐岩和蒸发岩以及硅酸盐岩共同风化的影响,其中溶蚀的影响程度要大于风化作用的影响.许越先^[5]通过国内 30 多条河流的研究数据,研究了离子径流模式及其入海通量并对其影响因素作了深入分析.文献[6~11]等对我国的长江、黄河、湘江和珠江进行了长期和较为详尽的水化学特征研究.然而,相对于三大流域的研究程度,对于青藏高原河流研究略显不足,从 2007 年开始,蔺学东等^[12]对拉萨河流域水文水资源以及对河流的径流量变化趋势开展了研究,结果表明拉萨河流域年均径流量多年来表现出增加的趋势,径流变化受气候、下垫面等多种因素的影响^[13~16].前人对拉萨河流域的环境状况、气候变化、土地利用方式以及流域地表径流的同位素变化特征已经积累了大量的科学数据^[17~23],但在对拉萨河流域现有的研究中,更多的是侧重于其丰富的水利水资源利用以及气候变化对其水量的影响,而对拉萨河流域输出端的水化学变化特征较高密度的动态监测和研究则相对较少,因此,对拉萨河输出端进行一个完整水文年的研究,探讨研究区主要化学风化过程以及河流水化学的演变趋势,以期为拉萨河水化学、环境地球化学的研究提供基础数据,同时为西部高寒地区水资源的开发和利用提供科学依据.

1 研究区概况

拉萨河发源于念青唐古拉山南麓,干流呈一个

巨大的“S”型,流域范围在东经 90°05′~93°20′、北纬 29°20′~31°15′之间,从东北向西南伸展,全长 568 km,流域面积 31 760 km²,是雅鲁藏布江的 5 大支流之一.途中受学绒藏布、墨竹曲和堆龙曲等支流的补给,于曲水县附近汇入雅鲁藏布江,高原古城拉萨市就坐落在该河下游右岸.流域范围如图 1 所示,拉萨河流域内植被多为山地灌丛草原、高山草原以及垫状植被等,土壤以高山草甸以及亚高山草甸为主,分布规律具有明显的垂直谱特点^[24],土地利用类型主要为牧草地,拉萨河流域周边有季节性冻土及冰川发育,面积 690.53 km²^[25],成为河流重要的补给水源^[26~28].拉萨河上游属于高原亚寒带季风湿润气候地区,下游属于高原温湿季风半干旱气候地区.受气候和地形影响流域上游地区比下游地区的降雨丰富,且雨量年度和地域分布上看极为不平均.流域上游主要以牧区为主,居住人口较少,中游人类活动相对较多,有少量耕种区,下游人口比较密集,农业十分发达,农业灌溉水大多来源于拉萨河,农业溢水也注入拉萨河中.流域内矿产资源丰富,主要有铅、锌、水晶、铜、盐、砂硼、稀有金属、煤、石灰石、铁等矿产资源,河流两岸随处可见选矿场,这些矿场大多对矿区废水进行简单处理后直接排入拉萨河^[29].研究区出露的地层主要为侏罗系、白垩系、三叠系和第四系地层.侏罗系有多底沟组 (J₂d)、林布宗组 [(J₃~K₁)L]、上侏罗统麻木组 (J₃m);白垩系有楚木龙组



根据文献[29]修改

图 1 拉萨河流域及采样点位置

Fig. 1 Map showing the location of the study area and sampling sites in the Lhasa River Basin

(K_1ch)、塔克那组 (K_1t)、下白垩统比马组 (K_1b) 和且狮庭组 (K_1d); 三叠系有姐德秀组 (T_3j)、江雄组 (T_3jx); 第四系有下更新统 (Q_1)、中更新统 (Q_2)、上更新统 (Q_3) 和全新统 (Q_4)。除第四系外, 其余地层总厚度大于 32 458 m, 分布面积约 401.4 km², 大多呈不整合接触, 与岩浆岩呈侵入接触, 第四系分布面积为 363.8 km²。拉萨河谷地区的基岩以中生代的变质砂板岩、灰岩和喜马拉雅期的花岗岩为主, 另外还有燕山期的花岗岩和第三纪、第四纪的火山喷出岩和碎屑岩。采样点断面设置在堆龙河与拉萨河汇流后的下方, 堆龙河发源于岗底斯山东段南麓, 为拉萨河的一级支流, 全长 137 km, 流域面积 5 093 km², 该河属降雨融雪型河流, 流量随降雨量和温度高低而变化, 夏季和冬季的径流量、河流水位相差悬殊。拉萨河谷平原与堆龙河河谷平原呈“Y”字形分布于研究区中部, 为了控制拉萨河整个流域最终的水化学变化特征以及河流组分来源, 将采样点设置在拉萨水文实验站断面 (E91°09', N29°38'), 该站位于雅鲁藏布江支流拉萨河右岸, 是拉萨河下游基本控制站, 实验监测断面集水面积达 26 235 km²。

2 样品采集和分析

分别于 2014 年 8 月 ~ 2015 年 7 月在拉萨水文站断面采集水样, 每月采集 2 次, 共采集到 93 个样品, 使用法国 PONSEL 便携式水质多参数分析仪, 现场测定采样点河水的 pH、水温 (T)、电导率 (EC) 等参数, 其中 EC 由温度自动补偿至 25℃ 的值, pH、 T 、EC 精度分别达到 0.01 个 pH 单位、0.1℃ 和 1 $\mu S \cdot cm^{-1}$ 。HCO₃⁻ 浓度使用德国 Merck 公司碱度计现场测定, 滴定前用 0.22 μm 水相针式过滤器过滤后滴定, 每个样品重复滴定 2 ~ 3 次, 平均误差 < 5%, 精度为 0.1 mmol · L⁻¹。用清洁的聚乙烯瓶采集水样, 采集之前先用样品润洗聚乙烯瓶子 3 次, 然后再采集水样, 不留气泡。将采集的水样密封避光保存带回实验室先用 0.45 μm 醋酸纤维滤膜过滤, 然后用处理过的聚乙烯瓶分装, 水样测试前放置于 4℃ 的冰箱中冷藏保存。阳离子 (K⁺、Na⁺、Ca²⁺ 和 Mg²⁺) 用戴安 ICS1500 离子色谱仪分析, 测试精度为 0.01 mg · L⁻¹; 阴离子 (SO₄²⁻、NO₃⁻、F⁻ 和 Cl⁻) 用万通 MIC 离子色谱仪分析, 测试精度为 0.01 mg · L⁻¹, SiO₂ 采用钼酸黄分光光度法测定 (DZ/T 0064. 62-1993), 测试精度均为 0.1 mg · L⁻¹。样品测试在中国地质科学院岩溶地质研究

所实验室进行。

3 结果与分析

拉萨河流域的水文水化学数据组成如表 1, 一个完整水文年里拉萨河流域的河水现场测定温度范围为 1.8 ~ 16.70℃, 平均值为 10.17℃, 其中夏季 (6、7、8 月) 的平均值最高, 达到了 14.80℃, 冬季 (12、1、2 月) 的平均值最低, 为 3.87℃, pH 值的范围为 8.3 ~ 8.8, 平均值为 8.59, 结果显示拉萨河流域水体的 pH 变化范围不大, 且均呈现偏碱性。冬季的 pH 最低, 平均值为 8.49, 夏季的 pH 最高, 平均值为 8.71。这可能是因为夏季阳光充足, 河流中的水生植物光合作用强烈, 大量吸收水体中的 CO₂, 此外还有夏季的气温较高, 水体中的水生植物和浮游植物 (主要是藻类) 大量生长, 会引起水体 pH 值升高^[30]。拉萨河流域水体溶解氧 (DO) 的变化范围介于 3.23 ~ 5.41 mg · L⁻¹, 平均值为 4.25 mg · L⁻¹, 河水溶解氧较低, 根据《地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)》水质溶解氧的要求, 拉萨河流域的溶解氧含量为 III 类水质要求。水体溶解氧的变化趋势与水体 pH 的变化趋势具有相似性 (图 2), 都表现为夏季最高冬季最低的规律, 这是由于拉萨河地处高原地带, 冬季河面结冰致使水体透光率减弱, 沉水植物光合作用随之减弱, 冰面也会阻止水体与大气进行氧气交换, 此外, 冬季水体中的水生植物腐烂会消耗水体中的氧气, 所以导致水体溶解氧在冬季表现为最低值。

电导率 (EC) 的变化范围为 155.0 ~ 257.0

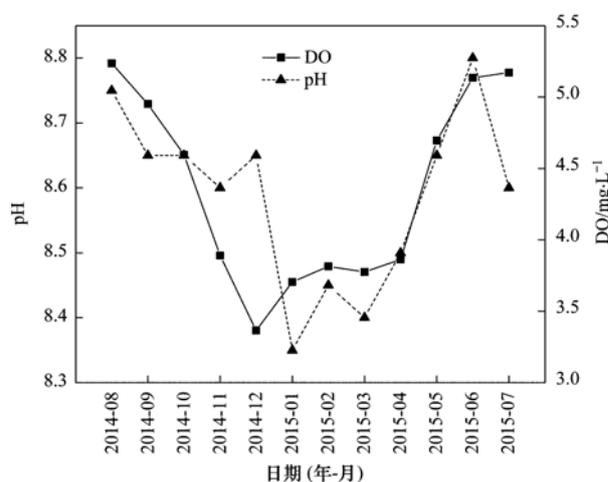


图 2 拉萨河流域河流 pH 和 DO 浓度各月的变化

Fig. 2 Changes in pH and DO concentrations in different months in the Lhasa River Basin

表 1 拉萨河流域水化学数据¹⁾

Table 1 Hydrochemical indicators of waters from the Lhasa River Basin

日期 (年-月-日)	T /°C	pH	DO /mg·L ⁻¹	EC /μS·cm ⁻¹	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SiO ₂ /mg·L ⁻¹	径流量 /m ³ ·s ⁻¹	NICB /%
2014-08-03	13.9	8.8	5.41	155.0	23.64	78.32	2.11	0.82	3.62	20.75	0.80	0.12	0.93	3.87	1420	-4.01
2014-08-18	11.9	8.7	5.06	156.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2014-09-02	14.2	8.6	4.96	176.0	24.47	74.76	2.83	0.79	4.81	29.60	1.35	0.13	1.24	3.77	664	-3.60
2014-09-17	12.3	8.7	4.94	178.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2014-10-03	10.9	8.6	4.41	193.5	27.87	89.00	3.70	0.88	5.42	29.60	1.58	0.13	1.75	4.28	297	3.95
2014-10-18	8.0	8.7	4.78	201.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2014-11-04	9.3	8.6	4.43	206.8	29.82	92.81	4.75	0.97	5.77	29.64	3.27	0.14	2.71	6.76	128	-4.21
2014-11-18	5.7	8.6	3.49	213.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2014-12-03	5.7	8.4	3.50	237.7	33.29	111.30	6.49	1.19	6.48	29.64	3.45	0.14	3.68	6.76	71.3	-4.13
2014-12-19	1.8	8.4	3.23	240.2	33.22	111.31	7.05	1.34	6.50	30.28	3.82	0.15	3.91	7.69	—	-4.09
2015-01-04	3.8	8.5	3.75	244.6	33.72	107.50	7.14	1.33	6.54	29.92	3.80	0.18	3.99	6.28	70.3	-4.33
2015-01-18	3.2	8.5	3.66	250.8	33.98	111.30	7.66	1.42	6.80	30.72	3.81	0.18	4.46	6.58	—	-4.21
2015-02-02	3.9	8.6	3.82	257.0	35.44	111.30	7.81	1.46	6.95	31.23	3.89	0.18	4.75	7.13	71	-4.14
2015-02-18	4.9	8.7	3.81	256.1	35.31	111.30	8.46	1.57	7.11	31.79	3.82	0.18	5.26	7.54	—	-3.99
2015-03-03	4.0	8.7	3.88	217.8	30.55	94.60	5.16	1.01	5.66	28.00	3.39	0.18	2.75	6.24	79	-4.49
2015-03-18	8.8	8.6	3.67	222.5	30.92	99.95	5.44	1.04	5.67	27.83	3.45	0.19	2.93	6.76	—	-4.55
2015-04-03	7.9	8.4	3.80	222.5	30.64	99.95	5.39	1.03	5.89	28.11	3.38	0.13	2.98	6.50	88.6	-4.36
2015-04-18	9.6	8.3	3.91	230.7	31.47	101.70	5.86	1.11	5.96	27.99	3.46	0.14	3.20	7.17	—	-4.34
2015-05-03	11.2	8.4	4.50	233.8	31.78	103.50	5.96	1.07	5.96	28.15	3.44	0.14	3.29	6.60	130	-4.04
2015-5-18	13.4	8.5	4.89	238.1	32.28	107.10	6.37	1.18	6.22	28.84	3.43	0.14	3.56	6.70	—	-4.17
2015-06-03	16.7	8.7	5.19	251.4	33.71	105.60	7.69	1.50	6.62	29.96	3.48	0.14	4.83	6.07	270	-4.19
2015-06-18	15.9	8.5	5.08	193.1	26.88	80.60	4.91	1.05	5.22	24.92	3.33	0.14	2.91	4.96	—	-4.19
2015-07-03	13.6	8.8	5.23	162.0	24.51	76.20	4.68	1.23	5.39	22.83	3.43	0.18	2.41	4.50	520	3.39
2015-07-18	13.9	8.7	5.01	167.0	29.82	84.70	4.82	1.19	5.43	23.25	3.09	0.16	2.30	4.93	—	-4.02

1) “—”代表未测量数据，阴、阳离子单位：mg·L⁻¹

$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ，平均值为 $210.5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ，水体电导率的变化呈现夏季最低(平均值为 $180.8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)，冬季最高(平均值为 $247.7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)的规律，受季节变化影响较小，这可能是因为除了受到雨水补给稀释作用的影响之外，还受到西北部地质背景的控制。采样点的西北部主要分布砾岩、火山岩以及碎屑岩，夹钙质粉砂岩与泥页岩钙含量高，沿河两岸大量分布有第四系黏土层，夏季是拉萨河的丰水期，岩石比较容易被雨水侵蚀。但河水的径流量随季节和年际的动态变化较大，河水中各离子和径流量的月际变异系数(相对标准偏差)见表 2，从中可看出河流中各离子的变异系数大多在 5%~20% 的范围内波动，一般不超过 30%，而河流径流量的月际变异系数却大得多，平均值接近 50%，这说明径流量的季节变化远比河水中主要的化学成分的季节差异要显著，这说明拉萨河在丰水期的稀释作用在

一定程度上受到了外加溶解盐的抵消^[8]。表明不同条件下的水-岩作用对河流的水化学特征有较大的约束。

河水样品的 TDS 指水中总溶解性固体，是地表水化学的主要属性之一，其能反映河水中无机盐类的组成成分^[31]。拉萨河流域 TDS 的平均值为 $181.35 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，是全球河流平均值 $65 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的近 3 倍^[32]，总阳离子的当量浓度 ($\text{TZ}^+ = \text{Na}^+ + \text{K}^+ + 2\text{Mg}^{2+} + 2\text{Ca}^{2+}$) 的平均值为 $2.28 \text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ ，位于世界 61 条大河 (TZ^+ 为 $0.3 \sim 10 \text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) 的分布范围内^[33]，是世界河水平均值 ($\text{TZ}^+ = 1.25 \text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) 的 1.8 倍^[32]。总阴离子的当量浓度 ($\text{TZ}^- = \text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + 2\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{F}^-$) 的平均值为 $2.33 \text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ 。河水中的无机电荷平衡 NICB [$\text{NICB} = \text{TZ}^+ - \text{TZ}^-$]/ TZ^+] 的平均值为 -3.39% ，表明水体阴阳离子电荷基本平衡。

表 2 2014 年 8 月 ~ 2015 年 7 月拉萨河流域主要离子与河流径流量的月际变异系数

Table 2 Relative standard deviations of monthly variations of the major ions in the Lhasa River Basin from August 2014 to July 2015

月份	变异系数%									
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	径流量
1	9.53	13.12	24.23	12.51	10.71	9.02	30.04	28.12	5.78	28.03
2	9.36	12.57	22.67	11.34	10.52	8.97	30.13	25.98	5.78	59.93
3	9.38	12.07	22.26	11.25	10.17	8.75	29.95	25.14	5.39	33.99
4	9.12	12.03	20.49	9.99	10.17	8.52	27.05	23.66	4.49	31.91
5	8.99	11.96	20.23	10.06	9.79	8.34	27.19	23.18	4.49	58.94
6	8.92	11.49	18.86	9.42	9.79	8.44	27.12	20.74	4.49	66.09
7	8.55	11.25	18.49	9.17	10.14	8.22	26.57	19.47	4.26	60.51
8	8.58	10.99	17.07	8.53	9.79	8.08	27.05	17.59	4.49	53.75
9	8.99	11.81	18.78	8.92	9.79	7.94	29.70	19.15	4.49	49.17
10	11.27	14.98	29.42	12.75	10.32	8.51	31.03	31.79	5.06	30.62
11	12.36	14.51	30.86	10.88	13.52	10.13	30.13	38.38	5.06	47.39
12	11.49	14.40	29.97	11.25	14.30	11.06	33.44	40.22	5.06	76.54
均值	9.71	12.60	22.78	10.51	10.75	8.10	29.12	26.12	4.90	49.74

4 讨论

4.1 岩石风化对流域水化学的控制

4.1.1 基于吉布斯 (Gibbs) 图的分析

为了直观地比较各类河水的化学组成、形成原因以及彼此之间的相互关系, Gibbs 根据河流的主要溶质化学组分设计的一种对数坐标图解^[34], 图的纵坐标为对数坐标, 代表河水中的 TDS 总量, 横坐标为普通坐标, 代表河水中阳离子比值 $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 或阴离子比值 $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$. Gibbs 图将影响河流化学组分的因素分为大气降雨、岩石风化以及蒸发浓缩三种类型, 如图 3 所示, 拉萨河研究点断面的 TDS 介于 $134.98 \sim 212.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 比值在 $0.082 \sim 0.193$ 之间, 平均值为 0.155 , $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 比值介于 $0.012 \sim 0.045$ 之间, 平均值为 0.031 , 在拉萨河流域河水 Gibbs 图中, 流域所有样品基本上都落在 $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 或者 $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 的比值小于 0.5 的范围内, 说明其离子成分主要来源于岩石的风化过程.

4.1.2 基于阴阳离子三角图的分析

为了说明清楚河流中主要离子的相对丰度和分布特征, 以及各种岩石风化对河水总溶质成分的相对贡献, 使用阴阳离子三角图(图 4)可以直观反映不同岩石风化作用向河水供应离子的相对比例, 辨别其控制端元^[35~37].

从图 4 可知, 拉萨河流域河水中主要的阴离子为 HCO_3^- , 平均占阴离子总量的 68.73% , 其次是 SO_4^{2-} 占 25.66% . 其余为 NO_3^- 和 Cl^- , 二者所占阴离子总量的 5.28% , 拉萨河流域水体 pH 的平均值

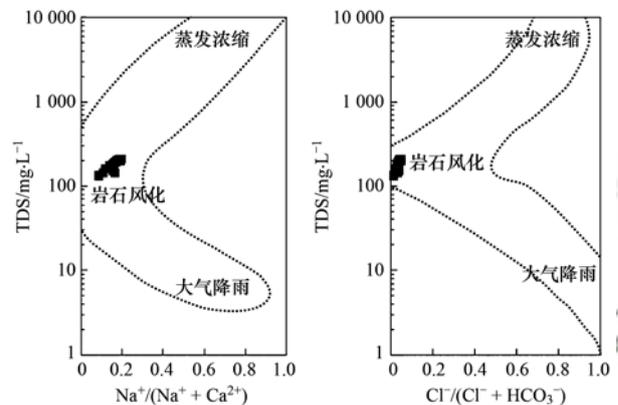


图 3 拉萨河流域河水 Gibbs 图

Fig. 3 Gibbs chart of river water in the Lhasa River Basin

为 8.59 , 在这样的水体环境下, CO_3^{2-} 离子的含量很小, 所占比例小于二者总量的 5% ^[38], 因此在本次分析中对 CO_3^{2-} 离子的含量忽略不计. 阳离子主要分布在 Ca^{2+} - Mg^{2+} 线靠近 Ca^{2+} 端元, 优势阳离子为 Ca^{2+} , 平均占阳离子总量的 67.75% , 其次是 Mg^{2+} 占 21.30% . Na^+ 和 K^+ 所占阳离子总量的比例小于 10% , 水化学类型以 HCO_3^- - Ca 型为主. 反映了地区河流水化学特征主要受碳酸盐岩或矿物溶解的影响^[31]. 研究区域位于雅鲁藏布江中游流域, 流域内岩性主要为变质岩、火成岩以及碎屑岩和混杂堆积的蛇绿岩, 流域河谷大致沿着雅鲁藏布江大断裂带发育, 堆龙德庆县周围出露相当面积的古、中生代灰岩、泥质灰岩、燧石灰岩、角砾灰岩等, 有时夹厚度不大的砂岩泥岩, 区域内碳酸岩的岩溶较发育, 分布面积有 70 km^2 ^[39]. 同时, 构造抬升也对地表的化学风化起着重要的影响, 进而影响河流水化学的溶质组成, 其水化学特征反映了碳酸盐岩的风化溶解控制着区域地下水的物质组成.

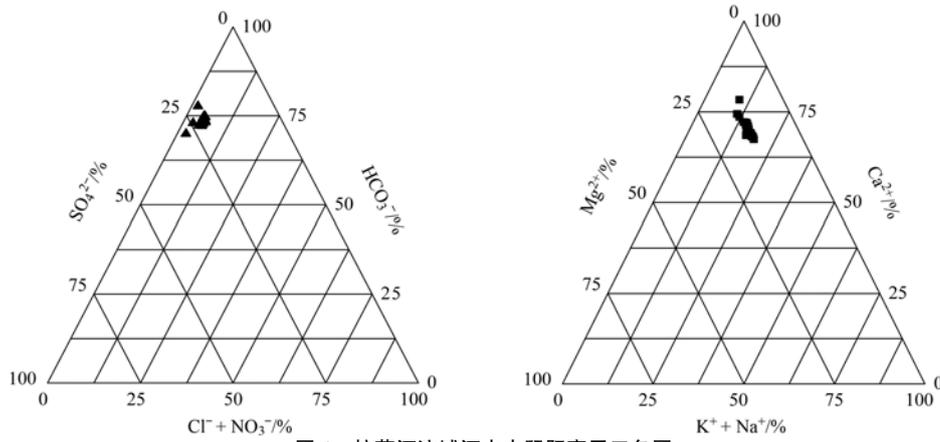


图 4 拉萨河流域河水中阴阳离子三角图

Fig. 4 Triangle diagrams showing cation and anion composition in the water from the Lhasa River Basin

4.2 流域内各离子的变化趋势及影响因素

由图 5 所示，研究点断面河水的主要离子具有

明显的时空变化，各主要离子含量大体呈现出冬季最高，春季和秋季次之，夏季最低的变化规律，河

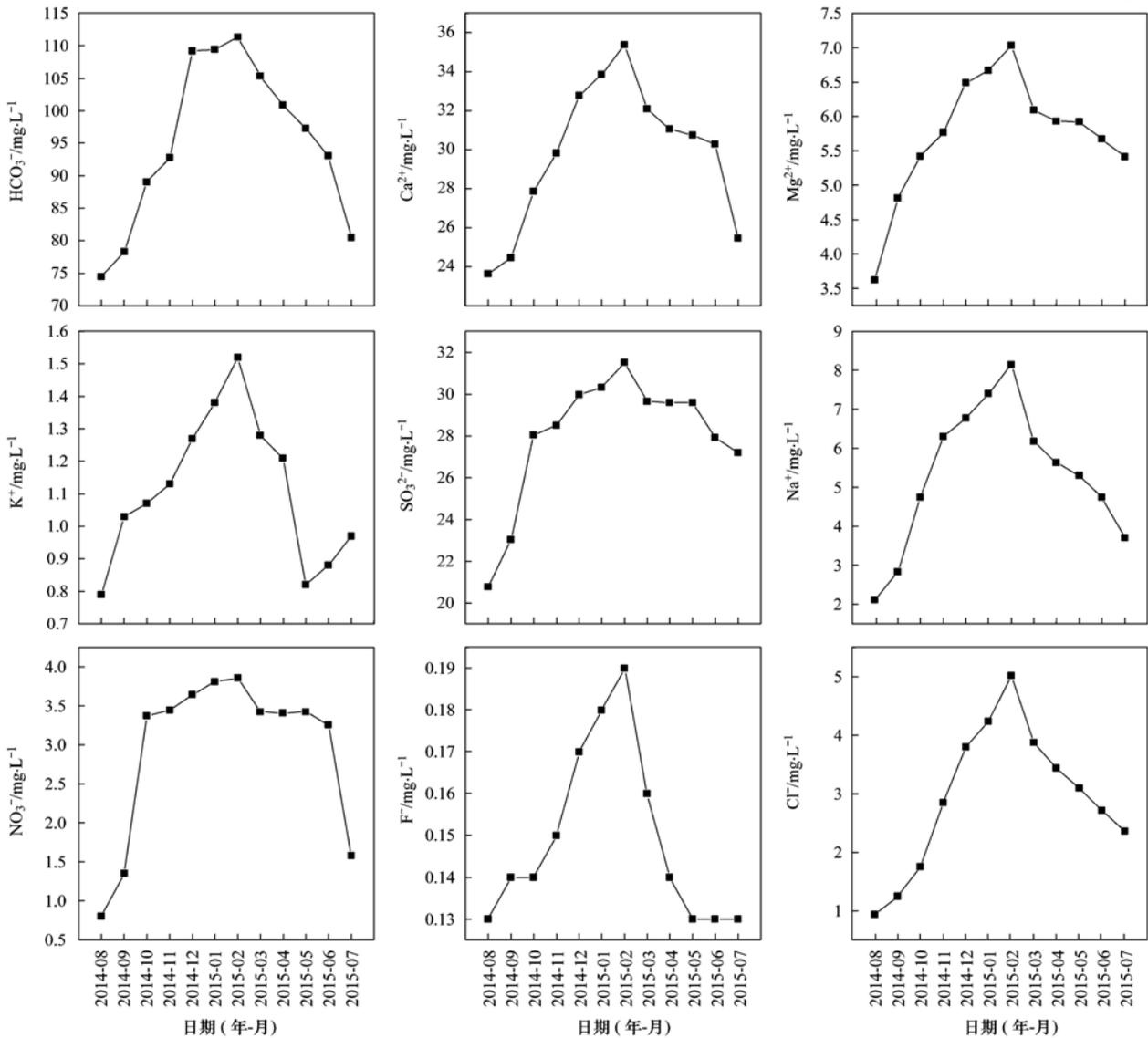


图 5 拉萨河流域河水中主要离子各月动态变化

Fig. 5 Dynamic change in major ions concentrations in different months in the Lhasa River Basin

流中离子含量出现这种季节上的不同, 主要是因为水循环条件不同而造成的. 由前面阐述可知, 相对于流量季节较大的变化, 岩石风化的速率随季节变化不显著, 因而河流流量对离子浓度的变化起主导作用^[40], 即流量的增大, 河流离子浓度由于稀释作用而降低. 因此夏季河流中的主要离子含量相对于其他季节的离子含量偏低, 冬季情况则相反.

4.3 河水中主要离子来源分析

不同离子的来源受到自然和人类活动等各方面的影响, 河流中的各离子之间具有较高的相关性时, 说明离子之间具有相同的来源或者经历了相同的物理化学反应过程^[41]. 对拉萨河流域河水中各离子进行 Pearson 相关性分析(表3)可知, Ca^{2+} 与 HCO_3^- ($R^2 = 0.949$)、 Mg^{2+} 与 HCO_3^- ($R^2 = 0.759$)、 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 分别在 0.01 的检测水平下显著相关, 这反映了流域内碳酸盐岩的风化溶解, 由图 6 拉萨河流域河水中主要离子的相关关系可知, 流域河水中 ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) 与 HCO_3^- 的相关性 ($R^2 = 0.935$, $P < 0.01$) 和 Mg^{2+} 与 HCO_3^- 的相关性 ($R^2 = 0.795$, $P < 0.01$) 都小于 Ca^{2+} 与 HCO_3^- 的相关性 ($R^2 = 0.949$, $P < 0.01$), 表明拉萨河流域内方解石的溶解对河流中离子的贡献率最大, 其次是白云石的溶解^[42], 并且 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ 的相关性 [$R^2 = 0.952$, 图 6 (d)] 最大. 拉萨河流域中 SO_4^{2-} 和 Mg^{2+} 的相关性分析 ($R^2 = 0.597$, $P < 0.01$) 表明, 镁硫酸盐水解的同时, 碳酸盐在硫酸的作用下也发生了反应.

人为生产活动所排放的污染物的特点是富含 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- , 其中 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 也是岩石风化的产物, NO_3^- 通常作为反

映人为活动的特征离子^[43]. 但在本次研究中, NO_3^- 含量很低, 还低于 Cl^- 的含量, 表明人类活动影响有限, 此外, NO_3^- 同时与 Cl^- 、 SiO_2 在 $P < 0.01$ 的检测水平下显著相关, SO_4^{2-} 与 Cl^- 、 SiO_2 在 $P < 0.05$ 的检测水平下显著相关, 说明流域河流 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 组分主要来源于大气和岩石风化.

通常河水中的 Na^+ 来自于石盐的溶解和硅酸盐的风化, K^+ 来自于钾长石和云母的风化^[44]. 拉萨河流域河水中的 Cl^- 和 K^+ 含量较低, 仅占离子总量的 0.66% 和 1.82%, 拉萨河流域 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 在 $P < 0.01$ 的检测水平下显著相关 ($R^2 = 0.981$, $P < 0.01$, $R^2 = 0.838$, $P < 0.01$), 拉萨河流域水样中的 $[\text{K}^+ + \text{Na}^+]/\text{Cl}^-$ 的比值都大于 1, 平均值为 2.26, 这说明 K^+ 和 Na^+ 并非只来源于蒸发岩^[45] (KCl 和 NaCl), SiO_2 与 Na^+ 、 K^+ 的相关性良好 ($P < 0.01$), 说明河水中的 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 除了有部分来自于岩石(钾、钠硅酸盐岩)风化外还受到人为活动的影响, 由于 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 的含量都较低, 表明人为因素影响较小, 流域河流水化学组分主要还是来源于岩石风化.

拉萨河流域河水中的 SiO_2 浓度变化范围介于 $3.77 \sim 7.69 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $6.04 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 流域中 SiO_2 的浓度也有可能受到生物作用的影响, 如东西伯利亚沼泽地中的一些小流域, $\text{SiO}_2/(\text{Na}^+ - \text{Cl}^- + \text{K}^+)$ 的比值介于 0.2 ~ 0.5 之间^[46,47]. 拉萨河流域河水中的 $\text{SiO}_2/(\text{Na}^+ - \text{Cl}^- + \text{K}^+)$ 比值介于 1.40 ~ 2.35 之间, 平均值为 1.66, 这可以说明, 流域中的 SiO_2 受生物作用影响很小, 主要来源于硅酸盐岩的风化溶解.

表 3 拉萨河流域河水中离子相关矩阵¹⁾

Table 3 Partial correlation matrix of ions concentrations in waters in the Lhasa River Basin

	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	F^-	NO_3^-	Cl^-	SiO_2
K^+	1									
Na^+	0.814 **	1								
Ca^{2+}	0.599 *	0.925 **	1							
Mg^{2+}	0.832 **	0.936 **	0.850 **	1						
HCO_3^-	0.530	0.873	0.960 **	0.765 **	1					
SO_4^{2-}	0.329	0.707 **	0.846 **	0.763 **	0.754 **	1				
F^-	0.927 **	0.697 *	0.457	0.762 **	0.330	0.291	1			
NO_3^-	0.810 **	0.898 **	0.770 **	0.897 **	0.720 **	0.541	0.702 *	1		
Cl^-	0.834 **	0.982 **	0.920 **	0.928 **	0.837 **	0.702 *	0.742 **	0.873 **	1	
SiO_2	0.624 *	0.842 *	0.886 *	0.793 **	0.865 *	0.662 *	0.424	0.871 **	0.832 **	1

1) * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$

4.4 河流主要离子浓度和径流量的关系

有研究表明^[48,49], 受积雪和冰川融水补给为主

的地区, 河水中化学成分的变化与河水的流量变化具有显著的关系. 通过拉萨河流域 2014 年 8 月 ~

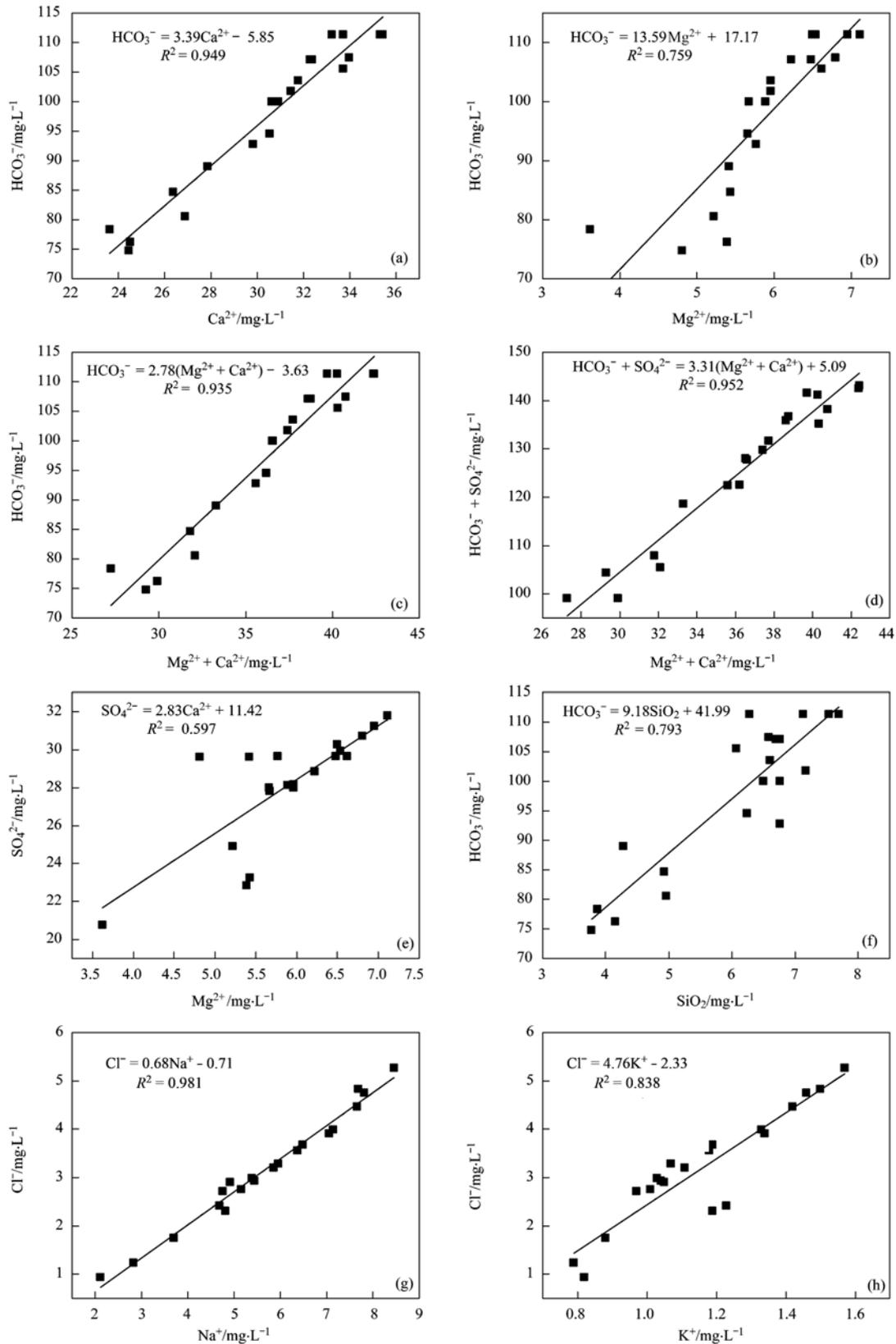


图 6 拉萨河流域河水中主要离子之间的相关关系

Fig. 6 Relationship among major ions in water from the Lhasa River Basin

2015 年 7 月的月平均流量的变化说明河流中主要两种离子 (HCO_3^- 和 Ca^{2+}) 的变化趋势与流量的关

系. 对比观测期间拉萨河流域的 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 与径流量的关系 (图 7) 可以知道, 在 2014 年 8 月河流

径流量达到最大值 $1420 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 此时 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 的浓度为最小值 ($70.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $27.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 2015 年 1 月、2 月、3 月为河流月径流量的低谷值区, 与此时时间相对应的 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 的浓度为最大值, 该变化特征与流量变化呈相反趋势, 拉萨河流域河水 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 含量与流量的相关系数 R 分别为 -0.61 和 -0.75 , 表现为负相关的关系, 可见, 即使夏季气温升高加强了岩石的风化速率, 但由于流量的稀释作用使得河流的离子浓度减少, 反之, 当河流径流量变小时, 河流中的离子含量则相应会增加。

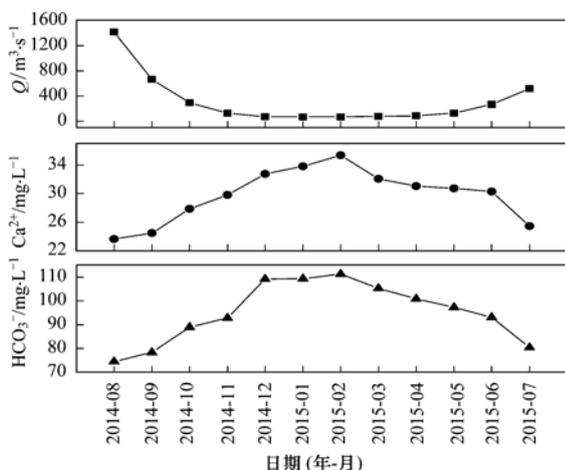


图7 拉萨河流域 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 与径流量的对比

Fig. 7 Comparisons between the ion concentrations of HCO_3^- and Ca^{2+} and runoff in the Lhasa River Basin

5 结论

(1) 拉萨河流域河水为 HCO_3^- -Ca 类型, 其阳离子浓度顺序为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, 阴离子浓度顺序为 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{F}^-$, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 是河流主要阳离子, 分别占阳离子总量的 67.75% 和 21.30%, HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 是河流主要阴离子, 分别占阴离子总量的 68.73% 和 25.66%。

(2) 流域水化学离子组成表现为同时受岩石风化和人为活动影响的特点, 离子来源分析表明, 拉萨河流域河水 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 离子主要来源于碳酸盐岩的风化溶解, SO_4^{2-} 和 NO_3^- 受城市居民污水排放的影响, SiO_2 主要来自于硅酸盐岩风化溶解, Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 除了部分来自于岩石风化外还受到工矿企业和城镇人为活动的影响, 拉萨市居民所排放的生活废水可能是 NO_3^- 和 F^- 等非岩石风化产物的主要来源, 同时冰川融水对河流的离子组成也起到一定的影响。

(3) 拉萨河流域中的主要离子 (HCO_3^- 和 Ca^{2+}) 月平均浓度与河流径流量的月平均值有明显的负相关关系, 季节变化明显, 但主离子的浓度变化差异要小于河流径流量的季节变化差异。

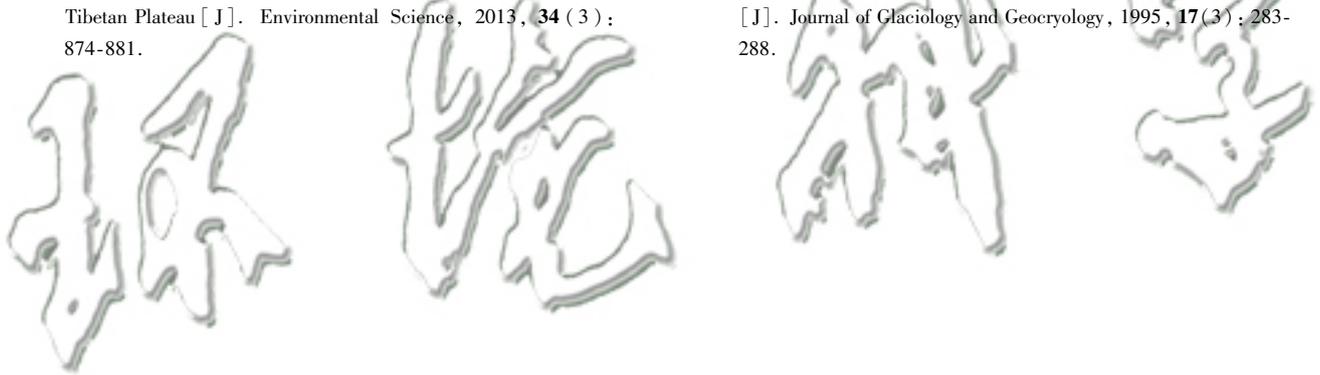
(4) 对本研究而言, 仅仅通过水体的化学组成来研究水化学的过程及其演化的影响因子是远远不够的, 在今后的工作中要多加考虑更加大尺度的地质和气候因素对水化学的影响, 同时也要考虑时空高频率尺度的影响因素。

参考文献:

- [1] Martin J M, Meybeck M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers[J]. *Marine Chemistry*, 1979, 7(3): 173-206.
- [2] Gibbs R J. Mechanisms controlling world water chemistry[J]. *Science*, 1970, 170(3962): 1088-1090.
- [3] 乐嘉祥, 王德春. 中国河流水化学特征[J]. *地理学报*, 1963, 29(1): 1-13.
- [4] Ming-Hui H, Stallard R F, Edmond J M. Major ion chemistry of some large Chinese rivers[J]. *Nature*, 1982, 298(5874): 550-553.
- [5] 许越先. 中国人海离子径流量的初步估算及影响因素分析[J]. *地理科学*, 1984, 4(8): 213-217.
Xu Y X. Preliminary estimation of dissolved solid quantity of China's rivers and its influencing factors [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1984, 4(3): 213-217.
- [6] 张立成, 赵桂久, 董文江, 等. 湘江水系河水的地球化学特征[J]. *地理学报*, 1987, 42(3): 243-251.
Zhang L C, Zhao G J, Dong W J, et al. Geochemical characteristics of the Xiangjiang river system [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1987, 42(3): 243-251.
- [7] 陈静生, 王飞越, 何大伟. 黄河水质地球化学[J]. *地学前缘*, 2006, 13(1): 58-73.
Chen J S, Wang F Y, He D W. Geochemistry of water quality of the Yellow river basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(1): 58-73.
- [8] 陈静生, 王飞越, 夏星辉. 长江水质地球化学[J]. *地学前缘*, 2006, 13(1): 74-85.
Chen J S, Wang F Y, Xia X H. Geochemistry of water quality of the Yangtze river basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(1): 74-85.
- [9] 高全洲, 沈承德, 孙彦敏, 等. 珠江马口站、河口站断面水体有机碳含量的季节变化[J]. *地球化学*, 1999, 28(3): 273-280.
Gao Q Z, Shen C D, Sun Y M, et al. Seasonal variations of riverine organic carbon contents in Makou and Hekou gauge stations of the Pearl river [J]. *Geochimica*, 1999, 28(3): 273-280.
- [10] 高全洲, 沈承德, 孙彦敏, 等. 珠江流域的化学侵蚀[J]. *地球化学*, 2001, 30(3): 223-230.
Gao Q Z, Shen C D, Sun Y M, et al. Chemical weathering in Zhujiang river drainage [J]. *Geochimica*, 2001, 30(3): 223-230.
- [11] 焦树林, 高全洲, 刘昆. 珠江流域西江、北江河流溶解无机碳及其稳定同位素组成特征[J]. *中山大学学报(自然科学)*

- 版), 2009, **48**(2): 99-105.
- Jiao S L, Gao Q Z, Liu K. Riverine DIC and its $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of the Xijiang and the Beijiang tributaries in the Pearl river basin, South China [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2009, **48**(2): 99-105.
- [12] 蔺学东, 张懿铨, 姚治君, 等. 拉萨河流域近 50 年来径流变化趋势分析[J]. *地理科学进展*, 2007, **26**(3): 58-67, 128. Lin X D, Zhang Y L, Yao Z J, *et al.* Trend analysis of the runoff variation in Lhasa river basin in Tibetan Plateau during the last 50 years [J]. *Progress in Geography*, 2007, **26**(3): 58-67, 128.
- [13] 曹建廷, 秦大河, 康尔泗, 等. 青藏高原外流区主要河流的径流变化[J]. *科学通报*, 2005, **50**(21): 2403-2408.
- [14] Shi H Y, Fu X D, Chen J, *et al.* Spatial distribution of monthly potential evaporation over mountainous regions; case of the Lhasa river basin, china [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 2014, **59**(10): 1856-1871.
- [15] Yang X X, Xu B Q, Yang W, *et al.* Study of altitudinal lapse rates of $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation/river water with seasons on the southeast Tibetan plateau [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, **54**(16): 2742-2750.
- [16] Liu W F, Xu Z X, Li F P. Projection of future precipitation in the Lhasa river basin [J]. *Journal of Water Resources Research*, 2012, **1**(4): 267-273.
- [17] 张圣微, 雷玉平, 姚琴, 等. 土地覆被和气候变化对拉萨河流域径流量的影响[J]. *水资源保护*, 2010, **26**(2): 39-44. Zhang S W, Lei Y P, Yao Q, *et al.* Runoff response to land cover and climate change in Lhasa river basin [J]. *Water Resources Protection*, 2010, **26**(2): 39-44.
- [18] 除多, 张懿铨, 郑度. 拉萨地区土地利用变化情景分析[J]. *地理研究*, 2005, **24**(6): 869-877. Chu D, Zhang Y L, Zheng D. Land use change scenario in Lhasa district using Markov chain model [J]. *Geographical Research*, 2005, **24**(6): 869-877.
- [19] 洛珠尼玛, 王建群, 徐幸仪. 拉萨河流域水循环要素演变趋势分析[J]. *水资源保护*, 2012, **28**(1): 51-53, 88. Luo Zhunima, Wang J Q, Xu X Y. Variation trend of water cycle factors in Lhasa river basin [J]. *Water Resources Protection*, 2012, **28**(1): 51-53, 88.
- [20] Makokha G O, Wang L, Zhou J, *et al.* Quantitative drought monitoring in a typical cold river basin over Tibetan Plateau: an integration of meteorological, agricultural and hydrological droughts [J]. *Journal of Hydrology*, 2016, **543**: 782-795.
- [21] 刘忠方, 田立德, 姚檀栋, 等. 雅鲁藏布江流域河水中氧稳定同位素的时空变化[J]. *冰川冻土*, 2008, **30**(1): 20-27. Liu Z F, Tian L D, Yao T D, *et al.* The temporal and spatial variations of $\delta^{18}\text{O}$ in river water of the Yarlung Zangbo river basin [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, **30**(1): 20-27.
- [22] Huang X, Sillanpää M, Gjessing E T, *et al.* Water quality in the southern Tibetan Plateau; chemical evaluation of the Yarlung Tsangpo (Brahmaputra) [J]. *River Research and Applications*, 2011, **27**(1): 113-121.
- [23] 杨晓新, 徐柏青, 杨威, 等. 藏东南不同季节水体中氧同位素的高程递减变化研究[J]. *科学通报*, 2009, **54**(15): 2140-2147.
- [24] 王建林. 雅鲁藏布江及其支流中部流域地区水文特性分析[J]. *水土保持通报*, 1994, **14**(2): 54-58. Wang J L. Analyse of hydrological characteristics of central section ralley area of Ya Lu Zangbu river and the tributary of La Sa river and Nian Chu river [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1994, **14**(2): 54-58.
- [25] 米德生, 谢自楚, 罗祥瑞, 等. 中国冰川目录: XI, 恒河水系; XII 印度河水系 [M]. 西安: 西安地图出版社, 2002. 1-572.
- [26] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏河流与湖泊 [M]. 北京: 科学出版社, 1984. 17-20.
- [27] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏气候 [M]. 北京: 科学出版社, 1984. 27-29.
- [28] 董光荣, 李森, 董玉祥, 等. 西藏“一江两河”中部流域土地沙漠化防治规划研究 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 1-161.
- [29] 龚晨. 西藏拉萨河流域水化学时空变化及影响因素研究 [D]. 天津: 天津大学, 2015. 13-15. Gong C. Study on temporal and spatial variations of water chemistry and its influence factors in Lhasa River catchements, Tibet [D]. Tianjin: Tianjin University, 2015. 13-15.
- [30] 郑晓红. 地表水中总磷和总氮对藻类生长的影响以及藻类生长对 pH 值和溶解氧含量的影响 [J]. *仪器仪表与分析监测*, 2012, (3): 43-45.
- [31] 耿金, 陈建生, 张时音. 赤水河上游流域水化学变化与离子成因分析 [J]. *水文*, 2013, **33**(1): 44-50. Geng J, Chen J S, Zhang S Y. Analysis of hydro-chemical changes and genesis of major ions in upper reach of Chishui river [J]. *Journal of china Hydrology*, 2013, **33**(1): 44-50.
- [32] Meybeck M. Pathways of major elements from land to oceans through rivers [A]. In: Martin J M, Burton J D, Eisma D (Eds.). *River Inputs to Ocean Systems* [C]. New York: United Nations Press, 1981. 18-30.
- [33] Gaillardet J, Dupré B, Louvat P, *et al.* Global silicate weathering and CO_2 consumption rates deduced from the chemistry of large rivers [J]. *Chemical Geology*, 1999, **159**(1-4): 3-30.
- [34] 陈静生, 何大伟. 珠江水系河水主要离子化学特征及成因 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 1999, **35**(6): 786-793. Chen J S, He D W. Chemical characteristics and genesis of major ions in the pearl river basin [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1999, **35**(6): 786-793.
- [35] 沈照理, 朱宛华. 水文地球化学基础 [M]. 北京: 地质出版社, 1993. 83-91.
- [36] Piper A M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses [J]. *Transactions, American Geophysical Union*, 1944, **25**(6): 914-928.
- [37] Zhu B Q, Yang X P, Rioual P, *et al.* Hydrogeochemistry of three watersheds (the Erlqis, Zhungarer and Yili) in northern Xinjiang, NW China [J]. *Applied Geochemistry*, 2011, **26**(8): 1535-1548.
- [38] 陈静生, 陶澍, 邓宝山, 等. 水环境化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1987. 45-66.
- [39] 张丰述. 拉萨市城市环境地质评价 [D]. 成都: 成都理工大学, 2011. 19-23. Zhang F S. The evaluation of urban environmental geology in Lhasa city [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011. 19-23.

- [40] 康志强, 袁道先, 常勇, 等. 岩溶碳汇的主控因子——水循环[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, **41**(5): 1542-1547.
Kang Z Q, Yuan D X, Chang Y, *et al.* The main controlling factor of karst carbon sequestration: about water cycle [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, **41**(5): 1542-1547.
- [41] Başak B, Alagha O. The chemical composition of rainwater over Büyükçekmece lake, Istanbul [J]. Atmospheric Research, 2004, **71**(4): 275-288.
- [42] 王亚平, 王岚, 许春雪, 等. 长江水系水文地球化学特征及主要离子的化学成因[J]. 地质通报, 2010, **29**(2-3): 446-456.
Wang Y P, Wang L, Xu C X, *et al.* Hydro-geochemistry and genesis of major ions in the Yangtze river, China[J]. Geological Bulletin of China, 2010, **29**(2-3): 446-456.
- [43] 胡春华, 周文斌, 夏思奇. 鄱阳湖流域水化学主离子特征及其来源分析[J]. 环境化学, 2011, **30**(9): 1620-1626.
Hu C H, Zhou W B, Xia S Q. Characteristics of major ions and the influence factors in Poyang lake catchment [J]. Environmental Chemistry, 2011, **30**(9): 1620-1626.
- [44] 王鹏, 尚英男, 沈立成, 等. 青藏高原淡水湖泊水化学组成特征及其演化[J]. 环境科学, 2013, **34**(3): 874-881.
Wang P, Sang Y N, Shen L C, *et al.* Characteristics and evolution of hydrochemical compositions of freshwater lake in Tibetan Plateau [J]. Environmental Science, 2013, **34**(3): 874-881.
- [45] 罗进, 安艳玲, 吴起鑫, 等. 赤水河中下游冬季河水化学空间分布特征分析[J]. 地球与环境, 2014, **42**(3): 297-305.
Luo J, An Y L, Wu Q X, *et al.* Spatial distribution of surface water chemical components in the middle and lower reaches of the Chishui river basin[J]. Earth and Environment, 2014, **42**(3): 297-305.
- [46] Huh Y, Panteleyev G, Babich D, *et al.* The fluvial geochemistry of the rivers of Eastern Siberia: II. Tributaries of the Lena, Omoloy, Yana, Indigirka, Kolyma, and Anadyr draining the collisional/accretionary zone of the Verkhoyansk and Cherskiy ranges[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1998, **62**(12): 2053-2075.
- [47] 孙媛媛, 季宏兵, 罗建美, 等. 赣南小流域的水文地球化学特征和主要风化过程[J]. 环境化学, 2006, **25**(5): 550-557.
Sun Y Y, Ji H B, Luo J M, *et al.* Hydro-geochemistry and chemical weathering processes of small watersheds in the southern Jiangxi Province[J]. Environmental Chemistry, 2006, **25**(5): 550-557.
- [48] 盛文坤, 朱守森. 天山乌鲁木齐河中上游的水化学特征[J]. 环境科学, 1987, **8**(4): 12-18.
- [49] 皇翠兰, 蒲健辰. 西大滩煤矿冰川区冰川冰、雪和河水的阳离子特征[J]. 冰川冻土, 1995, **17**(3): 283-288.
Huang C L, Pu J C. The features of cations within glacier ice, snow and river water in the district of Xidatan Meikuang glacier [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1995, **17**(3): 283-288.



CONTENTS

Characterization and Variation of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in PM _{2.5} During the Winter in the Yangtze River Delta Region, China	KANG Hui, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i>	(961)
Important Effect of Secondary Inorganic Salt Extinction on Visibility Impairment in the Northern Suburb of Nanjing	YU Chao, YU Xing-na, ZHAO Tian-liang, <i>et al.</i>	(972)
Day-Night Differences and Source Apportionment of Inorganic Components of PM _{2.5} During Summer-Winter in Changzhou City	LIU Jia-shu, GU Yuan, MA Shuai-shuai, <i>et al.</i>	(980)
Characteristics of Elements in PM _{2.5} and PM ₁₀ in Road Dust Fall During Spring in Tianjin	WANG Shi-bao, JI Ya-qin, LI Shu-li, <i>et al.</i>	(990)
Particle Size Distribution and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric Particles from Beijing and Xixiang During Summer	ZHANG Xin, ZHAO Xiao-man, MENG Xue-jie, <i>et al.</i>	(997)
Ecological and Health Risks of Trace Heavy Metals in Atmospheric PM _{2.5} Collected in Wuxiang Town, Shanxi Province	GUO Zhao-xia, GENG Hong, ZHANG Jin-hong, <i>et al.</i>	(1004)
Characteristics of Particulate and Inorganic Elements of Motor Vehicles Based on a Tunnel Environment	LI Feng-hua, ZHANG Yan-jie, ZHANG Jing, <i>et al.</i>	(1014)
A 2013-based Atmospheric Ammonia Emission Inventory and Its Characteristic of Spatial Distribution in Henan Province	WANG Chen, YIN Sha-sha, YU Shi-jie, <i>et al.</i>	(1023)
Emission Characteristics of Wind Erosion Dust from Topsoil of Urban Roadside-Tree Pool	LI Bei-bei, QIN Jian-ping, QI Li-rong, <i>et al.</i>	(1031)
Particulate Component Emission Characteristic from a Diesel Bus with DOC and CDPF	LOU Di-ming, GENG Xiao-yu, SONG Bo, <i>et al.</i>	(1040)
Water Quality in the Henan Intake Area of the South-to-North Water Diversion Project	HUANG Piao-yi, XU Bin, GUO Dong-liang	(1046)
Spatio-Temporal Patterns and Environmental Risk of Endocrine Disrupting Chemicals in the Liuxi River	FAN Jing-jing, WANG Sai, TANG Jin-peng, <i>et al.</i>	(1053)
Fate and Origin of Major Ions in River Water in the Lhasa River Basin, Tibet	ZHANG Qing-hua, SUN Ping-an, HE Shi-yi, <i>et al.</i>	(1065)
Identification of Nitrate Sources and the Fate of Nitrate in Downstream Areas: A Case Study in the Taizi River Basin	LI Yan-li, YANG Zi-rui, YIN Xi-jie, <i>et al.</i>	(1076)
Sources, Distribution of Main Controlling Factors, and Potential Ecological Risk Assessment for Heavy Metals in the Surface Sediment of Hainan Island North Bay, South China	ZENG Wei-te, YANG Yong-peng, ZHANG Dong-qiang, <i>et al.</i>	(1085)
Characteristics of Heavy Metals Pollution of Farmland and the Leaching Effect of Rainfall in Tianjin	XU Meng-meng, LIU Ai-feng, SHI Rong-guang, <i>et al.</i>	(1095)
Seasonal Difference in Water Quality Between Lake and Inflow/Outflow Rivers of Lake Taihu, China	ZHA Hui-ming, ZHU Meng-yuan, ZHU Guang-wei, <i>et al.</i>	(1102)
Characteristics of Nitrogen Release at the Sediment-Water Interface in the Typical Tributaries of the Three Gorges Reservoir During the Sensitive Period in Spring	LI Xin, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, <i>et al.</i>	(1113)
Spatial Distributions of Transferable Nitrogen Forms and Influencing Factors in Sediments from Inflow Rivers in Different Lake Basins	ZHOU Rui, YUAN Xu-yin, Marip Ja Bawk, <i>et al.</i>	(1122)
Effects of Hydrological and Meteorological Conditions on Diatom Proliferation in Reservoirs	SUN Xiang, ZHU Guang-wei, DA Wen-yi, <i>et al.</i>	(1129)
Vertical Distribution of Fungal Community Composition and Water Quality During the Deep Reservoir Thermal Stratification	SHANG Pan-lu, CHEN Sheng-nan, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i>	(1141)
Community Structure and Influencing Factors of Bacterioplankton in Spring in Zhushan Bay, Lake Taihu	XUE Yin-gang, LIU Fei, SUN Meng, <i>et al.</i>	(1151)
Characteristics of Sediment Oxygen Demand in a Drinking Water Reservoir	SU Lu, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i>	(1159)
Effects of Wastewater Nitrogen Concentrations and NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ on Nitrogen Removal Ability and the Nitrogen Component of <i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verde	MA Yong-fei, YANG Xiao-zhen, ZHAO Xiao-hu, <i>et al.</i>	(1167)
Effect of Nutrient Loadings on the Regulation of Water Nitrogen and Phosphorus by <i>Vallisneria spiralis</i> and Its Photosynthetic Fluorescence Characteristics	ZHOU Yi-wen, XU Xiao-guang, HAN Rui-ming, <i>et al.</i>	(1180)
Removal of Organic Matter from Water by Chemical Preoxidation Coupled with Biogenic Manganese Oxidation	JIAN Zhi-yu, CHANG Yang-yang, WANG Li-xin, <i>et al.</i>	(1188)
Treating Simulated Dye Wastewater by an <i>In Situ</i> Copper Ferrite Process	HAN Zhi-yong, HAN Kun, HAO Hao-tian, <i>et al.</i>	(1195)
Experiment to Enhance Catalytic Activity of α -FeOOH in Heterogeneous UV-Fenton System by Addition of Oxalate	MIAO Xiao-zeng, DAI Hui-wang, CHEN Jian-xin, <i>et al.</i>	(1202)
Fabrication of a Biomass-Based Hydrous Zirconium Oxide Nanocomposite for Advanced Phosphate Removal	QIU Hui, QIN Zhi-feng, LIU Feng-ling, <i>et al.</i>	(1212)
Characteristic of Nitrate Adsorption in Aqueous Solution by Iron and Manganese Oxide/Biochar Composites	ZHENG Xiao-qing, WEI An-lei, ZHANG Yi-xuan, <i>et al.</i>	(1220)
Preparation of PAAm/HACC Semi-Interpenetrate Network Hydrogel and Its Adsorption Properties for Humic Acid from Aqueous Solution	LIU Ze-jun, ZHOU Shao-qi, MA Fu-zhen	(1233)
Groundwater Arsenic and Silicate Adsorption on TiO ₂ and the Regeneration of TiO ₂	MA Wen-jing, YAN Li, ZHANG Jian-feng	(1241)
Removal Efficiency and Mechanism of Removal by Humic Acid of the Integrated Flocc-ultrafiltration Process	LI Wen-jiang, YU Li-fang, MIAO Rui, <i>et al.</i>	(1248)
Emission Inventory of Greenhouse Gas from Urban Wastewater Treatment Plants and Its Temporal and Spatial Distribution in China	YAN Xu, QIU De-zhi, GUO Dong-li, <i>et al.</i>	(1256)
Start-up and Operation of Biofilter Coupled Nitrification and CANON for the Removal of Iron, Manganese and Ammonia Nitrogen	LI Dong, CAO Rui-hua, YANG Hang, <i>et al.</i>	(1264)
Analysis of CANON Process Start-up with Fiber Carrier	GU Cheng-wei, CHEN Fang-min, LI Xiang, <i>et al.</i>	(1272)
Characteristics of Biofilm During the Transition Process of Complete Nitrification and Partial Nitrification	ZHAO Qing, BIAN Wei, LI Jun, <i>et al.</i>	(1278)
Effect of Intermediate-Setting Aeration on the CANON Granular Sludge Process in the AUSB Reactor	CHENG Shuo, LI Dong, ZHANG Jie, <i>et al.</i>	(1286)
Effect of Organic Carbon Source on Start-up and Operation of the CANON Granular Sludge Process	LI Dong, WANG Yan-ju, LÜ Yu-feng, <i>et al.</i>	(1294)
Start-Up and Regional Characteristics of a Pilot-scale Integrated PN-ANAMMOX Reactor	ZHOU Zheng, WANG Fan, LIN Xing, <i>et al.</i>	(1301)
Effect of NO _x ⁻ -N Recycling Ratio on Denitrifying Phosphorus Removal Efficiency in the ABR-MBR Combined Process	LÜ Liang, YOU Wen, ZHANG Min, <i>et al.</i>	(1309)
Effects of Magnetic Fe ₃ O ₄ Nanoparticles on the Characteristics of Anaerobic Granular Sludge and Its Interior Microbial Community	SU Cheng-yuan, ZHENG Peng, LU Yu-xiang, <i>et al.</i>	(1316)
Characterization Composition of Soluble Microbial Products in an Aerobic Granular Sludge System	YANG Dan, LIU Dong-fang, DU Li-qiong, <i>et al.</i>	(1325)
Influence of Ciprofloxacin on the Microbial Community and Antibiotics Resistance Genes in a Membrane Bioreactor	DAI Qi, LIU Rui, LIANG Yu-ting, <i>et al.</i>	(1333)
Analysis of Low C/N Wastewater Treatment and Structure by the CEM-UF Combined Membrane-Nitrification/Denitrification System	XING Jin-liang, ZHANG Yan, CHEN Chang-ming, <i>et al.</i>	(1342)
Effects of Phosphorus on the Activity and Bacterial Community in Mixotrophic Denitrification Sludge	WANG Pei-qi, ZHOU Wei-li, HE Sheng-bing, <i>et al.</i>	(1350)
Acclimatization and Community Structure Analysis of the Microbial Consortium in Nitrate-Dependent Anaerobic Methane Oxidation	XUE Song, ZHANG Meng-zhu, LI Lin, <i>et al.</i>	(1357)
Diffusion of Microorganism and Main Pathogenic Bacteria During Municipal Treated Wastewater Discharged into Sea	XU Ai-ling, NIU Cheng-jie, SONG Zhi-wen, <i>et al.</i>	(1365)
Oxytetracycline Wastewater Treatment in Microbial Fuel Cells and the Analysis of Microbial Communities	YAN Wei-fu, XIAO Yong, WANG Shu-hua, <i>et al.</i>	(1379)
Spatial and Temporal Variability of Soil C-to-N Ratio of Yugan County and Its Influencing Factors in the Past 30 Years	JIANG Ye-feng, ZHONG Shan, LI Jie, <i>et al.</i>	(1386)
Spatial Heterogeneity of Soil Carbon and its Fractions in the Wolfberry Field of Zhongning County	WANG You-qi, ZHAO Yun-peng, BAI Yi-ru, <i>et al.</i>	(1396)
Response of Soil Enzyme Activities and Their Relationships with Physicochemical Properties to Different Aged Coastal Reclamation Areas, Eastern China	XIE Xue-feng, PU Li-jie, WANG Qi-qi, <i>et al.</i>	(1404)
Distribution, Sources, and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soils of the Central and Eastern Areas of the Qinghai-Tibetan Plateau	ZHOU Wen-wen, LI Jun, HU Jian, <i>et al.</i>	(1413)
Source Apportionment of Heavy Metals in Farmland Soils Around Mining Area Based on UNMIX Model	LU Xin, HU Wen-you, HUANG Biao, <i>et al.</i>	(1421)
Stabilization Effects of Fe-Mn Binary Oxide on Arsenic and Heavy Metal Co-contaminated Soils Under Different pH Conditions	FEI Yang, YAN Xiu-lan, LI Yong-hua	(1430)
Concentration and Distribution of Novel Brominated Flame Retardants in Human Serum from Three Chinese Cities	WANG Qing-hua, YUAN Hao-dong, JIN Jun, <i>et al.</i>	(1438)