

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

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

2013年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O ₃ 来源识别	李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华(1)
厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势	徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊(11)
近10年海南岛大气NO ₂ 的时空变化及污染物来源解析	符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔(18)
稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成	洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹(25)
气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H ₂)浓度	栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根(34)
小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO ₂ 特征及扩散通量	张永领, 杨小林, 张东(40)
夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究	李江萍, 张洪海, 杨桂朋(49)
基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度	张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠(56)
温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别	马小雪, 王腊春, 廖玲玲(64)
人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例	于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞(72)
太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究	汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇(80)
鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应	沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞(87)
影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析	李艳利, 李艳粉, 徐宗学(94)
水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响	刁晓君, 李一葳, 王曙光(107)
蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响	吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹(114)
汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化	程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅(121)
三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征	王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟(130)
三峡库区农林复合小流域水体汞的时空变化特征	赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇(136)
环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响	宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法(143)
三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征	高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮(151)
舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析	周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇(163)
太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律	李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮(172)
厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估	程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋(179)
两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例	王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真(186)
大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价	张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光(194)
铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验	陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张艮林, 肖军(202)
铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究	陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华(209)
一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究	吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊(215)
磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为	张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷(221)
腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附	朱晓婧, 何江涛, 苏思慧(227)
降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响	赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋(237)
FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究	陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江(244)
微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响	邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜(252)
微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化	曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全(259)
舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征	张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉(266)
四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究	周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林尤静(274)
铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用	徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维(280)
外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响	熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(286)
厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征	洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲(295)
洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素	商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚(301)
不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究	吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超(309)
畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化	商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯(314)
华南某市生活垃圾组成特征分析	张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德(325)
生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥	刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印(333)
基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究	徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌(338)
一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测	刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国(343)
典型黄土区油松树干液流变化特征分析	张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩(349)
利用巨藻发酵产氢气与挥发性有机酸的研究	赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲(357)
人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响	李曼璐, 姜玥璐(365)
《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236, 243, 273, 300)	

人类活动影响下水化学特征的影响：以西江中上游流域为例

于爽^{1,2}, 孙平安², 杜文越², 何师意^{2*}, 李瑞³

(1. 中国地质大学环境学院, 武汉 430074; 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. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715)

摘要: 对西江中上游3个代表性断面进行一个完整水文年每月3次的观测和取样, 利用水化学、流量等数据, 探讨自然过程和人为活动影响下的河流水化学演化过程. 对研究区116个水样的水化学特征进行分析. 研究区的类型为 HCO_3^- - Ca^{2+} 型, 化学风化类型主要属于岩石风化, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 是主要的阳离子和阴离子, 反映了岩溶地区河水化学特征主要受碳酸盐岩溶解影响. Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 主要受自然条件控制, 人类活动影响对其影响不大. K^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 不同程度地受到人类活动的影响并且显示出不同的影响途径. 本研究对我国南方季风区河流水化学变化、水质特征、下游珠江物质输送通量的影响、水质保护具有重要意义.

关键词: 人类活动; 水化学特征; 河流; 岩石风化; 西江

中图分类号: X142 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0072-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.01.010

Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin

YU Shi^{1,2}, SUN Ping-an², DU Wen-yue², HE Shi-yi^{2*}, LI Rui³

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Key Laboratory of Karst Dynamics Laboratory, Ministry of Land and Resources & Guangxi; Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China; 3. School of Geography Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: In this paper, observation and sampling were taken three times a month in a hydrological year for three typical sections of the middle and upper reaches of the Xijiang River basin, based on the data of hydrochemistry and flow, the article mainly discusses the evolution process of hydrochemistry in river under natural process and impact of human activity. Hydrochemical characteristics of 116 samples were analyzed in the study area. The hydrochemistry type in the middle and upper reaches of the Xijiang River basin belonged to HCO_3^- - Ca^{2+} type, and the chemical weathering type mainly came from carbonate rock weathering. Ca^{2+} and HCO_3^- were the main cations and anions, which reflected that hydrochemical characteristics of river in karst area mainly affected by the dissolution of carbonate rock. Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} and Cl^- mainly affected by natural conditions, the impact of human activity was little. K^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} and HCO_3^- were affected by human activity in different degrees, and it showed different influence ways. This study had an important significance for the change of river hydrochemistry, water quality characteristics, and the effect on substance transported fluxes in the downstream of Pearl River and water quality protection in South China Monsoon Area.

Key words: human activities; hydrochemical characteristics; river; rock weathering; Xijiang River

河流作为全球水循环的重要组成部分,在元素地球化学循环中起着重要作用,它是海陆间物质能量交换的重要通道,其水化学特征反映了流域内元素的地球化学行为、岩石化学风化与机械剥蚀作用的强弱等重要信息^[1~4]. 河流与硅酸盐和碳酸盐岩石的化学风化作用,将大气当中 CO_2 转化为DIC (dissolved inorganic carbon, 主要成分为 HCO_3^-),通过陆地水生生态系统光合生物对DIC的利用最终形成的内源有机碳埋藏(autochthonous),这个过程有效地削弱系统地球的温室效应^[5~7]. 通过对河水的化学计量平衡和化学通量估算可以揭示流域化学风化过程其碳汇效应、碳源、碳转移,这已经成为

当前全球变化研究的一个重要方面^[8~16]. 自20世纪60年代初期我国学者对我国500条河流的水化学研究,有关河流水化学特征和原因的研究得到迅速发展^[17],如陈静生等^[18~20]、韩贵琳等^[21]、张立成等^[22]对我国的长江、黄河、珠江、乌江、湘江以

收稿日期: 2014-05-05; 修订日期: 2014-08-05

基金项目: 地质调查项目(12120113005100); 国家自然科学基金项目(41202185, 41402324); 广西自然科学基金项目(2014GXNSFBA118228); 中国地质科学院岩溶地质研究所所控基金项目(201320, 201429); 国土资源部公益性行业科研专项(201311148); 国土资源部、广西岩溶动力学重点实验室开放基金项目(14-A-02-03, KDL2012-09)

作者简介: 于爽(1983~), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为水文地质、岩溶环境方面, E-mail: yushi@karst.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: hsyh66@163.com

及东部河流的水化学特征、水质状况和流域特征进行了较为详尽地分析. 随着社会的发展, 不同的人类活动方式成为影响河水化学组成的一个重要因素. 农业活动、工业污染、植被破坏等将各种污染物释放到水体中, 越来越多的河水由于受到污染导致水体的富营养化和不能作为饮用水^[23~28]; 水库的建立改变天然河流溶质运移的过程, 这增加了研究未受污染河水化学组成的难度^[29,30]. 因此, 通过对流域的自然条件和离子化学组成的分析, 可以判别河水中离子的主要来源及其影响因素. 本研究试图利用水化学、流量等数据, 探讨自然过程和人为活动影响下的河流水化学演化过程, 对我国南方季风区河流水化学变化、水质特征、下游珠江物质输送通量的影响、水质保护具有重要意义.

1 研究区概况

西江是珠江水系的主流, 流经亚热带湿热季风气候区, 全长 2 214 km, 流域面积约 35 万 km², 年平均径流总量 2 300 亿 m³. 径流年内变化大, 4~9 月为汛期, 约占全年径流量的 72%~78%. 多年平均温度 12~14℃, 年际变化很小. 流域下伏岩层以沉积岩和岩浆岩为主, 其中浅海相沉积碳酸盐岩面积最大, 占流域总面积的 44%, 主要连片分布于流域中上游地区, 现代地表和地下溶蚀过程非常强烈; 岩浆岩以花岗岩类占绝大多数, 集中分布于广西东部和广东境内. 流域土壤以赤红壤和红壤为主, 云贵高原 600~800 m 以上地区及桂西北 700~1 200 m 以上山地上覆黄壤, 石灰岩地区分布有石灰土, 河谷平原、盆地灌溉水源解决地区还分布有水稻土. 西江中上游主要干流桂江由北向南, 经兴安、桂林、阳朔、平乐、昭平终于广西梧州, 梧州断面距珠江口大约 300 km^[31~33].

本研究选取西江流域中上游出口梧州段、主要支流桂江的阳朔段、昭平段作为取样点. 梧州段(取样点为梧州水文站)是整个西江流域中上游流域的出口, 占整个西江流域的 94% 左右, 集水面积为整个西江流域的 91%; 阳朔段和昭平段为西江中上游流域主要干流之一桂江的两个主要断面, 阳朔段代表碳酸盐岩地区(取样点为阳朔水文站)、昭平段硅酸盐岩地区(取样点为昭平水文站). 研究区内地表河流流域的空间水化学研究比较全面^[34~36], Gao 等^[37]以梧州水文站为研究点, 研究其月尺度、暴雨尺度的水质变化、计算出化学风化消耗 CO₂ 通量; 唐文魁等^[38]通过对桂江流域的主要离子及溶

解无机碳的生物地球化学过程研究, 计算出大气沉降、人类活动、碳酸盐岩和硅酸盐岩化学风化对河流贡献的溶解物质分别占总溶解物质的比例. 上述研究对不同连续时间序列(月季尺度、暴雨尺度)水化学变化研究还略显不足^[39,40]. 本研究通过 2011 年 4 月~2012 年 3 月一个完整水文年度每月 3 次的观测(降雨加密取样), 探讨自然过程和人为活动影响下的河流水化学演化过程.

2 材料与方法

采用仪器现场测试、现场滴定和样品室内测试相结合的研究方法, 于 2011 年 4 月~2012 年 3 月对河流水样进行定期监测和采样, 暴雨加密取样, 取水样 116 个, 采样位置见图 1.

使用德国 WTW 公司 Multi340i 便携式水质多参数分析仪, 现场测定各采样点河水的 pH、水温

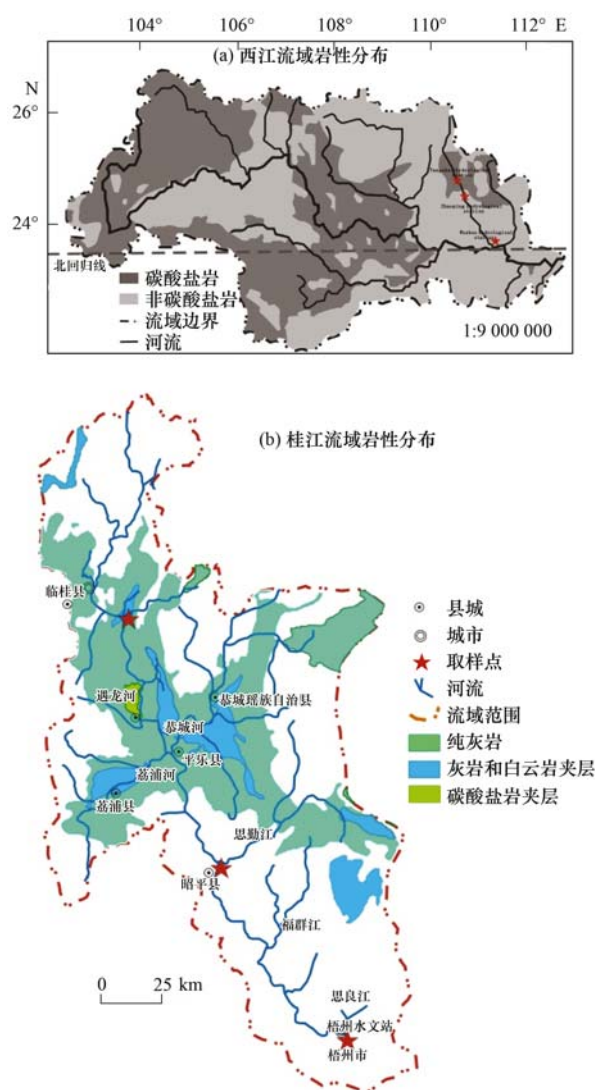


图 1 研究区岩性分布示意

Fig. 1 Distribution map of lithology in study area

(T)、电导率(Spc)等参数,其中 Spc 是由温度自动补偿至 25°C 的值, pH 、 T 、 Spc 精度分别达到 0.01 个 pH 单位、 0.1°C 和 $1\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. 使用德国 Merck 公司生产的碱度试剂盒测定水中的 HCO_3^- 浓度,分辨率分为 $0.1\ \text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. 流量采用陕西欣源科技有限公司生产的 YSD5 本安型流速测量仪测量,测试精度为 $0.01\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

对样品进行室内分析(SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 F^- 、 Cl^- 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^-). 在野外使用 600 mL 高密度聚乙烯瓶采集水样,采集之前先用样品润洗 3 遍,然后再装取水样,采样中瓶内不留气泡. 将采集的水样带回实验室先用 $0.45\ \mu\text{m}$ 醋酸纤维滤膜过滤,然后用处理过的聚乙烯瓶分装,样品测试前放置于 4°C 的冰箱中冷藏保存. HCO_3^- 用盐酸滴定法测定,每个样品重复滴定 2~3 次,平均误差 $<5\%$. 阳离子(K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 NH_4^+)用戴安 ICS1500 离子色谱仪分析,阴离子(SO_4^{2-} 、

NO_3^- 、 F^- 和 Cl^-)用万通 MIC 离子色谱仪分析. 阴阳离子电荷平衡之差 $<5\%$. 中国地质科学院岩溶地质研究所岩溶地质与资源环境测试中心承担了水样的分析测试工作.

3 实验结果

样品水化学数据见图 2,从 2011 年 4 月~2012 年 3 月期间,梧州段、昭平段、阳朔段水体化学组分成范围如表 1 所示. 阴离子电荷($\text{TZ}^- = \text{HCO}_3^- + 2\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{F}^- + \text{Cl}^-$)与阳离子电荷($\text{TZ}^+ = \text{K}^+ + \text{Na}^+ + 2\text{Ca}^{2+} + 2\text{Mg}^{2+} + \text{NH}_4^+$)平衡之差($|(\text{TZ}^- - \text{TZ}^+) / (\text{TZ}^- + \text{TZ}^+)|$)小于 $<5\%$. 梧州段、昭平段、阳朔段降雨量分别为 1360、1693.5、1111 mm,降雨时段分别不均,主要集中在汛期 4~9 月,降雨量分别占全年降雨量的 69.6%、68.0%、57.6%,径流量分别占全年 64.7%、51.3% 和 72.18% 以上. 雨季的水温则略高于旱季.

表 1 研究区水体化学组成及降雨量

Table 1 Chemical composition of water and rainfall in study area

样点名称	成分/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$							降雨量 /mm
	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	
梧州段	0.015~0.076	0.120~0.273	0.770~1.297	0.163~0.296	0.106~0.299	1.490~2.515	0.202~0.471	0.087~0.153
昭平段	0.018~0.065	0.058~0.226	0.534~1.004	0.063~0.233	0.051~0.244	0.962~2.019	0.088~0.238	0.003~0.181
阳朔段	0.008~0.076	0.048~0.383	0.496~0.983	0.057~0.195	0.044~0.744	1.037~2.150	0.079~0.184	0~0.185

4 讨论

4.1 研究区的水化学类型

从研究区 3 个断面的水化学 Piper 三线图(图 3)看,在阳离子三角图上 Ca^{2+} 是主要的阳离子,占阳离子组成部分的 79.4%;其次为镁离子 Mg^{2+} ,所占比例为 8.3%; K^+ 和 Na^+ 约占 12.3%. 在阴离子三角图上,阴离子中 HCO_3^- 含量最高,平均占阴离子的 82%;其次是 SO_4^{2-} ,含量为 13%; Cl^- 含量最低,为 5%. 其中虽然梧州站的 SO_4^{2-} 明显要比上游的两个断面要高,依然属于弱酸大于强酸类型.

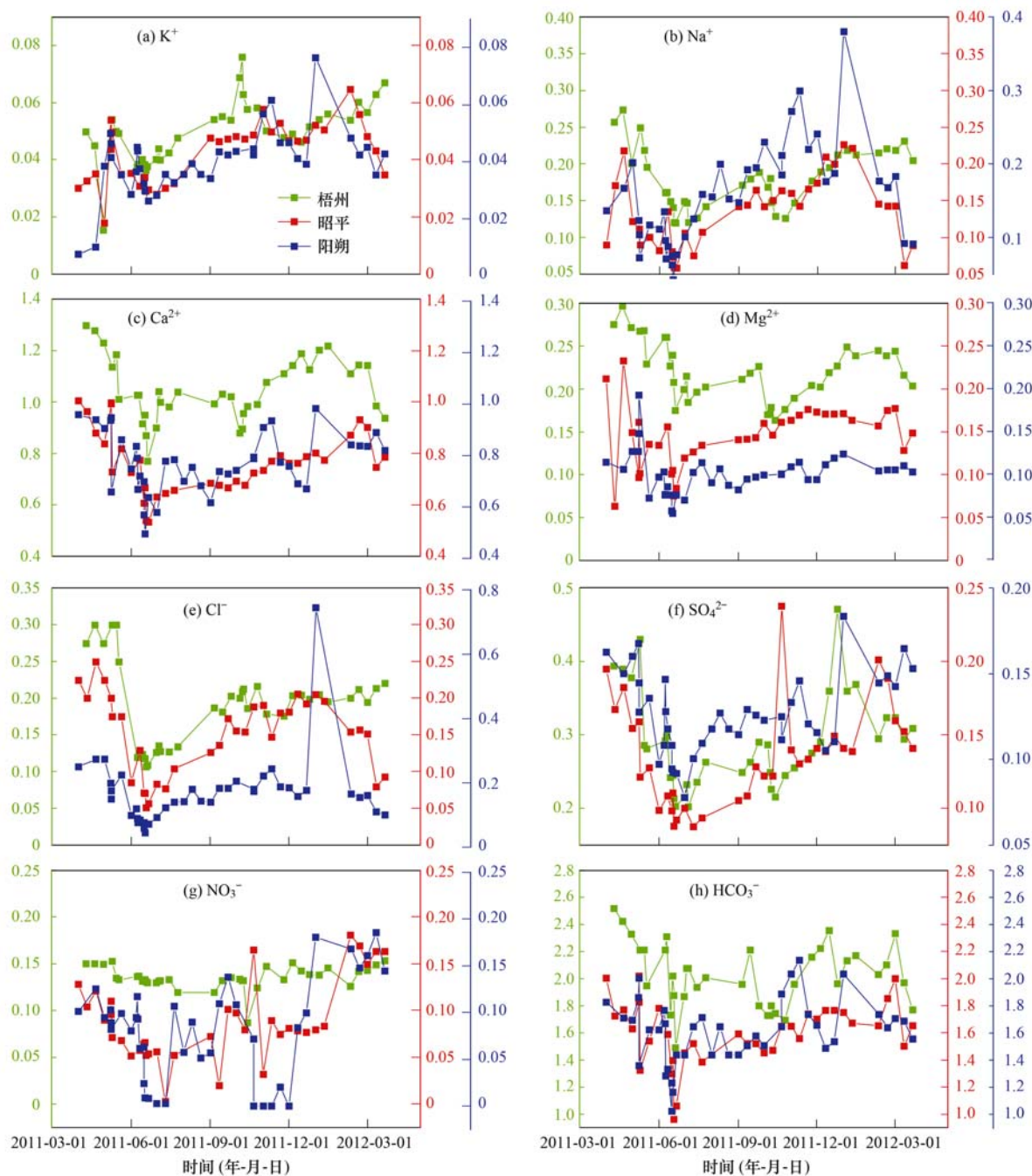
研究区的水化学类型为 HCO_3^- - Ca^{2+} 型,与珠江和长江部分一级支流、湄公河下游相似^[18,41,42]. Ca^{2+} 、 HCO_3^- 可能主要来自于流域上游的碳酸盐岩溶解,这两种离子的浓度与岩溶作用强度有密切的联系,反映了岩溶地区河水化学特征主要受碳酸盐岩溶解影响. 由于整个西江流域没有明显的煤系地层,梧州段的硫酸根高于其他两个断面可能是由于上游人类活动影响造成.

本研究将 116 个水样的水化学资料点绘于

Gibbs 图中(图 4),可以清楚地看出,西江中上游流域绝大部分的样品 $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 值在 0.02~0.17 范围内, $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 值在 0.05~0.18 之间,除了极个别点之外,河水主要组分基本上属于“岩石风化类型”,主要反映了岩石溶解作用对河水水化学的影响. 因此总体上看研究区河水水化学主要受控于岩石的风化作用,降雨组分对其影响较小.

从样品和三大盐岩 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 与 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 与 $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$ 的关系图(图 5)上可以看出,以碳酸盐岩地层为主的阳朔段面部分受到硅酸盐控制,这可能是由于桂江水系最上游为硅酸盐岩地区,外源水汇入岩溶区,导致岩溶作用加强;以硅酸盐岩地层为主的昭平段相当一部分受到碳酸盐岩的控制,可能是受到上游岩性的影响;梧州断面显示为碳酸盐岩风化占主体,指示了岩溶水通过硅酸盐岩地区,参与硅酸盐岩的风化,最终混合到梧州出口.

总体上说,在三大类岩石风化中, $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 与 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 与 $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$ 的关系图上可以看出,3 个断面的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 与 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 、



纵坐标单位为 $mmol \cdot L^{-1}$, 从左到右 3 柱分别对应梧州、昭平和阳朔

图 2 主要离子变化趋势

Fig. 2 Change trends of main ions

HCO_3^-/Na^+ 比值较高, 大部分都分布于图 5 的右上角, 小部分处于中部, 因此研究区河水化学组成主要受碳酸盐岩控制, 部分受硅酸盐岩影响, 不受蒸发岩影响。这是由于西江流域上游的岩性碳酸盐岩分布很广泛, 在广西壮族自治区境内, 泥盆系至三叠系都有碳酸盐类岩层出露, 出露面积达 78 000 km^2 , 其中西江流域的主要干流桂江流域碳酸盐岩的面积就达到 9 885 km^2 [43]。

4.2 主要离子变化趋势及影响因素

3 个断面中, 昭平断面和阳朔断面 K^+ 变化较整个水文年变化范围小, 梧州断面 K^+ 分布基本上位于 3 个断面最高值, 可能是下游农业活动(钾肥)更加强烈或者汇集中上游农业活动所造成的 K^+ ; 3 个断面 K^+ 整体变化趋势为雨季(4~9 月) < 旱季(10 月~次年 3 月), 显示由于流量增大导致稀释作用占主导作用。

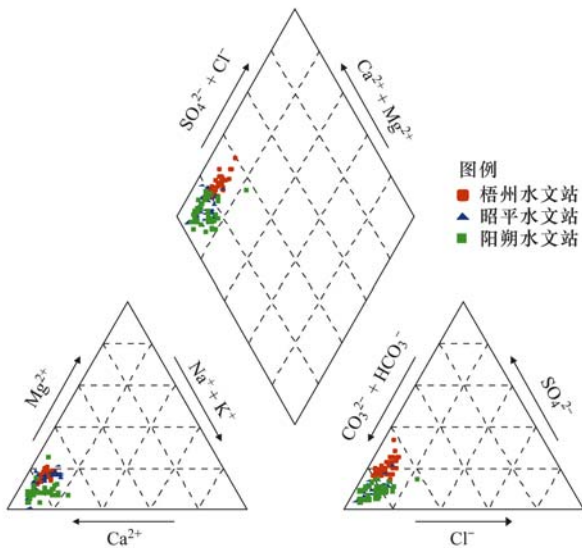


图3 研究区河水的Piper三线图

Fig. 3 Piper chart of river water in study area

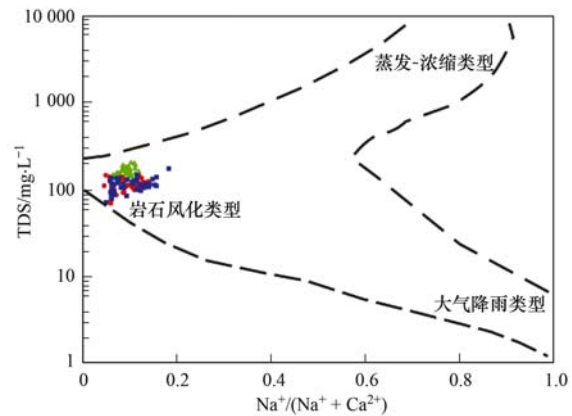
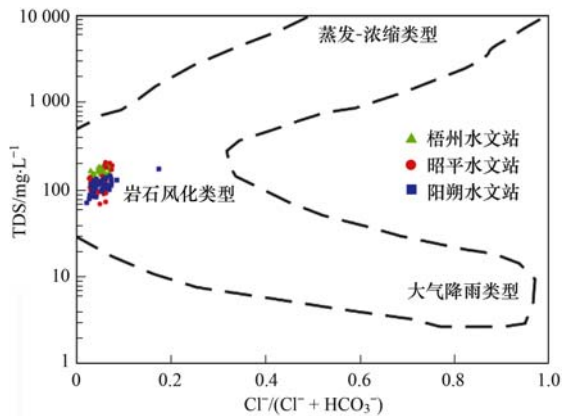
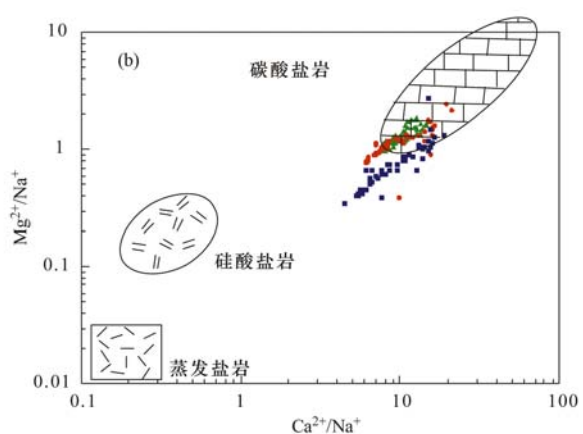
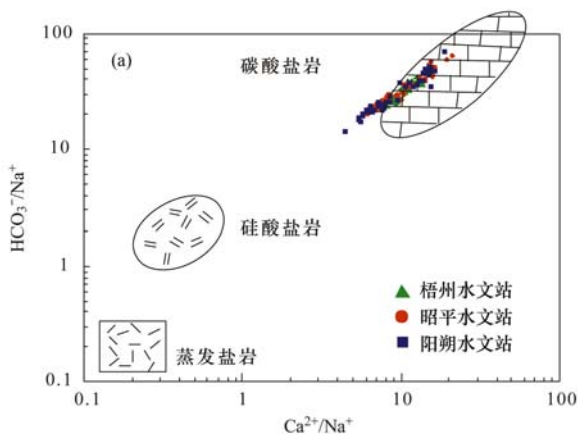


图4 河水的Gibbs图

Fig. 4 Gibbs graphs of river water

图5 河水中 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ 与 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^{+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ 与 $\text{HCO}_3^{-}/\text{Na}^{+}$ 的关系Fig. 5 Relationship of $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ and $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^{+}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ and $\text{HCO}_3^{-}/\text{Na}^{+}$ for the river waters

Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 主要是碳酸盐岩风化产物,桂江中上游流域碳酸盐岩分布广泛(图1)。碳酸盐岩在

Na^{+} 整体变化趋势为2011年4月和5月开始增加,6~9月下降,10月~次年2月为上升趋势,2012年3月则为下降趋势。原因可能是由于雨季的到来,西江(桂江)上游的硅酸盐岩风化造成的 Na^{+} 上升,随后由于稀释作用 Na^{+} 下降,旱季来临使 Na^{+} 在大概5个月时间回升并保持在中间的范围,到了2011年3月由于降雨的关系再度稀释了 Na^{+} 浓度。从个体上看,旱季阳朔断面 Na^{+} 有着明显的增大,增大幅度要比昭平断面要大。这可能是由于桂江水系最上游为硅酸盐岩地区,外源水汇入岩溶区,显示了上游的硅酸盐岩风化;而以硅酸盐岩地层为主的昭平段则受到上游碳酸盐岩的部分控制,本身的硅酸盐岩风化反而变化增长幅度不大。这种现象可能是河水的物质传输通量累积效应的影响,同监测断面所处的当地的地层关系不大。

CO_2 和 H_2O 的参与下容易发生岩溶作用,大多数样品的pH值处于7.0~8.4,这反映了流域石灰岩和

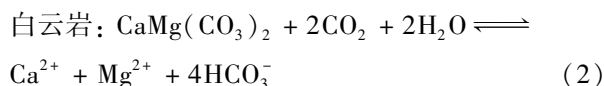
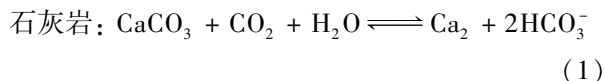
白云岩溶解的影响. 石灰岩和白云岩溶解形成 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- , 其中石灰岩的溶解速率比白云岩快, 并且石灰岩的面积占流域碳酸盐岩面积的 97.77% (包含灰岩与白云岩互层), 所以桂江河水中 Mg^{2+} 通常比 Ca^{2+} 少. 3 个断面 Ca^{2+} 浓度变化规律基本上是雨季降低, 旱季趋于平滑. 昭平断面 Mg^{2+} 在雨季初期出现较大波动, 这可能是由于昭平断面上游建立的梯级电站 (下福水电站、京南水电站、金牛坪水电站) 雨季泄洪所致; 梧州断面 2011 年 4 月和 5 月雨季变化与昭平断面和阳朔断面呈反相关, 可能是由于从桂江阳朔段开始零星分布少量灰岩和白云岩夹层以及郁江贵港段基岩主要以白云岩分布为主, 降雨过程中加速 Mg^{2+} 溶解, 体现出岩溶地区岩溶管道或者岩溶管网发育成熟^[44], 同时通过“地表+地底”径流模式汇入下游, 汇入的过程存在一定时间差所造成的.

Cl^- 主要来源可认为一是通过大气带入并沉降在河水中的海盐^[45], 二是人为输入 (西江流域几乎没有蒸发岩, 所以由于岩石风化造成的 Cl^- 可以忽略不计). 3 个断面 Cl^- 的变化趋势除去个别异常点外基本一致, 假设 Cl^- 有人为输入的来源, 那么 3 个断面的 Cl^- 变化趋势必然不一致, 特别阳朔断面为国家级风景旅游区农业活动较少, 可认为 Cl^- 没有受到人物活动的影响. 同时梧州断面总体 Cl^- 略高, 认为是梧州断面比较接近海洋, 受到海盐输入的影响, 和前人研究结论类似^[18].

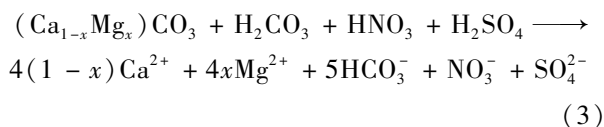
由于西江流域没有明显的煤系地层, 所以 SO_4^{2-} 主要源于工业活动和大气沉降等. 3 个断面 SO_4^{2-} 雨季变化规律为反复“上升—下降—上升—下降”过程, 并最终达到最低值; 旱季规律为保持在一个稳定的范围, 于 2012 年 1 到 2 月之间达到一个明显的高值然后再下降. 分析认为人类活动造成的 SO_2 等酸性气体进入大气后, 造成局部地区中的 SO_2 富集, 雨季来临时随雨水降下形成酸雨, 这种形成酸雨 (富集) — 降雨 (稀释) — 再形成酸雨 (富集) — 再降雨 (稀释) 的过程造成 SO_4^{2-} 浓度“上升—下降—上升—下降”的现象. 在旱季, SO_4^{2-} 浓度在 1 到 2 月之间达到一个明显的高值然后再下降这种现象可能是冬春季是能源使用高峰, 火力发电站、向大气中排放大量 SO_2 ^[46], 同时这些大量 SO_2 没有足够的雨水进行稀释而导致的. 3 个断面的 NO_3^- 变化完全趋势较为不同. 梧州断面 NO_3^- 浓度在一个水文年里面无论是雨季还是旱季变化幅度较小, 指示了大江大河自身的缓冲性和流调蓄所造成.

阳朔断面 NO_3^- 浓度变化显示了阳朔受到农业活动影响较少, 部分月份 NO_3^- 浓度为 0 或者趋近于 0. 3 个断面的 NO_3^- 于 2012 年 3 月同时达到最高值, 可能是春节期间燃放鞭炮 NO_x 浓度较为集中, 1 月和 2 月间没有足够的雨水进行稀释, 直到 3 月才有较多的降雨. 河水中 NO_3^- 主要源于人类在农业活动中施用的氮肥, 而 SO_4^{2-} 主要源于工业活动和大气沉降等^[47], 因此河水中的 $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ 和 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$ 比值的变化主要反映了农业活动和工业活动的影响. 如图 6(a) 所示, 阳朔段除了少数几个样品外, 其它点都偏向农业活动的方向, 这可能是由于阳朔是世界知名的旅游胜地, 工业分布稀少, 可能受到人类活动的影响 (旅游、农业); 昭平段受到农业活动的影响比较明显, 梧州段所有的样品落点基本都是在工业活动、大气输入和农业活动的中间, 这可能是由于梧州段即是西江中上游和下游的分界点, 控制着柳江流域、桂江流域、贺江流域等上游下来的河水, 干流和支流的水混合在一起, 是大气输入和人类活动相互混合的结果.

HCO_3^- 是样品当中浓度最大的阴离子, 平均占阴离子的 82%. 3 个断面除了昭平断面受到水库调蓄影响 HCO_3^- 浓度变化趋势稍微不同, 另外两个断面 HCO_3^- 浓度变化趋势几乎一致, 证明了研究区是以碳酸盐岩风化为主. 碳酸盐矿物的碳酸溶解反应式如下.



主要产物有 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} , 而且 $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ 的当量比值为 1. 但从图 6(b) 可以看出河水样品的离子比中只有加上 SO_4^{2-} 即 $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-]$, 其比值才近似为 1, 表明河水中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 需要重碳酸盐和硫酸盐离子来平衡. 由于硫酸对生物地球化学循环有影响或相互作用以及反应的独特性, 硫酸参与的碳酸盐岩风化 [式 (3)] 越来越引起人们的重视^[48,49]. 前已述及, 研究区 SO_4^{2-} 主要源于工业活动和大气沉降, 所以 HCO_3^- 也间接受到人类活动的影响.



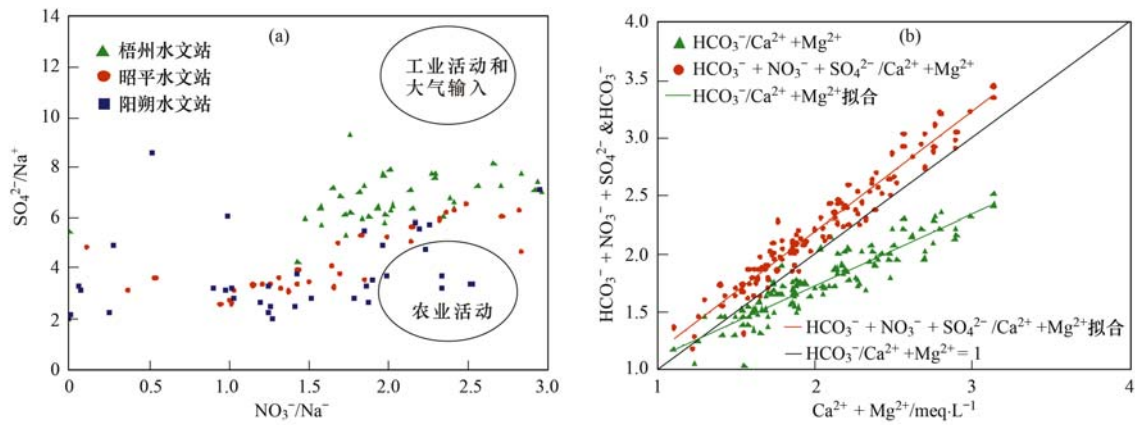


图6 河水中 $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ 与 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$ 和 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 与 $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ 的关系

Fig. 6 Relationship of $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ and $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ and $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ for the river waters

5 结论

(1) 研究区水样的类型为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ 型, 化学风化类型主要属于岩石风化. Ca^{2+} 、 HCO_3^- 可能主要来自于流域上游的碳酸盐岩溶解, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 是主要的阳离子和阴离子, 分别占阳离子和阴离子组成部分的 79.4% 和 82%, 反映了岩溶地区河水化学特征主要受碳酸盐岩溶解影响, 受硅酸盐岩影响较少.

(2) Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 主要受自然条件控制, 人类活动对其影响不大.

(3) K^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 不同程度地受到人类活动的影响并且显示出不同的影响途径. 影响 Na^+ 浓度变化趋势主要是施肥作用, 影响 NO_3^- 变化趋势除了施肥作用还有酸雨作用, SO_4^{2-} 主要受到工业活动造成酸雨影响, HCO_3^- 间接受到影响. 此外水库调蓄作用也对上述 4 种离子有一定影响.

参考文献:

- [1] Romain M, Jérôme G, Bernard D, *et al.* The global control of silicate weathering rates and the coupling with physical erosion: new insights from rivers of the Canadian Shield [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, **196**(1-2): 83-98.
- [2] Bernard D, Céline D, Priscia O, *et al.* Rivers, chemical weathering and Earth's climate [J]. *Surface Geosciences*, 2003, **335**(16): 1141-1160.
- [3] Hindshaw R S, Tipper E T, Reynolds B C, *et al.* Hydrological control of stream water chemistry in a glacial catchment (Damma Glacier, Switzerland) [J]. *Chemical Geology*, 2011, **285**(1-4): 215-230.
- [4] Li S Y, Lu X X, He M, *et al.* Major element chemistry in the upper Yangtze River: A case study of the Longchuanjiang River [J]. *Geomorphology*, 2011, **129**(1-2): 29-42.
- [5] Saša Z, Tjaša K, Jennifer M, *et al.* Isotopic and chemical constraints on the biogeochemistry of dissolved inorganic carbon and chemical weathering in the Karst watershed of Krka River (Slovenia) [J]. *Aquatic Geochemistry*, 2013, **19**(3): 209-230.
- [6] 刘再华. 岩石风化碳汇研究的最新进展和展望 [J]. *科学通报*, 2012, **57**(2-3): 95-102.
- [7] 张连凯, 覃小群, 杨慧, 等. 珠江流域河流碳输出通量及变化特征 [J]. *环境科学*, 2013, **34**(8): 3025-3034.
- [8] 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.
- [9] 韩贵琳, 刘丛强. 贵州喀斯特地区河流的研究——碳酸盐岩溶解控制的水文地球化学特征 [J]. *地球科学进展*, 2005, **20**(4): 394-406.
- [10] Tao Z, Gao Q Z, Wang Z G, *et al.* Estimation of carbon sinks in chemical weathering in a humid subtropical mountainous basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2011, **56**(35): 3774-3782.
- [11] Liu Z H, Dreybrodt W, Liu H. Atmospheric CO_2 sink: Silicate weathering or carbonate weathering? [J]. *Applied Geochemistry*, 2011, **26**: S292-S294.
- [12] Lloret E, Dessert C, Gaillardet J, *et al.* Comparison of dissolved inorganic and organic carbon yields and fluxes in the watersheds of tropical volcanic islands, examples from Guadeloupe (French West Indies) [J]. *Chemical Geology*, 2011, **280**(1-2): 65-78.
- [13] 刘再华, Dreybrodt W. 碳酸盐风化碳汇与森林碳汇的对比——碳汇研究思路和方法变革的必要性 [J]. *中国岩溶*, 2012, **31**(4): 345-348.
- [14] Jiang Y J, Hu Y J, Schirmer M. Biogeochemical controls on daily cycling of hydrochemistry and $\delta^{13}\text{C}$ of dissolved inorganic carbon in a karst spring-fed pool [J]. *Journal of Hydrology*, 2013, **478**(25): 157-168.
- [15] Shin W J, Ryu J S, Park Y Y, *et al.* Chemical weathering and associated CO_2 consumption in six major river basins, South Korea [J]. *Geomorphology*, 2011, **129**(3-4): 334-341.

- [16] Liu B J, Liu C Q, Zhang G, *et al.* Chemical weathering under mid-to cool temperate and monsoon-controlled climate: A study on water geochemistry of the Songhuajiang River system, northeast China [J]. *Applied Geochemistry*, 2013, **31**: 265-278.
- [17] 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.
- [18] 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**(5): 786-793.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 韩贵琳, 刘从强. 贵州乌江水系的水文地球化学研究[J]. *中国岩溶*, 2000, **19**(1): 35-43.
- [22] 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.
- [23] Gburek W J, Folmar G J. Flow and chemical contributions to streamflow in an upland watershed: a baseflow survey [J]. *Journal of Hydrology*, 1999, **217**(1-2): 1-18.
- [24] Poor C J, Jeffrey J M. The effects of land use on stream nitrate dynamics [J]. *Journal of Hydrology*, 2007, **332**(1-2): 54-68.
- [25] Moreno J L, Navarro C, de las Heras J. Abiotic ecotypes in south-central Spanish rivers: Reference conditions and pollution [J]. *Environmental Pollution*, 2006, **143**(3): 388-396.
- [26] Rosli N A, Zawawi M H, Bustami R A. Salak River water quality identification and classification according to physico-chemical characteristics [J]. *Procedia Engineering*, 2012, **50**: 69-77.
- [27] de Aguiar Netto A O, Garcia C A B, Hora Alves Jdo P, *et al.* Physical and chemical characteristics of water from the hydrographic basin of the Poxim River, Sergipe State, Brazil [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, **185**(5): 4417-4426.
- [28] Shakir A, Chaudhry A S, Qazi J I. Impact of anthropogenic activities on physico-chemical parameters of water and mineral uptake in Catla from river Ravi, Pakistan [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, **185**(3): 2833-2842.
- [29] 李思悦, 谭香, 徐志方, 等. 湖北丹江口水库主要离子化学季节变化及离子来源分析[J]. *环境科学*, 2008, **29**(12): 3353-3358.
- [30] 韩志伟, 刘从强, 吴攀, 等. 大坝拦截对河流水溶解组分化学组成的影响分析——以夏季乌江渡水库为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, **18**(4): 361-367.
- [31] 黄奇波, 刘朋雨, 覃小群, 等. 桂江流域岩溶碳汇特征[J]. *中国岩溶*, 2011, **30**(4): 437-442.
- [32] 王华, 张春来, 杨会, 等. 利用稳定同位素技术研究广西桂江流域水体中碳的来源[J]. *地球学报*, 2011, **32**(6): 691-698.
- [33] 水利部珠江水利委员会《珠江志》编纂委员会. 珠江志[M]. 广州: 广东科技出版社, 1991. 150.
- [34] 姚冠荣, 高全洲, 王振刚, 等. 西江下游溶解无机碳含量的时空变异特征及其输出通量[J]. *地球化学*, 2008, **37**(3): 258-264.
- [35] 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.
- [36] 张红波, 何师意, 于爽, 等. 桂江流域河流水化学特征及影响因素[J]. *中国岩溶*, 2012, **31**(4): 395-401.
- [37] Gao Q Z, Tao Z, Huang X K, *et al.* Chemical weathering and CO₂ consumption in the Xijiang River basin, South China [J]. *Geomorphology*, 2009, **106**(3-4): 324-332.
- [38] 唐文魁, 陶贞, 高全洲, 等. 桂江主要离子及溶解无机碳的生物地球化学过程[J]. *环境科学*, 2014, **35**(6): 2099-2107.
- [39] 张红波, 何师意, 于爽, 等. 夏季岩溶区河流的水化学及碳汇动态变化——以桂林漓江为例[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2013, **38**(3): 55-61.
- [40] 张红波, 何师意, 闫志为, 等. 岩溶区河流洪水过程中的碳汇动态变化——以桂林漓江为例[J]. *桂林理工大学学报*, 2012, **32**(4): 512-518.
- [41] Xu Z F, Shi C, Tang H Y. Chemical and strontium isotopic compositions of the Hanjiang Basin Rivers in China: anthropogenic impacts and chemical weathering [J]. *Aquatic Geochemistry*, 2011, **17**(3): 243-264.
- [42] Li S Y, Lu X X, Bush R T, *et al.* Chemical weathering and CO₂ consumption in the Lower Mekong River [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **472**(15): 162-177.
- [43] 黄奇波, 覃小群, 唐萍萍, 等. 桂江流域河流有机碳特征[J]. *地质科技情报*, 2014, **33**(2): 148-153.
- [44] 刘再华, 李强, 汪进良, 等. 桂林岩溶试验场钻孔水化学暴雨动态和垂向变化解释[J]. *中国岩溶*, 2004, **23**(3): 169-176.
- [45] Négrel P, Roy S. Chemistry of rainwater in the Massif Central (France): a strontium isotope and major element study [J]. *Applied Geochemistry*, 1998, **13**(8): 941-952.
- [46] 刘从强. 生物地球化学过程与地表物质循环——西南喀斯特流域侵蚀与生源要素循环[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [47] 刘从强, 蒋颖魁, 陶发祥, 等. 西南喀斯特流域碳酸盐岩的硫酸侵蚀与碳循环[J]. *地球化学*, 2008, **37**(4): 404-414.
- [48] Li S L, Calmels D, Han G L, *et al.* Sulfuric acid as an agent of carbonate weathering constrained by $\delta^{13}\text{C}$ DIC: Examples from Southwest China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, **270**(3-4): 189-199.
- [49] 于爽, 何师意, 杨慧, 等. 酸雨对广西典型碳酸盐岩地区碳源效应研究[J]. *地球与环境*, 2012, **40**(1): 44-49.

CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i>	(1)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i>	(11)
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO ₂ over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i>	(18)
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i>	(25)
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H ₂) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i>	(34)
Partial Pressure of CO ₂ and CO ₂ Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong	(40)
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng	(49)
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(56)
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenritang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling	(64)
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i>	(72)
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i>	(80)
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i>	(87)
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue	(94)
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang	(107)
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i>	(114)
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i>	(121)
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(130)
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(136)
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i>	(143)
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i>	(151)
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i>	(163)
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i>	(172)
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i>	(179)
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i>	(186)
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i>	(194)
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i>	(202)
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i>	(209)
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i>	(215)
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i>	(221)
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui	(227)
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i>	(237)
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i>	(244)
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i>	(252)
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i>	(259)
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i>	(266)
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i>	(274)
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i>	(280)
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(286)
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i>	(295)
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i>	(301)
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i>	(309)
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i>	(314)
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i>	(325)
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i>	(333)
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i>	(338)
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i>	(343)
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i>	(349)
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i>	(357)
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu	(365)

《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)

2015年1月15日 第36卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 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