

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第8期

Vol.35 No.8

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

2012年春季京津冀地区一次沙尘暴天气过程中颗粒物的污染特征分析	刘庆阳, 刘艳菊, 赵强, 张婷婷, 张美根, 王存美 (2843)
杭州灰霾天气超细颗粒浓度分布特征	陈秋方, 孙在, 谢小芳 (2851)
气象因素对广州市大气中二噁英污染特征的影响	杜国勇, 苏原, 任明忠, 张素坤, 青宪 (2857)
龙凤山本底站大气 CO ₂ 数据筛分及浓度特征研究	栾天, 周凌晔, 方双喜, 姚波, 王红阳, 刘钊 (2864)
区域传输对华东森林及高山背景点位大气污染物浓度的影响	苏彬彬, 许榕洋, 张若宇, 纪贤鑫 (2871)
天津市夏季蜂窝状溶蚀器涂层溶液浓度确定的实验研究	张诗建, 姬亚芹, 张雷波, 赵雪艳, 朱振宇, 杨文 (2878)
铅锌冶炼厂不同工艺铅元素粒径分布特征	梁俊宁, 李文慧, 葛毅, 陈洁, 宋丽娜, 刘杰 (2883)
KI 改性黏土脱除烟气中单质汞的研究	沈伯雄, 陈建宏, 蔡记, 何川, 李卓 (2890)
污泥直接干化产生的恶臭及挥发性有机物特征研究	陈文和, 邓明佳, 罗辉, 张婧赢, 丁文杰, 刘俊新, 李琳 (2897)
基于风险管理的区域(流域)地下水污染预警方法研究	白利平, 王业耀, 郭永丽, 周友亚, 刘俐, 颜增光, 李发生 (2903)
1980~2010年浙江某典型河流硝态氮通量对净人类活动氮输入的动态响应	张柏发, 陈丁江 (2911)
南京仙林新市区土地利用结构与格局对湿地水环境氮、磷影响研究	蔡春晓, 刘红玉, 李玉凤, 王聪, 侯明行 (2920)
三江平原典型沼泽湿地养分累积与沉积特征	李瑞利, 柴民伟, 邱国玉, 石福臣, Sasa Kaichiro (2928)
岩溶地下河流域表层土壤多环芳烃污染特征及来源分析	蓝家程, 孙玉川, 师阳, 徐昕, 袁道先, 胡宁 (2937)
亚热带典型岩溶区地表溪流水文地球化学昼夜变化及其影响因素研究	张陶, 蒲俊兵, 袁道先, 章程, 何师意, 于爽, 刘文, 莫雪, 周建超, 杨会, 唐伟 (2944)
藏南干旱区湖泊及地热水体氢氧同位素研究	肖可, 沈立成, 王鹏 (2952)
广西五里峡水库夏季溶解无机碳行为的初步研究	刘文, 蒲俊兵, 于爽, 章程, 区绎如, 袁道先, 杨会, 唐伟 (2959)
铜陵相思河流域重金属分布特征研究	陈莉薇, 徐晓春, 王军, 陈芳 (2967)
不同压力作用下太湖蓝藻气囊体积分数及上浮特性研究	王巍, 丛海兵, 徐亚军, 陈雯婧, 徐思涛, 吴军, 蒋新跃 (2974)
酸性条件下Ti(IV)催化 O ₃ /H ₂ O ₂ 降解邻苯二甲酸二甲酯	高燕, 沈佟栋, 陈尧, 周慧华, 童少平 (2980)
无机离子与胡敏酸对零价铁去除水中Pb(II)、Hg(II)的影响	施秋伶, 周欣, 张进忠, 邱昕凯 (2985)
羟基磷灰石-四氧化三铁-沸石复合材料制备及去除水中刚果红研究	方巧, 林建伟, 詹艳艳, 杨孟娟, 郑雯婧 (2992)
不锈钢 201、304 和 316L 在模拟污水管道反应器中的腐蚀	鲍国栋, 左剑恶, 王雅娟, 千里里 (3002)
微滤过程中腐殖酸与膜表面黏附特性的试验研究	王磊, 王磊, 黄丹曦, 王旭东 (3007)
不同类型 LDHs 对垂直流人工湿地无烟煤基质的覆膜改性及其脱氮效果研究	张翔凌, 郭露, 陈俊杰, 刘小婷, 徐璐, 陈巧珍, 王晓晓 (3012)
SPG 膜曝气-基因工程菌生物膜反应器处理阿特拉津废水研究	刘春, 龚鹏飞, 肖太民, 张明, 年永嘉, 杨景亮, 张晶 (3018)
SPG 膜微气泡曝气生物膜反应器运行性能影响因素研究	张磊, 张明, 刘春, 张静, 刘俊良 (3024)
曝气膜生物反应器运行过程中污泥活性特征变化及其对膜污染的影响	陈烜, 汤兵, 张姿, 宾丽英, 黄绍松, 付丰连, 邱兵 (3031)
限量曝气进水时间对硝化颗粒污泥的影响特性研究	刘文如, 阴芳芳, 王建芳, 沈耀良 (3038)
UASBB 厌氧氨氧化反应器处理污泥脱水液的影响因素研究	李亚峰, 马晨曦, 张驰 (3044)
开封周边地区地表灰尘中汞背景值及其应用	陈彦芳, 马建华, 董运武, 刘德新, 陈星 (3052)
北京市幼儿园地面尘中有毒金属浓度及其健康风险	段恒轶, 吴亚涛, 王珏, 刘兆荣 (3060)
珠三角电子垃圾和城市地区家庭灰尘中多氯联苯的来源及暴露风险	朱智成, 陈社军, 丁南, 王璟, 罗孝俊, 麦碧娴 (3066)
温带典型草原土壤总有机碳及溶解性有机碳对模拟氮沉降的响应	齐玉春, 彭琴, 董云社, 肖胜生, 孙良杰, 刘欣超, 何亚婷, 贾军强, 曹丛丛 (3073)
不同肥料种类对稻田红壤碳氮淋失的影响	刘希玉, 邹敬东, 徐丽丽, 张心昱, 杨风亭, 戴晓琴, 王忠强, 孙晓敏 (3083)
低分子有机酸对土壤中 Cu 化学形态的影响	黄国勇, 付庆灵, 朱俊, 万田英, 胡红青 (3091)
EDTA 与柠檬酸复配洗涤修复多重金属污染土壤效果研究	尹雪, 陈家军, 蔡文敏 (3096)
不同生态系统土壤生化特征及其与土壤呼吸和 N ₂ O 排放的关系	陈玲, 范会, 蒋静艳 (3102)
黄河口不同恢复阶段湿地土壤 N ₂ O 产生的不同过程及贡献	孙文广, 孙志高, 甘卓亭, 孙万龙, 王伟 (3110)
猪粪化肥配施对双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放及其全球增温潜势的影响	王聪, 沈健林, 郑亮, 刘杰云, 秦红灵, 李勇, 吴金水 (3120)
我国北方两地区环境臭氧浓度对矮菜豆生长的影响	袁相洋, 张巍巍, 孙敬松, 胡恩柱, 张玉龙, 张红星, 田媛, 冯兆忠 (3128)
丛枝菌根影响纳米 ZnO 对玉米的生物效应	王卫中, 王发园, 李帅, 刘雪琴 (3135)
丛枝菌根对翅荚木生长及吸收累积重金属的影响	李霞, 彭霞薇, 伍松林, 李志茹, 冯红梅, 江泽平 (3142)
含磷物质对水稻吸收土壤砷的影响	雷鸣, 曾敏, 廖柏寒, 胡立琼, 周航, 龙水波 (3149)
重金属铬(VI)的生态毒性及其土壤环境基准	王晓南, 刘征涛, 王婉华, 张聪, 陈丽红 (3155)
维生素 B ₁₂ 对脱氮功能蓝藻降解 2,4,4'-三氯联苯的促进作用研究	刘嘉裕, 肖文丰, 鲁莉萍, 张杭君 (3162)
己烯雌酚降解菌株沙雷氏菌的分离鉴定及其降解特性	徐冉芳, 孙敏霞, 刘娟, 汪泓, 李欣, 朱雪竹, 凌婉婷 (3169)
多溴联苯醚在市場鲫鱼体内分布和食鱼暴露量	王俊霞, 王春艳, 刘莉莉, 周啸宇, 刘洋成, 林匡飞 (3175)
稀有鮐鲫 HMGR 基因全克隆及雌雄经五氯酚暴露基因表达的分析	邓川, 毛思予, 熊力, 张晓峰, 李伟, 高香, 刘秋萍, 陈韵, 刘堰 (3183)
藻细胞和高岭土的存在对病毒 MS2 存活的影响	何强, 吴庆庆, 马红芳, 周真明, 苑宝玲 (3192)
多胺功能化介孔炭对 Pb(II) 的吸附动力学与机制	李坤权, 王艳锦, 杨美蓉, 朱志强, 郑正 (3198)
生物活性炭投加量对垃圾渗滤液处理效果的影响	崔延瑞, 郭焱, 吴青, 马罗丹, 孙剑辉, 崔凤灵 (3206)
经济结构调整的污染减排效应: 以 COD 减排为例	李名升, 周磊, 陈远航, 李茜, 张建辉 (3212)
中国铅流改变原因分析	马兰, 毛建素 (3219)
放牧阉牦牛提前出栏甲烷排放强度减排潜力探讨	汪诗平, Andreas Wilkes, 汪亚运, 白玲 (3225)
中国水体硝酸盐氮氧双稳定同位素溯源研究进展	徐志伟, 张心昱, 于贵瑞, 孙晓敏, 温学发 (3230)
《环境科学》征稿简则 (2936) 《环境科学》征订启事 (3051) 信息 (2882, 2927, 3059, 3218)	

亚热带典型岩溶区地表溪流水文地球化学昼夜变化及其影响因素研究

张陶^{1,2}, 蒲俊兵^{2*}, 袁道先^{1,2}, 章程², 何师意², 于爽², 刘文^{1,2}, 莫雪^{1,2}, 周建超^{1,2}, 杨会², 唐伟²

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 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)

摘要: 为了解岩溶区地表溪流水文地球化学的昼夜变化过程及其影响因素, 于 2013-07-09 ~ 2013-07-14 期间, 在广西壮族自治区融安县官村地下河出口 (G1) 和下游雷崖村 (G2) 设置两个监测点同时展开了为期 5 d 的高分辨率昼夜监测工作, 每 15 min 监测水温 (T)、pH、溶解氧 (DO) 和电导率 (Spc), 每 2 h 进行人工采样工作, 样品测试 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 等主要离子以及 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 。结果发现: ① G1 和 G2 点都是 HCO_3^- -Ca 型水, 但是两个监测点表现出不同的水文地球化学昼夜变化过程; ② 监测期间官村地下河出口 (G1) 的物理化学参数和主要离子 (Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 等) 基本上保持稳定, 而雷崖监测点 (G2) 的物理化学参数 (T 、pH、DO、Spc) 和 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 离子表现出有规律的昼夜变化特征; ③ G2 监测点的溶解无机碳 (DIC) 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值表现出相反的昼夜变化特征, DIC 在白天下降晚上升高而 $\delta^{13}\text{C}$ 值白天上升晚上下降, 并表现出较好的负相关关系 (相关系数为 -0.87 , $P < 0.01$)。结果表明, 水生植物的光合作用和呼吸作用、水温以及脱气作用共同影响岩溶区地表溪流水文地球化学的昼夜变化, 控制了岩溶地表溪流内部物质循环过程。

关键词: 水文地球化学; 昼夜变化; 水生植物; 光合作用; 呼吸作用

中图分类号: X142 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)08-2944-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.08.015

Diel Variations of Hydrochemistry and Influencing Factors in a Surface Stream in Subtropical Karst Area, SW China

ZHANG Tao^{1,2}, PU Jun-bing², YUAN Dao-xian^{1,2}, ZHANG Cheng², HE Shi-yi², YU Shi², LIU Wen^{1,2}, MO Xue^{1,2}, ZHOU Jian-chao^{1,2}, YANG Hui², TANG Wei²

(1. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, 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)

Abstract: In order to understand the diel variation and influencing factors of hydrochemistry in a surface creek fed by karst subterranean river in a subtropical area, where is located at Guancun Village, Daliang Township, Rong'an County of Guangxi Zhuang Autonomous Region, China, two monitoring sites were set simultaneously to launch Guancun subterranean river outlet (G1) and surface creek mouth (G2), respectively. Physical and hydrochemical parameters including pH, dissolved oxygen (DO), water temperature (T) and specific conductivity (Spc) were measured at 15-minute intervals and water samples for analyzing major ions such as Ca^{2+} , HCO_3^- and NO_3^- as well as $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ were collected at 2-hour intervals. The results showed that: ① G1 and G2 sites were both HCO_3^- -Ca type water, however the two monitoring sites showed different diel variations of hydrogeochemical process; ② The physical and hydrochemical parameters (T , DO, pH, Spc) and major ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) in G1 site were basically stable, while the physical and hydrochemical parameters (T , DO, pH, Spc) and major ions (Ca^{2+} , HCO_3^- and NO_3^-) in G2 site displayed regular diel variation during monitoring; ③ The dissolved inorganic carbon (DIC) and $\delta^{13}\text{C}$ values in G2 monitoring site showed reverse characteristics in diurnal fluctuations, where DIC decreased in daylight and increased at night while the $\delta^{13}\text{C}$ value increased in daylight and decreased at night, DIC also showed a negative correlation with the $\delta^{13}\text{C}$ value (correlation coefficient is -0.87 , $P < 0.01$) in G2 site. These results indicated that photosynthesis and respiration of aquatic plants, water temperature and degassing jointly affected diurnal variation of hydrochemistry and controlled the cycling process of internal matter in this surface creek fed by karst subterranean river.

Key words: hydrochemistry; diel variation; aquatic plants; photosynthesis; respiration

收稿日期: 2013-12-31; 修订日期: 2014-03-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41202185); 国土资源部公益性行业科研专项 (201311148); 中国地质调查局地质调查项目 (12120113005100, 12120113006700); 广西自然科学基金项目 (2012GXNSFBA053137); 中央高校基本科研业务费专项 (XDJK2014D002); IGCP/SIDA598 项目

作者简介: 张陶 (1989 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为岩溶水文地质学, E-mail: tao21mi@163.com

* 通讯联系人, E-mail: junbingpu@hotmail.com

地表溪流水化学特征一般表现出不同时间尺度上的变化,从几小时到几十年的变化跨度^[1,2]。随着近年来监测与取样技术的发展,地表溪流水化学参数如温度(T)、pH、溶解氧(DO)、电导率(Spc)和个别离子都已经实现了以天、小时或者分钟为间隔的高分辨率监测^[3,4]。近来的研究表明,水化学参数如 T 、DO、pH、Spc和个别的离子浓度,有一个可与其季节变化过程媲美的昼夜变化过程^[5~7]。因此,了解地表溪流水化学特征的昼夜变化过程,对于理解地表溪流复杂的水文地球化学过程及其生态环境效应是非常重要的。

一些研究揭示地表溪流的水化学及其物理化学参数如温度、pH、溶解氧和电导率等存在着明显的昼夜变化,而且 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 等离子浓度也表现出在白天下降而夜间上升的昼夜变化过程^[8~10]。然而关于影响岩溶区地表溪流水文地球化学过程昼夜变化的主要因素一直存在争议,Drysdale等^[11]指出水温的波动控制着水中DO和 CO_2 的溶解度,从而改变了方解石溶解与沉淀的平衡,从而使得 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 浓度以及Spc在白天减少夜间增多。Liu等^[12]和吕保樱等^[13]则指出是水生植物的光合作用和呼吸作用控制着水体中DO和 CO_2 的溶解度的昼夜变化,从而引起方解石的白天沉淀而夜间溶解。Nimick等^[14]认为是水生植物的光合作用和呼吸作用以及方解石的溶解与沉淀共同控制着 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 浓度以及Spc的昼夜变化。

Guo等^[15,16]研究了官村地下河出口的主要离子(K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^-)的季节变化和硝态氮的年际动态变化及其年输入输出量。Zhang等^[17]研究了官村地下河地表溪流的溶解无机碳及其稳定同位素的昼夜变化过程及产生的碳汇效应。然而,以前的研究未综合考虑溪流各种水文地球化学指标是否存在昼夜变化以及它们的主要影响因素。本研究通过在岩溶地表溪流中设置两个监测点,通过两个监测点的温度、pH、溶解氧和电导率等高分辨率的物理化学参数指标,主要阴阳离子(Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 等指标)以及溶解无机碳及其稳定同位素的昼夜变化从空间和时间上更好地探讨岩溶区地表溪流水文地球化学昼夜变化过程及其主要影响因素,以期为更好地了解岩溶地表溪流生物地球化学循环过程提供科学认识。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广西壮族自治区柳州市融安县大良镇官村,经度为 $109.33^\circ \sim 109.35^\circ \text{E}$,纬度为 $24.84^\circ \sim 24.87^\circ \text{N}$,海拔约为160 m(图1)。研究区地表溪流长约1.35 km,其源头为官村地下河,地下河从岩溶含水层排出地表后形成地表溪流,流经雷崖村后汇入融江重要支流之一的石门河,研究区工作选取官村地下河出口(G1)及其下游雷崖村(G2)两个监测点进行监测,监测点间溪流坡度较缓($<2 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$),宽约为2~5 m,河流深度较浅(0.2~0.5 m),最深的地方约为1 m,流速较小($0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),溪流河道中生长着丰富的水藻等水生植物。研究区为中亚热带季风湿润性气候,多年平均温度为 20°C ,年平均降雨量为1750 mm,干雨季明显,其中雨季降雨量达到全年的90%以上,研究区内地层主要为上泥盆统融县组(D_3r)灰岩,并具有白云岩夹层。

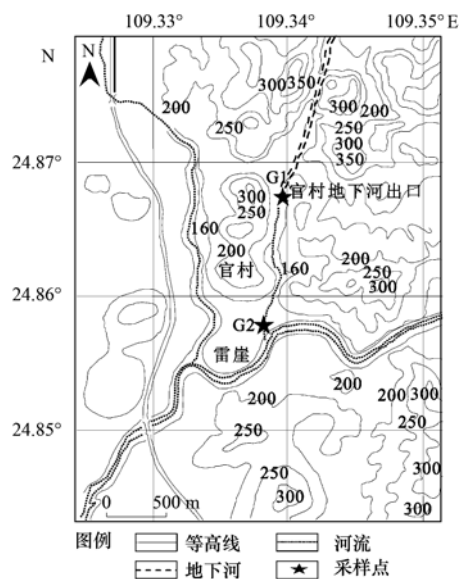


图1 研究区示意^[17]

Fig. 1 Location map of study site

1.2 研究方法

在官村地下河出口(G1)和雷崖村(G2)设置两个监测点,于2013-07-09~2013-07-14期间进行监测采样工作,使用Multi340i便捷式多参数水质分析仪(德国WTW公司)进行每15 min一次的物理化学参数(pH、 T 、DO、Spc)的监测工作,精度分别为0.004个pH单位、 0.1°C 、0.5%和0.5%。采样工

作每 2 h 采集一次,G1 和 G2 两个点各采集 61 个样品,使用碱度计(德国 Merck 公司)现场滴定水体中 HCO_3^- 离子含量,精度为 $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 水样现场用直径 50 mm,0.45 μm 的醋酸纤维脂膜过滤,样品用清洁的 30 mL 聚乙烯瓶采集水样,采集之前先用水样刷洗瓶子 3 遍,然后再装取水样,不留气泡,盖紧后用封口胶密封,用于测定水体中溶解无机碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$). 取 600 mL 过滤水样储存于高密度聚乙烯瓶中,用于阴离子测定. 另取过滤水样装于事先用 1:1 的 HNO_3 溶液清洗过的 50 mL 聚乙烯瓶中,立即加入浓硝酸 2~3 滴,调节 pH 值 <2 ,用于阳离子测定. 所有水样采集后立即放入便捷式冰袋保存,并于 12 h 内运至室内 4°C 冷藏. Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 阴离子采用离子色谱仪分析, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 阳离子采用美国 Perkin Elmer Optima 2100 ICP-OES 光谱仪测定. 阴阳离子分析误差 $<5\%$. 用 MAT253(美国热电公司)与 Gas Bench 连续流同位素质谱,利用磷酸法测试水样溶解无机碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$ 以 V-PDB 标准给出),分析误差 $<0.15\%$. 所有测试工作均由中国地质科学院岩溶地质研究所国土资源部岩溶地质资源环境监督检测中心完成.

根据现场监测和分析测试得出的水温、pH、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 等参数,利用 WATSPEC 软件^[18]计算出水体二氧化碳分

压 $p(\text{CO}_2)$ 和方解石饱和度指数(SIc). 二氧化碳分压 $p(\text{CO}_2)$ 计算见式(1).

$$p(\text{CO}_2) = (\text{HCO}_3^-)(\text{H}^+)/K_hK_1 \tag{1}$$

式中, K_h 和 K_1 分别是 H_2CO_3 和 CO_2 的平衡常数. 方解石饱和度指数(SIc)计算公式[式(2)].

$$\text{SIc} = \lg(\text{Ca}^{2+})(\text{CO}_3^{2-})/K_c \tag{2}$$

式中, K_c 为方解石平衡常数.

2 结果与讨论

2.1 研究点水化学总体特征

从表 1 可以看出研究期内 G1 和 G2 点水体中都是 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 为主要离子,其它阴阳离子所占比例相对较小,水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型水. G1 和 G2 点阴离子中都是 HCO_3^- 含量最高,所占水体中阴离子含量的比重分别为 94.06% 和 93.85%, SO_4^{2-} 含量次之, Cl^- 含量最少. 阳离子中, Ca^{2+} 所占比重最高,两个研究点分别为 90.13%、90.00%, Mg^{2+} 离子含量次之, Na^+ 和 K^+ 离子含量最少. G1 点的 SIc 为 0.23~0.3,平均值为 0.26,G2 点的 SIc 为 0.7~0.82,平均值为 0.75,可见 G1 和 G2 点河水均处于方解石过饱和状态. Ca^{2+} 和 HCO_3^- 两种离子的浓度与岩溶作用强度有密切的联系,反映了岩溶地区河流水化学特征主要受石灰岩溶解影响,这也与该地区地层主要为上泥盆纪融县组灰岩吻合.

表 1 G1 和 G2 监测点水化学指标变化特征

Table1 Variation of water chemical indicators at G1 and G2 sites

项目	G1		G2	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值
$\text{Mg}^{2+}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	8.00~8.81	8.38	7.06~8.98	7.99
$\text{Ca}^{2+}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	79.9~87.8	83.7	73.3~85.0	79.3
$\text{Na}^+/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.53~0.64	0.59	0.39~0.62	0.51
$\text{K}^+/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.20~0.31	0.29	0.23~0.43	0.30
$\text{HCO}_3^-/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	263.9~284.2	272.0	242.9~275.7	259.9
$\text{Cl}^-/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2.35~2.56	2.44	2.31~2.52	2.42
$\text{SO}_4^{2-}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	13.7~14.9	14.5	13.5~14.8	14.5
$\text{NO}_3^-/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2.48~10.29	8.54	8.49~9.92	9.38
SIc	0.23~0.3	0.26	0.7~0.82	0.75
$p(\text{CO}_2)/\times 10^{-6}$	8 912.5~9 772.4	9 399.4	2 187.8~3 235.9	2 734.8
$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	-14.41~-13.19	-13.95	-14.25~-12.38	-13.14

2.2 物理化学参数的昼夜变化

为了了解详细的物理化学参数的昼夜变化,在官村地下河出口(G1)和雷崖(G2)两个监测点进行 5 d(07-09~07-14)的高分辨率监测工作,监测期间天气晴朗并有较高的气温(图 2).

从图 3(a)可以看出,G1 点的物理化学参数(T 、DO、pH、Spc)都处于很小的一个波动,基本上处于

稳定,而 G2 点却有比较明显的昼夜变化[图 3(b)],G2 点的水温与气温变化基本上一致(图 2),表现为白天上升到下午达到最大值,晚上下降达到最小值. 而 DO 随着温度上升而升高并在下午(13:00~16:15)达到最大值,随着夜晚的到来,温度下降,水中 DO 浓度下降,在夜间(21:00~22:00)达到最小值并在后半夜(00:00~06:00)保持相对

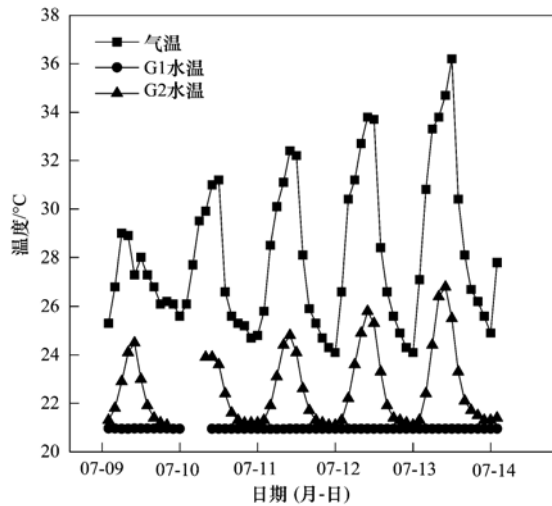


图2 G1、G2点水温和气温昼夜变化

Fig. 2 Diel variation of atmospheric temperature and water temperature of G1 and G2 sites

稳定状态. pH 与 DO 表现出相似的趋势, 白天上升到下午(12:00 ~ 15:30)达到最大值, 夜间下降, 下半夜(23:00 ~ 06:00)达到最小值并相对 DO 有滞后的现象, Spc 则与 pH 表现出相反的昼夜变化规律, 白天下降到下午(14:30 ~ 16:45)达到最小值, 晚上上升到半夜和清晨(23:00 ~ 07:45)达到最大值. 虽然 G2 点的水体来自于 G1 点, 但 G1 和 G2 两个监测点的物理化学参数表现出不同的昼夜变化特征, 可以说明影响两点地球化学过程昼夜变化的因素并不相同.

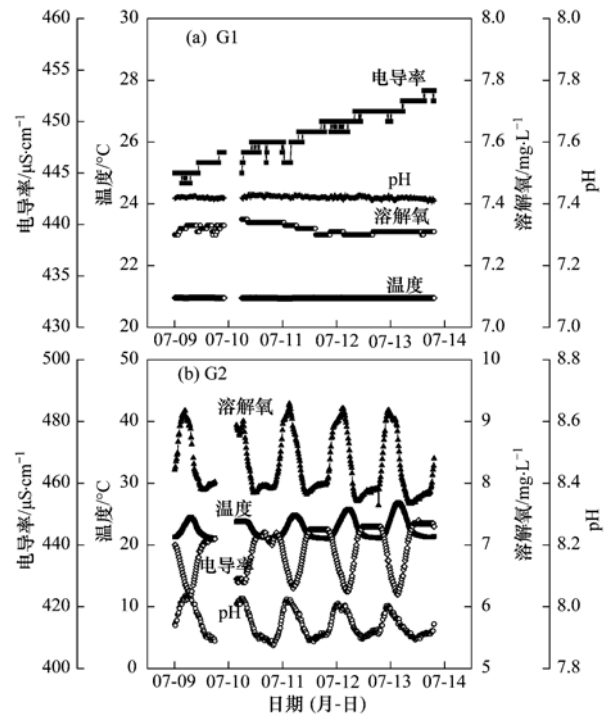


图3 G1和G2点水温、pH、溶解氧和电导率的昼夜变化

Fig. 3 Diel variation of water temperature, dissolved O₂, pH and Spc at G1 and G2 sites

2.3 主要离子的昼夜变化

选取 07-11T00:30 ~ 07-12T00:30 的数据进行河流主要离子昼夜变化的分析. 从图 4 可以看出

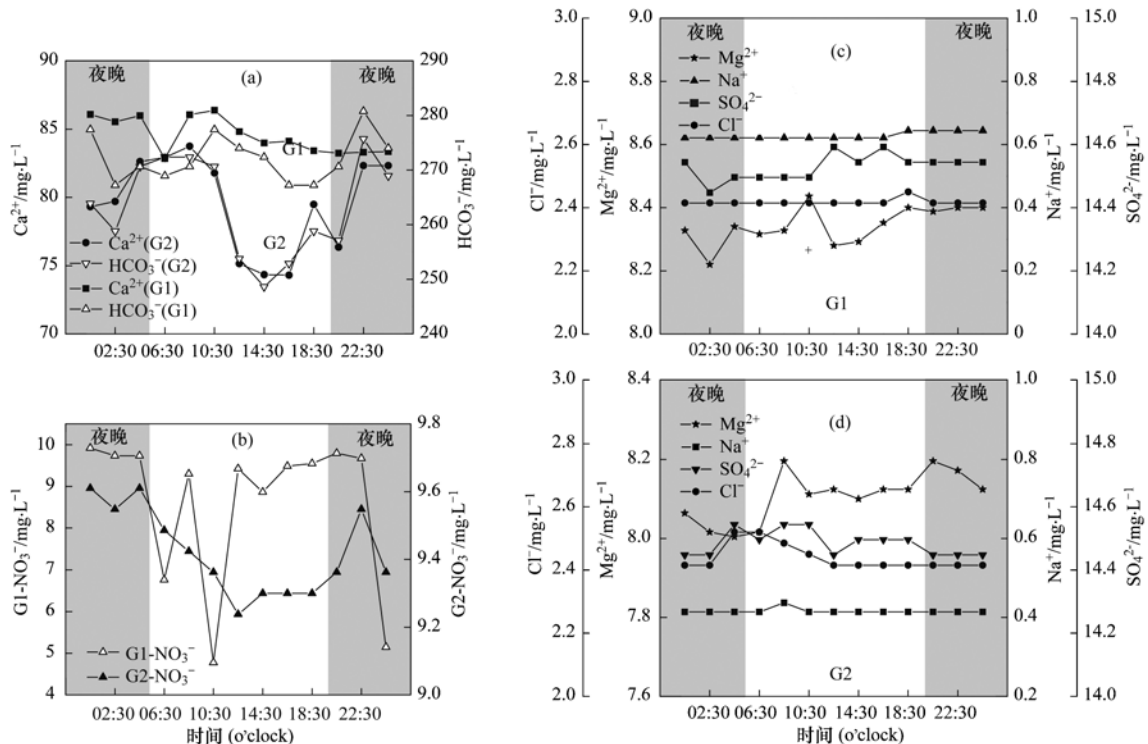
图4 G1和G2点Ca²⁺、HCO₃⁻、NO₃⁻、Na⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、Cl⁻离子浓度昼夜变化

Fig. 4 Diel variation of Ca²⁺, HCO₃⁻, NO₃⁻, Na⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ and Cl⁻ ion concentrations at G1 and G2 sites

G1 监测点的 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 离子质量浓度变化较小且没有表现出有规律的昼夜变化特征,而 G2 监测点的 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 离子质量浓度表现出明显的昼夜变化, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 离子质量浓度白天下降到下午(14:30~16:30)达到最小值而晚上(22:30~8:30)上升达到最大值。 NO_3^- 离子质量浓度白天下降到中午(12:30)达到最小值,晚上上升到凌晨(00:30~04:30)达到最大值。而从图 4(c)和 4(d)可以看出,G1 和 G2 两个监测点的 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 离子质量浓度也都没有表现出昼夜变化特征,而是相对稳定,变化很小。综上所述,只有 G2 监测点的 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 离子表现出有规律的昼夜变化特征,白天下降而晚上上升。

从图 5 中可以看出 G2 监测点的 $p(\text{CO}_2)$ 和 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 离子表现出明显的昼夜变化, $p(\text{CO}_2)$ 与 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 离子有很强的正相关关系,相关系数达到 0.81 和 0.80。从图 5 中可以看出, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 离子与 S_{pc} 的变化很一致,有很好的正相关关系, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 两种离子与 S_{pc} 的相关系数分别为 0.81 和 0.78,所以说明 $p(\text{CO}_2)$ 的昼夜波动影响着 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 离子质量浓度的昼夜变化,从而影响着 S_{pc} 的昼夜变化。

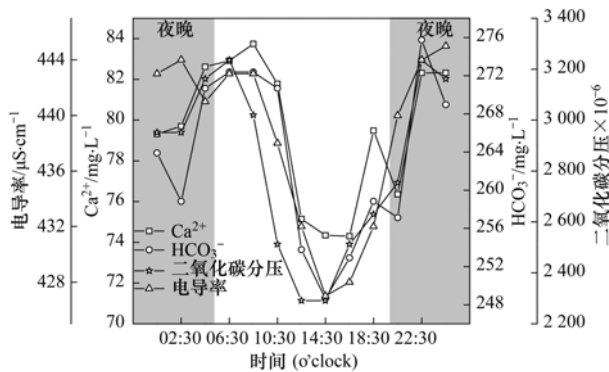


图 5 G2 点的 S_{pc}、 $p(\text{CO}_2)$ 和 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 离子浓度的昼夜变化
Fig. 5 Diel variation of S_{pc}, $p(\text{CO}_2)$ and Ca^{2+} , HCO_3^- ion concentrations at site G2

水生植物吸收营养盐合成有机物质促进新陈代谢,而水生植物的光合作用引起的硝酸盐浓度的昼夜变化的研究已经进行了很多年,在光合作用增强时,水生植物通过同化作用,吸收硝酸盐而降低其浓度,同时 DO 升高^[19,20]。从图 6 中可以明显看出 DO 浓度与 NO_3^- 质量浓度有着明显的不同的昼夜变化, NO_3^- 浓度在白天下降而夜间上升,而 DO 浓度在白天上升而夜间下降,两者有较强的负相关关系,相关系数为 -0.72,说明 DO 浓度的昼夜变化影响着

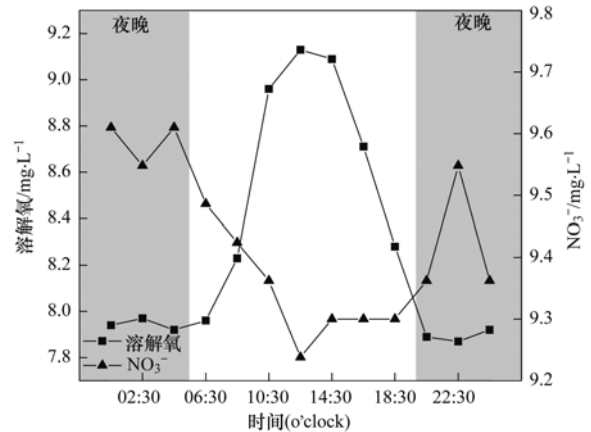


图 6 G2 点 DO 与 NO_3^- 离子浓度的昼夜变化

Fig. 6 Diel variation of DO and NO_3^- ion concentration at site G2

NO_3^- 离子质量浓度的昼夜变化。

从图 7 中可以看出 $p(\text{CO}_2)$ 与 DO 的昼夜变化相反,DO 在 $p(\text{CO}_2)$ 达到最小值时(12:30)达到最大值,而在 $p(\text{CO}_2)$ 达到最小值时(22:30)达到最大值,表现出强烈的负相关关系,相关系数为 -0.90,说明 $p(\text{CO}_2)$ 与 DO 的日变化影响着 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 离子质量浓度的昼夜变化,从而影响着 S_{pc} 的昼夜变化而 $p(\text{CO}_2)$ 与 DO 的日变化又受到水生植物的光合作用和呼吸作用影响的,综合考虑到溪流中 G1 监测点以下到 G2 监测点生长着大量的水藻等水生植物,所以,水生植物的光合作用和呼吸作用影响着 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 离子质量浓度的昼夜变化,从而影响着 S_{pc} 的昼夜波动。

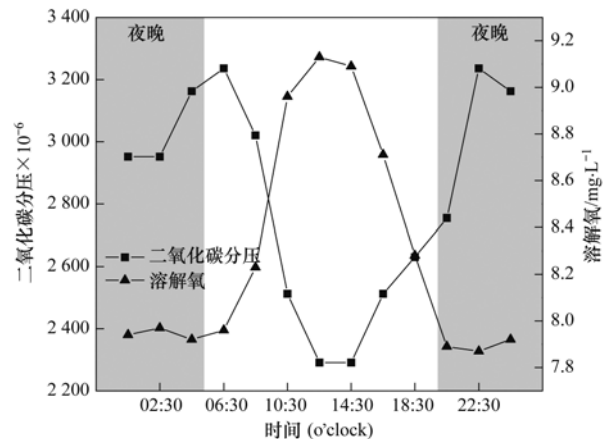


图 7 G2 点 $p(\text{CO}_2)$ 与 DO 的昼夜变化

Fig. 7 Diel variation of $p(\text{CO}_2)$ and DO at site G2

从图 8 中可以看出水温与 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- 离子质量浓度有着相反的昼夜变化特征,水温与主要离子有着较强的负相关关系,相关系数分别为 -0.81、-0.79、-0.75,说明水温也影响着水体

中主要离子的昼夜变化,从而影响着 S_{pc} 的昼夜变化. 同时,从表 1 中可以看出从 G1 点到 G2 点 $p(\text{CO}_2)$ 急剧下降,说明 G1 到 G2 段溪流进行着明显的脱气作用,而 $p(\text{CO}_2)$ 与主要离子有着很强的正相关关系,所以河流的脱气作用也影响着河流 S_{pc} 的昼夜变化. 总之,河流水生植物的光合作用和呼吸作用、水温以及河流的脱气作用都影响着河流主要离子的昼夜变化,从而影响着 S_{pc} 的昼夜变化.

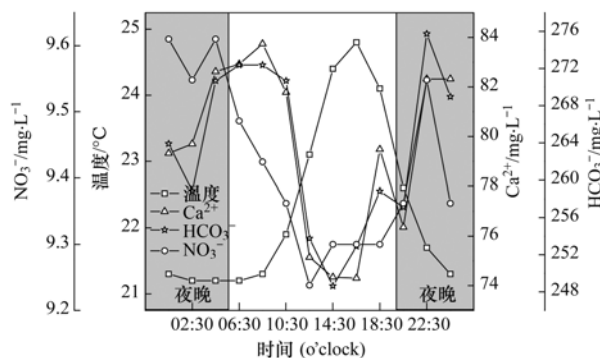


图 8 G2 点温度与 Ca^{2+} 、 NO_3^- 、 HCO_3^- 离子浓度的昼夜变化

Fig. 8 Diel variation of temperature and Ca^{2+} , NO_3^- , HCO_3^- ion concentrations at site G2

2.4 DIC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 值的昼夜变化特征

选取 07-11T00:30~07-12T00:30 的数据对 G1 和 G2 两个监测点进行 DIC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 值的昼夜变化的分析. 河流中的溶解无机碳是其生物地球化学过程的重要组成部分,受到水气交换、水生植物的光合作用和呼吸作用以及河流物理化学过程的综合影响,所以, DIC 的增加与减少, ^{13}C 都会有相应的改变^[21]. 研究区 $\text{pH} > 7.9$, 所以水中的 DIC 主要是 HCO_3^- 离子形式存在^[22]. 从图 9 中可以看出 G1 点 DIC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 值并没有一个有规律的昼夜变化,而图 10 可以看出 G2 点的 DIC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 有着较为明显的昼

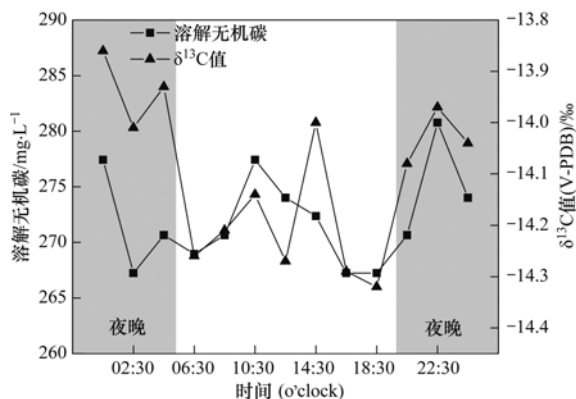


图 9 G1 点 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值的昼夜变化

Fig. 9 Diel variation of DIC and $\delta^{13}\text{C}$ at site G1

夜变化,且两者表现出相反的昼夜变化特征. DIC 在白天下降晚上上升,下午(14:30)达到最小值,早晨(06:30~08:30)达到最大值, $\delta^{13}\text{C}$ 白天上升晚上下降与 DIC 峰值相反. 从图 10 可以看出, G2 点 DIC 与 $p(\text{CO}_2)$ 昼夜变化相同与 DO 昼夜变化相反, $\delta^{13}\text{C}$ 则表现出与 DO 变化相似白天上升晚上下降,而与 $p(\text{CO}_2)$ 昼夜变化相反, DIC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 达到最大值与最小值时都要滞后于 $p(\text{CO}_2)$ 和 DO 值 1~2 h,说明 $p(\text{CO}_2)$ 和 DO 值的昼夜变化影响着 DIC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 值的昼夜变化.

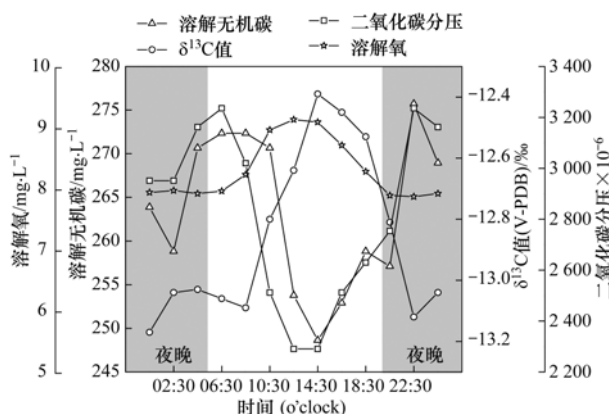


图 10 G2 点 DIC、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $p(\text{CO}_2)$ 和 DO 的昼夜变化

Fig. 10 Diel variation of DIC, $\delta^{13}\text{C}$, $p(\text{CO}_2)$ and DO at site G2

从表 1 中 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值得出两者显著相关, 相关系数为 $-0.80 (P < 0.01)$. 这与之前 Cane 等^[23] 在研究加拿大全流域出露古生代碳酸盐岩的 Raisin 河地区岩溶地下水的 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 关系以及 Li 等^[24] 在研究贵阳地区岩溶地下水的 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 关系的研究结果并不一致, 他们认为诸多复杂因素的影响使得 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化并没有很好的相关性, 而 G2 监测点 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 有较好的负相关关系说明 G2 监测点 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的昼夜变化的影响因素相对单一, 存在一个主要的影响因素.

虽然大气 CO_2 较地下水富集 ^{13}C , 可向天然水体扩散, 但由于大气中 CO_2 分压较地下水低得多, 因此大气向水体中扩散的量较低, 可忽略大气 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值对水体 $\delta^{13}\text{C}$ 值的影响. 影响 G2 点 DIC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 的昼夜变化的过程除了水生植物的光合作用和呼吸作用, 还与物理化学作用(温度)以及溪流的脱气作用有关. 从图 11 可以看出 G2 点的 $p(\text{CO}_2)$ 与 $\delta^{13}\text{C}$ 有很好负相关关系 ($R^2 = 0.74, P < 0.01$), 说明是水中 $p(\text{CO}_2)$ 的昼夜变化控制着河流中 DIC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 的昼夜变化的过程. 从图 12 可以看出 $p(\text{CO}_2)$ 与 DO 有着很强的负相关关系 ($R^2 = 0.79, P < 0.01$), 说明水生

植物的光合作用和呼吸作用控制着 G2 点的 $p(\text{CO}_2)$ 与 DO 的昼夜变化^[25]. 因此说明水生植物的光合作用与呼吸作用是控制 G2 点 DIC 与 $\delta^{13}\text{C}$ 的昼夜变化的主要过程.

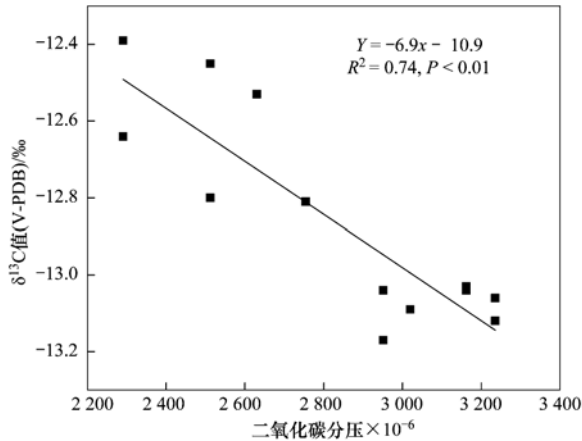


图 11 G2 点 $p(\text{CO}_2)$ 与 $\delta^{13}\text{C}$ 的线性关系

Fig. 11 Linear relationship between $p(\text{CO}_2)$ and $\delta^{13}\text{C}$ at site G2

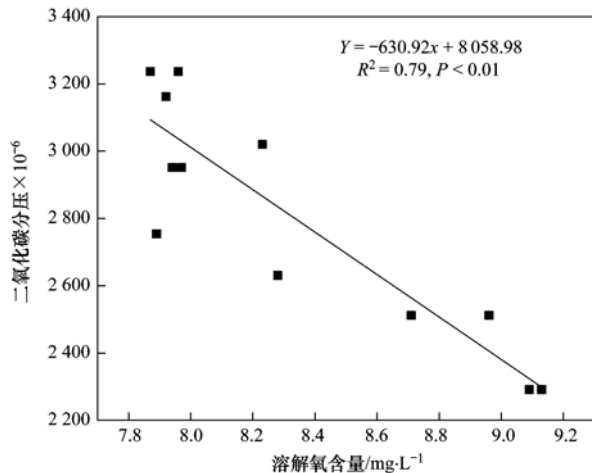


图 12 G2 点 DO 与 $p(\text{CO}_2)$ 的线性关系

Fig. 12 Linear relationship between DO and $p(\text{CO}_2)$ at site G2

3 结论

(1) 官村地下河出口 (G1) 与雷崖村监测点 (G2) 都是 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型水, 但是 G1 和 G2 两点表现出不同的水文地球化学昼夜变化特征, G1 点物理化学参数基本保持稳定, 而 G2 监测点的物理化学参数温度 (T)、溶解氧 (DO)、pH、电导率 (Spc) 和主要离子 (Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^-) 表现出明显的昼夜变化特征, 且主要受到水生植物的光合作用和呼吸作用、水温以及河流脱气作用的影响.

(2) G2 点的 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值表现出明显的昼夜变化特征, 通过讨论分析以及综合考虑 G1 监测点到

G2 监测点的溪流水体中生长着大量的水藻等水生植物, 表明水生植物的光合作用和呼吸作用是影响溪流物理化学参数、主要离子 (Ca^{2+} 、 HCO_3^- 和 NO_3^-) 以及 DIC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值昼夜变化的主要因素.

(3) 水生植物的光合作用和呼吸作用是影响岩溶区地表溪流水文地球化学昼夜变化的主要因素, 从而对岩溶区地表溪流的水文地球化学过程有了更加深入的科学认识.

参考文献:

- [1] Kirchner J W, Feng X H, Neal C. Fractal stream chemistry and its implications for contaminant transport in catchments [J]. *Nature*, 2000, **403**(6769): 524-527.
- [2] Liu Z H, Li Q, Sun H L, *et al.* Seasonal, diurnal and storm-scale hydrochemical variations of typical epikarst springs in subtropical karst areas of SW China: Soil CO_2 and dilution effects [J]. *Journal of Hydrology*, 2007, **337**(1-2): 207-223.
- [3] 杨平恒, 袁道先, 叶许春, 等. 降雨期间岩溶地下水化学组分的来源及运移路径 [J]. *科学通报*, 2013, **58**(18): 1755-1763.
- [4] 蒲俊兵, 袁道先, 扈志勇, 等. 高分辨率监测岩溶地下水 NO_3^- 的动态变化及对外界环境的响应 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(3): 680-686.
- [5] Nimick D A, Cleasby T E, McCleskey R B. Seasonality of diel cycles of dissolved trace-metal concentrations in a Rocky Mountain stream [J]. *Environmental Geology*, 2005, **47**(5): 603-614.
- [6] Lwanysyn M, Ryan M C, Chu A. Cost-effective approach for continuous major ion and nutrient concentration estimation in a river [J]. *Environmental Engineering*, 2009, **135**(4): 218-224.
- [7] 章程, 汪进良, 谢运球, 等. 桂林会仙岩溶湿地水化学昼夜动态变化及其影响因素 [J]. *地质评论*, 2013, **59**(6): 1235-1241.
- [8] Parker S R, Gammons C H, Paulson S R, *et al.* Diel variations in stream chemistry and isotopic composition of dissolved inorganic carbon, upper Clark Fork River, Montana, USA [J]. *Applied Geochemistry*, 2007, **22**(7): 1329-1343.
- [9] Liu Z H, Li Q, Sun H L, *et al.* Diurnal variations of hydrochemistry in a travertine-depositing stream at Baishuitai, Yunnan, SW China [J]. *Aquatic Geochemistry*, 2006, **12**(2): 103-121.
- [10] Hayashi M, Vogt T, Machler L, *et al.* Diurnal fluctuations of electrical conductivity in a pre-alpine river: Effects of photosynthesis and groundwater exchange [J]. *Journal of Hydrology*, 2012, **450-451**: 93-104.
- [11] Drysdale R, Lucas S, Carthew K. The influence of diurnal temperatures on the hydrochemistry of a tufa-depositing stream [J]. *Hydrological Processes*, 2003, **17**(17): 3421-3441.
- [12] Liu Z H, Liu X L, Liao C J. Daytime deposition and nighttime dissolution of calcium carbonate controlled by submerged plants in a karst spring-fed pool: insights from high time-resolution

- monitoring of physico-chemistry of water [J]. *Environmental Geology*, 2008, **55**(6): 1159-1168.
- [13] 吕保樱, 刘再华, 廖长君, 等. 水生植物对岩溶水化学日变化的影响——以桂林岩溶水文地质试验场为例 [J]. *中国岩溶*, 2006, **25**(4): 335-340.
- [14] Nimick D A, Gammons C H, Parker S R. Diel biogeochemical processes and their effect on the aqueous chemistry of streams: a review [J]. *Chemical Geology*, 2011, **283**(1-2): 3-17.
- [15] Guo F, Jiang G H, Yuan D X. Major ions in typical subterranean rivers and their anthropogenic impacts in southwest karst areas, China [J]. *Environmental Geology*, 2007, **53**(3): 533-541.
- [16] Guo F, Jiang G H. Nitrogen budget of a typical subterranean river in peak luster karst area [J]. *Environmental Geology*, 2009, **58**(8): 1741-1748.
- [17] Zhang C, Wang J L, Pu J B, *et al.* Bicarbonate daily variations in a karst river: the carbon sink effect of subaquatic vegetation photosynthesis [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2012, **86**(4): 973-979.
- [18] Wigley T M L. WATSPEC: A computer program for determining the equilibrium speciation of aqueous solutions [M]. Norwich: Published for the British Geomorphological Research Group by Geo Abstracts, 1977. 1-49.
- [19] Williams B C H, Davies J, Pickmere S. The dynamics of growth, the effects of changing area and nitrate uptake by watercress *nasturtium officinale* R. Br. in a New Zealand stream [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1982, **99**(3): 207-214.
- [20] Desmet N J S, Belleghem S V, Seuntjens P, *et al.* Quantification of the impact of macrophytes on oxygen dynamics and nitrogen retention in a vegetated lowland river [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2011, **36**(12): 479-489.
- [21] Tamooih F, Borges A V, Meysman F J R, *et al.* Dynamics of dissolved inorganic carbon and aquatic metabolism in the Tana River basin, Kenya [J]. *Biogeosciences*, 2013, **10**(3): 6911-6928.
- [22] 刘再华, Dreybrodt W, 韩军, 等. CaCO_3 - CO_2 - H_2O 岩溶系统的平衡化学及其分析 [J]. *中国岩溶*, 2005, **24**(1): 1-14.
- [23] Cane G, Clark I D. Tracing ground water recharge in an agricultural watershed with isotopes [J]. *Ground Water*, 1999, **37**(1): 133-139.
- [24] Li S L, Liu C Q, Tao F X, *et al.* Carbon biogeochemistry of ground water, Guiyang, Southwest China [J]. *Ground Water*, 2005, **43**(4): 494-499.
- [25] de Montety V, Martin J B, Cohen M J, *et al.* Influence of diel biogeochemical cycles on carbonate equilibrium in a karst river [J]. *Chemical Geology*, 2010, **283**(1-2): 31-43.

CONTENTS

Chemical Characteristics in Airborne Particulate Matter (PM ₁₀) During a High Pollution Spring Dust Storm Episode in Beijing, Tianjin and Zhangjiakou, China	LIU Qing-yang, LIU Yan-ju, ZHAO Qiang, <i>et al.</i> (2843)
Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles During Haze Weather in Hangzhou	CHEN Qiu-fang, SUN Zai, XIE Xiao-fang (2851)
Effect of Meteorological Factors on Characteristics of PCDD/F Pollution in Guangzhou	DU Guo-yong, SU Yuan, REN Ming-zhong, <i>et al.</i> (2857)
Atmospheric CO ₂ Data Filtering Method and Characteristics of the Molar Fractions at the Longfengshan WMO/GAW Regional Station in China	LUAN Tian, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (2864)
Influence of Atmospheric Transport on Air Pollutant Levels at a Mountain Background Site of East China	SU Bin-bin, XU Ju-yang, ZHANG Ruo-yu, <i>et al.</i> (2871)
Determining the Concentration of Coating Solution Attaching to Honeycomb Denuder in Summer in Tianjin	ZHANG Shi-jian, JI Ya-qin, ZHANG Lei-bo, <i>et al.</i> (2878)
Characterization of Lead Size Distributions with Different Process in Lead-Zinc Smelter	LIANG Jun-ning, LI Wen-hui, GE Yi, <i>et al.</i> (2883)
Effect of KI Modified Clay on Elemental Mercury Removal Efficiency	SHEN Bo-xiong, CHEN Jian-hong, CAI Ji, <i>et al.</i> (2890)
Characteristics of Odors and VOCs from Sludge Direct Drying Process	CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, LUO Hui, <i>et al.</i> (2897)
Research of Early-warning Method for Regional Groundwater Pollution Based on Risk Management	BAI Li-ping, WANG Ye-yao, GUO Yong-li, <i>et al.</i> (2903)
Dynamic Response of Riverine Nitrate Flux to Net Anthropogenic Nitrogen Inputs in A Typical River in Zhejiang Province over the 1980-2010 Period	ZHANG Bai-fa, CHEN Ding-jiang (2911)
Research on the Influence of Urban Land Use Structure and Pattern on Nitrogen, Phosphorus of Wetland Water Environment in Xianlin New Town of Nanjing	CAI Chun-xiao, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2920)
Profile Nutrient Distribution and Sedimentary Characteristics in Typical Marshes of Sanjiang Plain	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (2928)
Source and Contamination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil in Karst Underground River Basin	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, SHI Yang, <i>et al.</i> (2937)
Diel Variations of Hydrochemistry and Influencing Factors in a Surface Stream in Subtropical Karst Area, SW China	ZHANG Tao, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2944)
Hydrogen and Oxygen Isotopes of Lake Water and Geothermal Spring Water in Arid Area of South Tibet	XIAO Ke, SHEN Li-cheng, WANG Peng (2952)
Preliminary Research on the Feature of Dissolved Inorganic Carbon in Wulixia Reservoir in Summer, Guangxi, China	LIU Wen, PU Jun-bing, YU Shi, <i>et al.</i> (2959)
Distribution of Heavy Metals in Xiangsi River Valley of Tongling, China	CHEN Li-wei, XU Xiao-chun, WANG Jun, <i>et al.</i> (2967)
Volume Fraction of Gas Vesicle and Floating Characteristics of Cyanobacteria in Taihu Lake Under Different Pressures	WANG Wei, CONG Hai-bing, XU Ya-jun, <i>et al.</i> (2974)
Degradation of Dimethyl Phthalate by Ti(IV)-catalyzed O ₃ /H ₂ O ₂ Under Acidic Conditions	GAO Yan, SHEN Tong-dong, CHEN Yao, <i>et al.</i> (2980)
Influence of Inorganic Ions and Humic Acid on the Removal of Pb(II) and Hg(II) in Water by Zero-Valent Iron	SHI Qiu-ling, ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2985)
Synthesis of Hydroxyapatite/Magnetite/Zeolite Composite for Congo Red Removal from Aqueous Solution	FANG Qiao, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2992)
Corrosion of Stainless Steel 201, 304 and 316L in the Simulated Sewage Pipes Reactor	BAO Guo-dong, ZUO Jian-e, WANG Ya-jiao, <i>et al.</i> (3002)
Experimental Study of Adhesion Properties Between Membrane Surface and Humic Acid During Microfiltration	WANG Lei, WANG Lei, HUANG Dan-xi, <i>et al.</i> (3007)
Coating Modification of Anthracite Substrates in Vertical-flow Constructed Wetlands by LDHs Synthesized from Different Metal Compounds and the Nitrogen Removal Efficiencies	ZHANG Xiang-ling, GUO Lu, CHEN Jun-jie, <i>et al.</i> (3012)
Atrazine Wastewater Treatment in a SPC Membrane-Aerated Genetically Engineered Microorganism Biofilm Reactor	LIU Chun, GONG Peng-fei, XIAO Tai-min, <i>et al.</i> (3018)
Influencing Factors for Operational Performance of a Biofilm Reactor with Microbubble Aeration Using SPG Membrane	ZHANG Lei, ZHANG Ming, LIU Chun, <i>et al.</i> (3024)
Variations in the Active Characteristics of Sludge During the Operation of an Aerobic Membrane Bioreactor and Their Effects on Membrane Fouling	CHEN Xuan, TANG Bing, ZHANG Zi, <i>et al.</i> (3031)
Effects of Anaerobic Feeding Period on Nitrifying Granular	LIU Wen-ru, YIN Fang-fang, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (3038)
Influencing Factors of Sludge Liquor Treatment in UASBB	LI Ya-feng, MA Chen-xi, ZHANG Chi (3044)
Background Values of As and Hg in Surface Dusts in the Vicinity of Kaifeng City and Their Application	CHEN Yan-fang, MA Jian-hua, DONG Yun-wu, <i>et al.</i> (3052)
Concentrations and Health Risks of Toxic Metals in Surface Dust in Kindergartens of Beijing	DUAN Heng-yi, WU Ya-tao, WANG Jue, <i>et al.</i> (3060)
Polychlorinated Biphenyls in House Dust at an E-waste Site and Urban Site in the Pearl River Delta, Southern China; Sources and Human Exposure and Health Risks	ZHU Zhi-cheng, CHEN She-jun, DING Nan, <i>et al.</i> (3066)
Responses of Soil Total Organic Carbon and Dissolved Organic Carbon to Simulated Nitrogen Deposition in Temperate Typical Steppe in Inner Mongolia, China	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> (3073)
Effects of Different Fertilizer Species on Carbon and Nitrogen Leaching in a Reddish Paddy Soil	LIU Xi-yu, ZOU Jing-dong, XU Li-li, <i>et al.</i> (3083)
Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Speciation of Exogenous Cu in an Acid Soil	HUANG Guo-yong, FU Qing-ling, ZHU Jun, <i>et al.</i> (3091)
Evaluation of Compounding EDTA and Citric Acid on Remediation of Heavy Metals Contaminated Soil	YIN Xue, CHEN Jia-jun, CAI Wen-min (3096)
Soil Biochemical Characteristics in Different Ecological Systems and Their Relationships with Soil Respiration and N ₂ O Emission	CHEN Ling, FAN Hui, JIANG Jing-yang (3102)
Contribution of Different Processes in Wetland Soil N ₂ O Production in Different Restoration Phases of the Yellow River Estuary, China	SUN Wen-guang, SUN Zhi-gao, GAN Zhuo-ting, <i>et al.</i> (3110)
Effects of Combined Applications of Pig Manure and Chemical Fertilizers on CH ₄ and N ₂ O Emissions and Their Global Warming Potentials in Paddy Fields with Double-Rice Cropping	WANG Cong, SHEN Jian-lin, ZHENG Liang, <i>et al.</i> (3120)
Influence of Ozone on Snap Bean Under Ambient Air in Two Sites of Northern China	YUAN Xiang-yang, ZHANG Wei-wei, SUN Jing-song, <i>et al.</i> (3128)
Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Influences the Biological Effects of Nano-ZnO on Maize	WANG Wei-zhong, WANG Fa-yuan, LI Shuai, <i>et al.</i> (3135)
Effect of Arbuscular Mycorrhizae on Growth, Heavy Metal Uptake and Accumulation of <i>Zenia insignis</i> Chun Seedlings	LI Xia, PENG Xia-wei, WU Song-lin, <i>et al.</i> (3142)
Effects of Phosphorus-containing Substances on Arsenic Uptake by Rice	LEI Ming, ZENG min, LIAO Bo-han, <i>et al.</i> (3149)
Ecotoxicological Effect and Soil Environmental Criteria of the Heavy Metal Chromium(VI)	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, WANG Wan-hua, <i>et al.</i> (3155)
Promotion Effects of Vitamin B ₁₂ on the Degradation of 2,4,4'-Trichlorobiphenyl by <i>Nostoc</i> PD-2	LIU Jia-yu, XIAO Wen-feng, LU Li-ping, <i>et al.</i> (3162)
Isolation, Identification and Characterization of a Diethylstilbestrol-degrading Bacterial Strain <i>Serratia</i> sp.	XU Ran-fang, SUN Min-xia, LIU Juan, <i>et al.</i> (3169)
Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Wild Crucian Carp and Exposure Estimation of Dietary Intake	WANG Jun-xia, WANG Chun-yan, LIU Li-li, <i>et al.</i> (3175)
Cloning of Full-length cDNA of HMGR from <i>Gobiocypris rarus</i> and Analysis of Its Expression Profiles in Male Exposed to Pentachlorophenol	DENG Chuan, MAO Si-yu, XIONG Li, <i>et al.</i> (3183)
Effects of Algae and Kaolinite Particles on the Survival of Bacteriophage MS2	HE Qiang, WU Qing-qing, MA Hong-fang, <i>et al.</i> (3192)
Adsorption Kinetics and Mechanism of Lead(II) on Polyamine-Functionalized Mesoporous Activated Carbon	LI Kun-quan, WANG Yan-jin, YANG Mei-rong, <i>et al.</i> (3198)
Influence of Biological Activated Carbon Dosage on Landfill Leachate Treatment	CUI Yan-rui, GUO Yan, WU Qing, <i>et al.</i> (3206)
Effect of Economic Structure Adjustment on Pollution Emission: A Case Study of COD	LI Ming-sheng, ZHOU Lei, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (3212)
Reasons for the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	MA Lan, MAO Jian-su (3219)
Discussion on Reduction Potential of CH ₄ Emission Intensity for Early Off-take Practice of Grazing Yak	WANG Shi-ping, Andreas Wilkes, WANG Ya-yun, <i>et al.</i> (3225)
Review of Dual Stable Isotope Technique for Nitrate Source Identification in Surface- and Groundwater in China	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, YU Gui-rui, <i>et al.</i> (3230)

《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)

2014年8月15日 第35卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 8 Aug. 15, 2014

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行