

DOI:10. 3969/j. issn. 1004 - 6933. 2013. 04. 009

梧州水文站监测水点碳汇量变化特点分析

黄 婕¹, 于 爽^{2,3}, 张红波^{2,3,4}, 罗惠先¹, 林丹辉¹

(1. 梧州市水文水资源局, 广西 梧州 543000;
2. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 3. 国土资源部岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;
4. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715)

摘要:以梧州水文站监测水点为对象, 定期对水体中 HCO_3^- 浓度、 Ca^{2+} 质量浓度、电导率、pH 值等水质指标进行测定、分析。结果表明: 西江梧州水文站监测的水样中的 HCO_3^- 浓度非汛期高, 汛期低; 水中的 HCO_3^- 浓度、电导率、 Ca^{2+} 质量浓度在汛期呈递减趋势, 而在非汛期则呈递增趋势; 汛期和非汛期 pH 值均呈递增的趋势。梧州水文站监测水点全年碳汇量(以 CO_2 计)为 $5\,707.59 \times 10^6 \text{ kg}$; 汛期碳汇量为 $3\,324.63 \times 10^6 \text{ kg}$, 占全年碳汇量的 58.25%; 非汛期碳汇量为 $2\,382.96 \times 10^6 \text{ kg}$, 占全年碳汇量的 41.75%。

关键词:岩溶碳汇量; 汛期; 非汛期; 水质监测; HCO_3^- 浓度; 梧州市
中图分类号:X832 **文献标志码:**A **文章编号:**1004 - 6933 (2013) 04 - 0045 - 05

Analysis of change of karst carbon sinks in water from monitoring site at Wuzhou Hydrological Station

HUANG Jie¹, YU Shi^{2,3}, ZHANG Hongbo^{2,3,4}, LUO Huixian¹, LIN Danhui¹

(1. Wuzhou Hydrology and Water Resources Bureau, Wuzhou 543000, China;
2. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin 541004, China;
3. Karst Dynamics Laboratory, MLR, Guilin 541004, China;
4. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Water quality indices including the HCO_3^- concentration, Ca^{2+} mass concentration, pH value, and electrical conductivity (EC) in the water from the monitoring site at the Wuzhou Hydrological Station on the Xijiang River were monitored. The results show that the HCO_3^- concentration in the non-flood season was higher than that in the flood season. The HCO_3^- concentration, Ca^{2+} mass concentration, and electrical conductivity (EC) showed a decreasing trend in the flood season and an increasing trend in the non-flood season. The pH value showed an increasing trend both in the flood season and in the non-flood season. The total annual karst carbon sink amount at the monitoring site was $5\,707.59 \times 10^6 \text{ Kg}$. The karst carbon sink amount in the flood season was $3\,324.63 \times 10^6 \text{ Kg}$, accounting for 58.25% of the annual amount. The karst carbon sink amount in the non-flood season was $2\,382.96 \times 10^6 \text{ Kg}$, accounting for 41.75% of the annual amount.

Key words: karst carbon sink; flood season; non-flood season; water quality monitoring; HCO_3^- concentration; Wuzhou City

岩溶作用过程中, 大气中主要的温室气体 CO_2 被转化为溶解态的 HCO_3^- , 随径流进入海洋, 从而使岩溶作用与全球碳循环建立了密切联系^[1-2]。不少学者对桂江流域的岩溶碳汇量特征进行了分析。桂江由北向南, 经兴安、桂林、阳朔、平乐、昭平、梧州与浔江汇合后称西江^[3]。分析梧州水文站监测水点

基金项目: 中国地质调查局项目 (1212011087115)
作者简介: 黄婕 (1985—), 女, 助理工程师, 主要从事水质分析工作。E-mail: 269231562@qq.com

碳汇量随季节变化情况,对分析西江流域碳汇量特点有着重要的意义。笔者在一个水文年内对梧州水文站监测站点的 HCO_3^- 浓度每月定期进行监测,试图对该监测水点碳汇量变化特点进行分析。

1 研究区概况

西江是珠江主干流,位于中国广西壮族自治区东部、广东省西部,从上源南盘江的发源地——云南省曲靖市乌蒙山脉的马雄山,到广东省思贤滘,河长 2 074.8 km,流域面积 35.5 万 m^2 。西江从上源到下游各河段另有别称:从河源至望谟县蔗香双江口称南盘江,双江口至象州县石龙三江口称红水河,由三江口至桂平市称黔江,桂平市至梧州市称浔江,梧州市至思贤滘始称西江。西江从河源到三江口为上游,包括南盘江和红水河两段,长 1 573 km,河流穿行在高原盆地与峡谷相间的地形中,河道深切,平均比降 0.085%,有急滩跌水;从三江口到梧州市为中游,包括黔江段和浔江段,长 294 km;从梧州至思贤滘为下游,长 208 km,河宽水深,河道平均比降 0.009%,宽 700~2 000 m,最后由思贤滘进入珠江三角洲河网区。多年平均年径流总量为 2 277 亿 m^3 ,水资源丰富,主要集中在上游。

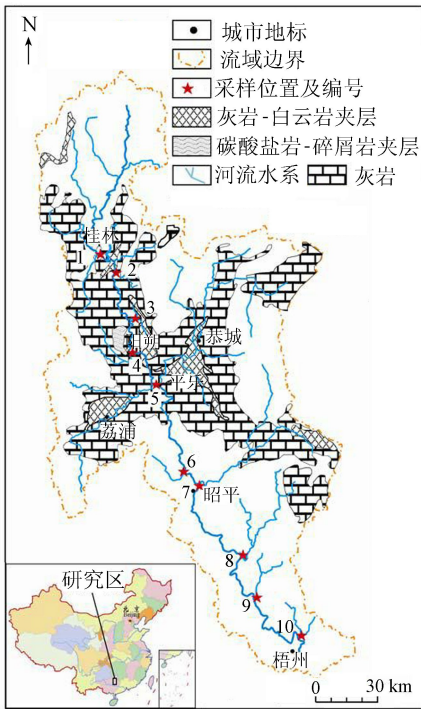


图1 桂江流域水系区划、岩性分布及水样采集位置图^[4]

2 分析测试方法

2011 年 4 月开始在梧州水文站布置长期监测水点(图 1),每月上中下旬定期对流量、 HCO_3^- 浓度、

Ca^{2+} 质量浓度、电导率、水温、pH 值等进行现场测量,并取样回室内进行水质分析,除 2012 年 1 月测量上中旬外,2011 年 4 月—2012 年 4 月进行常规定期监测 35 次。在涨水、洪峰、退水阶段对水中的 HCO_3^- 浓度每 3 h 进行 1 次非常规监测。2011 年 4—9 月为汛期,2011 年 10 月—2012 年 3 月为非汛期。

主要采用仪器现场测试、现场滴定和样品室内测试相结合的研究方法。野外现场利用德国生产的 pH/Cond340i 测试仪测试地表水的水温、pH 值、电导率,分辨率分别为 0.01℃、0.01pH 单位、0.01 $\mu\text{S}/\text{cm}$,使用德国 Merck 公司生产的碱度计测定水样的 HCO_3^- 浓度和 Ca^{2+} 的质量浓度,分辨率分别为 0.1 mmol/L 和 1 mg/L;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 m^3/s ;水样送至中国地质科学院岩溶地质研究所测试中心进行分析测试。

3 结果分析

3.1 HCO_3^- 浓度的变化

3.1.1 总体特征

水中 HCO_3^- 总体特征是非汛期高,汛期低。汛期江水中 HCO_3^- 的平均浓度为 1.95 mmol/L,非汛期 HCO_3^- 平均浓度为 2.02 mmol/L。汛期 HCO_3^- 平均浓度比非汛期平均浓度高 0.07 mmol/L。汛期、非汛期平均流量分别为 4 912.85 m^3/s 、2 681.10 m^3/s ,汛期平均流量是非汛期平均流量的 1.83 倍。全年 HCO_3^- 平均浓度为 1.99 mmol/L,平均流量为 3 796.97 m^3/s 。

3.1.2 动态变化

梧州水文站观测水点全年 HCO_3^- 平均浓度为 1.99 mmol/L,4 月 HCO_3^- 浓度最高,为 2.37 mmol/L,10 月 HCO_3^- 浓度最低,为 1.70 mmol/L(表 1)。

总体上,全年水中的 HCO_3^- 浓度随着流量的增加而减少。但是平均流量最大的月份,水中的 HCO_3^- 浓度不一定是最低。5 月平均流量(7 810.76 m^3/s)比 6 月平均流量(7 571.06 m^3/s)大,但 5 月水中的 HCO_3^- 浓度(1.92 mmol/L)比 6 月水中的 HCO_3^- 浓度(1.71 mmol/L)高。原因可能是:6 月累计降雨量(295.5 mm)比 5 月累计降雨量(254.5 mm)大,降水稀释效应明显,以致 6 月 HCO_3^- 浓度比 5 月 HCO_3^- 浓度低,接近全年最低值 1.70 mmol/L。10 月汛期刚结束,由于受到极端天气的影响,广西大部分地区出现强降雨,局部区域发生洪涝灾害,10 月平均流量达到 5 478.54 m^3/s ,监测水点水中的 HCO_3^- 浓度出现全年最小值(1.70 mmol/L)。

表 1 梧州水文站监测水点数值

月份	水温/℃	pH 值	电导率/ ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	$\rho(\text{Ca}^{2+})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$C(\text{HCO}_3^-)/$ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	平均流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	累计 降水量/mm
2011-04	19.5	7.58	318	51.3	2.37	2933.34	86.0
2011-05	23.3	7.53	276	42.9	1.92	7810.76	254.5
2011-06	26.9	7.51	241	37.9	1.71	7571.06	295.5
2011-07	28.1	7.55	270	41.7	1.96	6687.84	190.5
2011-08	31.1	7.65	267	40.2	1.90	2632.20	97.5
2011-09	30.3	7.70	274	40.7	1.84	1841.87	22.0
2011-10	24.7	7.49	244	39.7	1.70	5478.54	71.0
2011-11	23.9	7.39	281	43.6	1.95	1895.02	25.5
2011-12	19.5	7.58	301	51.5	2.12	2442.69	8.0
2012-01	15.5	7.66	311	55.0	2.25	1676.16	118.0
2012-02	13.1	7.80	295	54.0	2.23	1660.85	39.5
2012-03	14.1	7.43	280	51.3	1.92	2933.34	152.0
水文年平均值	22.5	7.57	280	45.8	1.99	3796.97	113.3

分析 2011 年 4 月至 2012 年 3 月的监测数据发现, 季节流量与水中的 HCO_3^- 浓度关系十分密切, 分别作趋势线辅助分析汛期、非汛期 HCO_3^- 平均浓度动态变化。通过分析可知, 汛期水中的 HCO_3^- 平均浓度呈递减趋势(图 2(a))。汛期到来之后, 水中的 HCO_3^- 浓度因为降雨作用开始降低, HCO_3^- 浓度随流量变化产生波动, 4—6 月连续 3 个月水中的 HCO_3^- 浓度下降明显。非汛期时水中的 HCO_3^- 平均浓度呈缓慢的递增趋势(图 2(b))。进入非汛期, 降雨减少, 流量自然衰减, 水中的 HCO_3^- 浓度逐渐上升。

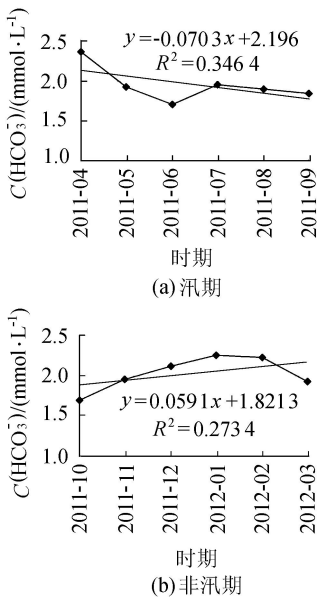


图 2 汛期、非汛期水中的 HCO_3^- 浓度变化

3.2 pH 值的季节变化

尽管梧州水文站监测水点属于饮用水水源保护区, 但人类活动对水体化学性质有不同程度影响。两岸居民生活排污, 沿江养殖户排污对水质产生一定影响。全年 pH 值变化范围为 7.39 ~ 7.80, 最低值 7.39 出现在 2011 年 11 月, 最高值 7.80 出现在 2012 年 2 月(表 1)。汛期和非汛期 pH 值呈递增的

趋势, pH 值变化趋势线方程汛期时为 $y = 0.0286x + 7.4687$ (图 3(a)), 非汛期时为 $y = 0.0289x + 7.4573$ (图 3(b))。可见, 监测水点测量的 pH 值主要受人类活动的影响, 季节流量、累计降雨量、气温这些因素对其影响不大。

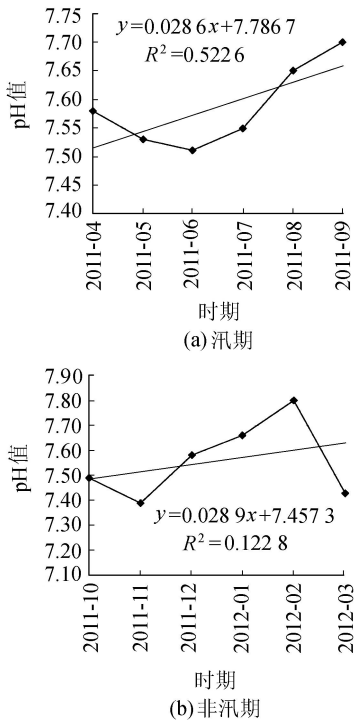


图 3 汛期、非汛期水中的 pH 值变化

3.3 电导率的季节变化

汛期水中的电导率呈递减趋势, 变化趋势线方程为 $y = -6.2286x + 296.13$, $R^2 = 0.2195$ (图 4(a)); 非汛期水中的电导率呈递增趋势, 变化趋势线方程为 $y = 6.6286x + 262.13$, $R^2 = 0.2793$ (图 4(b))。全年电导率变化范围 241 ~ 318 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 最大值(318 $\mu\text{S}/\text{cm}$)出现在 4 月, 最小值(241 $\mu\text{S}/\text{cm}$)出现在 6 月(表 1)。

3.4 Ca^{2+} 质量浓度的季节变化

汛期水中的 Ca^{2+} 质量浓度呈递减趋势

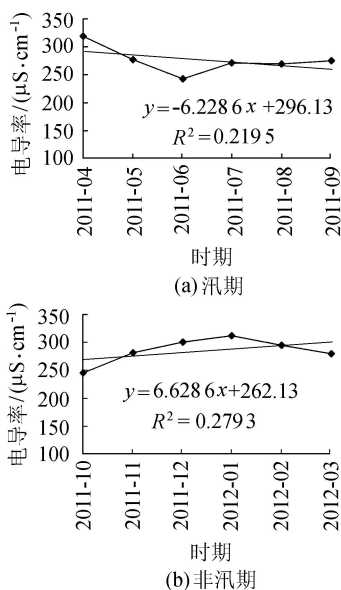


图4 汛期、非汛期水中的电导率变化

(图5(a));非汛期水中的 Ca^{2+} 质量浓度呈递增趋势(图5(b))。全年 Ca^{2+} 质量浓度变化范围 37.9 ~ 55.0 mg/L,最大值(55.0 mg/L)出现在 2012 年 1 月份,最小值(37.9 mg/L)出现在 2011 年 6 月份。比较 2011 年 5 月和 6 月、9 月和 11 月两组数据发现,平均流量、累计降雨量接近时,气温越高, Ca^{2+} 浓度、 HCO_3^- 浓度、电导率数值越小(表 1)。

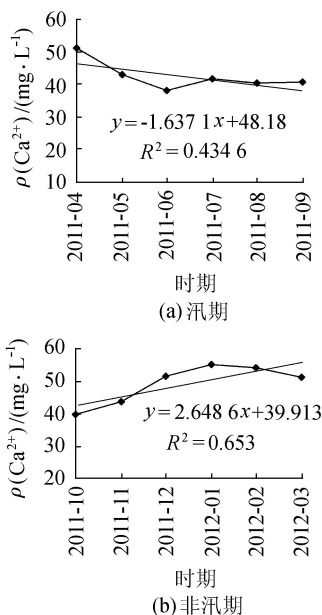


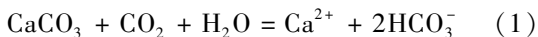
图5 汛期、非汛期水中的 Ca^{2+} 质量浓度变化

3.5 碳汇量特征

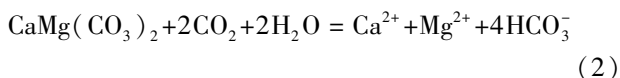
在碳酸盐岩溶蚀过程中,岩溶系统消耗大气和土壤空气中的 CO_2 , 转化为水中的 HCO_3^- , 因此可以通过水中的 HCO_3^- 浓度来计算岩溶碳汇量^[5-9]。

碳酸盐岩化学溶蚀的基本原理如下:

对于石灰岩有



对于白云岩有



由此可得,单位时间 CO_2 的吸收量的计算公式:

$$F = Q\rho(\text{HCO}_3^-) \times 44 / (2 \times 61) \quad (3)$$

式中: F 为岩溶作用形成的碳汇量, g/s; Q 为流量, m^3/s ; $\rho(\text{HCO}_3^-)$ 为水中 HCO_3^- 的质量浓度, mg/L。

由式(3)可计算出梧州水文站监测水点全年 CO_2 吸收量 166 231.35 g/s, 汛期 CO_2 吸收量 210 761.27 g/s, 非汛期 CO_2 吸收量 119 148.08 g/s。从而求得监测时段内水中因碳酸盐岩溶蚀而消耗的 CO_2 , 即监测时段内的碳汇量。其中, 全年碳汇量为 $5\,707.59 \times 10^6 \text{ kg}$, 汛期碳汇量为 $3\,324.63 \times 10^6 \text{ kg}$, 占全年碳汇量的 58.25%; 非汛期碳汇量为 $2\,382.96 \times 10^6 \text{ kg}$, 占全年碳汇量的 41.75%。

3.6 生物影响作用探讨

表层岩溶地下水出露为地表水后, 水中 HCO_3^- 浓度的变化及碳汇量的增减固然与沿途大气降水、植被及土地利用、外源水补给有关, 但除物理化学效应之外, 生物作用也是影响因素之一, 因为在水生植物生长茂盛的地方, 生物作用对水体的 pH 值、电导率以及 P_{CO_2} (水中 CO_2 分压) 变化影响较大^[10]。刘彦等^[11]的研究发现, 在岩溶水环境下, 藻类生物的光合作用对水体无机碳的影响除了自身利用合成有机碳消耗水体的溶解无机碳外, 还存在碳酸钙沉积而消耗水体中溶解无机碳的情况, 这些可以看作是在岩溶环境下藻类生物的净碳汇作用^[12]。比较 2011 年 5 月与 6 月数据发现, 在水生植物生长茂盛的夏季, 平均流量相差不大, 水温越高, 溶解氧越低, 监测水点水中 HCO_3^- 浓度越低; 比较 2012 年 1 月与 2 月数据发现, 在水生植物生长缓慢的冬季, 水温和平均流量接近时, 溶解氧和监测水点的水中 HCO_3^- 浓度相差不大(表 2)。这说明生物作用对水体中水化学有一定的影响, 但其水生生物的主要种类及其影响机制还有待进一步的研究。

4 结 论

a. 梧州水文站观测水点全年 HCO_3^- 平均浓度为 1.99 mmol/L, 4 月 HCO_3^- 浓度最高, 为 2.37 mmol/L, 10 月 HCO_3^- 浓度最低, 为 1.70 mmol/L。

b. 总体上全年水中的 HCO_3^- 浓度随着流量的增加而减少, 总体特征是非汛期高, 汛期低。汛期水中的 HCO_3^- 浓度、电导率、 Ca^{2+} 质量浓度呈递减趋势; 非汛期水中的 HCO_3^- 浓度、电导率、 Ca^{2+} 质量浓度呈递增趋势。汛期和非汛期 pH 值均呈递增的趋势。

表 2 梧州水文站监测水点每月碳汇量估算结果

月份	水温/℃	$\rho(\text{DO})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$C(\text{HCO}_3^-)/$ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	平均流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	CO_2 吸收量/ ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$)	岩溶碳汇量/kg
2011-04	19.5	9.0	2.37	2 933.34	152 944.3	396.43×10^6
2011-05	23.3	7.9	1.92	7 810.76	329 926.5	883.68×10^6
2011-06	26.9	7.4	1.71	7 571.06	284 823.3	738.26×10^6
2011-07	28.1	7.7	1.96	6 687.84	288 379.7	772.40×10^6
2011-08	31.1	7.3	1.90	2 632.20	110 026.0	294.69×10^6
2011-09	30.3	6.6	1.84	1 841.87	74 558.9	193.26×10^6
2011-10	24.7	7.4	1.70	5 478.54	204 897.4	548.78×10^6
2011-11	23.9	7.5	1.95	1 895.02	81 296.4	210.72×10^6
2011-12	19.5	6.7	2.12	2 442.69	113 927.1	305.14×10^6
2012-01	15.5	8.8	2.25	1 676.16	82 969.9	222.22×10^6
2012-02	13.1	8.1	2.23	1 660.85	81 481.3	304.16×10^6
2012-03	14.1	10.2	1.92	2 933.34	123 904.3	321.16×10^6

c. 梧州水文站监测水点全年碳汇量为 $5\,707.59 \times 10^6\text{kg}$, 汛期碳汇量为 $3\,324.63 \times 10^6\text{kg}$, 占全年碳汇量的 58.25%; 非汛期碳汇量为 $2\,382.96 \times 10^6\text{kg}$, 占全年碳汇量的 41.75%。

d. 比较 2011 年 5 月和 6 月、2012 年 1 月和 2 月两组数据发现, 生物作用对水体中水化学有一定的影响, 但其水生生物的主要种类及其影响机制还有待探讨。

e. 本文只选择控制西江中上游流域的梧州断面(梧州)水文站进行碳汇量分析, 整个西江流域的碳汇量季节变化有待进一步研究。

参考文献:

[1] 袁道先. “岩溶作用与碳循环”研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14 (5) : 425-431. (YUAN diaoxian. Progress in the study on karst process and carbon cycle [J]. Advance in Earth Sciences, 1999, 14 (5) : 425-431. (in Chinese))

[2] 袁道先, 蒋忠诚. IGCP379“岩溶作用与碳循环”在中国的研究进展[J]. 水文地质与工程地质, 2000, 27 (1) : 49-51. (YUAN diaoxian, JIANG Zhongchen. The IGCP379 project “karst process and carbon cycle” was proposed and organized by Chinese scientists [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2000, 27 (1) : 49-51. (in Chinese))

[3] 昭平县志编纂委员会. 昭平县志[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1992: 87-88.

[4] 王华, 张春来, 杨华, 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. (WAN hua, ZHANG Chunlai, YANG Hua, et al. The application of stable carbon isotope to the study of carbon sources in Guijiang watershed, Guangxi [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2011, 32 (6) : 691-698. (in Chinese))

[5] 徐胜友, 蒋忠诚. 我国岩溶作用与大气温室气体碳汇关系的初步估算[J]. 科学通报, 1997, 42 (9) : 953-956. (XU Shengyou, JIANG Zhongchen. Calculation of atmospheric CO_2 sink formed in karst progresses of the karst in China [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42 (9) : 953-956. (in Chinese))

[6] 刘再华. 大气 CO_2 的两个重要的汇[J]. 科学通报, 2000, 45 (21) : 2348-2351. (LIU Zaihua. The two important sinks of CO_2 in atmosphere [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45 (21) : 2348-2351. (in Chinese))

[7] 刘再华. 碳酸盐岩溶作用对大气沉降的贡献[J]. 中国岩溶, 2000, 19 (4) : 293-300. (LIU Zaihua. Contribution of carbonate rock weathering to the atmosphere CO_2 sink [J]. Carsologica Sinica, 2000, 19 (4) : 293-300. (in Chinese))

[8] LI Bin, YUAN Daoxian. Relationship between carbon cycle in karst areas and CO_2 source-sink atmosphere: case of Guizhou karst [J]. Carsologica Sinica, 1996, 15 (1/2) : 41-48.

[9] 刘明柱, 张永祥, 陈鸿汉. 吉林省吊水壶岩溶区碳循环研究 [J]. 中国岩溶, 1999, 18 (2) : 129-134. (LIU Mingzhu, ZHANG Yongxiang, CHEN Honghan. The studies on carbon cycle in Diaishuihu karst regions of Jilin province [J]. Carsologica Sinica, 1999, 18 (2) : 129-134. (in Chinese))

[10] 刘再华, 李强, 孙海龙, 等. 云南白水台钙华水池中水化学日变化及其生物控制的发现[J]. 水文地质工程地质, 2005 (6) : 10-15. (LIU Zaihua, LI Qiang, SUN Hailong, et al. Diurnal variations in hydrochemistry in a travertine-deposition stream at Baishuitai, Yunnan, SW China: observations and explanations [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2005 (6) : 10-15. (in Chinese))

[11] 刘彦, 张金流, 何媛媛, 等. 单生卵囊藻对 DIC 的利用及其 CaCO_3 沉积影响的研究 [J], 地球化学, 2010, 39 (2) : 191-196. (LIU Yan, ZHANG Jinliu, HE Yuanyuan, et al. The utilization of dissolved inorganic carbon by *Oocystis solitaria* Witttr and its influence on the precipitation of calcium carbonate [J]. Geochimica, 2010, 39 (2) : 191-196. (in Chinese))

[12] 周小萍, 沈立成, 王鹏, 等. 表层岩溶地下水出露地表后的脱气作用: 以重庆市南川区柏树湾表层岩溶泉溪流为例 [J]. 中国岩溶, 2011, 30 (4) : 432-436. (ZHOU Xiaoping, SHEN Lichen, WAN Peng, et al. Degasification of the outcropped epikarst water: a case study on the Baishuwan spring in Nanchuan, Chongqing [J]. Carsologica Sinica, 2011, 30 (4) : 432-436. (in Chinese))

(收稿日期: 2012 - 12 - 31 编辑: 徐 娟)