

不同土地利用分布格局下的岩溶泉水化学变化研究

赵敏^{1,2}, 曾成³, 叶文炳⁴, 刘再华^{1,2,3*}

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 中国科学院地球化学研究所—贵州省科技厅普定喀斯特研究综合试验站, 贵州 普定 562100; 3. 中国地质科学院岩溶地质研究所国土资源部岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004; 4. 桂林工学院资源与环境工程系, 广西 桂林 541004)

摘要: 利用多参数自动记录仪 CTDP300 对具有不同土地利用分布格局的贵州普定陈旗和灯盏河两个岩溶泉域的降雨量、泉水位、水温、pH 值和电导率进行了一个完整水文年的连续监测, 并依据化学平衡热力学原理进行计算, 得到连续的水的 CO_2 分压 (P_{CO_2}) 和方解石饱和指数 (SIc)。结果表明这两个泉的这些水化学指标均呈现出明显的季节变化和暴雨动态变化。然而, 两泉水的这些变化具有明显的差异: 对于土壤分布较多和水田分布在排泄区的陈旗泉而言, HCO_3^- 和 P_{CO_2} 较高, 而 pH 和 SIc 值明显低于土壤分布较少且水田分布于补给区的灯盏河泉, 且变幅较小。此外在暴雨后, 陈旗泉 pH 升高、 P_{CO_2} 降低, 而灯盏河泉 pH 降低、 P_{CO_2} 升高。这些反映了不同土地利用分布格局对岩溶水化学调节作用的差异。灯盏河泉 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 和 EC 较高主要是其流域中石膏和白云岩含量较多的缘故。这些发现说明, pH、电导率、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 P_{CO_2} 和 SIc 等岩溶水化学参数可以作为不同土地利用分布格局和环境变化的重要指标。

关键词: 水化学动态变化; 岩溶泉; 自动化监测; 土地利用分布格局

中图分类号: P643.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2009)03-0214-07

从地球系统科学观点出发, 岩溶作用发生于地表四大圈层之间, 是全球碳—水—钙(镁)循环的一部分, 通过其物质能量的转换而构成岩溶动力系统 (Karst Dynamic System)^[1]。岩溶作用作为一种表层地质作用, 其产生和运行离不开构成地球表层系统的岩石圈、大气圈、水圈和生物圈。人们对岩溶作用的认识也是随着不断发现岩溶作用与四大圈层之间的联系一步一步向前推进的。

岩溶动力系统作为一个脆弱的生态系统, 受制于岩溶环境, 它一方面的变化可能导致其他方面一连串的、不成比例的巨大变化^[2,3]。而岩溶地下水系统作为岩溶生态系统的一项脆弱因子, 对土地利用变化有着少有的敏感性。已往关于土地利用的研究主要集中在土地利用/土地覆被变化对区域土壤质量退化的研究^[4,5]。对区域水质变化研究主要是利用已有的短期或长期的水化学数据资料, 并结合遥感对土地利用变化前后的水化学进行对比研

究^[6-11]。然而, 由于过去缺乏水化学自动监测仪器, 无法详细的掌握区域系统中的水化学变化情况, 对不同土地利用条件下的岩溶地下水水化学动态变化的细节知之甚少, 因此探讨不同土地利用分布格局对岩溶泉的影响及岩溶泉水对土地利用变化的响应, 有助于为实现岩溶生态系统的良性循环, 解决岩溶地区人地矛盾, 保护岩溶区水资源和水环境, 解决贫困等经济社会问题提供科学依据。同时, 研究不同土地利用分布格局下岩溶泉的地球化学行为, 不仅可以进一步揭示岩溶动力系统的运行规律^[12], 也有助于加强对岩溶作用短时间尺度作用的认识和为岩溶地区土地利用的碳循环调控^[13,14]提供新的科学依据。

1 研究区概况

陈旗与灯盏河两泉域相连, 均位于贵州省安顺市普定县境内, 属长江流域的乌江水系, 位于著名的

收稿日期: 2009-02-15; 改回日期: 2009-06-25

基金项目: 中科院“百人计划”、中国科学院知识创新工程重要方向项目 (kzcx2-yw-306)、国家自然科学基金项目 (40872168)、国家社会公益项目 (2005DIB3J067) 资助

第一作者简介: 赵敏 (1980—), 女, 博士研究生, 研究方向为岩溶生态环境地球化学。E-mail: zhaomin@mails.gyig.ac.cn

* 通讯作者: 刘再华 (1963—), 男, 研究员, 主要从事岩溶水文生物地球化学与全球变化研究。E-mail: liuzaihua@vip.gyig.ac.cn

©1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

后寨地下河流域的补给区, 地理坐标东经 $105^{\circ}42' \sim 105^{\circ}43'$, 北纬 $26^{\circ}14' \sim 26^{\circ}15'$ 。后寨地下河流域属湿润亚热带气候, 全年湿润多雨, 冬温夏暖, 雨热同期, 春干秋雨, 年均气温 15.1°C , 多年平均降水量为 1314.6 mm , 降水时空分布不均, $5 \sim 10$ 月为雨季, 降水量占全年的 80% 以上, 11 月 ~ 4 月为旱季, 降水量仅占全年的 20% 左右^[15]。泉域内出露地层为中三叠统关岭组上段 T_2g^3 , 岩性为白云岩、泥质白云岩夹灰岩, 地层产状平缓, $280^{\circ} \angle 1 \sim 5^{\circ}$, 以地形分水岭为汇水边界。地貌类型由岩溶槽谷外围的岩溶丘陵及谷底的平坝组成。槽谷呈北东—南西延伸, 长约 0.6 km , 周围岩溶丘陵海拔 $1400 \sim 1520\text{ m}$, 槽谷底部海拔 1310 m , 丘陵槽谷高差 $80 \sim 200\text{ m}$ 。该槽谷底部地表覆盖第四系松散土层, 并且已经被开垦为水田及旱地。岩溶泉位于槽谷底部开口处, 流量变幅较大, 但旱季不枯, 均为常年不干的长流泉。其中陈旗泉域面积 1.31 km^2 , 灯盏河泉域面积 2.82 km^2 (图 1)。

陈旗、灯盏河泉域土地利用类型 (图 1, 图 2) 主要为水田、旱地、灌木林等。其中陈旗泉域水田 (14.39%) 主要分布在泉域排泄区的洼地底部, 而灯盏河泉域水田 (18.76%) 则主要分布在泉域的补给区, 有少量的水田分布在泉域排泄区的呈北东的狭长的洼地底部 (图 1)。

两个泉域的旱地都主要分布在各自流域洼地边缘与水田相接, 但陈旗旱地比例较高, 约占整个流域的 55.65% , 灯盏河旱地面积占 44.2% , 其它除陈旗有小块果林 (6.61%) 外, 均砍伐破坏比较严重, 大部份已退化为灌丛, 且灌丛较稀疏。陈旗灌丛覆盖面积为 23.35% , 灯盏河为 37.04% 。

2 研究方法

主要采用仪器自动记录、现场滴定和室内测试相结合的研究方法。

自动记录使用澳大利亚 Greenspan 公司生产的 CTDP300 多参数自动记录仪, 自动记录研究点岩溶泉水的水位、水温、pH 值和电导率以及泉口处的降雨量, 它们的分辨率分别为 0.01 cm 、 0.01°C 、 0.01 pH 单位、 $0.01\text{ }\mu\text{s/cm}$ 和 0.5 mm 。数据采集间隔设定为 15 分钟。现场滴定使用德国 Merck 公司生产的

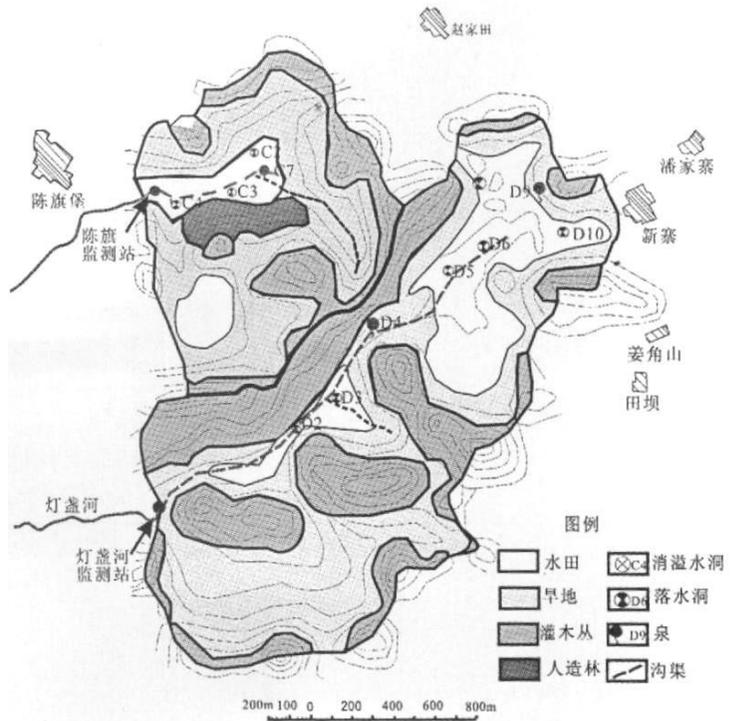


图 1 陈旗、灯盏河泉域土地利用类型分布图
Fig. 1 Distribution of land uses in Chenqi and Dengzhanhe spring catchment areas

碱度计和硬度计测定泉水的 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 浓度, 精度分别为 $6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

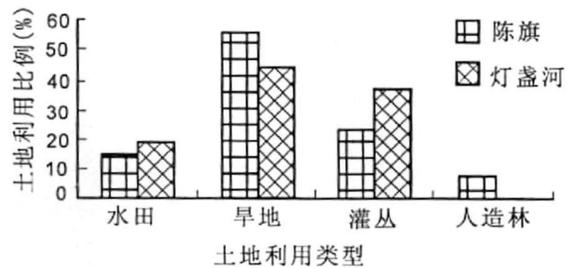


图 2 陈旗、灯盏河泉域土地利用类型分布统计图
Fig. 2 Comparison in land use between Chenqi and Dengzhanhe spring catchment areas

室内主要分析项目包括: K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 和 NO_3^- , 所有样品均在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室测定完成。其中阴离子用美国 Dionex 公司产的 ICS-90 型离子色谱仪测定; 阳离子则用美国 Varian 公司产的 VISTA MPX 型电感耦合等离子体—光发射光谱仪测定。

方解石饱和指数 (SIc) 和 CO_2 分压 (Pco_2) 的计算利用 WATSPEC 软件 (Wigley, 1977)^[16] 进行。

二氧化碳分压(P_{CO_2})计算公式为:

$$P_{CO_2} = \frac{(HCO_3^-)(H^+)}{K_1 K_{CO_2}}$$

式中: K_1 和 K_{CO_2} 分别是 H_2CO_3 和 CO_2 的平衡常数

方解石饱和指数(SI_c)则由

$$SI_c = \lg \left[\frac{(Ca^{2+})(CO_3^{2-})}{K_c} \right]$$

得出, 式中: K_c 为方解石平衡常数。

当 $SI_c = 0$ 时, 表示溶液中的方解石呈平衡状态; 当 $SI_c > 0$ 时, 表示溶液对方解石过饱和, 可能沉

淀方解石; 当 $SI_c < 0$ 时, 表示溶液对方解石尚未饱和, 可以溶解更多的碳酸钙。

3 结果与分析

3.1 陈旗、灯盏河岩溶泉水化学特征

由表 1 和图 3 分析结果可以看出: 普定灯盏河和陈旗两泉的 pH、EC、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 NO_3^- 、 SI_c 和 P_{CO_2} 绝对值和动态均存在显著差异。现分述如下:

表 1 陈旗、灯盏河岩溶泉水物理化学特征

Table 1 Hydrochemistry of Chenqi and Denzhanhe Karst springs

采样点	采样时间	水温/°C	pH	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-	EC $\mu s/cm$	SI_c ^①	P_{CO_2} ^② Pa
				mg/L										
陈旗	2007-09-15	18.3	6.94	1.15	1.37	125	16.62	7.52	86.49	280.6	14.74	590	-0.13	2798.98
	2007-10-15	17.5	7.36	0.89	1.12	114	13.62	7.58	72.38	244	26.88	532	0.19	918.33
	2007-11-13	16.9	6.97	1.18	1.4	124	18.12	6.62	126.43	244	19.25	596	-0.19	2228.44
	2007-12-19	15.3	7.28	1.71	4.71	140	16.3	3.84	102.7	250.1	0.01	632	0.16	1091.44
	2008-02-28	11.4	7.05	1.31	3.14	—	17.27	6.57	211.42	—	16.98	668	—	—
	2008-03-04	12.3	7.15	1.89	2.94	—	26.01	9.39	211.12	—	19.05	677	—	—
	2008-04-26	16	7.33	0.99	0.97	100	12.94	6.27	72.25	176.9	23.53	457	-0.04	706.32
	2008-05-30	16.4	7.24	0.71	0.98	102	12.24	8.81	60.32	201.3	19.94	478	-0.06	993.12
	2008-06-26	17.1	7.11	0.82	1.05	106	13.88	7.04	52	225.7	17.62	541	-0.11	1513.56
	2008-07-24	—	—	0.74	0.96	84	11.76	3.83	37.98	201.3	17.17	—	—	—
灯盏河	2008-08-28	18.1	7.18	1.44	1.03	96	16.06	5.48	54.04	256.2	9.31	579	-0.02	1482.52
	2008-09-26	18.2	7.02	1.47	0.92	90	15.85	4.12	70.72	219.6	11.51	529	-0.27	1840.77
	平均值	16.14	7.15	1.19	1.72	108.10	15.89	6.42	96.49	229.97	16.33	570.82	-0.05	1508.16
	2007-09-15	17.7	7.25	1.68	2.08	140	29.46	6.06	208.2	250.1	18.31	771	0.12	1193.99
	2007-10-15	17.3	7.49	1.52	1.46	128	21.31	8.1	128.99	213.5	35.95	589	0.28	587.49
	2007-11-12	17.1	7.37	1.78	2.48	204	32.23	6.3	391.86	250.1	17.84	880	0.33	879.02
	2007-12-21	17.1	7.73	1.66	2.56	166	46.79	5.3	480.12	256.2	16.9	959	0.59	389.05
	2008-02-28	14.9	7.41	1.83	2.59	198	56.16	3.96	565.6	198	12.85	1075	0.19	612.35
	2008-03-04	16.4	7.65	1.87	3.04	200	56.3	3.83	585.65	183	12.44	1085	0.41	328.85
	2008-04-26	16.8	7.92	1.65	1.8	210	34.16	3.61	481.16	213.5	15.16	1124	0.79	206.06
2008-05-30	16.9	7.51	1.22	1.02	102	18.31	7.45	173.67	170.8	22.07	520	0.1	449.78	
2008-06-26	17	7.37	1.41	1.18	120	21.59	9.03	248.61	201.3	31.63	651	0.07	726.11	
2008-07-24	17.8	7.41	0.95	1	78	16.86	4.97	117.52	170.8	20.34	474	-0.07	580.76	
2008-08-31	17.8	7.39	1.44	1.14	74	15.93	5.61	130.8	158.6	17.84	452	-0.15	566.24	
2008-09-24	17.3	7.29	1.45	1.56	160	33.15	5.28	342.39	244	12.96	950	0.16	1044.72	
平均值	17.01	7.48	1.54	1.83	148.33	31.85	5.79	321.21	209.16	19.52	794.17	0.24	630.37	

① 为水中方解石的饱和指数($SI_c = \log IAP/K$, 式中, IAP 为离子活度积, K 为平衡常数)。如果 $SI_c > 0$, 泉水处于方解石过饱和状态并可产生碳酸钙沉积; 如果 $SI_c < 0$, 水对方解石具有侵蚀性; 而 $SI_c = 0$, 水处于方解石溶解/沉积平衡状态; ② 二氧化碳分压用 WATSPEC 软件^[6] 计算得到。

(1) HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 是陈旗、灯盏河岩溶泉水中的主要阴阳离子, 陈旗岩溶泉水化学类型为重碳酸-钙型(HCO_3-Ca); 灯盏河为重碳酸硫酸-钙镁型($HCO_3 \cdot SO_4-Ca \cdot Mg$)。导致灯盏河岩溶泉, 特别是枯水期水中 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} (电导率)较高(图 3)的原因主要是灯盏河泉补给区属于中三叠统关岭组上段 T_2g^3 较上层, 地层中含有石膏夹层, 石膏溶

解导致泉域排泄区水的 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 含量较高。

(2) 枯水期两泉 HCO_3^- 含量相当, 但是丰水期 HCO_3^- 含量和 P_{CO_2} 明显为陈旗大于灯盏河, 这主要是由于陈旗泉域土壤覆盖面积比例大于灯盏河泉域系统(70%:60%), 陈旗相对于灯盏河土壤产生更多的 CO_2 , 在丰水期随雨水下渗至岩溶管道系统, 所以陈旗的 HCO_3^- 和 P_{CO_2} 较高。此外, 灯盏河泉 P_{CO_2}

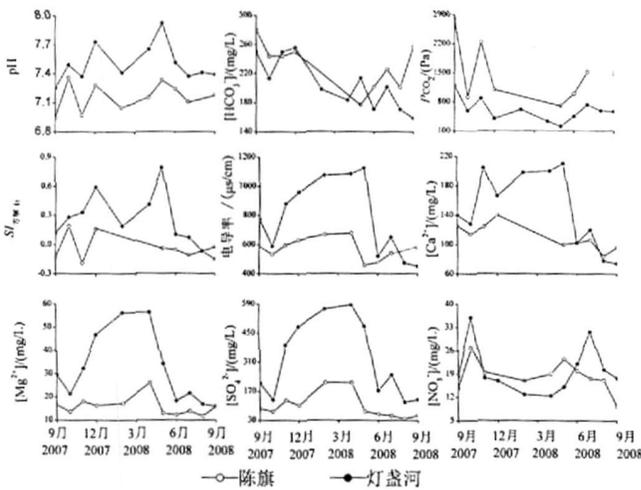


图 3 陈旗、灯盏河泉一个水文年的水化学变化特征比较

Fig 3 Comparison of hydrochemical variations between Chenqi and Denzhanhe karst springs during a hydrological year period

显著低于陈旗泉(图 3)还可能与灯盏河流域水田主要分布在补给区以及旱地分布零星(图 1), 因而更有利于地下水在向排泄区流动过程中 CO₂ 的逸出有关。这些反映了不同土地利用分布格局对岩溶水化学的影响。

(3) 陈旗岩溶泉水的 pH 和 SI_c 小于灯盏河泉水, 与上述陈旗流域土壤 P_{CO₂} 含量较高有关, 同样反映了不同土地利用分布格局对这些岩溶水化学指标的影响。

(4) 灯盏河泉水的 NO₃⁻ 含量及动态变化(表 1、图 3)明显大于陈旗泉, 反映了灯盏河流域较强土地利用的影响。此外, 值得注意的是, 与稀释效应造成的雨季灯盏河泉水的 Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ 和电导率降低不同, 灯盏河泉水的 NO₃⁻ 含量在雨季反而升高(图 3), 可能反映了雨季施肥发生淋滤的影响要大于雨水稀释作用的影响。

3.2 泉水的物理化学季节动态变化及暴雨动态变化

为了更清晰地了解水化学的动态变化过程, 包括季节动态和暴雨动态变化, 图 4、图 5 显示了自动监测及其相关计算结果。从图 4、图 5 中可以看出陈旗泉和灯盏河泉具有明显的季节动态变化。具体表现为, 泉水的水温和 CO₂ 分压, 均表现为夏季升高而冬季降低。水温的季节变化反映了外界气温对泉水的影响, 从图中明显看出, 灯盏河泉水温较高, 但变幅要小于陈旗泉, 这主要是灯盏河流域面积较大, 径流时间较长, 调蓄能力较强的缘故。

水的 CO₂ 分压季节变化反映了植被季节动态的影响, 即夏季旺盛的生物活动使土壤中的 CO₂ 浓度升高, 从而导致泉水的 CO₂ 分压升高, 使夏季的 CO₂ 分压整体高于冬季。而水中 CO₂ 分压的升高导致了水更具侵蚀性, 从而导致泉水溶解更多的碳酸盐, 使水的电导率升高, 但由于在雨季雨水的稀释作用占主导, 因此水的电导率出现相反的季节变化, 表现为夏季低, 冬季高的趋势^[12]。

饱和指数和 pH 值的高值都出现在 P_{CO₂} 最低的冬季, P_{CO₂} 分压低导致了 pH 和饱和指数的升高(图 4、图 5)。

暴雨后(图 6、图 7), 两个泉点 EC、HCO₃⁻ 和 SI_c 呈现与水位反向的变化特征, 反映出雨水的稀释效应^[12], 而两泉水 pH 的变化特征则完全不同, 其中陈旗泉 pH 与水位同向变化(图 6), 而灯盏河泉 pH 则与水位呈反向变化(图 7)。这可以用前面提到的两泉域土地利用分布格局不同来解释, 即陈旗泉域土层分布较广且含有较多的碳酸盐岩角砾, 表面积较大, 暴雨时, 雨水溶解碳酸钙, pH 增高, 但因稀释作用可能大于溶解导致的电导率增加, 因此, 电导率反而降低。而灯盏河流域灌丛分布较广, 有利于保持雨水的低 pH 值和 SI_c 特征。

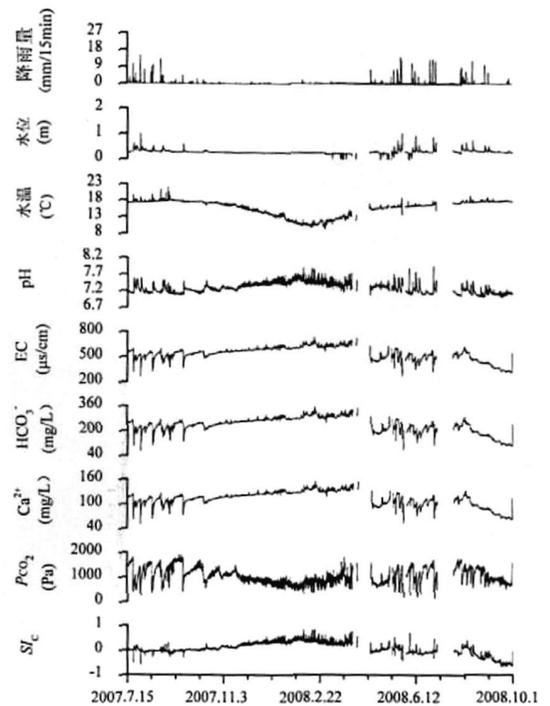


图 4 陈旗泉水化学连续变化及其与降雨的关系

Fig. 4 Continuous hydrochemical variations of Chenqi spring in relation with rainfall

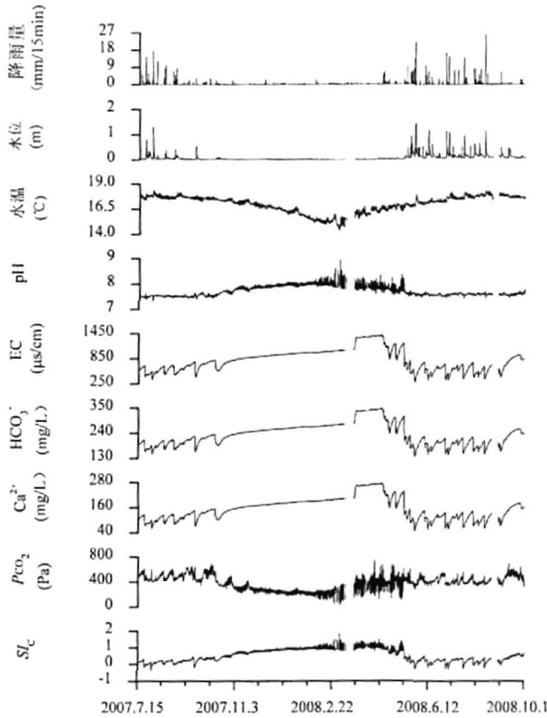


图5 灯盏河泉水化学连续变化及其与降雨的关系

Fig. 5 Continuous hydrochemical variations of Dengzhanhe spring in relation with rainfall

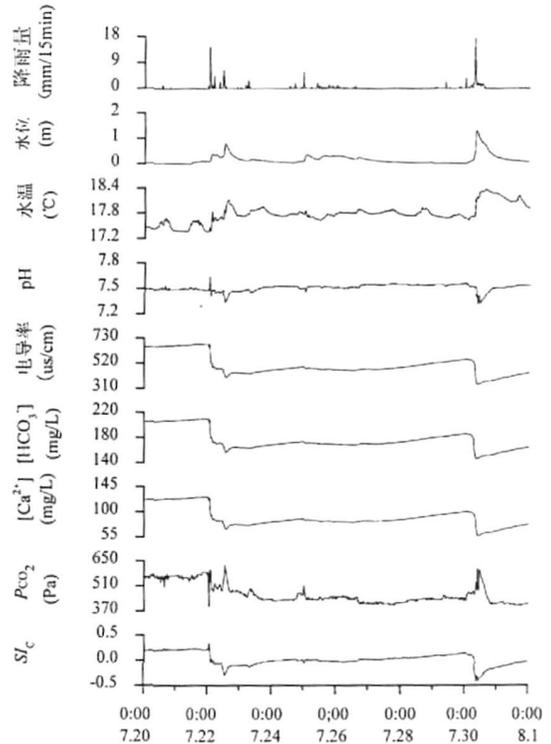


图7 2007年7月20日~8月1日灯盏河泉水化学暴雨动态变化图

Fig. 7 Storm-scale hydrochemical variations of Dengzhanhe Spring during July 20~ Aug. 1, 2007

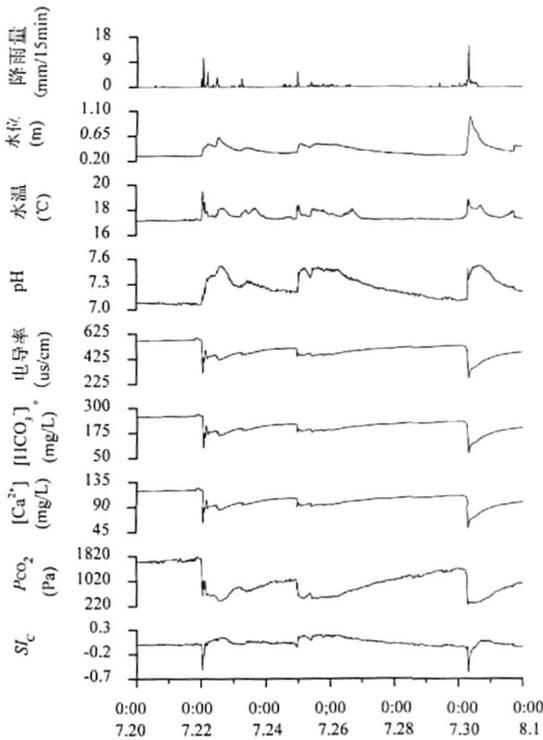


图6 2007年7月20日~8月1日陈旗泉水化学暴雨动态变化图

Fig. 6 Storm-scale hydrochemical variations of Chenqi Spring during July 20~ Aug. 1, 2007

4 结论

(1)利用自动化监测仪器,不但可以了解到雨季雨水的稀释作用是否是控制泉水水化学变化的主要因素,而且还可以研究岩溶泉在短时间尺度的变化规律,从而揭示不同土地利用分布格局对岩溶泉水文水化学的影响差异。

(2)在不同的土地利用分布格局下,岩溶泉水的物理化学指标的季节和暴雨动态变化呈现明显的差异性。对于土壤分布较多和水田分布在排泄区的陈旗泉而言, P_{CO_2} 和 HCO_3^- 较高,而 pH 和 Si_c 值明显低于土壤分布较少且水田分布于补给区的灯盏河泉,且变幅较小。此外在暴雨后,陈旗泉 pH 升高, P_{CO_2} 降低,而灯盏河泉 pH 降低, P_{CO_2} 升高。这些反映了不同土地利用分布格局对岩溶水化学调节作用的差异。灯盏河泉 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 和 EC 较高主要是其流域中石膏和白云岩含量较多的缘故。这些发现说明, pH、电导率、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 P_{CO_2} 和 Si_c 等岩溶水化学指标可以作为不同土地利用分布格局和环境变化的重要指标。

参 考 文 献

- [1] Yuan D X, Liu Z H. Global Karst Correlation [M]. Beijing, New York, Science Press, 1998, 1—23.
- [2] 章程,袁道先. 典型岩溶地下河流域水质变化与土地利用的关系—以贵州普定后寨地下河流域为例 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 134—137.
- [3] 曹建华,袁道先,章程,等. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统地球与环境 [J]. 2004, 32(1): 1—8.
- [4] 高中贵,彭补拙,喻建华,等. 经济发达地区土地利用变化对土壤性质的影响—以江苏省昆山市为例 [J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 44—51.
- [5] 李阳兵,高明,魏朝富,等. 土地利用对岩溶山地土壤质量性状的影响 [J]. 山地学报, 2003, 21(1): 41—49.
- [6] 郭华明,王焰新,王润福,等. 人类活动影响下的大同市浅层地下水环境演化 [J]. 地质科技情报, 2002, 21(4): 65—71.
- [7] 贾亚男,袁道先,何多兴. 桂林东区土地利用变化对浅层岩溶地下水质的影响 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2006, 31(4): 167—171.
- [8] 王根绪,杨玲媛,陈玲,等. 黑河流域土地利用变化对地下水资源的影响 [J]. 地理学报, 2005, 60(3): 456—466.
- [9] 蒋勇军,袁道先,谢世友,等. 典型岩溶农业区地下水水质与土地利用变化分析—以云南小江流域为例 [J]. 地理学报, 2006, 61(5): 471—481.
- [10] 郭芳,姜光辉. 岩溶盆地中农业和村镇引起的地下水化学演变 [J]. 地球与环境, 2008, 36(1): 65—72.
- [11] 劳文科,吴孔运. 喀斯特地区不同土地利用方式下包气带土壤水分动态特征. [J]. 地球与环境, 2008, 36(2): 119—124.
- [12] 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 CO₂ and dilution effects [J]. Journal of Hydrology, 2007, 337(1—2): 207—223.
- [13] 刘再华, Wolfgang D, 王海静. 一种由全球水循环产生的可能重要的 CO₂ 汇 [J]. 科学通报, 2007, 52(20): 2418—2422.
- [14] Raymond P A, Oh N H, Turner R E, *et al.* Anthropogenically enhanced fluxes of water and carbon from the Mississippi River [J]. Nature, 2008(451): 449—452.
- [15] 万洪涛,杨勇,史运良. 典型喀斯特流域水资源可持续利用研究—以贵州省普定后寨河流域为例 [J]. 南京大学学报(自然科学), 1998, 34(3): 1—7.
- [16] 刘再华, Dreybrodt W. 岩溶作用动力学与环境 [M]. 北京:地质出版社, 2007: 202—205.

Investigation on the Hydrochemical Variations of Karst Springs under Different Land Use Patterns

ZHAO Min^{1,2}, ZENG Cheng³, YE Wen-bing⁴, LIU Zai-hua^{1,2,3}

- (1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang, Guizhou 550002, China; 2. Puding Comprehensive Karst Research and Experimental Station, Institute of Geochemistry, CAS and Science and Technology Department of Guizhou Province, Puding, Guizhou 562100, China; 3. Karst Dynamics Laboratory, MLR, Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China; 4. Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China.)

Abstract With the multi-parameter auto-recordable instrument CTDP300, high resolution rainfall, stage, temperature, pH and conductivity of Chenqi and Denzhanhe karst springs, which formed under different land use patterns at Puding, Guizhou province, China were monitored. A thermodynamic model was used to link the continuous data to monthly water quality data allowing the calculation of CO₂ partial pressure (P_{CO₂}) and calcite saturation index (SIC) on a continuous basis. Marked seasonal and storm-scale variations were observed for pH, conductivity, P_{CO₂} and SIC of the springs, indicating that both springs are dynamic and variable systems. However, there are differences in magnitudes and direction of the variations of these features between these two springs. The higher P_{CO₂} and HCO₃⁻ concentration and lower pH and SIC in Chenqi karst spring than those in

©1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Denzhanhe spring tend to be related to the difference in land use patterns between Chenqi spring and Dengzhanhe spring catchment areas. In the Chenqi catchment area, there is larger soil cover and the paddy land locates in the discharge area, both of which produce and keep more CO_2 in the soil-aquifer system, while in the Dengzhanhe catchment area, there is less soil cover, and the paddy land is mainly in the recharge area. Moreover, the pH increased and P_{CO_2} decreased in Chenqi spring due to more carbonate rock breccias dissolution in soil, while the pH decreased and P_{CO_2} increased in Dengzhanhe spring. These findings show the differences in karst spring hydrochemical modulation by different land use patterns. In addition, the higher concentrations of Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Mg^{2+} and the electronic conductivity of Dengzhanhe spring are due to more gypsum and dolomite minerals in strata of Dengzhanhe karst spring catchment. All these indicate that the karst hydrochemical parameters e. g., pH, electronic conductivity, HCO_3^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , P_{CO_2} and SIc , can serve as indicators of different land use patterns and environmental changes.

Key words: hydrochemical variations; karst spring; auto data logging; land use pattern