

文章编号: 1008-2786-(2014)2-205-07

# 环境对湘西洛塔表层岩溶泉水文 地球化学特征的影响

苏春田 潘晓东 唐建生\* 邹胜章 梁小平 李兆林

(中国地质科学院岩溶地质研究所, 国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004)

**摘 要:** 对湘西洛塔不同生态环境类型灌木丛裸露区、旱地与灌木丛半覆盖区、旱地与草丛全覆盖区下表层岩溶泉进行了取样分析, 其水文地球化学特征表明: 生态恢复对表层岩溶泉水资源具有调蓄作用, 使表层岩溶泉在丰水期减峰, 枯水期延后; 干河猪场、黄家湾、小路湾坡面径流泥沙平均含量分别为 94.10 mg/L、389.30 mg/L、1 639.92 mg/L, 大小顺序为小路湾 > 黄家湾 > 干河猪场; 表层岩溶泉水化学组分均以  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  为主,  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  含量的大小顺序均为黄家湾泉 > 干河猪场泉 > 小路湾泉; 表层岩溶泉 pH 均大于 7.00, 呈弱碱性; 游离  $\text{CO}_2$  在干河猪场泉、黄家湾泉、小路湾泉中的浓度分别为 4.06 mg/L、9.38 mg/L、2.78 mg/L, 暂时硬度在干河猪场泉、黄家湾泉、小路湾泉中的浓度分别为 124.31 mg/L、173.95 mg/L、88.19 mg/L, 总酸度在干河猪场泉、黄家湾泉、小路湾泉中的浓度分别为 4.62 mg/L、10.67 mg/L、3.16 mg/L。pH 的大小顺序为小路湾泉 > 干河猪场泉 > 黄家湾泉; 暂时硬度、游离  $\text{CO}_2$ 、总酸度的大小顺序均为黄家湾泉 > 干河猪场泉 > 小路湾泉, 说明良好的植被覆盖具有更好的水文地球化学效应。

**关键词:** 生态环境; 洛塔; 表层岩溶泉; 水文地球化学

**中图分类号:** P641, Q143

**文献标志码:** A

表层岩溶带是地表强烈岩溶化过程的产物, 是我国西南岩溶山区普遍存在的现象。表层岩溶带不但对岩溶地下水系统具有调蓄作用, 还可形成表层岩溶泉<sup>[1-2]</sup>。表层岩溶泉是西南峰丛山区居民生活、生产用水的重要来源, 其开发利用对解决山区人畜饮水、农田灌溉具有重要的现实意义和社会意义<sup>[3]</sup>。然而, 表层岩溶带内的水资源具有特殊性。随着人口剧增和社会经济的高速发展, 森林植被遭到大量砍伐, 水土流失加剧, 山区岩石裸露, 石漠化问题日益严重, 导致表层岩溶带对雨水的调蓄能力减弱, 使得表层岩溶泉丰水期流量暴涨, 枯水期断流, 水质恶化<sup>[4]</sup>, 造成人畜饮水困难。发生于 2010 年西南岩溶山区连续几个月的严重干旱, 旱情达特

大等级, 更使解决岩溶山区百姓饮水问题上升为国家需求层次。提高表层岩溶带植被覆盖率, 植树造林、封山育林, 能促使生态系统正向演替, 可以增加对表层岩溶水的调蓄能力。本文以湘西洛塔为例, 探讨了不同生态环境类型下表层岩溶泉水文地球化学效应, 以期对岩溶山区生态环境重建、石漠化防治、水土流失治理、岩溶碳汇等研究提供理论参考依据。

## 1 研究区概况与方法

### 1.1 研究区概况

洛塔地处湘、鄂、黔、渝四省市交界的湘西岩溶

收稿日期(Received date): 2013-07-30; 改回日期(Accepted): 2013-11-06。

基金项目(Foundation item): 中国地质调查项目(1212010634803)、广西自然科学基金(桂科基 0991028)资助。[Geological survey project of china (1212010634803), The project was financially supported by Guangxi Provincial Science Foundation.]

作者简介(Biography): 苏春田(1981-), 男, 河北邢台人, 硕士, 助理研究员, 主要从事岩溶生态学研究。[Su Chuntian, Master, research assistant, currently engaged in karst ecosystems.] E-mail: suchuntian@karst.ac.cn

\* 通信作者(Corresponding author): 唐建生(1957-), 男, 广西桂林人, 博士, 研究员, 研究方向: 水文地质、地球化学。[Tang Jiansheng(1957-), male, doctor, professor, major in hydrogeology and hydrogeochemistry.] E-mail: tangjiansheng@karst.ac.cn

山区,是我国西南岩溶山区的典型代表,岩溶面积占全区面积的 55.6%。构造上为一北东向向斜构造盆地,盆地总的地势是北西高,南东低,并从周边向洛塔-猛西河形成了三级缓坡平台面。本区出露地层主要有泥盆-志留系、二叠系、三叠系及第四系;岩性,上部主要为碳酸盐岩,下为巨厚的古生代砂页岩。

洛塔属于亚热带季风湿润气候区,主要特征:  
(1) 气温低、日照短、夏凉冬冷、冰冻期长。由于海拔高,气温较湘西其他丘陵山区低,年平均气温 13.3℃,极端最低气温低于 -10℃,极端最高气温 37℃,冰冻期 5 个月以上,无霜期为 3—10 月。(2) 云雾多、湿度大、雨量充沛、雨季较长。区内由于山高温度低,水汽易凝结成雾,加上雨水多,故湿度大,相对湿度 71%~89%,丰水期为 5—9 月,平水期为 3 月、4 月、10 月,枯水期为 1 月、2 月、11 月、12 月。不同生态环境类型区包括:(1) 灌木丛裸露区,灌木丛覆盖率为 92.97%,土层部分覆盖 <10%,观测点为干河猪场泉;(2) 旱地与灌木丛半覆盖区,灌木丛、草地覆盖率为 47.00%,土层覆盖 20%~35%,观测点为黄家湾泉;(3) 旱地与草地全覆盖区,局部人工林,覆盖率为 5.00%,全覆盖,土层较半松散,观测点为小路湾泉。观测点基本情况见表 1。

1.2 研究方法

1.2.1 取样与测定

对研究区出露的干河猪场泉、黄家湾泉、小路湾泉进行采样,采样前用泉水洗三遍纯净水瓶,2000 年 4 月—2001 年 6 月不同时期对干河猪场泉取样 15 组、黄家湾泉取样 5 组、小路湾泉取样 4 组,样品带回实验室,由中国地质科学院岩溶地质研究所实验室完成测试分析。采用 pH 电位法测定 pH 值,游离 CO<sub>2</sub> 采用氢氧化钠滴定法,硬度采用乙二胺四乙酸二钠滴定法,总酸度采用滴定法,K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 采用火焰光度法测定,Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 采用 EDTA 滴定法测定,Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 采用离子色谱法测定,HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 采用盐酸滴定法测定。

1.2.2 泉流量测定

通过设置二级矩形堰监测表层岩溶泉水头来确定,按公式  $Q = 0.01838(b - 0.2h)h^{3/2}$  计算流量,  $Q$  表示流量,  $h$  表示水头高(cm),  $b$  表示堰底宽(cm),干河猪场泉一级堰底宽为 49.5 cm,二级堰底宽 59.5 cm。

1.2.3 泥沙含量

雨期采集坡面径流流水,1 个/场雨,大雨期间加密为 2~3 个/场雨,测定坡面径流泥沙含量。采用滤膜法,于一定温度下烘干后,称量残渣的重量,干河猪场取样 11 个,黄家湾取样 6 个,小路湾取样 12 个。

表 1 不同生态环境基本情况

Table 1 Essential features in different ecological environment

观测点 Observation point	坐标 Coordinate	高程 Elevation /m	层位 (岩性) Stratum	泉域 Spring area /km <sup>2</sup>	年均流量 Average flow of year /L·s <sup>-1</sup>	生态环境 Ecology environment	生态特征 (植被覆盖率) Ecological characteristics (Vegetation coverage) /%	土地覆盖特征 (覆盖率) Land cover characteristics (coverage)	地形坡度 Terrain slope
干河猪场泉	29°12'55.7"N 109°32'1.4"E	686.9	P <sub>1m</sub> (泥晶 灰岩,亮晶 灰岩)	0.72	18.64	灌木丛裸 露区	灌木丛 (92.97)	土层部分覆盖: <10%, 一般为裸露基岩,土层极 少,分布不连续	10°~25°、 局部 15°
黄家湾泉	29°10'59.3"N 109°29'32.1"E	861.2	T <sub>1d</sub> (泥晶 灰岩)	0.12	1.25	旱地与灌 木丛半覆 盖区	灌木丛、草 地(47)	土层覆盖: 20%~35%, 上部一般为裸露基岩,土 层极少,土层不连续,下 部为土层覆盖,土层连 续,土层厚度 0~2.5 m	5°~10°、 上部 15°
小路湾泉	29°16'51.6"N 109°32'40.1"E	1 177.9	P <sub>1q</sub> (泥晶 灰岩)	0.025	0.64	旱地与草 地全覆盖 区	局部人工 林(5)	全覆盖: 100%、土层连 续,土层厚度 0.5~1.0 m。	5°~15°

1.3 数据处理

采用 SPSS13.0 软件进行数据的相关分析,分析项目包括最小值、最大值、平均值和标准差,变异系数为标准差与平均值的百分比。

2 结果与分析

2.1 生态环境变化对表层岩溶泉水动态的影响

根据 1979—1980 年和 2000—2001 年生态条件和表层岩溶泉流量的统计数据(表 2),1979—1980 年,泉域内植被以灌丛草地为主,仅有少量针叶林,森林覆盖率仅为 0.06%,1979 年干河猪场泉丰水期和枯水期的流量分别为 37.70 L/s、3.20 L/s,1980 年丰水期和枯水期的流量分别为 134.40 L/s、2.50 L/s;经过逐年的自然恢复后,2000—2001 年,植被全部变为密灌和灌丛(以密灌为主),其中的植被以混交形式出现,森林覆盖率从 1979—1980 年期间的近乎为零覆盖到基本全覆盖。在类似降水条件下,2000 年丰水期和枯水期的流量分别为 50.10 L/s、10.40 L/s,2001 年丰水期和枯水期的流量分别为

16.40 L/s、7.90 L/s。由此可见,生态恢复对表层岩溶泉水流量动态在丰水期具有减峰,枯水期具有延后作用<sup>[3]</sup>。

2.2 生态环境类型对坡面径流泥沙量的影响

生态环境是影响表层岩溶泉泥沙含量的重要因素。植被覆盖好的生态环境,表层岩溶泉中泥沙量低;植被覆盖差的生态环境,表层岩溶泉中泥沙量高。坡面径流泥沙含量的高低也可说明表层岩溶泉中泥沙含量的高低。由表 3 可知,干河猪场坡面径流泥沙含量最大值是最小值的 7.24 倍,平均含量为 94.10 mg/L,变异系数为 70.48%;黄家湾坡面径流泥沙含量最大值是最小值的 191.15 倍,平均含量为 389.30 mg/L,变异系数为 155.98%;小路湾坡面径流泥沙含量最大值是最小值的 1 551.70 倍,平均含量为 1 639.92 mg/L,变异系数为 150.83%;泥沙含量的大小顺序为小路湾>黄家湾>干河猪场。

2.3 生态环境类型对表层岩溶泉水化学特征的影响

表层岩溶泉水化学组分(表 4)均以  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  组成的碳酸盐岩成分为主,两种离子均值含量之和占溶解离子总含量超过了 85.00%, $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$

表 2 干河猪场泉水动态与生态环境变化特征

Table 2 Variation characteristics of water dynamics and ecological environment in ganhezhuochang spring

年份 Year	生态特征 (覆盖率%) Ecological characteristics (Vegetation coverage)	丰水期 High water period		平水期 Average water period		枯水期 Low water period	
		降雨量 Rainfall/mm	平均流量 Average flow/(L/s)	降雨量 Rainfall/mm	平均流量 Average flow/(L/s)	降雨量 Rainfall/mm	平均流量 Average flow/(L/s)
1979	灌丛草地: 96.37	972.70	37.70	124.00	6.60	114.60	3.20
1980	Shrub grassland	1 707.10	134.40	408.20	48.10	131.60	2.50
2000	灌木丛 92.27	1 087.60	50.10	322.40	8.90	194.60	10.40
2001	Shrub	481.40	16.40	437.10	23.10	141.00	7.90

表 3 不同生态环境泥沙量

Table 3 Suspended sediment in different ecological environment

观测点 Observation point	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
干河猪场( N = 11) Ganhezhuangchang ( IV = 11)	37.00	268.00	94.10	66.32	70.48
黄家湾( N = 6) Huangjiawan ( IV = 6)	7.80	1491.00	389.30	607.22	155.98
小路湾( N = 12) Xiaoluwan ( IV = 12)	5.30	8224.00	1639.92	2473.45	150.83

在干河猪场泉含量分别为 151.57 mg/L、50.26 mg/L, 在黄家湾泉含量分别为 212.10 mg/L、69.77 mg/L, 在小路湾泉含量分别为 107.53 mg/L、38.22 mg/L, 两种离子含量的大小顺序均为黄家湾泉 > 干河猪场泉 > 小路湾泉。 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  含量之和占溶解离子总含量 < 10.00%,  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  含量占溶解离子总含量均 < 1%,  $\text{Mg}^{2+}$  含量也仅占溶解离子总含量的 1% 左右, 在干河猪场泉、黄家湾泉、小路湾泉含量分别

表 4 表层岩溶泉水化学指标对比  
Table 4 Comparison of water chemistry index in epikarst spring

地点 Spot	数据分析 Date analysis	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$
干河猪场泉 ( $N=15$ ) Ganhezhuangchang Spring ( $N=15$ )	最小值 Minimum	0.08	0.21	45.97	1.74	2.73	4.91	141.51
	最大值 Maximum	0.36	0.29	59.04	3.73	3.51	14.74	185.06
	平均值 Average	0.16	0.25	50.26	2.44	3.41	8.33	151.57
	标准差 Standard deviation	0.07	0.02	3.40	0.48	0.27	2.74	12.29
	变异系数 Coefficient of variation	40.88	8.89	6.77	19.69	8.06	32.91	8.11
黄家湾泉 ( $N=5$ ) Huangjiawan spring ( $N=5$ )	最小值 Minimum	0.24	0.83	59.82	1.74	2.73	3.87	189.52
	最大值 Maximum	0.53	1.80	75.44	3.07	3.64	12.78	228.44
	平均值 Average	0.38	1.35	69.77	2.25	3.38	7.52	212.10
	标准差 Standard deviation	0.14	0.36	7.07	0.53	0.37	3.31	19.54
	变异系数 Coefficient of variation	35.84	26.43	10.13	23.75	10.88	44.01	9.21
小路湾泉 ( $N=4$ ) Xiaoluwan spring ( $N=4$ )	最小值 Minimum	0.19	0.91	33.06	1.74	2.73	9.83	85.82
	最大值 Maximum	0.56	1.49	49.71	3.58	3.51	15.72	154.99
	平均值 Average	0.31	1.22	38.22	2.38	3.12	12.73	107.53
	标准差 Standard deviation	0.17	0.25	7.73	0.83	0.45	2.41	32.06
	变异系数 Coefficient of variation	56.57	20.41	20.24	34.70	14.43	18.92	29.81

表 5 表层岩溶泉 pH、暂时硬度、游离  $\text{CO}_2$ 、总酸度对比  
Table 5 Comparison of pH and temporary hardness and dissociative  $\text{CO}_2$  total acid in epikarst spring

地点 Spot	数据分析 Date analysis	pH	游离 $\text{CO}_2$ Free $\text{CO}_2$	暂时硬度 Temporary hardness	总酸度 Total acidity
干河猪场泉 ( $N=15$ ) Ganhezhuangchang Spring ( $N=15$ )	最小值 Minimum	7.31	2.21	116.06	2.51
	最大值 Maximum	7.84	4.41	151.78	5.02
	平均值 Average	7.61	4.06	124.31	4.62
	标准差 Standard deviation	0.16	0.66	10.08	0.76
	变异系数 Coefficient of variation	2.12	16.37	8.11	16.42
黄家湾泉 ( $N=5$ ) Huangjiawan spring ( $N=5$ )	最小值 Minimum	7.15	3.31	155.43	3.76
	最大值 Maximum	7.58	14.33	187.35	16.30
	平均值 Average	7.36	9.38	173.95	10.67
	标准差 Standard deviation	0.18	4.01	16.03	4.56
	变异系数 Coefficient of variation	2.49	42.76	9.22	42.79
小路湾泉 ( $N=4$ ) Xiaoluwan spring ( $N=4$ )	最小值 Minimum	7.28	1.18	70.38	1.34
	最大值 Maximum	8.01	4.41	127.11	5.02
	平均值 Average	7.65	2.78	88.19	3.16
	标准差 Standard deviation	0.30	1.39	26.29	1.59
	变异系数 Coefficient of variation	3.91	50.16	29.81	50.26

为 2.44 mg/L、2.25 mg/L、2.38 mg/L,含量相差无几。

#### 2.4 生态环境类型对表层岩溶泉 pH、暂时硬度、游离 CO<sub>2</sub>、总酸度的影响

由表 5 可知,表层岩溶泉 pH 均 > 7.00,呈弱碱性;游离 CO<sub>2</sub> 在干河猪场泉、黄家湾泉、小路湾泉中的浓度分别为 4.06 mg/L、9.38 mg/L、2.78 mg/L,变异系数分别为 16.37%、42.76%、50.16%,说明其值易受环境变化影响而改变;暂时硬度在干河猪场泉、黄家湾泉、小路湾泉中的浓度分别为 124.31 mg/L、173.95 mg/L、88.19 mg/L,总酸度在干河猪场泉、黄家湾泉、小路湾泉中的浓度分别为 4.62 mg/L、10.67 mg/L、3.16 mg/L。pH 的大小顺序为小路湾泉 > 干河猪场泉 > 黄家湾泉;暂时硬度、游离 CO<sub>2</sub>、总酸度的大小顺序均为黄家湾泉 > 干河猪场泉 > 小路湾泉。

### 3 讨论与结论

植被和土壤是岩溶区重要的生态因素,它们的存在使裸露的地表具备了有效的缓冲屏障,雨水通过植被林冠层截留、地被物持水、土壤持水、下渗等形式逐级分配降水<sup>[5-6]</sup>,不仅延缓了雨水入渗时间,同时也减缓了入渗强度,增加雨水入渗补给量,从而使坡面径流不易形成,泥沙量减少<sup>[7]</sup>;水流调蓄上,通过表层岩溶带的滤波作用将降雨脉冲输入的补给形式转换为连续波状输出的排泄形式,同时延迟降雨入渗补给在表层岩溶带内部滞留的时间<sup>[8]</sup>,同时土壤水的释放是一个相对缓慢的过程,对调节生态系统起到了重要的作用<sup>[9]</sup>。从而使表层岩溶泉水丰水期流量减少,枯水期明显增加。对广西弄拉兰电堂泉的研究也说明植被的恢复可以增加表层岩溶带的调蓄能力,使原来的季节性泉成为常流泉<sup>[11]</sup>。邹胜章等研究也认为生态条件是影响表层岩溶水调蓄时效性的关键,土地覆盖特征、植被条件不同,岩溶地下水的动态变化幅度、降雨动态滞后时效性也有明显不同<sup>[5]</sup>。

岩溶生态系统是受地质条件制约的生态系统<sup>[10]</sup>,而岩溶地下水水化学组分受含水介质的制约,赋存于 T<sub>1</sub>d、P<sub>1</sub>m、P<sub>1</sub>q 含水岩组的岩溶水,具有较高的碳酸盐组分含量<sup>[11]</sup>,水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca 型。植被、土壤、水分是岩溶生态系统中重要且敏感的自然环境因素,同时又是岩溶作用的动力因素或

产生动力条件的介质<sup>[12]</sup>。植被的发育程度越高,其涵养的表层岩溶泉的溶质含量越多<sup>[13]</sup>。黄家湾泉域属旱地与灌木丛半覆盖,植被和土层部分覆盖,其水化学组分含量最高;小路湾泉域属旱地与草地全覆盖,其水化学组分含量最低;干河猪场泉域属灌木丛裸露区,植被覆盖率最高,但土层很少,水化学组分含量介于上述两种类型之间。说明植被、土壤的覆盖程度共同影响表层岩溶泉水化学组分的含量,尤以 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup> 含量。梁小平对该区的研究表明,植被、土壤的覆盖程度与水化学组分含量呈正相关性<sup>[11]</sup>。姚长宏等<sup>[14]</sup>研究认为,灌丛覆盖为主的表层岩溶泉水中 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量要高于草丛覆盖为主的。蒋忠诚等研究认为,森林环境由于生物作用活跃,能够产生大量的 CO<sub>2</sub> 和有机酸,往往比非森林环境具有更大的溶蚀潜力,水的硬度和碳酸岩盐成分浓度也较高<sup>[1]</sup>。邓新辉等<sup>[15]</sup>研究表明,生态条件的改善可通过调蓄表层岩溶水来调节岩溶作用,增加表层岩溶泉水中化学成分的含量,改变水质。

岩溶区富钙、偏碱的地质背景增加了下渗土壤水的碱性,表层岩溶带水-岩相互作用使表层岩溶泉水的 pH 值明显增高,呈弱碱性。植物的代谢具有酸化作用,使表层岩溶带的水 pH 值降低,因此,表现出 pH 的大小顺序为小路湾泉 > 干河猪场泉 > 黄家湾泉。邓艳<sup>[16]</sup>对广西弄拉不同植被群落的研究也说明与灌丛相比,森林涵养的土壤表层岩溶泉水 pH 值低。雨水通过植被和土壤层后,植被和土壤微生物的呼吸作用以及植被枯枝落叶层的分解释放 CO<sub>2</sub>,增加了降雨溶解的游离 CO<sub>2</sub> 含量<sup>[17]</sup>,使表层岩溶泉水中游离 CO<sub>2</sub> 含量相应增加,溶解了较多游离 CO<sub>2</sub> 含量的表层岩溶泉水溶液具有强烈的溶蚀性,能促使碳酸岩盐迅速溶解,大量 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 淋溶至水中,导致表层岩溶泉水的酸度值和暂时硬度增加。相关研究表明,游离 CO<sub>2</sub> 含量与酸度具有显著的相关性<sup>[18]</sup>。

干旱、石漠化、水土流失、水质恶化是西南岩溶山区突出的环境问题,增加植被覆盖率,使岩溶生态系统正向演替是解决这些问题的有效途径。因此,加强表层岩溶水与生态恢复方面的交叉综合研究是今后研究的方向,尤其是生态环境变化对表层岩溶水调蓄能力的差异比较以及过程控制。全球气候变化引起各国政府与学者的高度关注,岩溶效应吸收 CO<sub>2</sub> 而固碳增汇,对岩溶地区不同生态环境下固碳增汇能力的比较研究也是今后研究的重点。

## 参考文献(References)

- [1] Jiang Zhongcheng, Yuan Daoxian. Dynamics features of the epikarst zone and their significance in environments and resources [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999, 20(3): 302–308 [蒋忠诚, 袁道先. 表层岩溶带的岩溶动力学特征及其环境和资源意义 [J]. 地球学报, 1999, 20(3): 302–308]
- [2] Lao Wenke, Qi Xiaofan, Liu Huimin, et al. Characters of epikarst water system and water resources in Longhe, Guohua, Guangxi [J]. Carsologica Sinica, 2008, 27(2): 122–128 [劳文科, 祁晓凡, 刘慧敏, 等. 广西果化龙何地区表层岩溶带岩溶水系统及其水资源特征 [J]. 中国岩溶, 2008, 27(2): 122–128]
- [3] Zou Shengzhang, Zhu Yuanfeng, Liang Bin, et al. Hydrologic features and the eco-environmental classification of epikarst spings in Luota, west of Hunan [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 190–196 [邹胜章, 朱远峰, 梁彬, 等. 湘西洛塔表层岩溶泉的生态环境类型及水文特征 [J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 190–196]
- [4] Qin Xiaoqun, Jiang Zhongcheng. A review on recent advances and perspective in epikarst water study [J]. Carsologica Sinica, 2005, 24(3): 250–253 [覃小群, 蒋忠诚. 表层岩溶带及其水循环的研究进展与发展方向 [J]. 中国岩溶, 2005, 24(3): 250–253]
- [5] Zou Shengzhang, Zhu Zhiwei, Liang Bin, et al. Effects of changes in ecologic system on karst water resources in west Hunan Province [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2004, 31(5): 26–30 [邹胜章, 朱志伟, 梁彬, 等. 生态系统变化对湘西岩溶水资源的影响 [J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(5): 26–30]
- [6] Ran Jingcheng, He Shiyi, Cao Jianhua, et al. Study on water and soil conservation in subtropical karst forest: A case study of the Maolan state nature reserve in Guizhou [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(5): 92–95 [冉景丞, 何师意, 曹建华, 等. 亚热带喀斯特森林的水土保持效益研究——以贵州茂兰国家级自然保护区为例 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 92–95]
- [7] Jiang Zhongcheng, Wang Ruijiang, Pei Jianguo, et al. Epikarst zone in south china and its regulation function to karst water [J]. Carsologica Sinica, 2001, 20(2): 106–110 [蒋忠诚, 王瑞江, 裴建国, 等. 我国南方表层岩溶带及其对岩溶水的调蓄功能 [J]. 中国岩溶, 2001, 20(2): 106–110]
- [8] Lao Wenke, Jiang Zhongcheng, Shi Jian, et al. Hydrogeologic structure and feature of the epikarst in Luota [J]. Carsologica Sinica, 2003, 22(4): 258–266 [劳文科, 蒋忠诚, 时坚, 等. 洛塔表层岩溶带水文地质特征及其水文地质结构类型 [J]. 中国岩溶, 2003, 22(4): 258–266]
- [9] He Shiyi, Ran Jingcheng, Yuan Daoxian, et al. A comparative study on hydrological and ecological effects in different karst ecosystems [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(3): 265–270 [何师意, 冉景丞, 袁道先, 等. 不同岩溶环境系统的水文和生态效应研究 [J]. 地球学报, 2001, 22(3): 265–270]
- [10] Cao Jianhua, Yuan Daoxian, Zhang Cheng, et al. Karst ecosystem constrained by geological conditions in south west china [J]. Earth and Environment, 2004, 32(1): 1–8 [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 [J]. 地球与环境, 2004, 32(1): 1–8]
- [11] Liang Xiaoping, Zhu Zhiwei, Liang Bin, et al. Preliminary analysis on hydrogeochemical characteristics of the epikarst zone in Luota, Hunan [J]. Carsologica Sinica, 2003, 22(2): 103–109 [梁小平, 朱志伟, 梁彬, 等. 湖南洛塔表层岩溶带水文地球特征初步分析 [J]. 中国岩溶, 2003, 22(2): 103–109]
- [12] Deng Xinhui, Jiang Zhongcheng. Karst effect of forest vegetation in Nongla, Guangxi [J]. Earth and Environment, 2007, 35(2): 128–133 [邓新辉, 蒋忠诚. 广西弄拉森林植被的喀斯特效应 [J]. 地球与环境, 2007, 35(2): 128–133]
- [13] Deng Yan, Qin Xingming, Jiang Zhongcheng, et al. Soil water and its karst effect in epikarst dynamic system [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(7): 1586–1590 [邓艳, 覃星铭, 蒋忠诚, 等. 表层岩溶动力系统中土壤水分及其岩溶效应 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1586–1590]
- [14] Yao Changhong, Jiang Zhongcheng, Yuan Daoxian. Vegetation karst effects on the karst area of south china [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(2): 159–164 [姚长宏, 蒋忠诚, 袁道先. 西南岩溶地区植被的喀斯特效应 [J]. 地球学报, 2001, 22(2): 159–164]
- [15] Deng Xinhui, Jiang Zhongcheng, Wu Kongyun. Eco-hydrological effects of secondary forest in Nongla [J]. Ecology and Environment, 2007, 16(2): 544–548 [邓新辉, 蒋忠诚, 吴孔运. 弄拉岩溶区次生林的生态水文效应 [J]. 生态环境, 2007, 16(2): 544–548]
- [16] Deng Yan, Jiang Zhongcheng, Qin Xingming, et al. Impacts of litter on physical and chemical soil properties and its karst effects on different forested karst ecosystem [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 3307–3315 [邓艳, 蒋忠诚, 覃星铭, 等. 岩溶生态系统中不同植被枯落物对土壤理化性质的影响及岩溶效应 [J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3307–3315]
- [17] Shen Lina, Deng Xinhui, Jiang Zhongcheng, et al. Hydrogeochemical effects of epikarst zone ecosystem: A case study of the Landiantang spring catchment in Nongla [J]. Earth and Environment, 2010, 38(2): 189–197 [沈丽娜, 邓新辉, 蒋忠诚, 等. 表层岩溶带生态系统的水文地球化学效应——以弄拉兰电堂泉域为例 [J]. 地球与环境, 2010, 38(2): 189–197]
- [18] Deng Xinhui, Jiang Zhongcheng, Qin Xiaoqun, et al. Epihydrogeochemical effects of karst vegetation in Nongla, Guangxi [J]. Mountain Research, 2008, 26(2): 170–179 [邓新辉, 蒋忠诚, 覃小群, 等. 广西弄拉岩溶植被的表层水文地球化学效应 [J]. 山地学报, 2008, 26(2): 170–179]

## Influence of Eco-environment on Hydrogeochemical of Epikarst Springs in Luota ,West Hunan Province of China

SU Chuntian ,PAN Xiaodong ,TANG Jiansheng ,ZOU Shengzhang ,LIANG Xiaoping ,LI Zhaolin

( Institute of Karst Geology ,Chinese Academy of Geological Sciences ,Karst Dynamics Laboratory ,  
Ministry of Land and Resources&Guangxi Autonomous Region ,Guilin 541004 ,Guangxi ,China)

**Abstract:** In difference eco-environment of shrub bare area ,dry land and shrub half coverage area ,dry land and underbrush coeverage area ,this paper gathered the sample of epikarst springs in Luota of west Hunan Province ,China. Its feature of hydrogeochemical showed that: ecological restoration had storage effect of water resources to epikarst spring ,with reducing peak in the abundant water period and delaying in the dry period. The average content of sediment was 94.10 mg/L ,389.30 mg/L ,1639.92 mg/L in Ganhezhuchang ,Huangjiawan ,Xiaoluwan ,respectively ,its order was Xiaoluwan > Huangjiawan > Ganhezhuchang. Chemical components of all epikarst spring were mainly  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  ,its order was Huangjiawan spring > Ganhezhuchang spring > Xiaoluwan spring. The pH value of all epikarst spring were more than 7.00 and were alkaline. In Ganhezhuchang spring ,Huangjiawan spring ,Xiaoluwan spring ,respectively ,the concentration of dissociative  $\text{CO}_2$  were 4.06 mg/L ,9.38 mg/L ,2.78 mg/L ,temporary hardness were 124.31 mg/L ,173.95 mg/L ,88.19 mg/L ,total acid were 4.62 mg/L ,10.67 mg/L ,3.16 mg/L. the order of pH was Xiaoluwan spring > Ganhezhuchang spring > Huangjiawan spring ,while the order of temporary hardness ,dissociative  $\text{CO}_2$  ,total acid were all Huangjiawan spring > Ganhezhuchang spring > Xiaoluwan spring ,our results suggested that there existed better hydrogeochemical effect in good eco-environment.

**Key words:** ecological environment; Luota; epikarst spring; hydrogeochemistry