

文章编号: 1672 9250(2005)02 0023 08

洞穴滴水的水文地球化学过程: 贵州犀牛洞的研究

周运超, 王世杰

(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, 贵州 贵阳 550002)

摘 要: 为了揭示洞穴滴水的水文地球化学过程, 对贵州镇宁犀牛洞 3 个滴水点的滴率、水化学组成等进行为期 1 年的动态监测, 示踪结果显示犀牛洞滴水对大气降水的响应较快(28 天以上), 滴水的物质组成直接源自于洞穴环境, 即土壤和岩石, 而大气降水携带的物质成分较少, 滴水点均受到不同源来水的影响。洞穴滴水的化学组成中元素含量的变化主要由水运移过程中水-土、水-岩作用导致的岩石溶解-方解石沉淀过程所控制, 表明犀牛洞滴水点的次生沉积物可能记录了环境变化信息。

关键词: 贵州犀牛洞; 洞穴滴水; 水文地球化学过程; 作用特点

中图分类号: P641.3 文献标识码: A

岩溶次生沉积物已经成为研究岩溶地区过去环境变化记录的重要载体^[1-6]。稳定性氧、碳同位素指标^[7]、石笋微层记录^[1,8]、微量元素及其比值^[9-10]等多样性指标的应用, 显示了岩溶洞穴次生沉积物在过去环境变化研究中的重要作用。但随着高分辨率、短时间尺度等研究精度要求的提出, 有人注意到岩溶次生沉积记录与环境变化的不一致现象: 英国洞穴系统中稳定性碳同位素值的变化不能指示洞穴环境植被的变化^[11]; 中国桂林地区洞穴次生沉积物的氧碳同位素指标的环境指示较差^[12-13]; 美国南达科他州黑山 Reed's 洞的两根同时代石笋稳定同位素的测定结果不一致, 且难于指示其所指征的环境变化, 表明影响稳定碳同位素结果的因素很多^[14]。差异存在的原因就在于岩溶水动力过程对次生沉积记录的影响。已有研究表明岩溶次生沉积物记录的物质来源受到岩溶水动力的巨大影响^[15], 而洞穴不同滴水点滴水的水动力地球化学过程同样存在着较大的差异^[16]。越来越多的科学家把注意力投向洞穴滴水的水动力地球化学过程^[12, 15, 16-19]。由于岩溶环境过程对岩溶次生沉积记录指标影响的差异, 影

响到岩溶次生沉积记录指标的解译, 因此, 岩溶水动力学地球化学过程的清晰化将有助于岩溶洞穴系统过去环境变化指标的解译。

1 研究点概况及研究方法

1.1 研究点概况

犀牛洞(105°46'35"E; 26°03'27"N)位于镇宁县城关镇东郊, 植被类型为刺丛草坡, 洞穴发育在三叠系安顺组(T_{1a})灰色、灰白色中厚层白云岩层中, 洞穴上部约 50 m 处有一层厚约 100 cm 左右的粘土岩夹层, 在洞穴顶板内分布有 3~4 层泥质白云岩夹层。洞口海拔为 1 400 m 左右, 盖板层厚度为 60 m 左右, 洞长约 300 m, 洞穴受控于裂隙构造。该地年平均气温 14.4~19.7 °C, 年均雨量 1 025.6~1 410.1 mm, 5~10 月为雨季, 降雨量占全年约 75%左右, 11 月至次年 4 月为旱季, 降水稀少。根据对犀牛洞众多滴水点的考察, 结合洞穴盖板厚度、滴率大小、滴点汇水面积大小等因素, 选择 3 个滴水点进行定位动态监测。(编号方式为由洞口向内按顺序分别为 XND 1 #、XND 2 #、XND 3 #, XND 1 #和 XND 2 #滴水点相距较近, 约 6 m, 而与 XND 3 #相距较远, 约 150 m)。3 个滴水点目前均发生着次生沉积物沉淀作用。洞顶有鹅管, 洞底有石笋。

收稿日期: 2005 04 22; 修回日期: 2005 05 20

基金项目: 中国科学院地球化学研究所知识创新工程前沿领域项目

国家自然科学基金委西部生态环境研究计划(90202003)

第一作者简介: 周运超(1964-), 男, 教授, 地球化学专业。

E-mail: zhouyunchao@21cn.com

1.2 研究方法

1.2.1 示踪研究 水与洞穴顶板的作用时间长短影响到次生沉积记录^[9,10], 因此, 对 XND 1 #滴水点采用食盐进行示踪研究。通过仔细考查洞顶地貌、岩石产状、节理发育及分布特点等, 分析出大气降水在洞穴顶板内的可能路径, 将 100 kg 食盐粗略分成 20 份, 在 40~60 m² 的范围内, 以点状埋设的方式, 选择 20 个有土壤覆盖的点, 在每个点将表层土壤挖开, 施入 1 份示踪剂后, 覆土。这样做的目的是: (1) 降低地表径流对示踪剂的冲刷作用; (2) 直接示踪大气降雨-土壤渗透-岩石运移过程。示踪剂的施放时间为 2003 年 6 月 15 日。示踪前, 即从 2003 年 4 月至 2003 年 6 月之间, 进行过几次滴水点 Na⁺、Cl⁻ 采样测定, 结果为 $\rho(\text{Na}^+) = 0.40 \pm 0.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\rho(\text{Cl}^-) = 0.46 \pm 0.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ($n=3$)。

1.2.2 样品采集 对示踪点滴水样品的采集为隔天采集一个分析样, 持续到检测出一个完整的示踪过程为止(2003 年 6 月到 2003 年 10 月)。同时, 对已经选择好的 3 个滴水点(含示踪点)每月 1 次采样测定。土壤水样品的采集为在洞穴滴水点上部土下 50 cm 处埋设土壤水收集器(3 次重复), 定期每月进行 1 次采样和测定, 采样时间为每月 10 日-15 日, 总样品量约 1 L。监测时间自 2003 年 4 月到 2004 年 5 月, 其间由于“非典”等原因, 中断了几次采样。同时, 土壤水样只采集到 2 次。

1.2.3 测定 在洞穴环境下, 现场测定滴水点滴率、pH、HCO₃⁻ 等项目, HCO₃⁻ 采用标准酸混合指示剂滴定法。样品采集好后, 在实验室内进行阴阳离子的测定工作, SO₄²⁻、Cl⁻ 采用 HP1100 型高效液相色谱仪测定, Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺ 采用 PE5100PC 型原子吸收光谱仪测定, 阴阳离子间的测定误差控制在 $\pm 5\%$ 以内。所有结果的分析均是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完成。

在进行示踪滴水点样品采集的同时, 采用简易的大气降雨测定器皿和测定方法测定大气降雨量。将已知直径的塑料圆桶洗净后, 置于屋顶(无树枝遮挡)承接大气降雨, 并记录起止降雨时间, 降雨结束

时, 测量桶内水量。

2 结果

2.1 洞穴滴水示踪结果

犀牛洞滴水点 NaCl 示踪结果见图 1。施入示踪剂后第 5 天(6 月 19 日)发生第 1 次降雨, 且降雨量高达 59.90 mm, 从示踪点 XND 1 #滴水的测定结果可以看出, 滴水的示踪剂含量在降雨发生后相当长的一段时间内并未显现出明显的示踪剂含量的上升, 而 XND 1 #滴水点最初响应时间为 7 月 16 日, 示踪剂(Na⁺、Cl⁻)的含量达到 $\rho(\text{Na}^+) = 1.86 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\rho(\text{Cl}^-) = 2.88 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 显著高于犀牛洞滴水的背景值, 这一时间也是滴水示踪剂峰值的出现时间, 这一结果表现出了由于洞穴上部隔水层的存在对水运移产生的阻碍作用, 从而导致滴水中

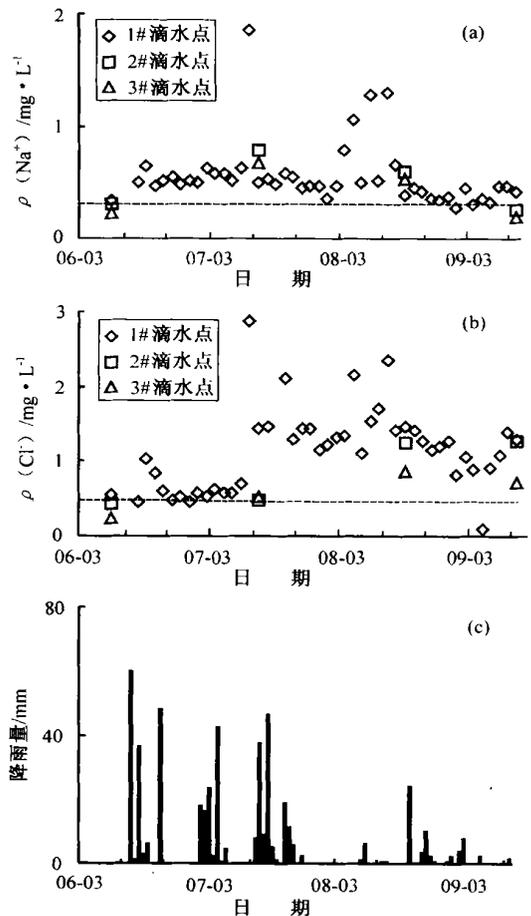


图 1 犀牛洞 NaCl 示踪结果及降雨量监测结果
Fig. 1. Tracing result of NaCl (a); Na⁺ curve (b); Cl⁻ curve (c); precipitation in the Xiniu Cave.
(注: 图中虚线示意 XND-1 #滴水示踪元素本底值)

示踪剂峰值的突然出现。从降雨量的结果可以看出, 6 月 19 日发生的降雨是该区的最高降雨, 表明 XND 1 # 点滴水对大气降雨的响应时间在 28 天以上^[17]。另外 2 个滴水点的示踪剂含量检测结果也显示出同样的升降, 但升降的时间和程度表现各有不同, 表明 3 个滴水点间的物质来源具有一定的同源性^[17]。同时也表明犀牛洞滴水来源于大气降雨通过在洞穴顶板运移后直接进入洞穴。

2.2 洞穴滴水滴率与元素间的关系

从图 2 可以看出, 犀牛洞 3 个滴水点的滴率表现出 3 种类型, 即 XND 2 # 滴水点, 滴率 ($0.040 \pm 0.018 \text{ 滴} \cdot \text{s}^{-1}$) 小, 且变化小; XND 1 # 滴水点, 滴率 ($0.503 \pm 0.704 \text{ 滴} \cdot \text{s}^{-1}$) 中等, 变异中等; XND 3 # 滴水点, 滴率 ($2.083 \pm 0.724 \text{ 滴} \cdot \text{s}^{-1}$) 较大, 变化较

大。考察不同滴点元素含量与滴率间的关系, 发现滴率较小的, 元素含量相对较高, 表明水运移过程中水-土、水-岩作用的差异影响到滴水的化学组成。同一点滴点, 从滴率与元素含量的关系来看, XND 2 # 表现出滴率几乎没有变化而元素含量在变, XND 3 # 则表现出滴率的大变化而元素含量无变化 (Ca^{2+} 除外), 这一现象指示了 XND 3 # 滴水点上存在着巨大的水贮库, 对于来水具有极大的缓冲作用, 因此, 滴水元素含量的变化微弱。滴点 XND-1 # 则表现出在低滴率阶段随着滴率的增加元素含量也增加, 在高滴率阶段则随着滴率的增加元素含量减少的变化态势。表明犀牛洞 3 个滴水点滴率与滴水元素含量间存在着 3 种类型的关系。

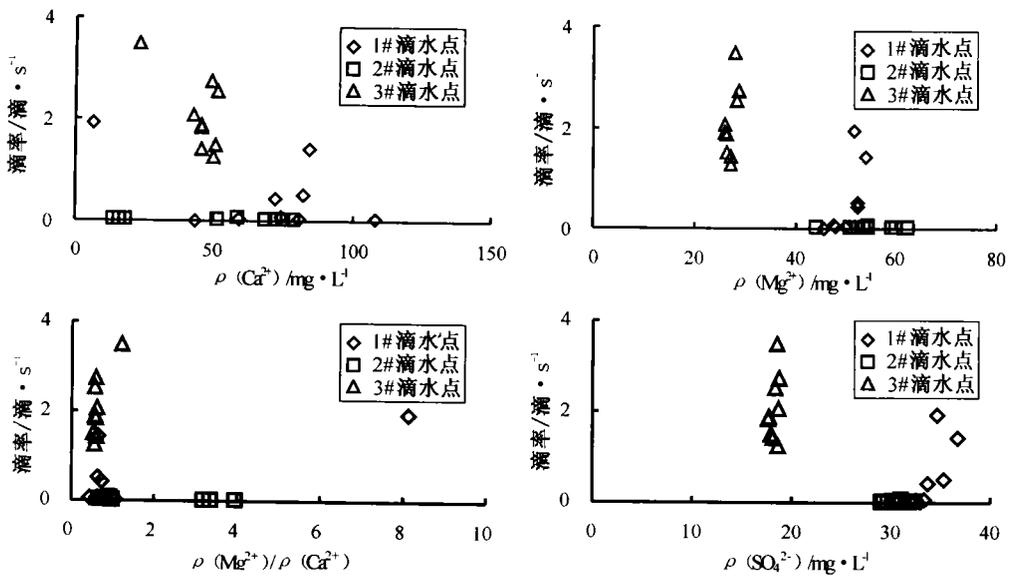


图 2 犀牛洞滴率与滴水元素间的关系

Fig. 2. Correlation of drip rate with element contents in the Xiniu Cave.

2.3 洞穴系统大气降雨、土壤水和滴水主要元素动态

图 3 中列出了犀牛洞滴水点的 3 个主要元素的动态曲线, 显示出 Ca^{2+} 在降雨量较大的 7 月份含量激烈下降, 3 个滴水点 Ca^{2+} 含量在 $6.35 \sim 23.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的范围, 随即又快速上升至 $49.13 \sim 84.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 之后有一微小的降低, 以 XND 2 # 的第 2 次下降较 XND 1 # 明显。 Mg^{2+} 表现出了在 7 月份时与 Ca^{2+} 相似的下降, 但其变化较之 Ca^{2+} 的变化微弱得多, 其余时间则显示出较为稳定的状态。土壤水这两个元素 (Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 含量 ($38.12 \sim 50.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $25.38 \sim 26.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 与 XND-3 # 滴水的含量 ($23.25 \sim 50.98 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $25.90 \sim 28.73 \text{ mg}$

$\cdot \text{L}^{-1}$) 接近, 而低于 XND 1 # 和 XND 2 #。洞穴滴水的 SO_4^{2-} 则显示出较 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 元素更稳定的动态过程, XND 1 #、XND 2 #、XND 3 # 的含量分别为 $33.46 \pm 1.85 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $30.48 \pm 1.12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $18.23 \pm 0.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 1 # 点土壤水中的 SO_4^{2-} 含量 ($9.39 \sim 12.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 又低于滴水含量, 根据对不同土壤水点 SO_4^{2-} 含量的测定 ($6.90 \sim 19.99 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 土壤水点间 SO_4^{2-} 含量的差异可达到 3 倍左右, 表明不同的土壤水点 SO_4^{2-} 含量的差异极大。大气降雨中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 元素相较于土壤水、滴水的含量低且更稳定, 而 SO_4^{2-} 也明显低于土壤水、滴水的含量。

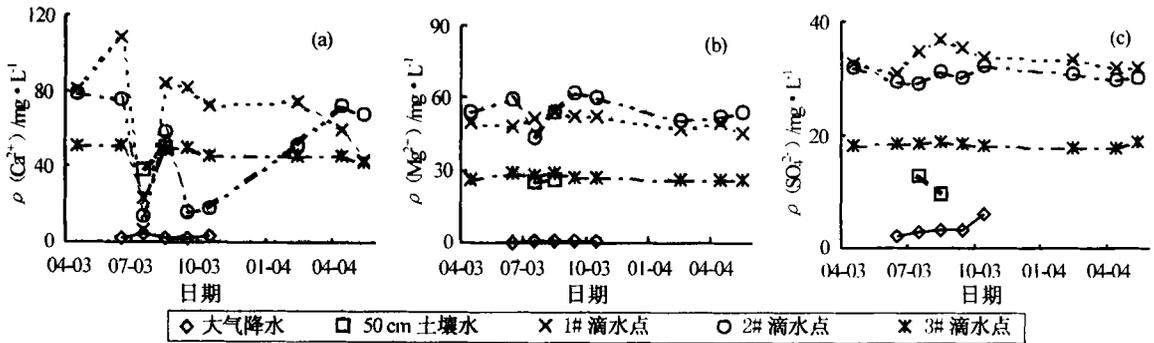


图3 大气降水、土壤水和滴水的主要元素动态

Fig. 3. Kinetics of major elements in rainfall, soil water and drips.

3 讨论

3.1 洞穴滴水的物质来源

岩溶洞穴滴水物质来源的差异, 表现为岩溶石笋记录的环境信息的不同。从图3可以知道, 通过大气降水输入岩溶系统的元素量极低, 变化也较小。表明大气降水不是洞穴滴水物质的主要来源。

Dai 等采用无机的 $\text{Na}_2^{35}\text{SO}_4$ 作为示踪剂, 研究了土壤对硫酸盐的吸附作用, 结果有 48% 左右的硫酸盐在极短的时间内被土壤固定, 而固定的机理有两个方面, 一是土壤的物理化学吸附, 另一是转化为有机态硫^[20], 即大气降水携带的 SO_4^{2-} 进入土壤后, 很快被土壤固定, 并转化为土壤硫。从 50 cm 土壤水与滴水 SO_4^{2-} 含量上可以看出, 土壤水 SO_4^{2-} 含量低于示踪点滴水中的含量, 但喀斯特地区土壤由于其存在地点为岩石裂隙, 土壤垂直厚度较大, 同时, 从 3 个土壤水点的 SO_4^{2-} 含量范围 $6.90 \sim 19.99 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 来看, 不同的土壤水点 SO_4^{2-} 含量变化较大, 表明洞穴不同滴水点中 SO_4^{2-} 含量的差异产生的原因是由于水源来自于不同的 SO_4^{2-} 含量的土壤, 即土壤是洞穴滴水 SO_4^{2-} 的主要来源。

对于 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量而言, 大气降水中携带输入系统的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子较少, 其含量为 $1.78 \sim 4.32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.06 \sim 1.12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。土壤水中的元素含量 ($38.12 \sim 50.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $25.38 \sim 26.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 明显高于大气降雨中的量, 土壤水中的高元素含量是由于这些元素主要源自于土壤中易移动性 Ca^{2+} 的快速淋失过程与可交换的缓慢交换释放过程^[21]。滴水中的含量均高于土壤水(图3), 表明

土壤仅只是洞穴滴水这些元素的主要来源之一。示踪研究表明犀牛洞滴水对大气降雨的响应时间为 28 天以上(图1), 由于水与岩石作用的时间相对较长, 且洞穴顶板中还一粘土岩层, 其保持了水与岩石的作用时间, 即也有部分元素源自于岩石。犀牛洞水携带了土壤中的离子, 并进一步溶解岩石之后, 从洞顶渗出。因此, 犀牛洞滴水中的这些元素主要源自于土壤和岩石。

3.2 洞穴滴水的水文地球化学过程

在岩溶洞穴顶板内发生的水文地球化学作用一般包括水源改变、稀释作用、岩石溶解和方解石沉淀等过程^[15, 16, 22]。对 XND 1 # 滴水点的示踪结果表明洞穴滴水对大气降雨的响应为 28 天以上, 意味着水在洞穴顶板的运移方式以较慢速的基质流为主。这种特点显示在刺丛草被覆盖条件下的犀牛洞地区由于人为活动的频繁发生, 土壤紧实而通透性较差, 同时, 洞穴顶板上部还有一粘土岩层, 因此, 3 个滴水点均显示出示踪剂的踪影(见图1), 即示踪剂埋设点对 3 个滴水点均存在着物质贡献, 由于 XND 1 #、XND 2 # 滴水点汇水面积较小, 滴率极低, 示踪剂含量远高出背景值; 而 XND 3 # 滴水点汇水面积相对较大, 滴率较高, 而示踪剂含量处于较低水平^[17], 表明犀牛洞 3 个滴水点间还存在着不同来源来水的影响。

一般情况下, 水动力学过程中极易发生的作用类型为“稀释作用”^[16, 22], Tooth 等采用滴水中的 SO_4^{2-} 含量的变化来评价洞穴滴水是否发生稀释作用, 他们认为滴水中的 SO_4^{2-} 源自于碳酸盐岩石中的黄铁矿风化而缓慢释放出来, 但是值得注意的是

Tooth 等没有对土壤水进行研究^[19], 实际上犀牛洞滴水中的 SO_4^{2-} 部分源自于土壤(见图 3), 其含量的变化受到土壤物理、土壤化学和土壤生物学过程所控制。尽管从图 2 还可以看出, XND 1 #滴水点在高滴率的时候不仅滴水 SO_4^{2-} 含量的改变表现出随滴率的升高而下降, 滴水中的 Mg^{2+} 也同样表现出了相同的变化趋势, 但不明显。然而, 滴水的 Mg/Ca 并没有产生如此变化, 表明不是由于稀释作用导致的结果, 而可能是由于其它原因所致。也有采用 Ca^{2+} 、 Cl^- 含量来指示稀释作用的发生^[22], 从图 3 可见犀牛洞雨季(7 月份), 滴水、土壤水 Ca^{2+} 含量均显著下降, 似乎表现了稀释作用的发生, 由于犀牛洞雨季始于 4 月, 经过长达近 3 个月的淋滤后, 土壤可淋出 Ca^{2+} 含量的下降也会影响到此时土壤水中的含量, 加上 Ca^{2+} 含量的变化还受到其他作用的控制, 因此, 以这一条件来判断稀释作用的发生略显

表 1 50 cm 土壤水、洞穴滴水方解石饱和度(SIc)及 CO_2 分压

Table 1. Saturation index of calcite (SIc) and CO_2 partial pressure of drip water and 50 cm soil water

时间	土壤水				滴水			
	XNT (50)1	XNT (50)2	XNT (50)3	XNT (50)1 CO_2 分压/Pa	XND 1 #	XND 2 #	XND 3 #	XND 1 # CO_2 分压/Pa
2003 07	-0.41			1 760.83	-0.50	0.33	0.34	260.45
2003 08	-0.37	-0.33	0.20	2 545.17	0.81	1.00	0.74	734.03
2003 09					1.77	0.90	1.62	
2003 10					0.91	0.35	0.65	
2004 02						1.13	0.88	0.84
2004 03						1.03	1.37	0.93
2004 05		-0.96				0.52	0.84	0.16

在碳酸盐岩石节理中常常可以看到缝合线构造, 这是一种水运移过程中的方解石沉淀过程的指示。土壤水具有极高的 CO_2 分压(1 760.83 ~ 2 545.17 Pa), 而滴水的 CO_2 分压(260.45 ~ 734.03 Pa)可知, 水运移的过程中 CO_2 分压下降, 同时, 洞穴滴水的 SIc 值除个别显示负值而外, 其余多为正值, 并可高达 1.77, 而从图 2 可以知道, 滴率与滴水元素含量之间的变化关系没有规律性, 这一结果意味着可能在水达到饱和后的更进一步的运移过程中发生了方解石沉淀作用, 为此, 对犀牛洞 3 个滴水点滴水中 Ca^{2+} 和 Mg/Ca 比值进行了相关性研究, 结果见图 4。随着 Ca^{2+} 含量的下降, 滴水中的 Mg/Ca 比值升高, 虽然有人认为 Mg^{2+} 含量的升高与选择性溶解之间存在着一定的关系, 但滴水中 Ca^{2+} 含量的下降则表现得非常明显, 而滴水中 Mg^{2+} 含量的变化较小(见图 3), 这一结果指示了犀牛洞 3 个滴

证据不足, 说明即使发生了这一作用, 其影响也较弱。只有 XND 1 #滴水点, 在有较大来水的条件下可能发生(图 2)。

由于土壤中的生物作用, 产生大量 CO_2 , 大气降雨进入土壤后, 大量 CO_2 溶解于水, 根据对犀牛洞土壤水的分析测试, 土壤水具有极高的 CO_2 分压(表 1), 1 760.83 ~ 2 545.17 Pa 之间, 而土壤水的方解石饱和度(SIc)接近饱和点, 甚至有的已经达到饱和状态, 其值在 -0.96 ~ 0.20 之间, 意味着土壤水进入到岩石后可能在较短的时间内就会达到 SIc 饱和, 在此之前, 不饱和的土壤水会对岩石产生溶解作用, 这一结果可以从洞穴滴水的 SIc 值得出, 洞穴滴水的 SIc 值除个别时间段少数滴水点呈现出负值外(-0.50), 多数均显示为正值, 其范围为 0.33 ~ 1.77 之间。

水点水从洞顶流出前在岩石中发生了方解石的沉淀作用, 其相关系数达到 0.93 ~ 0.98 以上, 表明 3 个滴水点方解石沉淀作用均显示出主导作用的地位。

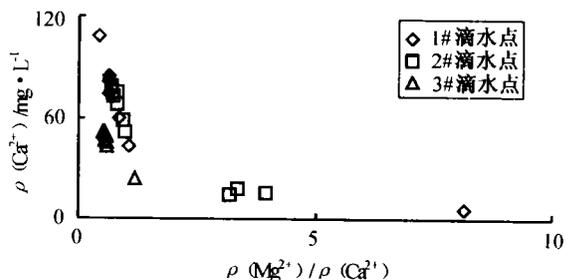


图 4 洞穴滴水 Ca^{2+} 与 Mg/Ca 的相关性

Fig. 4. Correlation of drips Ca^{2+} with Mg/Ca .

综上所述, XND - 1 #、XND - 2 #、XND - 3 # 均受到不同源来水的影响, 但 3 个滴水点所受影响的程度不一样。同时, 犀牛洞 3 个监测滴水点滴水的水动力作用过程存在着较大的差异, 首先表现在

虽然都对大气降雨响应的的时间尺度较短,但点间响应时间尺度仍存在着差异(见图1),其次水在洞穴顶板运移的过程、水-土、水-岩作用类型也存在着差异,3个滴水点的元素地球化学作用都主要受控于岩石的溶解和方解石沉淀作用,且主导了水运移过程的地球化学作用特点,但由于汇水面积大小、水动力过程及水运移路径等使得犀牛洞3个滴水点的水动力作用过程存在一定差异。

3.3 洞穴滴水水动力过程指征

犀牛洞3个滴水点的主要水文地球化学过程主要由岩石的溶解和方解石沉淀过程所控制,因此,这3个点的次生沉积记录具有一定的规律性,如Mg/Ca雨季较高而旱季较低(图5)。而XND-2#滴水由于汇水面积小、顶板较薄,水运移以基质流为主,加上洞顶部上部有一层粘土岩层的阻隔作用,水-岩作用时间略长,白云岩溶解加强的同时,也使得方解石沉淀作用进一步发生,导致Mg/Ca较高,且变化较大。因此,由于不同滴水点水文地球化学过程还受到其他诸如不同源来水等的影响,尤其是滴水对大气降水响应时间尺度的差异,势必造成岩溶次生沉积记录指标的变异而影响到结果的解译^[10,12,23,24]。岩溶地区的过去环境变化研究中所得出的结果多数来自于洞穴内一个点的次生沉积物记

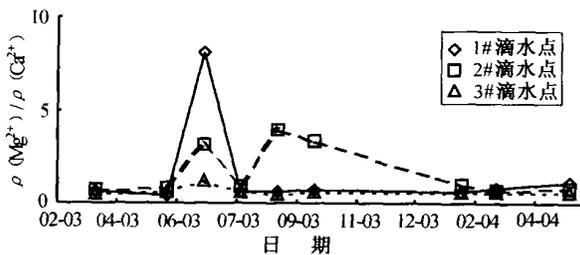


图5 洞穴滴水Mg/Ca的动态

Fig. 5. Mg/Ca kinetics of drips in the Xiniu Cave.

录^[1,3,4,7,9,10],尽管也有岩溶过去环境变化指示在洞穴内多点重现的记载,但存在着很大程度的变异^[2,24],并且还发生了点间次生沉积记录指标重现性较差的记录^[14]。原因就在于各个滴水点水文地球化学过程存在着较大差异,这种差异使得滴水的物质来源、数量多少、作用类型、水运移途径等过程在不同的滴水点间存在差别,从而导致岩溶次生沉积物保存的环境信息的差异。因此,对于岩溶次生沉积记录指标的解译需要对滴水点水动力作用过程详细了解为前提,尤其需要注意发生稀释作用、水来源变异等作用类型的滴水点。

4 结论

犀牛洞地区由于人类活动剧烈,植被为刺丛草坡,使得洞顶土壤紧实,通透性差,水在洞穴顶板的运移以基质流为主,洞穴滴水对大气降水的响应较快,为28天以上,但不同滴水点间存在着差异,这种差异受控于水-土、水-岩作用而导致滴水点间化学组成的差别。岩溶地球化学结果表明,犀牛洞滴水的化学组成主要源自于土壤和岩石,因此,土壤的物理、化学、以及生物学过程对于洞穴滴水的物质组成特性有影响。在洞穴顶板内,水运移的动力过程中一般会发生水源改变、稀释作用、岩石溶解和方解石沉淀等,但3个滴水点主要受控于岩石的溶解和方解石沉淀作用。表明犀牛洞滴水点的次生沉积物可能记录了环境变化信息。但由于不同的滴水点还受到其他的作用过程的影响,虽然仅显示出次要的影响效果,然而这些过程对洞穴次生沉积记录信息也存在一定的影响,因此,在对岩溶地区次生沉积记录进行解译的过程中要清楚滴水点的水动力作用过程,尤其应该注意由于水源改变等导致的信息记录的差异。

参 考 文 献

- [1] Baker A, Smart P L, Edwards R L, et al. Annual growth banding in a cave stalagmitic [J]. Nature, 1993, 364: 518-520
- [2] Dorale J A, Edwards R L, Ito E, et al. Climate and vegetation history of the midcontinent from 75 to 25 ka: A speleothem record from Crevice cave, Missouri, USA [J]. Science, 1998, 282: 1871-1874
- [3] McDermott F, Matthey D P, Hawkesworth C. Centennial scale Holocene climate variability revealed by a high resolution speleothem $\delta^{18}\text{O}$ record from SW Ireland [J]. Science, 2001, 294: 1328-1331
- [4] Fleitmann D, Burns S J, Mudelsee M. Holocene forcing of the Indian monsoon recorded in a stalagmite from southern Oman [J]. Science, 2003, 300: 1737-1739

- [5] Yuan Daoxian, Cheng Hai, Edwards R L, et al. Timing, duration, and transitions of the last interglacial Asian monsoon [J]. *Science*, 2004, 304: 575 – 578
- [6] 张美良, 程海, 林玉石, 等. 贵州荔波 1.5 万年以来石笋高分辨率古气候环境记录 [J]. *地球化学*, 2004, 33(1): 65 – 74
- [7] Frappier A, Sahagian D, González L A, et al. El Niño events recorded by stalagmite carbon isotopes [J]. *Science*, 2002, 298: 18
- [8] Ming Tan, Tungsheng Liu, Juzhi Hou, et al. Cyclic rapid warming on centennial scale revealed by a 2 650 year stalagmite record of warm season temperature [J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30: 1 617 – 1 620
- [9] Baldini J U L, McDermott F, Fairchild I J. Structure of the 8 200 year cold event revealed by a speleothem trace element record [J]. *Science*, 2002, 296: 2 203 – 2 206
- [10] Roberts M S, Smart P L, Baker A. Annual trace element variations in a Holocene speleothem [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 154: 237 – 246
- [11] Baker A, Ito E, Smart P L, et al. Elevated and variable values of ^{13}C in speleothems in a British cave system [J]. *Chemical Geology*, 1997, 136: 263 – 270
- [12] 李彬, 袁道先, 林玉石, 等. 桂林地区降水、洞穴滴水及现代洞穴碳酸盐氧碳同位素研究及其环境意义 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 2000, 30(1): 81 – 87
- [13] 李彬, 袁道先, 林玉石, 等. 桂林地区 4 万年来石笋高分辨率古生态变化记录 [J]. *第四纪研究*, 2000, 20(4): 395
- [14] Serefidin F, Schwarcz H P, Ford D C, et al. Late Pleistocene paleoclimate in the Black Hills of South Dakota from isotope records in speleothems [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, 203: 1 – 17
- [15] Fairchild I J, Borsato A, Tooth A F, et al. Controls on trace element Sr – Mg compositions of carbonate cave waters: Implications for speleothem climatic records [J]. *Chemical Geology*, 2000, 166: 255 – 269
- [16] Tooth A F, Fairchild I J. Soil and karst aquifer hydrological controls on the geochemical evolution of speleothem – forming drip waters, Crag Cave, Southwest Ireland [J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 273: 51 – 68
- [17] 周运超, 王世杰, 谢兴能, 等. 贵州 4 个洞穴滴水对大气降雨响应的动力学及其意义 [J]. *科学通报*, 2004, 49(21): 2 220 – 2 227.
- [18] Musgrove M, Banner J L. Controls on the spatial and temporal variability of vadose dripwater geochemistry: Edwards Aquifer, central Texas [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, 68, (5): 1 007 – 1 020
- [19] Tatár Enikő, Mihucz V G, Zámbo László, et al. Seasonal changes of fulvic acid, Ca and Mg concentrations of water samples collected above and in the Béké Cave of the Aggtelek karst system (Hungary) [J]. *Applied Geochemistry*, 2004, 19: 1 727 – 1 733
- [20] Dail D B, Fitzgerald J W. S Cycling in soil and stream sediment: Influence of season and in situ concentrations of carbon, nitrogen and sulfur [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 1 395 – 1 404
- [21] 潘根兴, 滕永忠. 土壤 – 灰岩岩溶系统中水文地球化动力学过程模拟及其意义 [J]. *地球化学*, 2000, 29(3): 272 – 276
- [22] Liu Zaihua, Chris Groves, Daoxian Yuan, et al. Hydrochemical variations during flood pulses in the southwest China peak cluster karst: Impacts of CaCO_3 – H_2O – CO_2 interactions [J]. *Hydrological Processes*, 2004, 18(13): 2 423 – 2 437
- [23] Treble P, Shelley J M G, Chappell J. Comparison of high resolution sub – annual records of trace elements in a modern (1911 ~ 1992) speleothem with instrumental climate data from southwest Australia [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, 216: 141 – 153
- [24] Frisia S, Borsato A, Preto N, et al. Late Holocene annual growth in three Alpine stalagmites records the influence of solar activity and the North Atlantic Oscillation on winter climate [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, 216: 411 – 424

HYDROGEOCHEMICAL PROCESS OF CAVE DRIPS STUDY ON XINIU CAVE, ZHENNING, GUIZHOU

ZHOU Yun chao, WANG Shi jie

(State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences,
Guiyang 550002, China)

Abstract

This paper deals with 3 dripping points for the purpose of unveiling the hydrogeochemical process of cave drips, monitored in the Xiniu Cave, Zhenning County of Guizhou Province, China, which lasted for one year. The result showed that the response of drip water to rainfall is much faster (more than 28 days). As viewed from element geochemistry, water transported in the cave roof influenced the sources of substances, and the substances in drip water mainly come from soil and rock at the roof of the Xiniu Cave and fewer elements come from rainfall. Three drips were affected by different sources of water. The diversity of chemical composition of drip water is mainly controlled by the processes of water dissolving rocks till saturated quickly and then the calcite was precipitated on the route of water transport. The result implies that speleothems of 3 dripping points in the Xiniu Cave probably had preserved information about environmental change.

Key words: Xiniu Cave of Guizhou Province; cave drip water; hydrogeochemical process; action character