

文章编号:1001-4179(2013)01-0030-04

# 贵州织金地区千年气候环境变化特征分析

刘子琦<sup>1,2</sup>

(1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715; 2. 贵州师范大学 中国南方喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** 为了解贵州喀斯特地区石漠化的成因及形成时期, 对采自该地区织金洞的石笋样本进行同位素年代测定。<sup>210</sup>Pb 及 U-Th 定年结果显示, 该石笋生长于 1 100 a 内。对测得的 218 个  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  数据进行分析, 结果发现: 织金地区的气候在 AD900~950, AD1050~1100, AD1150~1350, AD1450~1550, AD1650~1700 和 AD1850~1950 期间, 相对湿润。在 AD950~1050, AD1100~1150, AD1350~1450, AD1550~1650, AD1700~1850 时段, 气候较干旱。小冰期的前半段, 织金地区气候特征以冷/湿为主, 后半段气候以冷/干为主。在南宋之前, 织金地区植被未受到人类活动的影响。之后随着人类活动的增加, 植被开始退化, 近百年来, 随着大规模移民的进入, 尤其是过去 50 a 以来, 石漠化景观基本形成。

**关键词:**  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$ ; 石笋; 织金洞; 石漠化; 喀斯特地区; 贵州

**中图法分类号:** P642      **文献标志码:** A

贵州省地处中国西南喀斯特区的核心, 碳酸盐岩出露面积占全省土地总面积的 73.8%, 日趋严重的石漠化问题, 已经威胁到人民的生活和自然生态的持续发展。因此, 了解石漠化的成因和形成时期等对科学、合理地治理石漠化有着重要的意义。

在贵州有大量的石灰岩洞穴, 洞穴沉积物, 如石笋、鹅管等碳酸钙物质都是研究古环境的优质材料。过去十几年来对石笋记录的研究表明, 季风区石笋  $\delta^{18}\text{O}$  主要受降雨量效应的影响, 即  $\delta^{18}\text{O}$  变轻表示降雨量增加,  $\delta^{13}\text{C}$  影响因素复杂, 但主要受土壤  $\text{CO}_2$  的来源以及地表植被类型影响<sup>[1-8]</sup>。在贵州典型的喀斯特地区, 许多学者利用洞穴石笋记录获得优秀成果。但针对石笋  $\delta^{18}\text{O}$  记录的研究多以论述古气候为主, 很少涉及到区域生态变化的历史, 生态环境演化的研究也不多。而且百年尺度的古气候信息, 无法将沉积物记录的古环境信息与有人类活动以来的实际气候和环境变化情况相对比。本研究利用采自位于中国贵州省织金县的织金洞的一根石笋, 测量高分辨率稳定同位素记录, 重建贵州省中西部地区 1 000 a 来气候和植被的

变化。评估过去该区域自然因素或是人类活动对植被变化的影响, 期望能解答前述有关石漠化的问题。

## 1 研究区概况

织金洞位于贵州中偏西部的织金县(东经  $105^{\circ}20'$ ~ $106^{\circ}01'$ , 北纬  $26^{\circ}21'$ ~ $26^{\circ}58'$ ), 处在云贵高原的东部边缘, 地形地貌以高原丘陵、山地为主, 海拔约 1 330 m。气候年均温约为  $14^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量约为 1 400 mm, 受东亚季风和印度季风的双重影响。已探明织金洞的洞穴长度 12 km 以上, 从 20 世纪 80 年代初开始开发, 1988 年被正式批准为国家级风景名胜区, 之后植被受到较好保护, 以灌木为主, 目前为强度-中度石漠化区<sup>[9]</sup>。洞内有大量洞穴滴水 and 新生碳酸钙沉积物, 洞内温度常年在  $13^{\circ}\text{C}$  左右。

## 2 样品及分析方法

石笋(ZJD-21)采自织金洞约 4 km 深处, 长 12.3 cm, 外型呈圆柱状, 顶部平坦, 表面光滑。取样时顶部仍有滴水, 处于生长状态。剖开呈半透明状, 沉积纹层

收稿日期:2012-07-05; 修回日期:2012-09-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41001367)

作者简介:刘子琦, 女, 副教授, 博士, 主要从事古环境重建、石漠化治理及岩溶地貌演化研究工作。E-mail: michelle-lily@

不明显, XRD 分析主要矿物成分为方解石。

稳定碳氧同位素样品分析于西南大学地球化学与同位素实验室完成。用连有 Kiel IV 碳酸盐自动分析设备连接 IRMS 质谱分析。参考气体以美国国家标准局标样 NBS - 19 和 NBS - 18 进行标定。 $\delta^{18}\text{O}$  分析的绝对误差为  $\pm 0.11\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  分析的绝对误差为  $\pm 0.05\text{‰}$ , 分析结果表示为相对于 25℃ 的 VPDB 标准。

沿生长轴从上至下, 以及颜色变化较明显处之上下界进行 U - Th 定年取样。U - Th 定年分析在台湾大学地质系沈川洲教授超净实验室进行。测量仪器为 Thermo Finnigan Neptune MC - ICP - MS。结果见表 1 和图 1。

### 3 结果分析

#### 3.1 石笋年代的建立

在不同深度处取样进行  $^{230}\text{Th}/\text{U}$  定年。定年工作进行了两次, 第一次是用 Finnigan Element II Single channel HR - ICP - MS 测量, 误差相对较大。第二次采用 Finnigan Neptune multi - channel ICP - MS 测量, 结果有所进步, 但仍有误差(表 1)。根据石笋采集时顶部仍在滴水生长, 石笋顶点应为现生沉积物。将  $^{230}\text{Th}/\text{U}$  年龄对深度作图, 可明显看出此石笋的生长速率区分为两个段落(图 1)。前 4 cm 的平均生长速率约 0.045 mm/a; 而 4 ~ 12 cm 为 0.385 mm/a。石笋(ZJD - 21) 在 800 多年前, 生长速率明显较慢。由于石笋剖面没有显示生长间断, 根据图 1 显示的年龄随深度的变化, 用这两段石笋的线性沉积速率来建立石笋的年龄。

#### 3.2 石笋(ZJD - 21) 的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 记录

对整根石笋分析了 218 个  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  样品, 基于计算出的绝对年龄作图(图 2), 图中虚线表示平均值。由图 2 发现几个特征: ①  $\delta^{18}\text{O}$  大致有 3 个阶段, 0 ~ 75 mm 阶段在  $-9\text{‰}$  左右上下波动, 波动相对稳定, 说明

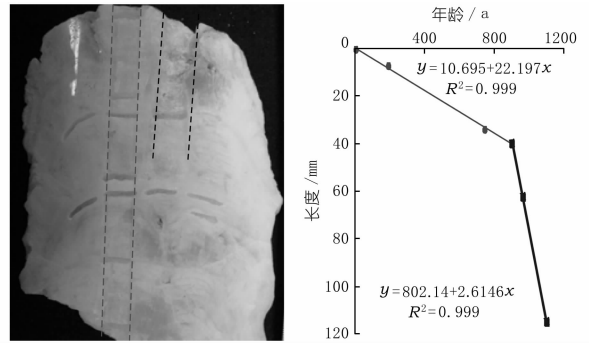


图 1 石笋(ZJD - 21) 年龄和深度变化

气候相对湿润; 75 ~ 90 mm 阶段  $\delta^{18}\text{O}$  较偏重, 平均值为  $-8.55\text{‰}$ , 基本分布在平均线以上; 90 ~ 122 mm 阶段  $\delta^{18}\text{O}$  又基本恢复到  $-9\text{‰}$  左右上下波动, 只是波动的频率高, 幅度相对较大。而 3 个阶段中又可看到  $\delta^{18}\text{O}$  值在 1200 ~ 1360 年和 1700 ~ 1860 年期间相对偏轻, 反映了较湿润的气候条件; 1360 ~ 1690 年和 1860 ~ 1960 年时段,  $\delta^{18}\text{O}$  相对较重, 可能指示较干旱的气候条件。② 除了图中标记为 D 和 F 的时段外,  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  波动基本呈现正相关关系, 当  $\delta^{18}\text{O}$  偏轻的时候,  $\delta^{13}\text{C}$  也偏轻, 反之亦反。③  $\delta^{13}\text{C}$  记录可大致分为两个阶段, 有两次明显的偏重: 第一次是在大约 1460 年,  $\delta^{13}\text{C}$  从  $-10\text{‰}$  左右变为  $-7\text{‰}$  左右; 第二次变化是在 1890 年, 从  $-9\text{‰}$  变为现今的  $-5.8\text{‰}$ , 而其他的时段  $\delta^{13}\text{C}$  都相对稳定。

#### 3.3 过去 800 a 来的气候变化

织金洞石笋的  $\delta^{18}\text{O}$  记录呈现规律性波动,  $\delta^{18}\text{O}$  规律性的变化, 反映降雨量规律性的变化, 说明在全新世晚期过去的近千年里, 气候仍然有明显的湿润和干旱变化, 大约 150 ~ 200 a 为一个周期。 $\delta^{18}\text{O}$  平均值约为  $-9.06\text{‰}$ , 变化范围  $-10.6\text{‰} \sim -7.5\text{‰}$ 。在 AD900 ~ 950, AD1050 ~ 1100, AD1150 ~ 1350, AD1450 ~ 1550, AD1650 ~ 1700 和 AD1850 ~ 1950 期间,  $\delta^{18}\text{O}$  值偏轻, 指示气候相对湿润。在小冰期的前半段(AD1250 ~

表 1 石笋(ZJD - 21) 的 ICP - MS  $^{230}\text{Th}/\text{U}$  结果

样本	深度/mm	$^{238}\text{U}/\text{ppb}$	$^{232}\text{Th}/\text{ppt}$	$^{234}\text{U}$	$\frac{^{230}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{230}\text{Th}}{^{232}\text{Th}}$	未校正年龄	校正年龄	$^{234}\text{U}_0$ Corr.
ZJD - 21A	5	22.8 ± 0.1	375 ± 7	685 ± 12	0.0065 ± 0.0056	1.2059 ± 1.0437	421 ± 365	163 ± 386	685 ± 12
ZJD - 21B	70	20.0 ± 0.1	986 ± 9	736 ± 9	0.0164 ± 0.0063	1.0152 ± 0.3897	1088 ± 365	331 ± 525	736 ± 9
ZJD - 21C	115	19.3 ± 0.1	163 ± 7.3	739 ± 12	0.0034 ± 0.0065	1.2449 ± 2.3373	216 ± 406	88 ± 411	739 ± 12
ZS - 02	34	19.5 ± 0.020	255.0 ± 3.9	700.0 ± 2.1	0.0147 ± 0.0021	3.4553 ± 0.4870	951 ± 134	748 ± 243	701 ± 2.1
ZH - 02	40	16.9 ± 0.016	134.5 ± 2.8	727.0 ± 2.0	0.0162 ± 0.0026	6.1974 ± 1.0205	1027 ± 168	905 ± 208	729 ± 2.1
ZS - 03	62	21.5 ± 0.022	454.5 ± 3.0	728.6 ± 2.3	0.0203 ± 0.0018	2.9369 ± 0.2667	1291 ± 118	967 ± 345	731 ± 2.4
ZI2 - 02	68	18.3 ± 0.018	1593.1 ± 6.8	714.8 ± 2.0	0.0350 ± 0.0022	1.2312 ± 0.0766	2252 ± 141	904 ± 1364	717 ± 3.4
ZS - 04	91	12.0 ± 0.015	528.8 ± 6.2	728.9 ± 2.7	0.0360 ± 0.0037	2.4892 ± 0.2574	2294 ± 238	1617 ± 719	732 ± 3.1
ZS - 05	115	14.3 ± 0.014	61.0 ± 2.8	692.3 ± 2.3	0.0180 ± 0.0031	12.8935 ± 2.2609	1169 ± 199	1102 ± 210	694 ± 2.1

注: 平均分析误差为 2。

1550),大部分时间的  $\delta^{18}\text{O}$  值是比平均值要轻,显示这段时间气候为冷/湿。在 AD950 ~ 1050, AD1100 ~ 1150, AD1350 ~ 1450, AD1550 ~ 1650, AD1700 ~ 1850 这些时段,  $\delta^{18}\text{O}$  较重,指示气候较干。其中,中世纪暖期(AD900 ~ 1100)时,  $\delta^{18}\text{O}$  值较重,最重的值出现在 AD980 年左右。这说明在中世纪暖期,贵州中西部的的气候较干。小冰期的后半段(AD1550 ~ 1850),大部分时间的  $\delta^{18}\text{O}$  值比平均值要重,说明这时期气候是冷/干。因此,在短时间尺度上(10 ~ 100 a),季风气候模式应该存在暖-湿/冷-干和冷-湿/暖-干的水热搭配模式(图2)。

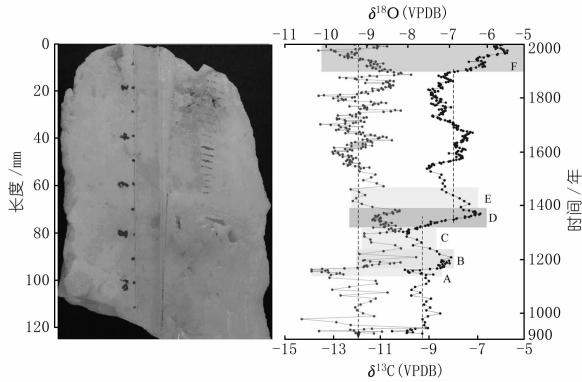


图2 石笋 ZJD-21  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$

### 3.4 过去 800 a 来的植被变化及人类活动

图2中除了标记为D和F的时段外,  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  波动呈现正相关关系。导致D和F时段  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  负相关可能有两种因素:①石灰岩无机碳的加入。在C3植被条件下,由于石灰岩的加入,可使石笋  $\delta^{13}\text{C}$  偏正 1.7‰<sup>[10]</sup>;而在C4植被条件下,由于岩溶体系(开放和封闭)的不同而导致的石灰岩加入量的差异仅仅使  $\delta^{13}\text{C}$  升高 0.3‰<sup>[7]</sup>,远不及织金洞石笋记录  $\delta^{13}\text{C}$  波动高达 3‰左右。②迁移效应,水在喀斯特系统迁移过程中,由于碳酸盐的先期沉积可以导致  $\delta^{13}\text{C}$  的升高,从而会影响  $\delta^{13}\text{C}$  与  $\delta^{18}\text{O}$  的相关性<sup>[8]</sup>,但织金洞同时段石笋、鹅管  $\delta^{13}\text{C}$  的重现性以及  $\delta^{18}\text{O}$  良好的对应关系,说明不同的喀斯特系统并未造成  $\delta^{13}\text{C}$  与  $\delta^{18}\text{O}$  的差异性偏离。

D时段内,根据历史记载,明代中期中国人口突破了宋代 1.5 亿人口的峰值之后,至明代后期接近了 2 亿,是中国历史上从未有过的人口数,因此建立在庞大人口数量上的人口增长,造成了清代前期的“人口爆炸”<sup>[11]</sup>。明朝的时候(1368 ~ 1683),是云贵历史上大规模的移民时代。韩昭庆指出,贵州在明朝时期,由于屯兵和垦荒,一些地区已经存在石漠化的现象<sup>[12]</sup>。同时,该时段  $\delta^{18}\text{O}$  记录最重的时段,平均值偏重基本持续了 100 a。很明显,第一次的  $\delta^{13}\text{C}$  明显偏重,是由于

在气候条件较差的背景下,人口大规模增加,人类活动加剧,耕作技术发展而造成的植被退化,水土流失严重,石漠化趋势开始形成。

D时段后,  $\delta^{13}\text{C}$  值变化平稳,随着气候的变湿( $\delta^{18}\text{O}$ 偏轻),  $\delta^{13}\text{C}$  值由 AD1100 时的 -7.2‰变轻到 AD1320 的 -8.8‰。在之后的 300 多年里,变化不到 1‰,但平均值比 D 时段之前偏重。这反映两种情况,一是石笋生长速率减慢,  $\text{CO}_2$  排气作用和围岩的溶解增加,导致  $\delta^{13}\text{C}$  值变重;二是地表植被退化, C4 植物比例增加,导致  $\delta^{13}\text{C}$  值变重。

在过去 100 a 这个时段里,  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  变化趋势相反,  $\delta^{18}\text{O}$  从 AD1700 到 AD1950 之间是逐渐变轻的,减少了超过 2‰,这代表降雨量逐渐增加。到 F 时段,  $\delta^{13}\text{C}$  从 -8.5‰急剧加重到 -6‰左右,代表此时期植被并非是受到降雨的影响。另外,这个时期石笋的生长速率与 E 段相同,应该不是  $\text{CO}_2$  排气作用和围岩溶解的影响。虽然根据记载,在织金一带,1910 年左右,有大规模的移民进入,定居繁衍,尤其是过去 50 a 以来,人口持续增长导致石漠化<sup>[13]</sup>,这与织金洞鹅管所记录事件一致。

## 4 结论

通过对贵州中西部织金洞石笋(ZJD-21)的  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  记录分析,得出如下结论:

(1) 织金地区的气候在 AD900 ~ 950, AD1050 ~ 1100, AD1150 ~ 1350, AD1450 ~ 1550, AD1650 ~ 1700 和 AD1850 ~ 1950 期间,相对湿润。在 AD950 ~ 1050, AD1100 ~ 1150, AD1350 ~ 1450, AD1550 ~ 1650, AD1700 ~ 1850 时段,气候较干旱。

(2) 在短时间尺度上(10 ~ 100 a),季风气候模式应该存在暖-湿/冷-干和冷-湿/暖-干的水热搭配模式。小冰期的前半段,织金地区气候以冷/湿为主,后半段气候冷/干。中世纪暖期时,织金地区也有很干旱的气候。

(3) 石笋(ZJD-21)  $\delta^{13}\text{C}$  记录反映洞穴地表植被的变化,植被好,  $\delta^{13}\text{C}$  就会偏轻。在南宋之前,植被未受到人类活动的影响,  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  的变化趋势相同。其后,随着人类活动的增加,植被退化,水土流失。

(4) 在过去 100 a 里,织金一带,大规模移民进入,定居繁衍,尤其是过去 50 a 里,人口持续增长导致石漠化景观基本形成。

### 参考文献:

- [1] 李红春, 顾德隆, Lowell D Scott, 等. 高分辨率洞穴石笋稳定同位素应用之三——京津地区 500 a 来的气候变化—— $\delta^{18}\text{O}$  记录[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(2): 181-186.

- [2] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. A high-resolution absolute-dated late pleistocene monsoon record from hulu cave, China[J]. *Science*, 2001, (294): 2345-2348.
- [3] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. The holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate[J]. *Science*, 2005, (308): 854-857.
- [4] Paulsen D E, Li H C, Ku T L. High resolution stalagmite records of climate variability in central China for the last 1300 years[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2003, 22(5-7): 691-701.
- [5] Yuan D X, Cheng H, Edwards R L, et al. Timing, duration, and transitions of the last interglacial Asian monsoon [J]. *Science*, 2004, (304): 575-578.
- [6] Baskaran M, Kishnamurthy R V. Speleothems as proxy for the carbon isotope composition of atmospheric CO<sub>2</sub> [J]. *Geophys. Res. Lett.* 1993, (20): 2905-2908.
- [7] Dulinski M, Rozanski K. Formation of <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C isotope ratios in speleothems: a semi-dynamic model[J]. *Radiocarbon*, 1990, 32(1): 7-16.
- [8] 孔兴功, 汪永进, 吴江滢, 等. 南京葫芦洞石笋 δ<sup>13</sup>C 对冰期气候的复杂响应与诊断[J]. *中国科学(D 辑)*, 2005, 35(11): 1047-1052.
- [9] 熊康宁, 黎平, 周忠发, 等. 喀斯特石漠化的遥感-GIS 典型研究[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [10] Hendy C H. The isotopic geochemistry of speleothems. The calculation of the effects of different modes of formation on the isotopic composition of speleothems and their applicability as paleoclimatic indicators[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1971, (35): 801-824.
- [11] 曹树基. 中国人口史[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2005.
- [12] 韩昭庆. 雍正王朝在贵州的开发对贵州石漠化的影响[J]. *复旦学报: 社会科学版*, 2006, (2): 120-127, 140.
- [13] 织金县地方志编纂委员会. 织金县志[M]. 贵阳: 地方志出版社, 1997.

(编辑: 赵凤超)

## Study on climate and environmental changes in Zhijin area of Guizhou Province in last 1100 years

LIU Ziqi<sup>1,2</sup>

(1. School of Geographical Sciences, Southwest University of China, Chongqing 400715, China; 2. Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** For exploring the cause and formation stage of rocky desertification in karst area in Guizhou Province, the stalagmite sample of Zhijin area of Guizhou Province is paleomagnetically studied. The results show that the stalagmite grew in the past 1100 years. The measured data of δ<sup>18</sup>O and δ<sup>13</sup>C show that the climate of Zhijin was wet during AD 900-950, AD1050-1100, AD1150-1350, AD1450-1550, AD1650-1700 and AD1850-1950, and was dry during AD 950-1050, AD1100-1150, AD1350-1450, AD1550-1650 and AD1700-1850. The main climate mode of Zhijin was cold/wet in the first half of Little Ice Age, and cold/dry in the second half. The vegetation was not destroyed due to human impact until Nansong Dynasty (AD 1127-1279). However, the results show that during the past 100 years, the surface vegetation have been in a strongly declining state due to human impact. In the past 50 years, the surged population has caused serious karst-desertification in the area, the rocky desertification is formed.

**Key words:** δ<sup>18</sup>O and δ<sup>13</sup>C; stalagmite; Zhijin Cave; rocky-desertification; karst area; Guizhou

(上接第 21 页)

## Nearshore riverbed evolution of key dangerous reach of lower Jingjiang River after impoundment of Three Gorges Reservoir

SHI Jianhua, LI Ningbo, YUAN Hu, LONG Hui

(Jingjiang Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Changjiang Water Resources Commission, Jingzhou 434020, China)

**Abstract:** Since the impoundment of Three Gorges Reservoir, most of the dangerous river reaches reinforced in lower Jingjiang River are stable. The characteristics of flow and sediment variation and riverbed evolution of key river sections are analyzed. It shows that the river regime in some regions is still in adjustment with the features of frequent swings of the main stream and downward movement of scouring point. Taking the Xiangjiazhou, Beimenkou, Beinianziwan and Qigongling for case study, the variation of underwater bank slope and scouring pit are studied, so are the annual and inter-annual scouring of nearshore riverbed. The results show that in the regional sections where the bank is weak or unreinforced, the underwater bank slope steepens, so the risk of bank collapse exists and the touring inspection and reinforcement of bank protection project should be strengthened.

**Key words:** lower Jingjiang reach; bank protection project; river channel evolution; Three Gorges Reservoir