桂林茅茅头大岩近 50 年来石笋 δ¹⁸O 记录 与局地气候/大尺度环流关系探讨

殷建军,唐伟

国土资源部广西岩溶动力学重点实验室,国际岩溶研究中心,中国地质科学院岩溶地质研究所,广西桂林,541004

内容提要:石笋记录是第四纪研究的重要力量,但是近年来中国季风区石笋δ¹⁸O指示意义受到一定的质疑, 关键问题是尚未通过石笋记录很好的衔接古气候与现代气候。基于此认识,选择桂林茅茅头大岩一个 1968 年以 来连续生长的石笋记录。通过解译其δ¹⁸O的气候指示意义,并进行局地和区域对比,发现桂林茅茅头大岩石笋 δ¹⁸O能很好的指示当地的夏季降水变化,同时响应了区域一致性的信号。在年代际尺度上表现为夏季风减弱,石 笋δ¹⁸O变重,夏季风增强,石笋δ¹⁸O变轻。而通过比较东南水汽通道和西南水汽通道水汽来源比例变化,并未发 现水汽来源变化与中国季风区石笋δ¹⁸O的明显相关关系。而除桂林地区外,其他记录如湖北和尚洞、福建玉华洞 石笋δ¹⁸O虽然一致变化,但是与当地降水并无明显相关。因此夏季风强弱变化可能导致了中国季风区石笋δ¹⁸O 的一致变化,但是由于局地降水影响因素更加复杂,中国季风区并不是所有石笋δ¹⁸O 记录均指示当地降水量的 变化。

关键词:石笋δ¹⁸O;桂林;夏季风;局地信号;区域信号

石笋以其高精度的年代学(Cheng Hai et al., 2013),高分辨率的气候环境代用指标(Frappier et al., 2002; Orland et al., 2009),已经成为第四纪 研究的重要力量。特别是在过去夏季风演变研究中 扮演着重要的角色(Wang Yongjin et al., 2001, 2005, 2008; Cheng Hai et al., 2009; Wang Xianfeng et al., 2006; Cruz et al., 2005; Griffiths et al., 2009)。但是近年来随着研究的深入,对石 笋最重要的气候环境代用指标——δ¹⁸O提出了质 疑(Clements et al., 2010; Maher and Thompson, 2012; Maher, 2008)。有研究指出,中国季风区石 笋 δ¹⁸O 记录响应的是印度夏季风变化,而非东亚夏 季风,中国季风区与印度季风区在亚洲夏季风环流 中为上下游关系(Pausata et al., 2011)。也有研究 指出,中国季风区石笋 δ¹⁸O 的变化响应的是水汽源 的变化(Maher and Thompson, 2012; Tan Ming, 2009)。本着将今论古的工作思路,要解决石笋δ¹⁸ O的古气候环境,就必须清楚近现代、能够与器测记 录进行对比的石笋 δ¹⁸ O 的指代意义。同时单个研 究点的认识可能有局限,因此本文基于桂林茅茅头

大岩一个 1968 年以来连续生长的石笋记录,结合中 国季风区已经发表的石笋记录,通过分析与器测记 录和大尺度环流的关系,尝试对中国季风区石笋记 录 ^{δ18}O 的气候环境意义进行探讨,以期对石笋 δ¹⁸O 古气候环境解译提供参考。

1 研究区概况

DY-2石笋采自桂林茅茅头大岩,茅茅头大岩 位于桂林市西北郊,处于桃花江以西的峰丛洼地与 峰林平原的交界地带(图1)。洞穴发育受到明显的 北东向和北西向断裂构造控制(Deng Ziqiang et al.,1988)。洞穴长975m,宽5~30m,高5~25m, 为一规模较大的地下河式洞穴。据长期监测显示, 洞穴内部带气温稳定在18.8℃左右,空气湿度大于 90%。DY-2石笋采自距洞口约400m的洞道西壁 一处钙华台上。而监测结果显示,DY-2采集于 2009年,为一正在生长的石笋,采样位置位于洞穴 的内部带。洞穴封闭性相对较好,洞穴内部空气环 境改变所引起的石笋气候环境代用指标的影响相对 较小。桂林多年平均气温为19.0℃,多年平均降水

收稿日期:2016-03-19;改回日期:2016-05-30;责任编辑:黄敏。

注:本文为中国地质科学院基本科研业务费项目(编号:YWF201414)、国家自然科学基金项目(编号:41502176)和岩溶地质研究所基本科研业务费项目(编号:2014025)以及地调项目(编号:DD20160305)联合资助成果。

作者简介:殷建军,男,1985年生。博士,助理研究员。主要从事全球变化与岩溶环境研究。Email:david1985_2005@163.com。



图 1 茅茅头大岩位置图(底图为 1971~2000 年 6~8 月平均整层水汽通量图(数据来源为 NCEP/NCAR 重分析数据) Fig. 1 Location of Maomaotou big cave(Base map is JJA mean whole layer intergraded moisture vapor flux(based on NCEP/NCAR Reanalysis during 1971~2000. unit; g/(m·s))

灰色区域为青藏高原,黑色三角代表研究点茅茅头大岩所在位置,灰色圆圈代表近百年来石笋δ¹⁸Ο呈现线性变重的洞穴位置,黑色圆圈 代表近百年来石笋δ¹⁸Ο呈现与研究点一致变化的洞穴位置)

Grey area is Qinghai-Tibet Plateau, black triangle is our study cave, grey circles stand for the caves where the stalagmite δ^{18} O show linear trends in the past 100 years, black circles stand for the caves where stalagmite δ^{18} O changed same as our study)

量为1867mm(1951~2014年)。为亚热带季风气候,每年4~9月为雨季,10月至次年3月为旱季,雨季降水平均占全年降水的70%。

2 材料和方法

2.1 年龄测定

DY-2 石笋的年龄测试采用了²¹⁰ Pb、AMS¹⁴C 定年以及器测记录校正等手段,最终确定石笋生长 时限为1968~2009年,具体方法和推算过程请参考 文献(Yin Jianjun et al., 2015)。

2.2 碳氧同位素分析

沿石笋生长轴自顶部向下采集碳氧同位素样品,采样间隔 0.5mm,共采集样品 203 个。碳氧同

位素分析测试分别在中国地质科学院岩溶地质研究 所岩溶地质与资源环境测试中心和西南大学地理科 学学院进行,测试仪器为 MAT253(岩溶地质研究 所)/Delta V(西南大学)气体稳定同位素质谱仪外 联 Kiel IV 碳酸盐自动进样装置。内插标准为国际 标准 NBS-19 和国家标准 GBW04405, δ^{18} O和 δ^{13} C 标准差均小于 0.2。

2.3 资料收集

为研究大尺度的环流对桂林茅茅头大岩 DY-2 石笋 δ¹⁸O 的影响,收集了中国季风区已经发表的近 百年来的石笋记录 δ¹⁸O 记录。主要包括:

(1)桂林丰鱼岩 F4 石笋。采自桂林丰鱼岩,丰 鱼岩 F4 石笋高 14.4cm,采集于 1995 年,同样为一 正在生长的石笋(Yuan Daoxian et al., 1999)。石 笋年龄测试采用²¹⁰ Pb 和 TIMS U 系测年综合,得出 石笋上部平均生长速率为 0.278 mm/a。

(2)湖北清江和尚洞 HS-4 石笋。HS-4 石笋高 254cm,采集于 2001 年,同样为一正在沉积的石笋 (Hu Chaoyong et al., 2008)。石笋年龄确定采用 纹层计数法和 ICP-MS²³⁰ Th 测年,近百年来的 ⁸⁸O 记录得到同一洞穴 HS-6 石笋的重现性验证。

(3)福建将乐玉华洞 YH1 石笋。YH1 石笋长约 37cm,采集于 2009年,为一正在生长的石笋 (Jiang Xiuyang et al., 2012)。石笋年龄确定采用 ICP-MS²³⁰Th测年和 HS-4 石笋 δ¹⁸O 记录调谐校 正的方式,确定近百年来石笋年龄。

(4)湖南湘西莲花洞 LHD1 石笋。LHD1 石笋
长 34cm,采集于 2011 年,为一正在生长的石笋(Yin Jianjun et al., 2014)。石笋年龄确定采用 ICP-MS
²³⁰ Th 测年。

(5)甘肃武都黄爷洞 HY3 石笋。HY3 石笋长 16cm,采集于 2006 年,为一正在生长的石笋(Tan Liangcheng et al., 2011)。石笋年代确定采用 ICP-MS²³⁰ Th 测年和纹层计数法。

(6)北京石花洞 S312 石笋。S312 石笋长约
20cm,采集于 1995 年,为一正在生长的石笋(Li Hongchun et al., 1998)。石笋年代确定采用
²¹⁰ Pb、¹⁴C和纹层计数法。

(7)四川阿坝黄龙洞 HL021 和 HL022 石笋。 两根石笋用岩芯取样机采集于两根大型石笋顶部, 分别长 300mm(HL021)和 135mm(HL022),采集 于 2002 年,为正在生长的石笋(Yang Xunlin et al., 2007)。石笋年代确定采用²³⁰ Th 和²¹⁰ Pb 两种方法, 推算出 HL021 和 HL022 石笋平均沉积速率分别为 0.104 和 0.143 mm/a。

(8)陕西柞水佛爷洞 SF-1 石笋。SF-1 石笋长 23cm,采集于 1996 年,为一正在生长的石笋 (Paulsen et al., 2003),石笋年代确定采用²¹⁰ Pb 和 纹层计数法。

(9)甘肃西和乌鸦洞 WY27 和 WY33 石笋。
WY27 和 WY33 石笋分别长 63mm 和 84.5mm,采
集于 2011 年(Tan Liangcheng et al., 2014)。石笋
年代确定采用²¹⁰ Pb 和纹层计数法。

(10)贵州荔波董哥洞 DA 石笋。DA 石笋长
962.5mm,采集于 2002 年,为一正在生长的石笋
(Wang Yongjin et al., 2005)。石笋年代确定采
用²³⁰Th 测年。

3 结果

桂林茅茅头大岩 DY-2 石笋 δ¹⁸ O 平均值为-5.62%, 变化范围从一6.96%到一3.81%, 变幅达到 3.15‰(图 2a)。整个 DY-2 石笋 δ¹⁸ O 变化可以划 分为三个阶段:①1968~1978 年,∂¹⁸O 总体变化较 平稳,平均值为-5.39%;②1978~1990年,δ¹⁸O总 体偏重,呈现波动变化,平均值为-5.08‰;③1990 年以来,δ¹⁸O总体偏负,并出现大幅波动变化,平均 值为一6.12‰。将 DY-2 石笋 δ¹⁸ O 记录各年内数 据求平均,得到每年 δ¹⁸O 平均值记录。与桂林年内 最大降水量的6月5年滑动平均降水对比分析,发 现二者负相关(r²=0.41,n=42)。同时 DY-2 石笋 δ^{18} O 记录与桂林地区监测的大气降水 δ^{18} O(Qin Jiaming et al., 2000)呈现一致变化,而且与利用模 型重建的 1979 年以来桂林附近大气降水 δ¹⁸ O 值 (Yoshimura et al., 2003),二者除变化幅度存在一 定差别,在变化趋势、峰值变化均明显一致,说明 DY-2 石笋 δ¹⁸ O 记录响应了当地大气降水 δ¹⁸ O 的 变化,而夏季风降水的"量效应"在桂林大气降水 δ¹⁸ O 值变化有较大贡献(Qin Jiaming et al., 2000)。 因此,桂林茅茅头大岩 DY-2 石笋 δ¹⁸O 可以指示桂 林夏季降水的变化。

4 讨论

4.1 桂林石笋 δ¹⁸O 的区域意义

对比同样位于桂林地区的丰鱼岩 F4 石笋,F4 石笋采集于 1995 年,分辨率比 DY-2 石笋偏低 (Yuan Daoxian et al., 1999)。但是 1968~1992 时 段,两个石笋存在一定的交叉。通过对比,发现 DY-2 与 F4 石笋在 1968~1978 年间均表现为 δ^{18} O 的 相对偏轻,而 1978~1990 时段 δ^{18} O 相对偏重(图 2a)。验证了两个石笋记录的可靠性。当然两个石 笋记录在 δ^{18} O 绝对值和变化幅度存在一定的差异, 可能与所处洞穴差异有关。但是在交叉时段的同步 变化,说明两个石笋记录记录信号的一致性。

为了进一步验证石笋信号是局地信号还是区域 信号,将时间跨度相对较长的 F4 石笋与采用纹层 计数定年并得到同一洞穴石笋验证的 HS-4 石笋 (Hu Chaoyong et al., 2008)进行对比,发现 F4 石 笋与 HS-4 石笋在近百年来不仅变化趋势一致,变 化的阶段性也存在同步性,且二者为明显的正相关 ($r^2 = 0.59, n = 22$)(图 2b)。再次证明石笋记录的 准确性和信号记录的区域一致性。



图 2 桂林 DY-2 和 F4 石笋 δ¹⁸ O 对比(a)及 F4 石笋与和尚洞 HS-4 石笋 δ¹⁸ O 对比(b)

Fig. 2 Comparison of stalagmite δ¹⁸O from Fengyuyan Cave and Maomaotou big Cave (a) and Heshang Cave (b) 黑色圆点线为丰鱼岩 F4 石笋 δ¹⁸O 记录,空心圆点线为茅茅头大岩 DY2 石笋 δ¹⁸O 记录,上三角形线为和尚洞 HS-4 石笋 δ¹⁸O 记录 black close circle line is stalagmite δ¹⁸O record from Fengyuyan Cave, open circle and up triangle lines stand for stalagmite δ¹⁸O record from Maomaotou big Cave and Heshang Cave, respectively

4.2 与中国季风区其他石笋记录对比

中国季风区石笋δ¹⁸O记录近百年来呈现持续 变重趋势(如北京石花洞, Li Hongchun et al., 1998;桂林丰鱼岩, Yuan Daoxian et al., 1999;陕西 柞水佛爷洞, Paulsen et al., 2003;四川阿坝黄龙 洞, Yang Xunlin et al., 2007;贵州荔波董哥洞, Wang Yongjin et al., 2005;湖北清江和尚洞,Hu Chaoyong et al., 2008; 甘肃武都黄爷洞, Tan Liangcheng et al., 2011; 福建将乐玉华洞, Jiang Xiuyang et al., 2012; 甘肃西和乌鸦洞, Tan Liangcheng et al., 2014; 湖南湘西莲花洞, Yin Jianjun et al., 2014)。但是对比发现,部分石笋记 录近百年来一直呈现线性变重(如石花洞、黄爷洞、 乌鸦洞和莲花洞等),且1980s 未出现明显的 δ¹⁸O 偏重阶段(图 3b)。但是也有部分石笋记录在 1980s 出现变重,之后出现一定程度的恢复,并维持在某一 范围内波动(如茅茅头大岩、董哥洞、玉华洞、和尚 洞、黄龙洞和佛爷洞石笋等)(图 3a)。为什么会出 现这种细节差异?是什么原因导致这种变化?可能 的原因有:①由于年龄计算和采样分辨率差异导致 的一定错位和平均化;②大气降水一岩溶含水层-洞穴滴水-沉积物这一过程中,滞后时间存在差异, 导致事件被平滑掉;③局地因素。由于其他记录基 本响应一致的变化趋势和特征,在此不进行详细讨 论。而且由于董哥洞 DA 石笋分辨率相对较低,佛 爷洞 SF-1 石笋在 1980s 之后数据点较少以及黄龙 洞 HL021 在 2000 年以后大幅变重,与局地降水有 关(Yang Xunlin et al., 2007),本文不具体讨论,而 重点讨论 1980s 以来茅茅头大岩 DY-2 石笋、和尚 洞 HS-4 石笋和玉华洞 YH1 石笋 δ¹⁸ O 的变化(图 3a)。

通过对比发现,茅茅头大岩-丰鱼岩石笋与玉 华洞、和尚洞石笋记录变化趋势以及变化阶段性有 着很强的一致性。但是茅茅头大岩-丰鱼岩石笋记 录在1990年以后,石笋δ¹⁸O相对更加偏轻(图 3a), 且变化幅度更大。这可能与桂林年均降水量变化大 和"量效应"明显有一定的关系。但是1980s的石笋 δ¹⁸O变重,以及1990年以来石笋δ¹⁸O的一定程度 恢复并稳定在一定范围,说明三个地区石笋记录了 一致的信号,而这种信号相对于其他记录可能是更 加详细的气候环境信号。

4.3 局地气候与大尺度环流

对于 1980s 石笋 δ¹⁸O 偏重阶段,桂林 F4-DY-2 记录、福建永安 YH1 记录和湖北清江 HS-4 记录均 有反映(图 3)。但是分析当地的降水记录,只有桂 林的降水记录在 1980s 不仅雨季降水量减少,而且 全年降水量也减少。而玉华洞和和尚洞周边的气象 站点的降水数据显示在 1980s,两地均未出现明显 降水减少。而与此同时宜昌和永安在 1990~2010 年间,雨季降水量和年均降水量均有微弱的增加。 而桂林年均降水量减少,但是雨季降水量呈现增加 趋势。而中国季风区其他石笋记录所在地区(柞水



图 3 桂林 F4-DY-2(i)、玉华洞 YH1(ii)、和尚洞 HS-4(iii)、黄龙洞 HL021(iv)、佛爷洞 SF-1(v)、乌鸦洞 WY33(vi)、 黄爷洞 HY3(vii)、石花洞 s312(viii)和莲花洞 LHD1(ix)石笋 δ¹⁸ O 记录对比(灰色条带突出显示 1980s 石笋 δ¹⁸ O 变化) Fig. 3 Comparison of stalagmiteδ¹⁸ O records from Fengyuyan Cave-Maomaotou big Cave, Guilin (i), Yuhua Cave, Fujian (ii), Heshang Cave, Hubei (iii), Huanglong Cave, Sichuan (iv), Buddha Cave, Shaanxi (v), Wuya Cave (vi) and Huangye Cave (vii), Gansu, Shihua Cave, Beijing (viii) and Lianhua Cave, Hunan (ix) (grey band highlight the variations of δ¹⁸ O in 1980s)

除外)年降水量均呈现减少的趋势。说明中国季风 区石笋δ¹⁸O虽然可能记录了一致变化的区域信号, 但与当地降水的关系可能更加复杂,并非所有地区 石笋δ¹⁸O均能准确反映当地降水的变化。

对比 1980s 夏季风指数变化,在 1980~1990 年 间,三大夏季风(南亚、东亚和南海夏季风)(Li Jianping et al., 2002)均相对偏弱,其中南亚季风减 弱幅度最大(图 4a)。说明夏季风减弱导致了石笋 δ^{18} O出现偏重,但是降水量的变化却可能还受到其 他因素的影响。而 1990 年以来,三大夏季风均继续 呈现减弱趋势,而南亚夏季风(Li Jianping et al., 2002)和东亚夏季风(Liu Haiwen et al., 2012)在 1990 年以来出现一定程度恢复增强(图 4a)。说明 夏季风的恢复增强导致了三个洞穴石笋 δ^{18} O出现 一定程度的恢复,并维持在一定范围内。但是东亚 夏季风和西南夏季风两个子系统对中国季风区石笋 δ^{18} O是否产生一致影响,需要进一步研究。

而从水汽源来分析,东南水汽通道/西南水汽通 道的比值在1980s接近多年平均,且略小于多年平 均值(图4b)。而1990年以来,东南/西南水汽通道 的比值持续增大,这与中国季风区其他石笋记录持 续变重的趋势一致。但是却与茅茅头大岩、和尚洞 及玉华洞石笋记录存在差异。特别是 1980s 以及 1990 年以来的变化,存在明显的差异。而三个洞穴 相对于其他洞穴而言,更加容易受到东南水汽来源 的影响,但是却未表现出明显的相关性。说明水汽 来源的差异,至少在年代际尺度上对中国季风区石 笋 δ^{18} O的影响相对较小。当然在千年一轨道尺度 上,由于海平面变化,不同水汽来源对石笋 δ^{18} O 的 影响会增大(Yuan Daoxian et al., 2004)。

5 结论

通过对桂林茅茅头大岩石笋、桂林丰鱼岩及中 国季风区其他石笋记录的对比研究,取得了以下基 本认识:

(1)桂林茅茅头大岩 DY-2 石笋与桂林丰鱼岩 石笋表现为变化趋势的一致,并与湖北和尚洞、福建 玉华洞石笋在近百年以来表现出同样的变化趋势。 说明桂林茅茅头大岩石笋记录气候信号的可靠。同 时响应了区域变化的一致性信号。



图 4 1948 年以来南亚夏季风指数(i)、东亚夏季风指数 (ii)和南海夏季风指数(iii)(Li Jianping et al., 2002)(a)和 东南/西南水汽通道强度比值(Tian Hong et al., 2004)(b) (黑色粗线为11 年滑动平均曲线,长虚线为平均值,短虚线 为趋势线,灰色条带突出显示 1980s)

Fig. 4 Figure a shows South Asian summer monsoon index (i), East Asian summer monsoon index (ii) and South China Sea summer monsoon index (iii) defined by Li Jianping et al. (2002). Figure b presents the ratio of Southeast to Southwest vapor inflow corridors defined by Tian Hong et al. (2004). (Black thick lines are 11 points adjacent-averaging smoothed results, the dash stand for the mean values, short dot are the trend lines, the grey band highlight the variations in 1980s)

(2)通过局地与区域对比,发现中国季风区石笋 δ¹⁸O近百年来呈现两种变化趋势:①近百年来持续 变重,②近百年以来表现为持续偏重的同时,在 1980s石笋δ¹⁸O出现谷值,1990年以后,石笋δ¹⁸O 出现一定程度恢复,并稳定在一定范围内,表现出较 大波动变化。

(3)通过与局地降水、夏季风指数和水汽通道指数的对比,发现中国季风区石笋δ¹⁸O与局地降水的 相关性不强,说明并不是中国季风区所有洞穴石笋 δ¹⁸O均能指示当地降水的变化。而且石笋δ¹⁸O虽 然受到不同水汽源贡献的影响,但可能更多的表现 在更长时间尺度(如千年一轨道尺度),而年代际尺 度上更多的响应的是夏季风强弱的变化。而东亚季 风和南亚季风对中国季风区石笋δ¹⁸O是一致影响 还是存在差异,需要进一步研究。

致谢:感谢台湾大学地质科学系李红春教授提供的北京石花洞石笋数据,福建师范大学地理科学学院姜修洋副教授提供的福建玉华洞石笋数据,西南大学地理科学学院杨勋林副教授提供的四川黄龙洞石笋数据,感谢审稿专家提供的修改建议。

References

- Cheng Hai, Edwards R L, Broecker W S, Denton G H, Kong Xinggong, Wang Yongjin, Zhang Rong, Wang Xianfeng. 2009. Ice age terminations. Science, 326 (5950): 248~252.
- Cheng Hai, Edwards R L, Shen Chuan-Chou, Polyak V J, Asmerom Y, Woodhead J, Hellstrom J, Wang Yongjin, Kong Xinggong, Spötl C, Wang Xianfeng, Alexander Jr. E C. 2013. Improvements in ²³⁰ Th dating, ²³⁰ Th and ²³⁴ U half-life values, and U-Th isotopic measurements by multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry. 371-372: 82~91.
- Clemens S C, Prell W L, Sun Youbin. 2010. Orbital-scale timing and mechanisms driving late Pleistocene Indo-Asian summer monsoons: Reinterpreting cave speleothem ∂¹⁸ O. Paleoceanography, 25 (4): 545~558.
- Cruz Jr F W, Burns S J, Karmann I, Sharp W D, Vuille M, Cardoso A O, Ferrari J A, Silva Dias P L, Viana Jr O. 2005. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. Nature, 434 (7029): 63~66.
- Deng Ziqiang, Lin Yushi, Zhang Meiliang, Liu Gongyu, Wei Zhimin. 1988. Karst and geologic structure in Guilin. Chongqing: Chongqing publishing house, 113~116.
- Frappier A, Sahagian D, González L A, Carpenter S J. 2002. El Niño events recorded by stalagmite carbon isotopes. Science, 298 (5593): 565.
- Griffiths M L,Drysdale R N, Gagan M K, Zhao Jianxin, Ayliffe L K, Hellstrom J C, Hantoro W S, Frisia S, Feng Yuexing, Cartwright I, Pierre E S, Fischer M J, Suwargadi B W. 2009. Increasing Australian-Indonesian monsoon rainfall linked to

early Holocene sea-level rise. Nature geoscience, 2: 636~639.

- Hu Chaoyong, Henderson G M, Huang Junhua, Xie Shucheng, Sun Ying, Johnson K R. 2008. Quantification of Holocene Asian monsoon rainfall from spatially separated cave records. Earth and Planetary Science Letters, 266: 221~232.
- Jiang Xiuyang, Li Zhizhong, Li Jinquan, Kong Xinggong, Guo Yun. 2012. Stalagmite δ¹⁸O record from Yuhua cave over the past 500 years and its regional climate significance. Scientia Geographica Sinica, 32(2): 207~212.
- Li Hongchun, Gu Delong, Stott L D, Chen Wenji. 1998. Applications of interannual-resolution stable isotope records of speleothem: Climatic changes in Beijing and Tianjin, China during the past 500 years-the δ¹⁸ O record. Science in China (series D), 41 (4): 362~368.
- Li Jianping, Zeng Qingcun. 2002. A unified monsoon index. Geophysical Research Letters, 29 (8), 1274, doi: 10. 1029/2001GL013874.
- Liu Haiwen, Zhou Tianjun, Zhu Yuxiang, Lin Yihua. 2012. The strengthening East Asia summer monsoon since the early 1990s. Chinese Science Bulletin, 57 (13): 1553~1558.
- Maher B A. 2008. Holocene variability of the East Asian summer monsoon from Chinese cave records: A re-assessment. The Holocene, 18 (6): 861~866.
- Maher B A, Thompson R. 2012. Oxygen isotopes from Chinese caves: Records not of monsoon rainfall but of circulation regime. Journal of Quaternary Science, 27 (6): 615~624.
- Orland I J, Bar-Matthews M, Kita N T, Ayalon A, Matthews A, Valley J W. 2009. Climate deterioration in the Eastern Mediterranean as revealed by ion microprobe analysis of a speleothem that grew from 2. 2 to 0.9 ka in Soreq Cave, Israel. Quaternary Research, 71: 27~35.
- Paulsen D E, LiHongchun, Ku The-Lung. 2003. Climate variability in central China over the last 1270 years revealed by highresolution stalagmite records. Quaternary Science Reviews, 22: 691~701.
- Pausata F S R, Battisti D S, Nisancioglu K H, Bitz C M. 2011. Chinese stalagmite δ^{18} O controlled by changes in the Indian monsoon during a simulated Heinrich event. Nature geoscience, 4: 474~480.
- Qin Jiaming, Yuan Daoxian, Lin Yushi, Zhang Meiliang, Li Bin. 2000. Isotopic records of stalagmites from Guilin since 44 ka BP and their environmental interpretation. Acta Geoscientia Sinica, 21 (4): 407~416.
- Tan Ming. 2009. Circulation effect:Climatic significance of the short term variability of the oxygen isotopes in stalagmites from monsoonal China-dialogue between paleoclimate records and modern climate research. 29 (5): 851~862
- Tian Hong, Guo Pinwen, Lu Weisong. 2004. Characteristics of vapor inflow corridors related to summer rainfall in China and impact factors. Journal of Tropical Meteorology, 20 (4): 401 ~408.
- Tan Liangcheng, Cai Yanjun, An Zhisheng, Edwards R L, Cheng

Hai, Shen Chuanchou, Zhang Haiwei. 2011. Centennial- to decadal-scale monsoon precipitation variability in the semihumid region, northern China during the last 1860 years: records from stalagmites in Huangye cave. The Holocene, 21 (2): 287~296.

- Tan Liangcheng, An Zhisheng, Huh Chih-An, Cai Yanjun, Shen Chuanchou, Shiau Liangjian, Yan Libin, Cheng Hai, Edwards R L. 2014. Cyclic precipitation variation on the western Loess Plateau of China during the past four centuries. Scientific report, 4: 6381, doi: 10.1038/srep06381.
- Wang Xianfeng, Auler A S, Edwards R L, Cheng Hai, Ito E, Solheid M. 2006. Interhemispheric anti-phasing of rainfall during the last glacial period. Quaternary Science Reviews, 25: 3391~3403.
- Wang Yongjin, Cheng Hai, Edwards R L, An Zhisheng, Wu Jiangying, Shen Chuan-Chou, Dorale J A. 2001. A highresolution absolute-dated late Pleistocene monsoon record from Hulu Cave, China. Science, 294 (5550): 2345~2348.
- Wang Yongjin, Cheng Hai, Edwards R L, He Yaoqi, Kong Xinggong, An Zhisheng, Wu Jiangying, Kelly M J, Dykoski C A, Li Xiangdong. 2005. The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and north Atlantic climate. Science, 308 (5723): 854~857.
- Wang Yongjin, Cheng Hai, Edwards R L, Kong Xinggong, Shao Xiaohua, Chen Shitao, Wu Jiangying, Jiang Xiouyang, Wang Xianfeng, An Zhisheng. 2008. Millennial- and orbital-scale changes in the east Asian monsoon over the past 224000 years. Nature, 451 (7182): 1090~1093.
- Yuan Daoxian, Qin Jiaming, Lin Yushi, Zhang Meiliang, Li Bin.
 1999. High resolution paleoenvironmental reconstruction up to
 200,000 years B. P. with speleothems from Guilin. Guilin:
 Guangxi normal University Press, 44~45.
- Yin Jianjun, Li Hongchun, Shen Chuanchou, Li Tingyong, Lin Yushi, Qin Jiaming, Tang Wei, Wang hua, Yang Hui. 2015. Determine of the mean growth rate of young stalagmite: Multiple methods study. Acta Geologica Sinica, 89 (10): 1884 ~1891.
- Yang Xunlin, Zhang Pingzhong, Chen Fahu, Huh Chih-an, Li Hongchun, Cheng Hai, Johnson K R, Liu Jinghua, An Chunlei. 2007. Modern stalagmite oxygen isotopic composition and its implications of climatic change from a high-elevation cave in the eastern Qinghai-Tibet plateau over the past 50 years. Chinese Science Bulletin, 52 (9): 1238~1247.
- Yin Jianjun, Yuan Daoxian, Li Chongchun, Cheng Hai, Li Tingyong, Edwards R L, Lin Yushi, Qin Jiaming, Tang Wei, Zhao Zengyou, Mii Horng-Sheng. 2014. Variation in the Asian monsoon intensity and dry-wet conditions since the Little Ice Age in central China revealed by an aragonite stalagmite. Climate of the Past, 10 (5): 1803~1816.
- Yoshimura K, Oki T, Ohte N, Kanae S. 2003. A quantitative analysis of short-term ¹⁸O variability with a Rayleigh-type isotope circulation model. Journal of Geophysical Research,

108 (D20), 4647, doi: 10.1029/2003JD003477.

Yuan Daoxian, Cheng Hai, Edwards R L, Dykoshi C A, Kelly M J, Zhang Meiliang, Qin Jiaming, Lin Yushi, Wang Yongjin, Wu Jiangying, Dorale J A, An Zhisheng, Cai Yanjun. 2004. Timing, duration, and transitions of the last interglacial Asian monsoon. Science, 304 (5670): 575~578.

参考文献

- 邓自强,林玉石,张美良,刘功余,魏志民. 1988. 桂林岩溶与地质 构造.重庆:重庆出版社,113~116.
- 姜修洋,李志忠,李金全,孔兴功,郭允.2012. 最近 500 年来福建 玉华洞石笋氧同位素记录及气候意义.地理科学,32(2):207 ~212.

- 覃嘉铭,袁道先,林玉石,张美良,李彬. 2000. 桂林 44 ka BP 石笋 同位素记录及其环境解译. 地球学报,21(4):407~416.
- 谭明. 2009. 环流效应:中国季风区石笋氧同位素短尺度变化的气候意义——古气候记录与现代气候研究的一次对话. 第四纪研究, 29 (5): 851~862.
- 田红, 郭品文, 陆维松. 2004. 中国夏季降水的水汽通道特征及其 影响因子分析. 热带气象学报, 20(4): 401~408.
- 殷建军,李红春,沈川洲,李廷勇,林玉石,覃嘉铭,唐伟,王华, 杨会.2015.年轻石笋平均沉积速率的确定——多方法探讨. 地质学报,89(10):1884~1891.
- 袁道先,覃嘉铭,林玉石,张美良,李彬. 1999. 桂林 20 万年石笋 高分辨率古环境重建. 桂林:广西师范大学出版社,44~45.

The Relationship between Local Climate/Large Scale Circulation and δ^{18} O Recorded by Stalagmite in the Past 50 Years from Maomaotou Big Cave, Guilin

YIN Jianjun, TANG Wei

Key Laboratory of Karst Dynamics, MLR & Guangxi, International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi, 541004

Abstract

Stalagmite record is an important pillar in Quaternary research. But some query arose for the δ^{18} O of stalagmites stand for summer monsoon in China monsoonal area in recent years. The key point is stalagmite in monsoonal China didn't bridge the modern climate and paleoclimate by the index of δ^{18} O. In order to solve the question above, we chose a 50 years continuously growth modern stalagmite from Maomaotou big cave. After compare with the stalagmite F4 from Fengyuyan Cave in Guilin and other stalagmites from monsoonal China, δ^{18} O of stalagmite DY-2 from Maomaotou big Cave can stands for local summer precipitation, and regional climatic signal as well. That shows stalagmite δ^{18} O becomes heavier when the summer monsoon gets weak in decadal scale, vice versa. But compare with the different vapor inflow corridors, we didn't found obvious relationship between moisture vapor change and stalagmite δ^{18} O. Besides Maomaotou big cave, though stalagmite δ^{18} O from Yuhua Cave and Heshang Cave show synchronous variation with Maomaotou big Cave, no obvious relationship found between the local precipitation and the two caves. Although summer monsoon intensity variation make the stalagmite δ^{18} O show synchronous variations in monsoonal China, the local precipitation are more complex and not all stalagmite δ^{18} O stand for local precipitation in monsoonal China.

Key words: stalagmite ∂¹⁸O; Guilin; summer monsoon; local signal; regional signal