

贵州荔波 42.0 ka B. P.~ 65.0 ka B. P. 气候变化的石笋记录*

The Records of Paleo-climate Change from a Stalagmite of Dongge Cave in the Preiod of 42.0 ka B. P. to 65.0 ka B. P. in Libo

张美良 林玉石 冯玉梅 涂琳玲 王华 张会领

Zhang Meiliang Lin Yushi Feng Yumei Tu Linling Wang Hua Zhang Huiling

(中国地质科学院岩溶地质研究所,岩溶动力学开放研究实验室 桂林市七星路 50号 541004)

(Karst Dynamics Laboratory, Institute of Karst Geology, CAGS, 50 Qixinglu, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要 对贵州荔波董哥洞 D42石笋进行 TIMS-U测年和碳、氧同位素分析,建立末次冰期 42.0 ka B. P.~ 65.0 ka B. P. 的古气候变化时间序列。研究表明,荔波地区在 65.0 ka B. P.~ 42.0 ka B. P. 石笋记录的冷暖事件所反映出的季风气候变化,大致可分为 3个气候阶段: 65.0 ka B. P.~ 60.6 ka B. P. 相当于海洋氧同位素 MIS4晚期,反映本阶段东亚冬季风强盛,气温降低,表现为干旱寒冷的气候环境; 60.6 ka B. P.~ 48.4 ka B. P. 相当于海洋氧同位素 MIS3早期,反映东亚夏季风相对增强,气温升高,有效降水相对较少,表现为温暖半干旱的气候环境; 48.4 ka B. P.~ 42.0 ka B. P. 相当于海洋氧同位素 MIS3中期,显示东亚夏季风由强变弱,东亚冬季风相对增强,表现为干旱凉爽的气候环境。石笋记录揭示的 2次寒冷事件在各类沉积物中均有记录,反映为全球变化的气候事件,相当于北大西洋沉积物中的 Heinrich 5和 Heinrich 6冷事件,可以进行全球对比,显示荔波地区与北极地区存在着古气候的遥相关。

关键词 石笋 碳 氧同位素 TIMS年龄 气候记录

中图法分类号 P642.25 X141

Abstract The period of time between 65.0 ka B. P. to 42.0 ka B. P. corresponds to early stage of the last glacial period or the time between the late period of the marine core oxygen isotope 4 stage and the early-middle period of the marine core oxygen isotope 3 stage. The time sequence of paleoclimatic change from 65.0 ka B. P. to 42.0 ka B. P. in the last glacial period has been established by the dating ages of the high precision TIMS-U series and the analysis of the oxygen isotopes from D42 stalagmites of Dongge Cave in Libo, Southern Guizhou. The result indicated that the monsoon-climate change reflected by the cold and warm events of the stalagmite record during 65.0 ka B. P. and 42.0 ka B. P. can be divided into three stages of climate change (1) the late period of the marine core oxygen isotope 4 stage from 65.0 ka B. P. to 60.6 ka B. P. reflected that the East Asian winter monsoon was the more strength in this stage, the air temperature was lower, the available rainfall reduced and represented the dry and cold climate environment in this stage; (2) the early period of the marine core oxygen isotope 3 stage from 60.6 ka B. P. to 48.4 ka B. P. reflected that the East Asian summer monsoon was stronger in this stage, the air temperature was high, the available rainfall relatively reduced in summer season and represented the semiarid-semihumid and warm climate environment in this stage; (3) the middle period of the marine core oxygen isotope 3 stage from 48.4 ka B. P. to 42.0 ka B. P. reflected that the East Asian winter monsoon was stronger in this stage, the air temperature was lower, the rainfall reduced and represented the dry and cold-cool climate environment in this stage. The stalagmite record revealed that there were records of two cold events in the various sediments, which reflected the climate event of the global change and corresponded to the cold events of Heinrich 5 and Heinrich 6 in the sediment of the north Atlantic. It can be compared to the global change and had well tele-connection with the paleoclimate change in the North pole region.

Key words stalagmite, carbon, oxygen isotope, dating ages of TIMS-U series, climate record

2004-01-16收稿

* 中国科学技术部“中国洞穴石笋样品保护库的建造”(编号: 2003DEB6J069) 和国家自然科学基金(批准号 40231008)

资助项目。

当前在全球气候变化研究中,洞穴沉积物作为第四纪研究的重要内容,至今已经取得了丰硕的成果,已被国内外广泛关注。近年来,中国的石笋高精度定年和高分辨的碳、氧同位素分析,为全球变化研究作出了重要贡献^[1-3]。本文利用贵州荔波董哥洞 D42石笋的碳、氧同位素记录和 TIMS-U 系年龄,建立了末次冰期 42.00 ka B. P.~ 65.0ka B. P. 古气候变化时间序列,并获取了 Heinrich 6 (H6 65.0 ka B. P.~ 60.6 ka B. P.) 和 Heinrich 5 (H5 48.4 ka B. P.~ 42.0 ka B. P.) 两个冷事件在石笋中的记录,同时,揭示出石笋记录的短时间尺度的气候波动与全球的气候变化具有明显的一致性。

1 样品采集和分析

董哥洞位于荔波县桐塘乡老场村东约 3 km 处,区内年均气温为 18.3°C。年均降水量为 1752 mm,年平均相对湿度 83%,年平均蒸发量为 1371 mm。

石笋产自距洞口 500 m 处,笋高 40 cm,直径 6~14 cm,呈锥柱状。石笋沿中心轴切开后,内部纹层清晰,石笋表现为灰白色,结晶较好,呈致密状,由 0.1~1.5 mm 厚的微粒-针状方解石纹层组成。从石笋生长剖面的结构、构造、岩性和纹层形态特征等可以看出,石笋纹层显示当时洞顶滴水较均匀、稳定,反映石笋没有沉积间断,为连续沉积(图 1),平均生长速率为 1.87 mm/100a。

氧同位素样品主要沿石笋的中心轴采取 D42 石笋按 0.5~1 cm 的间隔,取样 62 件,其中 4 件为平

表 1 贵州荔波董哥洞石笋 TIMS-U 系年龄值

样品号 Sample	深度 Deep(cm)	²³⁸ U (μg·g ⁻¹)	²³² Th (ng·g ⁻¹)	²³⁴ U 测量值 Measured	²³⁰ Th/ ²³⁸ U 活度比 Activity	²³⁴ U 初始值 Initial	²³⁰ Th 年龄 Age (ka B. P.)
D42-1	1	356.4±0.7	662±10	-48.10±1.4	0.3116±0.0017	-54.3±1.6	43.30±0.3
D42-2	6	430.6±0.3	429±9	-43.8±0.9	0.3387±0.0010	-50.1±1.0	47.80±0.2
D42-3	28	343.3±0.8	90±9	-5.9±1.3	0.4207±0.0016	-7.0±1.5	59.1±0.30
D42-4	38.5	393.2±0.8	760±9	-44.9±1.7	0.4262±0.0021	-54.0±2.0	64.70±0.5

$$\lambda_{230} = 9.1577 \times 10^{-6} \text{Y}^{-1}, \lambda_{234} = 2.8263 \times 10^{-6} \text{Y}^{-1}, \lambda_{238} = 1.55125 \times 10^{-6} \text{Y}^{-1}$$

图 2 中每件样品所代表的年龄分辨率为 370a。在 64.7 ka B. P.~ 43.3 ka B. P., $\delta^{18}\text{O}$ 的平均值为 -7.84‰ , $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值为 -4.1‰ , 与 2000 年、2001 年在洞内测得的现代洞穴滴水 $\delta^{18}\text{O}$ (-8.52‰ ~ -8.49‰) 和现代沉积碳酸盐的 $\delta^{18}\text{O}$ (-7.73‰), $\delta^{13}\text{C}$ (-6.18‰) 相比,石笋的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值与现代沉积碳酸盐的 $\delta^{18}\text{O}$ 值非常接近。所以,可以用整个石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 的此平均值,代表 64.7~43.3 ka B. P. 的正常气候条件,当石笋的 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏重,代表气候偏干冷,夏季

风减弱,反之,代表气候偏暖湿,夏季风增强。而现代沉积碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值可作为 C₃-C₄ 植物相对丰度的临界值或判别值。

据石笋的 TIMS-U 系年龄(表 1)和氧、碳同位素曲线(图 2)的波动形式,将 65.0 ka B. P.~ 42.0 ka B. P. 大致可分为 3 个气候变化阶段:(1) 65.0 ka B. P.~ 60.6 ka B. P., 表现为干冷的气候环境;(2) 60.6 ka B. P.~ 48.4 ka B. P., 表现为温暖半干旱-半湿润的气候环境;(3) 48.4 ka B. P.~ 42.0 ka

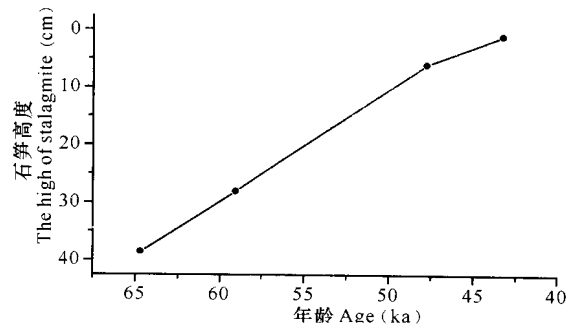


图 1 荔波董哥洞 D42 石笋的生长速率

Fig. 1 Growing ratios of the D42 stalagmite in Dongge cave, Libo county.

●为 TIMS 测年位置 Dating age location of TIMS-u series

2 时间标尺与 $\delta^{18}\text{O}$ 记录

董哥洞 D42 石笋的 TIMS-U 系测定年龄(表 1, 图 2)指示石笋形成年龄为 64.7 ka B. P.~ 43.3 ka B. P.。由表 1 可见,所有的年龄数据都按石笋沉积先后秩序正常排列,说明数据是可信的。

风减弱,反之,代表气候偏暖湿,夏季风增强。而现代沉积碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值可作为 C₃-C₄ 植物相对丰度的临界值或判别值。

据石笋的 TIMS-U 系年龄(表 1)和氧、碳同位素曲线(图 2)的波动形式,将 65.0 ka B. P.~ 42.0 ka B. P. 大致可分为 3 个气候变化阶段:(1) 65.0 ka B. P.~ 60.6 ka B. P., 表现为干冷的气候环境;(2) 60.6 ka B. P.~ 48.4 ka B. P., 表现为温暖半干旱-半湿润的气候环境;(3) 48.4 ka B. P.~ 42.0 ka

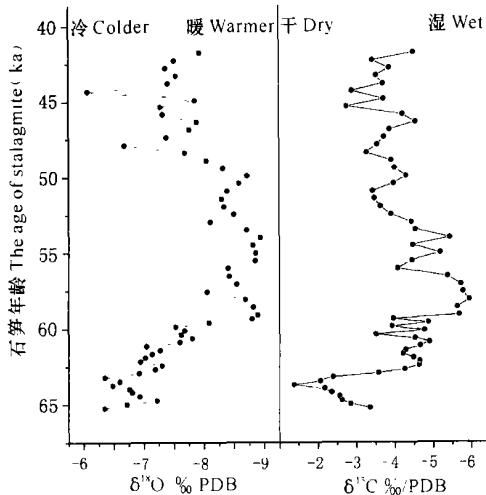


图 2 荔波董哥洞 D42石笋碳、氧同位素记录

Fig. 2 The records of carbon and oxygen isotope from D42 stalagmite of Donggecave in Libo, Guizhou

2.1 65 ka B. P. ~ 60.6 ka B. P. 的干冷气候期

在 65.0 ka B. P. ~ 60.6 ka B. P., 位于石笋剖面 40~ 29 cm 层段, 持续时间为 4400a, 生长速率为 2.5mm/100a 该时段 $\delta^{18}O$ 的平均值为 -7.33‰ , $\delta^{13}C$ 为 -3.6‰ , 与石笋的 $\delta^{18}O$ $\delta^{13}C$ 平均值以及现代洞穴滴水 and 现代沉积碳酸盐的 $\delta^{18}O$ $\delta^{13}C$ 值相比, 其 $\delta^{18}O$ $\delta^{13}C$ 均偏正。 $\delta^{18}O$ 记录表明, 该时段反映东亚冬季风较强和受西北风影响较强, 气温降低, 气候表现为寒冷的环境; 而 $\delta^{13}C$ 记录反映本阶段大气降水少, 气候干燥, 不利于 C_3 植物生长, 以 C_4 植物为主。 这一干旱寒冷气候在海洋冰芯、 湖泊沉积物以及黄土中均有记录, 反映为全球变化的气候事件^[4-9], 类似于北大西洋深海沉积物岩芯中的 Heinrich 6 冷事件^[6], 冷谷发生在 62.8ka B. P. ($\delta^{18}O$ 为 -6.35‰ , $\delta^{13}C$ 为 -2.06‰), 可以进行全球对比。 本阶段相当于海洋氧同位素 MIS4 晚期^[10]。

2.2 60.6 ka B. P. ~ 48.4 ka B. P. 的温暖半干旱气候期

在 60.6 ka B. P. ~ 48.4 ka B. P., 位于石笋剖面 29~ 8 cm 层段, 持续时间为 12200a, 生长速率为 1.72 mm/100a 该时段 $\delta^{18}O$ 平均值为 -8.36‰ , 与石笋的 $\delta^{18}O$ 平均值和现代沉积碳酸盐的 $\delta^{18}O$ 值相比, 其 $\delta^{18}O$ 偏轻或负漂移, 表明东亚夏季风有所增强, 在副热带西太平洋高压脊控制之下, 由于空气的下沉增温作用, 使气温升高, 显示为温暖的气候环境。 而 $\delta^{13}C$ 平均值为 -4.73‰ , 与其相比, 稍偏重或正向漂移, 显示大气降水虽有增加, 但仍较少, 不利于 C_3 植物生长, 仍以 C_4 植物为主, 反映为半干旱-半湿润的气候环境。 这一温暖时期除在 57.5 ka B. P. 和 52 ka

B. P. 时间段的气温稍有下降外, 整个时段的气候环境相对稳定, 表现为温暖半干旱-半湿润的气候环境, 是区域性气候特征的表现。 本阶段相当于海洋氧同位素 MIS3 早期^[10]。

2.3 48.4 ka B. P. ~ 42 ka B. P. 的干冷气候期

在 48.4 ka B. P. ~ 42 ka B. P., 位于石笋剖面 0 ~ 8 cm 层段, 持续时间为 6400a, 生长速率为 1.25 mm/100a 该时段 $\delta^{18}O$ 平均值为 -7.35‰ , $\delta^{13}C$ 为 -3.7‰ , 与石笋的 $\delta^{18}O$ $\delta^{13}C$ 平均值以及现代洞穴滴水和现代沉积碳酸盐的 $\delta^{18}O$ $\delta^{13}C$ 值相比, 其 $\delta^{18}O$ $\delta^{13}C$ 均偏重或正向漂移。 $\delta^{18}O$ 记录表明, 该时段显示东亚冬季风再次加强和受西北冷气团的影响, 海表温度下降, 大气温度降低, $\delta^{18}O$ 偏重, 表现为寒冷的气候环境; 而 $\delta^{13}C$ 记录反映本阶段大气降水较少, 气候干燥, 不利于 C_3 植物生长, 以 C_4 植物为主。 这一干旱寒冷气候事件在各类沉积物中均有记录, 反映为全球变化的气候事件^[4,5,6], 类似于北大西洋深海沉积物岩芯中的 Heinrich 5 冷事件^[4,6], 冷谷在约 46.5 ka B. P. ($\delta^{18}O$ 为 -6.35‰ , $\delta^{13}C$ 为 -2.06‰), 可以进行全球对比。 本阶段相当于海洋氧同位素 MIS3 中期^[10]。

3 结束语

(1) 石笋的 TIMS-U 系年龄和碳、氧同位素记录揭示, 荔波地区 65.0 ka B. P. ~ 42.0 ka B. P. 的季风气候变化, 大致可分为干旱寒冷、温暖半湿润、半干旱和干旱寒冷等 3 个阶段, 其内所检出的 2 次寒冷事件在各类沉积物中均有记录, 反映为全球变化的气候事件, 相当于北大西洋深海沉积物岩芯中的 Heinrich 5 和 Heinrich 6 冷事件, 可以进行全球对比。

(2) 石笋碳同位素记录表明, 在 65.0 ka B. P. ~ 42.0 ka B. P. 的 $\delta^{13}C$ 值总体趋向于偏重或向正向漂移, 气候特征反映为大气降水少、干旱, 不利于 C_3 植物生长, 以 C_4 植物为主, 总体表现为干旱-半干旱的气候特点。

(3) 石笋记录表明, 碳、氧同位素曲线非常一致, 具有同步变化的特点, 显示中国南方具有雨热同期的特点, 其气候变化不仅具有其特殊的区域性特点, 同时也具有与全球性冷暖变化的一致性, 并与北极地区存在着古气候的遥相关。

致谢

参加本项工作的还有覃嘉铭、何师意、荔波茂兰以及荔波茂兰自然保护区的冉景承、陈会明、余墩利等同志, 谨此一并致谢。

(下转第 224 页 Continue on page 224)

的形成和发展过程中,无论是营养盐含量还是现存浮游植物量均随着赤潮过程的发展而呈现出明显下降趋势,但随着浮游植物的消亡,作为有机体分解第一产物的 NH_4^+ 首先获得再生, PO_4^{3-} 的再生周期相似于氨化过程^[5],至于 NO_3^- 和 NO_2^- ,由于这次赤潮浮游植物的繁殖周期较短, NH_4^+ 来不及转化为 NO_3^- 和 NO_2^- ,从而出现 PO_4^{3-} 和 NH_4^+ 的负相关性不及 NO_3^- 和 NO_2^- 那样显著,但仍呈良好的负相关性。DO与三态无机氮的相关性间接地反映了 NH_4^+ 的再生速度是最快的,其次是 NO_2^- , NO_3^- 为最低,这与无机氮的转化规律是一致的。

3 结束语

廉州湾海域具有赤潮前 pH值较低,赤潮时 pH值较高的特征。pH值分布趋势是赤潮前南流江口海域较低,向北海沿岸递增,赤潮时则以湾顶部海域较低,其余海域较高。溶解氧的分布与 pH值恰好相反,赤潮前氧含量高于赤潮时,赤潮前具有随叶绿素 a增加而升高的分布趋势,赤潮时则具有湾中部含量高,湾顶部及湾外海域较低的分布趋势,与氧饱和度的分布趋势相一致。

赤潮前 pH值与 $\text{O}_2\%$ 呈显著正相关,与盐度呈良好正相关,说明浮游植物的光合作用是影响 pH值的主要因素,物理混合作用只占次要地位; DO与 Chl-a 和 COD的显著正相关,则表明对氧起控制作用的主要因素是生化作用。赤潮时 pH值与盐度和悬浮物的显著正相关及与 $\text{O}_2\%$ 的良好正相关,则说明外海流系与沿岸流系的物理效应对 pH值的影响占主导

地位,生物效应次之; DO则与此相反,生物效应占主导控制地位。

pH值、溶解氧与营养盐的相关分析结果表明,赤潮前, pH值与三态无机氮之间具有负相关影响,其相关性依次为 $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{NO}_2^-$; 但 DO与四项营养盐之间以及 pH值与 PO_4^{3-} 之间只具有明显的正相关趋势,相关性并不显著。说明前者主要受陆源水所控制,其相关次序则与浮游植物优先吸收 NH_4^+ 有关;后者则意味着赤潮前氧的含量是以产氧的浮游植物光合作用影响为主。赤潮期间, pH值、溶解氧与营养盐之间均具有明显的负相关趋势,其中 pH值与 NO_3^- 和 NO_2^- 的相关性极为显著,与 PO_4^{3-} 和 NH_4^+ 次之;而 DO则以与 NH_4^+ 和 PO_4^{3-} 的相关性较为显著,与 NO_2^- 和 NO_3^- 的相关性较差,这是生物同化作用影响的结果。

参考文献

- 1 张珞平,陈伟琪. 厦门西港赤潮成因的探讨. 海洋环境科学, 1992, 11(3): 71~ 74.
- 2 黄秀清,蒋晓山,王桂兰,等. 长江口中肋骨条藻赤潮发生过程环境要素分析: 水温、盐度、DO和 pH值特征. 海洋通报, 1994, 13(4): 35~ 40.
- 3 黄良民,钱宏林,李锦蓉. 大鹏湾赤潮多发区的叶绿素 a分布与环境关系初探. 海洋与湖沼, 1994, 25(2): 197~ 204.
- 4 韦蔓新,何本茂. 廉州湾富营养化与赤潮形成的研究. 热带海洋, 1998, 17(4): 65~ 72.
- 5 张正斌,顾宏堪,刘蓬生,等. 海洋化学. 上海: 上海科学技术出版社, 1984. 246~ 286.

(责任编辑: 邓大玉 路存涛)

(上接第 220页 Continue from page 220)

参考文献

- 1 袁道先,覃嘉铭,林玉石,等. 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, 1999. 17~ 28.
- 2 张美良,袁道先,林玉石,等. 广西灌阳县响水洞石笋的同位素年龄及其古气候意义. 中国岩溶, 1998, 17(4): 311~ 318.
- 3 汪永进,吴江滢,吴金全,等. 末次冰期南京石笋高分辨率气候记录与 GRIP冰芯对比. 中国科学(D辑), 2000, 30(5): 533~ 539.
- 4 Bond G, Heinrich H, Broecker W S, et al. Evidence for massive discharges of icebergs into North Atlantic Ocean during the last glacial period. Nature, 1992, 360 245~ 249.
- 5 Dansgaard W, Johnsen S J, Clausen H B, et al. Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice core. Nature, 1993, 366 552~ 554.

- 6 Heinrich H. Origin and consequence of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic ocean during the past 130000 years. Quaternary Research, 1988, 29 142~ 152.
- 7 郭正堂,刘东生,吴乃琴,等. 最后 2个冰期黄土 Heinrich型的气候节拍. 第四纪研究, 1996, (1): 21~ 23.
- 8 吕厚远,郭正堂,吴乃琴,等. 黄土高原和海南陆架古季风演变的生物记录与 Heinrich事件. 第四纪研究, 1996, (1): 11~ 20.
- 9 叶玮,董光荣,袁玉江,等. 新疆伊犁地区末次冰期气候的不稳定性. 科学通报, 2000, 45(6): 641~ 646.
- 10 Shackleton N J, Opydyke N D. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial pacific core V 28-238. Oxygen isotope temperature and ice Volumes on a 10 year and 10^6 year scale. Quaternary Res, 1973, 3 39~ 55.

(责任编辑: 邓大玉)