

同步变化的东亚季风和印度季风:来自年层石笋 氧同位素的证据

周 翀 胡超涌 黄俊华 谢树成

中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要 印度季风和东亚季风是亚洲季风的两个子系统。现代器测数据和地质历史重建记录均证明两个季风在季节和轨道尺度上具有相同的特征。然而,在年-年代际尺度上,两者的相互关系尚不清楚。笔者通过比较两个分别来自印度季风区(阿曼 Defore 洞)和东亚季风区(中国和尚洞)的超高分辨石笋氧同位素序列,研究 780 a 以来印度和东亚季风变化及其相互作用。阿曼石笋氧同位素记录印度季风的变化,和尚洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 则是东亚季风变化的指示器。笔者发现,在年代际尺度上阿曼石笋和中国石笋具有相同的氧同位素组成变化特征,同时反映了亚洲季风的强弱变化,表明了印度季风和东亚季风变化是同步的。

关键词 东亚季风; 印度季风; 洞穴石笋; 氧同位素

中图分类号: P597.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)06-761-04

Asynchronous Variation of Indian Monsoon and East Asian Monsoon: Evidence from High-Resolution Oxygen Isotope Records of Laminated Speleothems

ZHOU Chong HU Chaoyong HUANG Junhua XIE Shucheng

Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074

Abstract Indian Monsoon and East Asian Monsoon are two sub-systems of Asian Monsoon. A common pattern between the two monsoons at the seasonal and orbital time scales was formulated from the meteorological data and geological records. However, the relationship of the two sub-systems on the inter-annual and inter-decadal scales remains quite obscure. In this study, high-resolution oxygen isotope compositions of two laminated speleothems from the Defore Cave of Oman and the Heshang Cave of China were compared with each other to detect the link between the Indian Monsoon and the East Asian Monsoon. $\delta^{18}\text{O}$ of Defore stalagmite is characteristic of the Indian Monsoon while $\delta^{18}\text{O}$ of Heshang stalagmite is an indicator of the East Asian Monsoon. Two stalagmite records show similar structures for the last 780 years on the decadal scale, implying the asynchronous variation of the Indian Monsoon and the East Asian Monsoon.

Key words Indian monsoon; East Asian monsoon; speleothem; oxygen isotope

印度季风和东亚季风既相互紧密联系,又有其相对独立性(Tao et al., 1987)。从组成上讲,印度季风仅受热带季风影响,而东亚季风由热带季风和副热带季风两个部分组成(陈隆勋等,2006)。这种组成上的差异是否导致季风变化的不一致尚不清

楚。Wang等(2003)通过对现代观测资料的分析,认为由于存在相似的海陆配置,印度季风和东亚季风主要受太阳辐射(外作用力)引起的海陆差异所驱动,因而在季节和轨道时间尺度上,表现出相似的特征,即存在正相关关系;而在年代际和年代际尺度

本文由国家自然科学基金重点项目(编号:40531004)资助。

收稿日期:2008-09-20;改回日期:2008-11-04。责任编辑:刘志强。

第一作者简介:周翀,女,1984年生,硕士研究生,环境科学专业。

通讯作者:胡超涌,男,1964年生,教授,博士生导师,主要从事过去全球变化研究;通讯地址:430074,湖北省武汉市武昌鲁磨路388号;电话:027-61340960;E-mail:chyhu@cug.edu.cn。

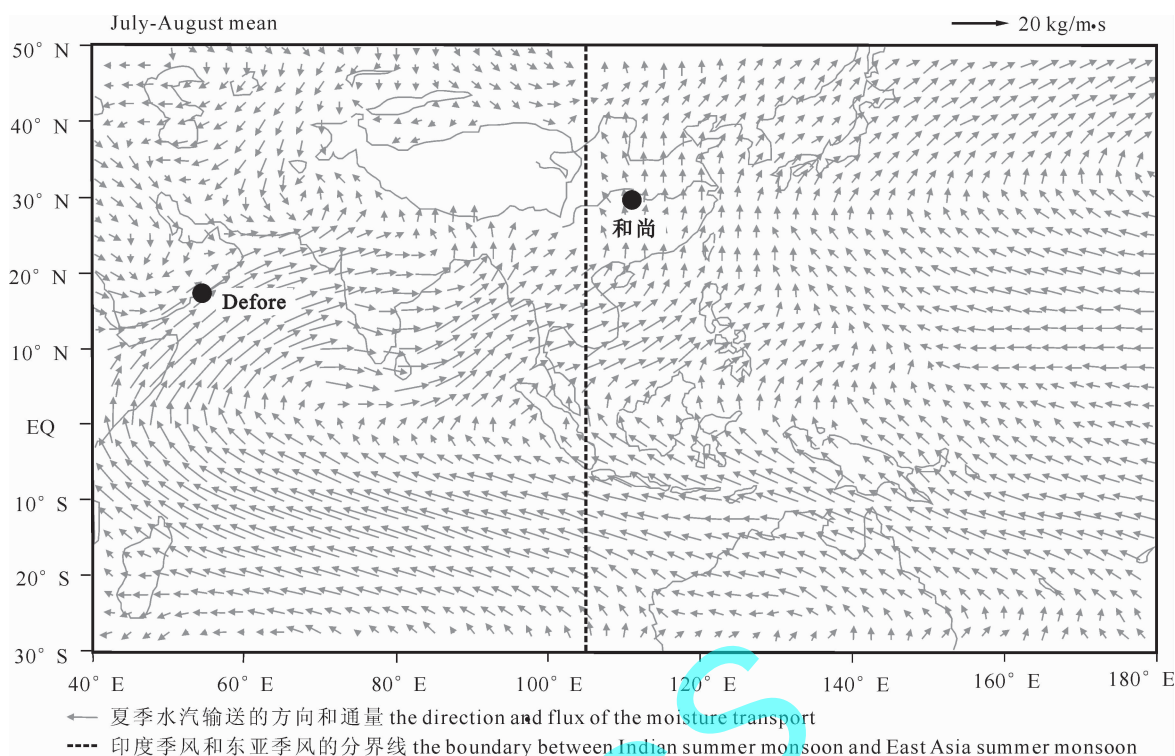


图1 和尚洞和 Defore 洞地理位置图(据 Wang 等, 2003 和 Fleitmann 等, 2004 修改)

Fig. 1 Geographic location of the Heshang and Defore caves (modified from Wang et al., 2003 and Fleitmann et al., 2004)

上,由于太平洋和印度洋海气相互作用(内作用力)的强弱差异,可能导致东亚季风和印度季风不一致。

近几年来亚洲季风区古气候记录的不断挖掘和积累,印度季风和东亚季风在轨道尺度上的正相关关系得到了证实。对比十年—百年分辨的石笋氧同位素记录,发现印度季风(Neff et al., 2001; Fleitmann et al., 2003)和东亚季风(Yuan et al., 2004; Wang et al., 2005)在千年尺度上不但有一致的变化规律,而且都受到太阳辐射的调控。然而,限于分辨率的不足,两个季风系统在年-年代际尺度上的相互关系尚缺乏有效的记录来证明。笔者借助于湖北清江和尚洞高沉积速率的洞穴石笋,分析其氧同位素组成,获取分辨率为1~3 a的时间序列。将其与同样高分辨率的阿曼南部 Defore 洞石笋氧同位素记录相比较,考察780 a以来印度季风和东亚季风的变化及其联系。

1 材料与方法

HS4 石笋采集于位于东亚季风区内的湖北省长阳县鱼峡口镇清江和尚洞,地理位置为 $30^{\circ}26'N$, $110^{\circ}25'E$,洞口高程为294 m(图1)。东亚季风气候所特有的季节温度和降水强烈反差以及洞穴特殊地质水文环境赋予了 HS4 石笋肉眼可辨年层(Johnson

et al., 2006)。因而,通过年层计数,笔者获得了准确到年的古气候时标(Hu et al., 2008)。本研究中古气候的时间框架的建立正是基于年层计数的结果,年龄误差小于10 a。

和尚洞石笋的氧同位素组成测定在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室同位素研究室进行。沿着石笋生长轴的方向,利用刻刀高分辨率(0.5~1.0 mm/样,约合时间分辨率1~3 a)连续刮取方解石粉末样品,利用经典的磷酸法提取 CO_2 ,在 MAT251 上测定 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$,分析精度均优于0.1‰。

S3 石笋生长于阿曼南部的 Defore 洞,其地理位置为 $17^{\circ}10'N$, $54^{\circ}05'E$,海拔高度约150 m(Fleitmann et al., 2004)。洞穴位于典型的印度季风区内(图1),对印度季风变化的响应灵敏(Burns et al., 2002; Fleitmann et al., 2003; 2004; 2007)。与和尚洞石笋一样,快速生长的 S3 石笋也有明显的年层,年层厚度0.2~0.5 mm(Burn et al., 2002)。石笋年层的存在为精确年代学(年层计数)和高分辨率氧同位素的研究提供了基础。利用年层计数和 U-Th 测年相结合的方法,Burns 等(2002)发现 S3 石笋在过去的780 a中连续生长。在此基础上,他们分析了603个样品的石笋氧同位素组成,建立了分辨率约1 a的氧同位

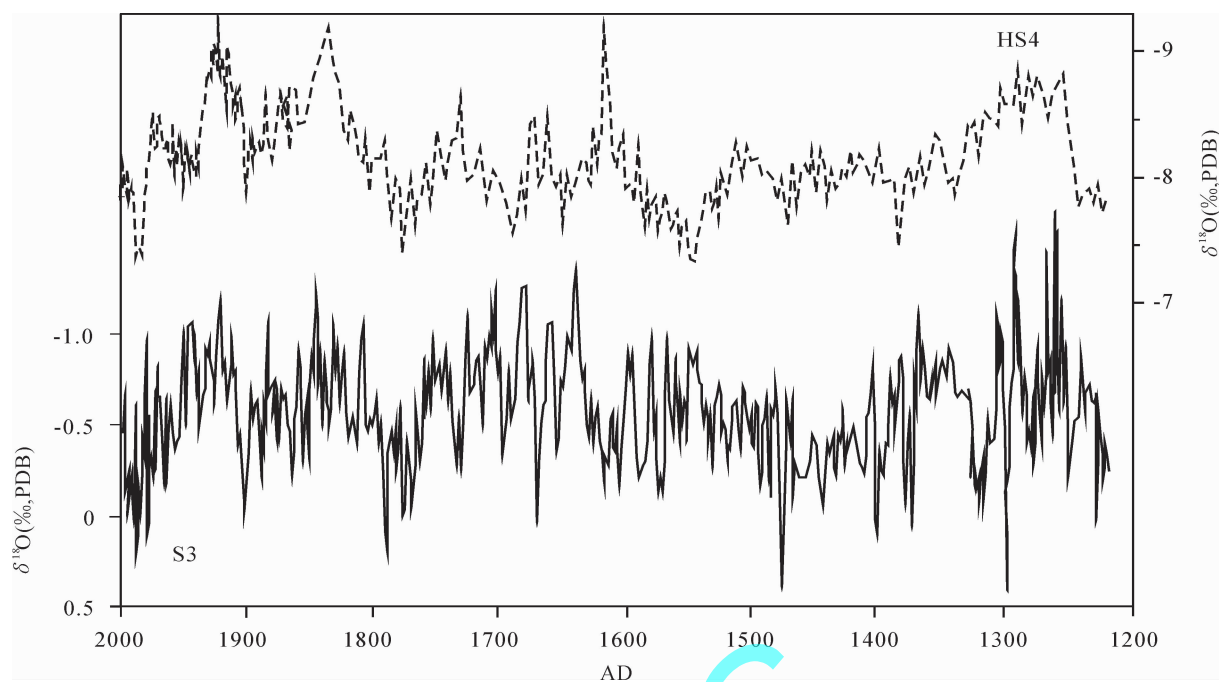


图2 和尚洞石笋(HS4)和 Defore 洞石笋(S3)氧同位素记录

Fig. 2 Oxygen isotopic records of speleothems from the Heshang Cave (HS4) and from the Defore Cave (S3)

素时间序列(Burns et al., 2002)。

可见,尽管 HS4 和 S3 石笋分别来自东亚季风区和印度季风区,但它们具有相似的生长特征,如明显的年层和高的生长速率。准确的定年(年层计数,误差小于 10 a)和高分辨率氧同位素时间序列(分辨率优于 3 a),为在年代际时间尺度上研究东亚季风和印度季风之间的相互关系提供了可能。

2 结果与讨论

2.1 石笋氧同位素组成与季风强度

根据同位素分馏原理,沉积平衡条件下碳酸盐的氧同位素只与母液的 $\delta^{18}\text{O}$ 和环境温度有关(O'Neil, 1964)。就洞穴碳酸盐而言,其同位素组成仅取决于岩溶滴水的同位素组成和洞穴温度影响。其中,洞穴温度(约等于当地的年均温度)对石笋碳酸盐的氧同位素的影响被称为洞穴温度效应,其大小是 $-0.24\text{‰}/\text{C}$,即温度每升高 1C ,碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 降低 0.24‰ 。

岩溶滴水由大气降水补给,因而其氧同位素组成继承了大气降水的信息。已有的研究表明,在地表蒸发相对较弱的地区(如亚洲季风区),洞穴滴水的氧同位素组成约等于当地降水的 $\delta^{18}\text{O}$ (Li et al., 1998)。水汽来源、从水汽源头到洞穴所在地之间的总降水量和大气温度等都会影响大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 。

因而,洞穴石笋氧同位素组成包含了水汽来源、降水、气温和蒸发等气候参数的综合影响的结果。在目前条件下,石笋氧同位素组成很难与单一的气候参数(如气温、降水量)建立一一的对应关系。

然而,石笋氧同位素组成与亚洲季风强度的关系比较简单,其对季风的指示意义相对明确。程海(2004)对石笋氧同位素组成与亚洲季风之间的关系进行了详细的研究,发现洞穴石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 是一个较好地表示亚洲季风强度的指标。当亚洲夏季风盛行时,长距离的水汽运输(远的水汽来源)、丰沛的降水(总降水量大)和相对暖的气候(温度高)均有利于 $\delta^{18}\text{O}$ 在同位素分馏过程中负偏,因而石笋碳酸盐的 $\delta^{18}\text{O}$ 也就偏负;反而,亚洲夏季风偏弱时,水汽运输的距离短,降水量小,加上相对偏低的气温,石笋氧同位素组成偏正。最近, Yang 等(2007)研究了 20 世纪沉积的石笋氧同位素组成与现代季风强度的关系,均证实 $\delta^{18}\text{O}$ 是指示亚洲季风环流变化的可靠指标。

2.2 780 a 以来东亚季风与印度季风的对比

图 2 分别是 780 a 以来湖北清江和尚洞石笋(HS4)和阿曼西南部 Defore 洞石笋(S3)的氧同位素组成的变化曲线。比较发现,无论是东亚季风,还是印度季风都呈现出周期性波动的特征。13 世纪到 14 世纪的中叶, $\delta^{18}\text{O}$ 总体偏负,指示季风强盛,

ITCZ北移,与历史文献记录的中世纪暖气相一致;其后, $\delta^{18}\text{O}$ 处于低水平的波动,表现出弱夏季季风特征。这种状况一直持续到17世纪初,与北半球的小冰期气候特征相符。17世纪中叶,季风逐渐加强,并在19世纪达到鼎盛;20世纪以后,季风逐渐减弱,与现代气候学家的认知相同。可见,十年尺度上,印度季风和东亚季风的変化基本同步,变化幅度也大致相同,说明两个季风系统的差别不明显。

值得注意的是,过去780 a的印度季风和东亚季风记录中均出现明显的弱季风事件。对比发现,事件发生的时间基本相同,均在笔者研究的定年误差范围(10 a)之内。其中心分别为:1430's、1530's、1630's、1720's、1810's、1900's和1980's。事件出现的周期为80~120 a,与树轮 ^{14}C 变化的周期(Stuiver et al., 1993)吻合,为太阳辐射驱动季风变化提供了新的证据。

3 结论

比较两个分别来自印度季风区和东亚季风区高分辨石笋氧同位素记录,研究其指示的季风环流特征,发现在年代际尺度上,阿曼石笋和中国湖北石笋的氧同位素组成具有相同的变化趋势和变化幅度。因而,亚洲季风的两个子系统(印度季风和东亚季风)的演变是同步的。

参考文献

- 陈隆勋,张博,张瑛. 2006. 东亚季风研究的进展[J]. 应用气象学报, 17: 711~724.
- 程海,艾思本,王先锋,汪永进,孔兴功,袁道先,张美良,林玉石,覃嘉祐,冉景丞. 2004. 中国南方石笋氧同位素记录的重要意义[J]. 第四纪研究, 25: 157~163.

References

- CHEN Longxun, ZHANG Bo, ZHANG Ying. 2006. Progress in research on the East Asian monsoon[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 17:711~727 (in Chinese with English abstract).
- CHENG Hai, EDWARDS R L, WANG Xianfeng, WANG Yongjin, KONG Xingong, YUAN Daoxian, ZHANG Meiliang, LIN Yushi, QIN Jiaming, RAN Jingcheng. 2004. Oxygen isotope records of stalagmites from Southern China [J]. Quaternary Sciences, 25: 157~163 (in Chinese with English abstract).
- FLEITMANN D, BURNS S J, MUDELSEE M, NEFF U, KRAMERS J, MANGINI A, MATTER A. 2003. Holocene forcing of the Indian monsoon recorded in a stalagmite from southern Oman[J]. Science, 300:1737~1739.
- FLEITMANN D, BURNS S J, NEFF U, MUDELSEE M, MANGINI A, MATTER A. 2004. Paleoclimatic interpretation of high-resolution oxygen isotope profiles derived from annually laminated speleothems from Southern Oman[J]. Quaternary Science Reviews,

23:935~945.

- FLEITMANN D, BURNS S J, MANGINI A, MUDELSEE M, KRAMERS J, VILLA I, NEFF U, SUBBARY A, BUETTNER A, HIPPLER D, MATTER A. 2007. Holocene ITCZ and Indian monsoon dynamics recorded in stalagmites from Oman and Yemen (Socotra)[J]. Quaternary Science Reviews, 26:170~188.
- BURNS S J, FLEITMANN D, MUDELSEE M, NEFF U, MATTER A, MANGINI A. 2002. A 780-year annually resolved record of Indian Ocean monsoon precipitation from a speleothem from south Oman[J]. Journal of Geophysical Research, 107: 4434~4442.
- HU C, HENDERSON G, HUANG J, XIE S, SUN Y, JOHNSON K. 2008. Quantification of Holocene Asian monsoon rainfall from spatially separated cave records[J]. Earth and Planetary Science Letters, 266: 221~232.
- JOHNSON K, HU C, BELSHAW N, HENDERSON G. 2006. Seasonal trace-element and stable-isotope variations in a Chinese speleothem: The potential for high-resolution paleomonsoon reconstruction[J]. Earth and Planetary Science Letters, 244:394~407.
- LI Hongchun, KU Telong, 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 $\delta^{18}\text{O}$ record[J]. Science in China (Ser. D), 44(2):362~368.
- NEFF U, BURNS S J, MANGINI A, MUDELSEE M, FLEITMANN D, MANGINI A, MATTER A. 2001. Strong coherence between solar variability and the monsoon in Oman between 9 and 6 kyr ago[J]. Nature, 411:290~293.
- O'NEIL J R, CLAYTON R N. 1964. Oxygen isotope geothermometry [A]. In: Craig H, Miller S L, Wasserburg G J, eds. Isotopic and Cosmic Chemistry[M]. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1964. 157~168.
- STUIVER M, BRAZIUNAS T F. 1993. Sun, ocean climate and atmospheric $^{14}\text{CO}_2$: An evaluation of causal and spectral relationships [J]. Holocene, 3: 289~305.
- TAO S, CHEN L. 1987. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China [A]. In: Chang C P, Krishnamurti T N, eds. Monsoon Meteorology [M]. Oxford: Oxford University Press, 60~92.
- WANG B, CLEMENS S C, LIU P. 2003. Contrasting the Indian and East Asian monsoons; implication on the geologic timescales[J]. Marine Geology, 201:5~21.
- WANG Y J, CHENG H, EDWARDS R L, HE Y Q, KONG X G, AN ZS, WU J Y, KELLY M J, DYKSSKI C A, LI X D. 2005. The holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate[J]. Science, 308:854~857.
- YANG Xunlin, ZHANG Pingzhong, CHEN Fahu, HUH Chihan, 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[J]. Chinese Science Bulletin, 5(29): 1238~1247.
- YUAN D, CHENG H, EDWARDS R L, DYKSSKI C A, KELLY M J, ZHANG M L, QING J M, LIN Y S, WANG Y J, WU J Y, DORALE J A, AN Z S, CAI Y J. 2004. Timing, duration, and transitions of the last interglacial Asian monsoon [J]. Science, 304:575~578.