

高分辨率石笋记录的三峡库区小冰期气候变化

杨勋林¹, 陈发虎², 袁道先^{1,3}, 程 海⁴, 张月明¹, 黄 帆¹

(1. 西南大学地理科学学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 3. 中国地质科学院岩溶地质研究所 国土资源部岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004; 4. 美国明尼苏达大学地质与地球物理系, 美国 明尼苏达, MN55455)

摘要: 基于重庆水鸣洞石笋(NSM03) 7个²³⁰Th年代数据和438个 $\delta^{18}\text{O}$ 数据建立三峡库区1250~1750 A.D.时段分辨率约为1 a的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录。分析显示石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值在1280 A.D.开始迅速偏重, 在1300 A.D.附近偏到近500 a来最重, 显示季风迅速减弱, 库区进入小冰期。石笋记录显示小冰期存在明显的年代际尺度干湿波动, 特别是在1400~1650 A.D.时段石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值高频振荡, 显示季风降水处于频繁波动期。功率谱分析显示石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 序列具有显著树轮 $\Delta^{14}\text{C}$ 周期和ENSO准周期, 揭示太阳活动是小冰期主要驱动因素, 同时受到海气耦合作用影响。

关键词: 石笋; 氧同位素; 亚洲季风; 小冰期; 三峡库区

中图分类号: P532 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)05-0629-06

过去1 000 a是气候变化研究中一个极具特殊意义的时间段, 其重要性不仅在于这个时段内人类活动对地球系统的影响日渐显著, 而且还在于这个时段是文字、器测数据和自然档案记录并存的时期。近几十年来, 学者们利用历史文献、树轮、洞穴石笋等信息载体围绕中世纪暖期(Medieval Warm Period, MWP)、小冰期(Little Ice Age, LIA)和现代变暖(Current Warm Period, CWP)3个时期开展了大量工作, 初步重建了中国历史气候变化序列, 研究显示, 中国近500 a并非经历单调寒冷的小冰期。内部存在次级冷暖波动^[1-3]。在中国东部季风区, 由于小冰期湿度变化具有较强的区域性以及缺乏好的降水替代指标, 还存在较多争议^[4-6]。较早的研究显示小冰期华北地区降水增多, 长江中下游及其以南区域降水相对减少^[4]; 最近研究发现小冰期长江流域降水偏多、华北降水偏少^[5]。近十几年来, 利用洞穴石笋记录研究季风演化和季风降水方面有了实质进展^[2,6,7]。石笋具有精确定年和高分辨率等优点, 成为当前国际古气候领域重要发展方向之一^[6,7]。本文基于三峡库区水鸣洞石笋²³⁰Th定年数据和 $\delta^{18}\text{O}$ 测试数据, 建立

三峡地区1250~1750 A.D.期间精确定年、高分辨率石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 序列, 从季风环流强度的角度尝试探讨小冰期开始时间, 分析小冰期内季风气候波动特点和规律, 并探讨其成因和驱动机制。

1 样品采集和石笋描述

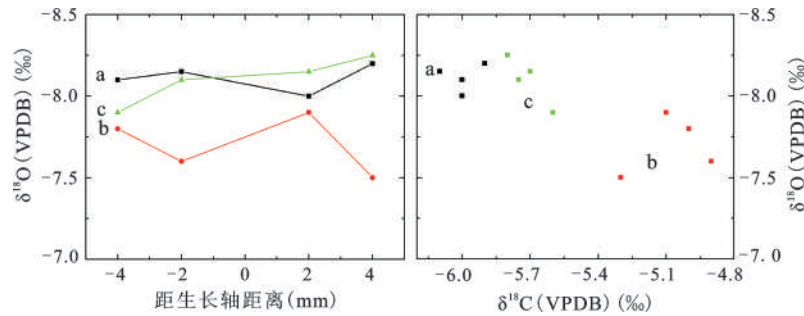
本文所用石笋采自于重庆市丰都县水鸣洞(107°47'E, 29°47'N), 处于典型季风系统作用的长江中上游地区。本区域气候属于亚热带湿润气候, 多年平均降雨量为1 400 mm, 年均气温为14℃。洞穴发育于三叠系下统嘉陵江组薄至中厚层状石灰岩中, 上覆厚层钙板; 植被群落以亚热带常绿阔叶林和灌丛为主; 洞穴内部相对湿度大于95%, 平均温度13.5℃, 通风环境差, 洞穴里有大厅^[8]。本文所用样品NSM03采自于洞内大厅之中, 石笋NSM03长90 mm, 柱状, 剖面为灰白色, 质地致密, 无重结晶、溶蚀等现象, 适合²³⁰Th法测年。

水鸣洞石笋NSM03结晶致密, 无明显后生变化, 同时我们从垂直于生长轴的3个不同层位各采集4个石笋样品进行Hendy检验(图1), 同一层采

收稿日期: 2012-06-25; 修订日期: 2012-10-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(41072141, 41272192)、重庆市自然科学基金项目(CSTC2009BB7107)、中央高校基本科研业务费重大项目(XDJK2012A003)、西南大学博士基金项目(SWUB2007043)资助。

作者简介: 杨勋林(1974-), 男, 河南潢川人, 副教授, 硕士生导师, 从事第四纪环境演变研究。E-mail: xlyang9999@163.com



左图为距离顶部不同深度各层位的 $\delta^{18}\text{O}$ 值; 右图为a~c层中 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的关系

图1 水鸣洞石笋NSM03的Hendy检验结果

Fig.1 The Hendy test result of the Shuiming Cave stalagmite NSM03 (left: $\delta^{18}\text{O}$ value of layers with different depths from the top; right: Relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in a-c layer)

样可能造成纹层的 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化幅度较小, $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围不超过0.5‰,而且在单个生长层内 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 之间没有显著相关关系^[9]。水鸣洞石笋NSM03的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与长江流域和尚洞^[6]石笋记录重叠时段呈现出比较一致的变化趋势(图2、3),更进一步证实水鸣洞石笋在沉积过程中达到平衡分馏。上述检验结果说明水鸣洞石笋氧同位素是在平衡分馏条件下沉积的,适于古气候重建。

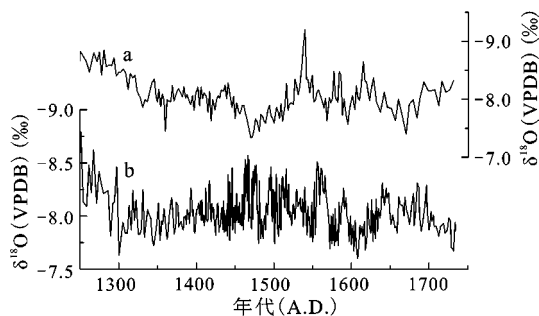
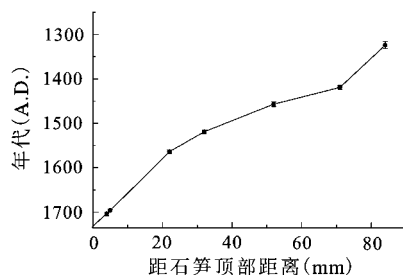


图2 和尚洞(a)石笋记录与水鸣洞(b)石笋记录^[6]对比

Fig.2 Comparison of $\delta^{18}\text{O}$ series of the stalagmite NSM03 between Heshang Cave(a) and Shuiming Cave(b)



黑点表示测年点位置; 蓝色竖线为误差

图3 石笋NSM03年代模式

Fig.3 The age model of the stalagmite NSM03

2 结果和讨论

2.1 实验方法和年代标尺

为获水鸣洞石笋碳氧稳定同位素分析样品,沿着石笋生长轴方向把石笋切开抛光,使用刻刀沿石笋生长轴方向且平行于生长纹层的采样面上刮磨,每毫米刮磨20个样品,为避免样品交叉污染,采用间隔取样分析。氧同位素分析测试在西南大学同位素实验室完成,分析仪器为Kiel-IV碳酸盐自动进样装置联动Delta V plus质谱仪, V-PDB 标准, $\delta = (R_{\text{sample}}/R_{\text{std}} - 1) \times 1000$,其中 $R = ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$,分析误差 $\leq \pm 0.06\text{‰}$ 。在石笋抛光面上沿着生长轴方向用5 mm钻头取得7个年代样品,单个样品重量约100~200 mg;年代样品NSM31和NSM37在台湾大学地质系高精度质谱与环境变迁实验室测试(表1),其余样品在美国明尼苏达大学地质与地球物理系同位素实验室测试;测试仪器为MC-ICP-MS Neptune,按Shen等方法^[10],年龄误差 $\leq 1\%(2\sigma)$ 。

2.2 石笋记录讨论

水鸣洞石笋NSM03在近500 a内共测试碳氧同位素438个,平均分辨率约1 a;石笋NSM03 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线记录长江三峡库区1250~1750 A.D.年时段气候波动特征,与中国小冰期起止时间相近。虽然人们对亚洲季风区石笋氧同位素所指示的气候意义还存在争议^[6,11],但多数研究显示季风环流强弱和夏季风带来的降水量应该是影响石笋氧同位素组成的主要因素^[2,7,8]。石笋NSM03的 $\delta^{18}\text{O}$ 值在1750~1250 A.D.时段内的变化范围为 $-8.80\text{‰} \sim -7.60\text{‰}$,平均值为 -8.05‰ ,变化幅度达到1.20‰。

表1 水鸣洞石笋NSM03 ²³⁰Th测年结果
Table 1 ²³⁰Th dating results of stalagmite NSM03 in Shuiming Cave

样品号	距离 (mm)	²³⁸ U (×10 ⁻⁹ g/g)	²³² Th (×10 ⁻¹² g/g)	δ ²³⁴ U 测量值	²³⁰ Th/ ²³⁸ U 活度 比	δ ²³⁴ U 初始值	²³⁰ Th(a) 校正年龄
NSM31	4	1036±3	51±4	0.017±0.0002	5574±393	5022±16	304±4
NSM32	5	958±1	434±2.2	0.017±0.0001	634±4	5058.5±8.9	312±2
NSM33	22	1072±4	132±2	0.025±0.0002	3339±54	5124±18	444±4
NSM34	32	1398±5	524±3	0.028±0.0002	1219±10	5173±14	489±4
NSM35	52	1087±4	735±3	0.031±0.0003	746±7	5040±19	551±5
NSM36	71	1115±2	1213±3.8	0.033±0.0001	494±3	5010.3±10.3	589±4
NSM37	84	954±3	1746±6	0.038±0.0003	342±3	5002±15	684±8

注:衰变常数取值为λ₂₃₀=9.157 7×10⁻⁶/a, λ₂₃₈=2.826 3×10⁻⁶/a, λ₂₃₅=1.551 25×10⁻¹⁰/a

1) LIA 开始时间。中国小冰期起止年代划分是人们关注的一个焦点问题。Yang 等利用冰芯、湖泊和树轮等资料重建了中国过去 2 000 a 温度变化序列,将 1400~1920 A.D.这一整体低温时段界定为小冰期^[3];满文敏则认为小冰期是指发生在公元 1550~1850 A.D.气候相对寒冷的时期^[12]。王绍武^[13]总结全球各地小冰期起止年代显示:小冰期开始时间范围从 1250~1550 A.D.,结束时间 1850~1900 A.D.。可见小冰期开始时间差异较大,争议较多。

水鸣洞石笋 NSM03 定年数据和 δ¹⁸O 曲线变化趋势显示东亚季风小冰期开始于 13 世纪末:石笋 δ¹⁸O 值在 1280 A.D.迅速偏重,在 1300 A.D.左右,石笋 δ¹⁸O 值偏到近 500 a 来最重,显示东亚季风减弱,长江三峡地区进入小冰期。对比亚洲季风区相同生长时期的石笋记录可以发现,印度季风区和东亚季风区石笋 δ¹⁸O 曲线显示的小冰期开始时间基本一致^[2,6,7,14~17],但在变化细节上存在差异(图 4)。印度^[15,16]和阿曼^[17]石笋显示出相似变化趋势,在 1300 A.D.石笋 δ¹⁸O 值迅速加重,随后又短暂偏轻。长江流域水鸣洞与和尚洞^[6]、贵州荔波董哥洞^[7]、黄土高原万象洞^[2]和黄爷洞^[14]等洞穴石笋 δ¹⁸O 记录在 1300 A.D.后偏轻趋势不太明显。其中万象洞和黄爷洞石笋 δ¹⁸O 从 1300 A.D.开始偏重,在 1350 A.D.达到谷底,这可能与区域因素和定年误差有关。

GRIP 冰芯^[18]显示 1300~1900 A.D.期间降温十分显著;Esper^[19]重建的北半球过去 1 150 a 温度变化曲线显示,大约 13 世纪开始进入小冰期;Mann^[20]根据北美和欧洲树轮与冰芯序列重建的北半球 1 000 a 温度曲线显示 13 世纪开始出现连续低温期。水鸣洞石笋记录显示中国进入小冰期时间与世界其他地方一致,进一步证明小冰期是一个全

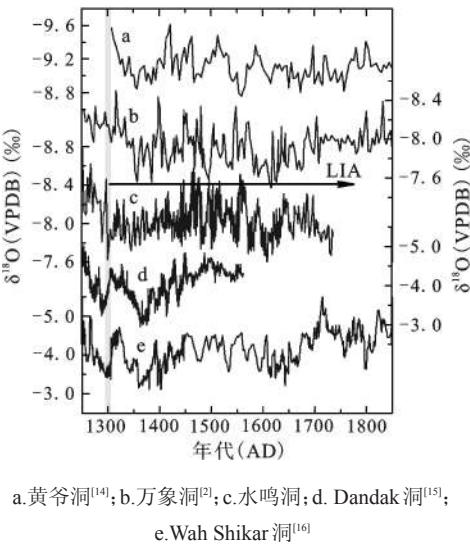


图4 亚洲季风区过去 500 a 石笋 δ¹⁸O 记录对比
Fig.4 Comparison of stalagmite δ¹⁸O records from the Asian monsoon region in the past 500 years

球性气候事件。

2) LIA 季风气候特征。小冰期内部干湿波动是人们关注的另一个焦点问题。水鸣洞石笋 NSM03 记录显示小冰期三峡地区季风降水存在明显的年代际尺度波动,特别是在 1400~1650 A.D.小冰期盛期石笋 δ¹⁸O 高频振荡,该时段夏半年季风降水处于波动频繁期,存在着一系列短时间尺度季风加强和减弱事件。其中在 1560~1580 A.D.时段,石笋 δ¹⁸O 出现较大幅度偏轻,出现一个短暂的季风加强时期,表明季风降水有所增加,这也得到藏南树轮记录^[21]和福建将乐玉华洞石笋记录^[22]的支持。水鸣洞石笋氧同位素记录显示在 14 世纪前半叶和 16 世纪末季风相对比较弱,万象洞^[2]、黄爷洞^[14]和董哥洞^[7]记录的分别发生在约 14 世纪和约 16 世纪末

两个弱季风谷相对应,万象洞石笋记录分别定义这两个时期为“元末弱季风时期”和“明末弱季风时期”。16世纪末的季风减弱期间中国历史文献资料显示发生了两次近500 a来中国东部地区的极端干旱事件^[23],同时得到中国树轮记录的支持^[24]。

综上所述,亚洲高分辨率石笋记录显示:亚洲季风区小冰期的开始时间基本一致,开始于13世纪末到14世纪初;小冰期季风整体偏弱,降水减少;小冰期盛期季风波动频繁,存在着短暂的季风加强和减弱事件。

2.3 LIA形成机制探讨

多数学者认为太阳活动是LIA形成主要原因之一^[25-30]。本文采用REDFIT37功率谱分析软件对水鸣洞NSM03石笋的 $\delta^{18}\text{O}$ 序列进行周期分析,在90%置信度水平下通过红噪声检验的周期分别有98、26、5、4和3 a。其中98 a周期在同一季风区董哥洞石笋D4记录中也有记载^[31],该周期与太阳活动世纪周期(Gleissberg周期80~120 a)密切相关;26 a周期成分是树轮 $\Delta^{14}\text{C}$ 周期,与太阳黑子活动周期22 a相对应^[25,32,33],反映太阳黑子周期通过地球大气传输作用于洞穴次生碳酸盐沉积过程;太阳活动能量改变可调节海陆热力差异,影响季风强弱进而作用于洞穴岩溶系统,为太阳辐射驱动气候变化学说提供又一新重要证据。

3~5 a周期和ENSO的2~7 a准周期有很好对应^[28]。位于东亚夏季风区的水鸣洞石笋所记录的3~5 a周期,应是ENSO大气环流的遥相关表现(图5)。近代器测资料研究表明,东亚夏季风活动与ENSO循环关系密切,但由于东亚夏季风控制范围较广,不同气候带(或区域)对ENSO循环的响应方式不同。

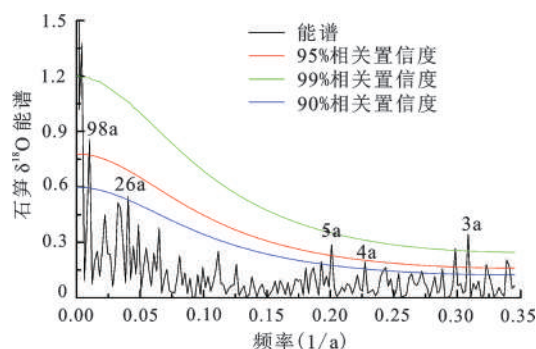


图5 水鸣洞石笋NSM03氧同位素序列功率谱分析结果

Fig. 5 Power spectral analysis of the stalagmite NSM03 $\delta^{18}\text{O}$ sequence from Shuiming Cave

3 结 论

利用重庆市丰都县水鸣洞石笋(NSM03)²³⁰Th年龄数据和 $\delta^{18}\text{O}$ 数据建立分辨率约为1 a的石笋氧同位素时间序列,重建了三峡库区1250~1750 A.D.期间季风气候变化历史,初步得出以下结论:

1) 石笋NSM03 $\delta^{18}\text{O}$ 值在1280 A.D.迅速偏重,在1300 A.D.附近石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏到近500 a来最重,显示亚洲季风在迅速减弱,长江三峡地区进入小冰期时期,这与亚洲季风区其他石笋序列显示的小冰期开始时间在定年误差范围之内基本一致。

2) 水鸣洞石笋NSM03记录显示小冰期除了冷暖波动外,还存在着明显的年代际尺度干湿波动,特别是在1400~1650 A.D.小冰期盛期石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 高频振荡,显示该时段夏半年季风降水处于频繁波动期。

3) 功率谱分析显示石笋NSM03 $\delta^{18}\text{O}$ 序列具有显著的98、26、5、4和3 a周期,与树轮 $\Delta^{14}\text{C}$ 周期和ENSO的2~7 a准周期有很好对应,揭示了太阳活动是小冰期的主要驱动因素,同时与ENSO循环密切相关。

致 谢: 台湾大学沈川洲教授、吴忠哲博士和兰州大学张德忠博士为本文测试部分²³⁰Th年龄,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 陈发虎,黄小忠,张家武,等.新疆博斯腾湖记录的亚洲内陆干旱区小冰期湿润气候研究[J].中国科学(D辑:地球科学),2007,37(01):77~85.
- [2] Zhang P Z, Cheng H, Edwards R L, et al. A test of climate, sun, and culture relationships from an 1810-year Chinese cave record[J]. Science, 2008, 322(5903): 940-942.
- [3] Yang B, Braeuning A, Johnson K R, et al. General characteristics of temperature variation in China during the last two millennia [J]. Geophysical Research Letters, 2002, 29(9): 381-384.
- [4] 王绍武,董光荣.中国西部环境特征及其演变[M].北京:科学出版社,2002:43~53.
- [5] 周秀骥,赵平,刘炯,等.中世纪暖期、小冰期与现代东亚夏季风环流和降水年代-百年尺度变化特征分析[J].科学通报, 2011, 56(25): 2060~2067.
- [6] Hu C Y, Henderson G M, Huang J H, et al. Quantification of Holocene Asian monsoon rainfall from spatially separated cave records[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2008, 266: 221-232.
- [7] 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(5723): 854-857.

- [8] 王建力,王 丽,何 潇,等.重庆地区末次冰期气候变化的石笋记录研究[J].地理科学,2006,**26**(5):580~585.
- [9] Hendy C H.The isotopic geochemistry of speleothems-I. The calculation of the effects of different modes of formation on the isotopic composition of speleothems and their applicability as palaeoclimatic indicators[J].*Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1971,**35**(8):801-824.
- [10] Shen C C,Cheng H,Edwards R L,et al.Measurement of attogram quantities of ^{231}Pa in dissolved and particulate fractions of seawater by isotope dilution thermal ionization mass spectrometry[J].*Analytical Chemistry*,2003,**75**(5):1075-1079.
- [11] 谭 明.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[J].第四纪研究,2009,**29**(5):851~862.
- [12] 满文敏,周天军,张 洁,等.一个气候系统模式对小冰期外强迫变化的平衡态响应[J].大气科学,2010,**34**(5): 914~924.
- [13] 王绍武.中世纪暖期与小冰期[J].气候变化研究进展, 2010,**6**(5):388~390.
- [14] Tan L C,Cai Y J,An Z S,et al.Centennial- to decadal-scale monsoon precipitation variability in the semi-humid region, northern China during the last 1860 years: Records from stalagmites in Huangye Cave[J].*The Holocene*,2010,**21**(2):287-296.
- [15] Ashish S,Kevin G Cannariato,Lowell D Stott.A 900-year (600 to 1500 A.D.) record of the Indian summer monsoon precipitation from the core monsoon zone of India[J/OL].*Geophysical Research Letters*, 2007.doi.10.1029/2007GL030431.
- [16] Ashish S,Lowell S,Max B,et al.A global context for megadroughts in monsoon Asia during the past millennium[J]. *Quaternary Science Reviews*,2011,**30**(1-2):47-62.
- [17] Fleitmann D,Stephen J B,Neff U,et al.Palaeoclimatic interpretation of high-resolution oxygen isotope profiles derived from annually laminated speleothems from Southern Oman[J].*Quaternary Science Reviews*,2004,**23**(7-8):935-945.
- [18] Jensen D D,Mosegaard K,Gundestrup N,et al.Past temperatures directly from the Greenland ice sheet[J].*Science*,1998,**282**(5387):268-271.
- [19] Esper J,Cook E R,Schweingruber F H.Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability[J].*Science*,2002,**295**(5563):2250-2253.
- [20] Mann M,Bradley R S.Northern hemisphere temperature during the past millennium:Inference Uncertainties, and Limitation[J]. *Geophysical Research Letters*,1999,**26**(6):759-762.
- [21] Zhu H F,Shao X M,Yin Z Y,et al.August temperature variability in the southeastern Tibetan Plateau since A D 1385 inferred from tree rings[J].*Palaeogeography,Palaeoclimatology,Palaeoecology*,2011,**305**(1-4):84-92.
- [22] 姜修洋,李志忠,李金全,等.最近 500 年来福建玉华洞石笋氧同位素记录及气候意义[J].地理科学, 2012,**32**(2):207~212.
- [23] Shen C M,Wang W,Hao Z X.Exceptional drought events over eastern China during the last five centuries[J].*Climatic Change*, 2007,**85**(3-4):453-471.
- [24] Cook E R,Anchukaitis K J,Buckley B M,et al.Asian monsoon failure and megadrought during the last millennium[J].*Science*, 2010,**328**(5977):486-489.
- [25] 洪业汤,刘东生,姜洪波,等.太阳辐射驱动气候变化的泥炭氧同位素证据[J].中国科学(D辑),1999,**29**(6):527~531.
- [26] 王丰年,李保生,王江龙,等.萨拉乌苏河流域MGS2层段粒度与 CaCO_3 记录的千年尺度气候变化[J].地理科学,2012,**32**(5): 596~602.
- [27] 李 枫,吴 立,朱 诚,等.江汉平原 12.76 cal. ka B.P.以来环境干湿变化的高分辨率研究[J].地理科学,2012,**32**(7): 878~884.
- [28] 李晓刚,黄春长,庞奖励,等.汉江上游白河段万年尺度洪水水文学研究[J].地理科学,2012,**32**(9):971~978.
- [29] 董进国,沈川洲,姜修洋.黄土高原东缘晚全新世高精度高分辨率石笋古环境记录[J].地理科学,2012,**32**(9):1136~1141.
- [30] 刘 刚,沈柏竹,廉 毅,等.亚洲阻塞高压分类及其与东北冷涡活动和东北夏季低温的联系[J].地理科学,2012,**32**(10): 1269~1274.
- [31] Dykoski C A,Edwards R L,Cheng H,et al.A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave,China[J].*Earth and Planetary Science Letters*,2005,**233**(1-2):71-86.
- [32] Berger A,Loutre M F.Insolation values for the climate of the last 10 million years[J].*Quaternary Science Reviews*,1991,**10**(4): 297-301.
- [33] 洪 冰,林庆华,洪业汤.全新世亚洲季风,ENSO 及高北纬度气候间的关联[J].科学通报,2006,**51**(17):1977~1984.

Climate Change During Little Ice Age with High-resolution Stalagmite Record in the Three-Gorges Reservoir Area

YANG Xun-lin¹, CHEN Fa-hu², YUAN Dao-xian^{1,3}, CHENG Hai⁴,
ZHANG Yue-ming¹, HUANG Fan¹

(1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir (Ministry of Education) School of Geography Science, Southwest University, Chongqing, 400715, China; 2. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China; 3. Karst Dynamics Laboratory, Ministry of Land and Resources, Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin, Guangxi 541004, China; 4. Department of Geology and Geophysics, University of Minnesota, Minnesota, MN 55455, USA)

Abstract: A high-resolution oxygen isotope profile of the past 500 years was established with an average resolution of approximately one year, based on 7 high-precision ²³⁰Th dates and 438 stable oxygen isotope ratios ($\delta^{18}\text{O}$) which were obtained from a stalagmite (NSM03) collected from Shuiming Cave, Chongqing City. So the variation of summer monsoon precipitation in the Three-Gorges reservoir area during the period of 1250-1750 A.D. was reconstructed. The $\delta^{18}\text{O}$ value of the stalagmite NSM03 became heavier rapidly from 1280 A.D., and reached to the heaviest around 1300 A.D. During the past 500 years, the Asian monsoon became weak rapidly, implying the Little Ice Age (LIA) starts. The trend of $\delta^{18}\text{O}$ record from stalagmite NSM03 coincides with the other stalagmite records of the Asian monsoon region within the limits of dating error. Results showed that there were obvious interdecadal wet and dry fluctuations in LIA, especially during 1400-1650 A.D. $\delta^{18}\text{O}$ value of the stalagmite fluctuated dramatically indicating that monsoon precipitation was in frequently fluctuate period. Spectral analysis showed NSM03 $\delta^{18}\text{O}$ sequence had significant cycle of 98, 26, 5, 4, and 3 years (above the 99% confidence level). Similar periodicities of 98 and 26 years were proved by the $\delta^{18}\text{O}$ record, further supporting the idea that solar changes were mainly responsible for Asian monsoon intensity changes in LIA; and 5, 4 and 3 years were consistent with the 2-7 years standard cycle of El Nino-Southern Oscillation (ENSO), which implied that LIA climate variation had a close relation with ENSO.

Key words: stalagmite; $\delta^{18}\text{O}$; LIA; Asian Monsoon; Three-Gorges reservoir area