

贵州草海沉积物纤维素氧同位素研究 及其古环境意义

朱正杰^{1, 2, 3, 4}, 莫建兵², 张维⁵, 陈敬安^{1*}, 曾艳^{1, 6}

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042; 3. 重庆市国土资源和房屋管理局矿产地质与环境地质重点实验室, 重庆 400042; 4. 煤炭资源与安全开采国家重点实验室重庆研究中心, 重庆 400042; 5. 贵州省环境科学研究设计院, 贵阳 550002; 6. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 纤维素在湖泊沉积过程中不易发生分解, 故其稳定同位素组成能真实地反映原始环境信息。本文在建立一套有效的四阶段(酸洗、碱洗、漂白及碱洗)湖泊沉积物纤维素提取基础上, 成功测定了近500年草海沉积物纤维素氧同位素组成。草海纤维素氧同位素组成与董哥洞石笋恢复的降雨量的一致性变化表明纤维素氧同位素主要反映湖水氧同位素组成, 进而指示了湖区降雨量变化。

关键词: 草海; 纤维素; 氧同位素; 湖水氧同位素; 降雨量

中图分类号: P597; P532 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9250(2010)01-0008-06

自从 Urey 等人上世纪五十年代前后提出氧同位素古温度计理论以来^[1-3], 湖泊沉积物碳酸盐、氧同位素已经大量地应用在中古气候、古环境研究中。因此, 在湖泊沉积指标的研究中我们通常使用的材料是湖泊沉积物碳酸盐^[4-13]。在湖泊体系中, 湖泊沉积物自生碳酸盐在沉淀时与水体达到氧同位素平衡, 碳酸盐氧同位素组成主要受碳酸盐沉淀时水体氧同位素组成和温度的控制^[5-13]。众多学者建立了碳酸盐氧同位素、水体氧同位素和温度之间的定量方程, 比较常用的是 Craig 方程^[5]:

$$t(^{\circ}\text{C}) = 16.9 - 4.2(\delta - \delta_0) + 0.13(\delta - \delta_0)^2$$

然而, 由于湖泊沉积物碳酸盐氧同位素同时受湖水氧同位素组成和温度的影响, 因此利用碳酸盐氧同位素组成常常也存在一些问题。即使是在已经成为共识的干旱一半干旱区水文封闭的湖泊中也存在着分歧, 甚至得出两种截然不同的结论。如 Lister 和 Henderson 等人认为青海湖(水文封闭湖泊)碳酸盐(包括生物和无机碳酸盐)氧同位素组成主要受降雨/蒸发平衡变化的影响, 从而进一步指示亚洲

季风强度变化^[12, 13]; 然而 Xu 等人却认为青海湖碳酸盐氧同位素组成主要受湖水温度变化的影响^[9]。事实上, 造成上述结论分歧的主要原因是温度变化对碳酸盐氧同位素和大气降水氧同位素的影响程度不同, 此外温度还可以进一步影响湖水蒸发, 因此导致了碳酸盐氧同位素的解释存在多解性。

纤维素 $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ 是植物体中含量丰富的有机组分之一, 由 C、H 和 O 三种元素组成。纤维素在沉积过程中有机大分子纤维素不易发生降解, 故沉积物纤维素稳定同位素能真实地反映原始环境信息。纤维素除了存在于植物残体(如泥炭等)外, 在有机质含量较高的湖泊沉积物中, 通常以分散微粒形式存在于藻类细胞、浮游动物排泄物和无定形有机质中^[14-23]。大量研究表明湖泊水生植物纤维素氧同位素只受水体氧同位素组成和纤维素合成过程中的氧同位素生物化学分馏控制, 因此纤维素合成过程中与水体的氧同位素分馏非常稳定, 湖泊水生植物纤维素氧同位素则可靠记录了湖水 $\delta^{18}\text{O}$ 变化。相对于碳酸盐氧同位素组成, 纤维素氧同位素

收稿日期: 2009-09-03 改回日期: 2009-01-16

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目资助(2006CB403201)和国家自然科学基金面上项目(40673068)

第一作者简介: 朱正杰(1984-), 男, 博士研究生, 主要从事湖泊沉积与全球气候变化研究, E-mail: zhuzhjie@163.com

* 通讯作者: 陈敬安, 研究员。E-mail: chenjingan@vip.skleg.cn.

组成更能反映古气候变化信息。然而, 湖泊沉积物纤维素稳定同位素的研究受到了极大的限制, 其原因在于两方面: 一是纤维素氧同位素分析测试技术(高温镍管热解)的限制^[24, 25]; 二是湖泊沉积物纤维素含量低, 提取纯的纤维素比较困难, 难以满足连续流质谱测试纤维素氧同位素的要求。目前关于湖泊沉积物纤维素提取主要是依据 Green 等人提取树木和植物纤维素的方法建立起来的^[26-28], 其方法流程复杂。作者通过反复试验建立了一套有效的四阶段湖泊沉积物纤维素提取方法, 为其稳定同位素在古气候中的研究提供了方法依据^[29]。

此外, 对于受西南季风区影响的贵州省来说, 由于历史文献记录相对较少, 利用自然记录中的环境代用指标特别是高分辨率的湖泊沉积记录恢复过去气候与环境显得尤为重要。不幸的是, 贵州省的古气候研究主要集中在石笋, 并且时间尺度多为万年。例如, Yuan 和 Wang 等人利用贵州荔波地区董哥洞石笋氧同位素组成恢复了该地区万年以来东亚季风的 变化历史^[30, 31], 而该地区近千年古气候研究基本上是一片空白。本文通过对贵州草海沉积物纤维素氧同位素组成结合放射性¹⁴C 的研究, 成功恢复了该地区近 500 年降雨量变化历史, 同时也为研究湖泊沉积物纤维素氧同位素提供了可靠依据。

1 研究区概况

草海(地理坐标: 26° 49' ~ 26° 53' N, 104° 12' ~ 104° 18' E)是一个高原湖泊, 位于贵州省威宁县西南部(图 1)。湖泊水位 2171 m, 长 14.2 km, 最大宽 6.2 km, 平均宽 1.76 km。湖泊最大水深 5.0 m, 平均水深 2.4 m。草海属山地亚热带西南季风气候, 垂直气候带明显。湖区年平均降水量 950.9 mm, 5 ~ 10 月降水占年降水量的 88%。湖水水化学分析结果表明其离子总量达 276 mg/L, 属重碳酸盐类钠组 II 型水。湖水呈弱碱性, 高硬度^[32]。草海沉积物有机质含量丰富^[32], 是研究纤维素氧同位素组成的理想场所。

2 样品采集与实验方法

采用自制的重力采样器于 2007 年 10 月在贵州草海采得长约 142 cm 的沉积物柱芯, 所采沉积物柱芯保持完好, 悬浮层未受扰动, 界面水清晰。沉积物柱芯在野外现场按 0.5 ~ 1.5 cm 间隔分样, 装入塑料袋中密封保存。所采集的沉积物样品经真空冷

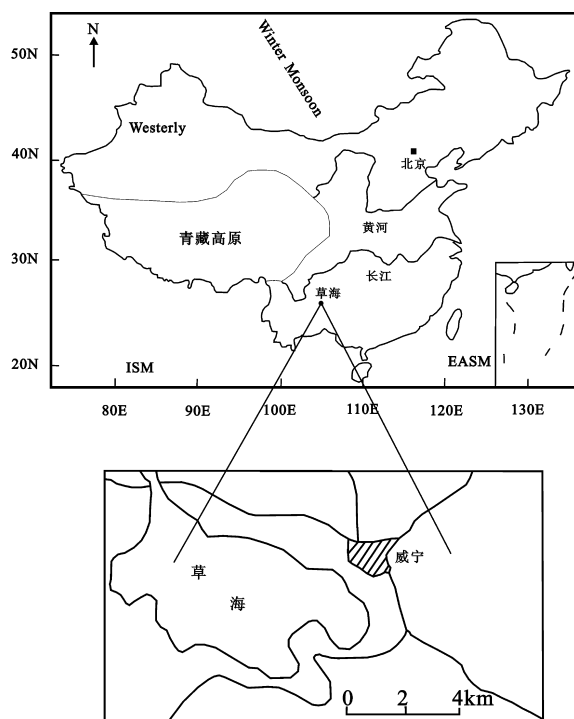


图 1 草海地理位置图

Fig. 1 Geographical location of Lake Caohai

冻干燥器(型号: FD-1A-50)干燥后, 直接进行有机质纤维素提取实验。

纯的纤维素样品的获得是进行纤维素氧同位素研究的前提。作者通过反复试验, 建立了一套有效的四阶段湖泊沉积物有机质纤维素提取方法, 包括酸洗、碱洗、漂白及碱洗。红外光谱结果表明提取物为纯的 α -纤维素^[29]。

将 0.4 mg 纯纤维素样品装入银杯包裹, 后直接进入连续流质谱分析其氧同位素组成, 仪器型号为 EA IsoPrime, 以国际纤维素标样 IAEA-C3 ($\delta^{18}\text{O} = 32.20\text{‰}$) 为参考标准校正分析结果。测量误差小于 0.40‰; 结果采用 SMOW 标准。氧同位素值采用千分比单位(‰), 以 δ 符号表示:

$$\delta = [(R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}}] \times 10^3$$

式中, R_{sample} 为样品的同位素比值; R_{standard} 为标准样品的同位素比值。

3 结果

草海沉积物的计年是根据陆源植物¹⁴C 获得^[33]。草海沉积物有机质纤维素 $\delta^{18}\text{O}$ 值随年代变化见图 2。由图可知, 纤维素 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化范围为 8.69‰ ~ 24.35‰, 平均值为 16.52‰。 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化主要分为两个阶段, 其中, 1500 ~ 1750 年, $\delta^{18}\text{O}$ 值呈现下降的趋势; 1750 年至今, 整体上呈现上升的趋势。

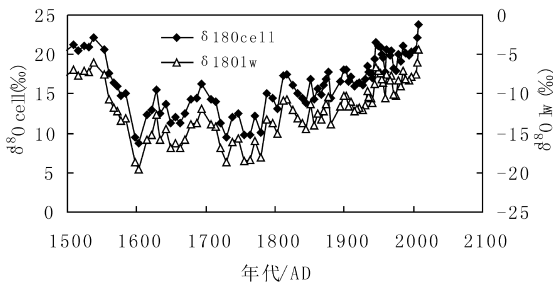


图2 草海沉积物柱芯纤维素 $\delta^{18}\text{O}$ 值与恢复的湖水 $\delta^{18}\text{O}$ 值

Fig. 2 The $\delta^{18}\text{O}$ values of cellulose and reconstructed $\delta^{18}\text{O}$ values of lake water at Lake Caohai

4 讨论

4.1 草海沉积物有机质来源

利用湖泊沉积物有机质纤维素氧同位素进行古气候重建, 必须首先查明有机质的来源, 这是因为陆源植物合成纤维素的氧并不来源于湖水^[21]。湖泊沉积物有机质 C/N 比结合其碳同位素组成 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) 是判断有机质来源的有效手段^[34-36]。草海沉积物有机质 C/N 比值和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 表明其沉积物有机质主要来源于大型水草(图 3)^[33, 37]。

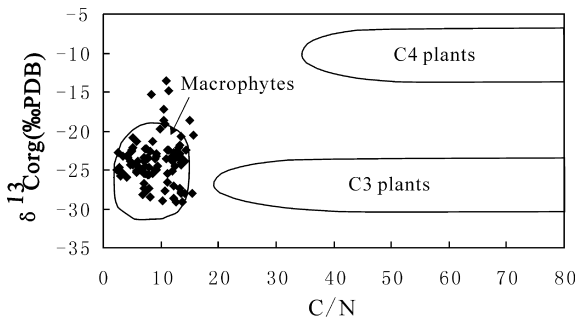


图3 草海沉积物有机质的碳同位素和 C/N 比值特征

Fig. 3 Carbon isotopic characteristics and C/N ratios of organic matter at Lake Caohai

4.2 湖泊沉积物纤维素氧同位素环境意义辨识

植物组织中的纤维素, 除存在于植物残体(如泥炭和树木残体)外, 在有机质含量较高的湖泊沉积物中, 还会以分散细粒形式存在于藻类细胞、浮游动物排泄物和无定形有机质中存在^[14-23]。

众多的实验和野外研究揭示了水生植物纤维素氧同位素与其生长介质的氧同位素分馏系数是一常数^[4, 28, 38-43](见表 1)。这是因为水生植物合成纤维素时所需的氧来源于其生长环境中的水介质和溶于水中的 CO_2 , 而 CO_2 在被结合进入纤维素结构之

前已很快与水达到氧同位素平衡^[4, 39]。因此, 湖泊水生植物纤维素氧同位素只受水体氧同位素组成和纤维素合成过程中的氧同位素生物化学分馏控制。大量的研究表明, 纤维素合成过程中与水体的氧同位素分馏非常稳定(表 1), 其分馏系数 α 约为 1.028 ± 0.001 ($\alpha = R_{\text{cellulose}}/R_{\text{water}}$, $R_{\text{cellulose}}$ 代表纤维素 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 值, R_{water} 代表水体 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 值), 且不受植物种类、光合作用模式、水体温度等因素影响^[4, 28, 38-43]。显然, 水体氧同位素组成事实上直接决定了湖泊水生植物纤维素氧同位素组成。反过来, 湖泊水生植物纤维素氧同位素则可靠记录了湖水 $\delta^{18}\text{O}$ 变化。为了进一步揭示水生植物能在多高精度下记录水体 $\delta^{18}\text{O}$ 变化, Sauer 等人分别在具有不同氧同位素组成的水体中培植水生苔藓, 他们的研究表明, 新生长苔藓的纤维素 $\delta^{18}\text{O}$ 与水体 $\delta^{18}\text{O}$ 呈现出非常好的线性关系, $\delta^{18}\text{O}_{\text{cellulose}} = 0.882 \delta^{18}\text{O}_{\text{water}} + 28.3\%$, 两者的相关系数高达 0.9997, 误差仅为 0.2‰^[4](图 4)。这进一步证实了水生植物纤维素氧同位素可定量记录湖水 $\delta^{18}\text{O}$ 变化。因此, 湖泊沉积物水生植物纤维素氧同位素能够指示湖水氧同位素组成, 通常采用的两者之间分馏系数为 1.028, 由此获得了草海过去 500 年湖水氧同位素组成(图 2)。

表 1 不同植物纤维素和其生存介质的氧同位素分馏系数

Table 1. The oxygen isotope fractionation coefficients for different plant celluloses and their loading water

Freshwater plants	Field or Laboratory	T (°C)	$\alpha_{\text{cell-water}}$	参考文献
<i>Ceratopteris sp.</i>	L(水芹)	20	1.0292	[39]
<i>Cryptocoryne sp.</i>	L(椒草)	25	1.0289	[39]
<i>Isoetes howellii</i>	L(Submerged Aquatic CAM Plant)	25	1.0290	[28]
<i>Vallisneria spiralis</i>	L(水茜)	25	1.0285	[28]
<i>Chara contraria</i>	L(对枝轮藻)	25	1.0280	[28]
Green algae	F		1.0294	[41]
Aquatic moss	F		1.0287	[41]
<i>Eichornia</i>	F		1.0278	[42]
<i>Sphagnum sp.</i>	F(水藓)		1.0260	[43]
<i>Eichornia leaves</i>	F		1.0255	[43]

4.3 草海沉积物纤维素 $\delta^{18}\text{O}$ 的古气候指示意义

前已论述, 草海沉积物有机质主要来源于湖泊水生植物, 因此草海沉积物有机质纤维素氧同位素组成能够反映历史时期湖水氧同位素组成。对于封

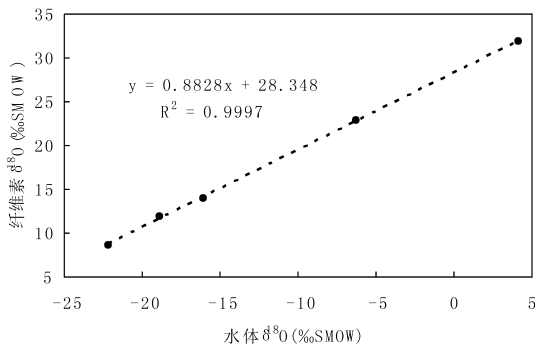


图 4 苔藓纤维素 $\delta^{18}\text{O}$ 与水体 $\delta^{18}\text{O}$ 的相关关系^[4]

Fig. 4 The correlation between the $\delta^{18}\text{O}$ values of moss cellulose and those of water

闭湖泊来说,湖水氧同位素组成主要反映了大气降水氧同位素组成和湖水蒸发变化强弱。一般情况下,世界上高纬度地区很多站点的雨水氧同位素遵守“温度效应”,即炎热夏季降水 $\delta^{18}\text{O}$ 大,寒冷冬季降水 $\delta^{18}\text{O}$ 小;而世界上低纬度地区的降水氧同位素主要受“降雨量效应”的控制,即雨季降水量大,降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 值小,在降水稀少的月份,大气降水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值大^[44,45]。草海位于我国西南季风区,全年降雨主要集中在夏季,其中 5~10 月降水占全年降水量的 88%^[32]。昆明(西南季风区)气象台的雨水 $\delta^{18}\text{O}$ 值测定结果表明,降水氧同位素主要受降雨量控制^[46]。同样,IAEA/WMO 连续 7 年分月份同时测定了昆明地区降雨、温度以及大气降水氧同位素组成,研究结果表明降水量的多少是控制该地区大气降水氧同位素组成变化的主要因素^[47]。罗维均等人分析了中国大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的区域特征,证实了在

我国西南大部分地区(尤其是川—滇—黔三省交界地区),雨水氧同位素组成明显受“降雨量效应”控制^[45]。综合上述前人研究结果说明在低纬度地区特别是西南季风区,大气降水氧同位素组成主要受降雨量的影响。因此,湖水氧同位素组成主要反映了湖区蒸发/降水的变化,进而指示湖区降雨量的变化。

由于草海地区缺乏高分辨的自然记录代用指标,我们选择了与临近地区的石笋同位素记录进行对比。张美良等利用贵州荔波董哥洞石笋重建该地区 2300 年亚洲季风变化历史即降雨量变化^[48],其中近 500 年该区干湿变化主要分为两个阶段,1550~1750 年的湿润期和 1750 年至今的干旱期,这与草海沉积物纤维素氧同位素记录的干湿变化是一致的(图 2)。说明草海沉积物纤维素氧同位素可靠地记录了该地区降雨量的变化历史。

5 结 论

由于湖泊沉积物碳酸盐氧同位素同时受湖水氧同位素组成和温度的影响,因此利用碳酸盐氧同位素组成常常也存在一些问题。本文成功测定了草海近 500 年沉积物有机质纤维素氧同位素组成,结果表明纤维素氧同位素主要反映了湖水氧同位素组成,进而指示了湖区降雨量变化,与邻近地区董哥洞石笋结果的一致性进一步证明了该结论。

致 谢 感谢安宁工程师在分析纤维素氧同位素过程中给予的帮助,同时感谢贵州威宁气象局在草海野外采样时给予的协助。

参 考 文 献

- [1] Urey H C, Epstein S, Lowenstam H A, *et al.* Measurement of palaeotemperatures and temperatures of the upper cretaceous of England, Denmark and southeastern United States [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1951, 26: 399—416.
- [2] Urey H C. The thermodynamic properties of isotopic substances [J]. *Journal of Chemical Society*, 1947, 108: 562—581.
- [3] Epstein S, Bushbaum R, Lowenstam H A, *et al.* Revised carbonate-water isotopic temperature scale [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1953, 62: 417—426.
- [4] Sauer P E, Miller G H and Overpeck J T. Oxygen isotope ratios of organic matter in arctic lakes as a paleoclimatic proxy: field and laboratory investigations [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2001, 25: 43—64.
- [5] Craig H. The measurement of oxygen isotope palaeotemperatures [A]. In: Tongiorgi E (Ed.), *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Palaeotemperatures* [C]. Pisa, Consiglio Nazionale delle Ricerche Laboratorio di Geologia Nucleare, 1965: 161—182.
- [6] Anderson L, Abbott M B and Finney B P. Holocene climate inferred from oxygen isotope ratio in lake sediments, central Brooks range, Alaska [J]. *Quaternary Research*, 2001, 55: 313—321.
- [7] Teranes J L and McKenzie J A. Lacustrine oxygen isotope record of 20th century climate change in central Europe: Evaluation of climatic controls on oxygen isotope in precipitation [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2001, 26: 131—146.

- [8] Leng M J and Marshall J D. Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives[J] . Quaternary Science Reviews, 2004, 23: 811—831.
- [9] Xu H, Ai L, Tan L G, *et al.* Stable isotopes in bulk carbonates and organic matter in recent sediments of Lake Qinghai and their climatic implications[J] . Chemical Geology, 2006, 235: 262—275.
- [10] Lamb H F, Leng M J, Telford R J, *et al.* Oxygen and carbon isotope composition of authigenic carbonate from an Ethiopian lake: a climate record of the last 2000 years[J] . The Holocene, 2007, 17 (4): 515—524.
- [11] Rosqvist G C, Leng M J and Jonsson C. North Atlantic region atmospheric circulation dynamics inferred from a late-Holocene lacustrine carbonate isotope record, northern Swedish Lapland[J] . The Holocene, 2007, 17: 867—873.
- [12] Henderson A C G, Holmes J A. Palaeolimnological evidence for environmental change over the past millennium from Lake Qinghai sediments: A review and future research perspectives[J] . Quaternary International, 2009, 194: 134—147.
- [13] Lister G S, Kelts K, Chen K Z, *et al.* Lake Qinghai, China: closed-basin lake levels and the oxygen isotope record for ostracod since the latest Pleistocene[J] . Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1991, 84: 141—162.
- [14] Bourbonniere R A, Meyers P A. Characterization of sedimentary humic matter by alkaline hydrolysis[J] . Organic Geochemistry, 1983, 5: 131—142.
- [15] Edwards T W D, McAndrews J H. Paleohydrology of a Canadian Shield lake inferred from $\delta^{18}\text{O}$ in sediment cellulose[J] . Canadian Journal of Earth Sciences, 1989, 26: 1850—1859.
- [16] 陈毅凤, 万国江. 泸沽湖沉积物 α 纤维素的提取及其稳定碳同位素研究初探. 地质地球化学, 1999, 4(27): 72—76.
- [17] Wolfe B B, Edwards T W D, Aravena R. Rapid Holocene hydrologic change along boreal treeline revealed by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in organic lake sediments, Northwest Territories, Canada[J] . Journal of Paleolimnology, 1996, 15: 171—181.
- [18] Wolfe B B and Edwards T W D. Hydrologic control on the oxygen-isotope relation between sediment cellulose and lake water, western Taimyr Peninsula, Russia: Implications for the use of surface-sediment calibrations in paleolimnology[J] . Journal of Paleolimnology, 1997, 18: 283—291.
- [19] Wolfe B B, Edwards T W D and Duthie H C. A 6000-year record of interaction between Hamilton Harbour and Lake Ontario: Quantitative assessment of recent hydrologic disturbance using ^{13}C in lake sediments cellulose[J] . Aquatic Ecosystem Health and Management, 2000b, 3: 47—54.
- [20] Wolfe B B, Edwards T W D, Aravena R, *et al.* Holocene paleohydrology and paleoclimate at treeline, north-central Russia inferred from oxygen isotope records in lake sediment cellulose[J] . Quaternary Research, 2000a, 53: 319—329.
- [21] Wolfe B B, Aravena R, Abbott M B, *et al.* Reconstruction of paleohydrology and paleohumidity from oxygen isotope records in the Bolivian Andes[J] . Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2001, 176: 177—160.
- [22] Wolfe B B, Falcone M D, Edwards T W D. Cellulose extraction from lake sediments for $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ analysis[M] . Technical Procedure 28.0. University of Waterloo, Waterloo, 2005.
- [23] Wolfe B B, Falcone M D, Clogg-wright K P, *et al.* Progress in isotope paleohydrology using lake sediment cellulose[J] . Journal of Paleolimnology, 2007, 37: 221—231.
- [24] Edwards T W D, Buhay W M, Elgood R J, *et al.* An improved nickel-tube pyrolysis method for oxygen isotope analysis of organic matter and water[J] . Chemical Geology, 1994, 114: 179—183.
- [25] Sauer P E and Sternberg L S L. Improved method for the determination of oxygen isotopic composition of cellulose[J] . Analytical Chemistry, 1994, 66: 2409—2411.
- [26] Green J W. Wood cellulose[M] . New York: Academic Press, 1963, 9—20.
- [27] Yapp C J and Epstein S. A reexamination of cellulose carbon-bound hydrogen δD measurements and some factors affecting plant-water D/H relationships[J] . Geochimica et Cosmochimica Acta, 1982, 46: 955—965.
- [28] Sternberg L S L, DeNiro M J and Johnson H B. Isotope ratios of cellulose from plants having different photosynthetic pathways[J] . Plant Physiology, 1984, 74: 557—561.
- [29] 朱正杰, 陈敬安. 湖泊沉积物 α -纤维素提取方法[J] . 沉积学报, 2009, 27(3): 36—39.
- [30] Yuan D X, Cheng H and Edwards R L, *et al.* Timing, duration and transition of the last interglacial Asian Monsoon. Science[J] , 2004, 304: 575—578.
- [31] 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.
- [32] 王苏民, 窦鸿声. 中国湖泊志[M] . 北京: 科学出版社, 1998.

- [33] 朱正杰. 湖泊沉积物碳氧同位素和介形虫 L/Ca 比值与古环境重建[D]. 中国科学院地球化学所博士论文, 2009.
- [34] Meyers P A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry*, 1997, 27: 213—250.
- [35] Meyers P A and Ishiwatari R. Lacustrine organic geochemistry—an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry*, 1993, 20: 867—900.
- [36] Rapid 20th century environmental change on northeastern Baffin Island, Arctic Canada inferred from a multi-proxy lacustrine record[J]. *Journal of Paleolimnology*, 2008, 40: 507—517.
- [37] Zhu Z J, Chen J A, Zeng Y, *et al.* Research of carbon isotope composition of organic matter from Lake Chenghai and Caohai sediments[J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, in press.
- [38] Epstein S, Thompson P and Yapp C J. Oxygen and hydrogen isotopic ratios in plant cellulose[J]. *Science*, 1977, 198: 1209—1215.
- [39] DeNiro M J and Epstein S. Isotopic composition of cellulose from aquatic organisms[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1981, 45: 1885—1894.
- [40] Yakir D. Variations in the natural abundance of oxygen-18 and deuterium in plant carbohydrates[J]. *Plant Cell and Environment*, 1992, 15: 1005—1020.
- [41] Abbott M B, Wolfe B B, Aravena R, *et al.* Holocene hydrological reconstructions from stable isotopes and palaeolimnology, Cordillera Real, Bolivia[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2000, 19: 1801—1820.
- [42] Benucci K R M, Anderson W. Calibration of the oxygen isotope fractionation factor during cellulose synthesis in aquatic algae and plants of tropical East Africa[A]. San Francisco, California, American Geophysical Union, Abstracts, 1998: 47.
- [43] Aucour A M, Marcel C H, Bonnefille R. Oxygen isotopes in cellulose from modern and Quaternary intertropical peatbogs: implications for palaeohydrology[J]. *Chemical Geology*, 1996, 129: 341—359.
- [44] Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation[J]. *Tellus* 1964, 16: 436—468.
- [45] 罗维均, 王世杰, 刘秀明. 中国大气降水 $\delta^{18}O$ 区域特征及其对古气候研究的意义[J]. *地球与环境*, 2008, 36(1): 47—55.
- [46] 郑淑惠, 侯发高, 倪葆龄. 我国大气降水的氢氧同位素研究[J]. *科学通报*, 1983, 28(13): 801—806.
- [47] IAEA/WMO. Global network for isotopes in precipitation[W]. 1998. www.iaea.org/programs/ri/gnip/gnipmain.htm.
- [48] 张美良, 程海, 林玉石. 贵州荔波地区 2000 年来石笋高分辨率的气候记录[J]. *沉积学报*, 2006, 24: 339—348.

Oxygen Isotopic Composition of Cellulose in Sediments from Lake Caohai, and Its Paleoenvironmental Implications

ZHU Zheng-jie^{1,2,3,4}, MO Jian-bing², ZHANG Wei⁵, CHEN Jing-an¹, Zeng Yan^{1,6}

- (1. The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China; 3. Key Laboratory of Geology for Mineral Resources & Environment, Chongqing Administration of Land, Resources and Housing, Chongqing 400042, China; 4. Chongqing Research Center of State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, Chongqing 400042, China; 5. Guizhou Research and Designing Institute of Environmental Science, Guiyang 550002, China; 6. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Cellulose is difficult to degrade in the lake deposits and its isotopic composition can truly reflect the original environmental information. On the basis of the cellulose extraction method including acid washing, alkaline washing, bleaching and also alkaline washing, we have successfully measured the oxygen isotopic composition of cellulose in organic matter from Lake Caohai sediments in the past 500 years. The good agreement between $\delta^{18}O$ values of cellulose at Lake Caohai and precipitation variations reconstructed from Dongge Cave suggests that the $\delta^{18}O$ values of cellulose can be used to deduce the $\delta^{18}O$ values of lake water, thus reflecting the precipitation variations.

Key words: Lake Caohai; cellulose; oxygen isotope; oxygen isotope of lake water; precipitation