

# 湖泊沉积物中有机碳稳定同位素测定及其古气候环境意义\*

沈吉 王苏民 羊向东

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**提要** 1991年5月, 利用澳大利亚转动式采样器在江苏固城湖获得总长6.2m的完整柱状岩芯, 以5cm间隔采样, 对样品中有机质的稳定碳同位素研究表明, 较低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值指示寒冷的气候环境; 较高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值指示温暖的气候环境。该研究与岩芯中孢粉、硅藻所反映的气候环境十分吻合, 因此湖泊沉积物中有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值具有一定反映气候冷暖波动的意义。

**关键词** 湖泊沉积物 同位素 古气候

在湖泊沉积研究领域, 目前国际上通常采用3种途径获得反映气候环境变化的稳定同位素记录, 一是对沉积物中碳酸盐矿物的 $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ 值进行研究 (Kelts, 1990; Talbot, 1986), 但这一工作在选分不同成因碳酸盐矿物上有一定难度, 此外各种碳酸盐矿物之间存在的同位素分馏差异以及这种差异对指示气候环境的影响尚未得到解决; 二是对沉积物中微体化石 (如介形类等) 的 $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ 值进行研究 (Keith, 1964), 但要在湖泊沉积物各层位中找到同一属种的微体化石也是很难达到的; 三是对湖泊沉积物中有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值进行研究 (Nakai, 1984), 该工作目前国内外还刚刚起步, 它将稳定同位素方法与有机地球化学相结合, 开辟了古气候、古环境研究的新途径。

## 1 测定方法

湖泊沉积物中有机碳在过量氧气中燃烧生成 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ , 然后进行分离转移, 将得到的 $\text{CO}_2$ 用不同冷冻剂净化、收集, 最后在MAT-251型质谱仪上测定其 $\delta^{13}\text{C}$ 值。

$$\delta^{13}\text{C} (\times 10^{-3}) = \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{样}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标}}}$$

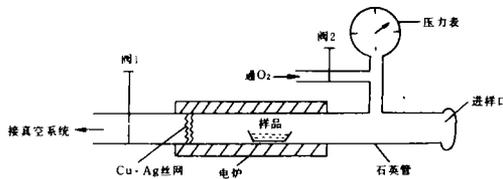


图1 静态氧化实验装置

Fig.1 Experimental equipment of static oxidation

\* 中国科学院湖泊沉积与环境开放实验室资助项目, 910018号。沈吉, 男, 出生于1963年6月, 副研究员。

收稿日期: 1992年6月20日, 接受日期: 1996年3月10日。

图1为静态氧化实验装置制备 $\text{CO}_2$ 气体工作过程示意, 其具体步骤如下:

(1) 将原始湖泊沉积物样品在低温( $<60^\circ\text{C}$ )条件下烘干, 磨细至100目; 用稀盐酸浸泡24h, 除去样品中的碳酸盐矿物, 过滤, 低温( $<60^\circ\text{C}$ )烘干至衡重。

(2) 将大约含3—4mg有机碳的样品装入石英舟内, 把装有样品的石英舟推入石英管的炉温区。

(3) 打开阀1, 抽真空至 $2 \times 10^{-4} \text{P}_a$ 后, 关闭阀1。

(4) 打开阀2, 通高纯氧气至 $5 \times 10^4 \text{P}_a$ , 关闭阀2。

(5) 打开电炉, 升温至 $900^\circ\text{C}$ , 灼烧样品15min。

(6) 打开阀1, 转移反应生成的 $\text{CO}_2$ 气体, 并收集在集气瓶中。最后在MAT-251型质谱仪上测定其 $\delta^{13}\text{C}$ 值。实验误差小于 $0.05 \times 10^{-3}$ 。

## 2 有机碳稳定同位素研究的气候环境意义

以固城湖为例, 湖泊沉积物中有机碳主要有两大来源: 其一来自湖泊生物(如浮游生物等)的内源成因; 其二来自湖区周围入湖水流带入的陆生生物的外源成因。据不同纬度海洋浮游生物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的研究(Sackett, et al., 1965), 其明显受水温控制, 高纬度 $0^\circ\text{C}$ 海水至低纬度 $25^\circ\text{C}$ 海水, 浮游生物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相差 $6 \times 10^{-3}$ 。Degens (1969) 总结现代海洋沉积物中有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值时指出, 高纬寒冷地区沉积物中有机质具有较低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 而低纬温暖地区沉积物中有机质具有较高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。植物根据不同的生理习性可分为3种类型, 即 $\text{C}_3$ 、 $\text{C}_4$ 和CAM, 如果光合作用的最初产物为四碳二羧酸, 则相应植物称为 $\text{C}_4$ 植物; 如果光合作用的最初产物为三磷酸甘油酯, 则相应植物称为 $\text{C}_3$ 植物; CAM植物属于中间类型。正由于不同类型植物光合作用的固碳方式不同, 导致不同类型植被的生理习性和同位素分馏效应不同。 $\text{C}_3$ 植物主要生活在温度较低、日照不强的环境, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值较低, 一般为 $-21 (10^{-3})$ — $-33 (10^{-3})$ , 平均为 $-27 (10^{-3})$ , 并且 $\text{C}_3$ 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值愈小, 表明植物生长环境的温度愈低(Degens, 1969);  $\text{C}_4$ 植物则不同, 温度越高, 日照越强, 生长越繁盛, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-10 (10^{-3})$ — $-21 (10^{-3})$ , 平均为 $-14 (10^{-3})$ 。所以如果湖泊沉积物中的有机质来源于周围入湖水流带入的陆生植物, 则通过 $\delta^{13}\text{C}$ 值的研究, 也能间接地指示气候环境。

固城湖位于江苏省高淳县境内, 属水阳江、青弋江水系, 为一开口湖泊。对湖心一个6.2m沉积岩芯研究表明, 整个岩芯的岩性为砂质粘土与粉砂, 其物源较为稳定, 主要来自水阳江和青弋江两条河流带入的沉积物, 岩芯底部6.2m处 $^{14}\text{C}$ 年龄为 $3630 \pm 230\text{a}$ 。

对岩芯中有机质研究表明, 不同深度沉积物中有机质类型变化较小, 且种类单调。主要有有机质类型有脂肪酸、甾类、萜类和腐殖酸。其中脂肪酸以类胡萝卜素为主; 甾类都为相当简单的甾醇型式, 而且其甾醇侧链结构也是有限的, 如胆甾醇、甾烷醇等, 表现出高等植物的特征; 萜类主要为环状二萜类, 均系高等植物树脂和支持组织的主要组分, 表现出针叶树的特征; 不可溶有机质主要为腐殖酸。由此可见, 沉积物中有机质主要来自湖区周围随入湖水流带入的陆生植物, 少量为湖泊内源生物。

植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化主要受温度、生长期间大气环境中局部 $\text{CO}_2$ 压力以及大气中 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化的影响。Francey等(1982)提出了植物中碳同位素的分馏模式:

$$\delta^{13}\text{C}_D = \delta^{13}\text{C}_a - a - (b-a) P_i / P_a \quad (1)$$

式中  $\delta^{13}\text{C}_D$ ,  $\delta^{13}\text{C}_a$  分别指植物纤维素和大气  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{13}\text{C}$  值;  $P_i$ ,  $P_a$  分别指植物在生长时纤维素细胞内外所受的  $\text{CO}_2$  局部压力;  $a$  指  $\text{CO}_2$  中  $^{13}\text{C}$  和  $^{12}\text{C}$  的扩散系数 [其值约为  $4.4 (10^{-3})$ ];  $b$  指碳的生物化学分馏系数 [约为  $27 (10^{-3})$ ]。所以 (1) 式又可改写为:

$$\delta^{13}\text{C}_D = \delta^{13}\text{C}_a - 4.4 - 22.6 P_i / P_a \quad (2)$$

植物对  $\text{CO}_2$  的吸收速率  $A$  则由下列关系式与  $\text{CO}_2$  的局部压力联系:  $A = g(P_a - P_i)$ 。其中  $g$  为植物叶片的微孔导通系数。

高温时期, 植物叶片表面蒸发比较强烈, 植物为了减少水分的损耗, 就会自身进行调节, 减少蒸发, 关闭叶片的部分微孔, 因而降低了微孔的导通性, 使  $g$  值变小, 从而使得叶片内部  $\text{CO}_2$  浓度变小, 即  $P_i$  值降低, 最终导致植物纤维素的  $\delta^{13}\text{C}$  值增加。反之, 低温时期植物纤维素的  $\delta^{13}\text{C}$  值降低。

固城湖沉积岩芯都为近代沉积物, 沉积物中有机质未经成岩过程, 其  $\delta^{13}\text{C}$  值基本反映了沉积前有机物的  $\delta^{13}\text{C}$  值, 因此沉积物中有机质的  $\delta^{13}\text{C}$  值指示当时植被生长的环境是有效的。对岩芯中有机质的  $\delta^{13}\text{C}$  值测定表明, 固城湖有机碳的  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $-22.5 (10^{-3})$ — $-27.3 (10^{-3})$ , 属于  $\text{C}_3$  植物来源, 即主要为高等植物来源, 因此沉积物中有机碳的  $\delta^{13}\text{C}$  值与气温成正比关系。

5.5—6.2m 有机碳的  $\delta^{13}\text{C}$  值达到最大, 有机碳含量也最高 (7%), 沉积物粒度最细, 硅藻指示该段湖面大, 湖水深; 孢粉研究表明, 该段木本花粉占优势, *Quercus*, *Castanea* 含量较高, 为温暖湿润的气候环境。

4.25—5.5m  $\delta^{13}\text{C}$  值急剧下降, 有机碳含量也降低, 沉积物粒度增大, 孢粉中 *Pinus*, *Quercus*, *Polypodiaceae* 占优势, 指示该段为一温凉湿润的气候环境。

3—4.25m  $\delta^{13}\text{C}$  值缓慢上升, 有机碳含量也略有上升, 该段湖面增大, 孢粉中 *Quercus*, *Gramineae*, *Typha* 占优势, 气候从温凉湿润转为温和湿润。

2.2—3m  $\delta^{13}\text{C}$  值降为最低 ( $-27.3 \times 10^{-3}$ ), 有机碳含量也最低, 沉积物粒度较粗, 孢粉中 *Gramineae*, *Artemisia*, *Quercus* 占优势, 指示较冷的略干的气候环境。

1.6—2.2m  $\delta^{13}\text{C}$  值上升, 有机碳含量也上升, 湖面增长, 沉积物粒度变细, 孢粉中 *Quercus*, *Pinus*, *Castanea* 占优势, 气候转为温凉湿润。

1—1.6m  $\delta^{13}\text{C}$  值略有下降, 孢粉中 *Gramineae*, *Artemisia*, *Quercus* 占优势, 指示该段为温凉略干的气候环境。

0.4—1m  $\delta^{13}\text{C}$  值增大, 有机碳含量增高, 孢粉中 *Pinus*, *Gramineae*, *Quercus*, *Artemisia* 占优势, 指示该段为温和略干的气候环境。

0—0.4m 该段沉积物中  $\delta^{13}\text{C}$  值和有机碳含量都超出正常范围, 显示工业污染。

由上述对固城湖各段岩芯研究结果可见,  $\delta^{13}\text{C}$  值和有机碳含量呈同步变化,  $\delta^{13}\text{C}$  值所指示的气候环境与孢粉、硅藻研究结果所反映的气候环境十分吻合, 因此  $\delta^{13}\text{C}$  值在指示湖泊沉积所反映的古气候环境方面有一定可信度, 它可作为反映气候冷暖波动的代用指标之一。

### 3 结语

沉积物中有机质主要来自湖区周围随入湖水流带人的陆生植物, 少量为湖泊内源生物。

固城湖沉积岩芯都为近代沉积物, 沉积物中有机质未经成岩过程, 其  $\delta^{13}\text{C}$  值基本反映了沉积前有机物的  $\delta^{13}\text{C}$  值, 因此沉积物中有机质的  $\delta^{13}\text{C}$  值指示当时植被生长的环境是有效的。对岩芯中有机质的  $\delta^{13}\text{C}$  值测定表明, 固城湖有机碳的  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $-22.5(10^{-3})$ , 属于  $\text{C}_3$  植物来源, 即主要为高等植物来源, 因此沉积物中有机碳的  $\delta^{13}\text{C}$  值与气温成正比关系。

固城湖各段岩芯研究结果可见,  $\delta^{13}\text{C}$  值和有机碳含量呈同步变化,  $\delta^{13}\text{C}$  值所指示的气候环境与孢粉、硅藻研究结果所反映的气候环境十分吻合。因此,  $\delta^{13}\text{C}$  值在指示湖泊沉积所反映的古气候环境方面有一定可信度, 它可作为反映气候冷暖波动的代用指标之一。

### 参 考 文 献

- Degens, E. T., 1969, *Organic Geochemistry*, Springer, Heidelberg University Publication (England), 304—329.
- Francey, R. J., Farquhar, G. D., 1982, *Nature*, **296**: 8—31.
- Keith, W. L., Weber, J. N., 1964, *Geochem. Cosmochem. Acta*, **28**: 1986.
- Kelts, K., Talbot, M. R., 1990, *Sci. Tech.*, **38**: 290—317.
- Nakai, N., 1984, *Isotopic studies*, **2**: 2666—2669.
- Sackett, W. M. et al., 1965, *Science*, **148**: 235—237.
- Talbot, M. R., Kelts, K., 1986, *Ghana. Geology*, **14**: 912—916.

## MEASUREMENT OF ORGANIC CARBON STABLE ISOTOPE IN LACUSTRINE SEDIMENTS AND ITS SIGNIFICANCE ON PALEOCLIMATE AND ENVIRONMENT

Shen Ji, Wang Sumin, Yang Xiangdong

(*Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

**Abstract** This paper reports use of stable isotopic methods to study the lacustrine sediments collected in Gucheng Lake, Jiangsu Province in May, 1991. The paleoclimate can be reconstructed through the study of  $\delta^{13}\text{C}$  values in sedimentary organic materials. It can be concluded that smaller  $\delta^{13}\text{C}$  values indicate colder climate, and that larger values indicate warmer climate. This conclusion is in accordance with studies diatom and palynology. So the  $\delta^{13}\text{C}$  record of sedimentary organic material is sensitive reflection of past climate change.

**Key words** Lacustrine sediment Isotope Paleoclimate