

# 湖泊沉积物有机质碳同位素研究

朱正杰<sup>1,2</sup>, 陈敬安<sup>1</sup>, 曾艳<sup>1,3</sup>, 李航<sup>2</sup>, 双燕<sup>2</sup>, 任世聪<sup>2</sup>

(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, 贵州 贵阳 550002

2 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042 3 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

自从 Stuiver<sup>[1]</sup>首次使用湖泊沉积物有机质碳同位素 ( $\delta^3\text{C}_{\text{org}}$ ) 恢复湖泊生产力变化以来, 湖泊沉积物有机质碳同位素被广泛应用于古气候和古环境重建。然而, 由于其来源复杂且影响因素较多, 虽然众多学者在利用湖泊沉积物有机质碳同位素组成恢复古气候方面有更多的探讨, 但到目前为止, 对湖泊沉积物有机质碳同位素组成的影响因素的认识尚未形成一致的结论, 在古气候解释方面仍存在分歧甚至得出相反的结论。本文的研究结果发现在不同类型水生植物湖泊中, 沉积物有机质  $\delta^3\text{C}$  值对湖泊初级生产力变化的响应过程不同, 为以后研究有机质碳同位素组成提供借鉴作用。

## 1 研究区概况

程海 (地理坐标:  $26^{\circ}27'26''\text{N}$ ,  $100^{\circ}38'10''\text{E}$ ) 位于云南省永胜县境内, 距永胜县城西南约 20 km。程海为一构造断陷湖, 汇水面积较小, 无远源河流输入, 因而其湖泊水位、水化学组成及沉积物组分对环境变化敏感。湖区属于暖带山地季风气候, 年均降水量 736.8 mm, 6~10月占全年降水量的 90%。湖区周围植被不发育, 主要有云南松和灌丛等。

草海 (地理坐标:  $26^{\circ}49'26''\text{N}$ ,  $104^{\circ}12'10''\text{E}$ ) 是一个高原湖泊, 位于贵州省威宁县西南部。草海属山地亚热带西南季风气候, 湖区年平均降水量 950.9 mm, 5~10月降水占年降水量的 88%。湖区周围主要植被为高原山地常绿林、常绿阔叶林等。

## 2 样品采集和实验方法

利用重力采样器于 2006年在云南程海采得沉积物柱芯 B柱, 2007年在贵州草海采得沉积物柱芯 Q柱。沉积物柱芯在野外现场按 0.5~1.5 m 间隔分样, 沉积物样品经真空冷冻干燥器 (型号: FD-1A-50) 干燥后, 然后研磨成 100目以下的粉末, 以备进一步分析。

有机质碳同位素测定前处理采用盐酸法, 后利用连续流质谱测定碳同位素组成, 仪器型号为 EA IsoPrime, 以国际纤维素标样 IAEA-C3 ( $\delta^3\text{C} = -24.91\text{‰}$ ) 为参考标准校正分析结果。测量误差小于 0.1‰, 结果采用 PDB标准。采用美国 PE公司生产的型号为 PE2400II 型元素分析仪对沉积物粉末进行全 C 含量和有机质 C/N 比值分析, 测量误差均小于 5%。利用滴定法测定无机碳含量, 有机碳含量为全碳含量和无机碳含量之差。

## 3 有机质碳同位素的湖泊生产力响应过程

程海和草海沉积物有机质分别来源于湖泊水生植物藻类和大型水草<sup>[2]</sup>。在湖泊生态系统中, 影响湖泊沉积物有机质  $\delta^3\text{C}$  值变化的主要因素是不同有机质来源的比例以及湖水溶解无机碳 (DIC) 的  $\delta^3\text{C}$  值<sup>[3]</sup>。不同来源的有机质具有不同的碳同位素组成, 程海和草海沉积物有机质主要来源于单一水生植物<sup>[2]</sup>, 因此不可能是不同有机质来源比例影响了程海和草海沉积物有机质碳同位素组成, 湖水溶解无机碳 (DIC) 的  $\delta^3\text{C}$  值才是决定其有机质  $\delta^3\text{C}$  值变化的主要因素。

众多研究者建立了湖泊沉积物有机质  $\delta^3\text{C}$  随湖泊初级生产力变化的响应模式, 即随着湖泊初级生产力的逐渐增大, 使得水体中可利用  $\text{CO}_2$  减少, 水生植物倾向于吸收湖水溶解无机碳

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2006CB403201); 国家自然科学基金项目 (40673068)

作者简介: 朱正杰, 男, 1983年生, 博士研究生, 主要从事湖泊沉积与全球气候变化研究. E-mail: zhuzhijie@163.com

(DIC)中  $\text{HCO}_3^-$  作为碳源。由于  $\text{HCO}_3^-$  的  $\delta^{13}\text{C}$  值比可溶解  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{13}\text{C}$  偏正<sup>[4,5]</sup>, 从而导致有机质  $\delta^{13}\text{C}$  值偏正; 反之, 随着湖泊初级生产力的逐渐减小, 有机质  $\delta^{13}\text{C}$  偏负。

然而, 从图 1 可以看出, 程海沉积物有机质  $\delta^{13}\text{C}$  值随有机质含量的升高呈明显的下降趋势, 两者呈明显的负相关变化 ( $R = -0.62$ ,  $n = 108$ ,  $\alpha < 0.01$ )。导致这种变化的原因是藻类(程海沉积物有机质来源)吸收的  $\text{CO}_2$  来源会受到湖泊环境制约而改变。富营养化初级阶段湖泊生产力得到提高, 藻类吸收的  $\text{CO}_2$  部分来源于大气  $\text{CO}_2$ , 随着营养化加剧, 藻类发育, 水中溶解的  $\text{CO}_2$  与大气  $\text{CO}_2$  的交换平衡被打破, 水体中溶解的  $\text{CO}_2$  已经不能满足藻类生长的需要, 有机质降解作用产生的  $\text{CO}_2$  逐渐被藻类吸收, 导致有机质碳同位素组成偏负, 因此有机质藻类的降解是程海沉积物有机质  $\delta^{13}\text{C}$  值随湖泊生产力增大呈现降低变化的主要原因。

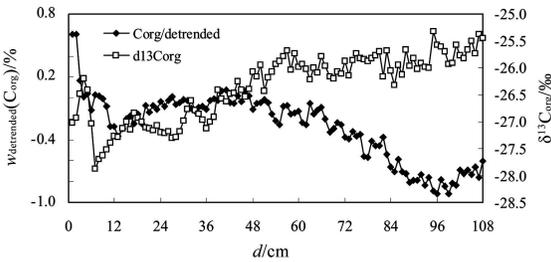


图 1 程海沉积物有机碳含量(去趋势化后)和  $\delta^{13}\text{C}$  值变化图

草海沉积物有机质  $\delta^{13}\text{C}$  值变化见图 2。草海沉积物有机质主要来源于大型水生植物, 湖泊沉积物有机质  $\delta^{13}\text{C}$  随湖泊初级生产力的逐渐增大, 使得水体中可利用  $\text{CO}_2$  减少, 大型水生植物难以降解使得其倾向于吸收湖水溶解无机碳 (DIC) 中  $\text{HCO}_3^-$  作为碳源, 导致有机质  $\delta^{13}\text{C}$  偏正。草海沉积物有机质含量和  $\delta^{13}\text{C}$  值呈明显的正相关变化 ( $R = 0.3$ ,  $n = 99$ ,  $\alpha < 0.01$ ), 也证实了有机质  $\delta^{13}\text{C}$  随湖泊初级生产力的逐渐增大而增大的趋势。

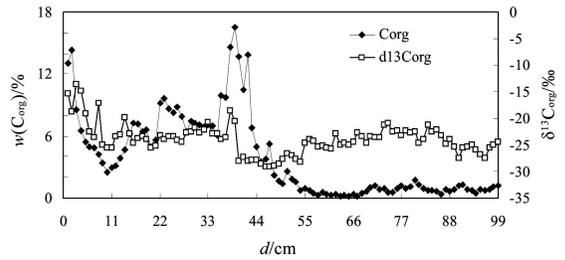


图 2 草海沉积物有机碳含量和  $\delta^{13}\text{C}$  值变化图

## 4 结 论

通过对两种不同类型水生植物湖泊沉积物有机质含量和碳同位素组成的研究发现, 并不是湖泊生产力的增大一定导致沉积物有机质碳同位素值的增大。如在藻类为主的湖泊(程海), 其沉积物有机质  $\delta^{13}\text{C}$  随湖泊生产力的增大呈现减小的变化趋势, 沉积物有机质  $\delta^{13}\text{C}$  值对湖泊初级生产力变化的响应过程不同提醒我们在使用湖泊沉积物有机质碳同位素指标时需要考虑沉积物有机质的类型。

## 参 考 文 献:

- [1] Stuiver M. Climate versus changes in  $^{13}\text{C}$  content of the organic component of lake sediments during the Quaternary. *Quaternary Research* 1975, 5: 251-262.
- [2] 朱正杰. 湖泊沉积物碳氧同位素和介形虫  $\text{Li/C}$  比值与古环境重建. 贵阳: 中国科学院地球化学所, 2009.
- [3] 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 perspective. *Quaternary International* 2009, 194: 134-147.
- [4] Xu H, Ai L, Tan L C, et al. Stable isotopes in bulk carbonates and organic matter in recent sediments of lake Qinghai and their climatic implications. *Chemical Geology* 2006, 235: 262-275.
- [5] Leng M J and Marshall J D. Palaeoclimatic interpretation of stable isotope data from lake sediment archives. *Quaternary Science Reviews* 2004, 23: 811-831.