

贵州草海湖泊系统碳循环简单模式

陈毅凤¹ 张 军² 万国江²

(1:中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;

2:中国科学院贵阳地球化学研究所, 贵阳 550002)

提 要 本文分析了贵州草海湖泊系统中的主要含碳物质——湖水 DIC、表层沉积物有机质、水生植物的稳定碳同位素组成, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别为: -3.70% 至 -10.60% , -20.90% 至 -21.60% , -16.10% 至 -17.40% 。通过质量平衡计算, 建立了草海区域碳循环的简单模式。结果表明: 对于草海这样一个水生植物茂盛的浅水富氧湖泊而言, 光合—呼吸作用和有机质的降解对整个湖泊体系的稳定碳同位素组成具有决定性的作用。

关键词 稳定碳同位素组成 碳循环 草海

分类号 P512.3

自从地球上出现光合自养生物以来, 地球表面的碳不断地被陆地植物所固定, 造成了大气圈、生物圈、岩石圈(Geosphere)系统输入碳的轻、重同位素发生不成比例的分配。早期研究表明: 无机碳转变为生命物质后, 生命物质富集轻同位素 ^{12}C , 而重同位素 ^{13}C 则保留在无机碳库中^[1]。从此, 地球化学家和生物化学家展开了碳同位素的研究。

湖泊沉积作为大气圈、陆地生态体系和水生体系的结合点, 存储着丰富的区域和全球性的环境变化信息, 而且其还具有沉积连续、沉积速率快等特点, 已成为全球环境变化研究的高分辨率的记录体。而稳定碳同位素研究是了解湖泊系统碳流动(Carbon flow)以及湖泊演化的重要手段, 成为湖泊研究的重要方向^[2]。本文研究云贵高原贵州草海湖泊的湖水 DIC、表层沉积物有机质、水生植物的稳定碳同位素组成, 并对碳循环进行了初探。

1 草海概况

1.1 地质背景

草海盆地处于贵州省西北部威宁县内($104^{\circ}00'$ — $104^{\circ}30'$ E, $26^{\circ}40'$ — $27^{\circ}01'$ W, 海拔 2171m), 为一山间盆地, 盆地面积约 800km²。盆地处于长江水系和珠江水系分水岭地带的古老夷平面上, 出露岩石主要是白云岩和页岩。盆地内地表河流不发育, 其补给来源主要是大气降水, 少部分来自地下水, 年均补给量为 $850 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

1.2 生态环境概况

草海湖水面积 20km², 最大水深约 2m, 水质良好, 透明度大, 湖底多为淤泥底质, 水生高等植物繁茂, 各类水生植物几乎布满湖区, 常见的有光叶眼子菜(*Potamogeton lucens*)、串叶眼子菜(*Potamogeton perfoliatus* linn)、海菜花(*Ottelia acuminata*)、狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、苻

• 国家自然科学基金项目(49894170, 49773270)。

收稿日期: 2000-03-26; 收到修改稿日期: 2000-07-11。陈毅凤, 女, 1971 年生, 助理研究员。

菜(*Limnanthemum nymphoides*)等。

根据调查测定,草海水生植物生物量的季节动态为春季(3月)最低,秋季(9月)最高,实测年平均鲜重 $580\text{g}/\text{m}^2$ 、干重 $107\text{g}/\text{m}^2$,水草区面积以 17km^2 计,草海水生植物生物量的年平均鲜重 9860t ,干重 1819t 。通过各类植物的分析,生物量干重占总重之比分别为:沉水植物占 77%,浮叶植物占 4%,挺水植物占 17%,其它占 2%^[3]。

2 样品采集及分析

于 1993 年 10 月,分别在湖边及湖中采集了 3 个大气样品,在湖中 3 个位置采集了分层水样、水生植物样和湖泊沉积物样品(图 1)。

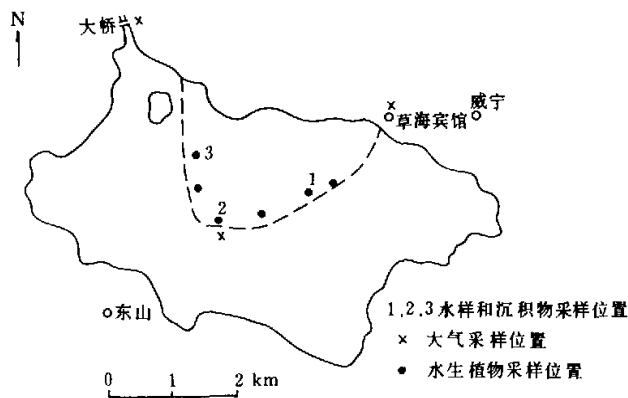


图 1 草海采样位置图

Fig. 1 The sample locations in Lake Caohai

大气样在真空系统中,直接纯化得到 CO_2 气体;水生植物样先提取 α -纤维素^[4],湖泊沉积物先用 $1\text{mol}/\text{L}$ HCl 浸泡以除去碳酸盐,然后采用安瓶法制备 CO_2 气体;湖水溶解无机碳 DIC (dissolved inorganic carbon) 的碳同位素组成的测量,以氮气作载气,在真空系统上直接酸化水样的方法制备 CO_2 气体。将上述制备的气体,在 MAT252 质谱仪上测定碳同位素比值。测定结果相对于国际通用标准 PDB,总体误差 $\leq 0.2\text{‰}$ 。同时,测得湖水 DIC 平均浓度为 $1.134 \times 10^{-3} \text{mol}/\text{L}$,底部湖水的 DO 含量较高(83.5%至 100%以上)。

3 结果与讨论

3.1 湖水 DIC 稳定碳同位素组成特征

从表 1 可看出,在平面分布上,草海湖水 DIC 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化幅度较大 (-3.7‰ 至 -10.6‰),这是由于草海水草茂盛,但是分布不均,形成“生命效应”的不同,而导致稳定碳同位素动力学分馏不同造成的。在垂直分布上,草海湖水 DIC 的稳定碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) 呈现明显的从上到下逐渐变轻的趋势。这是由于草海水生植物繁茂,植物光合作用强烈,使得湖水 DIC 碳源的 ^{12}C 随着有机质沉淀从水体中移出;同时,光合作用产生的有机物富含 ^{12}C ,随着有

机物质的下沉和氧化,在底部水体中放出富含 ^{12}C 的 CO_2 .从而,在湖水中产生一个上、下 $\delta^{13}\text{C}$ 不同的剖面,表层 $\delta^{13}\text{C}$ 更正,底层更负^[5].

表1 草海主要含碳物质稳定碳同位素组成的分析结果(‰,PDB)*

Tab.1 The $\delta^{13}\text{C}$ values (vs. PDB) of the main carbonic matters in Lake Caohai

样品号		$\delta^{13}\text{C}$	样品号		$\delta^{13}\text{C}$
大气 CO_2	DQ1	-7.90	沉积物有机质	CJW1-0	-22.20
	DQ2	-8.00		CJW2-0	20.90
	DQ3	-8.00		CJW3-0	20.50
湖水 DIC	水深(m)		沉水植物	学名	
HS1-0	0	-6.80	PL1-1	狐尾藻	-16.10
HS1-2	1	-10.6	PL1-2	眼子菜	-16.20
HS2-0	0	-5.60	PL1,2	狐尾藻	-17.40
HS2-1	1	-8.70	PL2-1	狐尾藻	-16.10
HS2-2	2	-9.90	PL2,3	狐尾藻	-16.70
HS3-0	0	-3.70	PL3-1	竹叶眼子菜	-16.60
HS3-1	1	-6.00			

* PL1,2 为介于采样点 1,2 之间的沉水植物; PL2,3 则为介于采样点 2,3 之间的沉水植物.

3.2 湖泊沉积物有机质碳同位素组成及来源特征

湖泊沉积物有机质主要由腐殖质、类脂化合物、糖类化合物等复杂混合物组成,其含量小,但是湖泊沉积物中重要的活泼的生物地球化学组分.其主要来源于水生植物、浮游生物和陆生植物.

草海表层沉积物中有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -20.9‰ 至 -21.6‰ ,平均为 -21.2‰ (表1).以简单混合模式计算各来源碳的贡献量,则假设:1)各来源的有机碳同位素组成在沉积到沉积物表层基本保持未变^[6];2)挺水植物与 C_3 陆生植物(湖区的植被主要为云南松林、华山松等^[2])具有相同的 $\delta^{13}\text{C}$ 值—— -27‰ ^[7,8],则可建立以下方程:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} \times f_{\text{cp}} + (-27\text{‰}) \times (f_{\text{tp}} + f_{\text{lp}})$$

$$f_{\text{cp}} + f_{\text{tp}} + f_{\text{lp}} = 1$$

$$f_{\text{cp}} : f_{\text{tp}} = 77 : 17$$

式中, $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ 为表层沉积物有机质稳定碳同位素组成(-21.2‰), $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$ 为沉水植物稳定碳同位素组成(-16.5‰), -27‰ 为陆地植物(lp)、挺水植物(tp)的稳定碳同位素组成, f 为各来源碳的相对贡献量, f_{cp} 为沉水植物的相对贡献量, f_{tp} , f_{lp} 以此类推.以上三式联立,计算得: $f_{\text{cp}} = 59\%$, $f_{\text{tp}} = 13\%$, $f_{\text{lp}} = 28\%$.表明在草海沉积物表层有机质中59%来自沉水植物,13%来自挺水植物,28%来自陆生植物.

3.3 草海区域碳循环简单模式

由于草海地区这方面的工作尚处于初步阶段,未知变量太多,因而采用简单混合模式进行计算,利用不同来源碳的稳定碳同位素的差异进行定量计算不同碳库对某一体系中碳的相对

贡献量,其前提条件是不同来源的碳汇入某一体系简单混合,混合过程中不发生同位素分馏^[6].模式计算过程如下:

(1)以 CO_2 作为计算对象;

(2)认为湖水 DIC 的年变化是水-气交换作用净变量 A 和光合-呼吸作用(包括有机质降解)净变量 B 的简单混合.即:

$$A = F_{aw} - F_{wa}, B = F_{ow} + F_{pw} - F_{wp}$$

其中, F_{aw} 为大气到湖水的碳通量, F_{wa} 则反之; F_{ow} 为沉积物有机质向湖水释放的碳通量, F_{pw} 为沉水植物向湖水释放的碳通量, F_{wp} 则反之.

上述质量方程可简化为:

$$C_w(t) - C_w(0) = A + B \quad (1)$$

$$[C_w(t) - C_w(0)]\delta_w = A\delta_a + B\delta_b \quad (2)$$

其中, $C_w(t) - C_w(0)$ 为 DIC 碳年变化量(年来水量 $\times [\text{DIC}] \times 12 = 115.7\text{t}$); δ_w 为与湖水 DIC 平衡的 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值($\delta_{\text{DIC}} + \Delta_{\text{DIC}-\text{CO}_2} = -16.8\text{‰}$); δ_a 为经过水-气交换循环后进入湖水的 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值($\delta_{\text{大气}} + \Delta_{\text{大气}-\text{水合}} = -6.9\text{‰}$); δ_b 为沉积物有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(-21.2‰).

将以上数据代入(1)、(2)式,计算得: $A = 35.6\text{t}$, $B = 80.1\text{t}$; $F_{wp} - F_{pw}$ (光合-呼吸作用的年贡献量) = 630.3t ; F_{ow} (沉积物有机质的年贡献量) = 710.4t ; F_{pw} (沉水植物对沉积物有机质的年贡献量) = 630.3t ; F_{lpo} (陆地植物(包括挺水植物)对沉积物有机质的年贡献量) = 438t .从而得出贵州草海区域碳循环的简单模式(图2).

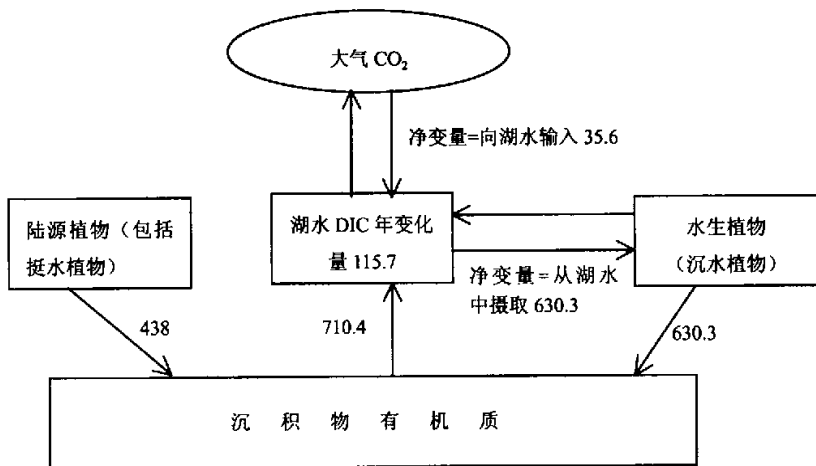


图2 贵州草海区域碳循环简单模式(图中数据均以 t/a 为单位)

Fig.2 A simple carbon cycle model of Lake Caohai, Guizhou Province (unit: t/a)

4 结论

由以上分析可知:草海湖水 DIC 的稳定碳同位素组成在整个湖泊中变化较大,其主要水

生植物(沉水植物)的稳定碳同位素组成明显重于一般的陆生植物(C_3 型),而且湖水 DIC、沉积物有机质的碳同位素组成呈现随深度加深逐渐变轻的趋势。由根据质量平衡计算建立的草海碳循环简单模式进一步表明:在草海这样一个水生植物茂盛的浅水富氧湖泊中,光合-呼吸作用和有机质的降解对整个湖泊体系的稳定碳同位素组成具有决定性的作用(图 2)。

参 考 文 献

- 1 Schidlowski M. Application of stable carbon isotopes to early biochemical evolution on earth. *Ann Rev Earth Planet Sci.* 1987, 15:47-52
- 2 Schlesinger C L. Recent changes in productivity and climate of Lake Ontario detected by isotopic analysis of sediments. *Limnol Oceanogr.* 1991, 36(5):961-975
- 3 向应海,黄威廉,吴至康等编.草海科学考察报告.贵阳:贵州人民出版社,1986
- 4 Green J W. Wood cellulose. In: Methods in carbohydrate chemistry. New York: Academic Press. 1963. 9-20
- 5 Lazar B, Erez J. Carbon geochemistry of marine-derived brines; $\delta^{13}C$ depletion due to intense photosynthesis. *Geochim Cosmochim Acta.* 1992, 56:335-345
- 6 Junge C E, Schidlowski M, Eichmann R. Model calculations for the terrestrial carbon cycle: carbon isotope geochemistry and evolution of photosynthetic oxygen. *J Geophys Res.* 1975, 80(33):4542-4553
- 7 Rounick J S, Winterbourn M J. Stable carbon isotope and carbon flow in ecosystems. *Biosci.* 1986, 36:171-177
- 8 Deniro Michael J, Epstein Samue. Isotopic composition of cellulose from aquatic organisms. *Geochim Cosmochim Acta.* 1981, 45:1885-1894
- 9 Zhang J, Quay P D, Wilbur D O. Carbon isotope fractionation during gas-water exchange and dissolution of CO_2 . *Geochim Cosmochim Acta.* 1995, 59(1):107-114

A Simple Carbon Cycle Model of Lake Caohai, Guizhou Province

CHEN Yifeng¹ ZHANG Jun² WAN Guojiang²

(1: Nanying Institute of Geography & Limnology, CAS, Nanying 210008, P. R. China;

2: Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang, 550002, P. R. China)

Abstract

The $\delta^{13}C$ values of the dissolved inorganic carbon (DIC), the organic matter of surface sediments and the aquatic plant cellulose were measured in Lake Caohai, Guizhou Province. The $\delta^{13}C$ values (vs PDB) of DIC, organic matter of surface sediments and aquatic plant cellulose, range from -3.70‰ to -10.60‰, from -20.50‰ to -21.60‰, from -16.10‰ to -17.40‰ respectively. Then A simple carbon cycle model is built through the mass balance calculation. All results indicate the photosynthesis-respiration of aquatic plants and the decomposition of organic matter are the decisive factors to the carbon isotopic compositions of the lake system as Lake Caohai, which is a shallow, oxygen-rich lake with abundant aquatic plants.

Key Words Stable carbon isotopic compositions, carbon cycle model, Lake Caohai