

# 若尔盖盆地兴措湖沉积记录揭示 的近代气候与环境<sup>\*</sup>

吴敬禄 李世杰 王苏民 夏威岚 李万春 羊向东

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**提 要** 依据湖泊沉积记录进行古气候环境要素定量复原是过去全球变化研究的重要内容. 本文通过若尔盖盆地兴措湖近代湖泊沉积特征、沉积物总有机碳及其同位素指标分析, 并与器测气象资料进行比较, 对兴措湖近代湖泊沉积物中有机碳及其同位素指标所代表的气候环境信息进行了定量研究. 在此基础上, 建立了兴措湖沉积物总有机碳及其同位素记录与对应的降水和气温间的函数关系. 为定量恢复该区尺度历史时期古气候环境特征提供了基础.

**关键词** 兴措湖 若尔盖盆地 有机碳同位素 近代气候环境

**分类号** P512.3 P532

若尔盖盆地位于青藏高原东部, 属于四川省阿坝州, 其西北部延伸至甘肃玛曲和青海久治县境内, 总面积 19600km<sup>2</sup>. 笔者于 1992 年及 1993 年在对若尔盖盆地进行野外考察的基础上分别获取了 120m 和 310m 钻孔岩心, 并对岩心进行了沉积学、微体古生物学、元素地球化学、同位素地球化学、环境磁学、年代学等多学科的综合研究, 初步建立了若尔盖盆地近百万年来的气候环境演化序列<sup>[1-4]</sup>. 在此基础上, 对青藏高原的隆升及气候环境的响应过程进行了探讨<sup>[5-6]</sup>. 但已有的工作多侧重于气候环境演化方面的定性研究, 并且在湖泊记录的气候环境代用指标的有效信息解释方面也存在有较大的不确定性. 因此, 目前在国家重点基础研究发展规划项目和国家自然科学基金项目共同资助下, 进行若尔盖盆地湖泊现代过程及湖泊沉积记录的气候环境定量恢复研究. 力图通过此项研究, 寻找湖泊记录的有效气候环境代用指标, 并通过对该区湖泊现代过程研究, 进而定量提取湖泊记录的气候环境信息, 从而达到定量重建若尔盖地区近百万年来气候环境演化序列的目的, 为深入探讨青藏高原隆升及气候环境变迁研究积累有效可靠的基础资料. 基于以上认识, 选择了位于若尔盖盆地中部的兴措湖进行了此项研究. 在本文中, 笔者根据兴措湖现代湖泊沉积物特征分析及其总有机碳含量和  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  与器测资料间的比较, 进行兴措湖沉积记录的近代气候环境的定量化研究, 为定量恢复该区尺度历史时期古气候环境特征提供基础.

## 1 研究区自然概况

兴措湖位于青藏高原东北部若尔盖盆地中部, 为丘陵间断陷小盆, 盆地三面由高 3500 -

• 国家自然科学基金(49803001)、国家重点基础研究发展规划项目共同资助(G1998040800; KZ951-A1-204; KZ95T-06)

收稿日期: 2000-03-08; 收到修改稿日期: 2000-06-28. 吴敬禄, 男, 1965年生, 副研究员, 博士. E-mail: w.jinglu@nigjts.ac.cn

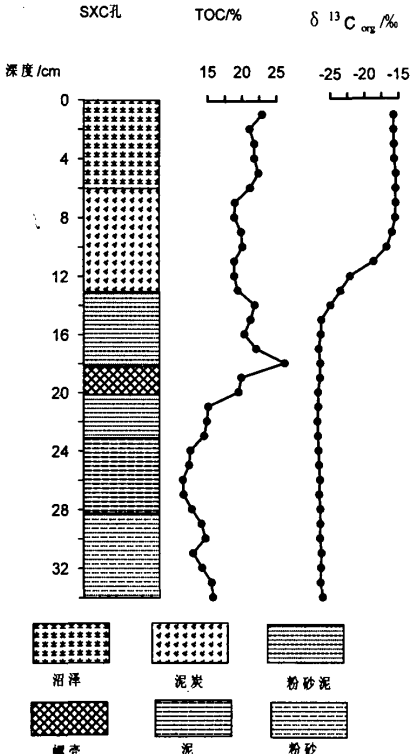


图1 SXC孔岩性柱和沉积物有机碳及其同位素测试结果

Fig. 1 Comparison of contents of TOC,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  from core SXC and relative lithological features

3600m山地环绕,西南侧有一相对较宽广的谷地.兴措湖现代湖面海拔高3425m,湖泊面积2.0km<sup>2</sup>,流域面积29km<sup>2</sup>.据野外地质地貌考察发现在其周围分布有明显的两级古湖阶地.其中次高湖面对应的阶地在湖南侧发育有古河道.据此推测,在大约2万年开始的黄河袭夺若尔盖古湖后<sup>[7]</sup>,兴措湖从若尔盖古湖开始分离而渐渐成为一个分隔的湖泊水体,并在以后的发展演化过程中出现了较长时期的停留,遗下了次高阶地.而高湖面遗迹是统一的若尔盖古湖(兴措湖为若尔盖古湖的一部分)时期留下的产物,与它对应的古阶地也可从若尔盖盆地的其它地区发现<sup>[7]</sup>.所以兴措湖自脱离若尔盖古湖以来而渐渐形成一个独立封闭的水体.目前其湖水主要由流域大气降水及部分地下水补给.从地形地貌及湖泊水文学角度分析,现在的兴措湖是历史时期气候环境恢复研究的理想地区.

## 2 样品和分析

笔者在1998年7-8月的青藏考察期间,在兴措湖南侧及近湖心用活塞采样器分别获取了SXC孔及XC孔.SXC孔位于水深20cm,取岩芯长34cm,采样间隔为1cm.共测定34个有机碳及同位素样品,测试结果见图1.XC孔位于水深60cm,岩芯长23cm,采样间隔为1cm,对于XC孔笔者重点进行<sup>137</sup>Cs和<sup>210</sup>Pb年代测定,并与SXC

孔的年代测定结果进行对比,以图获得更详细的测年资料.

## 3 实验结果及分析

图1表明,SXC孔上部13cm为沼泽相的泥炭沉积,其中0-6cm为草炭,6-13cm为泥质草炭或富含草炭屑的粉砂泥.有机碳同位素在11cm处是一个明显的界线,而12-13cm为期间的过渡阶段.0-11cm, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 与现代兴措湖表层水草的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 相同类型(兴措湖不同部位采集的5个水草样品进行同位素测试分析,获得平均同位素值为-15.7‰),表明11cm处开始有机质类型发生了根本的变化.而对应的TOC含量突变出现在20cm处,则螺壳层的出现与TOC含量的突变相一致.螺壳层的出现表明当时钻孔位置靠近湖岸,而此后虽曾有一段时期(其上覆的粉泥层)湖水有所回涨,但始终未能超过以前的深度,以至到13cm前后开始出现沼泽相沉积.由于沉积环境的变化,到了近11cm沉积物中有有机质的来源也发生了根本变化,其有机质主要来源于钻孔附近水草.随着湖泊的进一步萎缩,到了顶部6cm,出现了现代草炭沉

积,但沉积物中的有机质组成类型没有出现根本变化。所以,从 SXC 孔岩性、总有机碳及其  $\delta^{13}C_{org}$  变化分析,34 - 20cm, 取样点为较深湖相沉积环境,20 - 13cm 为浅湖相或湖滨相沉积,13cm 以后沉积环境由湖滨相转化为沼泽相,而沉积物有机质类型的根本变化出现在约 11cm。为了与器测资料进行配合研究,以及更好地利用有机碳及其  $\delta^{13}C_{org}$  指标进行湖泊记录的气候恢复研究,本文重点讨论了 SXC 孔现代沉积部分样品(上部 10cm 样品)的有机碳及其同位素的分析结果。

### 3.1 $^{137}Cs$ 和 $^{210}Pb$ 测年

将 SXC 孔及 XC 孔柱样,以间隔 1cm 分样,装盒。回实验室烘干,称净重,求出质量深度。测量  $^{137}Cs$  和  $^{210}Pb$  的仪器是美国 OTEC 公司的 OTEC919 型高纯锗低本底  $\gamma$  谱仪(外加  $\alpha$  探头),结果见图 2。

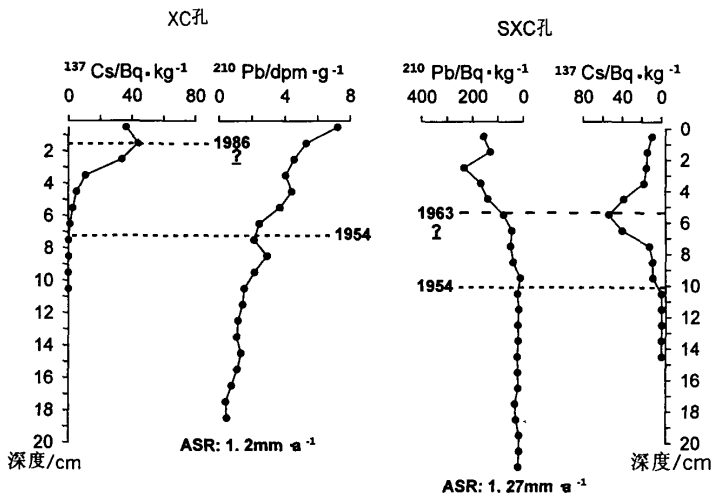


图 2 SXC 孔  $^{137}Cs$  和  $^{210}Pb$  测试结果

Fig. 2 Dating results from  $^{137}Cs$  and  $^{210}Pb$  in core SXC

SXC 孔  $^{137}Cs$  在 5cm 处为一峰值,从  $^{210}Pb$  结果推测应为 1963 年的大气人工核素沉降峰值。但是 XC 孔的  $^{137}Cs$  变化分析,该期的对应峰值不明显,而在 1.5cm 处显示有一峰值,根据  $^{210}Pb$  结果推测可能与 1986 年切尔诺贝利核泄漏事件在该地区的影响有关。至于  $^{137}Cs$  在 SXC 和 XC 孔所记录的差异,可能与兴措湖的沉积特征及采样孔所处的位置等因素有关。但根据  $^{210}Pb$  变化计算获得的沉积速率两者差别不大,近岸的 SXC 孔沉积速率略为高(图 2),据此,结合两孔开始出现  $^{137}Cs$  富集的深度基本一致(扣除沉积速率的影响),所以在本文中以此为年代结点,并参照国际上  $^{137}Cs$  时标<sup>[8]</sup>,确定 SXC 孔 10cm 处和 XC 孔 7cm 处为 1954 年,而暂时不采用 1963 年和 1986 年的  $^{137}Cs$  时标。

### 3.2 兴措湖现代沉积物有机碳含量及其同位素特征

图 3 表明近 50 年来兴措湖沉积有机质及其同位素具有较明显的变化趋势,而约 1972 年(深 6cm 处)是 TOC 及  $\delta^{13}C_{org}$  的一个分界线,其上有机质含量与  $\delta^{13}C_{org}$  含量同步变化趋势明

显,下部约 1972-1954 年(6-10cm)则表现为相对模糊.从岩性上看,10-6cm 为富含有机质的粉泥或泥炭,而 6-0cm 则发育为草炭(图 1).所以从岩性特征上分析,近 50 年来兴措湖处于不断的收缩时期.70 年代前湖水相对较深,而后由于湖泊水位下降,沉积物已表现为草炭型湖泊沉积特征.相应地沉积物 TOC 及  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  在 70 年代前后表现为不同演化特征.

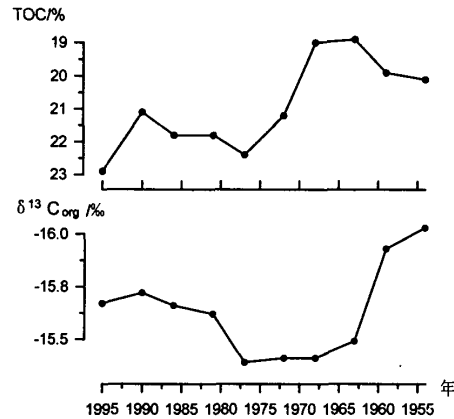


图 3 近 50 年来兴措湖沉积有机碳及同位素变化特征

Fig. 3 Variations of contents of TOC,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  in core SXC in the recent 50 years

湖泊水位的波动指示了一定自然状态下封闭湖泊水体对流域降水及温度(影响蒸发)变化的响应.而湖泊沉积物有机碳及其同位素指标是进行此种复原研究的有效途径之一.近 50 年来, SXC 孔  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  变幅在  $-15.5\text{‰}$  至  $-16.0\text{‰}$  平均为  $-15.6\text{‰}$ , 变幅小, 平均值较典型湖相沉积物有机碳同位素高, 而与表层草炭及水草中的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  相一致, 表明近 50 年来 SXC 孔沉积物有机质碳主要来源于沼泽相的草炭或水草, 这一沉积特征从 10cm 处开始, 图 1 也清楚地显示了这一特征. TOC 的变幅在 19% - 23%, 平均 20%, 变幅达 4% 左右, 表明对湖泊水位响应敏感. 较高的平均 TOC 值也体现了沼泽相的沉积特征.

### 3.3 沉积物有机碳含量及其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 与器测气象资料的比较

湖泊沉积物环境代用指标与现代器测资料的比较研究是定量恢复古气候环境的重要步骤.通过比较研究,可以更精确地建立气候环境代用指标与气候间的内在关系,从而利用环境代用指标更客观地进行古气候环境的恢复.将兴措湖沉积物  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  与近 50 年来若尔盖县气温资料比较发现两者间存在有较好的可比性.考虑到 SXC 孔沉积物的分辨率所限(平均 1cm 为 4-5 年),笔者将  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  与 5 年的温度滑动平均值比较,结果发现有较好的反相变化趋势,则气温高时,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  偏负.取夏半年气温平均值比较此种关系更显著(图 4),这与兴措湖水生植物主要在夏半年较高气温季节生长直接有关.

将兴措湖沉积物中 TOC 含量与若尔盖县气象站近 50 年来的降水资料 5 年滑动平均曲线比,发现也具有较好的反相变化趋势(图 5).从直观上看,降水量增加 TOC 含量减小,反之增加.由于降水量波动变化直接影响湖泊水生植物的生长环境,因而有机碳含量高低与降水量变化间存在有明显的相关性.由于近 50 年来兴措湖 SXC 孔为沼泽相沉积,因而该时期湖水位的变动对沼泽发育尤为明显,水位高不利于沼泽发育,因而 TOC 趋向于减低.所以, SXC 孔近 50 年来揭示的 TOC 与降水量之间的反相变化关系与此有关.

以上研究结果与笔者先前对该地区深钻的研究是一致的,则若尔盖地区湖泊沉积物有机质  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  与温度间呈反相关系<sup>[9]</sup>.而总有机碳含量与流域降水量之间的关系则通过湖水位的变化加以体现,反映了水草型湖泊沉积有机碳变化的特征.

### 3.4 有机碳及其同位素指标的气候量化研究

对兴措湖近 50 年来有机碳及同位素分别与器测夏半年降水和气温资料进行相关分析,结

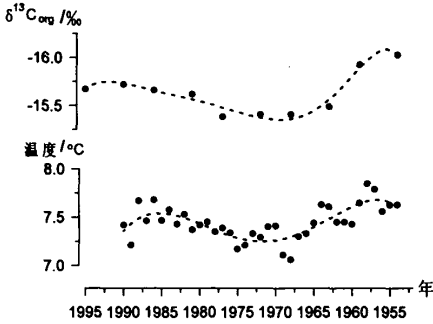


图4 兴措湖沉积物  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  与  
对应气温变化比较

Fig.4 Comparison of  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$   
and relative air temperature

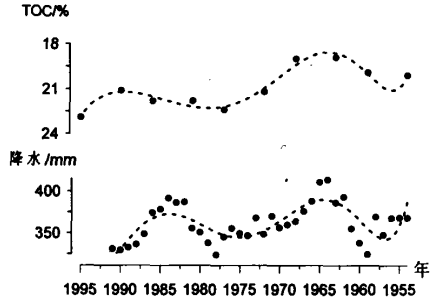


图5 兴措湖沉积物有机碳含量与  
对应降水量变化比较

Fig.5 Comparison of contents of TOC  
and relative precipitin

果表明,近50年来兴措湖有机碳与降水量之间有明显的相关性,其相关系数达 $-0.67$ ,平均变率( $d\text{TC}/d\text{P}$ )为 $-0.046\% \cdot \text{mm}^{-1}$ ,表明若尔盖地区夏半年降水量的变化引起兴措湖湖面变化,从而影响其沉积物中有机质含量的变化,平均变化达到降水每波动 $10\text{mm}$ 足以引起 $0.46\%$ 有机碳含量的波动.有机碳同位素  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  与温度间的相关系数为 $-0.75$ ,平均变率( $d\delta\text{C}/dT$ )为 $-0.84\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ,则在不考虑有机碳来源的影响条件下,温度每变化 $1^\circ\text{C}$ ,将导致 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$   $-0.84\%$ 的变化幅度.在此基础上,笔者将以上关系进行多项式最佳拟合得有机碳含量( $y_1$ )与降水( $x_1$ )间如下关系式: $y_1 = -0.0464517x_1 + 37.556$ ;同样的方法获得有机碳同位素  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  ( $y_2$ )与温度( $x_2$ )间的关系: $y_2 = -0.841194x_2 - 9.28651$ .

## 4 结论与讨论

将器测时期湖泊沉积物气候代用指标变化信息与器测气象资料进行相关验证并获得其函数关系,是定量恢复历史时期气候变迁最有效的途径之一.笔者通过对若尔盖盆地兴措湖近50年湖泊沉积物有机碳及其同位素与相应器测资料的比较研究,对其代表的气候信息进行了定量探讨.从本文的研究结果看,封闭湖泊(如兴措湖)沉积物有机碳变化是气候环境变迁较好的代用指标,尤其是对单一湖相沉积系列更是如此.而对于  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  指标,在可忽略物源变化对其影响的情况下或在较单一物源的控制条件下,它能很好地反映温度的变化.从定性上分析,与若尔盖深钻的多指标综合研究结果相一致.在若尔盖地区  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  与气温间呈反相关系,其平均变率可达 $-0.84\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ .所以,无论是湖泊沉积物有机碳指标还是  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  指标,在一些地区的湖泊学研究中,是较好的古气候环境代用指标.本文的研究结果也为进一步提取若尔盖深钻揭示的各项指标所蕴含的气候定量信息提供了基础.

**致谢** 本文实验工作得到德国 Jülich 研究中心 Dr. Andreas Luecke, G. H. Schleser 博士的支持和帮助,在此表示感谢.

## 参 考 文 献

- 1 张平中,王先彬,王苏民等. 青藏高原若尔盖盆地 RH 孔沉积有机质的<sup>13</sup>C 值和氢指数记录. 中国科学(B 辑), 1995, 25(6): 631-638
- 2 陈发虎,王苏民. 青藏高原若尔盖湖芯磁性地层研究. 中国科学(B 辑), 1995, 25(5): 272-277
- 3 吴敬禄. 若尔盖盆地 RH 孔近 80 万年来有机碳同位素气候特征的频谱分析. 湖泊科学, 1997, 9(3): 211-216
- 4 王苏民,施雅风,沈吉等. 青藏高原东部 800ka 来古气候古环境变迁的初步研究. 见: 青藏高原项目专家委员会编著. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统的研究学术论文(1994). 北京: 科学出版社, 1995. 236-248
- 5 薛滨,王苏民,夏威夷等. 若尔盖 RM 孔揭示的青藏高原 900 以来的隆升与环境变化. 中国科学(D 辑), 1997, 27(6): 543-547
- 6 吴敬禄,王苏民. 若尔盖盆地 RM 孔自生碳酸盐  $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$  记录所揭示的环境演化特征. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(4): 63-72
- 7 王云飞,王苏民,薛滨等. 黄河袭夺若尔盖古湖时代的沉积学依据. 科学通报, 1995, 14(8): 723-725
- 8 万国江. <sup>137</sup>Cs 及 <sup>210</sup>Pb 方法湖泊沉积计年研究新进展. 地球科学进展, 1995, 10(2): 188-192
- 9 吴敬禄,王苏民. 湖泊沉积物有机质  $\delta^{13}\text{C}$  所揭示的环境气候信息. 湖泊科学, 1996, 8(2): 113-118

## Modern Climatic Signals Recorded in Xincuo Lake Sediments in Zoige Basin, Eastern Tibetan Plateau, China

WU Jinglu    LI Shijie    WANG Sumin  
XIA Weilan    LI Wanchun    YANG Xiangdong

*(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China)*

### Abstract

Climatic proxy of stable carbon isotope, together with total organic carbon content, in organic matter in lake sediment is one of the most effective methods to reconstruct past climatic evolutionary sequences. By coupling the indexes of TOC and  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  in Xingcuo lake sediments and instrumental meteorological data in Zoige Basin, Eastern Tibetan Plateau and by building relative function relations among them, we probed quantitatively modern climatic signals recorded in those indexes. The results showed that there were remarkable relations between contents of TOC and precipitation,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  and air temperature, of which coefficient reaches to  $-0.67$  and  $-0.75$ , respectively. Besides, we also demonstrated that average variation between contents of TOC and precipitation ( $d\text{TC}/d\text{P}$ ) is  $-0.046\% \cdot \text{mm}^{-1}$  and  $-0.84\% \cdot \text{C}^{-1}$  for  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  and air temperature ( $d\delta\text{C}/dT$ ). According to the above, relative function relations among them were built.

**Key Words** Xingcuo Lake,  $\delta^{13}\text{C}$  in organic, modern climate, Zoige Basin