

青藏高原东北部末次间冰期以来的古气候 ——以若尔盖盆地 RM 孔分析为例*

薛 滨 王苏民 吴敬禄 钱君龙

(中国科学院南京地理与湖泊研究所 南京 210008)

提要 于1993年在青藏高原东北部若尔盖盆地沉积中心钻取一长310m的湖泊岩芯(RM孔),对其上部31m的湖泊沉积物进行了年代测定以及自生碳酸盐氧同位素、有机碳氮分析,重建了14万a来的古气候演化过程,基本上可以区分出5个阶段。结果表明,5阶段(140—80kaB.P.)气候温暖湿润,内部又可区分出5a—5e;4阶段(80—60kaB.P.)气候以冷干为主;3阶段(60—30kaB.P.)为相对温湿期,降水丰富,流域径流量较大;30kaB.P.以来若尔盖古湖逐渐被黄河支流切开,各项代用指标的环境指示意义不明显。同时对比邻区陆相记录,探讨了高原东北部不同阶段气候演化的过程和细节。

关键词 青藏高原 古气候 若尔盖盆地 RM 孔 自生碳酸盐氧同位素 有机碳氮比值
学科分类号 P532

据研究表明(王云飞等,1995;吴敬禄等,1997;陈发虎等,1995),晚新生代以来青藏高原的隆升不仅改变了其自身环境,而且对亚洲乃至全球的气候均产生了巨大的影响。通过对高原内部高分辨、连续湖相沉积物中多项古气候代用指标的分析,有助于理解高原隆升背景下其自身古气候演化过程,以及对邻区的影响,进而为区域对比及相关的全球变化研究提供基础资料。

在中国科学院重大项目和攀登计划的共同支持下,于青藏高原东北部若尔盖盆地钻取了深达310m的湖泊岩芯(RM孔),这也是青藏高原迄今为止研究最为深入的深井,已经建立了末次间冰期以来较为完整的年代序列,因此,RM孔古环境的重建为研究青藏高原东北部14万a以来的古气候提供了可能。

1 RM孔末次间冰期以来的沉积岩性及年代序列

若尔盖盆地位于青藏高原东北部,属构造断陷盆地,为青藏高原整体抬升背景下的相对下沉区, RM孔位于该盆地沉积中心(33°57' N, 102°21' E),地面高程为3401m,孔深为310.46m,取心率为90%。RM孔于1993年7月施工,顶部4.3m用钻孔附近天然剖面拼接。本文主要研究范围为该孔的30—4.3m,全孔总体沉积岩性较细,以青灰色、灰色、褐棕灰色

* 中国科学院重大资助项目, KZ951-A1-402号。薛滨,男,出生于1970年6月,博士研究生, E-mail: kaifang@public1.ptt.js.cn

收稿日期:1996-06-05,收修改稿日期:1998-10-18

粉砂质泥、泥质粉砂和粉砂为主,未见中砂以上粗碎屑沉积,30m以上根据沉积岩性及沉积构造特征,又可区分出如下几个层段:30—20m以灰色泥质粉砂、粉砂为主,含丰富有机质残体和螺壳,泥炭层出现的频率高,但厚度较薄;20—8m以灰色泥质粉砂、粉砂、粉砂质泥为主,局部见菱铁矿结核斑块,顶部有薄层泥炭出现;8—6m以灰色粉砂、细砂为主,夹大量有机质条带,构成cm、mm级水平层理及斜层理;6—4.3m以灰黄色、黄色厚层砂沉积为主,底部见冲刷和扰动现象,发育斜层理、透镜层理,为河流相沉积特征。

精确年代序列的建立是一个钻孔研究的核心。本次研究的年代序列建立在 ^{14}C 年代学和古地磁地层学的基础上,表1列出了根据沉积物和有机碳测定的 ^{14}C 年代数据以及布莱克(Blake)事件出现的层位。

表1 RM孔的年代数据

Tab.1 Chronological data from Core RM

深度(m)	年代(a.B.P.)	测年方法	深度(m)	年代(a.B.P.)	测年方法
2.6	3 324±145	^{14}C	6.3	21 600±1 500	^{14}C
2.8	3 428±124	^{14}C	8.2	33 140±2 350	^{14}C
4.1	6 167±155	^{14}C	24.76—25.48	Blake事件	古地磁

2 样品与实验

样品分析取样间距为10m。共对115块样品进行了总有机碳(TOC)、总有机氮(TON)测试,对247块样品进行了湖泊自生碳酸盐氧同位素分析。

2.1 TOC、TON分析

TOC的分析采用重铬酸钾容量法(外加热法);由于沉积物中的无机氮含量很低,为了测试方便,用总氮(TN)含量代替TON,TN的分析采用过硫酸盐-紫外分光光度法。

2.2 自生碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 分析

钻孔碳酸盐矿物镜下鉴定均为方解石,由于陆源碎屑碳酸盐与自生碳酸盐存在较明显的粒度差异,故采用机械分选方法进行分离,然后将过300目筛的待测样品与100%磷酸溶液在25℃恒温水槽反应6—8h,反应释放 CO_2 用液氮冷却收集,在Finnigen Model-251型质谱仪上测定同位素值,采用的标准为PDB,实验误差为0.2‰。

作者同步分析了RM孔具腹足类螺壳的一些层位,比较腹足类壳体及该层位自生碳酸盐氧同位素值,发现两者具较好的相关性,差别仅为 $\pm 1\%$,但具腹足类的层位并不连续,所以用筛分的方法能够较好地测定自生碳酸盐的氧同位素值,获得连续的古气候信息。

3 结果与讨论

3.1 TOC、TON及C/N比值的分布

湖泊沉积物有机碳总量TOC由内源和外源有机碳两部分组成。内源有机碳主要是湖泊自身水生生物的贡献,外源有机碳是湖泊四周河流搬运入湖,主要是流域内的陆生植物的贡献。湖泊沉积物中TOC的高低,可以从一定程度上反映气候的温暖湿润程度,以及湖泊的保存条件。

C/N(即TOC和TON的比值)能够较好地指示沉积物中内源和外源有机成分的比例。已有研究表明,陆生高等植物的C/N平均为14—23,甚至大于30,而湖泊浮游生物为6—7,

基岩风化物所含有机质 < 5 (王苏民等, 1990)。因此根据沉积物有机质及其 C 和 N 的组成差别, 可以区分内源和外源有机质的比例, 而这个比例又取决于气候状况与流域环境, 如降水量多, 地表径流发育, 流域植被覆盖条件好, 则沉积物中陆源有机质含量高。因此, 就本研究的长尺度古气候演化记录而言, C/N 比值可作为反映降水量的间接指标。

3.2 自生碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 的分布

湖泊沉积物自生碳酸盐氧同位素组成是湖水 ^{18}O 含量的主要反映, 并与碳酸盐沉淀温度密切相关, 而湖水 ^{18}O 含量主要受大气湿度、补给水 ^{18}O 含量及蒸发量/补给量比值控制 (Gasse *et al.*, 1994)。若尔盖古湖长期以来是一个浅水湖泊, 处于碳酸盐沉积阶段 (王云飞等, 1995), 氧同位素与碳同位素存在明显的负相关, 这种镜像关系可能受控于外部机制, 如流域的温度状况。究其根本机制, 即温度相对较高、气候状况相对适宜时, 沼泽环境频频发育, 这种环境下的相对滞水条件富集 ^{18}O , 同时陆生、水生植被发育, 生物成因的 CO_2 的释放稀释了湖水总溶解无机碳 (TDIC) ^{13}C 的含量。因此, 氧同位素组成主要受温度控制 (吴敬禄等, 1997), 即温度高时富集 ^{18}O , $\delta^{18}\text{O}$ 为高值。

3.3 14 万 a 来 RM 孔揭示的古气候

14 万 a 以来的全球气候与环境已日益引起科学家的兴趣, 因为它包含了最近的一个完整的冰期和间冰期, 尤其是研究末次间冰期的气候, 更是近年古气候学家感兴趣的问题。湖泊沉积物较好地蕴藏了一个区域的气候环境演化信息, 根据 $\delta^{18}\text{O}$ 指示的古温度、C/N 比值指示的古降水量的变化, 可以追溯 14 万 a 来青藏高原东北部的古气候演变过程。

3.3.1 31—20m (140—80kaB.P.) 古地磁测试布莱克事件位于 24.76—25.48m, 据沉积速率推测, 本段沉积相当于 140—80kaB.P.。该段氧同位素值高, 平均达 -9.8% , 反映气候温暖; C/N 比值平均较高, 表明降水量丰富, 径流量较大。因此, 该时期气候总体温暖湿润, 水热条件配置较好。结合测年及其它代用指标, 有理由推测, 该地层相当于深海氧同位素 5 阶段。进一步细分该段, 可以得出, 该孔最下部氧同位素值最高, 为最暖的亚阶段, 相当于深海氧同位素 5e 段, 但 C/N 比值指示的水汽条件并非最好; 而 5d 氧同位素值偏低, 反映存在相当幅度的降温, 但水汽条件却较前有所增加; 5c 和 5a 温度较高, 降水条件进一步改善, 尤其 5a 水热配置最佳, 有效湿度条件最好, 为 5 阶段中最好时段; 与 5d 不同的是, 5b 表现为同步的降温与趋干。

3.3.2 20—14m (80—60kaB.P.) 结合 14m 以上 ^{14}C 测年, 根据沉积速率推算, 本段时代相当于 80—60kaB.P.。氧同位素值为 14 万 a 以来最低 (平均为 -11.8%), 反映气候较冷, 且次级波动明显, 氧同位素值波动幅度最大达 3% ; 本段 C/N 比值较前段明显下降, 寒冷与干旱同步, 就内部细分, 前期冷略湿, 后期冷干明显。

3.3.3 14—8m (60—30kaB.P.) 本段氧同位素值呈上升趋势, 反映气温有所回升; C/N 比值呈同步上升趋势, 暗示降水量有所增大, 气候上表现为温湿的特点, 这和沉积物向上变粗也吻合, 表明随降水的增加, 地表径流量加大, 相应带来的粗颗粒物增多。

3.3.4 8—6m (30—20kaB.P.) 氧同位素值较前期增加, 明显偏正, C/N 比值平均为研究段最高, 这和该时期若尔盖古湖被切开, 逐渐为河流环境代替有关 (王云飞等, 1995), 丰富的陆源有机质导致高的 C/N 比值。

3.3.5 6—4.3m (20—6.5kaB.P.) 氧同位素明显受河水携带的 ^{18}O 影响, 氧同位素及 C/

N比值的气候意义均不明显。

3.4 RM孔的古气候记录及与邻区和全球的比较

若尔盖盆地处于青藏高原东北边缘,又处于我国季风区与青藏高原区的交汇地带,因此对气候变化的响应极为敏感,通过湖泊沉积的高分辨率析,以及和邻区黄土记录的对比,有助于探讨陆地气候变化的具体过程和细节,进而为相关的全球变化研究作贡献。

14万 a 来 RM 孔的古气候记录覆盖了整个末次间冰期及末次冰期,该记录和邻区陇西黄土及欧洲大陆孢粉记录有相当好的对应关系(图 1),反映了全球变化基础上的大陆气候特征,其间的差异一方面是气候变化的区域差异,另一方面在于不同气候记录的指标敏感度。

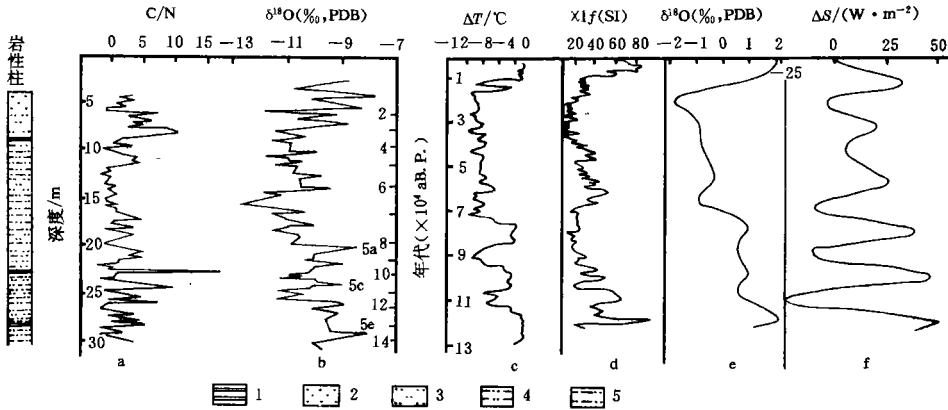


图 1 RM 孔古气候变化记录与邻区及全球记录的对比

Fig.1 Palaeoclimatic records of Core RM and comparative study with adjacent and global records

a. RM 孔 C/N, 可作为反映降水量的间接指标; b. RM 孔自生碳酸盐氧同位素, 受温度控制, 温度高对应 $\delta^{18}\text{O}$ 为高值; c. 欧洲孢粉记录的古温度与现今温度差值 (Guiot *et al*, 1989); d. 临夏塬堡磁化率 (陈发虎等, 1995); e. 深海 SPECMAP 氧同位素 (Shackleton, 1987); f. 北半球夏季太阳辐射 (安芷生等, 1992)

1. 泥炭; 2. 细砂; 3. 粉砂; 4. 粉砂质泥; 5. 泥质粉砂

RM 孔记录的末次间冰期, 相当于深海氧同位素 5 阶段, 似乎开始较早 (140kaB.P.), 结束得也较早 (80kaB.P.), 布莱克事件位于 5d 的早期, 基本对应黄土地层, 大致在 5e 的后期。RM 孔 5 阶段的记录较好地体现了全球变化的共性, 即 5e 阶段温度最高, 5d 最冷, 而 5a 和 5c 相当, 无论是邻区的黄土磁化率记录 (李吉均等, 1990), 还是欧洲的孢粉记录 (Guiot *et al*, 1989) (图 1), 甚至深海记录 (Shackleton, 1987)、格陵兰 GRIP 冰芯记录 (GRIP Members, 1993) 皆是如此, 究其原因主要是由于夏季入射太阳辐射变化所致。5e 阶段在 RM 孔并非是一个连续稳定的气候期, 而是存在两个冷干的亚阶段, 这在陇西的黄土中也有发现 (陈发虎等, 1995), 这种现象是否说明中国大陆三大自然区域交汇范围内的特殊性, 是否具有其全球意义, 这有待资料进一步证实。

RM 孔末次冰期的开始, 亦即 4 阶段开始于 80kaB.P., 这和北塬黄土的磁化率记录一致, 也是 80kaB.P. 开始降温 (李吉均等, 1990)。4 阶段的早期 RM 孔气候上表现为凉湿的特点, 真正的冷干开始于 68kaB.P., 这时邻区临夏黄土沉积粒度加大, 沉积速率也迅速增

长(沈永平, 1992), 欧洲大陆的孢粉记录也显示 72kaB.P. 降水急剧减少, 幅度达 500—600mm/a, 降温达 1—10℃, 大陆孢粉记录这种时间上的滞后很可能是湖泊、黄土对气候响应的敏感度大, 而区域植被的响应有一定的滞后。

RM 孔 60—30kaB.P. 大致是一个略偏暖的时期, 前期偏干, 后期 C/N 比的明显峰值指示了河流作用的加强, 从另一个侧面也可说明流域内降水增加, 明显趋湿, 尤其是 30kaB.P. 前后的湿润峰, 和北半球夏季太阳辐射峰值一致, 反映了夏季风降水的增加。3 阶段的这种显著特征在青藏高原比较普遍, 高原湖泊为一个明显的扩张时期, 古里雅冰芯有着同样的记录(内部交流), 是否这是高原的独特现象, 还是具有全球的意义(刘东生等, 1996), 有待更多的地质资料进行证实。30kaB.P. 以来, 若尔盖古湖被黄河支流溯源切开, 代之以河流沉积, 各项代用指标的古气候指示意义不明显。

4 结论

4.1 处于碳酸盐沉积阶段的内陆封闭古湖, 其自生碳酸盐氧同位素是古温度较为有效的代用指标; 湖泊沉积物的有机 C/N 比值指示了沉积物中内源与外源有机成分的比例, 间接指示古径流量、降水量的高低, 两者的组合可以判识冷暖干湿组合特点。

4.2 若尔盖 RM 孔的古气候记录和邻区陇西黄土记录具有很好的相关性。末次间冰期有三个温暖和两个相对寒冷的阶段, 5e 阶段最暖, 5a 阶段水热配置最佳, 5e 又可区分出 5 个次级阶段, 反映了全球气候变化背景上该区域的独特性。

致谢 吴艳宏助理研究员、项亮副研究员提供¹⁴C测年数据; 胡守云博士提供古地磁资料; 一起参加野外的有王云飞、沈才明、张平中、吉磊等同志, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王云飞, 王苏民, 薛滨等, 1995. 黄河袭夺若尔盖古湖的沉积学依据. 科学通报, 40(8): 723—725
- 王苏民, 冯 敏, 吴瑞金等, 1990. 岱海——湖泊环境与气候变化. 合肥: 中国科技大学出版社, 142—147
- 安芷生, 吴锡浩, 汪品先等, 1992. 末次间冰期以来中国古季风气候与环境变迁. 见: 刘东生, 安芷生主编. 黄土·第四纪地质·全球变化(第三集). 北京: 科学出版社, 14—30
- 李吉均, 朱俊杰, 康建成等, 1990. 末次冰期旋回兰州黄土剖面与南极东方站岩芯的对比. 中国科学(B 辑), 10: 1086—1094
- 沈永平, 1992. 15 万 a 来临夏黄土粒度变化的气候记录. 干旱区地理, 15: 44—48
- 刘东生, 安芷生, 陈明扬, 1996. 最近 0.6Ma 南、北半球古气候对比初探. 中国科学(D 辑), 26(2): 97—102
- 吴敬禄, 王苏民, 潘红玺等, 1997. 青藏高原东部 RM 孔 140ka 以来源泊碳酸盐同位素记录的古气候特征. 中国科学(D 辑), 27(3): 255—259
- 陈发虎, 李吉均, 1995. 末次间冰期陇西黄土记录的初步研究. 见: 青藏项目专家委员会编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究. 学术论文年刊(1994), 北京: 科学出版社, 96—102
- Gasse F, Campo E V, 1994. Abrupt post-glacial climate events in West Asia and North Africa monsoon domains, Earth and Planetary Science Letters, 126:435—456
- GRIP Members, 1993. Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. Nature, 364:203—207
- Guiot J, Pons A, Beaulieu J L et al, 1989. A 140 000-year continental climate reconstruction from two European pollen records. Nature, 338:309—313
- Shackleton N J, 1987. Oxygen isotopes, ice volumes and sea level. Quaternary Science Review, 6:183—190

**PALAEOCLIMATE OF NORTHEASTERN QINGHAI-XIZANG(Tibet)
PLATEAU SINCE LAST INTERGLACIATION
—A CASE STUDY FROM CORE RM OF THE ZOIGE BASIN**

XUE Bin, WANG Su-min, WU Jing-lu, QIAN Jun-long

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

Abstract Core RM, 310m in length, collected from the central part of the Zoige Basin, Eastern Tibetan Plateau, was analyzed. The upper 31m provides continuous palaeoclimatic information during the past 140ka, which is reconstructed on the basis of stable oxygen isotope analyses of authigenic carbonate, organic carbon and nitrogen analysis. The $\delta^{18}\text{O}$ of authigenic carbonate is a good indicator for the palaeotemperature, whereas the variation in the C / N ratio corresponds with the percentage of the autothonomous to allothonous organic matter in the lake sediments, reflecting the changes of the runoff and palaeo-precipitation conditions. Therefore, the analytical results have revealed changes in the palaeoenvironmental condition, induced by climate changes and / or local hydrological factors.

Five stages are identified for the palaeoclimate in the past 140ka and can be compared with the oxygen isotope curve of deep sea cores. Stage 5(140—80kaB.P.) is equivalent to the Last Interglaciation, in which 5 substages(5a—5e) can be identified. 5e is the warmest, 5d is the coldest and 5a has the best effective moisture within stage 5. Substage 5e can be identified in to further 5 little stages, and this kind of geological phenomena has been shown in a lot of records, e.g, magnetic susceptibility records from adjacent areas, pollen records from Europe, $\delta^{18}\text{O}$ records from deep sea cores and Greenland ice cores, which has been speculated to be a result from the change in the summer solar insolation. Stage 4 is characterized by cold/dry climate. Stage 3(60—30kaB.P.) is a relatively warm and wet period, characterized by abundant precipitation. The Zoige Basin was cut through by the Yellow River since 30kaB.P. and the proxies are of no use in terms of the identification of the palaeoclimate. The peak value of C / N in Core RM of this period suggests intensified river processes, and an increase in precipitation over the drainage area. The special characteristics of stage 3 in Qinghai-Xizang Plateau should be considered in the future Quaternary studies. Comparative study has been undertaken for the Core RM records with the other records of adjacent areas and in the world, and the climatic evolution and its characteristics in different stages of the northeastern Qingzang Plateau have been discussed.

Key words Qinghai-Xizang Plateau Palaeoclimate Core RM from Zoige Basin Oxygen isotope of authigenic carbonate C/N ratio

Subject classification number P532