

青海湖近 900 年来气候环境演化的湖泊沉积记录*

张恩楼 沈 吉 王苏民 夏威夷 金章东

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提 要 通过对青海湖沉积物碳酸盐含量、磁化率、TOC 等多环境指标的分析, 探讨了青海湖地区近 900 年来的气候环境演变。结果表明青海湖地区近 900 年来气候变化属于暖干-冷湿的气候演替类型, 经历了 5 次冷湿期和 5 次暖干期, 中世纪暖期、小冰期以及 20 世纪以来的升温在该沉积岩芯有清晰的记录。沉积物的磁化率和沉积速率的变化忠实地记录了本世纪以来人类活动的影响。

关键词 青海湖 湖泊沉积 气候变化

分类号 P343.3

近千年来是深入理解人与自然相互作用下, 生存环境的现在、过去与未来的关键时段, 对该时段气候与环境演变研究不仅可以衔接地质记录与器测资料, 而且可以为趋势预测提供背景, 是当前全球变化集成研究的热点。青海湖位于青藏高原的东北隅, 是我国最大的内陆封闭半咸水湖, 位于西南、东南季风和西风的交汇带, 对气候变化的响应极为敏感, 是全球变化研究的理想地区。近年来, 不少学者根据冰芯、树轮等对该湖流域地区不同时间尺度气候环境变迁进行了研究^[1-4]。鉴于湖泊沉积记录具有沉积速率快和分辨率高等优点, 是古气候环境研究的重要手段之一。国内外不少学者根据青海湖岩芯分析结果对全新世以来该区的气候环境变迁进行了有效的探讨^[5-11]。然而对近千年来高分辨率的湖芯研究相对薄弱。本文通过对青海湖东南湖湾沉积岩芯高分辨率碳酸盐含量、磁化率, TOC 等多指标分析, 探讨青海湖近 900 年来的气候环境演化。

1 样品与分析

2000 年 7 月在水深 22.3m 青海湖东南湖湾(N36°36'11.2", E100°30'28.8") 采得一长 114cm 的沉积岩心(QH00A), 对岩芯进行 1cm 间隔采样。整个岩芯性变化不明显, 为灰黑色至黑色粉砂质粘土。

碳酸盐含量采用盐酸滴定法测定, 磁化率测定使用英国 Brington 公司生产的 MS₂ 磁化率仪完成。有机碳含量在 CE440 型元素分析仪测定, 以上工作在中国科学院南京地理与湖泊研究所完成。

* 国家自然科学基金(40072056, 40003001) 中科院知识创新工程项目(KZCX-10-01) 联合资助。

收稿日期 2001-09-24 收到修改稿日期 2001-11-21. 张恩楼, 男, 1975 年生, 硕士研究生, E-mail: zelzhang@niglas.ac.cn.

2 实验结果及分析

2.1 年代序列的确立

根据 ^{137}Cs 垂直剖面峰值的时标和 ^{210}Pb 测定的沉积速率推测,初步建立了该孔的年代序列(图 1)。结果表明该孔 ^{137}Cs 1963 年和 1952 年的时标分别出现在 5.5cm 和 12.5cm。与根据 ^{210}Pb 变化计算的沉积速率基本吻合。该孔 1963 年之后和 1952 年之前的沉积速率基本一致,为 1.2–1.4mm/a,而 1952 年至 1963 年之间,沉积速率较大,达到了 6.3mm/a,同时,磁化率在 10cm 处急剧上升,到达 5cm 以上趋于稳定。这主要是因为 50–60 年代大规模开垦导致湖区周围土壤流失,大量的侵蚀物质被带入湖中,磁性矿物的数量随之上升,从而导致沉积速率与磁化率急剧上升,当物质输移趋于稳定时,进入湖中的磁性矿物数量趋于稳定,磁化率和沉积速率的变化趋势极为一致,这也证明了该孔的年代序列是可信的。沉积物含水量和孔隙度在该孔变化不大,岩性基本一致,表明该孔沉积物的压实作用甚小,用顶部的沉积速率来推算沉积岩心的年代序列是可行的。

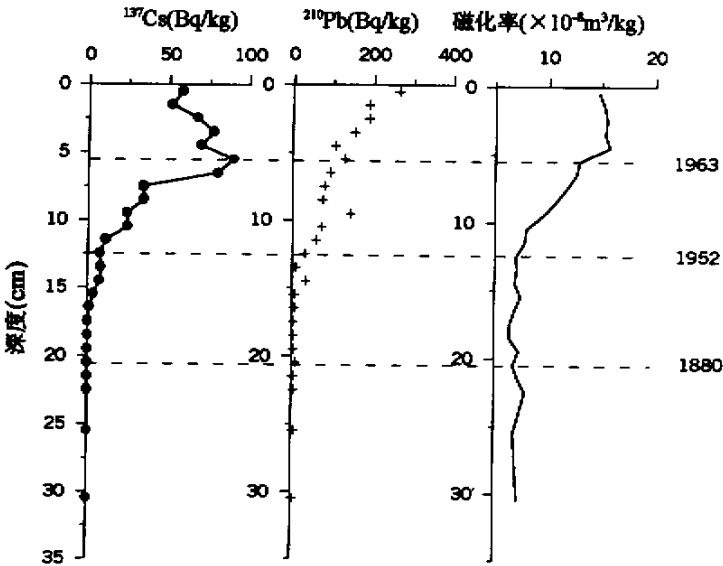


图 1 QH00A 孔 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 测定结果

Fig. 1 Dating results from ^{210}Pb and ^{137}Cs for QH00A Core

2.2 实验结果

图 2 表明了青海湖沉积物磁化率、TOC 以及碳酸盐含量的变化趋势。磁化率的变化范围为 $5.2 - 15.8 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 碳酸盐含量在 21.1%–44.9% 之间, TOC 含量变幅在 1.68%–4.53%。总的来说,青海湖有机碳含量和磁化率的值较低,碳酸盐含量较高,这与前人的研究结果基本一致^[12,13],各指标间的相关关系极好,表明这些代用指标忠实地记录了该区的气候环境变化。

3 分析

3.1 各指标所指示的环境意义

3.1.1 TOC 湖泊沉积物中的总有机碳含量(TOC)代表湖泊及其流域初始生产力总量特征,尽管受到内源、外源和沉积后分解等因素的影响,依然是恢复湖泊古气候波动的重要指标之一,近年来得到广泛的应用。作为处于寒冷气候区的湖泊来说,气温应是影响生物生长的主导因素,有机碳的含量一定程度上可以反映气温的变化,这一点在青藏高原其它湖泊沉积研究中也得到证实^[14],即沉积物中总有机碳高值对应暖期,低值对应冷期。

3.1.2 磁化率 湖泊沉积物的磁化率取决于物源特征和湖泊的环境过程,包括沉积后的非同生作用,直接或间接与气候条件有关,湖泊沉积物的磁性特征可以反映其古气候条件^[15-16],青海湖沉积物磁化率相对较低,这与其物源母质磁性较低,以及高含量碳酸盐的冲淡作用有关^[12]。粒度分析表明,细颗粒分含量高时磁化率较高,而粗颗粒组分含量高时磁化率较低。

3.1.3 碳酸盐含量 处于半干旱气候区的封闭湖泊,其沉积物中以方解石和文石为代表的碳酸盐沉积是盐类沉积的早期阶段,湖泊沉积物中自生碳酸盐为主的碳酸盐含量可以较好地反映湖泊流域有效湿度的变化^[13]。镜下分析表明青海湖沉积物中碳酸盐主要是化学沉淀文石,其次为微粒方解石,陆源碎屑成分含量不足5%。

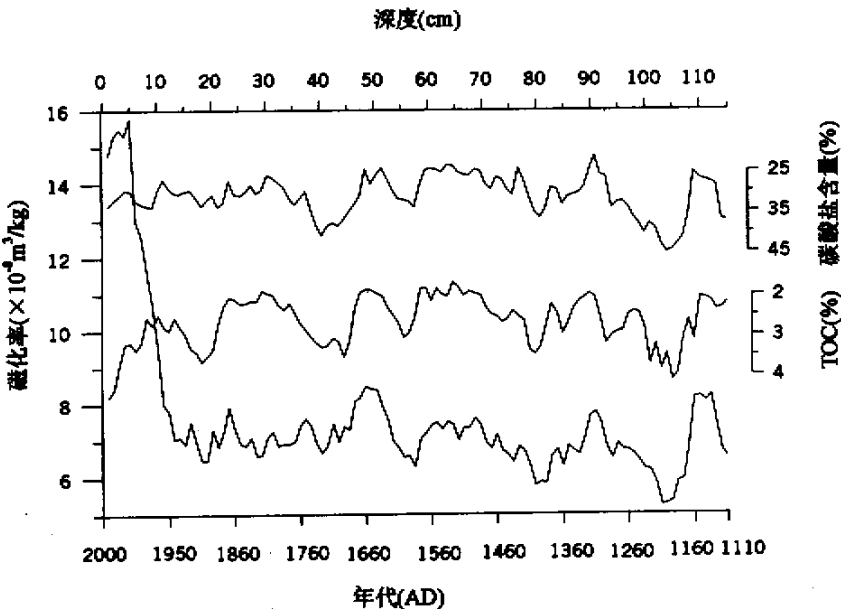


图2 QH00A孔各环境指标变化特征

Fig. 2 Environmental proxy of lake sediment in QH00A Core

3.2 近900年来青海湖地区的环境演化

根据青海湖沉积岩芯的TOC、磁化率、碳酸盐含量等多环境指标分析结果,将该湖近900年来的环境演化大致分为以下几个阶段(图2):

(1) A. D. 1100–1290(114–92cm) 根据各环境指标的组合可以分为前后两个不同的气候阶段, A. D. 1100–1160(114–107cm) TOC 相对较低和碳酸盐含量较低, TOC 含量平均在 2.40% 左右, 碳酸盐含量平均为 28.0%, 磁化率较高, 平均值为 $8.01 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 反映该时期植被稀疏, 入湖地表径流增加, 磁性颗粒随大量碎屑被带入湖中, 同时湖水加深且淡化, 碳酸盐沉积减少, 导致磁化率较高, 气候为冷湿. A. D. 1160–1290(107–92cm) TOC 和碳酸盐含量均为峰值, TOC 含量最大达 4.11%, 平均含量为 3.13% 左右, 碳酸盐含量平均为 37.1%, 磁化率为低谷, 其最低值为 $5.2 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 反映该时期流域生物量增加, 地表径流减少, 湖水咸化, 化学风化作用较强, 陆源细组颗粒减少以及大量的碳酸盐沉积, 导致磁化率较低, 气候暖干. 其中在 A. D. 1250 左右, TOC 含量下降到 2.4% 左右, 反映植被有所下降, 气候有所变凉.

(2) A. D. 1290–1470(92–70cm) 各环境指标在该时期波动较大, 反映气候在该时期不稳定, 波动较为频繁, 其中在 A. D. 1290–1330(92–88cm), TOC 和碳酸盐含量较低, 分别为 2.11% 和 27.2% 左右, 而磁化率出现峰值, 最大值为 $7.8 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 指示了该时期植被减少, 湖水淡化, 蒸发减少, 有效降水增多, 气候条件为冷湿. A. D. 1330 以后, TOC 和碳酸盐含量回升到 2.68% 和 30.4% 左右, 磁化率则回落到 $6.5 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$ 左右, 各指标均在一定范围内波动, 在 A. D. 1390 左右各指标出现在该阶段极值. 反映该时期气候波动较为频繁, 除 A. D. 1290–1330 气候为冷湿, A. D. 1390 左右为暖干外, 该时期气候总的来说以温干为主.

(3) A. D. 1470–1870(70–22cm), 各指标在该时段有五次极有规律的高低转换, 其中在 A. D. 1470–1570(70–58cm), A. D. 1620–1680(53–45cm), A. D. 1770–1870(35–22cm) 三个时期, TOC 和碳酸盐含量为谷值期, TOC 含量在这三个时期的平均值分别为: 1.91%、1.90% 和 2.13%, 碳酸盐含量分别为 25.0%、27.0% 和 29.2%. 磁化率为峰值期, 磁化率在第二阶段为最高, 其最大值达到了 $8.5 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 在第一阶段次之, 在最后一个阶段值最低. 结合时间标尺推断该三时期应为小冰期的三个冷期, 气候条件为冷湿, 其中, 小冰期第二阶段冰湿程度最甚, 第一阶段次之, 最后一个阶段最弱. 从持续时间来看, 小冰期最盛期较短, 而第一和第三个冷期持续时间较长. A. D. 1570–1620 和 A. D. 1680–1770 两个时期, TOC 和碳酸盐含量为峰值期, 最大值分别达到了 3.53% 和 40.7%, 磁化率为谷值期, 最低值为 $6.3 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$ 左右, 指示这两个时期相对暖干, 其中第二个暖干期持续时间较长.

(4) A. D. 1870–2000(22–0cm), 该时期 TOC 和碳酸盐含量总的来讲较高, 平均分别为 3.19% 和 31.1%, 磁化率在前期较低, 平均为 $7.1 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, A. D. 1950 年以后急剧增高到 $15.5 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$ 左右, 反映了人类活动的深刻影响. 总的来讲该时期气候为暖干. 根据各环境指标的组合可以看出该时期气候环境仍然有所波动, A. D. 1870–A. D. 1920 气候较暖, A. D. 1920–1960 气温略有回落, 湿度略有增加, 在 A. D. 1960–1970, 气温开始上升, 湖水略有咸化. A. D. 1970–2000, 气候持续暖干, 水位持续下降.

4 讨论

中世纪暖期、小冰期和 20 世纪气候变暖是近千年来气候变化中最突出的气候事件, 而这些事件在青海湖岩芯沉积指标所反映的近 900 年来该地区的气候演化中都有较好的反映. 关于中世纪暖期, 王绍武根据史料、冰芯和树轮恢复的中国公元 800 年来的气温序列中, 13 世纪末的暖期在东部比较明显, 西部缺乏直接证据^[18]. 本研究中青海湖岩芯指示出 A. D. 1160–

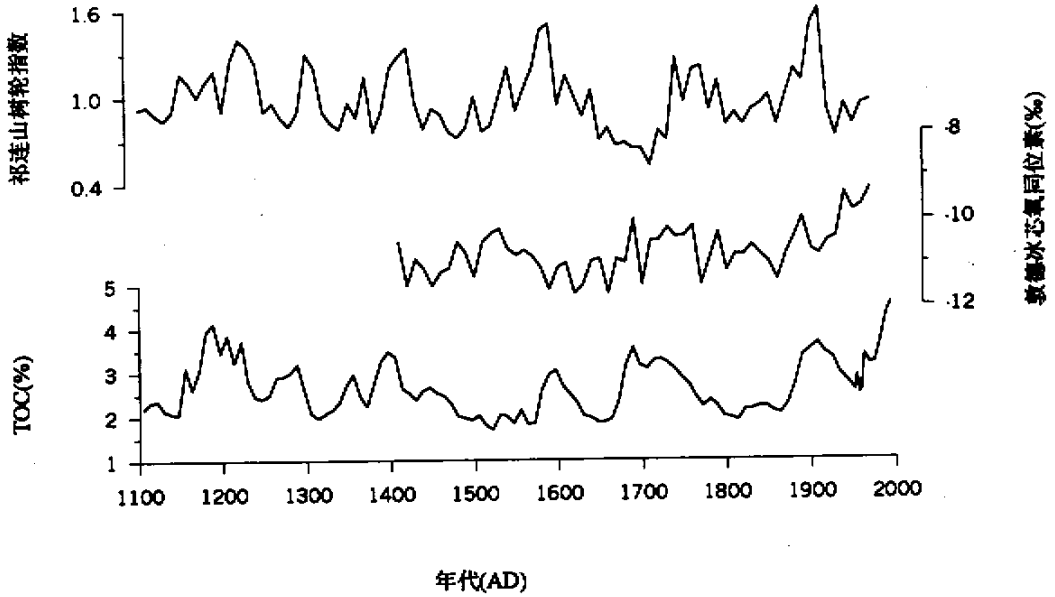


图3 青海湖沉积物 TOC 含量、祁连山树轮指数与敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}_{10}$ 年平均值曲线对比图
祁连山树轮平均指数资料据刘光远等^[4],敦德冰芯资料据姚檀栋等^[1]

Fig. 3 TOC of Qinghai, Qilian Mountain tree-ring indexes and
ten-year average $\delta^{18}\text{O}$ of Dunde Ice Core

A. D. 1290 该地区存在一个明显的暖期,为中世纪暖期在西部的存在找到了一个有力的证据。青海湖岩芯所反映出的近 900 年来该地区存在的 5 个冷期与刘光远等根据祁连山园柏年轮指数所得出的五个冷期以及王绍武等 1998 年所划定的近千年来中国的五个冷期基本一致^[4,19](图 3)。其中前两个冷期对应的极好,后三个冷期也就是小冰期的三个冷期,从寒冷程度上看,以 17 世纪的为最冷,15 世纪的次之,最后一次冷期最弱,这与敦德冰芯所得出的结论一致,从时间上来看,小冰期的第一个冷期和第三个冷期与物候资料、敦德冰芯、祁连山树轮和王绍武等所划定的中国小冰期的持续时间和时段基本一致^[14,17,19](图 3),只是青海湖岩芯所反映的第一个冷期的起止时间都略有滞后,而第二个冷期持续的时间相对较短。造成这些差别的主要原因可能是树轮、冰芯对气候的反映非常直接,而湖泊沉积则可能略有滞后,以及区域性的气候差异。在小冰期之间三次冷期之间的暖期,第二次暖期是无论从时间和规模上讲均较强,这与敦德冰芯得出的结论一致^[1]。近百年来青海湖岩芯所反映的气候变化趋势是朝着暖干化发展,只是期间略有小的波动,而这种波动与王绍武等^[20]所得到近百年来西北地区的气温变化曲线仅有小的差别,这种差别可能也是由于区域性的气候条件所造成的。五、六十年代人类在湖周围大规模的围垦活动及沉积速率的突然增加被磁化率忠实地予以记录下来。

5 结论

用多环境指标综合研究青海湖岩芯很好反映了该区近 900 年来的气候环境演化,从以上

分析可以看出:青海湖沉积岩芯记录为该地区近 900 年来的气候变化提供了详尽的记录. 青海湖地区近 900 年来属于冷湿-暖干波动为主的气候演替类型,这与前人所分析的青海湖的气候演替类型基本一致^[5].在这段时间内,共出现了 5 次冷湿期和 5 个温干、暖干期.中世纪暖期、小冰期以及 20 世纪以来的升温在该沉积岩芯中得到很好地记录.近几十年来人类活动的影响,可以从磁化率和沉积速率的记录清楚地判识出来.高分辨率多环境指标的湖泊沉积对历史时期气候变化的记录比较敏感,是缺乏历史记录地区历史时期气候变化研究的一种有效手段.

致谢 羊向东副研究员、吴艳宏副研究员参加了野外采样,并在成文过程中提供帮助,朱育新副研究员在实验过程中予以帮助,在此一并深表谢意.

参 考 文 献

- 姚檀栋,谢自楚,武筱箴等.敦德冰帽中的小冰期气候记录.中国科学 B 辑,1990(11):1196-1201
- 康兴成,张其花,Lisa J. Graumlich 等.青海都兰过去 2000 年来的气候重建及其变迁.地球科学进展,2000,15(2):215-221
- 张志华,吴祥定.利用树木年轮资料恢复祁连山地区近 700 年来气候变化.科学通报,1997,42(8):849-851
- 刘光远,王玉玺,张先恭等.祁连山近千年的年轻气候及其在冰川上的反映.中国科学院兰州冰川与冻土研究所集刊第 5 号(祁连山冰川及其利用).北京:科学出版社,1984.97-108
- 王苏民,李建仁.湖泊沉积-研究历史气候的有效手段-以青海湖、岱海为例.科学通报,1991(1):54-56
- 王苏民,施雅风.晚第四纪青海湖演化分析视与讨论.湖泊科学,1992,4(3):1-9
- 张彭熹,张保珍,钱桂敏等.青海湖全新世以来古环境参数的研究.第四纪研究,1994(3):225-238
- 陈克造, J M Bowler, K Kelts. 四万年来青藏高原的气候变迁.第四纪研究,1990(1):21-31
- Lister G S, K Kelts, K Z Chen, et al. Lake Qinghai, China: Close-basin lake levels and the oxygen isotope record for ostracoda since the latest Pleistocene. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 1991, 84: 141-162
- 冯松,汤懋苍,周陆生.青海湖近 600 年的水位变化.湖泊科学,2000,12(3):205-210
- 周陆生,杨卫东.青海湖近六百年来气候变化与湖水位下降原因.湖泊科学,1992,4(3):25-31
- 吴瑞金.湖泊沉积物的磁化率、频率磁化率及其古气候意义-以青海湖、岱海近代沉积为例.湖泊科学,1993,5(2):118-135
- 王云飞.青海湖、岱海的湖泊碳酸盐化学沉积与气候环境变化.海洋与湖沼,1993,24(1):31-35
- 黄麒,孟昭强,刘海玲.柴达木盆地查尔汗湖区古气候波动模式的初步研究.中国科学(B),1990(6):652-663
- Thompson R, Oldfield F. Mineral magnetic studies of lake sediments. In: *Environmental Magnetism*. Allen & Unwin, London, 1986: 101-113
- 胡守云,王苏民, Appel E 等.呼伦湖湖泊沉积物磁化率变化的环境磁学机制.中国科学(D 辑),1998, 28: 334-339
- 竺可桢.中国近五千年来气候变迁的初步研究.中国科学,1973(2):168-189
- 王绍武主编.现代气候学研究进展.北京:气象出版社,2001.127-131
- 王绍武,叶瑾琳,龚道溢.中国小冰期的气候.第四纪研究,1998(1):54-63
- 王绍武,叶瑾琳,龚道溢.近百年来中国气温序列的建立.应用气象学报,1998,9(4):392-401

Climate and Environment Change during the Past 900 Years in Qinghai Lake

ZHANG Enlou SHEN Ji WANG Sumin XIA Weilan JIN Zhangdong
(*Nanjing Institute of Geography and Limnology , Chinese Academy of Sciences , Nanjing 210008 , P. R. China*)

Abstract

Qinghai Lake is the biggest brackish lake of China. It lies in the northeast of the Tibet Plateau. That the location of the lake is influenced by the East monsoon , Siberian-Mongolian monsoon and the Westerlies enables its deposits record the climatic and environmental change sensitively.

Based on the analyses of environmental proxies (magnetic susceptibility , carbonate content , TOC etc.) , we reconstructed the environment change of Qinghai Lake in the past 900 years. It is indicated reliably by the results that this area has undergone five periods of warm and dry as well as five periods of wet and cold during the past 900 years. The existence of Mediaeval Warm Age , Little Ice Age are obvious , and the temperature has been rising since the 20th century. Human activity from the 1950 's was reflected by magnetic susceptibility clearly.

Key Words Qinghai Lake lake sediment , climate change