

青海湖末次冰消期以来的湖面变化

马玉伟^{1,2}, 张静然^{1,2}, 刘向军^{1,2}, 赖忠平¹

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 青海湖是我国最大的内陆封闭湖泊, 处在东亚季风、印度季风和西风带的交汇处, 对环境变化敏感, 是研究该区域及青藏高原环境变化的理想地点。前人基于其连续的湖相沉积物的多项环境指标与其四周湖成阶地、古岸堤以及表层所覆盖的风成沉积物的年代学研究, 探讨了青海湖晚第四纪以来的湖面变化情况, 取得了显著成果。然而由于测年材料和测年方法的不同, 对于高湖面出现的年代问题依然存在着诸多争议。根据近年来已发表的测年数据、前人对青海湖湖面升降变化的研究结果和青海湖 QH-2000 孔介形类壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 的记录进行综合集成, 构建了自 14 ka 以来的青海湖湖面变化曲线。在约 14 ~ 12 ka, 湖面在海拔约 3 206 m, 比现代湖面高 12.3 m (以 2010 年 3 月湖面海拔 3 193.4 m 为基准); 在约 12 ~ 10 ka, 湖面急剧下降到海拔约 3 165 m, 比现代低 28.4 m; 在 10 ~ 9 ka, 湖面急剧上升到海拔约 3 173 m; 在 9 ~ 6 ka, 湖面相对稳定在海拔 3 213 m; 在 6 ~ 4 ka, 发生过一次干旱事件, 湖面下降到低于现代湖面; 在 4 ~ 1 ka, 湖面相对稳定在海拔 3 193.7 m; 在 1 ka 至今, 湖面呈持续下降趋势。

关键词: 青海湖; 氧同位素; 末次冰消期; 湖面变化

中图分类号: P534.63

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2011)03-0019-07

引 言

湖泊作为地表水的重要载体, 参与着自然系统的水分循环过程。湖泊沉积具有连续性、沉积速率大、分辨率高和信息丰富的特点, 全息地记录着大气环流、水文循环和湖泊演化的历史全过程。湖泊在全球广泛分布, 在研究过去全球变化及区域响应差异方面, 湖泊沉积物具有其它陆地记录, 如树轮、冰芯甚至黄土不可替代的优势。湖泊记录不仅能像黄土、深海记录和极地冰芯那样表现出气候的冰期—间冰期旋回的长时间序列和构造运动信息, 又可像树轮、石笋那样进行高分辨率分析。因此, 目前已成为建立轨道尺度和千年尺度气候变化的重要依据之一^[1-4]。

青海湖位于青藏高原东北部, 地处东亚季

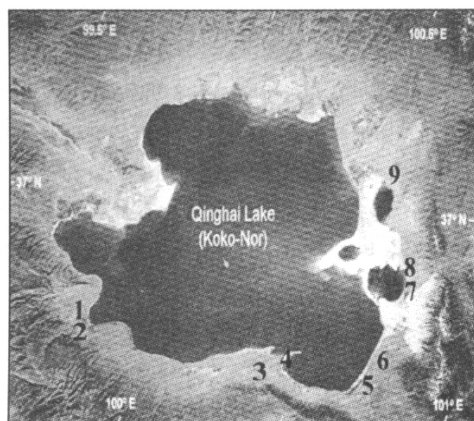
风、印度季风和西风带三大大气系统的交汇处, 是我国最大的内陆封闭型湖泊。其独特的地理位置和巨大的水体面积使其对全球气候环境的变化极其敏感, 是过去气候环境变化的记录器。气候的波动导致湖水位的升降并塑造了相应的沉积地貌, 这些沉积地貌是进行湖泊演化和区域环境变化研究的理想载体。自 20 世纪 80 年代以来, 国内外学者通过湖相沉积物中多项环境指标的分析以及青海湖古湖岸堤、湖成阶地等对青海湖湖泊高湖面演化的时空序列进行过大量的研究^[5-11] (图 1)。在以往的研究中, 湖相沉积物的测年主要依靠¹⁴C 和 TL 定年, 但是由于湖滨相沉积物中有机质含量较低, 很难找到适合的¹⁴C 测年的物质, 并且湖相沉积物的碳库效应也会严重影响¹⁴C 测年的准确度; 对于 TL 的测年来说, 虽然测年物质较为丰富, 但是沉积释光信号的不完全晒退也会影响测年结

收稿日期: 2011-02-28

基金项目: 中国科学院百人计划(A0961) 和国家自然科学基金(40901014) 资助

作者简介: 马玉伟(1982-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为第四纪地质。E-mail: mayuwei2007@163.com。

果。由于这些测年方法存在的局限性,使得青海湖湖成阶地的形成年代以及末次冰消期以来的高湖面时空演化序列问题依然存在一些争论。本文在综合前人研究的基础上,对比各级不同高度的湖岸堤和湖相沉积遗存的形成年代与青海湖湖相沉积物中的 $\delta^{18}\text{O}$ 进行对比,以探讨青海湖末次冰消期以来的湖面变化的时空序列。



1 - 黑马河西北部路段(36.759°N, 99.771°E; 海拔3 205 ~ 3 210 m)^[4,6,7,8]; 2 - 黑马河考古点 1#(36.7304°N, 99.7699°E; 海拔3 210 m)^[6,7,8]; 3 - 江西沟(海拔3 330 m)^[8]; 4 - 二郎剑(36.601°N, 100.400°E; 海拔3 246 m)^[5,10]; 5 - 青海湖东南部(36.49°N, 100.84°E; 海拔3 250 ~ 3 260 m)^[8]; 6 - 倒淌河北部, 日月山南部(36.495°N, 100.847°E; 海拔3 245 ~ 3 260 m)^[5,9,10]; 7 - 青海湖东剖面(36.95°N, 100.61°E, 海拔3 217 m)^[5,10]; 8 - 金沙湾剖面(36.82°N, 100.79°E, 海拔3 235 m)^[5,10]; 9 - 青海湖东北部(37.09°N, 100.56°E; 海拔3 222 ~ 3 241 m)^[8]

图 1 青海湖地区高湖面研究的位置

Fig. 1 The location of the high lake level research in Qinghai lake area

1 研究区概况

青海湖介于 36°32′ ~ 37°15′N, 99°36′ ~ 100°46′E 之间; 其湖面海拔约为 3 200 m, 湖泊面积为 4 473 km², 流域总面积为 29 660 km²。青海湖盆地是北以大通山, 东以日月山, 南以青海南山, 西以阿木尼尼库山为界, 形成一狭长的西北—东南向的凹陷盆地。湖区年平均气温在 -1 ~ 1 °C 之间, 年平均降水量在 300 ~ 400 mm 之间, 且降水主要集中在 5 ~ 9 月, 可占全年总

降水量的 80%。受地形及湖水体影响, 流域降水具有空间分布不均匀的特点。

流域内海拔 3 500 ~ 3 700 m 以下的湖滨近湖区, 以温性草原植被为主, 在河口三角洲上还有少量的耕地。在 3 700 m 以上则以高寒草甸植被为主, 同时也是永久冻土区。流域内尚有少量的冰川, 其消融补给占河川径流补给的 0.5%^[12]。此外, 在湖的东北部还有少量的沙漠。西北部面积广阔, 河网发育, 径流量大, 区域内的较大河流均分布于此; 东南部地域狭窄, 河网稀疏, 水量贫乏, 且多为季节性河流。汇入青海湖的大小河流约 40 多条, 其中布哈河为青海湖流域最大的入湖河流, 径流量和集水面积可占全流域的一半。

2 研究现状

中国干旱半干旱地区尤其是季风边缘区湖泊高湖面的出现与季风环流^[13]、西风环流^[14]和新构造运动^[15]等因素紧密联系, 这引起了中外学者的广泛关注与深入的研究。国内外广泛报道了中国干旱区的腾格里沙漠^[16-17]、巴丹吉林沙漠^[18-19]以及新疆内陆^[20]等的湖泊在全新世以前都曾出现过高湖面或大湖期, 青藏高原也发现了大量晚第四纪高湖面的古湖泊^[21-22], 但对于高湖面出现的时间还存在较多争议。一些学者基于 ¹⁴C 测年认为这些湖泊的高湖面主要出现在 MIS3 阶段^[13-14, 21-22], 另一些学者基于光释光测年则认为高湖面应出现在 MIS5 阶段而不是 MIS3 阶段^[7, 9-10, 23]。柴达木盆地德令哈尔海湖的湖岸阶地光释光测年结果也表明最高湖面出现的时间为 MIS5, 没有发现 MIS3 阶段存在高湖面的证据^[24]。陈发虎等^[25]对“吉兰泰—河套”古大湖的湖岸堤光释光测年结果揭示, 该地区的大湖期出现在 5 × 10⁴ ~ 6 × 10⁴ a 以前。

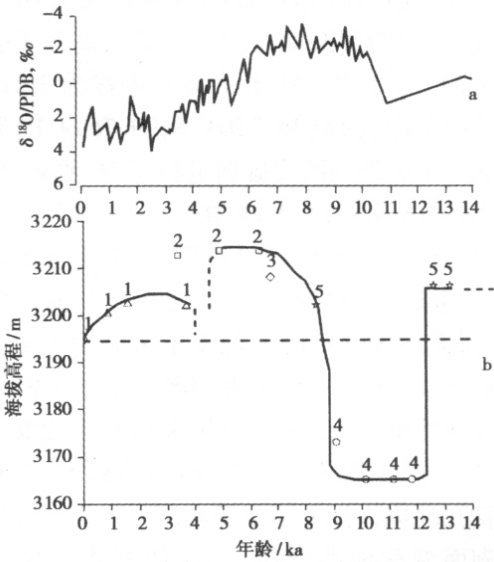
青海湖特殊的地理位置使得其高湖面研究对揭示和认识青藏高原和西北干旱区气候环境、湖泊演化和水文循环变化有重要的意义。早在 20 世纪 80 年代, 国内外学者就对青海湖的地貌以及湖岸阶地等进行了考察, 发现其周围保存有多级湖岸阶地或高位湖相沉积物, 并

对其进行了年代的测定。但是,关于这些湖成阶地的形成年代,国内外不同学者用不同测年手段测得的年龄差异很大。王苏民和施雅风通过地貌分析发现青海湖四周从山麓到湖滨阶状地形明显,至少存在四级湖成阶地,其中以第二级阶地分布最广,保存较完整,并且基于¹⁴C定年认为这四级湖成阶地应是 1.2×10^4 a 以来的高湖面产物^[2]。刘向军等通过遥感影像解译和近年来的野外实地地貌、地层考察认为,青海湖只有两级阶地,基于光释光测年方法,一级阶地形成于全新世和 MIS3 阶段早中期,二级阶地形成于 MIS5 阶段^[3]。

3 青海湖末次冰期以来的湖面变化

青海湖是一个内陆封闭湖泊,其水量平衡主要受控于流域内的降水及湖面蒸发,而1956~1986年湖面升降与降水的关系图证明了青海湖的湖面升降主要取决于降水^[4]。青海湖QH-2000孔沉积物介形类壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 记录可以作为季风强度变化的一项很好的指标^[2]。季风强度增强,所携带的水分较多,由于补给水量充沛,通常表现为低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值。特别是在高原地区,温暖的气候条件促使冰雪溶化,这种低的 $\delta^{18}\text{O}$ 水补给湖盆造成湖水负 $\delta^{18}\text{O}$

也明显。反之,季风强度减弱,补给水量减少, $\delta^{18}\text{O}$ 值就相对比较高。本文根据近年来已发表的测年数据、前人对青海湖湖面升降变化的研究结果(表1)和青海湖QH-2000孔介形类壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 的记录(图2a)进行系统集成,构建了自14 ka以来的青海湖湖面变化曲线(图2b)。



注: 水平虚线为现在湖面高程(3 193.7 m); 三角形为湖滨沉积物年龄; 正方形为根据水文学计算的年代; 菱形和五角星为表面披覆的风成沉积物年龄; 图 a 中氧同位素引自刘兴起等^[2]

图 2 青海湖末次冰消期以来的湖面变化
Fig.2 Lake level fluctuations in Qinghai lake level since the Last Deglaciation

表 1 青海湖末次冰消期以来湖面变化的研究结果

Table 1 The results of Lake level fluctuations in Qinghai Lake since the Last Deglaciation

样品编号	海拔高程/m	测年方法	年龄/ka
HYW1 ¹	3 195	OSL	0.037 ± 0.015
HYW6 ¹	3 200.4	OSL	0.87 ± 0.11
HYW11-B ¹	3 202.4	OSL	1.6 ± 0.31
HYW11-C ¹	3 201.9	OSL	3.71 ± 0.35
QH-16A ²	3 212.6	¹⁴ C	4~3
QH-16A ²	3 213.6	¹⁴ C	4.9~5
QH-16A ²	3 213.6	¹⁴ C	6.3~6.4
OH-86 ³	<3 208	¹⁴ C	7.4~6
Q14B ⁴	<3 173	¹⁴ C	10~8
Q14B ⁴	3 165	¹⁴ C	10.3~10
Q14B ⁴	3 165	¹⁴ C	11.6~10.7
Q14B ⁴	3 165	¹⁴ C	12~11.6
HMH#3 ⁵	3 202	¹⁴ C	8.37~8.54
HMH#1 ⁵	<3 206	¹⁴ C	12.41~12.84
HMH#1 ⁵	<3 206	¹⁴ C	13.4~13

1 - Liu et al(2010) 基于光释光测年(OSL) ; 2 - 张彭熹等(1989,1994) ; 3 - 陈克造等(1990) ; 4 - Yu et al(2002) 和 Lister et al(1991) ; 5 - Madsen et al(2006,2008) 和 Rhode et al(2007) .

如图 2 所示,约 14 ~ 12 ka BP 期间,介形类壳体 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值虽然在 1‰ 左右,但是较前期的 3.05‰ 相对偏轻,说明此阶段季风强度有所增强,有可能同 Bölling-Allerød 有关^[3]。这一阶段湖水面由于气温的升高,使得末次冰期盛冰期形成的冰川开始消融,从而促使青海湖湖面上升。前人根据周边湖成阶地研究结果认为,这一时期青海湖湖面上升最大高度不会超过 3 206 m^[26,28]。Madsen 等对海拔为 3 210 m 黑马河考古点 1#(36.7304°N,99.7699°E) 距离地表 2.5 m 处的两层碳屑进行了 ^{14}C 测年,所测得年龄 13.4 ~ 13.0 ka BP 也证实了这一结论^[7]。约 12 ~ 10 ka BP 阶段,它是末次冰期向冰后期转化的过渡阶段,在近两千年的时间段中,青海湖湖面伴随着孢粉记录显示了两次气候转冷时期(12 ~ 11.6 ka BP),相当于欧洲中仙女木冷事件;并在 11 ~ 10 ka BP 新仙女木事件时^[28] 开始下降。根据 Lister 等和 Yu 分别基于钻孔环境指标重建了青海湖 1.4×10^4 a 以来的湖面变化曲线分析,当时的湖水深度小于 5 m,接近干涸^[29-30]。

全新世早期,尽管 $\delta^{18}\text{O}$ 相对偏轻,季风的增强引起降水量的逐渐增加,但是水量支出大于收入而致湖面呈持续下降趋势,说明当时的有效湿度比现在要低很多。余俊清等对两孔岩芯的多学科研究表明,在 10 ~ 9 ka BP 期间湖水的深度估计在 2 ~ 8 m 的范围内变化^[31]。全新世中期(9 ~ 6 ka BP), $\delta^{18}\text{O}$ 整体偏负,平均为 -2.15‰,季风强度达到了最大^[27],青海湖湖面开始上升,但上升到最高湖面的时间以及高出湖面的多少还存在争议。陈克造等和 Lister 等认为青海湖在全新世 7.4 ~ 6 ka BP 大暖期期间出现高湖面,但高湖面不会超过 3 208 m^[3,28];Madsen 等根据地貌学以及 ^{14}C 年代认为,青海湖在全新世 8.4 ka BP 出现高湖面,最高湖面海拔不超过 3 202 m^[7]。

在 7.4 ~ 4.5 ka BP 期间,各种气候代用指标(孢粉、粒度、C/N 和 TOC 等)变化剧烈,波动十分频繁,气候在转型过程中具有快速的冷暖和干湿变化^[27]。在 4 ~ 1 ka BP 期间,孢粉^[33]、湖相自生碳酸盐^[34] 等环境指标都显示出青海湖气候自 4 ka BP 开始向冷干方向转化。此阶

段湖沼沉积减少,代之以风沙沉积, $\delta^{18}\text{O}$ 值偏正,反映全新世中后期气候环境迅速恶化,湖泊急剧萎缩。青海湖沉积岩芯较好地记录了该地区近千年来的气候组合类型为冷湿与暖干交替的环境变化特征,近千年来青海湖地区经历了 5 次冷湿期和 5 个暖干期,中世纪暖期、小冰期以及 20 世纪以来的升温在沉积岩芯中得到良好的记录^[28]。青海湖湖面也随着气候的变化出现相应的扩张和退缩,但是总体呈现下降趋势。Liu 等探讨了青海湖 3 700 年以来的湖面变化及其与气候变化和人类活动的关系,发现青海湖最近 3.7 ka BP 以来的湖面波动在 9 m 以下,且湖面经历了多次的升降波动;最近 1 ka BP 年湖面呈持续下降趋势,近 300 a 来下降速率加快^[11]。Colman 等根据 1958 年以来的气象、水文数据绘制了青海湖水位近 50 a 来的水位变化曲线图,认为青海湖水位自上世纪以来由于人类活动以及温度的升高等原因的影响,水位下降近 4 m^[35]。

4 结 语

通过前人对高湖面的研究成果与钻孔 $\delta^{18}\text{O}$ 记录对比可以看出,自末次冰消期以来,青海湖沉积物中记录了博令暖期(Bolling interstadial)、阿德罗得暖期(Allerød interstadial)、老仙女木(Older Dryas)和新仙女木事件(Younger Dryas)。几次冷暖事件中湖面都相应出现波动,但是最高湖面一般都不高于 3 206 m(图 2),最低湖面时期湖水深度小于 5 m,接近干涸。青海湖进入全新世以后, $\delta^{18}\text{O}$ 快速由偏正转为偏负,季风强度快速增强,季风带来的降水增多使湖面开始上升,特别是在全新世中期,湖面达到最高值,根据前人研究结果最高湖面一般不会超过 3 213 m。晚全新世以后,季风强度减弱,湖面虽有小的波动,但是总的开始呈现下降趋势。尤其是近 50 a 以来,人类活动的影响以及全球温度的升高导致湖面开始急剧下降。

青海湖湖面在晚冰期向全新世转变期间,随着气候的冷暖干湿变化波动十分频繁,但是以往研究中年代测试大部分都是基于 ^{14}C 测年

获得的。而 ^{14}C 测年在干旱区缺乏有机测年材料和碳库效应等因素的影响,常常使得测年结果存在测不准的现象;再者,湖滨碳酸盐沉积物由于其可能滞后于湖岸堤的形成时间,同时由于湖滨碳酸盐沉积物只在近代的湖岸堤沉积物中发现,这也限制了铀系测年方法的应用^[5]。近年来,光释光测年(OSL)已被广泛应用于风成沉积物^[36-39]和湖相沉积物^[40-42]测年,并且在一些沉积物测年的应用中,已经显示出了可能获得比 ^{14}C 测年更可靠的沉积物年龄的潜力^[43]。

参考文献:

- [1] 王苏民,李健仁. 湖泊沉积—研究历史气候的有效手段:以青海湖、岱海为例[J]. 科学通报,1991,36(1):54-56.
- [2] 王苏民,张振克. 中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展[J]. 科学通报,1999,44(6):975-983.
- [3] 陈克造,Bowler J M,Kelts K. 四万年来青藏高原的气候变迁[J]. 第四纪研究,1990(1):21-31.
- [4] 陈发虎,汪世兰,张维信. 青海湖南岸全新世黄土剖面、气候信息几乎面升降探讨[J]. 地理科学,1991,11(1):76-85.
- [5] 刘向军,赖忠平,隆浩,等. 青海湖晚第四纪湖面变化研究进展[J]. 地球环境学报(待刊).
- [6] Madsen D B, Ma H Z, Brantingham P J, et al. The Late Upper Paleolithic occupation of the northern Tibetan Plateau margin[J]. Journal of Archaeological Science, 2006, 33(10):1433-1444.
- [7] Madsen D B, Ma H Z, Rhode D, et al. Age constraints on the late Quaternary evolution of Qinghai Lake, Tibetan Plateau[J]. Quaternary Research, 2008, 69(2):316-325.
- [8] Rhode D, Zhang H Y, Madsen D B, et al. Epipaleolithic/early Neolithic settlements at Qinghai Lake, western China[J]. Journal of Archaeological Science, 2007, 34(4):600-612.
- [9] Rhode D, Ma H Z, Madsen D B, et al. Paleoenvironmental and archaeological investigation at Qinghai Lake, western China: Geomorphic and chronometric evidence of lake level history[J]. Quaternary International, 2010, 218(1-2):29-44.
- [10] Liu X J, Lai Z P, Fan Q S, et al. Timing for high lake levels of Qinghai Lake in the Qinghai-Tibetan Plateau since the Last Interglaciation based on quartz OSL dating[J]. Quaternary Geochronology, 2010, 5(2-3):218-222.
- [11] Liu X J, Lai Z P, Madsen D B, et al. 2010b. Lake level variations of Qinghai Lake in northeastern Qinghai-Tibetan Plateau since 3.7 ka based on OSL dating. Quaternary International(in press).
- [12] 马万里. 青海省志·青海湖志[M]. 西宁:青海人民出版社,1998:10-60.
- [13] Shi Y F, Yu G, Liu X D, et al. Reconstruction of the 30-40 ka BP enhanced Indian monsoon climate based on geological records from the Tibetan Plateau[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2001, 169(1-2):69-83.
- [14] Yang B, Shi Y F, Braeuning A, et al. Evidence for a warm-humid climate in arid northwestern China during 40-30 ka BP[J]. Quaternary Science Reviews, 2004, 23(23-24):2537-2548.
- [15] 陈发虎,范育新, Madsen D B, 等. 河套地区新生代湖泊演化与“吉兰泰-河套”形成机制的初步研究[J]. 第四纪研究, 2008, 28(5):866-873.
- [16] 张虎才, Wunnemann B. 腾格里沙漠晚更新世以来湖相沉积年代学及高湖面期的初步确定[J]. 兰州大学学报, 1997, 33(2):87-91.
- [17] Pachur H J, Wunnemann B, Zhang H C. Lake evolution in the Tengger Desert, Northwestern China, during the last 40,000 years[J]. Quaternary Research, 1995, 44(2):171-180.
- [18] Wunnemann B, Hartman K B. Morphodynamics and Paleohydrography of the Gaxun Nur Basin Inner Mongolia, China[J]. Berlin Stuttgart, 2002(126):147-168.
- [19] Yang X P, Liu T S, Xiao H L. Evolution of megadunes and lakes in the Badain Jaran Desert, Inner Mongolia, China—during the last 31,000 years[J]. Quaternary International, 2003(104):99-112.
- [20] 韩淑妮,袁玉江. 新疆巴里坤湖3.5万年以来气候变化序列[J]. 地理学报, 1990, 45(3):350-362.
- [21] 郑绵平,刘俊英,齐文. 从盐湖沉积探讨40 ka BP以来青藏高原古气候交替[J]//郑绵平. 盐湖资源环境和全球变化—第六届全球盐湖论文集,北京:地质出版社,1996:60-20.
- [22] 李炳元. 青藏高原大湖期[J]. 地理学报, 2000, 55(2):174-181.
- [23] Fan Q S, Lai Z P, Long H, et al. OSL chronology for lacustrine sediments recording high stands of Gahai Lake in Qaidam Basin, northeastern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Quaternary Geochronology, 2010, 5(2-3):223-227.
- [24] Zhu D G, Meng X G, Zhao X T, et al. Evolution of an ancient large lake in the southeast of the Northern Tibetan Plateau[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(4):982-992.
- [25] 陈发虎,范育新,春喜,等. 晚第四纪“兰泰-河套”古大湖的初步研究[J]. 科学通报, 2008, 53(10):1207-1219.
- [26] 王苏民,施雅风. 晚第四纪青海湖演化研究析视与讨

- 论[J]. 湖泊科学, 1992, 4(3): 1-9.
- [27] 刘兴起, 王苏民, 沈吉. 青海湖 QH-2000 钻孔沉积物粒度组成的古气候古环境意义[J]. 湖泊科学, 2003, 15(2): 112-117.
- [28] 沈吉, 张恩楼, 夏威夷. 青海湖近千年来气候环境变化的湖泊沉积记录[J]. 第四纪研究, 2001, 21(6): 508-513.
- [29] Lister G S, Kelts K, Chen K Z, *et al.* Lake Qinghai, China: Closed-basin lake levels and the oxygen isotope record for ostracoda since the latest Pleistocene[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1991, 84(1-4): 141-162.
- [30] Yu J Q. Lake Qinghai, China: A multi-proxy investigation on sediment cores for the reconstructions of paleoclimate and paleoenvironment since the Marine Isotope Stage 3[J]. Darmstadt: Faculty of Materials and Geoscience, Technical University of Darmstadt, 2005.
- [31] 余俊清, K. Kelts, 末次冰消期晚期青藏高原东北部气候变化[J]. 第四纪研究, 2002, 22(5): 413-423.
- [32] 刘兴起, 沈吉, 王苏民, 等. 晚冰期以来青海湖地区气候变迁受西南季风控制的介形类壳体氧同位素证据[J]. 科学通报, 2006, 51(22): 2690-2694.
- [33] 周笃珩. 4200 年来青海湖盆地植被及环境的演变[J]. 青海环境, 1996, 6(3): 109-112.
- [34] 刘兴起, 沈吉, 王苏民, 等. 16 ka 以来青海湖湖相自生碳酸盐沉积记录的古气候[J]. 高校地质学报, 2003, 9(1): 38-46.
- [35] Colman S M, Yu S Y, An Z S, *et al.* Late Cenozoic climate changes in China's western interior: a review of research on Lake Qinghai and comparison with other records[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2007, 26(17-18): 2281-2300.
- [36] 陈杰, 卢滨涛, 魏兰英, 等. 第四纪沉积物光释光测年中等效剂量测定方法的对比研究[J]. 地球化学, 1999, 28(5): 443-452.
- [37] Lu Y C, Wang X L, Wintle A G. A new OSL chronology for dust accumulation in the last 130,000 yr for the Chinese Loess Plateau[J]. *Quaternary Research*, 2007, 67(1): 152-160.
- [38] Lai Z P, Kaiser K, Brückner H. Luminescence dated aeolian deposits of late Quaternary age in the southern Tibetan Plateau and their implications for landscape history[J]. *Quaternary Research*, 2009, 72(3): 421-430.
- [39] Wang X L, Miao X D. Weathering history indicated by the luminescence emissions in Chinese loess and paleosols[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2006, 25(13-14): 1719-1726.
- [40] Olley J M, Pietsch T, Roberts R G. Optical dating of Holocene sediments from a variety of geomorphic settings using single grains of quartz[J]. *Geomorphology*, 2004, 60(3-4): 337-358.
- [41] 张家富, 周力平, 姚书春, 等. 湖泊沉积物的¹⁴C 和光释光测年—以固城湖为例[J]. 第四纪研究, 2007, 27(4): 522-528.
- [42] 范育新, 赵晖, 陈发虎, 等. 博斯腾湖湖泊沉积物光释光年代测量[J]. 第四纪研究, 2007, 27(4): 568-575.
- [43] Thomas D S G, Bailey R, Shaw P A, *et al.* Late Quaternary highstands at Lake Chilwa, Malawi: Frequency, timing and possible forcing mechanisms in the last 44 ka[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2009, 28(5-6): 526-539.

Lake Level Fluctuations in Qinghai Lake since the Last Deglaciation

MA Yu-wei^{1,2}, ZHANG Jing-ran^{1,2}, LIU Xiang-jun^{1,2}, LAI Zhong-ping¹

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China)

Abstract: Qinghai Lake, on the northeastern Qinghai Tibetan Plateau, is China's largest extant closed-basin lake. Its proximity to the junction of three major climate systems (the East Asian monsoon, the Indian monsoon, and the Westerly) makes it one of the most sensitive regions to palaeoenvironmental changes and it has been the subject of numerous lake level fluctuations investigations, most involving climatic proxies derived from sediment cores, lacustrine terrace and alluvium overlying ripple laminated, shoreline deposits. However, due to different dating methods and different dating materials, controversies still exist regarding to the timing of the high lake levels since the Last Deglaciation. In the present paper, the authors built a curve about lake level fluctuations since the Last Deglaciation based on previous research and

the record of $\delta^{18}\text{O}$ in the core QH-2000. Between 14 ~ 12 ka BP, the elevation was 12.3 m higher than today (3 193.4 m); 12 ~ 10 ka BP, the lake level dropped sharply to about 3 165 m; 10 ~ 9 ka BP, the lake level began to rise, but not exceeding 3 173 m; 9 ~ 6 ka BP, the lake level was relatively stable at about 3 213 m; 6 ~ 4 ka BP, the lake level may dropped below the modern lake; 4 ~ 1 ka BP, the lake level was relative stable at about 3 193.7 m; and from 1 ka BP to now, the lake level showed a declining tendency.

Key words: Qinghai Lake; Oxygen isotope; The Last Deglaciation; Lake level fluctuations

(上接第7页)

Comprehensive Comparison of Potash Deposits in Lanping-Simao Basin and Khorat Plateau

HAN Yuan-hong^{1,2}, MA Hai-zhou¹, YUAN Xiao-long^{1,2}, ZHANG Xi-ying^{1,2}, GAO Dong-lin¹

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China)

Abstract: Khorat plateau is located in northeast Thailand and middle Lao's, with the world's largest potash deposits. These deposits are characterized by shallow burying and great thickness. Lanping-Simao basin in China lies in the same tectonic zone with Khorat plateau. There are great similarities in original and mineralization in two areas. Focused on the comparative studies on geological setting, evaporation time, provenance and environment, sedimentary characteristics, Br geochemistry and other aspects, the similarities especially differences were systemically analyzed between two areas. At last, some valuable suggests have been put forward for the further work in these areas.

Key words: Lanping-Simao basin; Potash deposit; Khorat plateau; Comprehensive comparison