

湖泊沉积记录千年气候变化的研究 进展、挑战与展望

刘 永^{1,2}, 余俊清¹, 成艾颖^{1,2}, 张丽莎¹, 高春亮^{1,2}

(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: 湖泊沉积记录在区域千年气候与环境变化方面的应用近年来发展迅速, 成果令人瞩目。保存在各类湖泊岩芯中的气候指标如孢粉组合、地球化学元素、分子同位素、有机质色素、生物标志物等被广泛应用到气候因子的重建工作中。研究方法的改进、测年精度的提高、环境指标与气候因子之间的定量转换是今后湖泊沉积千年以来高分辨率研究的需要, 此外还要重视加强多项环境指标的综合研究, 寻求其它有效环境替代指标以及开展不同类型湖泊环境代理记录的对比研究。

关键词: 湖泊沉积; 千年气候; 高分辨率

中图分类号: P512.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2011)01-0059-07

1 前 言

最近两千年气候变化是“过去全球变化研究计划”(GBP-PAGES)和“气候变率与可预测性研究”(CLIMAR)两大国际项目的核心研究内容, 其中 1 ka BP 来的气候变化是现代器测记录资料与过去气候代用指标研究资料衔接的关键时段^[1]。近千年气候变化研究的深入开展不仅有利于提高我们对当今气候问题的理解和从短时间尺度上对未来气候走势进行预测, 而且对了解人类的活动对气候变化影响程度大有裨益, 所以越来越受到各国古气候学家的高度重视。我国学者也充分认识到了千年气候变化研究的重要性, 国家自然科学基金委于 2008 年批准了重大自然科学基金项目“中国地区树轮及千年气候变化研究”, 其主要科学目标就是“重建中国区域千年气候变化时间序列, 揭示中国区域千年气候变化的特征、规律与机理等等”。

随着测年技术和分析手段的显著改进, 高分辨率气候环境的分析方法也日益增多, 目前应用比较广泛的有历史文献、树轮、冰芯和湖泊沉积等等。

在历史气候因子的重建过程中, 需要注意到各种方法的适用条件。如历史文献中虽然包含大量的气象信息, 但是文献资料一般只局限于那些有文字记录传统的地区(如西欧和东亚)^[2-3], 所以一般不能应用文献记录重建全球/半球尺度的气候演化序列^[3], 而且文献资料来源多样, 内容驳杂不一, 难免带有某些主观因素(包括信息记录的主观性以及文献解读的主观判断等)。树木年轮作为气候变化的代用资料, 因其分辨率较高、定年准确、连续性较强等优势在气候变化研究中受到广泛的重视^[4], 但是树轮指标与气候因子之间的耦合关系仍存不同意见^[3,5]。冰芯记录虽然具有分辨率高、信息量大、保真性强、时间序列长等优点^[6-7], 但其存在地理分布上的局限性, 某些代理指标与气候因子之间耦合关系仍有深入探究的必

收稿日期: 2010-11-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40571173, 40871008)和兰州大学西部环境教育部重点实验室项目共同资助

作者简介: 刘永(1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为地球化学。E-mail: yongliu712@foxmail.com

要, 建立具高分辨率的精确年龄模式通常也面临一定的挑战。本文仅对湖泊沉积记录在千年气候研究中的研究现状、存在的问题展开讨论, 并对研究趋势作出展望。

2 湖泊沉积记录千年气候变化的研究进展

与其它陆地自然记录相比, 湖泊沉积尤其是内陆干旱半干旱地区的封闭湖泊具有连续性和敏感性好、地理覆盖面广等特点^[8], 在高分辨率气候变化的研究中具有独特的优势。但是, 由于湖泊系统本身的复杂性以及现有代理记录的分辨率低于树轮、石笋等环境代理记录, 在千年气候变化研究中受到一定的限制。尽管如此, 国内外的湖泊学家还是在千年气候变化重建中做了很多努力, 取得了许多有价值的研究成果。

2.1 国内研究现状

我国较为系统的晚第四纪湖泊沉积研究始于 20 世纪 80 年代后期, 中—瑞联合开展了对青海湖的系统钻探研究, 并相继发表了一些高

水平的论文和专著^[9-11]。迄今为止, 沉积年龄包含最近 1 ka 的湖泊沉积与气候环境演化关系的研究还较少, 主要有青海湖、苏干湖、岱海、洱海等(表 1)。在千年气候变化的研究中, 最突出的气候事件应该为中世纪暖期 (medieval warm period, MWP)、小冰期 (little ice age,LIA) 和 20 世纪的气候变暖。尽管目前关于上述某些气候事件的时-地域尺度仍然存在异议^[12-15], 但似乎越来越多的证据表明上述气候事件在地域上具有全球性^[16-17]。已有研究表明 MWP 成因机制可能归因于北大西洋温盐环流 (尽管仍存在争议)^[18], 而广泛存在的小冰期的 3 个阶段可能分别对应于太阳活动的 3 个极小期^[19], 史波勒极小期 (Spörer minimum, AD 1402~1516 a), 蒙德极小期 (Maunder minimum, AD 1645~1715 a), 道尔顿极小期 (Dalton minimum, AD 约 1790~约 1830 a)。也有学者指出小冰期异常气候的出现可能是太阳辐射、火山活动、北大西洋涛动异常等综合因素而引起的^[20]。至于 20 世纪全球气候变暖的原因, 通常归咎于人类活动引发温室气体浓度的显著上升。

表 1 中国过去 1 ka 湖泊沉积与气候变化的研究
Table 1 Relationship between lacustrine sediments and climate changes of the past 1 000 years

湖泊和钻孔	地点	时间分辨率	岩芯或剖面深度	文献
青海湖 QH00A	青海	约 10 a	120 cm	[17]
苏干湖 SG03 I	甘肃	约 60 a	270 cm	[18]
岱海 DH	内蒙古凉城	约 10 a	176 cm	[19— 20]
洱海 EH911208—3—5	云南大理	4~8 a	83 cm	[21]

本文所列举的沉积记录也完整或者部分反映了上述某些气候事件。青海湖沉积岩芯揭示^[21], AD 1 050~1 160 a 气候组合特征为冷湿; AD 1 160~1 290 a 存在一个明显的暖期; AD 1 290~1 470 a 气候波动较大, 但总体以温干为主; AD 1 470~1 870 a 出现 5 次有规律的转换, 包括被 2 次冷阶所间隔的 3 次冷阶; AD 1 870~2 000 a 时段, 除 AD 1 920~1 960 a 气温略微回落外, 整体上呈现持续上升的趋势。沈吉等分别将 AD 1 160~1 290 a、AD 1 470~1 870 a 和 AD 1 870~2 000 a 这

3 个时段对应为青海湖地区的 MWP、LIA 和 20 世纪的暖期。陈建徽等^[22]利用苏干湖沉积中的摇蚊亚化石记录完整再现了 AD 990~2 002 的湖水盐度变化序列, 并划分为 3 个阶段, AD 990~1 450 a 的高湖水盐度期, AD 1 450~1 850 a 低湖水盐度期, 以及 AD 1 850~2 002 a 的盐度逐渐增加至现代水平时期。已有研究表明^[21, 23-24], 在中国西北部的某些地区, 小冰期时期的气候组合特征为冷湿。原文作者认为 AD 1 450~1 850 a 低湖水盐度期在时间范围上大致对应小冰期, 气候寒冷湿

润, 水量平衡为正值 ($P/E>1$), 湖水淡化, 引起苏干湖中低咸水种摇蚊组合占绝对优势。而阶段 3 可能由于全球变暖导致区域气候干旱化, 对应于 20 世纪的气候异常增暖期。曹建廷等^[25], 通过对岱海沉积物中有机碳含量、有机碳同位素、碳酸盐含量、磁化率、介形类化石等多指标的综合研究, 详细地揭示了该地区的千年气候变化。陈静安等^[26] 利用洱海沉积物中的化学记录重建了该地区 650 a 以来的气温和降水序列, 并据此将洱海地区 650 a BP 以来划分为 3 个阶段, ① A D 1 340 ~ 1 570 a 气温较高, 降水较少; ② A D 1 570 ~ 1 800 a 气温相对

较低, 气候湿润多雨; ③ A D 1 800 a 至今, 气候组合特征为高温少雨。

综合有关文献^[21-22], 可以看出青藏高原东北部在 15 世纪后半期和 19 世纪后半期存在明显的气候转型, 与青海乌兰地区树轮记录的近千年温度变化曲线 (图 1) 相比较, 可以看出二者之间的变化趋势大致相同, 但存在一定的时间差。这种时间上的不同性可能有三方面的原因, 一是地区气候的差异性; 二是各个地质记录的时间分辨率和气候敏感程度有所不同; 三是分析的精确度有所差异。

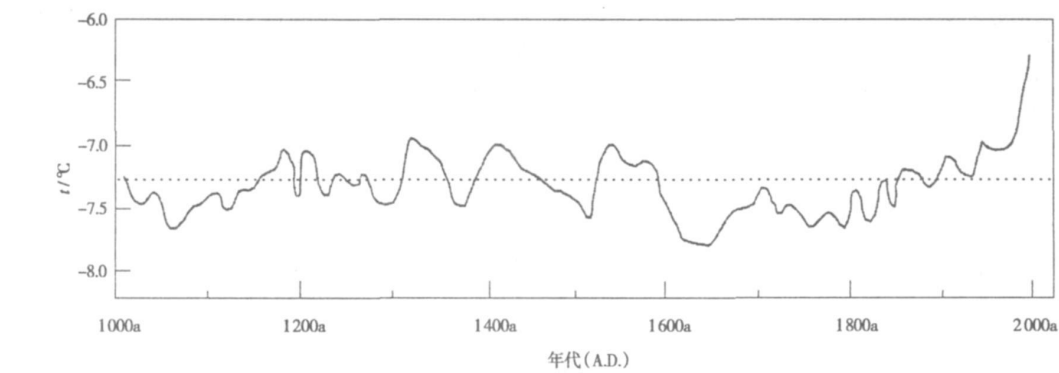


图 1 青海乌兰树轮记录的近千年温度变化曲线^[27]

Fig 1 Millennium temperature changes deduced from the tree-ring of Ulan, Qinghai

总之, 这些研究已经初步积累了不少资料, 为我国以树轮、石笋、文献档案等为基础的千年气候研究提供了比对参考资料, 提高了千年尺度气候演化序列的重建精度, 同时也推进了我国湖泊古气候学研究的发展。

2.2 国外研究现状

纹泥层有助于精确定年, 在高分辨率湖泊沉积研究中, 沉积纹层 (varved sediments) 不失为一种非常理想的研究对象。对于我国境内湖泊而言, 纹泥记录的研究工作还有很大的发展空间。在北美和西北欧的一些地区, 由于第四纪末期劳伦泰德冰盖 (Laurentia ice sheet) 和斯堪的纳维亚冰盖 (Scandinavian ice sheet) 的消融而形成了大量的冰川湖, 其中很多发育有良好的纹层沉积。目前国外高分辨率湖泊沉积研究主要集中在具有纹层沉积的湖泊中, 且研究

水平也在同领域中居领先地位。

可以从以下 3 方面探求纹泥沉积的环境意义。纹泥计年, 纹泥厚度变化的环境指示意义, 纹泥中硅藻、孢粉、地球化学等各指标的环境指示意义。Gajewski 等^[28] 借助湖泊纹层沉积中的硅藻丰度以及纹层厚度研究了加拿大 Devon 岛东北部地区过去 1500 年的夏季平均温度变化趋势, 并将结果与 Devon 岛冰帽的夏季融水量进行比对, 结果显示二者变化趋势基本相同。Lamoureux 等^[29] 根据纹层厚度与秋季 (9 ~ 10 月) 均温和降雪量以及沉积物中粗砂粒 ($> 500 \mu m$) 含量与冬季风暴之间的关系获得了 Devon 岛过去 750 a 以来的气候变化信息, 指出 A D 1 850 a 该地区发生了明显的气候转型事件。Lamoureux^[30] 通过对 Ellesmere 岛北部 C2 湖纹层沉积的厚度进行系统分析后发现, 在过去的 1 k 中, 湖泊年平均沉积纹层的厚度大

致经历 4 次明显的变化, 900 ~ 700 a BP 和 250 ~ 100 a BP 相对较低的沉积速率时期, 以及 700 ~ 250 a BP 和最近 100 a 以来的高沉积速率时期。原作者认为在较长时间尺度上, 湖泊沉积纹层的厚度是夏季平均温度的良好代用指标。综合湖泊沉积记录、冰芯研究、孢粉研究等结果, 发现该地区温度的变化在不同指标中的反映尽管存在部分差异, 但是在过去 600 a 的区域大尺度气候变化上, 湖泊纹层沉积记录所反映的温度变化基本与在其它记录指标中所显现的相一致。Huguen 等^[31] 根据加拿大 Baffin 岛南部 Upper Soper 湖暗色年均沉积纹层厚度与七月份平均温度之间的耦合关系, 重建了该地区近 500 来 7 月份平均温度的变化曲线 (图 2)。依靠对 Lemilamp 湖精确沉积纹层厚度

计量, Haltia-Hov 等详细研究了芬兰东部地区过去 2 000 a 的气候变化状况^[32]。结果表明在该地区存在明显的 MWP 和 LA 事件, 其分别出现于 A.D. 1 060 ~ 1 280 a 和 A.D. 1 300 ~ 1 860 a 并且作者还将湖泊沉积记录与当地树轮中碳同位素做了详细比较研究, 以期探究太阳活动与湖泊沉积记录指标之间的耦合关系。Jacques 等^[33] 根据保存在沉积纹层中的花粉组合和丰度与当地 5 月份和 2 月份平均温度及有效降水之间的关系重建了美国明尼苏达州中西部地区过去 900 a 以来的气候变化趋势, 结果同样揭示出了明显的 MWP 事件 (A.D. 1 116 ~ 1 504 a)、LA 事件 (A.D. 1 505 ~ 1 876 a) 以及 20 世纪的高温期 (A.D. 1 877 ~ 2 002 a)。

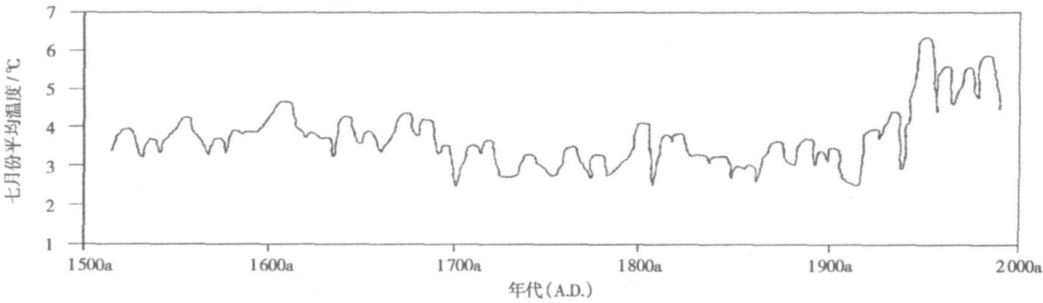


图 2 依据 Upper Soper 湖暗色年均沉积纹层厚度重建的该地区七月份平均温度变化序列^[31]

Fig. 2 Regional temperature change sequence in July reconstructed from the average dead color sedimentary thickness of the Upper Soper Lake

尽管纹层沉积可以为湖泊高分辨率研究提供很大的便利条件, 但是随着测年技术的提高, 在那些缺少纹泥沉积的湖泊中仍旧可以获得高分辨率的环境信息。在南美地区, 有学者根据精确¹⁴C 测年或辅助于²¹⁰Pb 法和¹³⁷C 法, 在缺少纹层沉积的湖泊中获得了千年尺度的高分辨率区域环境变化信息^[34-35]。

3 湖泊沉积记录千年气候变化研究的挑战

环境灾难的频发使得气候问题成为当前科学研究中的中心议题之一。各国的湖泊学家借助湖泊沉积在气候研究中的显著优越性, 不断地采用新技术和新方法在全球范围内展开了系统的研究。学科发展的总体趋势可以概括为空

间上提高范围, 时间上改进精度, 研究的精度和分辨率不断提高, 研究的手段不断更新。但是在过去千年的气候变化研究中, 湖泊沉积仍然存在很大挑战。

1) 高精度时间序列的建立对于千年以来湖泊沉积记录的研究尤为重要。当前对于千年尺度的湖泊沉积研究来说, 常用的年龄测定方法有¹⁴C 法、²¹⁰Pb 法和¹³⁷C 法等, 分别适用于几百至几万年、100 ~ 200 年和几十年的湖泊沉积物测定。虽然¹⁴C 法比较准确, 但各种校正时常十分重要。例如碳库效应, 会使样品的测定年龄比实际年龄偏老, 而准确的估计碳库效应并非易事。对同一湖区的碳库效应所引起的年龄偏差不同学者的界定有时相差很大, 如对岱海进行碳库效应年龄测定时, Xü 等^[36] 给出的年龄值为 360 ~ 410 a 而吴艳红等^[37] 给出的碳库

效应年龄为约 2 000^a,二者相差竟高达 1 600^a之多。至于²¹⁰P定年,湖泊沉积物的后期成岩作用会使年龄测定出现较大的误差,已有研究表明沉积物中²¹⁰P可能通过扩散作用而呈现出沉积后的早期成岩丢失^[38]。¹³⁷C计年时标的测年时限仅为几十年,且¹³⁷C的后期扩散迁移有可能也是一个问题。上述各种放射性核素计年方法的综合应用及其结果与纹泥计年结果的对比研究,将有助于高精度时间序列的建立。

2)建立气候因子与湖泊沉积记录指标之间的定量转换函数。尽管当前已有研究根据湖泊沉积物中的花粉组合和丰度与降水和温度之间的耦合关系定量重建了地区的气候因子演化序列^[33-39],但是由于花粉谱系统研究的相对滞后以及湖泊系统本身的复杂性,它们之间的定量耦合关系还有待于进一步的系统研究。而且在千年尺度的高分辨率研究中,由于流域内植被组合在响应气候因子变化时存在一定的滞后性,所以很难建立较高时间分辨率的定量转换关系。Hugher等根据湖泊沉积中深色沉积纹层厚度与当地七月份(冰雪开始融化时间)平均温度之间的关系定量重建了过去 500^a以来的温度变化曲线^[21],但是其中也存在很大的问题。首先二者之间的耦合关系在过去的几百年中很可能随着环境变化而发生改变,根据存在问题的耦合关系基准来反推历史时期的气候因子变化状况,很明显会导致较大的误差。总之,到目前为止,根据湖泊沉积记录的环境指标定量反演气候因子的演化序列具有一定的难度。

4 湖泊沉积记录千年气候变化研究的展望

尽管当前湖泊沉积记录的高分辨率研究已经取得了较大的进步,但是基于湖泊系统本身的复杂性和区域环境之间的差异性,应用湖泊沉积记录来重建近千年以来的气候(气候因子)演化序列仍然面临不少问题,有待今后研究解决。

1)加强年代学方面的研究中首先要保证测年技术的精准度,尽可能应用多种测年技术和方法,以期各种方法所得结果的相互验证,加

上必要的年龄校正,达到千年尺度高分辨率气候代理记录的精确定年。

2)采用新的方法和技术来进行沉积岩芯的分析。限于传统采样分样技术所能达到的较低分辨率,在那些具有较低沉积速率的湖泊中,要想获得年际甚至季节际的高分辨率气候信息,传统的分样分析技术通常难于达到满意的结果。应用新的取芯装置和采样分样技术,采用新的分析测试方法,例如 XRF core scanning,对提高湖泊沉积环境代理记录的分辨率和千年气候变化的研究的质量能起到关键推动作用^[40-41]。

3)加强多环境指标之间的综合研究,寻找新的环境替代指标。湖泊沉积中单一代理记录有时存在多解性,获取多环境指标,清楚各指标的物理、化学和生物特性,解决各沉积记录指标与气候因子之间的定量转换关系,力求达到或者辅助完成气候演化序列的定量重建。

4)加强学科之间的交叉研究。目前的研究表明仅仅依靠单学科的知识很难满足千年尺度的湖泊沉积高分辨率研究,必须结合沉积学、生物学、化学、物理学甚至数学等学科的知识才能取得较好的研究成果。

5)加强不同湖泊之间沉积记录的对比研究。湖泊沉积当中保存的环境指标受到湖盆的地貌形态、流域地表覆盖状况、流域地质背景、湖内生态系统、补给水特征、人类活动等等因素的综合影响,因此,要依靠多湖泊之间的综合对比研究来区分哪些是局地(local)性哪些是区域(regional)性的环境变化信息。

参考文献:

[1] 杨保,施雅风,李恒鹏. 过去 2 ka 气候变化研究进展[J]. 地球科学进展, 2002, 17(1): 110—117
[2] Wang S W, Gong D Y, Zhu J H. Twentieth-century climatic warming in China in the context of the Holocene [J]. The Holocene, 2001, 11 (3): 313 — 321
[3] Jones P D, Mann M E. Climate over the past millennium [J]. Reviews of Geophysics, 2004, 42, RG2002, doi: 10.1029/2003RG000143
[4] 刘广深,魏建云. 树轮气候学研究的若干进展[J]. 矿物岩石地球化学通讯, 1995(1): 63—64.
[5] Briffa K R, Schweingruber F H, Jones P D. Reduced sensitivity of recent tree growth to temperature at high northern

- latitudes [J]. Nature, 1998(391): 678—682.
- [6] O'Brien S R, Mayewski P A, Meeker L D, et al. Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core [J]. Science, 1995, 270(5244): 1962—1964.
- [7] 姚檀栋, 秦大河, 徐伯青. 冰芯记录的过去 1000^a青藏高原温度变化 [J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(3): 99—103.
- [8] Battarbee R. Palaeolimnological approaches to climate change, with special regard to biological records [J]. Quaternary Science Reviews, 2000, 19(1—5): 107—124.
- [9] Kelt K, Chen K Z, Lister G, et al. Geological fingerprints of climate history: a cooperative study of Qinghai Lake, China [J]. Ecobgae Geol Helv, 1989, 82(1): 167—182.
- [10] Wang W, Chen K Z. Alkaline earth elemental compositions of Holocene lake deposits and environmental implications for Qinghai Lake, China [J]. China Earth Science, 1990, 1(3): 233—239.
- [11] Lister G, Kelt K, Chen K Z, et al. Lake Qinghai, China: closed-basin lake levels and the oxygen isotopic record for ostracoda since the latest Pleistocene [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1991, 84(1—4): 141—162.
- [12] Yu J Q, Zhang L S. Lake Qinghai Palaeoenvironment and Palaeoclimate [M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [13] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究 [J]. 中国科学, 1973, 16(2): 168—189.
- [14] Zhang D E. Evidence for the existence of the medieval warm period in China [J]. Climatic Change, 1994, 26(2—3): 289—297.
- [15] 姚檀栋, 杨梅学, 康兴成. 从古里雅冰芯与祁连山树轮记录看过去 2000 年气候变化 [J]. 第四纪研究, 2001, 21(6): 514—519.
- [16] Broecker W S. Was the medieval warm period global? [J]. Science, 2001, 291(5508): 1497—1499.
- [17] Mann M E, Bradley R S. Northern hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties and limitations [J]. Geophysical Research Letters, 1999, 26(6): 759—762.
- [18] Dansgaard W, Johnsen S J, Reeh N, et al. Climatic changes: Norsemen and modern man [J]. Nature, 1975, 255(5503): 24—28.
- [19] Xu H, Liu X Y, Hou Z H. Temperature variations at Lake Qinghai on decadal scales and the possible relation to solar activities [J]. Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics, 2008, 70(1): 138—144.
- [20] Ted Munn. Encyclopedia of Global Environmental Change [M]. New York City: John Wiley & Sons Inc, 2005.
- [21] 沈吉, 张恩楼, 夏威岚. 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.
- [22] 陈建徽, 陈发虎, 张恩楼, 等. 摇蚊亚化石记录的苏干湖近千年来盐度变化研究 [J]. 第四纪研究, 2008, 28(2): 338—344.
- [23] 吴敬禄, 王苏民, 刘建军. 近 1500 年来新疆艾比湖同位素记录的气候环境演化特征 [J]. 第四纪研究, 2004, 24(5): 585—590.
- [24] 姚檀栋, 秦大河, 田立德, 等. 青藏高原 2ka 来温度与降水变化 [J]. 中国科学, 1996, 26(4): 348—353.
- [25] 曹建廷, 王苏民. 近千年来内蒙古岱海气候环境演变的湖泊沉积记录 [J]. 地理科学, 2000, 20(5): 391—396.
- [26] 陈静安, 万国江. 洱海近代气候变化的化学记录 [J]. 地理科学, 2000, 20(1): 83—87.
- [27] 朱海峰, 郑永宏, 邵雪梅, 等. 树木年轮记录的青海乌兰地区近千年温度变化 [J]. 科学通报, 2008, 53(15): 1835—1841.
- [28] Gajewski K, Hamilton P B, McNeely R A. High resolution proxy climate record from an arctic lake with annually laminated sediments on Devon Island, Nunavut, Canada [J]. Earth and Environment Science, 1997, 17(2): 215—225.
- [29] Lamoureux S F, Gilbert R. A 750-yr record of autumn snowfall and temperature variability and winter storminess recorded in the varved sediments of Bear Lake, Devon Island, Arctic Canada [J]. Quaternary Research, 2004, 61(2): 134—147.
- [30] Lamoureux S F, Bradley R S. A late Holocene varved sediment record of environmental change from northern Ellesmere Island, Canada [J]. Earth and Environment Science, 1997, 17(2): 215—225, 1996, 16(2): 239—255.
- [31] Konrad A, Hughen, Jonathan T, Overpeck, Robert F, Anderson R. Recent warming in a 500-year paleotemperature record from varved sediments, Upper Soper Lake, Baffin Island, Canada [J]. The Holocene, 2000, 10(1): 9—19.
- [32] Eeva H, Hiltunen, Timo Saarinen, Maaret Kukkonen. A 2000-year record of solar forcing on varved lake sediment in eastern Finland [J]. Quaternary Science Reviews, 2007, 26(5—6): 678—689.
- [33] Jeannine-Marie St Jacques, Brian F. Cumming, John P. Smol. A 900-year pollen-inferred temperature and effective moisture record from varved Lake Minn, west central Minnesota, USA [J]. Quaternary Science Reviews, 2008, 27(27): 781—796.
- [34] Oliveira S M B, Saja S E M G, Ruiz L C, et al. Lacustrine sediments provide geochemical evidence of environmental change during the last millennium in southeastern Brazil [J]. Chemische Erde/Geochemistry, 2009, 69(4): 395—405.
- [35] Mayr C, Feys M, Haberzettl T, et al. Palaeoenvironmental changes in southern Patagonia during the last millennium

recorded in lake sediments from Laguna Azul[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2005, 228 (3-4): 203-227.

[36] Xiao J, Xu Q, Nakamura T, et al. Holocene vegetation variation in the Dabai Lake region of North-central China: A direct indication of the Asian monsoon climatic history [J]. *Quaternary Science Reviews* 2004 (23): 1669-1679.

[37] 吴艳宏, 王苏民, 周立平, 等. 岱海¹⁴C测年的现代碳库效应研究[J]. *第四纪研究*, 2007, 27(4): 507-510

[38] Wan G J, Santschi P H, Stumm M, et al. Natural (²¹⁰Pb, ⁷Bq) and fallout (¹³⁷Cs, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ⁹⁰Sr) radionuclides as geochemical tracers of sedimentation in Greifensee, Switzerland [J]. *Chemical Geology* 1987, 63(3-4): 181-196.

[39] Huntley B, Prentice I C. July Temperatures in Europe from Pollen Data: 6000 Years Before Present [J]. *Science* 1988 241 (4866): 687-690.

[40] 成艾颖, 余俊清, 张丽莎, 等. XRF岩芯扫描分析方法及其在湖泊沉积研究中的应用 [J]. *盐湖研究*, 2010, 18 (2): 7-13.

[41] Daryin A V, Kalugin I A, Maksimova N V, et al. Use of a scanning XRF analysis on SR beams from VEPP-3 storage ring for research of core bottom sediments from Teletskoe Lake with the purpose of high resolution quantitative reconstruction of last millennium paleoclimate [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 2005, 543(1): 255-258.

Study on the Lacustrine Sedimentary Records for past 1 000 Years:
Development, Problems and Prospects

LIU Yong², YU Jun-qing¹, CHENG Ai-yun¹, ZHANG Li-sha¹, GAO Chun-liang²

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing, 100039, China)

Abstract: The application of lake sediments in the study of regional 1000 a BP climate and environment change has been well developed in the last few years, and the achievements are also excellent. Some proxies (e. g. palynological assemblage, geochemical elements, the molecular isotope, pigments and biomarker, et al.) have been widely used in the reconstruction of paleoclimate factors. The improvement of study method, elevation of dating precision and quantitative transformation between the proxies and climate factors are essential for the high-resolution study of lake sediments. Meanwhile, it is important to do synthetic study of variable proxies and to explore new proxies in this area. It also requires the paleolimnologists to launch contrastive studies between different types of lakes.

Key words: Lake sediments; Climate of the Past millennium; High-resolution