

亚洲中部干旱区全新世气候变化的西风模式*

——以新疆博斯腾湖记录为例

陈发虎 黄小忠 杨美临 杨勋林 范育新 赵 晖

(兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室中德干旱环境联合研究中心, 兰州 730000)

摘要 位于受西风环流显著影响区的我国最大内陆淡水湖——新疆博斯腾湖提供了全新世亚洲中部干旱区气候变化的可靠记录。对该湖钻探岩芯、沉积年代以及孢粉、碳酸盐含量、粒度等代用指标分析结果表明,末次冰消期到全新世早期湖泊干涸,风砂沉积盛行,气候干旱;约 8 cal. kaB. P. 以来现代湖泊形成,气候相对湿润,其中,约 6.0 ~ 1.5 cal. kaB. P. 期间代用指标 A/C 值指示的流域湿度增加,盘星藻指示的湖泊深度最大,全新世最湿润时段发生在中晚全新世。博斯腾湖记录的早全新世干旱和中晚全新世湿润的气候框架得到中亚其他较高分辨率湖泊记录的支持,具有普遍性。亚洲中部西风影响区这一全新世气候变化框架与亚洲季风区早中全新世夏季风强盛、中晚全新世季风衰落的变化模式显著不同,具有近似反相位(out of phase)变化特征。广大中亚内陆干旱区中晚全新世湿润气候不大可能是东亚季风深入内陆造成的,更可能是通过西风环流与高纬度北大西洋相联系,其驱动机制需要更深入研究。

主题词 博斯腾湖 中亚干旱区 全新世 气候变化 西风模式**中图分类号** P467, P534.632, P941.7 **文献标识码** A

1 引言

对于我国内陆干旱区全新世气候变化格局国内主要有多种观点。首先,早期李吉均先生曾撰文指出在全新世“大暖期”时东亚季风强大,能深入内陆,导致包括新疆的西北干旱区以及藏北高原气候暖湿^[1]。于革和王苏民^[2]总结了大量湖泊资料,对欧亚大陆的 158 个湖泊水位变化综合分析表明,早全新世亚洲中部干旱区的湖泊水位较低,气候较今干旱,支持中全新世时由于东亚季风增强导致气候湿润的观点。近期的一些资料综述多认为全新世中期气候湿润^[3-5],但基本没有脱离施雅风先生等提出的气候最适宜期框架模式^[6]。An 等^[7]提出的季风穿时性观点认为,季风边缘区早全新世季风最强盛,推断夏季风能够影响到的干旱区,导致气候湿润,之后季风衰退南撤,干旱区东部边缘变干。Yu 等^[8]认为,我国西部地区(主要是干旱区)的湖泊在末次盛冰期时水位最高,而在约 13 ~ 6 kaB. P. 期间相对较高,到 6 kaB. P. 之后显著变干。Wei 和

Gasse^[9]对青藏高原和北疆的 5 个湖泊的同位素研究也认为,区域季风增强时期为 12 ~ 11 kaB. P.,当时季风快速大幅度西进。尽管前述都是总结资料,但由于方法不同,加上早期湖泊代用指标问题,特别是测年问题,导致不同研究者存在不同观点,但大家都相信全新世干旱区的变湿润主要归结于亚洲季风深入内陆造成,资料主要来源于我国境内的西北干旱区,缺少更广泛的中亚干旱区资料支持。

近年来,亚洲季风区全新世的气候变化因石笋、泥炭等高分辨率和有可信年龄的记录应用而取得了突破性进展,这些记录的全新世季风变化模式基本一致,表现为全新世一开始季风就十分强盛^[10-13],中全新世开始衰退,季风气候变化格局基本随太阳辐射驱动而变化(尽管有滞后)。新疆博斯腾湖位于亚洲中部干旱区,较大的湖泊面积和相对较深的湖水提供了认识内陆干旱区全新世气候变化框架的良好条件。本文根据近年来在博斯腾湖的岩芯钻探结果,探讨西风环流显著影响区全新世气候变化的基本框架。

第一作者简介:陈发虎 男 44 岁 教授 第四纪环境变化专业 E-mail:fhchen@lzu.edu.cn

* 国家自然科学基金西部计划重点项目(批准号:90502008)和国家自然科学基金人才项目创新研究群体科学基金项目(批准号:40421101)资助

2 研究区概况与岩芯钻探

博斯腾湖($41^{\circ}56' \sim 42^{\circ}14'N$, $86^{\circ}40' \sim 87^{\circ}26'E$)位于新疆天山中段南坡焉耆盆地的东南侧。焉耆盆地北以高大的天山山脉与北疆相隔,南以霍拉山-库鲁克塔格低矮山地与塔里木盆地相邻。博斯腾湖面海拔1048m,流域面积约为55600km²,湖泊东西长约55km,南北宽约25km,湖水面积约1000km²,平均水深8m,最大水深16.2m,为我国最大的内陆淡水湖泊。博斯腾湖是一个吞吐型的湖泊,主要由开都河补给,其他一些补给河流属于季节性河流(图1);在自然情况下,湖水经孔雀河从其西南角流出,然后经过铁门关折而向东注入罗布泊^[14]。

博斯腾湖近年来湖泊面积有扩大的趋势,属于施雅风先生等^[15]提出的西风影响区气候转型的较好例证之一。

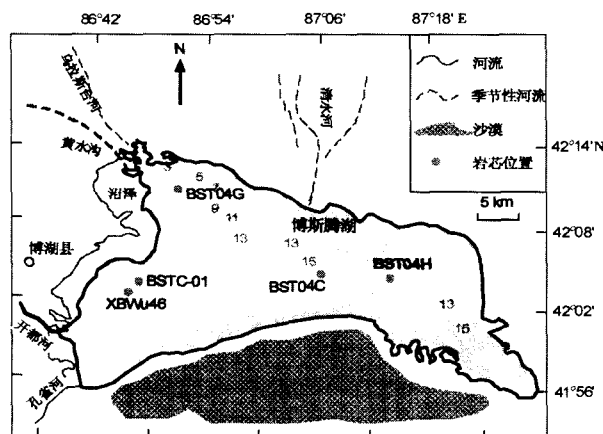


图1 博斯腾湖水系、等水深线和岩芯钻探点分布图

Fig. 1 Map of Bosten Lake river system, isobath and location of drilling sites

博斯腾湖处于典型内陆干旱气候区,湖滨博湖县气象站多年平均降水量仅76mm,但年蒸发量高达2000mm。干旱的气候条件造成了整个焉耆盆地从上到下植被带类型简单,包括冰雪带、高山垫状植被带、高山草甸带、草原带、荒漠草原带、荒漠带等,缺乏森林植被带和亚高山草甸带。另外,隐性植被也广泛分布,如在山区的阴坡分布有呈片状的雪岭云杉林,山区河谷两旁分布有白榆疏林,盐碱地上生长的盐生植物以及湖西岸浅水沼泽处为大片的芦苇、香蒲群落^[16,17]。

近年来,我们利用活塞钻在湖泊不同水深获得了若干湖泊岩芯(见图1),2000年的湖泊岩芯部分分析结果已发表^[18-20]。本研究主要采用位于湖泊中央水

深16.2m的BST04H孔为研究对象(2004年1月获得),该岩芯使用Kullenberg活塞钻钻取,岩芯顶底重叠以保证岩芯的连续,最后获得6.9m长的完整岩芯。岩芯就地冷冻后运回实验室后冷储于冷冻箱中。

3 岩芯地层、年代及其对比

BST04H孔岩芯690cm主要由两部分组成。上部0~556cm为灰白到灰黑色碳酸盐泥或者粉砂质泥,局部有明显由浅色碳酸盐和深色有机质组成的微层理(如深209~214cm),但总体无明显层理或纹层;岩芯下部134cm(556~690cm)主要为风砂和湖滨砂沉积。其中,深556~652cm为青灰色中细砂;深652~667cm为青灰色砂,夹薄层粉砂和粉砂质粘土;深667cm以下,黄棕色砂(风成砂),疏松,下部取芯时提取不上来而丢失,根据进深判断砂层至少到深850cm。博斯腾湖不同水深全新世沉积基本一致,水深15.5m处的BST04C孔岩芯上部约0~520cm沉积为碳酸盐泥或者粉砂质泥,下部约100cm(520~620cm)为中细砂,同一地点钻探到820cm时仍为黄色风成砂沉积。湖泊西部水深5.5m和5.9m处钻取了两个孔(BSTC-01和XBWu46,见图1)。其中,BSTC-01岩芯长952cm,上部0~863cm为湖相沉积;XBWu46岩芯长924cm,上部0~880cm为湖相沉积。两个岩芯下部均遇到类似泥炭,之下为冲积相粗砂,岩芯打不下去,说明当时均处于近似干涸状态。

不同的是,湖泊边缘(水深5.5m)的湖相沉积较中心(15~16m)的湖相沉积厚4m左右,应为湖滨沉积速率较高所致。

对BST04H孔岩芯湖相层开展了陆生植物残体和全有机质的AMS ¹⁴C测年,其底部及其BST04C底部的风成砂沉积OSL测年(图2)。BST04H孔系统采集了12个植物残体和全有机质¹⁴C年代样品(另文讨论),所有年代均在德国基尔大学年代学实验室测定。其中,在BST04H岩芯31cm,145cm和502cm的3个层位利用总有机质测得3个AMS ¹⁴C年代,此外在深502cm处同时测量了从样品中挑出的陆生植物残体的年代(6337 ± 28 ¹⁴C a.B.P.),其全有机偏老陆生植物残体年代1153年,实际碳库按照1140年计算(另文讨论)。BST04H孔岩芯总有机质的¹⁴C测年扣除碳库后使用OxCal程序校正到日历年(cal. a.B.P.),结果见图2,测年之间的年代按照线性内插。岩芯下部的释光测年在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所释光实验室中利用带有⁹⁰Sr/⁹⁰Y的 β 源的Risø DA-15 OSL/TL释光仪测量。

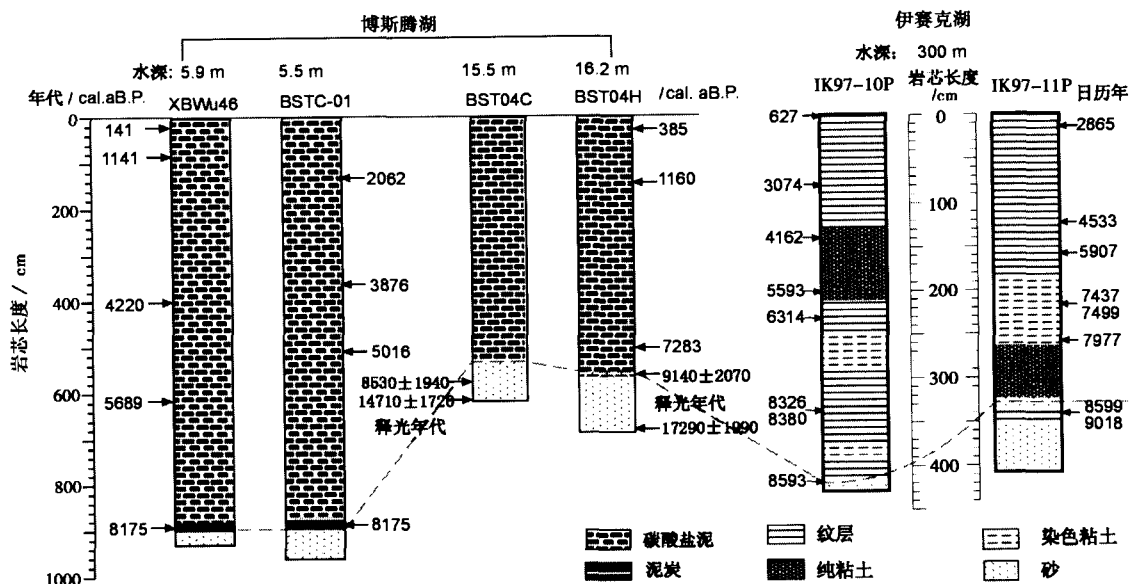


图2 博斯腾湖 BST04H, BST04C 岩芯及其 XBWu46 孔^[18,19], BSTC-01 孔和伊赛克湖^[21]的地层与年代对比

Fig.2 Correlation of stratigraphy and chronology of Bosten Lake (cores XBWu46^[18,19], BSTC-01, BST04C and BST04H) and Issyk-Kul Lake^[21] (cores IK97-10P and IK97-11P)

在 BST04C 孔深 570 ~ 575cm 和 615 ~ 620cm 以及 BST04H 孔深 557 ~ 562cm 和 678 ~ 690cm 共测了 4 个 OSL 年代(见图 2)。OSL 测年材料主要是风成砂沉积,释光信号较好,适合开展 OSL 测年(另文专门讨论)。两个孔的 OSL 测年均说明,末次冰消期时博斯腾湖尚没有积水成湖, BST04H 孔的植物残体测年进一步说明,现代湖泊是约 8000aB. P. 才形成的。博斯腾湖边缘的 BSTC-01 和 XBWu46 孔均挑选了植物残体测年,其中两孔泥炭的 AMS ¹⁴C 测年十分接近,均获得约 8200 日历年,真正湖泊形成稍晚,大约在 8000aB. P. 前后。无疑,现有的测年基本可以肯定,现代博斯腾湖大约形成于距今 8000 年前后, BST04C 和 BST04H 两孔的 OSL 测年进一步说明,早全新世和末次冰消期在博斯腾湖均不存在湖泊,主要湖泊为风砂覆盖。2000 年中德合作在博斯腾湖西南边缘获得的 150m 长岩芯(未发表),发现现代湖泊沉积之下是巨厚的风成砂。

4 初步结果及其讨论

对 BST04H 孔约以 4cm 间隔样品分别分析了碳酸盐含量和粒度,时间分辨率约 75a。碳酸盐含量使用 Calcimeter 仪测量,重复测量的误差 0.74%;

粒度样品经过去除碳酸盐和有机质并分散后,使用 Malvern 公司的 Mastersizer 2000 激光粒度仪测量,平均粒径的重复测量的误差小于 2%,本文仅使用平均粒径指标。

本文以 8cm 的间隔进行了孢粉分析,经检验 570cm 以下砂层中基本不含孢粉,实际分析了湖相沉积样品 65 个,时间分辨率约 150a。孢粉前处理按 Moore 等^[22]描述的方法进行,每个样品至少统计 500 粒以上,共鉴定出 30 科属孢粉。孢粉的主要成分为藜科和蒿属,在古气候研究中,蒿属花粉百分比与藜科花粉百分比的比值(A/C)是我国干旱、半干旱地区常用的指示区域有效湿度的指标^[23,24],在新疆地区的孢粉古气候研究中也作为有效的气候指标^[25]。博斯腾湖 8000 多年以来的孢粉 A/C 比值变化趋势如图 3a 所示。

在孢粉鉴定的同时,还统计了盘星藻的数量,并计算其浓度,见图 3b。盘星藻是广泛分布于世界各地池沼环境中的浮游植物,适宜于生长在淡水并略富营养化的静水水体中;盘星藻亚化石常常作为淡水湖泊的指示性植物^[26,27]。在云南滇池^[28]、柴达木盆地克鲁克湖¹⁾的表层沉积物孢粉分析研究表明,盘星藻浓度的变化与湖泊的水深有关。博斯腾

1) Zhao Y, Yu Z C, Chen F H et al. Holocene vegetation and climate history at Hurlig Lake in the Qaidam Basin, Northwest China. *Review of Palaeobotany and Palynology* (in review)

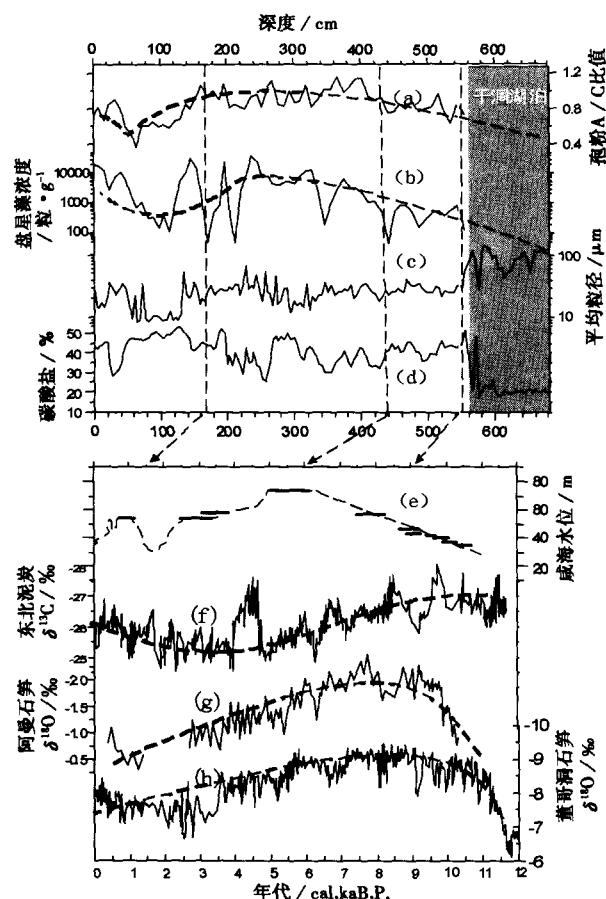


图3 博斯腾湖代用指标(孢粉 A/C 比值、盘星藻浓度、平均粒径、 CaCO_3 含量)随深度变化(a~d),及其与威海重建水位变化^[29](e)和指示亚洲夏季风的我国东北泥炭纤维素碳同位素记录^[12]、阿曼石笋^[13]和董哥洞石笋^[11]的氧同位素记录曲线(f~h)的对比

Fig. 3 Comparison of the multi-proxy analysis results of Bosten Lake (curve (a): Pollen A/C index; (b): *Pediastrum* concentration; (c): average grain size; (d): carbonate content) with curves of Holocene lake level variations of Aral Sea^[29] (e) and Asian monsoon strength indicators ((f): carbon isotopes of plant cellulose from the Hani peat bog in Northeast China^[12]; (g): oxygen isotope records of stalagmite from South Oman^[13] and (h): oxygen isotopes of stalagmite from Dongge Cave^[11])

湖表层沉积物的盘星藻分析表明,在较浅的湖泊沉积物中基本不含有盘星藻出现,即使出现浓度也非常低,在水深大于约 10m 以后,盘星藻的浓度快速上升¹⁾。因此,表层沉积物中盘星藻浓度与水深有较好关系,可以简单作为水深的指标。同时,盘星藻

作为一种淡水藻类,它对水体盐度的响应也应当十分重要,盐度的升高会影响其生长,较高的盘星藻浓度可以指示湖泊深水、淡水状况,而低盘星藻浓度可能指示湖泊的浅水、高盐度状态。

对博斯腾湖 BST04H 孔岩芯的粒度和碳酸盐分析(图 3c 和 3d)清晰表明,以深度约 550cm (约 8200cal. aB. P.) 为界,博斯腾湖是两种状态。550cm 以下沉积物平均粒径基本大于 100 μm 而碳酸盐含量极低,与地层指示的信息一致,钻孔最底部风砂沉积,后到湖滨浅水沉积,表明当时湖泊是干涸的。BST04H 和 BST04C 两孔的 OSL 测年结果以及与 2000 年浅水区的钻孔地层^[19] 对比表明,晚冰期到早全新世期间湖泊干涸,区域气候干旱。

位于天山西侧的深大湖泊伊赛克湖沉积序列也表明,该湖的湖相沉积始于约 8600 ~ 9000cal. aB. P.^[21],根据测年结果(见图 2),若按照 IK97-10P 顶部测年判断,也存在碳库,若扣除碳库,现代湖泊沉积也形成于 8000aB. P. 前后。因此,位于天山东西两侧的两个大湖的地层记录基本上具有一致性,即湖泊形成于大约 8000 年前后,早全新世湖泊是干涸的。前人对威海湖泊水位根据地貌和沉积做了较好重建(图 3e)^[29],早全新世的湖面远较今日低。里海及其南部的 Lake Van 在早全新世均处于低湖面^[30,31]。这些均说明,如此大范围内湖泊显示出较为一致的变化,说明控制因素主要是气候,一致指示出早全新世的干旱。

约 8cal. kaB. P. 时湖泊形成后一直持续到现代,尽管期间有波动,但相对 8cal. kaB. P. 前后而言,其波动属于次一级的波动。湖泊形成后的最初的约 2000 年期间,盘星藻的低浓度以及低的孢粉 A/C 比值表明,不仅区域植被状况反映的有效湿度较低,而且湖泊水体中盘星藻指示的湖水深度较浅和(或)盐度较大,Mischke 和 Wünnemann^[20] 利用浅水区的 XBWu46 孔岩芯介形虫元素分析重建的水体盐度也偏高,一致指示区域气候干旱。随后,孢粉 A/C 比值增加,盘星藻浓度增加,指示区域气候逐渐变得湿润,并逐渐达到最湿润阶段,持续时间大约从 6000cal. aB. P. 到约 1500cal. aB. P.。BST04H 岩芯的多指标(粒度、碳酸盐、孢粉)研究均显示,约近 2500cal. aB. P. 以来气候和湖面均存在较显著的次一级较大幅度波动,例如,存在显著的以冷湿为特征的小冰期气候^[32],这些需要更深入的讨论。

1) 黄小忠. 新疆博斯腾湖记录的亚洲中部干旱区全新世气候变化研究. 兰州: 兰州大学博士论文. 2006, 1 ~ 178

亚洲中部干旱区存在许多良好的湖泊记录,里海南部的深湖 Lake Van 的碳酸盐氧同位素^[31]或者根据沉积地貌重建的湖面变化显示,距今约 8000 纹层年前的早全新世湖面较低和有效湿度较小^[33]。再向东的咸海,约 7000aB. P. 前湖面比现代低^[29],而伊赛克湖深水区的两个钻孔,均显示出约 8000cal. aB. P. 以前为浅水湖滨砂或者河流砂沉积^[21],形成湖泊时间与博斯腾湖相近。蒙古西部的 Bayan Nuur 在 8000aB. P. 前湖面比今低^[34],现代 Telmen 湖泊(最深水深 24m)在 7000cal. aB. P. 以后才形成^[35,36]。所有这些湖泊,共同指示出亚洲中部受西风显著影响的区域,全新世气候变化具有一定的共同性或者相似性,可以总结成全新世气候变化的西风模式,即早全新世气候干旱,多数湖泊仅仅形成于 7000 ~ 8000aB. P. 以来,中晚全新世出现高湖面,气候相对湿润,但同时不同区域记录的差异性增大。显然,中东亚干旱区新的资料指示的内陆干旱区全新世气候变化与 Yu 等^[8]所指出的我国西部湖泊当时的高水位有较大差别。

显然,西风区全新世气候变化模式与季风区显著不同。由于石笋、泥炭的精确测年,加上较好分辨率的湖泊记录,不论是东北泥炭记录的东亚季风^[12](图 3f)、湖北神农架和尚洞石笋^[37]同位素记录的东亚季风、青海湖同位素^[38]和孢粉记录^[39],还是阿曼石笋^[13](图 3g)和董哥洞石笋^[10,11](图 3h)同位素记录、阿拉伯深海记录^[40]、西藏色林错^[41]的印度季风,都显示出亚洲季风全新世期间大同小异的气候变化格局,即都显示冰消期之后季风快速增加,早中全新世季风强盛,气候湿润;随后季风衰退,中晚全新世季风变弱,气候变干。图 3f ~ 3h 给出了 3 条代表性曲线,可以将全新世亚洲季风区的变化格局简称为全新世气候变化的季风模式,其变化格局基本受太阳辐射驱动^[10,42]。

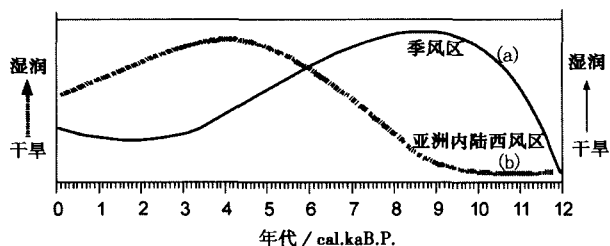


图 4 全新世气候变化的季风模式(a)

和西风模式(b)的简化示意图

Fig. 4 General Holocene climate change patterns in monsoon Asia (a) and westerly Central Asia (b)

亚洲全新世气候变化的季风模式和内陆干旱区的西风模式可以简化成图 4,两者具有几乎反相位(out of phase)的变化,中晚全新世亚洲季风衰落时内陆干旱区变得更湿润。综合分析全新世西风区和季风区的气候变化记录,既然亚洲季风自早中全新世强盛之后持续衰退,而亚洲中部干旱区大范围湖泊记录的中晚全新世气候湿润,全新世气候变化的季风模式和西风模式显著不同,季风区的全新世气候变化主要受到低纬太阳辐射驱动,早中全新世气候湿润及其随后的衰退大趋势可以很好地用太阳辐射变化来解释,并得到古气候模拟的支持^[43,44]。显然,亚洲中部干旱区中晚全新世出现的湿润气候很难用传统的亚洲季风深入内陆来解释,太阳辐射驱动很难解释西风显著影响区的全新世气候变化,可能应当更多地寻求西风环流、北大西洋涛动和北极涛动的影响,北半球温度、全球冰量和青藏高原的驱动可能是驱动亚洲内陆西风显著影响区气候变化的主导因素,需要更深入研究。

致谢 张成君教授、尚华明等参加了野外工作。肖舜、吕雁斌、李佳佳等参与了部分实验室工作,在此一并致谢。

参考文献(References)

- 1 李吉均. 中国西北地区晚更新世以来环境变迁模式. 第四纪研究, 1990, (3): 197 ~ 204
Li Jijun. The patterns of environmental changes since Late Pleistocene in Northwestern China. *Quaternary Sciences*, 1990, (3): 197 ~ 204
- 2 于革, 王苏民. 欧亚大陆湖泊记录和两万年来大气环流变化. 第四纪研究, 1998, (4): 360 ~ 367
Yu Ge, Wang Sumin. Eurasian lake-level records and changes in patterns of atmospheric circulations during the last 20000 years. *Quaternary Sciences*, 1998, (4): 360 ~ 367
- 3 An C B, Feng Z D, Barton L. Dry or humid? Mid-Holocene humidity changes in arid and semi-arid China. *Quaternary Science Reviews*, 2006, 25(3 ~ 4): 351 ~ 361
- 4 Feng Z D, An C B, Wang H B. Holocene climatic and environmental changes in the arid and semi-arid areas of China: A review. *Holocene*, 2006, 16(1): 119 ~ 130
- 5 Herzschuh U. Palaeo-moisture evolution in monsoonal Central Asia during the last 50,000 years. *Quaternary Science Reviews*, 2006, 25(1 ~ 2): 163 ~ 178
- 6 施雅风, 孔昭宸, 王苏民等. 中国全新世大暖期鼎盛阶段的气候与环境. 中国科学(B辑), 1993, 23(8): 865 ~ 873
Shi Yafeng, Kong Zhaochen, Wang Sumin et al. Basic feature of climate and environment during the Holocene Megathermal in China. *Science in China(Series B)*, 1993, 23(8): 865 ~ 873

- 7 An Z S, Porter S C, Kutzbach J E *et al.* Asynchronous Holocene optimum of the East Asian monsoon. *Quaternary Science Reviews*, 2000, **19**(8): 743 ~ 762
- 8 Yu Ge, Xue Bin, Wang Sumin *et al.* Lake-level records and the LGM climate in China. *Chinese Science Bulletin*, 2000, **45**(3): 250 ~ 255
- 9 Wei K, Gasse F. Oxygen isotopes in lacustrine carbonates of West China revisited: Implications for post glacial changes in summer monsoon circulation. *Quaternary Science Reviews*, 1999, **18**(12): 1315 ~ 1334
- 10 Wang Y J, Cheng H, Edwards R L *et al.* The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate. *Science*, 2005, **308**: 854 ~ 857
- 11 Dykoski C A, Edwards R L, Cheng H *et al.* A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, **233**(1 ~ 2): 71 ~ 86
- 12 Hong Y T, Hong B, Lin Q H *et al.* Inverse phase oscillations between the East Asian and Indian Ocean summer monsoons during the last 12000 years and paleo-El Niño. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, **231**(3 ~ 4): 337 ~ 346
- 13 Fleitmann D, Burns S J, Mudelsee M *et al.* Holocene forcing of the Indian Monsoon recorded in a stalagmite from Southern Oman. *Science*, 2003, **300**: 1737 ~ 1739
- 14 程其畴. 博斯腾湖研究. 南京: 河海大学出版社, 1995. 1 ~ 7
Cheng Qichou. Research on Bosten Lake. Nanjing: Hehai University Press, 1995. 1 ~ 7
- 15 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨. 冰川冻土, 2002, **24**(3): 219 ~ 226
Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(3): 219 ~ 226
- 16 许英勤, 阎 顺, 贾宝全等. 天山南坡表土孢粉分析及其与植被的数量关系. 干旱区地理, 1996, **19**(3): 24 ~ 30
Xu Yingqin, Yan Shun, Jia Baoquan *et al.* Numerical relationship between the surface spore-pollen and surrounding vegetation on the southern slope of Tianshan Mountains. *Arid Land Geography*, 1996, **19**(3): 24 ~ 30
- 17 黄小忠, 赵 艳, 程 波等. 新疆博斯腾湖表层沉积物的孢粉分析. 冰川冻土, 2004, **26**(5): 602 ~ 609
Huang Xiaozhong, Zhao Yan, Cheng Bo *et al.* Modern pollen analysis of the surface sediments from the Bosten Lake, Xinjiang, China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, **26**(5): 602 ~ 609
- 18 Wünnemann B, Chen F H, Riedel F *et al.* Holocene lake deposits of Bosten Lake, Southern Xinjiang, China. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48**(14): 1429 ~ 1432
- 19 Wünnemann B, Mischke S, Chen F H. A Holocene sedimentary record from Bosten Lake, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, **234**(2 ~ 4): 223 ~ 238
- 20 Mischke S, Wünnemann B. The Holocene salinity history of Bosten Lake (Xinjiang, China) inferred from ostracod species assemblages and shell chemistry: Possible palaeoclimatic implications. *Quaternary International*, 2006, **154/155**: 100 ~ 112
- 21 Ricketts R D, Johnson T C, Brown E T *et al.* The Holocene paleolimnology of Lake Issyk-Kul, Kyrgyzstan: Trace element and stable isotope composition of ostracodes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, **176**(1 ~ 4): 207 ~ 227
- 22 Moore P D, Webb J A, Collinson M E. Pollen Analysis. Oxford: Blackwell Science, 1991. 39 ~ 62
- 23 Gasse F, Arnold M, Fontes J C *et al.* A 13,000-year climate record from Western Tibet. *Nature*, 1991, **353**: 742 ~ 745
- 24 Liu H Y, Cui H T, Tian Y H *et al.* Temporal-spatial variances of Holocene precipitation at the marginal area of East Asian monsoon influences from pollen evidence. *Acta Botanica Sinica*, 2002, **44**(7): 864 ~ 871
- 25 孙湘君, 杜乃秋, 翁成郁等. 新疆玛纳斯湖盆周围近 14000 年以来的古植被古环境. 第四纪研究, 1994, (3): 239 ~ 248
Sun Xiangjun, Du Naiqiu, Weng Chengyu *et al.* Paleovegetation and paleoenvironment of Manasi Lake, Xinjiang, N. W. China during the last 14000 years. *Quaternary Sciences*, 1994, (3): 239 ~ 248
- 26 曾昭琪, 钱 峰. 盘星藻在湖泊沉积中的成矿作用. 湖泊科学, 2000, **12**(4): 304 ~ 310
Zeng Zhaoqi, Qian Feng. *Pediastrum* in lake sediment and its mineralization. *Journal of Lake Sciences*, 2000, **12**(4): 304 ~ 310
- 27 Xu Z L, Li C Y, Kong Z C. On the fossil *Pediastrum* from the Gaoximage section, Hunshandak Sandy Land and its ecological significance since 5000aBP. *Acta Botanica Sinica*, 2004, **46**(10): 1141 ~ 1148
- 28 孙湘君, 吴玉书. 云南滇池表层沉积物中花粉和藻类的分布规律及数量特征. 海洋地质与第四纪地质, 1987, **7**(4): 81 ~ 92
Sun Xiangjun, Wu Yushu. Distribution and quantity of sporopollen and algae in surface sediments of the Dianchi Lake, Yunnan Province. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1987, **7**(4): 81 ~ 92
- 29 Boomer I, Aladin N, Plotnikov I *et al.* The palaeolimnology of the Aral Sea: A review. *Quaternary Science Reviews*, 2000, **19**(13): 1259 ~ 1278
- 30 Kluge R K, Myagkov M S. Changes in the water regime of the Caspian Sea. *GeoJournal*, 1992, **27**(3): 299 ~ 307
- 31 Wick L, Lemcke G, Sturm M. Evidence of Lateglacial and Holocene climatic change and human impact in Eastern Anatolia: High-resolution pollen, charcoal, isotopic and geochemical records from the laminated sediments of Lake Van, Turkey. *Holocene*, 2003, **13**(5): 665 ~ 675
- 32 Chen Fahu, Huang Xiaozhong, Zhang Jiawu *et al.* Humid Little Ice Age in arid Central Asia documented by Bosten Lake, Xinjiang, China. *Science in China (Series D)*, 2006, **49**(in press)
- 33 Landmann G, Reimer A, Kempe S. Climatically induced lake level changes at Lake Van, Turkey, during the Pleistocene/Holocene transition. *Global Biogeochemical Cycles*, 1996, **10**(4): 797 ~ 808
- 34 Grunert J, Lehmkuhl F, Walther M. Paleoclimatic evolution of the

- Uvs Nuur basin and adjacent areas (Western Mongolia). *Quaternary International*, 2000, **65/66**: 171 ~ 192
- 35 Fowell S J, Hansen B C S, Peck J A *et al.* Mid to Late Holocene climate evolution of the Lake Telmen Basin, North Central Mongolia, based on palynological data. *Quaternary Research*, 2003, **59**(3): 353 ~ 363
- 36 Peck J A, Khosbayan P, Fowell S J *et al.* Mid to Late Holocene climate change in North Central Mongolia as recorded in the sediments of Lake Telmen. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, **183**(1 ~ 2): 135 ~ 153
- 37 Shao Xiaohua, Wang Yongji, Cheng Hai *et al.* Long-term trend and abrupt events of the Holocene Asian monsoon inferred from a stalagmite $\delta^{18}\text{O}$ record from Shennongjia in Central China. *Chinese Science Bulletin*, 2006, **51**(2): 221 ~ 228
- 38 Lister G S, Kelts K, Chen K Z *et al.* Lake Qinghai, China: Closed-basin like levels and the oxygen isotope record for Ostracoda since the Latest Pleistocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1991, **84**(1 ~ 4): 141 ~ 162
- 39 Shen J, Liu X Q, Wang S M *et al.* Palaeoclimatic changes in the Qinghai Lake area during the last 18, 000 years. *Quaternary International*, 2005, **136**(1): 131 ~ 140
- 40 Gupta A K, Anderson D M, Overpeck J T. Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean. *Nature*, 2003, **421**: 354 ~ 357
- 41 顾兆炎, 刘嘉麒, 袁宝印等. 12000 年来青藏高原季风变化——色林错沉积物地球化学的证据. *科学通报*, 1993, **38**(1): 61 ~ 64
- Gu Zhaoyan, Liu Jiaqi, Yuan Baoyin *et al.* The evolution of the Qinghai-Xizang Plateau monsoon: Evidence from the geochemistry of the sediments in Seling Co Lake. *Chinese Science Bulletin*, 1993, **38**(1): 61 ~ 64
- 42 Yuan D X, Cheng H, Edwards R L *et al.* Timing, duration, and transitions of the last interglacial Asian monsoon. *Science*, 2004, **304**: 575 ~ 578
- 43 Kutzbach J E. Monsoon climate of the Early Holocene: Climate experiment with the earth's orbital parameters for 9000 years ago. *Science*, 1981, **214**: 59 ~ 61
- 44 Cohmap M. Climate changes of the last 18,000 years: Observations and model simulations. *Science*, 1988, **241**: 1043 ~ 1052

WESTERLY DOMINATED HOLOCENE CLIMATE MODEL IN ARID CENTRAL ASIA ——CASE STUDY ON BOSTEN LAKE, XINJIANG, CHINA

Chen Fahu Huang Xiaozhong Yang Meilin Yang Xunlin
Fan Yuxin Zhao Hui

(Center for Arid Environment and Paleoclimate Research, Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education),
College of Earth and Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000)

Abstract

The Asian monsoon evolution history has been well documented by various reliable records which generally showed the same model and process. However, the climatic system in Western China, the westerly dominated area, has been poorly understood due to the lack of reliable climatic records. The Bosten Lake, the largest inland freshwater lake in China, can provide good Holocene regional climate records within westerly dominated area. Based on investigations of stratigraphy and chronology of several piston cores from the Bosten Lake and analyses of some proxies including pollen analysis, carbonate content and grain size, the climate evolution history has been revealed. The result suggests that the regional climate was dry during the Late Glacial to Early Holocene, and became humid abruptly since around 8cal. kaB. P., while the most humid period is approximately between 6.0cal. kaB. P. to 1.5cal. kaB. P. This climate evolution model is supported by some other lake records in Central Asia. In Holocene, the climatic model and process in westerly dominated Central Asia generally differs from those of monsoon area. The humid Mid-Late Holocene climate in Central Asia was not caused by penetration of Asian monsoon, but more likely connected with the westerly circulation and North Atlantic climate system.

Key words Bosten Lake, arid Central Asia, Holocene, climate change, westerly