

文章编号: 1008-2786-(2014)3-373-07

# 青藏高原兹格塘错沉积物介形虫壳体同位素

张宏亮<sup>1</sup>, 刘青利<sup>1</sup>, 李世杰<sup>2</sup>, 方相林<sup>1</sup>, 张吉猷<sup>1</sup>, 李 婷<sup>1</sup>

(1. 安阳师范学院, 河南 安阳 450002; 2. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

**摘 要:** 兹格塘错是位于藏北高原腹地的封闭型湖泊, 其变化过程可直接反映区域气候变化。对一支深 727 cm 沉积岩芯中介形虫进行了壳体同位素分析, 发现介形虫壳体氧同位素变化主要取决于壳体形成时的湖水氧同位素组成和湖水温度的变化; 封闭湖泊湖水的氧同位素组成主要取决于降水和蒸发比值的变化。兹格塘错介形虫壳体碳、氧同位素变化特征表明两者可能受控于不同的环境因子。介形虫壳体同位素记录反映了全新世气候环境变化的整体特征, 同时对晚第四纪特征气候事件都有明确记录, 包括 8.2 ka 冷事件、Roman 暖期、中世纪暖期以及小冰期等, 在响应全球气候变化的过程中又记录了区域间的差异响应。

**关键词:** 青藏高原; 湖泊沉积; 全新世环境; 介形虫; 壳体同位素

**中图分类号:** P913.7

**文献标志码:** A

湖泊沉积是记录湖泊及其流域气候环境信息的有效载体, 记录了构造运动、气候变化、生态演化等丰富的信息<sup>[1-2]</sup>。介形虫壳体是湖泊沉积物的重要组成部分, 在干旱半干旱地区的封闭湖泊, 其同位素变化可敏感的反应湖泊水体环境的变化过程<sup>[3]</sup>。介形虫壳体同位素成为恢复和重建古气候环境演化的重要方法之一<sup>[4-10]</sup>。

兹格塘错属高原内流封闭湖泊, 该区域环境受人类活动直接影响微弱, 是研究全球气候环境演变的理想地区之一。已有学者对该湖进行了研究<sup>[11-14]</sup>。为了探讨印度洋季风在全新世期间的变化及其对区域环境的影响, 在兹格塘错进行湖泊沉积物的钻探取芯(ZGT02), 并进行了多指标环境的分析<sup>[15-16]</sup>。本文报道对 ZGT02 的介形壳体同位素进行的分析, 以求探讨该区域全新世以来的环境演化过程。

## 1 兹格塘错区域概况

兹格塘错(32°00'~32°09'N, 90°44'~90°57'E)位于藏北高原腹地, 唐古拉山南坡东巧盆地内, 羌塘高寒草原半干旱地带东南边缘, 为班公湖-东巧-怒江深大断带上的断陷湖泊之一, 是一个典型的高原封闭型湖泊(图 1)。湖面海拔 4 561 m, 湖面面积 184.00 km<sup>2</sup>, 湖泊最深点 38.9 m<sup>[17]</sup>; 流域面积 3 430 km<sup>2</sup>, 湖泊补给系数 17.3; 流域内有 4 条较大的河流, 其中以柴荣藏布最长, 约 60 km; 流域内人类活动的影响微弱。兹格塘错湖水补给主要是地表径流, 区域没有冰川分布, 水量平衡因素简单, 主要取决于降水与蒸发之间的平衡。区域降水主要受印度洋季风的影响, 年降水量在 240~300 mm, 多集中于 5—9 月, 多年平均蒸发量为 791.9~1 111.5 mm。从气候划分来看, 兹格塘错区域属于

收稿日期(Received date): 2013-06-10; 改回日期(Accepted): 2013-11-20。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目“青藏高原全新世气候变化高分辨率湖泊沉积记录研究(40471001)”。[Foundation National Natural Science of China: High Resolution Records of Holocene Climatic Change Events Derived from Lake sediments on the Qinghai-Tibet Plateau, No. 40471001.]

作者简介(Biography): 张宏亮(1970-) 男, 河南林州人, 博士, 副教授, 主要从事湖泊资源与环境研究。[Zhang Hongliang(1970-) male, born in Linzhou, Henan, presently a Ph.D. associate professor, major in lake resource and environments.] Tel: 0372-2900043; E-mail: phytolith@163.com

\* 通信作者(Corresponding author): 李世杰, 研究员, 博士生导师, 从事湖泊沉积与全球变化研究。[Li Shijie, professor, doctoral supervisor, major in lake sediments and global change.] E-mail: shjli@nighs.ac.cn

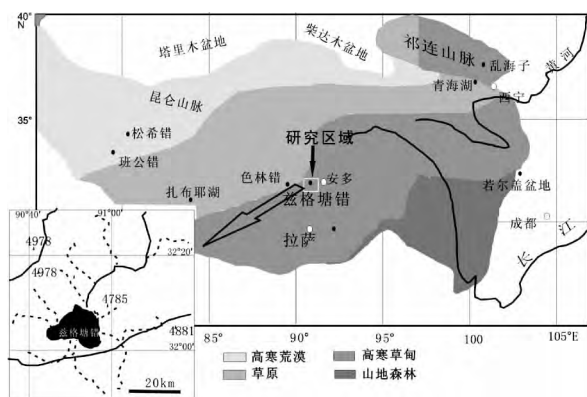


图1 兹格塘错地理位置

Fig. 1 Location of the Zigetang Lake



图2 采样点位置及兹格塘错等深线

Fig. 2 Location of ZGT02 core and isobath of Zigetang Lake

高原亚寒带半干旱气候区,四季不分明,只有冷暖季节之分。由于海拔较高,该流域气温很低,年平均气温  $-3.4 \sim 0.4^{\circ}\text{C}$ 。最热月(7月)均温  $8.9^{\circ}\text{C}$ ,最冷月(1月)均温  $-13^{\circ}\text{C}$  [11],湖面冰冻期接近5个月(11月下旬至翌年4月底)。

## 2 材料与方法

2002年,在兹格塘错西部深水区(水深30m)钻取727cm的沉积岩芯(ZGT02)(图2)。岩芯50cm以上以0.5cm间隔分样,50cm以下以1cm间隔分样。岩芯柱的新鲜剖面颜色以灰色,灰黑色和黑色为主,整体性质较为一致,反映了稳定、连续的沉积演化过程。岩心采用 $^{14}\text{C}$  AMS测年,由德国合作者完成,采用Calib 5.0进行日历年代校正。表层8cm采用 $^{137}\text{Cs}$ 和 $^{210}\text{Pb}$ 测年,得到近50a的平均沉积速率为 $0.8\text{ mm/a}$ 。根据校正结果计算出各个阶段沉积速率,内插出深度年代曲线(图3)。根据测年和沉积速率的确定,分析样品的时间分辨率在6~12a,在岩芯覆盖的全新世10000a期间应该是高分辨率的分析结果。

本次研究从兹格塘错沉积岩芯由上到下均连续挑选出大量介形虫壳体。经过鉴定主要为特异湖浪介(*Limnocythere inopinata* Baird 1843)(图4),其生物学分类位置如下:

Class Ostracoda, Latreille, 1802 介形类纲  
Order Podocopida, Muller, 1894 速足介目  
Superfamily Cytheracea, Baird, 1850 浪花介超科  
Family Limnocytheridae, Klie, 1938 湖花介科  
*Limnocythere inopinata* Baird 1843 特异湖浪介  
共挑选了103个样品进行了碳氧同位素分析。

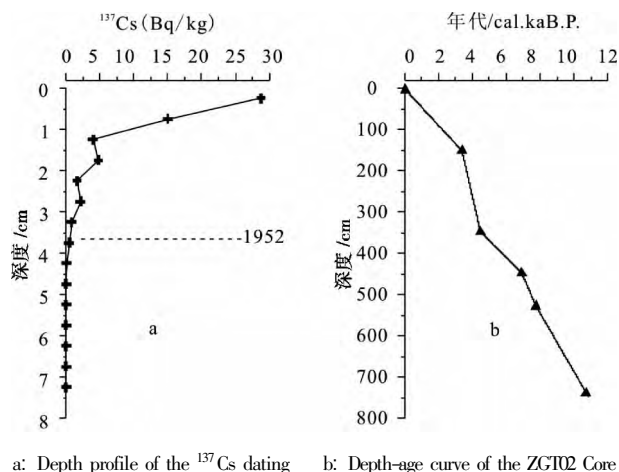
a: Depth profile of the  $^{137}\text{Cs}$  dating b: Depth-age curve of the ZGT02 Core

图3 沉积岩芯深度年代曲线

Fig. 3 Depth-age curve of sediment core

实验时先将清洗好的介形虫壳体样品送入样品瓶,在瓶内滴入纯磷酸,使碳酸盐转化为较纯的 $\text{CO}_2$ 气体,然后通过气体质谱仪测定 $\text{CO}_2$ 气体中的碳氧同位素组成。在德国基尔大学同位素实验室采用Finnigan微量碳酸盐制备系统与MAT-253质谱联机进行测定。

从测得的碳氧同位素数据来看,整个剖面中, $\delta^{18}\text{O}$ 值变化在 $-9.01\text{‰} \sim -2.35\text{‰}$ 间,平均值为 $-4.722\text{‰}$ ,最大变幅为 $6.6\text{‰}$ ;  $\delta^{13}\text{C}$ 在 $-0.46\text{‰} \sim 4.64\text{‰}$ 间波动,平均值为 $2.899\text{‰}$ ,最大变幅为 $5.1\text{‰}$ 。整体来看, $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线存在总体协同变化的趋势(图5)。

## 3 讨论

介形虫壳体碳同位素是众多的湖泊碳源及不同碳源之间相互作用的综合效应[4],主要与湖水的矿

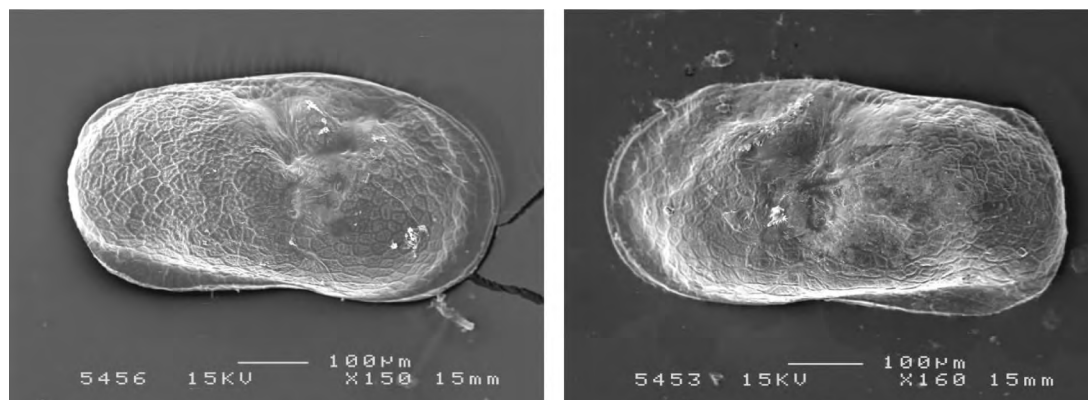
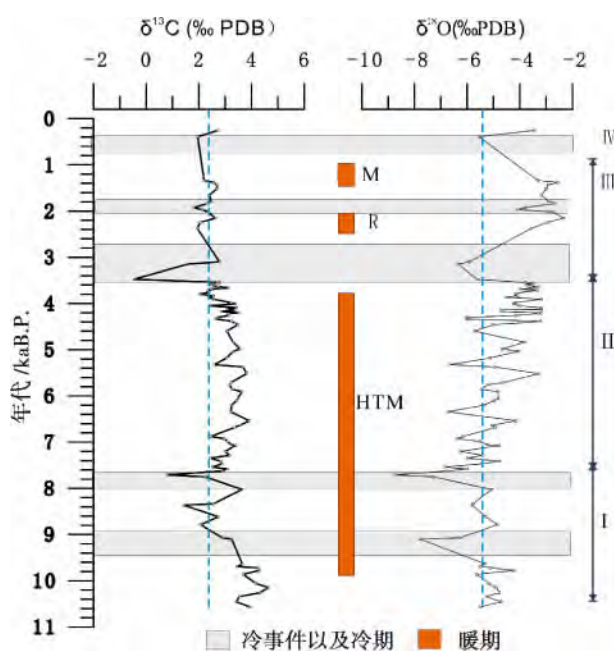


图4 兹格塘错介形虫电镜扫描照片

Fig.4 Electronic microscope scanning photo of Ostracoda

图5 介壳体  $\delta^{13}\text{C}$  与  $\delta^{18}\text{O}$  变化及环境记录Fig. 5 Curve of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  from Ostracoda shell

化度及湖泊初级生产力有关<sup>[10]</sup>。兹格塘错介形虫壳体碳同位素与氧同位素变化特征表明其可能受控于不同的环境因子。

兹格塘错全新世总无机碳(TIC)是总碳(TC)的主要贡献者,且变化趋势与TC一致<sup>[13]</sup>。兹格塘错为碱性水体,有机质易于分解, $\text{CO}_2$ 释放出来。当流域内气候相对温暖时,气候适宜,湖泊浮游植物会大量繁殖,浮游植物的光合作用以及生理代谢作用加强,优先吸收水体中轻的碳同位素,从而使得湖泊表层水体中的碳同位素相对偏重。生活在表层水体中的特异湖浪介,其壳体形成时与水体中的碳同位素几乎是平衡的,因此壳体记录的碳同位素

也偏重。反之当流域气候相对寒冷湿润时,流域蒸发作用不强,加之淡水的补给,导致水体中氧同位素相对偏负,由于湖泊内有机质的量不如气候温暖适宜时期,导致生物对水体碳同位素的分馏相对减弱,因此表层水体中的碳同位素偏轻,并记录在浮游介形类壳体中。

### 3.1 介形虫壳体同位素记录的流域气候以及湖泊水文变化

介形虫壳体的碳氧同位素反映湖泊水体碳氧同位素的变化。湖泊水体的同位素组成变化是流域气候变化与流域水文变化的结果。兹格塘错处于西南季风敏感带,在季风较强时,从印度洋来的暖湿气流形成丰沛的降水,淡水的增加使湖泊氧同位素值变低。反之亦然。氧同位素随季风强弱的变化现象在湖泊介形类壳体中被很好的记录。同理,当流域由暖干气候转变为冷湿气候时,流域植被也会发生变化,相应会改变湖泊水体的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ,同时随气候的变化湖泊表层浮游有机质量由多变少,导致表层水体  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  相对升高。当有机质沉降湖底后,依据湖泊底层水体的含氧量,有机质的分解方式发生变化,底层水体的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  发生相应变化。这些由气候和流域水文及植被变化引起的湖泊水体的碳同位素的变化都记录在介形类壳体中。通过壳体的碳氧同位素的变化研究,可以重现流域气候水文以及植被的变化过程。

根据上述结果及解释,对兹格塘错 10.5 ka B. P. 以来流域气候与环境演化进行了分析,其演化过程可以划分为以下几个阶段(图5)。

#### 3.1.1 10.5 ~ 7.5 ka B. P. 阶段

该阶段介形类丰度较低,指示环境极度不稳定,不利于介形虫的生长与保存,  $\delta^{18}\text{O}$  值在

-8.74‰~-4.22‰之间,均值为-5.65‰,  $\delta^{13}\text{C}$  值在 4.64‰~0.78‰之间,平均值为 3.25‰。较高的  $\delta^{18}\text{O}$  与  $\delta^{13}\text{C}$  表明此阶段比较温暖,总体呈现下降趋势,其间经历多次波动变化。

10.5~9.5 ka B. P. 时期,  $\delta^{18}\text{O}$  值整体偏重,指示较为温暖的时期,  $\delta^{13}\text{C}$  也处于偏正,反映了较为湿润的环境。前期为暖干时期,后期大约在 9.8 ka B. P. 经历一次明显波动,根据其他资料对比,该阶段尚处于暖期,但此时  $\delta^{18}\text{O}$  比值下降,可能是流域内降水增加,气候湿润所致。

9.5~7.5 ka B. P. 时期  $\delta^{18}\text{O}$  出现波动,但总体保持稳定。流域气候比较稳定。9.3 ka B. P. 左右,  $\delta^{18}\text{O}$  比值明显下降,  $\delta^{13}\text{C}$  也呈现下降趋势,揭示流域变湿,入湖水量增加,水位上升。根据粒度分析结果,此时有一个高湖面时期。有研究表明全新世初期曾出现了暖湿气候<sup>[17-19]</sup>;黄赐璇等人研究也发现,10~8 ka B. P. 期间青藏高原北部和西部气候由冷干转向冷湿<sup>[20]</sup>;色林错在 9.2~8.4 ka B. P. 时期出现了稳定高湖面<sup>[3]</sup>;苟弄错在 10.4 ka B. P. 进入冰后期,高水位出现于 10~8.0 ka B. P.<sup>[21-22]</sup>。这些共同说明了在全新世早期青藏高原气候变的湿润,只是因地区不同,时间上存在差异。

8.2~7.5 ka B. P. 时期,  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  几乎同时负偏,标志着一次明显的气候事件。 $\delta^{18}\text{O}$  出现剖面极低值-8.74‰,除了反映温度变化外,还反映了湿度的增加。因为温度降低,导致蒸发作用的减弱,  $\delta^{13}\text{C}$  也出现负偏,出现剖面次低值 0.78‰,表明此时湖泊生产力降低,该气候事件与全球所谓的 8.2ka 事件相对应,但时间上有所滞后。在青藏高原其他湖泊中也有类似记录,如松木希错在 8 ka B. P. 出现冷波动<sup>[17]</sup>,若尔盖 8.9 ka B. P. 显著降温<sup>[18]</sup>,喀喇昆仑山地区湖泊约 9 ka B. P. 经历一次冷的波动<sup>[23]</sup>,洞错 8.47~8.17 ka B. P. 显著降温的气候事件<sup>[24]</sup>。此次冷事件对应于李世杰等提出的发生于 8.5~8 ka B. P. 的全新世第一次冰进<sup>[25]</sup>,但在青藏高原不同湖泊记录的时间上有所差异,可能与定年精度有关。青藏高原古里雅冰芯记录极为显著,出现迅速降温,缓慢升温特征,最冷时降温可达 7.8~10℃。急剧降温使得降水以固态保存,入湖径流明显减少。而后至 7.8 ka B. P. 流域侵蚀能力加强,湖泊水位出现明显上升。正是温度降低与湿度增加的叠加效应,使得  $\delta^{18}\text{O}$  在此段出现剖面极低值。

### 3.1.2 7.5~3.5 ka B. P. 阶段

$\delta^{18}\text{O}$  值变化在 -6.85‰~-3.17‰,均值为 -4.65‰,整体处于一个较高的阶段,表明此一时期为一相对温暖时期,  $\delta^{13}\text{C}$  值 2.04‰~3.91‰,均值为 3.01‰,也处于较为稳定的高值区间,波动起伏较小、频率较低。该阶段湖泊水位处于稳定时期,起伏变化不大;时间上对应于全新世大暖期。气候特征为半湿润、半干旱气候,有利于钙、镁等活动性中等元素的溶解、迁移和富集;气候湿润程度下降,引起流域侵蚀能力减弱,在元素地球化学上表现为较低水平的 Mg/Ca 比值。

7.5~6.0 ka B. P. 时期  $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta^{13}\text{C}$  值波动幅度较大,  $\delta^{18}\text{O}$  指示该地区气候以温暖为主,高  $\delta^{13}\text{C}$  指示湖泊生产力较高,同时外源有机质的输入也增加。6.4~4.5 ka B. P. 时期指标变化幅度较小,流域环境稳定;在 6.0~5.6 ka B. P. 间  $\delta^{18}\text{O}$  比值较低,湖泊处于相对高湖面时期。

4.5~3.5 ka B. P. 时期变化幅度明显增加,记录显示沉积环境经历剧烈变化。期间在 4.0~3.8 ka B. P. 时段  $\delta^{18}\text{O}$  值出现突出峰值,  $\delta^{13}\text{C}$  值也很高,流域径流增加,湖泊水位出现上升,对应于我国北方在这一时段存在的事件<sup>[26]</sup>。青藏高原湖泊沉积记录 4 ka B. P. 前后气候开始强烈波动,并向冷干方向发展,出现所谓的新冰期颤动<sup>[27-29]</sup>。兹格塘错的气候却表现为冷湿组合,这可能与气温降低,蒸发减少有一定关系。

### 3.1.3 3.5~1.0 ka B. P. 阶段

$\delta^{18}\text{O}$  值与  $\delta^{13}\text{C}$  值变化幅度较大,说明该阶段气候环境变化剧烈。 $\delta^{18}\text{O}$  值出现剖面最高值,指示该阶段以温暖气候为主,同时蒸发量较大,湖泊水位较低。

3.5~3.1 ka B. P. 时期  $\delta^{18}\text{O}$  值明显增加,显示湖泊水位下降。而后 3.1~2.7 ka B. P. 时期  $\delta^{18}\text{O}$  值出现一个急剧下降的趋势,指示入湖径流增加,水位上升,此时元素地球化学指标中 Mg/Ca 值及碳酸盐含量也出现急剧下降,表明流域侵蚀能力加强,湖泊为高水位时期<sup>[15]</sup>。

### 3.1.4 1.0 ka B. P. 以来

1.0 ka B. P. 左右处于中世纪暖期,  $\delta^{18}\text{O}$  比值较高,湖泊水位下降,主要因为兹格塘错流域内无冰川分布,气温升高没有增加冰川融水,但蒸发量增加所致。0.5 ka B. P. 以来  $\delta^{18}\text{O}$  值减小,与此同时  $\delta^{13}\text{C}$  值开始下降;指示流域气候湿润,湖泊水位开始上升,对应于小冰期。在青藏高原其他湖泊沉

积中同样也记录了小冰期的冷湿期和高湖面相对应。但在0.2 ka以后 $\delta^{18}\text{O}$ 有明显正偏,指示气候变暖, $\delta^{13}\text{C}$ 也显示正偏趋势,表明湖泊生产力有所增加。

### 3.2 介形虫壳体同位素特征气候事件记录

青藏高原中部在全新世气候变化中整体表现为早期暖湿,中期暖干,晚期冷干的气候特征,冷暖气候呈现交替变化,其中几个特征性气候事件如全新世大暖期(10~4.2 ka B. P.)突然冷期(4.2~2.4 ka B. P.)、Roman 暖期(2.4~2.1 ka B. P.)、1.9 ka 冷事件(2.1~1.8 ka B. P.)、中世纪暖期(1.8~0.8 ka B. P.)、小冰期等冷暖交替在青藏高原其他地区已有部分记录。尽管不同湖泊对上述事件的记录在时间上有差别,可以归因于定年差异以及区域响应差异。兹格塘错沉积物介形虫壳体同位素记录,反映了青藏高原中部全新世气候环境变化的整体特征,同时对晚第四纪特征气候事件都有明确记录(图5)。

在全新世大暖期间,比较著名的气候事件为8.2 ka B. P. 冷事件。兹格塘错沉积物介形虫壳体同位素在8.0~7.7 ka B. P. 时段, $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 几乎同时负偏,记录了一次明显的气候事件。 $\delta^{18}\text{O}$ 值出现一次明显的波动,由 $-5.08\text{‰}$ 迅速降低至 $-8.74\text{‰}$ 。如果按照分馏规律,设定温度为影响分馏的唯一因素,则降温幅度可达 $14^{\circ}\text{C}$ 。而古里雅冰心记录的8.2 ka 冷事件最冷时降温可达 $7.8\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,因此壳体记录除了反映温度变化外,还可能反映了湿度的增加。因为温度降低,导致蒸发作用的减弱, $\delta^{13}\text{C}$ 也出现负偏,出现剖面次低值 $0.78\text{‰}$ ,表明此时湖泊生产力降低,该气候事件可能是8.2 ka 冷事件在兹格塘错地区的响应。兹格塘错位于内陆腹地,其对气候变化的全球性气候变化的响应较青藏高原东南边缘地带的湖泊记录稍有滞后,这有几种原因,其中定年的精度是一个比较重要的因素;同时由于分析分辨率的问题,可能变化极点没有在该次研究中体现出来,但这一气候事件造成的壳体同位素变化还是被记录了下来。金章东等研究了中国有关8.2 ka B. P. 事件的一系列气候记录,发现不同地方对此事件的记录在时间上有差异,时间跨度差异将近500 a<sup>[30]</sup>。其中最为显著的记录为古里雅冰芯,表现出迅速降温,缓慢升温特征<sup>[31]</sup>。

仔细分析发现在3.6~2.6 ka B. P. 间 $\delta^{18}\text{O}$ 有

一个剧烈负偏过程,均值 $-5.96\text{‰}$ 。 $\delta^{13}\text{C}$ 负偏至剖面极低值,表明此阶段为一冷期响应。

2.4~2.1 ka B. P. 为 Roman 暖期,该阶段 $\delta^{18}\text{O}$ 值由前期 $-5.92\text{‰}$ 正偏至 $-2.95\text{‰}$ , $\delta^{13}\text{C}$ 值的升高可能表明其初级生产力有所提高。

1.9 ka 冷事件的时段约为2.1~1.8 ka B. P., 依据兹格塘错介形虫壳体同位素记录,该段 $\delta^{18}\text{O}$ 均值为 $-3.24\text{‰}$ ,最低负偏至 $-4.08\text{‰}$ , $\delta^{13}\text{C}$ 均值为 $2.22\text{‰}$ ,最低负偏至 $1.82\text{‰}$ ,由于低温致湖泊生产力降低,光合作用减弱,消耗 $\text{CO}_2$ 量减少,水里 $\text{CO}_2$ 分压加大,与大气的 $\text{CO}_2$ 交换减弱。

1.8 ka B. P. ~0.8 ka B. P. 为中世纪暖期。 $\delta^{18}\text{O}$ 均值 $-2.99\text{‰}$ 较前一阶段 $\delta^{18}\text{O}$ 均值 $-3.24\text{‰}$ 正偏了 $0.25\text{‰}$ ,如果比较前一阶段最低值与此阶段最高值,两者变化幅度达 $1.52\text{‰}$ ,可以看出此一阶段为温暖阶段。

0.8~0.1 ka B. P. 为小冰期,由于挑样原因,此阶段分辨率较低,只有一个样品记录, $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-5.55\text{‰}$ , $\delta^{13}\text{C}$ 为 $1.96\text{‰}$ 。同中世纪暖期 $\delta^{18}\text{O}$ 均值相比负偏了 $2.56\text{‰}$ ,变化幅度较大。碳酸盐含量显示此一阶段为含量较低时期,指示气候为湿润气候,较低的氧同位素记录了小冰期气候事件,在兹格塘错地区表现为冷湿的气候特点。

尽管在各个阶段氧同位素的变化幅度均较大,如果结合其他气候环境代用指标,比如粒度、元素地球化学、碳酸盐含量等综合比较分析,则可发现明显记录着一些特殊的气候变化事件。当然,沉积物定年的精度问题仍然是这一系列气候事件研究的关键问题。

## 4 结论

介形虫壳体氧同位素变化,主要取决于壳体形成时的湖水氧同位素组成和湖水温度的变化。封闭湖泊的湖水的氧同位素组成,主要取决于降水和蒸发比值的变化。降水有利于介形虫壳体富集轻同位素,导致氧同位素的偏负。水文条件封闭的干旱半干旱区湖泊,蒸发作用主要受控于温度变化。随着温度的升高,蒸发作用增强,湖水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值增加,反映在其中生活的介形虫壳体的 $\delta^{18}\text{O}$ 增加。

兹格塘错介形虫壳体碳同位素与氧同位素变化特征表明,两者可能受控与不同的环境因子。兹格塘错沉积物介形虫壳体同位素记录反映了全新世气

候环境变化的特征,同时对晚第四纪特征气候事件都有明确记录,包括全新世暖期,8.2 ka 冷事件, Roman 暖期,中世纪暖期以及小冰期等。在响应全球气候变化的过程中又记录了区域间的差异响应。

## 参考文献(References)

- [1] Wang Sumin, Dou Hongshen. China lakes chorography [M]. Beijing: Science Press, 1998: 22–27 [王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 22–27]
- [2] Wang Suming, Zhang Zhenke. The new progress of the study of lake sediment and environmental evolution in China [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44 (6): 579–587 [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): 579–587]
- [3] Gu Zhaoyan, Liu Jiaqi, Yuan Baoyin, et al. Lacustrine authigenic deposition expressive of environment and the sediment record from Siling Co, Tibet, China [J]. Quaternary Sciences, 1994, 14 (2): 162–174 [顾兆炎, 刘嘉麒, 袁宝印, 等. 湖相自生沉积作用与环境——兼论西藏色林错沉积物记录 [J]. 第四纪研究, 1994, 14 (2): 162–174]
- [4] Xia Juanjuan. Stable isotope and Trace element composition on Ostracode shells and their application to paleoclimatic reconstruction [J]. Quaternary Sciences, 1996, 16 (4): 345–352 [夏娟娟. 湖相介形虫壳的稳定同位素和微量元素在古气候研究中的应用 [J]. 第四纪研究, 1996, 16 (4): 345–352]
- [5] Wu Jinglu. Modern climatic signals deduced from stable isotope proxies of shells in Xingco lake sediments, eastern Tibet Plateau, China [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21 (4): 19–24 [吴敬禄. 青藏高原东部兴措湖壳体同位素记录的气候环境信息 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21 (4): 19–24]
- [6] Chen Shuo. Holocene. Climate change documented by Ostracod species assemblages and Carbon Oxygen isotopes of Bosten Lake, Xinjiang China [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2009: 1–71 [陈硕. 新疆博斯腾湖沉积岩芯介形虫组合与碳氧同位素揭示的全新世气候变化研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2009: 1–71]
- [7] Lu Fengyan, An Zhisheng. Climatic and environmental significance of Ostracod abundance and their shell oxygen isotope from lake Qinghai surface sediments [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010, 30 (5): 119–128 [卢凤艳, 安芷生. 青海湖表层沉积物介形虫丰度及其壳体氧同位素的气候环境意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30 (5): 119–128]
- [8] Jiang Qingfeng, Shen Ji, Liu Xingqi, et al. Holocene climate reconstruction of Ulungur lake (Xingjiang, China) inferred from Ostracod species assemblages and stable isotopes [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27 (3): 382–391 [蒋庆丰, 沈吉, 刘兴起, 等. 乌伦古湖介形虫组合及其壳体同位素记录的全新世气候环境变化 [J]. 第四纪研究, 2007, 27 (3): 382–391]
- [9] Hu Guang, Jin Zhangdong, Zhang Fei. Constraints of authigenic carbonates on trace elements (Sr, Mg) of lacustrine ostracod shells in paleoenvironment reconstruction and its mechanism [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 51 (5): 654–664
- [10] Li Jun, Yu Junqing. Lacustrine Ostracodes as Environmental Change Indicators: Application and Advance [J]. Journal of Lake Sciences, 2001, 13 (4): 367–375 [李军, 余俊清. 湖相介形类壳体地球化学在环境变化研究中的应用进展 [J]. 湖泊科学, 2001, 13 (4): 367–375]
- [11] Li Shijie, Li Wanchun, Xia Weilan, et al. Preliminary survey report of lake changes of Tibetan Plateau [J]. Journal of Lake Sciences, 1998, 10 (4): 95–96 [李世杰, 李万春, 夏威岚, 等. 青藏高原现代湖泊变化考察初步报告 [J]. 湖泊科学, 1998, 10 (4): 95–96]
- [12] Ulrike Herzschuh, Katja Winter, Bernd Wünnemann, et al. A general cooling trend on the central Tibetan Plateau throughout the Holocene recorded by the Lake Zigetang pollen spectra [J]. Quaternary International, (2006) 113–121.
- [13] Wu Yanhong, Andreas Lücke, Bernd Wünnemann, et al. Holocene climate change in the central Tibetan Plateau inferred by lacustrine sediment geochemical records [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 37 (9): 1185–1191 [吴艳宏, Andreas Lücke, Bernd Wünnemann, 等. 青藏高原中部全新世气候变化的湖泊沉积地球化学记录 [J]. 中国科学: D 辑 地球科学, 2007, 37 (9): 1185–1191]
- [14] Yanhong Wu, Shijie Li, Andreas Lücke. Lacustrine radiocarbon reservoir ages in Co Ngoin and Zige Tangco, central Tibetan Plateau [J]. Quaternary International xxx (2009) 1–5.
- [15] Shen Huiyan, Li Shijie, Yu Shoubing, et al. Holocene environmental change record derived from carbonate and soluble salt content in the sediment core of Zigetang Lake, Tibetan Plateau [J]. Mountain Research, 2008, 26 (2): 189–195 [申慧彦, 李世杰, 于守兵, 等. 青藏高原兹格塘错沉积物中碳酸盐与可溶盐环境记录的研究 [J]. 山地学报, 2008, 26 (2): 189–195]
- [16] Shen Huiyan, Li Shijie, Yu Shoubing, et al. Grain size characteristics of sediments from the Zigetang Lake, Tibetan Plateau and their environmental implication [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27 (4): 163–169 [申慧彦, 李世杰, 于守兵, 等. 青藏高原兹格塘错沉积物粒度组成及其环境记录的研究 [J]. 第四纪研究, 2007, 27 (4): 163–169]
- [17] Gasse F, Arnold M, Fontes J C, et al. A 13,000-year climate record from western Tibet [J]. Nature, 1991, 353 (24): 742–745
- [18] Zhou Weijian, Lu Xuefeng, Wu Zhengkun, et al. Peat record reflecting Holocene climatic change in Zninge Plateau and AMS radiocarbon dating [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46 (12): 1040–1044 [周卫建, 卢雪峰, 吴振坤, 等. 若尔盖高原全新世气候变化的泥炭记录与加速器放射性碳测年 [J]. 科学通报, 2001, 46 (12): 1040–1044]
- [19] Tianchi L. A preliminary study on the climatic and environmental changes at the turn from Pleistocene to Holocene in East Asia [J]. Geojournal, 1998, 17 (4): 649–657
- [20] Huang Cixuan, Elvan Campo, Li Shuanke. Holocene environmental changes of western and northern Qinghai Xizang Plateau based on pollen analysis [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1996, 13 (4): 423–432 [黄赐璇, 冯·康波, 艾利斯, 李栓科. 根据孢粉分析论青藏高原西部和北部全新世环境变化 [J]. 微体古生物学报, 1996, 13 (4): 423–432]
- [21] Li Bingyuan, Li Yuanfang, Kong Zhaochen, et al. 20000 years environmental change of the Gonong Co in Hohxil of Qinghai [J]. Chinese Science Bulletin, 1994, 39 (18): 1727–1728 [李炳



- 元,李元芳,孔昭宸,等. 青海可可西里苟弄错地区两万年来环境变化[J]. 科学通报,1994,39(18):1727-1728]
- [22] Hu Dongsheng. The lake evolution in Kekexili region [J]. Arid Geography, 1995, 18(1): 60-67 [胡东生. 可可西里地区湖泊演化[J]. 干旱区地理, 1995, 18(1): 60-67]
- [23] Li Yuanfang, Zhang Qingsong, Li Bingyuan et al. Ostracod Fauna and environmental changes during the past 17000 years in the western Tibet [J]. Acta Geographica Sinica, 1994, 49(1): 46-54 [李元芳, 张青松, 李炳元, 等. 青藏高原西北部 17 000 年以来的介形类及环境演变[J]. 地理学报, 1994, 49(1): 46-54]
- [24] Wei Lejun, Zheng Mianping, Ce Keqin et al. Early middle Holocene palaeo climate record from Saline Lake sediments in Tontso, Tibet [J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(1): 129-135 [魏乐军, 郑绵平, 蔡克勤, 等. 西藏洞错全新世早中期盐湖沉积的古气候记录[J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 129-135]
- [25] Li Shijie, Jiao Keqin. Glacier variations on the south slope of West Kunlun Mountains since 30000 years [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1990, 12(4): 311-318 [李世杰, 焦克勤. 3 万年来西昆仑山南坡的冰川变化[J]. 冰川冻土, 1990, 12(4): 311-318]
- [26] Xia Zhengkai, Yang Xiaoyan. Preliminary study on the flood events about 4 ka B. P. in North China [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(6): 667-674 [夏正楷, 杨晓燕. 我国北方 4kaB. P. 前后异常洪水事件的初步研究[J]. 第四纪研究, 2003, 23(6): 667-674]
- [27] Li Shijie. Characteristic of existing glacial development in the HohXil region, Qinghai - Xizang plateau [J]. Scientia Geographica Sinica, 1996, 16(1): 11-17 [李世杰. 青藏高原可可西里地区现代冰川发育特征[J]. 地理科学, 1996, 16(1): 11-17]
- [28] Wang Naiang, Li Jijun, Cao Jixiu, et al. A preliminary research on the climate records of lacustrine deposits of Qingtu lake in the last 6000 years [J]. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(2): 119-124 [王乃昂, 李吉均, 曹继秀, 等. 青土湖近 6000 年来沉积气候记录研究: 兼论四五世纪气候回暖[J]. 地理科学, 1999, 19(2): 119-124]
- [29] Zhao Xitao, Zhu Dagang, Yan Fuhua, et al. Climatic change and lake-level variation of Nam Co, Xizang since the last Interglacial Stage [J]. Quaternary Science, 2003, 23(1): 41-52 [赵希涛, 朱大岗, 严富华, 等. 西藏纳木错末次间冰期以来的气候变迁与湖面变化[J]. 第四纪研究, 2003, 23(1): 41-52]
- [30] Jin Zhangdong, Jimin YU, Wu Yanhong et al. Was there an 8.2 ka BP cooling event in China? [J]. Geological Review, 2007, 53(5): 616-623 [金章东, Jimin YU, 吴艳宏, 等. 8.2 ka BP 冷气候事件确实在中国发生过吗? [J]. 地质论评, 2007, 53(5): 616-623]
- [31] Wang Ninglian, Yao Tandong, Thompson L G et al. Evidence for cold events in the early Holocene from the Guliya Ice Core, Tibetan Plateau, China [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(11): 1422-1427 [王宁练, 姚檀栋, Thompson L G, 等. 全新世早期降温事件的古里雅冰芯记录证据[J]. 科学通报, 2002, 47(11): 1422-1427]

## Holocene Environmental Changes Derived from Ostracode Shell Stable Isotopes in the Sediment Core of Zigetang Lake, Tibetan Plateau

ZHANG Hongliang<sup>1</sup>, LIU Qingli<sup>1</sup>, LI Shijie<sup>2</sup>, FANG Xianglin<sup>1</sup>, ZHANG Jixian<sup>1</sup>, LI Ting<sup>1</sup>

(1. Anyang Normal University, Anyang 455002, China; 2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** Located in the hinterland of North Tibetan Plateau, Zigetang Lake is an enclosed lake with bad climate and little precipitation, the regional environment has always been faintly disturbed by human beings, with great evaporation and no glacier in the catchment, the main supply of water comes from surface runoff, and factors of water balance are simple. Thus Zigetang Lake is ideal for study on the climatic evolution of Tibetan Plateau. A 727 cm long core (ZGT02) was obtained at water depth of 30 m in the west of Zigetang Lake, and its AMS age covers the whole Holocene. Ostracode shell stable isotopes analysis used to reconstruct paleoclimatic and environmental change. *Limnocythere inopinata* is the species for analysis; Results show that the  $\delta^{18}\text{O}$  of the shell is controlled by the  $\delta^{18}\text{O}$  and temperature of the lake water. In closed or semi-closed lake,  $\delta^{18}\text{O}$  is an indicator to effective moisture (ratio of precipitation/evaporation) and mainly controlled by the temperature in arid and semi-arid area. High  $\delta^{18}\text{O}$  indicates high evaporation and low precipitation while low  $\delta^{18}\text{O}$  indicates the contrary ones. The curve of  $\delta^{13}\text{C}$  changed in-phase with that of  $\delta^{18}\text{O}$  would indicate that they were controlled by different factors. These environmental changes and the variations of the lake level reflected by the geochemical of Zigetang Lake sediments are well supported by other research results, at the same time, there are different as the different area.

**Key words:** Tibetan Plateau; Lake sediments; Holocene environment; Ostracode shell; stable isotopes