

可可西里古湖泊沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 变化特征及其影响因素

田庆春¹ 杨太保² 石培宏³

(1. 山西师范大学地理科学学院 山西临汾 041000; 2. 兰州大学资源环境学院冰川与生态地理研究所 兰州 730000; 3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 兰州 730000)

摘要 文章选择青藏高原腹地可可西里边缘地区古湖泊为研究对象,通过对湖泊沉积物有机碳、氮和粒度等分析,对中更新世以来 BDQ06 孔湖泊沉积物有机碳同位素的波动特征及其影响因素进行了分析。结果表明:湖泊沉积物有机质以湖泊自生植物为主,有机碳同位素的大小主要指示挺水植物与沉水植物的比例,进而指示湖泊水体大小的变化。沉积物 C/N 值较低时;碳同位素偏重阶段,湖泊沉积物以沉水植物为主,植物主要利用水中溶解的 CO_2 进行光合作用,因此有机碳同位素偏正,指示湖泊水体较大,环境条件较好;碳同位素偏负阶段,湖泊沉积物以挺水植物和浮游生物为主,植物主要利用大气中 CO_2 作为碳源,类似于 C3 植物,碳同位素偏轻,指示湖泊水体较小,气候偏干。其中在岩芯的部分层位有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 曲线出现几个明显偏低的位置,对应的 C/N>10,说明此时段有大量陆源高等植物进入湖泊,并不是由挺水植物和浮游植物所造成的。

关键词 可可西里地区 湖泊沉积 有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 影响因素

第一作者简介 田庆春 男 1982 年出生 博士研究生 讲师 湖泊沉积与环境演变 E-mail: tianqch2006@126.com

中图分类号 P932 **文献标识码** A

湖泊沉积物有机碳同位素在 60 年代就开始用于解释古气候古环境^[1-2]。但是关于有机碳同位素与古气候古环境之间的关系尚未形成统一的认识,更多的研究主要集中在温度与有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 之间的关系,但不同地区的湖泊沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度之间却存在正反两种不同的相关性^[3-4]。然而影响湖泊沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化的因素除温度外,还受到有机质来源、大气 CO_2 浓度、湖水化学性质、光照条件等因素的影响^[3],甚至沉积条件也会影响到有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 的值^[5-6]。从而造成有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 在解释陆地湖相沉积记录的古环境演化上表现出多解性、复杂性及混乱性^[7-8]。国内外学者已提出了多种模式解释有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 与古气候的关系^[3]。因此,对于一个特定地区的湖泊来说,不能简单套用其它地区的模式来解释有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 与气候之间的关系。

青藏高原的形成和隆升对全球气候和环境变化产生了重要的影响和作用,一直以来都是国内外地理学研究的热点之一^[9-10],普遍认为青藏高原是气候变化的敏感区。胡东生等^[11]认为对青藏高原腹地资料的研究有助于对进一步探索青藏高原的科学奥秘提

供新的信息。本文将可可西里地区作为研究区,对该区古湖泊钻孔(BDQ06 孔)沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 进行分析,同时结合沉积物其它环境代用指标:粒度、总有机碳(TOC)及碳氮比(C/N)等进行综合分析,从而探讨湖相沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 的气候意义,同时对影响该区湖相沉积有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 变化的因素进行分析。这对于利用高原湖泊沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 恢复古气候演变有重要意义。

1 研究区概况

可可西里地处青藏高原腹地,其范围主要包括昆仑山以南,乌兰乌拉山以北,向东达青藏公路,西抵省界,中部为山地与宽谷盆地相间分布。研究区主要分布第四纪晚更新世冲积、洪积和冰水堆积砂砾石层,零星分布一些大湖退缩后残留的小湖^[12]。该地区面积约达 $8.2 \times 10^5 \text{ km}^2$,海拔高度约在 4 800~5 000 m。大气含氧量仅为海平面含氧量的 60%左右,约 170 g/m³,年均气温变化在 0.0°C ~2.0°C,年降水量变化在 100~150 mm。现代植被以典型的高寒草原为主。

我们于 2006 年 8 月在可可西里东部边缘的古湖

泊(35°13'05" N, 93°55'52.2" E)获得了一段长 106 m 的高取芯率(90%以上)沉积岩芯 BDQ06。钻孔位置距离青藏公路大约 30 km(图 1)。在野外将取出岩芯用塑料布密封,运回实验室后对岩芯按 2 cm 间距分样,以备后续实验分析。岩芯深度均为校正到钻孔的地层深度,0~5 m 为湖泊切穿后沉积的砂砾石层,5~106 m 岩性主要为浅绿色湖相沉积,其中夹杂部分较薄的氧化色层段。

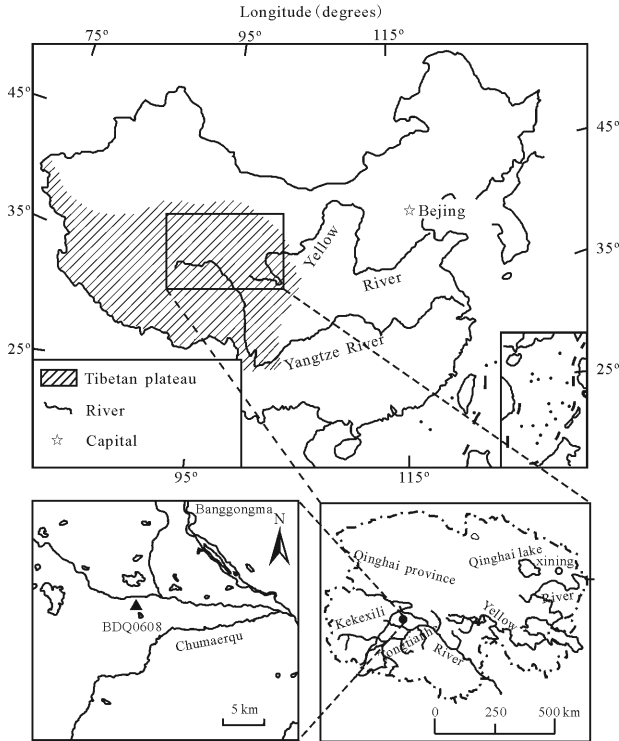


图 1 BDQ06 孔位置示意图

Fig.1 Location of Core BDQ06

2 实验方法

样品干燥后进行环境代用指标的测试:粒度和总有机碳的测试以 10 cm 为间距,有机碳同位素和 C/N 值按 20~50 cm 不等间隔取样,同时按照 10~20 cm 间距进行古地磁测试。

粒度分析在兰州大学西部环境教育部重点实验室利用 Mastersizer2000 激光粒度仪(英国 Malvern Instruments 公司生产)完成。首先取一定量样品进行前处理,除去样品中的有机质与碳酸盐,分别用 10% 的 H_2O_2 和 10% 的 HCl。然后加入蒸馏水静置 24 小时,抽去表面清液,加分散剂,超声震荡 5 min 后加入仪器测试。

总有机碳(TOC)的测试在兰州大学西部环境教育部重点实验室完成,采用重铬酸钾容量法—外加热

法分析^[13]。

有机碳同位素测试在中科院兰州地质所完成,首先取研磨至 80 目的样品 3~5 g 置于烧杯内,加入 80 mL 稀 HCl(浓度为 15%),经过多次搅拌以除去样品中的碳酸盐,静置 24 小时后用蒸馏水冲洗反应完全的样品至中性,然后将样品烘干(60℃以下)、研磨过 120 目筛。将处理好的样品放入石英舟内,置于 800℃真空系统下通氧气燃烧 8~10 min 进行 CO_2 的制备, CO_2 气体通过酒精液氮和纯液氮冷阱进行纯化收集。最后将纯化收集好的 CO_2 气体送入同位素质谱仪(仪器型号为 MAT-252)进行碳同位素测定,结果以 PDB 为标准,测试误差 $<0.2\text{‰}$ 。C/N 值测试在兰州大学化学化工学院完成。由德国 Elementar 公司生产的 Vairo EL 元素分析仪测试完成,标准偏差 $\leq 0.1\%$ 绝对误差。

3 年代确定

BDQ06 孔年代框架以磁性地层学为基础(图 2)。通过线性内插与外推,建立 BDQ06 孔的年代框架(图 3)。

4 分析与结果

湖泊沉积物有机质主要来自内源水生植物和湖区周围的陆生植物两个部分,其中水生植物主要有沉水植物、挺水植物和浮游藻类等^[15-16]。不同来源的有机质其碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值差别较大,其值的大小与气候环境的关系密切。陆源植物的有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值取决于流域的植被类型。陆源植物根据其各自的生理特点分为三种类型:C3、C4 及 CAM 植物。C3 植物主要生活在温度较低、日照不强并且较为湿润的地区^[17],有机碳同位素偏轻, $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-21\text{‰} \sim -33\text{‰}$,平均值为 -27‰ 左右^[2];C4 植物主要分布于日照充足干旱炎热的地区^[16],有机碳同位素偏重, $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-10\text{‰} \sim -21\text{‰}$ ^[18-19];CAM 植物主要是一些耐旱植物,像仙人掌之类的植物,这些植物的光合作用可以在极度干旱条件下进行。其有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值波动幅度较大,约为 $-10\text{‰} \sim -30\text{‰}$ ^[20]。

湖泊内源有机质主要为沉水植物、挺水植物和浮游植物。沉水植物光合作用所需 CO_2 主要来自水中溶解的 CO_2 ,其碳同位素偏重,变化范围为 $-12\text{‰} \sim -20\text{‰}$ ^[21],平均值约为 -15‰ 。而其它两种水生植物主要利用大气 CO_2 作为碳源,有机碳同位素偏轻,通常可比大气 CO_2 偏轻 $20\text{‰} \sim 30\text{‰}$,部分可低至 -35.5‰ 。

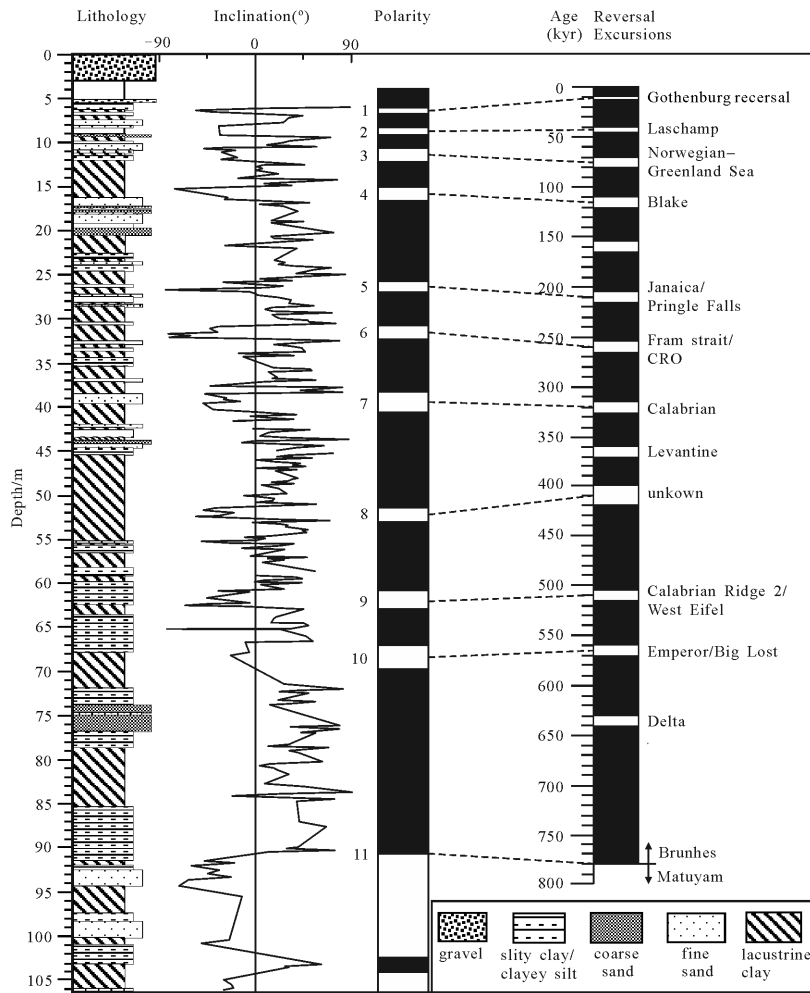
图2 BDQ06孔磁性地层与标准磁极性柱^[14]对比

Fig.2 Comparison of BDQ06 core magnetostratigraphy with standard polarity column

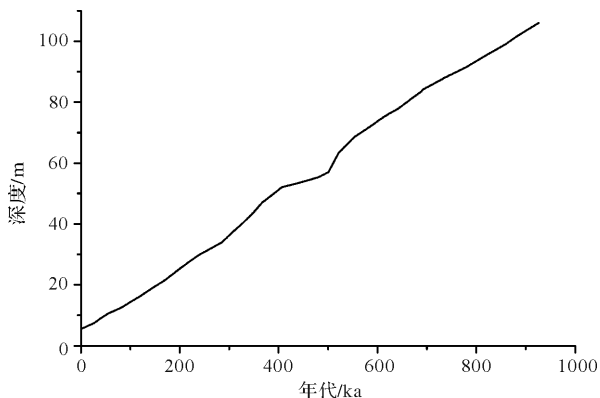


图3 BDQ06孔深度与年代关系曲线

Fig.3 Curve of depth and time correlation in Core BDQ06

这是以大气二氧化碳作为碳源的植物常见固碳方式^[22]。根据对沉积物有机碳研究表明,水生植物C/N值较低,波动范围约5~12之间,一般小于10。

而陆源植物的C/N值较高,通常能达到20~30,部分可以高达45~50;因此可以通过C/N值的大小来辅助判断湖相沉积物有机质的来源^[2,23]。王建林等^[24]利用青藏高原67个采样点0~40 cm表层土样,得出C/N值在高山草原土壤为 22.89 ± 11.83 ,而其他高山、山地的灌丛草甸、草原、半荒漠及荒漠带的平均C/N值为 19.47 ± 9.63 ;高原东北边高寒草甸土壤研究结果也得出C/N值整体大于10^[25],由此可以看出青藏高原地区陆源植被有机碳氮比值较高。而通过对整个岩芯分析发现C/N值整体较低,只有在几个部位大于10(图4),大部分集中在4~8之间,少数2~4,这与张成君等^[6]对可可西里湖泊表层沉积物研究结果一致,属于硅藻和其他藻类。Yu和Kerry^[26]通过对青海湖底部有机碳和氮研究认为有机碳和氮随深度同步变化呈明显的正相关,湖泊沉积物源于湖泊自产,而BDQ06孔有机碳、氮表现出明显的正相关(R^2

=0.65)。由此可以判断湖泊沉积物有机质主要来自湖泊的内源水生植物。前人研究认为地处干旱—半干旱区的湖泊,湖区陆源植被不发育,湖泊沉积物中有机质主要来自于湖泊的水生植物,陆生植物较少,有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值的大小能反映各种水生植物比例,进而能指示湖区气候环境的演化。当湖泊处于高水位期时,沉水植物较为发育,因此在湖泊沉积物中沉水植物所占的比例较大,使有机碳同位素值偏重;反之,在湖泊低水位期,挺水植物和浮游植物发育,在湖泊沉积物中挺水植物和浮游植物占较大比重,导致沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏轻^[20,27]。因此通过有机碳同位素值的大小可以判断沉积物中不同来源有机质所占比重,进一步可以反映出湖泊水位的高低以及湖区气候的干湿情况,这种情况下可以与沉积物粒度进行相互对比验证^[28]。

根据 BDQ06 孔沉积物总有机碳、碳氮比、有机碳同位素变化及沉积物粒度的变化特征,将中更新世以来可可西里 BDQ06 孔沉积物有机碳同位素波动特征(图 4)及影响因素讨论如下:

阶段 5 (929 ~ 660 ka): 本阶段有机碳同位素偏重, C/N 值整体小于 10, 说明沉水植物比较发育, 同时黏土含量 (<4 μm) 出现几个较高的峰值, 说明此时湖泊水体较大。总有机碳含量也出现两个明显的峰值, 说明此时环境条件较好。研究发现高寒地区的湖泊, 生物的生长主要受到温度的控制, 因而在一定程度上沉积物中有机质含量的多少能指示气温的变化, 总有机碳含量高对应于暖期, 反之为冷期^[22,29]。甘孜黄土记录显示 600 ka 前青藏高原相对较湿, 后期变干^[30]。黄土记录也显示此时环境条件较好, 夏季风较为稳定, S8-S6 古土壤发育程度要比 S19-S14 要好^[31]。而此时西南非洲大陆碳同位素记录显示气候较为湿润^[32-33]。

在 9 470 cm、9 026 cm 及 8 300 cm 处黏土含量 (<4 μm) 为峰值指示湖泊水体较大, 但此时的有机碳同位素偏负值, 对应总有机碳含量出现两个较大且持续时间较长的峰值, 相应的 C/N 为高值段, 指示沉积物中有陆生植物进入。调查结果表明, 青藏高原的中北部地区, 海拔高度超过 3 500 m 的植被类型主要是

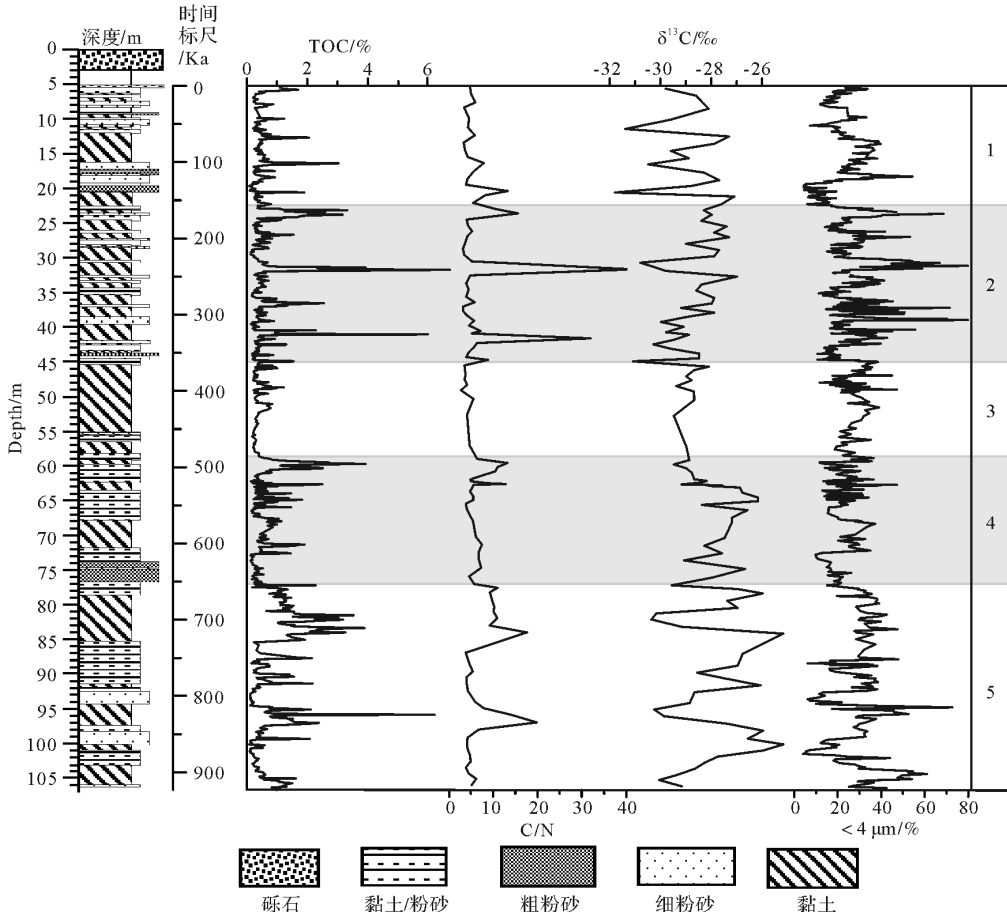


图 4 BDQ06 孔岩性特征与环境指标变化曲线

Fig.4 Lithological features and curves of environmental proxies in Core BDQ06

以 C3 植物为主的高山草甸^[34],这些较低碳同位素的陆生植物进入可能导致沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 出现低值。因此在这几个层位有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值表现出明显的低值。总的来说本阶段湖泊水体较大,气候条件较好,陆源植被发育,因此造成有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值并未因水位上升沉水植物增加而增大,反而出现降低的趋势。主要是由于该段沉积物中陆源高等植物输入量比较多。

阶段 4(660~460 ka):本阶段开始有机碳同位素稍偏负,并逐渐增大,C/N 值低于 10,只有在后期出现两个小的峰值,较低的 C/N 值指示湖泊沉积物有机碳主要来自湖泊的水生植物,本阶段总有机碳含量与上一阶段相比有明显的降低,持续时间也比较短,只有在后期出现小峰,黏土含量($<4\ \mu\text{m}$)与上一阶段相比要小,说明早期湖泊水体较小,后期湖泊水体呈逐渐增大的趋势。后半段有机碳同位素偏轻,C/N 值出现小的峰值,说明沉积物有机质的来源有陆生植物的进入,总体来说本段气候组合表现出温湿冷干的特征,环境条件要比前一阶段稍差一些,与甘孜黄土记录相同^[30]。其他记录也显示此阶段环境条件较差,黄土记录显示此时冬季风极其强盛,沙漠大规模扩张^[35]。毛乌素沙漠记录也表现出同样的结果^[36]。丁仲礼等^[37]认为青藏高原的隆升可能是造成这次冬季风加强、沙漠扩张的主要原因。

阶段 3(460~360 ka):本阶段开始有机碳含量为低值,后段略有增大,但整体上来说为低值。C/N 值整体上小于 10,说明陆生植物不太发育,有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值表现出低值,说明湖泊沉积物以挺水植物和浮游生物为主,指示湖泊水体较小,黏土含量($<4\ \mu\text{m}$)也为低值,同样也指示湖泊水体不是太大;总体来说此阶段湖泊水体较小、气候稍干。青藏高原东南部的若尔盖盆地记录显示 480~160 ka 环境转变为趋冷趋干^[38];苏北盆地兴化 1 孔孢粉和磁化率曲线反映此段气候偏冷^[39]。本阶段气候变得趋冷趋干可能与青藏高原构造隆升的累计效应有关^[40-44]。

阶段 2(360~160 ka):本阶段环境指标的波动幅度较大,总有机碳出现几个较大的峰值,但持续时间不长,而与总有机碳峰值相对应的 C/N 值较高,说明这些时段出现短暂的高温期,本段气候波动较为频繁;黏土含量($<4\ \mu\text{m}$)波动频繁,呈增大趋势,指示湖水波动增大。有机碳同位素呈现出偏重的趋势,其中几个明显的低值与 C/N 的高值相对应,说明沉积物中可能有陆源植物的进入,总体来说本阶段气候表现

出暖湿冷干的特征,但波动频繁、幅度较大。可能与此时高原隆升放大效应有关^[45],青藏高原东南部的若尔盖盆地沉积物记录也显示此时环境波动较为强烈、幅度较大^[38,46]。

阶段 1(160~5 ka):本阶段各环境指标的波动都较小,总有机碳出现几个小的峰值,C/N 值小于 10,说明该阶段湖区的陆生植物不太发育,环境较差;有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值的波动也较为频繁,在 120~80 ka 段同位素值偏负,同时黏土含量($<4\ \mu\text{m}$)为高值,说明此时湖泊水体较大,对应于 MIS5 的暖湿气候。在 40 ka 左右有机碳同位素偏负,黏土含量($<4\ \mu\text{m}$)出现一个小的峰值,说明湖泊水体出现过短暂增大,C/N 值较小,有机质以挺水植物和浮游生物为主。三宝洞石笋氧同位素记录显示在 MIS3 阶段夏季风强度要明显增强^[47-48]。施雅风等^[49]研究结果显示 MIS3 阶段青藏高原出现特强夏季风。1 万年以来总有机碳、黏土含量($<4\ \mu\text{m}$)都呈现出增大的趋势,显示温度升高及湖泊水体增大,可能与进入全新世气候暖湿程度增加有关。

5 结论

通过分析可以看出湖泊沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 可以指示环境的变化,并能和其它环境指标相互印证,地处青藏高原腹地的可可西里地区,气候寒冷干燥,陆源植被不太发育,因此湖泊沉积物有机质主要来自湖泊自生植物,有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 波动幅度能指示湖泊水位的大小,主要得到以下几点认识:

(1) 湖泊沉积物有机 C/N 值整体较低,只有部分层位出现几个高值,说明湖泊沉积物有机质主要来源于湖泊自生生物。

(2) 沉积物 C/N 值较低的时段,有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 波动幅度较大,于 -30.2‰ ~ -25.2‰ 之间,湖泊沉积物以湖泊自生植物为主,碳同位素偏重阶段,湖泊沉积物以沉水植物为主。植物主要利用水中溶解的 CO_2 进行光合作用,因此有机碳同位素偏正。碳同位素偏负阶段,湖泊沉积物以挺水植物和浮游生物为主。

(3) 沉积物 C/N 比值较高的时段,有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 明显偏负,可能是由于该段陆源高等植物输入量较高所致。

致谢 感谢青海师范大学鄂崇毅老师参与野外采样工作,感谢兰州地质研究所杨辉老师、刘艳老师在同位素测试过程中提供的帮助,感谢编辑和审稿专家提出的意见和建议!

参考文献(References)

- 1 Dana S, Deevey E S. Carbon-13 in lake waters, and its possible bearing on paleolimnology[J]. American Journal of Science, 1960, 258A: 253-272.
- 2 Degens D T. Biogeochemistry of stable carbon isotopes[M]//Eglinton G, Murphy M T J. Organic Geochemistry. Berlin: Springer, 1969: 304-329.
- 3 余俊清,王小燕,李军,等. 湖泊沉积有机碳同位素与环境变化的研究进展[J]. 湖泊科学,2001,13(1):72-78. [Yu Junqing, Wang Xiaoyan, Li Jun, et al. Paleoenvironmental interpretations on organic carbon isotopic records from lake sediments: A critique[J]. Journal of Lake Sciences, 2001, 13(1): 72-78.]
- 4 吴敬禄,Luecke A,李世杰,等. 兴措湖沉积物有机碳及其同位素记录揭示的近代气候与环境[J]. 海洋地质与第四纪地质,2000,20(4):37-42. [Wu Jinglu, Luedke A, Li Shijie, et al. Modern climatic signals from records of contents of TOC and $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ in the Xingcuo Lake sediments in eastern Tibetan Plateau, China[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2000, 20(4): 37-42.]
- 5 吴敬禄,王苏民. 湖泊沉积物中有机质碳同位素特征及其古气候[J]. 海洋地质与第四纪地质,1996,16(2):103-109. [Wu Jinglu, Wang Sumin. Climate versus changes in $\delta^{13}\text{C}$ values of the organic matter in lake sediments[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1996, 16(2): 103-109.]
- 6 张成君,张菟漪,樊荣,等. 湖泊环境早期成岩作用对沉积物中有机质 C/N 和碳同位素组成的影响[J]. 地球环境学报,2012,3(4): 1005-1012. [Zhang Chengjun, Zhang Wanyi, Fan Rong, et al. Early diagenesis impacting C/N and organic isotopic compositions in the lacustrine sediments[J]. Journal of Earth Environment, 2012, 3(4): 1005-1012.]
- 7 沈吉,王苏民,羊向东. 湖泊沉积物中有机碳稳定同位素测定及其古气候环境意义[J]. 海洋与湖泊,1996,27(4):400-404. [Shen Ji, Wang Sumin, Yang Xiangdong. Measurement of organic carbon stable isotope in lacustrine sediments and its significance on paleoclimate and environment[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1996, 27(4): 400-404.]
- 8 刘强,刘嘉麒,陈晓雨,等. 18.5kaB. P. 以来东北四海龙湾玛珥湖全岩有机碳同位素记录及其古气候环境意义[J]. 第四纪研究,2005,25(6):711-721. [Liu Qiang, Liu Jiaqi, Chen Xiaoyu, et al. Stable carbon isotope record of bulk organic matter from the Sihailongwan Maar Lake, Northeast China during the past 18.5ka[J]. Quaternary Sciences, 2005, 25(6): 711-721.]
- 9 李吉均,方小敏,潘保田,等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. 第四纪研究,2001,21(5):381-391. [Li Jijun, Fang Xiaomin, Pan Baotian, et al. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang Plateau and its impacts on environments in surrounding area[J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 381-391.]
- 10 施雅风,李吉均,李炳元,等. 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化[J]. 地理学报,1999,54(1):10-20. [Shi Yafeng, Li Jijun, Li Bingyuan, et al. Uplift of the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and East Asia environmental change during Late Cenozoic[J]. Acta Geographica Sinica, 1999, 54(1): 10-20.]
- 11 胡东生,张华京,李炳元,等. 青藏高原腹地湖泊沉积序列与古气候变化[J]. 地质学报,2000,74(4):363-370. [Hu Dongsheng, Zhang Huajing, Li Bingyuan, et al. Lacustrine sedimentary sequences and palaeoclimatic change in the hinterland of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(4): 363-370.]
- 12 张以菲,郑祥身. 青海可可西里地区地质演化[M]. 北京:科学出版社,1996:9-15. [Zhang Yifu, Zheng Xiangshen. Geological Evolution of the Kekexili Region of Qinghai[M]. Beijing: Science Press, 1996: 9-15.]
- 13 Chen F H, Bloemendaal J, Zhang P Z, et al. An 800 ky proxy record of climate from lake sediments of the Zoige Basin, eastern Tibetan Plateau[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1999, 151(4): 307-320.
- 14 Cande S C, Kent D V. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic[J]. Journal of Geophysical Research, 1995, 100(B4): 6093-6095.
- 15 Stuiver M. Climate versus changes in ^{13}C content of the organic component of lake sediments during the Late Quaternary[J]. Quaternary Research, 1975, 5(2): 251-262.
- 16 Krishnamurthy R V, Bhattacharya S K, Kusumgar S. Palaeoclimatic changes deduced from $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and C/N ratios of Karewa lake sediments, India[J]. Nature, 1986, 323(6084): 150-152.
- 17 吴乃琴,吕厚远,聂高众,等. C_3 、 C_4 植物及其硅酸体研究的古生态意义[J]. 第四纪研究,1992(3):241-249. [Wu Naiqin, Lü Houyuan, Nie Gaozhong, et al. The study of phytoliths in C_3 and C_4 grasses and its paleoecological significance[J]. Quaternary Sciences, 1992(3): 241-249.]
- 18 Bischoff J L, Cummins K. Wisconsin glaciation of the Sierra Nevada (79,000-15,000yr B. P.) as recorded by rock flour in sediments of Owens Lake, California[J]. Quaternary Research, 2001, 55(1): 14-24.
- 19 张恩楼,沈吉,王苏民,等. 青海湖近900年来气候环境演化的湖泊沉积记录[J]. 湖泊科学,2002,14(1):32-38. [Zhang Enlou, Shen Ji, Wang Sumin, et al. Climate and environment change during the past 900 years in Qinghai Lake[J]. Journal of Lake Science, 2002, 14(1): 32-38.]
- 20 张成君,陈发虎,施祺,等. 西北干旱区全新世气候变化的湖泊有机质碳同位素记录——以石羊河流域三角城为例[J]. 海洋地质与第四纪地质,2000,20(4):93-97. [Zhang Chengjun, Chen Fahu, Shi Qi, et al. Carbon isotopic records of lake organic matter during Holocene climatic variations in the arid semiarid areas of Northwest China—Taking Sanjiaocheng in the drainage area of the Shiyang River as an example[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2000, 20(4): 93-97.]
- 21 Pearson F J Jr, Copley T B. Stable isotope studies of lakes[M]//Lerman A. Lakes: Chemistry, Geology, Physics. New York: Springer, 1978: 325-339.
- 22 陈敬安,万国江,汪福顺,等. 湖泊现代沉积物碳环境记录研究[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2002,32(1):73-80. [Chen Jing'an, Wan Guojiang, Wang Fushun, et al. Environmental records

- of carbon in recent lake sediments[J]. *Science China (Series D)*, 2002, 32(1): 73-80.]
- 23 Smith B N, Epstein S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants[J]. *Plant Physiology*, 1971, 47(3): 380-384.
 - 24 王建林, 钟志明, 王忠红, 等. 青藏高原高寒草原生态系统土壤碳氮比的分布特征[J]. *生态学报*, 2014, 34(22): 6678-6691. [Wang Jianlin, Zhong Zhiming, Wang Zhonghong, et al. Soil C/N distribution characteristics of alpine steppe ecosystem in Qinhai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(22): 6678-6691.]
 - 25 李世卿, 王先之, 郭正刚, 等. 短期放牧对青藏高原东北边缘高寒草甸土壤及微生物碳氮含量的影响[J]. *中国草地学报*, 2013, 35(1): 55-60. [Li Shiqing, Wang Xianzhi, Wang Zhenggang, et al. Effects of short-term grazing on C and N content in soil and soil microbe in alpine meadow in the north-eastern edge of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2013, 35(1): 55-60.]
 - 26 Yu J Q, Kelts K R. Abrupt changes in climatic conditions across the late-glacial/Holocene transition on the N. E. Tibet-Qinghai Plateau: evidence from Lake Qinghai, China[J]. *Journal of Paleolimnology*, 2002, 28(2): 195-206.
 - 27 王国安. 稳定碳同位素在第四纪古环境研究中的应用[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(5): 471-484. [Wang Guoan. Application of stable carbon isotope for paleoenvironmental research[J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(5): 471-484.]
 - 28 郭兰兰, 冯兆东, 李心清, 等. 鄂尔多斯高原巴汗淖湖泊记录的全新世气候变化[J]. *科学通报*, 2007, 52(5): 584-590. [Guo Lanlan, Feng Zhaodong, Li Xingqing, et al. Holocene climatic and environmental changes recorded in Baahar Nuur lake core in the Ordos Plateau, Inner Mongolia of China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(5): 584-590.]
 - 29 李清, 康世昌, 张强弓, 等. 青藏高原纳木错湖近 150 年来气候变化的湖泊沉积记录[J]. *沉积学报*, 2014, 32(4): 584-590. [Li Qing, Kang Shichang, Zhang Qiangong, et al. A 150 year climate change history reconstructed by lake sediment of Nam Co, Tibetan Plateau[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(4): 584-590.]
 - 30 方小敏, 陈富斌, 施雅风, 等. 甘孜黄土与青藏高原冰冻圈演化[J]. *科学通报*, 1996, 41(20): 1865-1867. [Fang Xiaomin, Chen Fubin, Shi Yafeng et al. Ganzi loess and maxium glaciations on the Qinghai-Xi(Tibetan) Plateau[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1996, 41(20): 1865-1867.]
 - 31 郝青振, 郭正堂. 1. 2Ma 以来黄土—古土壤序列风化成壤强度的定量研究及东亚夏季风演化[J]. *中国科学(D 辑): 地球科学*, 2001, 31(6): 520-528. [Hao Qingzhen, Guo Zhengtang. Quantitative measurements on the paleo-weathering intensity of the loess-soil sequences and implication on paleomonsoon[J]. *Science China (Series D): Earth Sciences*, 2001, 31(6): 520-528.]
 - 32 SchefuB E, Sinninghe Damsté J S, Jansen J H F. Forcing of tropical Atlantic sea surface temperatures during the mid-Pleistocene transition [J]. *Paleoceanography*, 2004, 19: PA4029, doi: 10.1029/2003PA000892.
 - 33 SchefuB E, Schouten S, Jansen J H F, et al. African vegetation controlled by tropical sea surface temperatures in the mid-Pleistocene period[J]. *Nature*, 2003, 422(6930): 418-421.
 - 34 吕厚远, 顾兆炎, 吴乃琴, 等. 海拔高度的变化对青藏高原表土 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 的影响[J]. *第四纪研究*, 2001, 21(5): 399-406. [Lv Houyuan, Gu Zhaoyan, Wu Naiqin, et al. Effect of altitude on the organic carbon-isotope composition of modern surface soils from Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(5): 399-406.]
 - 35 郭光剑, 潘保田, 管清玉, 等. 中更新世全球最大冰期与中国沙漠扩张[J]. *冰川冻土*, 2002, 24(5): 544-549. [Wu Guangjian, Pan Baotian, Guan Qingyu, et al. The maximum glaciation and desert expansion in China during MIS 16[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(5): 544-549.]
 - 36 Ding Z L, Derbyshire E, Yang S L, et al. Stepwise expansion of desert environment across northern China in the past 3.5 Ma and implications for monsoon evolution[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 237(1/2): 45-55.
 - 37 丁仲礼, 孙继敏, 刘东生. 上新世以来毛乌素沙地阶段性扩张的黄土—红粘土沉积证据[J]. *科学通报*, 1999, 44(3): 324-326. [Ding Zhongli, Sun Jimin, Liu Dongsheng. A sedimentological proxy indicator linking changes in loess and deserts in the Quaternary[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(2): 324-326.]
 - 38 Xue B, Wang S M, Xia W L, et al. The uplifting and environmental change of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau in the past 0.9 Ma inferred from core RM of Zoige Basin[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 1998, 41(2): 165-170.
 - 39 孟景闻. 苏北盆地兴化 1 孔元素反映的中更新世以来的环境变化[D]. 南京: 南京师范大学, 2007. [Meng Jingwen. Element records of environment change in the past 780ka from the No. 1 borehole sediments of Xinghua, northern Jiangsu Basin, China[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2007.]
 - 40 Manabe S, Terpstra T B. The effects of mountains on the general circulation of the atmosphere as identified by numerical experiments[J]. *Journal of Atmospheric Science*, 1974, 31(1): 3-42.
 - 41 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-278. [Ye Duzheng, Gao Youxi. *Meteorology of Qinghai-Xizang Plateau*[M]. Beijing: Science Press, 1979: 1-278.]
 - 42 Manabe S, Broccoli A J. Mountains and arid climates of middle latitudes[J]. *Science*, 1990, 247(4939): 192-195.
 - 43 Kutzbach J E, Prell W L, Ruddiman W F. Sensitivity of Eurasian climate to surface uplift of the Tibetan Plateau[J]. *The Journal of Geology*, 1993, 101(2): 177-190.
 - 44 Liu X D, Dong B W. Influence of the Tibetan Plateau uplift on the Asian monsoon-arid environment evolution[J]. *China Science Bulletin*, 2013, 58(34): 4277-4291, doi: 10.1007/s11434-013-5987-8.
 - 45 Liu X D, kutzbach J E, Liu Z, et al. The Tibetan Plateau as amplifier of orbital-scale variability of the East Asian monsoon[J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(16): 1839, doi: 10.1029/2003GL017510.
 - 46 吴敬禄, 王苏民. 若尔盖盆地 RM 孔自生碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ 记录所揭示的环境演化特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1997, 17(4): 63-71. [Wu Jinglu, Wang Sumin. Environmental characteristics showed by $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of authicarbonate in Core RM from Zoige

- Basin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1997, 17(4): 63-71.]
- 47 Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. Millennial- and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224,000 years [J]. *Nature*, 2008, 451(7182): 1090-1093.
- 48 Cheng H, Edwards R L, Broecker W S, et al. Ice age terminations [J]. *Science*, 2009, 326(5950): 248-251.
- 49 施雅风,刘晓东,李炳元,等. 距今 40~30 ka 青藏高原特强夏季风事件及其与岁差周期关系[J]. *科学通报*, 1999, 44(14): 1475-1480. [Shi Yafeng, Liu Xiaodong, Li Bingyuan, et al. A very strong summer monsoon event during 30-40 kaBP in the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and its relation to precessional cycle[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(14): 1475-1480.]

Variation Characteristics and Influencing Factors of Organic Carbon Isotope from Palaeolake Sediments in Hoh Xil Area

TIAN QingChun¹ YANG TaiBao² SHI PeiHong³

(1. College of Geographical Science, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000, China;

2. Institute of Glaciology and Ecogeography, College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: A multiproxy record, including grain size, organic carbon and nitrogen, and the stable isotope compositions of organic carbon ($\delta^{13}\text{C}$) obtained from Core BDQ06 in the marginal Hoh Xil area, Tibet Plateau, provided evidence for climate change since mid-Pleistocene. The influencing factors and variation characteristics of organic carbon isotope were reviewed. The organic carbon content is controlled by autophyte from lake. The variation of organic carbon isotope is mainly related to the ratio of emergent plant to submerged plant, indicating fluctuation of lake level. Variations of the $\delta^{13}\text{C}$ can be used to estimate various sources of organic matter in the aquatic environment. The higher $\delta^{13}\text{C}$ values and lower C/N ratios show the dominance of the submerged plant in the lake, and may reflect higher lake level and more moderate climate. The lower $\delta^{13}\text{C}$ values is attributed to contributor of emergent aquatic plant and plankton, which used atmospheric CO_2 for photosynthesis, indicating lower lake level and drier climate. Additionally, in certain phases, lower $\delta^{13}\text{C}$ values corresponding to the C/N ratios of more than 10 may be related to the input of terrestrial higher plant.

Key words: Hoh Xil area; lake sediments; stable isotope compositions of organic carbon ($\delta^{13}\text{C}$); influencing factors