

中国西北干旱区湖泊沉积物中有机质碳同位素组成的环境意义 ——以民勤盆地三角城古湖泊为例

张成君 陈发虎 尚华明 曹 洁

(兰州大学资源环境学院中德干旱环境联合研究中心,甘肃 730000)

摘要 通过对中国西北干旱区石羊河流域民勤盆地三角城古湖泊沉积物有机质碳同位素组成($^{13}\text{C}_{\text{org}}$)分析,表明末次冰期与全新世时气候和植被有明显的差异,末次冰期 $^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 总体偏轻(-30‰~-25‰),而全新世碳同位素组成则有较大的变化,在全全新世碳同位素组成有多次短期快速变重(-10‰左右)的变化,中全新世碳同位素组成总体偏重(-20‰~-10‰),晚全新世碳同位素组成偏轻(-25‰左右)。分析表明湖泊沉积物有机质碳同位素组成反映了陆生 C_3 植物和湖泊内源水生植物变化的关系,末次冰期以来西北干旱区 C_4 植物不发育,偏重的有机质碳同位素值与 C_4 植物无关。从沉积物中有机质组分、元素等分析表明,末次冰期时主要以河流相沉积为主,湖泊中有机质主要来源于上游祁连山的陆生 C_3 植物,有机碳含量较低,表明当时的上游的陆生植被不繁盛,区域气候较干冷;从全新世开始,三角城古湖泊开始形成,沉积物中碳同位素组成偏重的有机质主要来源于湖泊中的沉水植物,此时湖泊水体较大,湖泊生产力较高。而沉积物中有机质碳同位素组成偏轻时期的有机质主要来源于挺水植物、陆生 C_3 植物,较低的有机碳含量说明该时期陆生植被不发育,气候较干冷,湖泊水体较小。

主题词 三角城 有机质碳同位素组成 沉水植物 陆生植物

中图分类号 P736.4 **文献标识码** A

湖泊沉积物中有机质来源十分复杂,既有陆生植物,如 C_3 和 C_4 或景天科的CAM(crassulacean acid metabolism)植物,也包括了湖泊中的低等菌藻类、沉水植物、挺水植物和浮游植物。陆生植物以及水生植物对环境的变化比较敏感,尤其是植物的有机质碳同位素组成与环境的关系更为密切,因此近年来湖泊沉积物中有机质碳同位素组成成为研究古环境变化的有效指标之一,广泛应用于第四纪研究中^[1~11]。湖泊沉积物中有机质碳同位素组成主要由湖泊沉积物中有机质来源决定,与湖泊的水化学性质、湖泊的营养化过程、大气 CO_2 浓度、沉积环境等因素有关^[8]。然而由于湖泊中有机质来源复杂,一些研究者将沉积物中有机质来源简化为 C_3 和 C_4 来源,沉积物中有机质碳同位素组成由 C_3 和 C_4 植物控制,有机质碳同位素组成的轻重反映了古植被的

变化和古气候特征,有机质碳同位素值偏轻代表了以 C_3 植物来源为主,气候温湿;偏重的有机质碳同位素值代表了以 C_4 植物来源为主,气候干冷^[12]。Brincat等^[13]通过有机组分和碳同位素组成分析认为可能不是如此简单,从植物生态角度 C_4 植物主要生长在高温环境,对于中国西北干旱区内陆湖泊来说,内源的水生植物对沉积物中有机质有较多的贡献,末次冰期以来湖泊中有机质碳同位素组成偏重的有机质是否来源于 C_4 植物还是来源于水生植物,中国西北干旱区内陆湖泊是否具有这种特征,有机质碳同位素组成的环境意义如何,本文试图通过对中国西北干旱区石羊河流域民勤盆地三角城古湖泊沉积物中有机质来源特征的分析,了解在中国西北干旱区的内陆湖泊中不同来源有机质碳同位素组成及该指标的古环境意义。

* 第一作者简介:张成君 男 36岁 副教授 有机同位素地球化学专业 E-mail:cjzhang@lzu.edu.cn

国家自然科学基金项目(批准号:40041004)、国家重点基础研究发展规划项目(批准号:G1999043501)和兰州大学博士留校科研启动基金项目资助

2003 - 03 - 28 收稿,2003 - 08 - 20 收修改稿

1 地理位置

石羊河流域处于中国西北内陆干旱区与东部季风区的交汇过渡地带(100°57' ~ 104°57' E, 37°02' ~ 39°17' N),流域全长 300 余公里,面积 41 163 km²,是甘肃省河西走廊干旱荒漠区三大内陆流域之一(图 1)。石羊河流域多年(1951 ~ 1980 年)平均年降雨量为 115 mm,年蒸发量达到 2 644 mm。流域上游祁连山地海拔 1 700 m 以上,包括 2 500 ~ 4 000 m 以上的祁连山区,以及 1 700 ~ 2 400 m 祁连山北坡山前地带、低山丘陵、黄土丘陵山间盆地;流域中游武威盆地除边缘为中、低山外,其余大面积地区为洪积

平原、戈壁沙漠和冲积湖积平原等;流域下游民勤盆地海拔在 1 200 ~ 1 400 m,形成冲积平原、湖沼平原和低山丘陵、沙漠景观。

冬季西风急流、冬季风和青藏高原冬季风使石羊河流域冬季气候寒冷干燥。夏季由于青藏高原的热力作用增强,形成了高原夏季风,西风环流减弱。该地处于西北内陆,夏季风势力大为减弱,东南气流和西南气流所携带的水汽较少,因此形成的降水有限。总体上石羊河流域属温带干旱气候,特殊的地理位置和流域植被分布特征,使石羊河流域三角城内陆古湖泊沉积物中有机质碳同位素组成具有重要的古环境意义。

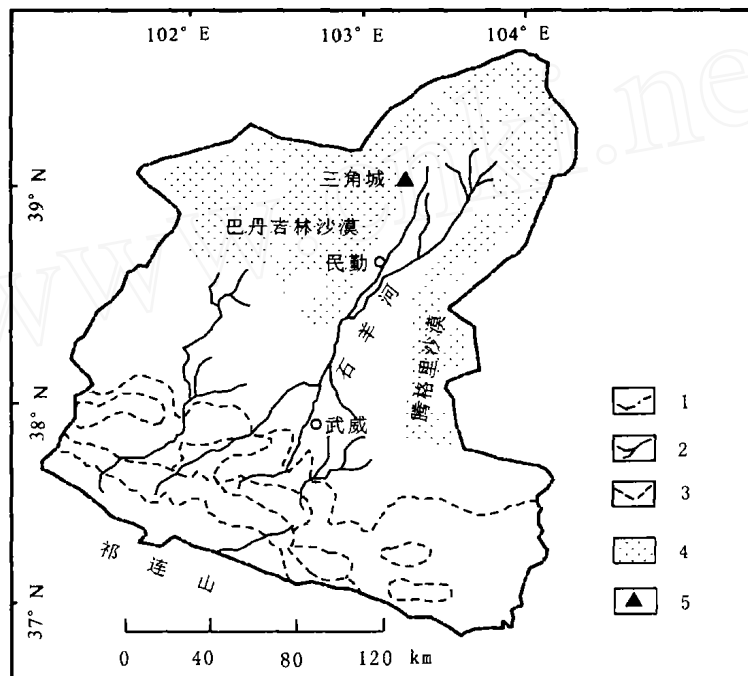


图 1 三角城剖面位置图

1. 流域边界 2. 河流 3. 植被边界 4. 沙漠 5. 三角城剖面位置

Fig. 1 Location of Sanjiaocheng section

2 样品采集及分析

三角城古湖泊剖面位于民勤县红沙梁西部,属石羊河古尾间湖泊的边缘地区,历史时期的古石羊河——大西河曾经流经该地区。三角城探井剖面深 7.2 m 左右(图 2),海拔 1 325 m。从剖面顶向下每间隔 2 cm 采集一个样品。由于本文的剖面与 Shi 等^[14]为同一剖面,年代资料引用施祺等用 WALLAC 1220 超本底液体闪烁计数器和 ¹⁴C AMS 方法测得的结果,Shi 等^[14]讨论了湖泊有机质年代测量时老碳效应的影响,并对三角城剖面年代序列利用剖面及相邻地区地层层序进行校正,剖面在 4.6 m 左右进入全新世,年代

大约在 10 700 a.B. P. (见图 2)。除 ¹⁴C 年代分析外,本文还利用重铬酸钾法进行了有机质含量分析;通过 Vario EL 型元素分析仪对沉积物中有机质元素组分分析;并对 1.5 ~ 1.7 m、3.0 m 左右和 3.5 ~ 4.0 m 三层有机质含量较高的沉积物磨碎后,用二氯甲烷在索氏抽提器中萃取有机质,用三氧化二铝——硅胶色谱柱进行族组分分离,石油醚分离的烷烃类在 HP5890 GC—HP 5989A MS 质谱仪上分析有机质烷烃组分及分布特征;在流动氧气条件下,850 °C 高温加热沉积物中除去碳酸盐矿物后留下的有机物,制成的 CO₂ 气体纯化后在 Delta plus 气体质谱仪上进行有机质碳同位素组成分析。各项分析结果见图 2。

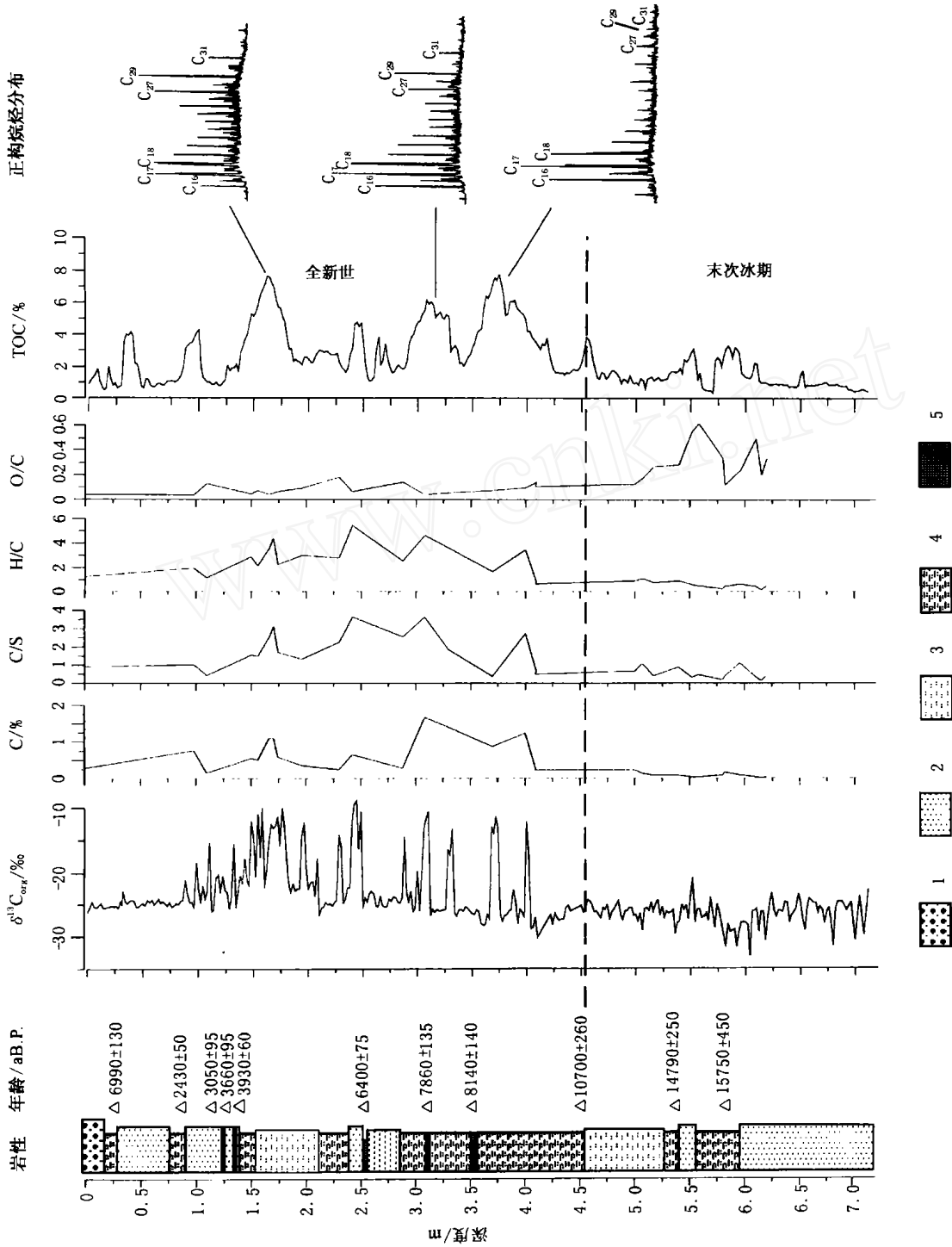


图2 三角城剖面及沉积物有机质含量、元素和碳同位素组成特征

1. 含砂质砾石 2. 砂 3. 粉砂 4. 粉砂质粘土 5. 有机质粘土

Fig.2 Characteristics of carbon isotopic compositions, organic matter content and organic elements of sediments in the Sanjiaocheng section

3 分析结果

3.1 沉积环境分析

三角城古湖泊沉积物中总有机碳含量(TOC)和有机质碳同位素组成($^{13}\text{C}_{\text{org}}$)分析结果(见图2)表明:

末次冰期时期(剖面中4.6m以下地层),沉积物主要以较粗的碎屑物质组成,泥质含量相对较低,沉积物中总有机碳含量较低($< 2\%$),有机质碳同位素组成相应偏轻,在 -30% ~ -25% 的范围内变化。三角城剖面在末次冰期由粉砂和细砂组成,从粒度参数组成分析反映了碎屑物主要来源于河流和风成沉积,而没有湖相沉积物的特征^[15]。全新世开始后岩性发生了明显的变化,泥质含量增高,总有机碳含量增多($2\% \sim 8\%$),偏重的有机质碳同位素组成(-20% ~ -10%)与相对较轻(-25% 左右)的同位素值交互出现,且呈现快速变化特征,较重的有机质碳同位素组成与沉积物中总有机碳含量呈对应关系,主要代表了湖相地层的发育。三角城剖面在大约14790~10700aB.P.时主要为风成沉积或冲积沉积环境,早-晚全新世(10700~6400aB.P.)为一范围较广的统一大湖,面积大约 2130km^2 ,从6400aB.P.以来,三角城古湖泊变成几个分隔的碳酸盐湖或沼泽^[14]。表示了中国西北干旱区石羊河流域民勤盆地三角城末次冰期时主要以河流相沉积为主,全新世以后沉积环境则发生了较大的变化,主要为湖泊沉积环境的湖相沉积。

3.2 沉积物中有机质的来源

有机质在湖泊沉积物中的含量较少,然而是很重要的—种组分。主要由类脂、碳水化合物、蛋白质以及其他水生生物有机体、外源的一些有机质碎屑组成。正构烷烃是沉积物中最重要的有机质,主要来源于高等植物的正构烷烃以 $\text{C}_{23} \sim \text{C}_{35}$ 为主,具有奇碳优势^[16]。湖泊沉积物中有机质主要来源于草本植物时,正构烷烃以 $n - \text{C}_{31}$ 为主,而有机质主要来源于陆生木本植物时,正构烷烃则以 $n - \text{C}_{27}$ 和 $n - \text{C}_{29}$ 为主^[17]。湖泊沉积物中由水生植物产生的有机质碳数较低,主要在 $10 \sim 20$ 左右^[18],大多数藻类产生的有机质碳数在 $\text{C}_{17} \sim \text{C}_{21}$ 的范围内^[19]。而水生植物和陆生植物贡献的湖泊沉积物中有机质在正构烷烃总离子流程图中表现为双峰的模式^[20]。湖泊中水生植物主要为沉水植物、挺水植物和浮游

植物,但是对它们的正构烷烃组成了解较少^[21,22]。Ficken等^[23]提出了一个区别沉水植物/浮游植物和陆生 C_3 和 C_4 植物的指标 P_{aq} ,即:

$$P_{aq} = (\text{C}_{23} + \text{C}_{25}) / (\text{C}_{23} + \text{C}_{25} + \text{C}_{29} + \text{C}_{31})$$

当 P_{aq} 为 $0.01 \sim 0.23$ 时,有机质主要来源于陆生 C_3 和 C_4 植物; P_{aq} 为 $0.07 \sim 0.61$ 时,有机质主要来源于挺水植物; P_{aq} 为 $0.48 \sim 0.94$ 时,有机质主要来源于沉水植物/浮游植物。

对三角城剖面中1.5~1.7m、3.0m左右和3.5~4.0m的有机质组分分析结果(见图2):1.5~1.7m的样品正构烷烃碳数范围从16至31,双峰均峰,优势碳数为17,18,19,25,27,29, $P_{aq} = 0.42$,表明有机质主要来源于陆生 C_3 植物和挺水植物,碳数为31的正构烷烃含量很少,由于 C_4 植物主要由草本植物组成,从有机质组分分析表明 C_4 植物不发育;3.0m左右的样品正构烷烃明显分为两组,属于双峰前峰型分布特征,优势碳数为16,17,18,19和27,29, $P_{aq} = 0.43$,有机质主要来源于挺水植物,同样代表 C_4 植物的碳数为31的正构烷烃含量很少,表明有机质母源中没有 C_4 植物存在;3.5~4.0m的样品正构烷烃碳数主要集中在16~18范围,而碳数为27,29,31的正构烷烃含量很少,正构烷烃分布为单峰模式,优势碳数为16,17,18, $P_{aq} = 0.56$,有机质主要来源于沉水植物或浮游植物,表明湖泊中水生植物的生产力较高,湖泊水体适宜于水生植物的生长。以上分析说明三角城剖面在全新世初期,由于湖泊开始发育,沉积物中有机质以湖泊水生低等植物发育为特征,外源的有机物贡献较少;到中-晚全新世民勤盆地内的陆生植被发育,陆源有机质不断加入,以致于到晚全新世以陆生高等植物占优势。而 C_{27} 和 C_{29} 含量较高, C_{31} 含量很低则表明以陆生木本植物为主,草本植物不发育,几乎没有 C_4 植物存在。植被的发育与三角城的沉积环境有密切的关系,分析表明三角城从全新世开始湖泊开始发育,相对应水生植物也得到发展。朱艳等^[24]的孢粉研究也表明三角城古湖泊从全新世开始水生植物发育,并且祁连山陆生高等植物圆柏(*Sabina*)、云杉(*Picea*)也互为消长出现。

3.3 有机元素特征

对三角城剖面末次冰期、全新世沉积物有机质的C,H,O和S等有机元素及比值分析表明(见图2):三角城沉积物中末次冰期与全新世有机质类型

存在较大的差异,末次冰期时有机质中 O 和 S 含量相对较高,而全新世沉积物有机质中 H 含量较高。O 和 S 含量较高的有机质多来源于陆生高等植物, H 含量高则多来源于水生植物^[1],从沉积物中有机质元素分析也表明三角城剖面在末次冰期和全新世时期沉积物中有机质具有不同的来源,末次冰期沉积物中有机质主要来源于陆生高等植物,河流相沉积环境中缺乏水生植物。根据孢粉分析可能主要通过河流来源于祁连山,全新世湖泊沉积物中有机质主要与水生植物有关^[24]。

4 讨论

4.1 末次冰期

西北干旱区石羊河流域民勤盆地三角城在末次冰期时主要以河流相沉积为主,水源主要来源于南部的祁连山北坡。沉积物中有机质由河流输入,代表了上游植被的特征,沉积物中较低的有机质含量表明输入的有机质较少,表明了这一时期陆生植物并不发育。末次冰期沉积物有机质碳同位素组成 ($^{13}\text{C}_{\text{org}}$) 总体偏轻 ($-30\text{‰} \sim -25\text{‰}$),从有机质碳同位素组成反映出末次冰期陆生植物主要是 C_3 植物,几乎没有 C_4 植物。这与中国西北干旱区现代植被特征相似,对新疆、柴达木盆地、甘肃、青海、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠以及青藏高原等地采集的 610 多个植物样品中 C_4 植物相对较少,仅有 8 个 C_4 植物样品^[25],表明中国西北地区湖泊沉积物有机质中几乎没有 C_4 植物的贡献。Brincat 等^[13]通过有机质碳同位素组分分析表明,在末次冰期沉积物中有机质碳同位素组成较重与 C_4 植物无关。说明陆相沉积物中有机质碳同位素组成的值受环境参数的控制,反映了环境温度、降雨量的变化等气候参数特征。

Hatt é等^[3]研究了德国黄土-古土壤序列有机质碳同位素组成与古环境的关系,有机质碳同位素组成偏重代表了有机质主要来源于 C_4 植物,气候干冷;相反,偏轻则表明有机质主要来源于 C_3 植物,古气候温湿。显然在中国西北干旱区情况相对复杂,现代过程研究表明缺少 C_4 植物,其次有机质碳同位素组成也不在 C_4 植物的范围。对有机质碳同位素组成的变化原因,Edwards 等^[5]的研究证明植物碳同位素组成与湿度和温度相关性很好,随着湿度和温度的升高, ^{13}C 呈线性变轻。我们对中国西北干旱区现代植物样品碳同位素组成分析也表明,降雨量

或湿度与植物碳同位素组成有明显的相关性,而与温度的关系并不十分不明显^[25]。所以在中国西北干旱区沉积物中有机质碳同位素组成的轻重主要反映的是古环境参数变化特征,偏轻代表了古气候较为湿润,偏重的碳同位素组成主要是由于降雨量较少,气候较干,为干冷的气候环境。而不是偏重的碳同位素组成由 C_4 植物来源,气候干冷。三角城剖面在约 5.7 ~ 6.2m 的范围内总有机碳含量相对稍高(达 2%左右),而有机质碳同位素组成更为偏轻 ($-32\text{‰} \sim -28\text{‰}$),说明在约 17 100 ~ 15 500a.B. P. 这一时期石羊河流域及祁连山的降雨量可能较大,流域陆生植被相对繁盛。

4.2 全新世

三角城古湖泊进入全新世后,从沉积环境到有机质的来源发生了较为明显的变化,从河流环境进入了湖泊发育时期,湖泊中水生植物也开始大量发育,成了早全新世沉积物中有机质的主要贡献者。而到了中-晚全新世陆生高等植物迁移到湖泊环境中,为湖泊沉积物中有机质提供物源,此时沉积物中有机质主要为混合来源,在有机质组分色-质谱图中表现为从单峰逐渐变为双峰模式(见图 2)。有机质的碳同位素组成则明显受有机质来源的控制,沉积物中有机质含量较高的层段,有机质碳同位素组成偏重,主要是与沉水植物的贡献有关。较轻的有机质碳同位素组成主要与陆生植物和挺水植物的贡献有关。Aravena 等^[26]研究美国五大湖区的 Chesney Bog 湖时测得以轮藻 (*Chara*) 为主要有机质来源的沉积物中,有机质碳同位素组成为 $-20\text{‰} \sim -10\text{‰}$,而 Toboggan 湖以陆生植物和挺水植物为有机质来源,沉积物中有机质碳同位素组成为 $-38\text{‰} \sim -28\text{‰}$ 。通过对中国西北干旱区现代湖泊中沉水植物碳同位素组成分析(表 1),在巴丹吉林沙漠中湖泊和青海湖、博斯腾湖中的沉水植物轮藻 (*Chara*)、狐尾藻 (*Myriophyllum*)、菹草 (*Potamogeton*) 碳同位素组成处在 $-18.8\text{‰} \sim -12.9\text{‰}$ 范围,与 C_4 植物的碳同位素值相同,表明沉水植物具有较重的碳同位素组成,其主要原因是沉水植物具有如 CAM 植物暗反应来固定无机碳或 C_4 过程增加对 CO_2 的亲合力以及能有效利用溶解 HCO_3^- 作为光合作用碳源的系统^[27]。因此,三角城全新世湖泊沉积物中偏重的有机质碳同位素组成可能代表了有机质主要来源于湖泊中的沉水植物,较轻的碳同位素组成代表了有机质主要来源于陆生 C_3 植物或挺水植物。有机质碳同位素组成的

周期性变化反映了三角城古湖泊中沉水植物与陆生植物和挺水植物为主要来源的交替发育过程,代表了湖泊水体的变化。由于三角城剖面位于三角城古湖泊的西南边缘,只有在湖泊水体较大、范围较广时,沉水植物才有可能发育,当水体减少时,沉水植物则不可能发育,相应挺水植物可能较普遍。因此沉水植物发育代表了湿度较大,湖泊水体相应较大,此时沉积物中有机质碳同位素组成偏重;而挺水植物和陆生 C₃ 植物发育时期则古气候相对干冷,湖泊水体较小,沉积物中有机质碳同位素组成相对较轻。

表 1 中国西北地区湖泊沉水植物碳同位素组成

Table 1 The carbon isotopic compositions of submerged macrophytes in Northwestern China

地 点	咸 度	沉 水 植 物	¹³ C/‰
宝日陶勒盖	淡水	轮藻	- 18. 8
	淡水	轮藻	- 16. 2
巴丹	咸水	轮藻	- 17. 7
吉林	咸水	轮藻	- 15. 9
沙漠	乌珠尔西	狐尾藻	- 15. 8
	乌珠尔东	轮藻	- 16. 8
	萨乌湖	轮藻	- 15. 4
青海	青海湖	道草	- 17. 3
	青海湖	轮藻	- 12. 9
新疆	博斯腾湖	狐尾藻	- 18. 6
	博斯腾湖	轮藻	- 18. 0

5 结论

湖泊沉积物中有机质碳同位素组成的变化与有机质的来源有密切的关系,湖泊是一个比较复杂的水文生态系统,沉积物中有机质主要来源于沉水植物、挺水植物和陆生植物,不同来源的有机质控制了沉积物中有机质碳同位素组成的变化。中国西北干旱区内陆湖泊中有机质主要与沉水植物和挺水植物、陆生植物有关,通过有机质正构烷烃组分分析,陆生植物主要由 C₃ 植物组成,基本没有 C₄ 植物。沉积物中有机质碳同位素组成偏重代表沉水植物较多,此时湖泊水体较大;沉积物中有机质碳同位素组成偏轻,表明陆生 C₃ 植物或挺水植物占优势,湖泊水体较小。三角城古湖泊的沉积发育史代表了从河流相的开始,进入湖泊发育时期,从而陆生植被与水生植被同时开始发育,直到湖泊消亡的历史。

参考文献 (References)

- 1 Talbot M R, Livingstone D A. Hydrogen index and carbon isotopes of lacustrine organic matter as lake level indicators. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1989, **70**: 121 ~ 137
- 2 Nordt L C, Boutton T W, Hallmark C T *et al.* Late Quaternary vegetation

- and climate changes in Central Texas based on the isotopic composition of organic carbon. *Quaternary Research*, 1994, **41**(1): 109 ~ 120
- 3 Hatt ÉC, Fontugne M, Rousseau D D *et al.* ¹³C variations of loess organic matter as a record of the vegetation response to climatic changes during the Weichselian. *Geology*, 1998, **26**(7): 583 ~ 586
 - 4 Wang Hong, Föllmer L R. Proxy of monsoon seasonality in carbon isotopes from paleosols of the southern Chinese Loess Plateau. *Geology*, 1998, **26**(11): 987 ~ 990
 - 5 Edwards T W D, Graf W, Trumborn P *et al.* ¹³C response surface resolves humidity and temperature signals in trees. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, **64**(2): 161 ~ 167
 - 6 王富葆, 阎 革, 林本海. 若尔盖高原泥炭 ¹³C 的初步研究. 科学通报, 1993, **38**(1): 65 ~ 67
Wang Fubao, Yan Ge, Lin Benhai. The initial study about the carbon isotope of peat in Zoigé Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 1993, **38**(1): 65 ~ 67
 - 7 张平中, 王先彬, 陈践发等. 青藏高原原若尔盖盆地 RH 孔沉积有机质的 ¹³C 值和氢指数记录. 中国科学(B 辑), 1995, **25**(6): 631 ~ 638
Zhang Pingzhong, Wang Xianbin, Chen Jianfa *et al.* ¹³C values and hydrogen index records in sediment organic matter of RH core of Zoigé Basin, eastern Qing-zang (Tibet) Plateau and their environmental significance. *Science in China (Series B)*, 1995, **25**(6): 631 ~ 638
 - 8 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. 海洋地质与第四纪地质, 1996, **16**(2): 103 ~ 109
Wu Jinglu, Wang Sumin. Climate versus changes in ¹³C values of the organic matter in lake sediments. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1996, **16**(2): 103 ~ 109
 - 9 沈 吉, 吴瑞金, 安芷生. 大布苏湖沉积剖面有机碳同位素特征与古环境. 湖泊科学, 1998, **10**(3): 8 ~ 12
Shen Ji, Wu Ruijin, An Zhisheng. Characters of the organic ¹³C and paleoenvironment in the section of Dabusu Lake. *Journal of Lake Sciences*, 1998, **10**(3): 8 ~ 12
 - 10 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. 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. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2000, **20**(4): 93 ~ 97
 - 11 林瑞芬, 卫克勤. 草海 ZH 柱样沉积物有机质的 ¹³C 记录及其古气候信息. 地球化学, 2000, **29**(4): 390 ~ 396
Lin Ruifen, Wei Keqin. A ¹³C record of the organic matter in lacustrine sediments of the core ZH from lake Caohai and its palaeoclimate implications. *Geochimica*, 2000, **29**(4): 390 ~ 396
 - 12 张平中, 王先彬, 陈践发等. 湖相有机质的氢指数及碳同位素组成——湖面波动评价的指标——以 RH 孔为例. 科学通报, 1995, **40**(18): 1 682 ~ 1 685
Zhang Pingzhong, Wang Xianbin, Chen Jianfa *et al.* The hydrogen index and carbon isotopic composition of lacustrine organic matters—the evaluation proxy of lake fluctuation—as an example of RH core. *Chinese Science Bulletin*, 1995, **40**(18): 1 682 ~ 1 685

- 13 Brincat D, Yamada K, Ishiwatari R *et al.* Molecular-isotopic stratigraphy of long-chain *n*-alkanes in Lake Baikal Holocene and glacial age sediments. *Organic Geochemistry*, 2000, **31**: 287 ~ 294
- 14 Shi Q, Chen F H, Zhu Y *et al.* Lake evolution of the terminal area of Shiyang River drainage in arid China since the Last Glaciation. *Quaternary International*, 2002, **93 ~ 94**: 31 ~ 43
- 15 张成君, 陈发虎, 王 琪等. 西北干旱区石羊河流域末次冰期晚期气候不稳定性记录. *沉积学报*, 2000, **18**(4): 646 ~ 650
Zhang Chengjun, Chen Fahu, Wang Qi *et al.* Unstability record of Late Glacial Later Period in the Shiyang River basin of arid northwestern China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, **18**(4): 646 ~ 650
- 16 Eglinton G, Hamilton M. Leaf epicuticular waxes. *Science*, 1967, **156**: 1322 ~ 1334
- 17 Kawamura K, Ishiwatari R. Distribution of lipid-class compounds in bottom sediments of freshwater lakes with different trophic status, in Japan. *Chemical Geology*, 1985, **51**: 123 ~ 133
- 18 Meyers P A, Ishiwatari R. Lacustrine organic geochemistry: An overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry*, 1993, **20**: 867 ~ 900
- 19 Han J, McCarthy E D, van Hove W *et al.* Organic geochemical studies. A preliminary report on the distribution of aliphatic hydrocarbons in algae, in bacteria, and in a recent lake sediment. *Proceedings National Academy Science, USA*, 1968, **59**: 29 ~ 33
- 20 Cranwell P A. Monocarboxylic acids in lake sediments: Indicators, derived from terrestrial and aquatic biota, of paleoenvironmental trophic levels. *Chemical Geology*, 1974, **14**: 1 ~ 14
- 21 Cranwell P A. Lipid geochemistry of sediments from Upton Broad, a small productive lake. *Organic Geochemistry*, 1984, **7**: 25 ~ 37
- 22 Ogura K, Machihara T, Takada H. Diagenesis of biomarkers in Biwa Lake sediments over 1 million years. *Organic Geochemistry*, 1989, **16**: 805 ~ 813
- 23 Ficken K J, Li B, Swain D L *et al.* An *n*-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry*, 2000, **31**: 745 ~ 749
- 24 朱 艳, 陈发虎, Madsen B D. 石羊河流域早全新世湖泊孢粉记录及其环境意义. *科学通报*, 2001, **46**(19): 1596 ~ 1602
Zhu Yan, Chen Fahu, Madsen B D. The environmental signal of an Early Holocene pollen record from the Shiyang River basin lake sediments NW China. *Chinese Science Bulletin*, 2001, **46**(19): 1596 ~ 1602
- 25 Zhang C J, Chen F H, Jin M. Study on modern plant C-13 in the western China and its significance. *Chinese Journal of Geochemistry*, 2003, **22**(2): 97 ~ 106
- 26 Aravena R, Warner B. G, MacDonald G M *et al.* Carbon isotope composition of lake sediments in relation to lake productivity and radiocarbon dating. *Quaternary Research*, 1992, **37**(3): 333 ~ 345
- 27 Madsen T V, Breinholt M. Effects of air contact on growth, inorganic carbon sources, and nitrogen uptake by an amphibious freshwater macrophyte. *Plant Physiology*, 1995, **107**: 149 ~ 154

THE PALEOENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE OF ORGANIC CARBON ISOTOPE IN LACUSTRINE SEDIMENTS IN THE ARID CHINA: AN EXAMPLE FROM SANJIAOCHENG PALAEOLAKE IN MINQIN

Zhang Chengjun Chen Fahu Shang Huaming Cao Jie

(Center for Arid Environment & Paleoclimate Research, College of Resources and Environmental Sciences, Lanzhou University, Gansu 730000)

Abstract

The organic carbon isotopic compositions ($^{13}\text{C}_{\text{org}}$) of Sanjiaocheng palaeolake in the Shiyang River drainage, Minqin Basin changed obviously from the Holocene to Last Glacial. $^{13}\text{C}_{\text{org}}$ was lighter in the Last Glacial (-30‰ ~ -25‰) and it varied a lot in the Holocene. $^{13}\text{C}_{\text{org}}$ became quickly heavier several times in the Early Holocene (-10‰) and Middle Holocene (-20‰ ~ -10‰), and lighter in the Late Holocene (ca. -25‰). The organic components of sediments show that Sanjiaocheng section was a river environment in the Last Glacial, and organic matters with a low content in the sediments came mostly from the terrestrial C_3 plants. It's made a conclusion that the vegetation was not overgrowth and the palaeoclimate was cold and dry. But from the Early Holocene, this area started to form a lake and organic matters in the sediments mainly came from submerged macrophytes, merged macrophytes and terrestrial C_3 plants. The heavier carbon isotopic compositions of organic sediments came mainly from the submerged macrophytes and the lake level was higher during this time, and accompanied by a high lake productivity. The lighter carbon isotopic compositions of organic sediments came mainly from the emergent macrophytes and terrestrial C_3 plants and the level was lower. Because there was a low organic carbon content, it showed that the vegetation was bad and the palaeoclimate was cold and dry.

Key words Sanjiaocheng, organic carbon isotope, submerged macrophyte, terrestrial plant