维普资讯 http://www.cqvip.com

第10卷 第3期
1998年9月

湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES

Vol. 10, No. 3
Sep., 1998

大布苏湖沉积剖面有机碳同位素特征与古环境*

沈 吉[1] 吴瑞金[1] 安芷生[2]

(1:中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京 210008;2:黄土与第四纪地质国家重点实验室,西安 730000)

提 要 1994年9月,在吉林省大布苏湖湖盆东部,获取了总厚度为8.10m沉积剖面样品.以10cm间隔采样,对样品中有机质成分及稳定碳同位素研究表明,沉积物中有机质主要来源于陆源高等植物,沉积物中有机物的$\delta^{13}C$值指示了源生物的特征.在暖干时期,沉积物中有机质具有较高的$\delta^{13}C$值;反之,冷湿时期,沉积物中有机质的$\delta^{13}C$值降低,结合剖面碳酸盐含量及^{14}C年代分析表明,湖区15000年来经历了多期冷湿与暖干的气候旋回,大约距今6700年左右,气候变干并进入稳定的温暖时期,湖水逐渐高度浓缩,形成了现今的盐碱湖.

关键词 有机碳同位素 古气候 大布苏湖

分类号 P532 P342

湖泊沉积物中有机碳主要有两大来源,即来自内源湖泊生物(如沉水植物、浮游藻类等)和来自外源湖区周围随入湖水流带入的陆生植物.就内源成因有机质碳同位素组成而言,沉积物中有机碳同位素变化与气候变化有关,在相对寒冷时期,沉积物中有机碳同位素相对较轻,随着古气温的升高,沉积物中有机碳同位素逐渐变重[1-2].外源成因有机质的碳同位素组成与流域植被类型有关,来自C3植被类型的有机质具有较轻的同位素,其$\delta^{13}C$值为−21‰至−33‰,平均−27‰;来自C4植被类型的有机质具有较重的同位素,其$\delta^{13}C$值为−10‰至−21‰,平均−14‰[3].由于C3、C4植被光合作用的固碳方式不同,从而导致其生态习性的差异,C4植物主要生活在干旱炎热且日照充足的地区,而C3植被则分布于温度较低、日照不强且较为湿润的地区[4].因此,通过湖泊沉积物中有机质$\delta^{13}C$值变动所提供的流域植被类型变更历史,可间接地获取古气候环境变化信息.

本文根据大布苏湖沉积剖面有机质$\delta^{13}C$值分布特征,结合碳酸盐分析资料,探讨了湖区15000年以来古气候环境特征及演化过程.

1 样品采集与实验方法

大布苏湖位于松辽盆地南部沉降带中心,吉林省松原市乾安县西部[5].为获取大布苏湖区古气候环境变化信息,本次研究选择湖盆东部学字井剖面开展沉积物中有机质的碳同位素研究.该剖面厚8.10m,底部有机碳^{14}C测年结合沉积速率推算获得的年代为15430±1800aBP,以10cm间隔密集采样,共采集分析样品80个.

有机质的$\delta^{13}C$值测定采用高温灼烧氧化法.首先用稀盐酸除去样品中的碳酸盐矿物,然后将样品置于真空石英管内,通入高纯氧气,在850℃条件下灼烧15min,使样品中的有机碳转

* 国家自然科学基金(49702028)及中国科学院湖泊专项课题资助项目.
收稿日期:1996-07-25;收到修改稿日期:1997-12-17.沈吉,男,1963年生,博士,研究员.

维普资讯 http://www.cqvip.com

化为 CO_2 气体. 采用液氮、干冰等不同冷冻剂分离、净化生成的 CO_2 气体并收集于集气瓶中. 最后在 MAT-251 型质谱仪上测定 CO_2 气体的 $\delta^{13}C$ 值，仪器测试误差小于 0.3‰.

2　实验结果与讨论

2.1　实验结果

大布苏湖学字井剖面有机质的 $\delta^{13}C$ 值变动范围为 −27.212‰至 −23.203‰，平均值 −25.278‰. 总体看，$\delta^{13}C$ 值在剖面上的变化是由两个峰值段和三个谷值段构成. 4m 深度以上 $\delta^{13}C$ 值稳定增加(图 1).

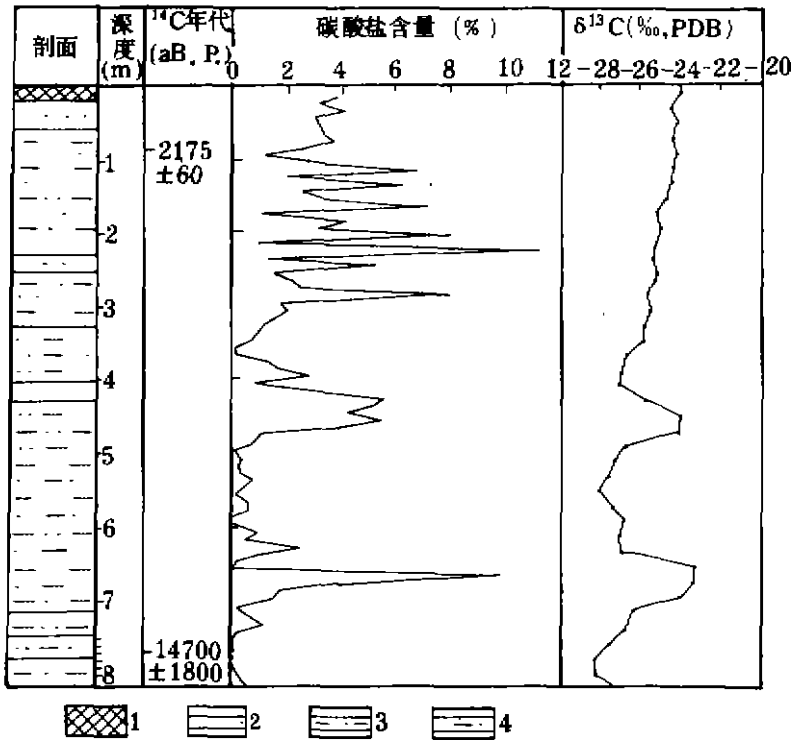

图 1　剖面有机 $\delta^{13}C$ 值分布曲线　1. 耕作层；2. 粉砂；3. 泥粉；4. 粉泥

Fig. 1　Distribution of the organic $\delta^{13}C$ of the profile

2.2　沉积物中有机碳同位素的稳定性

大布苏湖沉积物中有机质成分分析[6]表明，沉积物中有机碳含量为 0.08%—0.52%，族组分中烃含量很低，非烃占 90%以上，且主要为沥青质和胶质(表 1). 表明沉积物中有机质主要源于陆源高等植物. 干酪根形态组成中，主要由腐殖碎片和壳质组成，褐黑色，热谱分析在 368℃和 553℃出现两个放热峰，但峰面极小且平缓，这些特征表明沉积物中不溶有机质主要为腐殖酸类，有机质仅处于聚积和腐植化阶段[7]. 饱和烃色谱分析中，碳数范围 C15－C35，主峰碳为 nC27、nC29 和 nC31，$\sum C23^-/\sum C24^+$ 为 0.17－－1.65，OEP 值为 1.10－4.84，Pr/Ph 为 1 左右，表明沉积物有机质保持原始母质的性质，故其 $\delta^{13}C$ 值曲线的环境意义可靠.

维普资讯 http://www.cqvip.com

表1 大布苏湖沉积物中有机质特征表[5]

Tab. 1 Character of the organic materials in sediments of Dabusu Lake

类型	编号	有机碳(%)	沥青 ppm	烷烃(%)	芳烃(%)	沥青质(%)	胶质(%)	OEP	Pr/Ph	C_{23}^-/C_{23}^+	主峰碳
淤泥	01	0.22	421	1.46	0.35	83.11	15.07	3.53	0.99	0.23	C31
	02	0.52	243	3.30	1.45	50.71	44.50	2.77	1.40	0.26	C29
	04	0.08	230	2.0	0.84	72.99	24.25	4.84	1.20	0.33	C29
	06	0.29	256	2.32	1.05	66.99	29.64	4.94	1.01	0.17	C29
阶地	8001	0.08	84	2.89	2.11	55.26	39.74	1.41	0.63	0.74	C27
	8002	0.10	402	1.09	0.54	81.67	16.70	1.10	0.92	1.15	C25
	红11	0.13	1.94	2.05	1.46	65.20	31.29	1.24	0.40	1.65	C23

2.3 剖面沉积物中有机碳同位素指示古气候的依据

植物在吸收 CO_2 进行光合作用时，同于轻重同位素在生化反映过程中的活动性差异，从而导致碳同位素的分馏，此分馏作用直接或间接地受当时气候状况的影响. 当植物体死亡后，其同位素特征被固结于植物体内，在分解、埋藏过程中，如未经受成岩作用，则植物体的同位素特征将保存于沉积物有机质中. 因此通过对沉积物中有机质的同位素特征研究，可获得其母体(植物)生长期间的气候环境信息。剖面沉积物中有机质主要来源于陆生植物，其 $\delta^{13}C$ 值分布范围为 −27.2‰至−23.2‰，落在C3植物 $\delta^{13}C$ 值的分布范围内(−21‰至−33‰)，因此，这里以C3植物光合作用途径中稳定同位素的分馏模式来讨论湖区古气候特征. C3植物碳同位素的分馏模式为

$$\delta^{13}Cp=\delta^{13}Ca-4.4-22.6Pi/Pa \quad (1)$$

[8]

式中，$\delta^{13}Cp$、$\delta^{13}Ca$ 分别为植物纤维素和植物生长时期大气 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值；Pi、Pa 分别指植物生长时纤维素细胞内外所受的 CO_2 局部压力.

鉴于植物整体的 $\delta^{13}C$ 值($\delta^{13}Ct$)与植物纤维素的 $\delta^{13}Cp$ 值具有较好的相关性[9]，可将(1)式改写为

$$\lambda\delta^{13}Ct=\delta^{13}Ca-4.4-22.6Pi/Pa \quad (2)$$

(2)式中 λ 为 $\delta^{13}Ct$ 对 $\delta^{13}Cp$ 的系数. 由于(2)式中的 Pi/Pa 项的变化远大于 $\delta^{13}Ca$ 的变化[10]，所以 $\delta^{13}Ct$ 的变化主要取决于 Pi/Pa 比值的变化，Pi 和 Pa 之间有如下的关系

$$Pi=Pa-A/g \quad (3)$$

(3)式中 A 为植物对 CO_2 的吸收速率；g 为植物叶片的微孔导通系数.

根据(2)式和(3)式可探讨植物同位素特征的气候意义. 在温度较高、降水较少的暖干时期，植物叶片表现蒸发强烈，C3植物为了减少水分的损耗就会自身进行调节，减少蒸发，关闭叶片的部分微孔，因而降低了微孔的导通性，使植物叶片的微孔导通系数 g 值变小. 微孔导通性的降低使植物纤维素细胞内壁 CO_2 浓度下降，Pi 值变小，这从(3)式也可看出. Pi 值降低使 Pi/Pa 变小，最终导致(2)式中C3植物的 $\delta^{13}Ct$ 值增高. 反之，在冷湿时期，C3植物的 $\delta^{13}Ct$ 值降低.

3 大布苏湖湖区15000年以来气候环境变化特征及其与邻区的比较

根据大布苏湖沉积剖面岩性特征、有机质 $\delta^{13}C$ 值分布，结合剖面 ^{14}C 测年及碳酸盐含量分析，可将大布苏湖区的古气候分为6个阶段：

维普资讯 http://www.cqvip.com

8.10－7.30m：相当于 15400－14000aBP，沉积岩性为灰绿、灰黑色泥粉，发育水平层理．该时段 $\delta^{13}C$ 为低值段（平均－26.636‰），碳酸盐含量为全剖面最低值（平均 0.15%），显示该时期湖面较高、温度较低、环境稳定，为一冷湿气候时期．

7.30－6.30m：相当于 14000－12200aBP，岩性主要为灰绿、灰黑色泥粉，富含有机质，无明显层理．该时段 $\delta^{13}C$ 值快速上升至剖面最高值（－23.203‰）；碳酸盐含量也急剧上升，峰值达 9.82%，反映该时期气候干旱，湖面快速下降，气温偏高．

6.30－4.85m：相当于 12200－9500aBP，岩性为褐黑色富含有机质泥粉或粉泥．该时期 $\delta^{13}C$ 为低值段，平均－26.387‰，碳酸盐含量也较低，平均 0.4%，气候组合为冷湿特征．

4.85－4.00m：相当于 9500－7800aBP，岩性为灰黄色粉砂，$\delta^{13}C$ 为一小峰值段，碳酸盐含量相应也为一小峰值，反映该时期气候回暖，湖面较低，为一温凉偏干的气候时期．

4.00m 以上 $\delta^{13}C$ 值稳步上升，表明 7800a 以后湖区古气温呈稳定上升的趋势．根据剖面碳酸盐含量变化，4.00m 以上又可分为二个阶段：

4.00－2.80m：相当于 7800－5500aBP，岩性为灰黑色富含有机质粉泥，块状无层理．碳酸盐含量为谷值段，反映该时期湖面较高，湿度较大；总体较低的 $\delta^{13}C$ 值表明该时期气候组合特征为凉偏湿．

2.80－0m：相当于 5500a 以来．岩性主要为浅灰黄色粉砂夹灰黑色粉泥，波状或水平层理，层理中夹透镜状薄层砂，该层顶部 20cm 为黄土和土壤层．$\delta^{13}C$ 值在该层段总体较高，并稳步上升；碳酸盐含量波动强烈，且平均值高（3.4%），显示 5500 年以来，湖区在增温过程中逐步向干旱化方向发展，湖泊水体逐渐浓缩，盐度加大而形成盐碱湖．

大布苏湖的环境演化特征与内蒙呼伦湖具有相似之处[11-12]，它们同位于西风急流带的东延并与东亚季风区相交汇的部分，并且纬度较高．晚冰期后期随着全球性增温，冰融水的补给量迅速增加，由于这一时期蒸发量不大，导致该区域湖泊普遍在 12kaBP 出现高湖面[12]，大布苏湖和呼伦湖的高湖面均出现在 12kaBP．全新世中期（7.8－5.5kaBP），由于季风环流强盛，降水增加，使这一地区的湖泊再次出现高湖面，但由于降水的增加超不过晚冰期升温过程中的冰融水补给，因此这一时期的湖面为次高湖面．全新世晚中期（约 5.5－3.0kaBP）季风环流减弱，极峰退缩，该地区经历了干旱化过程，呼化湖沉积记录中，湖相沉积转化为风沙沉积；大布苏湖则以盐类物质大量沉淀和湖泊的盐碱化过程为特征．

参 考 文 献

1 Nakai N. Carbon isotopic variation and the paleoclimate of sediments from Lake Biwa. *Proc Jap Acad*. 1972, **48**: 516－521

2 Stuiver M. Climate versus change in ^{13}C content of the organic component of lake sediments during the Late Quaternary. *Quat Res*. 1975, **5**: 251－262

3 Cormie A B & Schwarcz H P. Stable isotopes of nitrogen and carbon of North American White－tailed deer and implications for paleodietary and other food web studies. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*. 1994, **107**: 227－241

4 吴乃琴、吕厚远. C3、C4 植物及其硅酸体研究的古生态意义. 第四纪研究, 1992, (2): 241－249

5 吴德云、张国防、刘崇禧. 从大布苏湖近代地球化学特征探讨我国含盐湖盆的沉积模式与油气关系. 石油实验地质, 1988, **10**(3): 268－275

6 沈　吉, 吴瑞金, 羊向东. 大布苏湖沉积剖面碳酸盐含量、氧同位素特征的古气候意义. 湖泊科学, 1997, **9**(3): 217－222

7 吴德云. 中国湖泊近代沉积物的有机地球化学特征与油气关系. 海洋地质与第四纪地质, 1986, 6(4), 16－25

维普资讯 http://www.cqvip.com

8 Francey R J & Farquhar G D. An explanation of $^{13}C/^{12}C$ variation in tree ring. *Nature*, 1982, 297: 28－31
9 刘东生,刘 禹. 黄土·第四纪地质·全球变化. 北京:科学出版社, 1990. 7－11
10 王富葆,周 革,林本海. 黄土·若尔盖高原泥碳 $\delta^{13}C$ 的初步研究. 科学通报, 1993, 38(1): 65－68
11 王苏民,吉磊. 呼伦湖晚第四纪湖相地层沉积学及湖面波动历史. 湖泊科学, 1995, 7(4): 297－306
12 薛 滨,王苏民,沈 吉. 呼伦湖东露天矿剖面有机碳总量及其稳定碳同位素和古环境演化. 湖泊科学, 1994, 6(4): 308－316
13 吴锡浩. 中国全新世古气候适宜期东亚季风时空变迁. 第四纪研究, 1994, (1): 24－37

Characters of the Organic $\delta^{13}C$ and Paleoenvironment in the Section of Dabusu Lake

Shei Ji[1] Wu Ruijin[1] An Zhisheng[2]
(1: *Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008;
2: *State key Laboratory of Loss and Quaternary Geology, Xi'an* 730000)

Abstract

The organic materials in lake sediments mainly come from (1) autogenous materials (2) allochthonous materials. As in the second case, the organic materials in sediments mainly come from the plants which were brought into the lake by flowing water. So the $\delta^{13}C$ values of the organic materials are controlled by the plants types . The values of $\delta^{13}C$ of the organic materials in sediments can supply the information of what types of plants the organic materials come from. According to the plant types the paleoclimatic information can be obtained.

According to the vertical distribution of the $\delta^{13}C$ in Dabusu Lake, has been reconstructed the paleoclimate evolution of this region since 15000 years as follows:

15400－14000 aB P (depth 8.10－7.30m): the climate was cold and wet. During this stage there was a high lake level and stable environment.

14000－12200 aB P (depth 7.30－6.30m): the climate was dry and temperate. The lake level descended rapidly.

12200－9500 aB P (depth 6.30－4.85m): The climate was cold and wet.

9500－7800 aB P (depth 4.85－4.00m): The climate came back to warm and dry, and the lake level was low.

7800－5500 aB P (depth 4.00－2.80m): The temperature fell and the lake level rose. The climate was cool and wet.

Since 5500 aB P (depth 2.80－0m): The climate bacame warm and dry. The Lake water condensed rapidly and finally the lake evolved into a saline lake.

Key Words Organic carbon isotope, paleoclimate, Dabusu Lake