

217-222 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

p 532

p 512.3

沈吉¹ 吴瑞金¹ 羊向东¹ 潘红玺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 730001)

摘要 对大布苏湖沉积剖面碳酸盐含量和氧同位素特征研究表明,湖区15000年以来经历了多期冷湿与暖干气候轮回,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 碳酸盐含量, 氧同位素, 古气候, 大布苏湖

湖泊沉积

内流型封闭盆地的湖泊,尤其是咸水湖,对气候波动十分敏感,具体表现为湖面的升降、湖水盐度变化和湖泊水体中离子组合类型的变更等,这些变化被忠实地记录于湖泊沉积物中^[1]。本文通过对大布苏湖沉积剖面碳酸盐含量、氧同位素特征的分析,力图获取大布苏湖区古气候环境变化信息,探讨地质历史时期湖区气候的冷暖与干湿特征以及湖泊的演化过程。

1 湖区自然地理概况

大布苏湖位于松辽盆地南部沉降带中心,地理位置在吉林省松原市乾安县西部,该湖系一内流型强碱性湖,内流区汇水面积约230km²,现代湖盆面积78km²,水深平均为2m,湖盆和湖面轮廓似鸟卵形,呈东南—西北向延伸,湖面长约10km,宽6km,周长41km,水面面积36km²(图1),丰水年湖面面积最大可达49km²,最大蓄水量约0.6×10⁶m³。

湖盆地形具有明显东高西低倾向,东部发育两级湖岸阶地,在湖面与一级阶地之间,还发育有宽约1—2km的洪积—湖积平原,大布苏湖中间出露有一些低平的岛屿和半岛,岛屿主要分布于湖的西南部,呈西北—东南向排列,这些岛屿由粉砂质粘土或淤泥组成,在有泉水上涌部位,地面物质具触变性,受压或振动时,土体迅速松软,承载力下降,人畜直立其上常会越陷越深,难以自拔,俗称“大酱缸”。

本区气候属温带大陆性季风气候,气温年均4.7℃,1月平均-14.8℃,7月平均气温24.9℃,年均降水量400mm,其中7—9月占全年总降水量70%以上,从水热条件看,本区属亚湿润地区,由于夏季炎热,蒸发量远大于降水量,加之湖盆属闭流型,因此造成湖盆区盐碱物质大量积累。

湖区陆域主要植被类型为草甸、沼泽、盐碱滩和人工耕地,多年来由于湖区农业开发规模日益扩大,加之长期过度放牧,使原地带性草原——羊草草原受到很大破坏,大都变成现今的杂类草场和草甸草场。

• 国家自然科学基金资助项目(编号:49372129)。

收稿日期:1996-04-23;收到修改稿日期:1996-05-30。

作者简介:沈吉,男,1963年生,研究员,1991年在南京大学获博士学位,现主要从事湖泊沉积与环境研究工作。

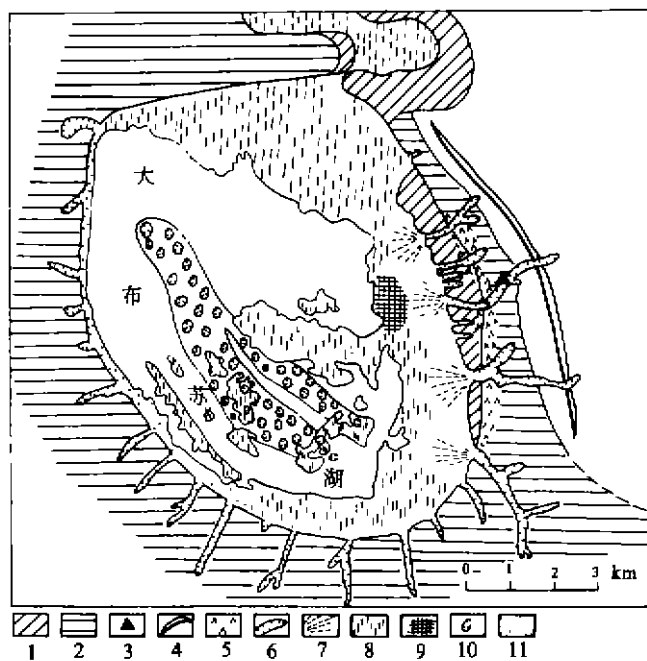


图1 大布苏湖地质地貌略图

1. 一级阶地; 2. 二级阶地; 3. 剖面地点; 4. 不对称岗垅; 5. 狼牙棒(劣地);
6. 冲沟; 7. 洪积扇; 8. 沼泽湿地; 9. 草炭; 10. 大酱缸; 11. 浪成斜坡

Fig.1 Geological-geomorphic sketch of the Dabusu Lake

2 样品采集与实验方法

为获取大布苏湖古气候环境变化信息,本次工作选择湖盆东部学字井剖面开展碳酸盐含量和同位素研究.该剖面位于二级阶地的坡坎部位,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 $15430\pm 1800\text{aBP}$,以10cm间隔密集采样,共采集分析样品80个.

样品的碳酸盐含量由CSC-1型碳酸盐含量自动分析仪测定.样品测试前先行烘干研磨,过100目筛,然后将样品置于仪器样管中,注入稀酸(HCl ,10%),生成 CO_2 由仪器自动记录并换算出样品中碳酸盐含量.仪器最小检出限为1mg碳酸盐,相对误差小于2%.

剖面样品的氧同位素分析是通过样品中碳酸钙和100%磷酸在25℃反应时释放出 CO_2 气体,然后在MAT-251型质谱仪测定 CO_2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 值获得的.仪器测试精度为 0.02‰ .

3 实验结果与讨论

大布苏湖学字井剖面的碳酸盐含量和 $\delta^{18}\text{O}$ 值分布曲线如图2所示.剖面碳酸盐含量变幅较大(0.01%—11.21%),平均含量为1.86%; $\delta^{18}\text{O}$ 除三个峰值段外,基本稳定在22‰—24‰之间.综观两条曲线的变化趋势可以发现,剖面碳酸盐含量与 $\delta^{18}\text{O}$ 值呈负消长关系,即碳酸盐含量较低的时段 $\delta^{18}\text{O}$ 出现峰值.

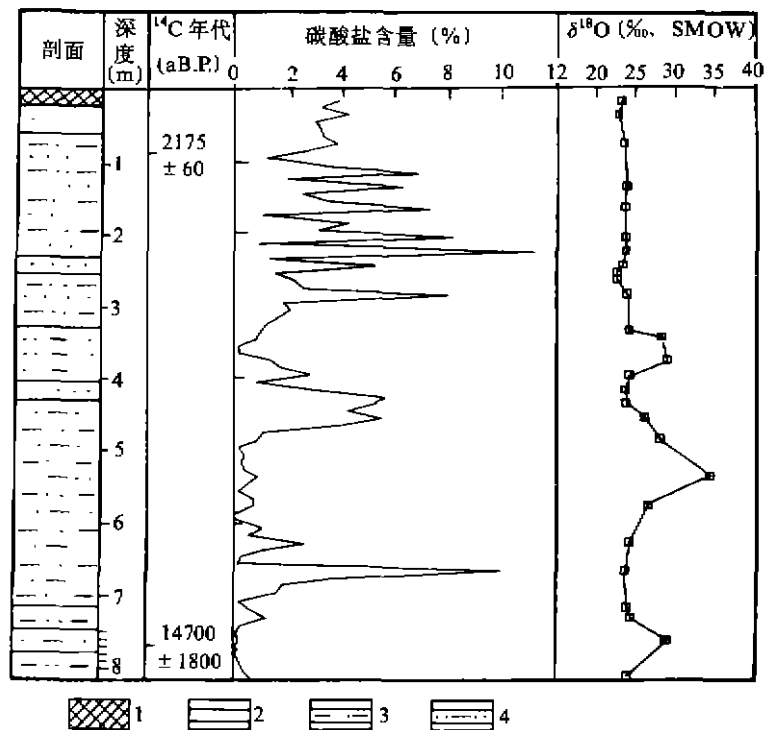


图2 剖面碳酸盐含量和 $\delta^{18}\text{O}$ 值分布曲线

1. 耕作层; 2. 粉砂; 3. 泥粉; 4. 粉泥

Fig. 2 Distribution of the $\delta^{18}\text{O}$ and carbonate of the section

根据大布苏湖水化学成分和矿化度的季节变化观测资料^[2],湖水化学成分和矿化度与气候季节性变化密切相关(表1).每年干旱季节(4—6月)平均矿化度在200g/L左右,最高可达300g/L以上;降雨集中的7—9月份,矿化度急剧下降,最低为62.34g/L;10月至翌年3月,降雨较少,蒸发一般,这段时间矿化度稳定在140g/L左右.湖水的阴阳离子组合按 $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ 及 $\text{Na}^+(\text{K}^+) > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ 顺序排列.

表1 大布苏湖区径流与湖水的离子组分¹⁾

Tab. 1 The ionic component of the lake current and runoff in Dabusu area

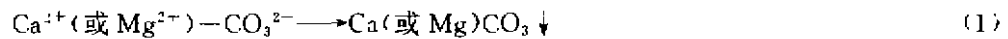
水样	取样时间	离子组合(当量,%)							矿化度(g/L)
		HCO_3^-	CO_3^{2-}	CO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{K}^+ \sim \text{Na}^+$	
湖水	5—6月	4.23	25.11	12.21	55.45			99.99	347.34
湖水	8—9月	5.22	30.42	13.77	50.59	1.21	1.68	97.11	62.34
地下径流		31.74	5.15	14.08	49.00	22.19	27.34	50.47	1.48
地表径流		34.25	23.73	14.55	21.47	17.40	0.06	82.00	0.91

1) 地下径流为10个点水样平均值,地表径流为8个点水样平均值;湖水为2个水文年平均值;矿化度据参考文献[2].

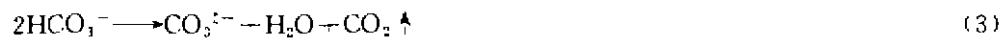
从表 1 可以看出,地表和地下径流的水化学成分与湖盆水体的化学组成截然不同.当两种径流注入湖盆后,它们之间不是简单的机械混合,而是由于温度、矿化度、pH 值等水文化学条件的改变,阴、阳离子组合发生根本性变化,并建立新的动态平衡.又由于受区域地质和气候条件控制,这一水文地球化学过程呈周期性和季节性变化.

每年雨季(7—9月),地表水和地下水注入湖盆,使湖盆水体矿化度由旱季 300g/L(最高 347.34g/L)下降为 62.34g/L;离子组合也由旱季的 Cl^- (55.45g/L)、 CO_3^{2-} (28.11g/L)、 SO_4^{2-} (12.21g/L)、 HCO_3^- (4.23g/L)、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (99.99g/L)、 Mg^{2+} (0g/L)、 Ca^{2+} (0g/L)变化为 Cl^- (50.59g/L)、 CO_3^{2-} (30.42g/L)、 SO_4^{2-} (13.77g/L)、 HCO_3^- (5.22g/L)、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (97.11g/L)、 Mg^{2+} (1.68g/L)、 Ca^{2+} (1.21g/L).雨季过后,随蒸发量增加,至翌年的 4—6月,又逐步恢复旱季时的矿化度和离子组合特征.因此可以看出,每年雨季至翌年旱季, Cl^- 、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 比例相对增加,其它五种离子则相对减少,特别是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 几乎完全消失.这一过程说明, Cl^- 、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 主要受湖水蒸发浓缩影响; HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 五种离子则由于物理化学条件改变而重新组合,达到新的平衡.这些反应基本由两种反应同步进行:

其一,由于蒸发浓缩,离子浓度增加,破坏了离子的平衡条件



其二,由于温度增高, HCO_3^- 发生分解反应



以上特征和反应过程实际上是地质历史的再现,它揭示了大布苏湖环境演化的特征.一方面在干旱的气候阶段,湖盆水体蒸发浓缩,使湖底沉淀出碳酸盐;另一方面随着气温升高, HCO_3^- 分解生成 CO_3^{2-} ,并与 Ca^{2+} (或 Mg^{2+})结合,形成碳酸盐沉淀.此过程将释放出 CO_2 气体.根据 Y. N. Shieh 和 H. P. Taylor 的研究^[3-5], (3)式中产生的 CO_2 富重碳同位素. Friedman 和 O'Neil 研究湖泊温度范围内(3)式产生的 CO_2 的同位素值时,发现该气体的同位素值比碳酸盐离子重 1‰左右^[6].因此,剖面中碳酸钙的 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化,具有指示湖水温度波动的意义,低 $\delta^{18}\text{O}$ 值反映较为温暖的气候阶段.

由于水分子的饱和蒸汽压力与分子的质量成反比, H_2^{16}O 比 D_2^{18}O 的蒸汽压高得多,因此根据同位素热力学分馏原理,蒸发作用的结果将使水蒸汽富集 ^1H 和 ^{16}O ,而剩余的水相对富集 ^2D 和 ^{18}O .据 H. Craig 和 L. Gordon 的研究^[7],在温度为 25℃时,水在平衡条件下蒸发时的分馏系数为:

$$\alpha = (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{水}} / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{气}} = 1.0092$$

Fontes 和 Gonfiantini 在研究西北撒哈拉封闭型湖泊时,依据两个湖泊同位素和化学成分的演化,在这两个湖泊蒸发至近干枯时,发现残留水体 ^{18}O 的富集超过 30%.因此干旱区封闭型湖泊水体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值随盐度增加而增大的现象较为普遍^[8].然而大布苏湖 $\delta^{18}\text{O}$ 值与盐度呈负相关,分析其原因,可能是温度效应产生(3)式中 CO_2 气体溢出的缘故.

4 大布苏湖湖区 15 000 年以来气候环境变化特征

根据大布苏湖沉积剖面岩性特征、碳酸盐含量、 $\delta^{18}\text{O}$ 分布,结合剖面 ^{14}C 测年可将大布苏

湖湖区的古气候分为 6 个阶段:

8. 10—7. 30m: 相当于 15 400—14 000aBP, 沉积岩性为灰绿、灰黑色泥粉, 发育水平层理。该时段碳酸盐含量为最低值(平均 0. 15%), $\delta^{18}\text{O}$ 为高值段(28. 751‰), 显示该时期湖面较高, 环境稳定, 为一冷湿的气候时期。

7. 30—6. 00m: 相当于 14 000—11 600aBP, 岩性主要为灰绿、灰黑色泥粉, 富含有机质, 无明显层理。该时段碳酸盐含量急剧上升, 峰值达 9. 82%; $\delta^{18}\text{O}$ 值较为稳定, 平均 23. 755‰, 反映该时期气候干旱, 湖面下降较快, 气温偏高。

6. 00—4. 85m: 相当于 11 600—9 500aBP, 岩性为褐黑色富含有机质泥粉或粉泥, 该时期碳酸盐含量为低值段, 平均 0. 4%, $\delta^{18}\text{O}$ 达到最高值(34. 241‰), 气候组合为冷湿特征。

4. 85—3. 95m: 相当于 9 500—7 840aBP, 岩性为灰黄色粉砂, 碳酸盐含量较高(平均 4. 6%), $\delta^{18}\text{O}$ 逐渐下降, 反映气候回暖, 湖面较低的干燥时期。

3. 95—3. 35m: 相当于 7 840—6 740aBP, 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, $\delta^{18}\text{O}$ 为一小峰值, 反映湖面逐渐回升、气温下降的凉湿时期。

3. 35—0m: 相当于 6 740a 以来, 该时段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, $\delta^{18}\text{O}$ 在该层段为稳定低值; 碳酸盐含量波动强烈, 且平均值高(3. 4%), 显示 6 740a 以来, 湖区在温暖的气候条件下, 逐步向干化方向发展, 湖泊水体逐渐浓缩, 盐度加大而形成盐碱湖。

参 考 文 献

- 1 王苏民, 吉 磊. 呼伦湖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
- 2 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
- 3 Shieh Y N, Schwarz H P. The oxygen isotope composition of the surface crystalline rocks of the Canadian Shield. *Can. J. Earth Sci.*, 1978, 15: 1773—1782
- 4 Shieh Y N. High- ^{18}O granitic plutons from the Frontenac Axis, Grenville Province of Ontario, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1985, 49: 117—128
- 5 Taylor H P. Oxygen and hydrogen isotope studies of plutonic granitic rocks. *Earth Planet Sci. Lett.*, 1978, 38: 177—179
- 6 A Lerman (王苏民等译). 湖泊的化学、地质学和物理学. 北京: 地质出版社, 1989. 344—348
- 7 Craig H. The measurement of oxygen isotope paleotemperatures. In: Tongiorgi E, ed. Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures. Pisa: Consiglio Nazionale delle Ricerche Laboratorio di Geologia Nucleare, 1955. 141—182
- 8 Bowen R. Isotopes and climates. London: Elsevier Applied Science, 1990. 140—175

PALEOCLIMATIC CHANGE INFERRED FROM $\delta^{18}\text{O}$ AND CARBONATE CONTENT OF THE SECTION IN DABUSU LAKE

Shen Ji Wu Ruijin Yang Xiangdong Pan Hongxi

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

An Zhibheng

(*Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Xi'an 730000*)

Abstract

Closed saline lake is sensitive to the paleoclimatic change. The paleoclimatic change will bring about change of the lake level, saltness of lake water and type of ionic composition, which may be recorded in lake sediments. According to the vertical distribution of $\delta^{18}\text{O}$ and carbonate content of Dabusu Lake, the paleoclimatic evolution of this region since 15 000 years has been reconstructed as follows:

15 400–14 000 aB. P. (depth 8.10–7.30m); the climate was cold and wet, resulting in a high lake level and stable environment.

14 000–11 600 aB. P. (depth 7.30–6.00m); the climate was dry and temperate, leading to rapid decline of water level.

11 600–9 500 aB. P. (depth 6.00–4.85m); the climate was cold and wet.

9 500–7 840 aB. P. (depth 4.85–3.95m); the climate became warm and dry again and the lake level was low.

7 840–6 740 aB. P. (depth 3.95–3.35m); the temperature fell and the lake level rose. The climate was cold and wet.

Since 6 740 aB. P. (depth 3.35–0m); the climate became warm and dry. The lake water condensed rapidly and finally a saline lake came into being.

Key Words Carbonate content, oxygen isotope, paleoclimate, Dabusu Lake