

文章编号: 1671-1505 (2010) 03-0307-08

泥河湾盆地东谷坨遗址剖面 易溶盐沉积及其环境意义^{*}

李潇丽¹ 裴树文^{2,3} 马 宁^{2,3} 刘德成^{2,3} 彭 菲^{2,4}

1 北京自然博物馆, 北京 100050

2 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044

3 中国科学院人类演化与科技考古联合实验室, 北京 100044

4 中国科学院研究生院, 北京 100039

摘 要 东谷坨遗址地处泥河湾盆地东部边缘, 是该地区发掘次数和出土遗物最多的早更新世古人类活动遗址之一。对遗址湖滨相沉积物易溶盐类的测试和分析表明, 此剖面代表的泥河湾古湖易溶盐为 $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-$ 型, 属于淡水湖—半咸水湖, 处于半干旱区湖泊演化早期的碳酸盐湖泊阶段。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 和 Cl^- 等 6 类离子含量的变化曲线表现出较大的相似性, 且它们与含盐量的变化大体一致。 CaCO_3 含量及含盐量的变化与沉积物中细颗粒含量变化具有一致性, 细颗粒含量较高时期对应 CaCO_3 含量和含盐量相对较高时期。根据含盐量和各主要离子比值并结合 CaCO_3 含量变化, 将湖泊演化划分为 4 个阶段, 古人类在该遗址活动时期对应于湖泊演化的前 3 个阶段。该项研究对探讨东谷坨遗址利用者的生存行为与环境的关系具有重要意义。

关键词 易溶盐 古环境 东谷坨遗址 人类活动 泥河湾盆地

第一作者简介 李潇丽, 女, 1969 年生, 北京自然博物馆副研究员, 主要从事第四纪环境变化研究。通讯地址: 北京市天桥南大街 126 号, 北京自然博物馆; 邮政编码: 100050; 联系电话: 010-67020719; E-mail: lixiaoli2002@sohu.com。

中图分类号: P951 文献标识码: A

Soluble salt sediments and its environmental significance at the Donggutuo site Nihewan Basin

Li Xiaoli¹ Pei Shuwen^{2,3} Ma Ning^{2,3} Liu Decheng^{2,3} Peng Fei^{2,4}

1 Beijing Museum of Natural History, Beijing 100050

2 Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044

3 Joint Laboratory of Human Evolution and Archaeometry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044

4 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

Abstract The Donggutuo site lies in the northeast margin of the Nihewan Basin. It is one of the most important Early Pleistocene sites for the extensively excavations and cultural remains in the basin. The sedi-

^{*} 国家自然科学基金项目 (编号: 40672119)、国家重点基础研究发展规划项目 (编号: 2006CB806400) 和北京市自然科学基金项目 (编号: 5072017) 联合资助

收稿日期: 2009-03-05 改回日期: 2010-01-10

iments at the Donggutuo section were sedimented in a lake shore sedimentary environment. Based on a well constructed soluble salt analysis of the section, the processes of hydrochemical and environmental evolution as well as human activities are investigated by the authors. The results show that the Nihewan lake exhibited by $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-$ ions is a fresh water to brackish water lake. It lies in the carbonate phase of the lake evolution in semi-arid area. The variation features of K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- and the total content of soluble salt show better comparability. Meanwhile, four paleoclimatical stages were classified by the changes of curves of CaCO_3 content, total soluble salt and soluble salt indicators in the profiles which correspond to the courses of environmental changes of the lake. Therefore, it indicates that the active periods of early hominids correspond to the early three stages by the sporadic lithic artifacts manufactured and hunted as well as butchered activities. In conclusion, the results will bear great significance in the research of the adaptive environment and behaviors adopted by early human at the Donggutuo site.

Key words soluble salt; palaeoenvironment; Donggutuo site; human activity; Nihewan Basin

About the first author: Li Xiaoli, born in 1969, is an associate researcher of Beijing Museum of Natural History, specialized in the research of Quaternary environmental changes. E-mail: lixiaoli2002@sohu.com.

易溶盐是指湖泊沉积物中易溶于水的盐类, 包括 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 和 Cl^- 等 8 类离子, 占天然水中离子总量的 95%~99% (王晓蓉, 1993)。对于内陆湖泊来说, 湖盆为流域内地表盐分的聚集地, 湖水的化学特征受气候条件的控制, 而易溶盐的含量可反映湖水的化学特征 (Hakanson and Jansson, 1983)。因此, 通过测试湖泊沉积物中的易溶盐含量, 不仅可以重建古湖水的化学性质和变化过程, 亦可揭示古环境变化信息。近年来, 易溶盐作为一种反映气候和环境变化的替代性指标之一, 已广泛应用于内陆湖泊沉积物的研究中 (Björck et al., 1996; 翟秋敏, 2001)。

泥河湾盆地处于华北平原与内蒙古高原的过渡地带, 分布在河北省西北部和山西省北部桑干河流域, 面积约 9000 km^2 (图 1)。盆地内发育了良好的晚新生代地层并含有丰富的哺乳动物化石和旧石器遗址 (Teilhard de Chardin and Piveteau, 1930; 卫奇和谢飞, 1989; 邱占祥, 2000; 谢飞, 2006; 朱日祥等, 2007), 在第四纪地质学、古生物学、旧石器时代考古学及早期人类演化等研究领域都在世界上占有举足轻重的地位。该盆地是受边缘断裂控制的晚新生代断陷盆地, 湖盆的发育始于上新世晚期, 经历了早一中更新世, 到晚更新世, 随着地块抬升和溯源侵蚀的加剧, 湖水外泄, 湖相地层停止发育 (夏正楷和刘锡清, 1984; 周廷儒等, 1991)。李容全等 (2000) 曾利用易溶盐分析对泥

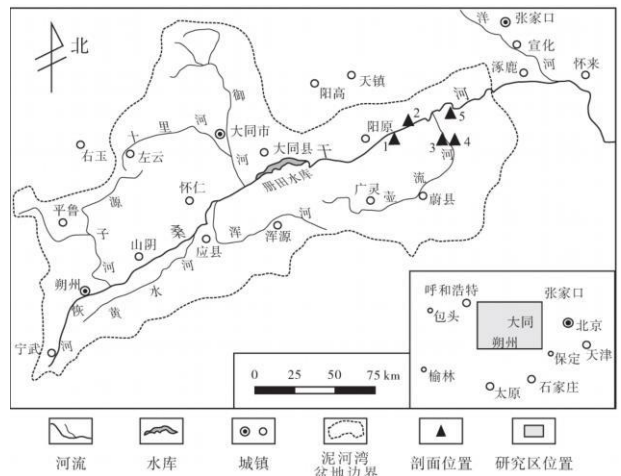


图 1 泥河湾盆地东谷坨遗址地理位置

Fig.1 Geographic location of the Donggutuo site in Nihewan Basin

1—井儿洼剖面; 2—雪儿沟剖面; 3—红崖南沟剖面;
4—铺路剖面; 5—东谷坨遗址剖面

河湾古湖的性质、演化阶段和古环境进行研究, 表明易溶盐分析是进行泥河湾层沉积和环境演化研究的一项重要手段。东谷坨遗址是泥河湾盆地内发掘次数和出土遗物最多的旧石器遗址之一, 在研究古人类于早更新世在泥河湾盆地的扩散和技术交流方面具有重要意义 (卫奇等, 1985; Schick et al., 1991)。相关研究表明, 古人类活动于泥河湾古湖的湖滨环境 (Wang et al., 2005), 当时的气候环境变化与古人类活动关系密切。文中运用易溶盐分析

并结合 CaCO_3 含量测试结果，揭示了古人类活动阶段的古湖性质和环境变化过程。

1 东谷坨遗址剖面地层

泥河湾古湖属于半干旱区内陆断陷湖泊。湖泊发育晚期，由于断层活动，盆地边缘地带的湖相沉积物整体抬升，形成相对高度约 120 m 的湖积台地。位于盆地东部边缘的岑家湾台地 (Barbour et al. 1927) 是盆地内湖相地层发育最典型、研究最早和最多的湖积台地 (卫奇等, 1985; 王红强, 2007; 袁宝印等, 2009)，东谷坨遗址剖面位于该台地的边坡地带。东谷坨遗址剖面位于河北省阳原县大田洼乡东谷坨村西北 (图 1)，地理坐标为北纬 $40^{\circ}13'22''$ ，东经 $114^{\circ}40'11''$ ，文化遗物产出于高出桑干河水面 125 m、距大田洼台地表面深 40 m 的泥河湾层中 (卫奇等, 1985)。东谷坨剖面总厚 44.8 m，主体为湖相地层 (厚 37.4 m)，湖相地层之上依次覆盖着末次间冰期古土壤 (厚 2.9 m) 和末次冰期黄土 (厚 4.5 m)，湖相地层之下为侏罗系火山碎屑岩 (王红强, 2007)。东谷坨遗址位于该剖面底部，地层厚度在 6.50 m 以上，其中泥河湾层属于湖滨沉积，厚度约 5.65 m，泥河湾层之上为 0.85 m 厚的马兰黄土，泥河湾层之下为侏罗系火山碎屑岩 (图 2)。地层自上而下依次为：

第 1 层 0~85 cm 马兰黄土

第 2 层 85~160 cm 灰色粉砂质黏土层，中上部发育水平层理，下部发育波状层理

第 3 层 160~210 cm 棕黄色砂质粉砂层，局部发育弱的波状层理

第 4 层 210~280 cm 灰黄色细砂层，层内可见零星钙质结核，底部可见弱的斜层理，上部发育水平层理

第 5 层 280~320 cm 灰色黏土层，发育水平层理

第 6A 层 320~436 cm 浅黄色—灰黄色粉砂层，下部含零星小砾石和钙质结核，局部发育波状层理。含少量石制品和大量动物碎骨

第 6B 层 436~450 cm 灰色黏土质粉砂层。出土零星石制品和动物碎骨

第 6C 层 450~555 cm 灰黄色砂质粉砂层，局部夹细砂条带，局部发育斜层理和波状层理。出土丰富的石制品和动物碎骨

第 6D 层 555~605 cm 灰黄色黏土质粉砂层，层内充填大量 (角) 砾石，底部局部可见斜层理。出土大量石制品和少量动物碎骨

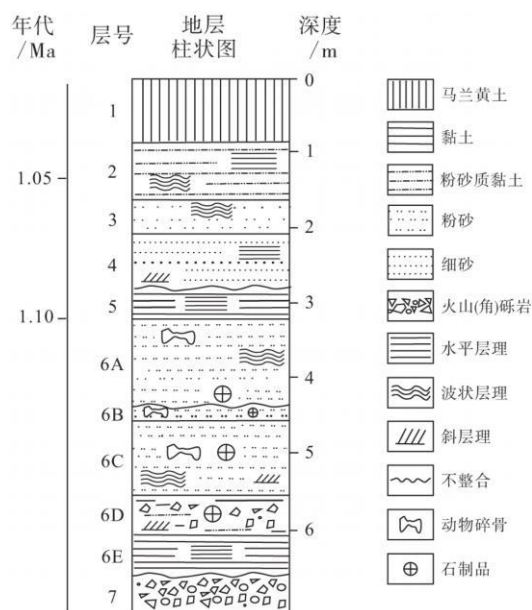


图 2 泥河湾盆地东谷坨遗址剖面柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of the Donggutuo site in Nihewan Basin

第 6E 层 605~650 cm 灰色—灰黑色黏土层，发育水平层理。含零星石制品

第 7 层 650 cm 以下 灰紫色—紫红色火山碎屑岩，未见底

东谷坨遗址剖面中，泥河湾层总体为粉砂、粉砂质黏土和细砂。除第 6D 层内充填 (角) 砾石、发育斜层理，表明存在较强的水流作用外，大部分粉砂层和黏土层内发育弱的波状层理和水平层理，表明本段沉积总体受地表水流影响较大，属于湖滨相沉积环境。

东谷坨遗址位于松山 (Matuyama) 布容 (Brunhes) 极性转换期之下，Jaram illo 正极性亚时底界处于遗址文化层 (第 6A—6E 层) 之上约 2 m 处，古地磁测定古人类在该遗址活动的时间约为 1.10 Ma BP (Wang et al. 2005)。

2 样品采集与测试

作者自距剖面顶部 (图 2) 60 cm 处开始向下以 5 cm 为间隔连续采取土样，共采集 118 个样品，全部进行易溶盐和 CaCO_3 含量测试。

易溶盐测试：称取 20 g 土壤样品放于装有 100 mL 去离子水的 200 mL 聚乙烯塑料瓶中，剧烈震荡 20 min (摇床，速度为 250 次 /min) 后静置 2 h 以

上, 移取 5 mL 泥浆液, 采用 10 000 r/min 离心机分离 2~3 h 得到澄清液。随后移取澄清液 25 mL 进行 pH 值测定; 采用 DZ/T0064.49-93 滴定法测定 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 和 OH^- 含量; 采用 DZ/T0064.51-93 离子色谱法测定 Cl^- 、 F^- 、 Br^- 、 NO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} 含量; 采用 DZ/T0064.28-93 离子色谱法测定 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量。易溶盐离子的浓度以 mg/L 表示。

CaCO₃ 含量测试: 首先, 将完全干燥的样品用万分之一天平称重, 每个样品 10 mg 左右, 放入样品反应管中。其次, 称优级 CaCO₃ (纯度 99.99%) 10 mg 左右作为标准样并测量该标准样纯碳酸钙含量, 方法是在样品管中放入浓度 20% 的高氯酸 HClO₄, 后将测量获得的数据校准为 100%, 作为所测量样品百分含量的标准。最后, 运用中国科学院南京地理与湖泊研究所研制的 CSC-1 碳酸盐含量测试分析仪, 采用库仑滴定法原理, 对样品的 CaCO₃ 百分含量进行测试。

3 易溶盐测试结果分析

3.1 实验结果分析

从实验分析数据来看(表 1), 东谷坨遗址剖面易溶盐中阴离子主要为 HCO_3^- , 含量为 0~147.1 mg/L, 平均值达到 74.83 mg/L; 其次为 CO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} , 平均含量分别为 7.46 mg/L 和 4.68 mg/L; Cl^- 的含量最少, 平均值仅为 1.41 mg/L。阳离子以 Na^+ 为主, 含量在 15.12~61.21 mg/L, 平均值达到 27.30 mg/L; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 相对较少, 平均含量分别为 2.32 mg/L 和 2.02 mg/L, K^+ 含量最少, 平均值为 1.79 mg/L。该剖面中含盐量在 0.23‰~1.35‰ 之间, 平均值为 0.64‰。按照湖水盐度小于 0.3‰ 为淡水湖, 0.3‰~2.4‰ 为半咸水湖, 大于 2.4‰ 为咸水湖的标准(中国科学院南京土壤研究所, 1978), 东谷坨遗址所处的泥河湾古湖应属于淡水湖一半咸水湖。但李容全等(2000)对泥河湾古湖浅湖区的井儿洼和雪儿沟剖面的易溶盐测试结果表明, 该湖早期是微咸水一半咸水湖, 古湖水性质以 SO_4^{2-} - Ca^{2+} - Mg^{2+} 为主, 晚期为半咸水湖, 易溶盐则以 Cl^- - Na^+ - K^+ 为主; 而处于湖滨区的红崖南沟和铺路剖面由于受河流和湖水位变化

的影响其易溶盐数值变化较为复杂。处于湖滨区的东谷坨遗址剖面含盐量仅为 0.64‰, 低于李容全等(2000)研究的上述 4 个剖面(图 1), 这可能是由于东谷坨遗址处于泥河湾古湖边缘地带, 比较靠近湖岸, 沉积颗粒总体偏粗, 吸附盐分能力差所致; 此外, 旱季湖滩出露易使湖滩表层盐碱化, 雨季湖滩表层的盐分被降水冲洗并携带至浅湖一深湖区聚集, 导致湖滨区的含盐量较低。

表 1 泥河湾盆地东谷坨遗址剖面易溶盐主要离子含量特征分析

Table 1 Eigenvalues of dominant ions content in soluble salt of the Donggutuo site in Nihewan Basin

主要离子	最小值 /mg·L ⁻¹	最大值 /mg·L ⁻¹	平均值 /mg·L ⁻¹	标准偏差
CO_3^{2-}	0	27.40	7.46	6.48
HCO_3^-	0	147.10	74.83	23.76
Cl^-	0.21	7.57	1.41	1.44
SO_4^{2-}	0.51	30.04	4.68	5.27
K^+	0.79	3.83	1.79	0.59
Na^+	15.12	61.21	27.30	8.02
Ca^{2+}	0.61	8.47	2.32	1.32
Mg^{2+}	0.27	9.29	2.02	1.37

东谷坨遗址剖面泥河湾层的 pH 值介于 3.64~9.77 之间, 平均 8.70, 偏碱性。陈茅南(1988)对泥河湾层 pH 值的测试结果显示, 整个沉积物的 pH 值介于 6.95~9.72 之间, 总体趋向偏碱性。东谷坨遗址剖面泥河湾层的 pH 平均值与较近的小渡口剖面泥河湾层 pH 平均值 8.6 相近。

相关研究表明, 湖泊沉积物中的含盐量可以反映湖水的化学性质和演化阶段, 一般来说, 随着气候的不断干旱化, 湖水浓缩, 主要离子发生如下规律性变化: 从以 Ca^{2+} - HCO_3^- - CO_3^{2-} 为主变化到以 Mg^{2+} - Ca^{2+} - SO_4^{2-} 为主, 再到以 Na^+ - K^+ - Cl^- 为主(刘东生, 1997)。东谷坨遗址剖面易溶盐总体特点表明该剖面所处的泥河湾古湖为 Na^+ - CO_3^{2-} - SO_4^{2-} - HCO_3^- 型, 处于湖泊演化的早期, 属于碳酸盐湖泊阶段。但从不同离子和含盐量沿剖面的纵向变化趋势(图 3)来看, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 和 Cl^- 等 6 类离子含量的变化曲线表现出较大的相似性, 且它们与含盐量的变化大体一致; 而 SO_4^{2-} 和 CO_3^{2-} 含量变化的相似性较低, 与含盐量和其他离子的变化相似性不明显, SO_4^{2-} 含量早期

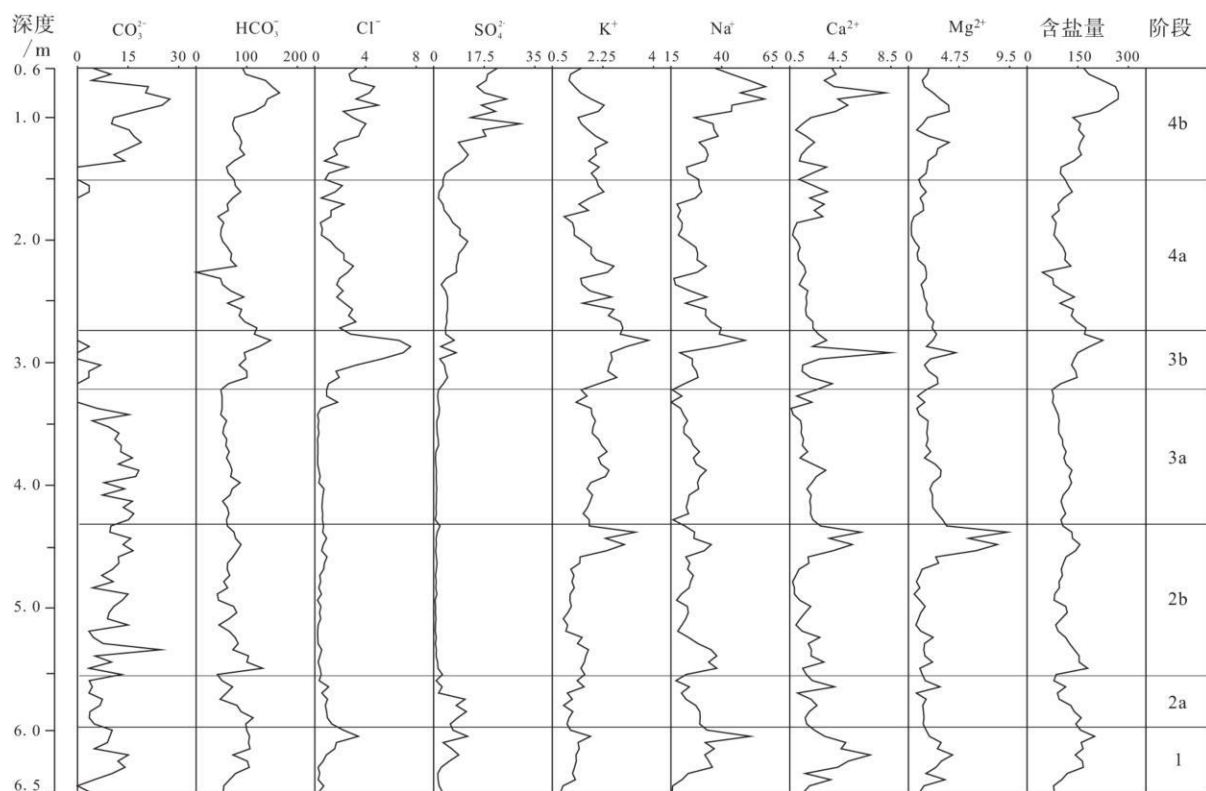


图 3 泥河湾盆地东谷坨遗址剖面易溶盐含量 (单位: mg/L)

Fig.3 Soluble salt content with profile depth of the Donggutuo site in Nihewan Basin (ions content unit: mg/L)

处于较低的水平且波动明显,后期增高,而 CO_3^{2-} 含量变化波动显著,表明湖泊发育可能已经处于碳酸盐湖泊的后期阶段。

3.2 易溶盐含量的变化过程

由于半干旱区内陆湖泊蒸发作用超过降水的补给,蒸发与降水的补给改变着 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的构成关系以及盐分含量的变化,因此各种离子含量沿剖面的变化与湖泊的演化阶段有关(李容全等,2000)。从图 3 所示的不同离子含量随剖面深度的变化曲线来看,可以将剖面所代表的泥河湾古湖易溶盐演化划分为 4 个阶段。

第 1 阶段处于剖面的 6.0~6.50,m,该阶段含盐量表现为一个逐渐升高的趋势, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 等 7 类离子含量均与含盐量一样由低到高并达到一个相对的高峰值,而 CO_3^{2-} 的变化则不明显。第 2 阶段处于剖面的 4.36~6.0,m,该阶段含盐量和 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 含量表现为由高到低再到高的变化

过程。其中 2a 阶段由峰值逐渐下降,2b 阶段则表现为由低逐渐升高并达到相对较高的峰值,而 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量则迅速降低并保持较低的水平, CO_3^{2-} 含量在该阶段在一个较高的范围波动。第 3 阶段处于剖面的 2.80~4.36,m,该阶段含盐量和 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 和 Cl^- 等 6 类离子含量表现为由低到高的变化过程,3a 阶段含量处于一个相对较低的水平,3b 阶段则演化为又一段相对较高的峰值, CO_3^{2-} 含量在该阶段由高值演化为低值。第 4 阶段处于剖面 2.80,m 以上,该阶段含盐量和 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 和 Cl^- 等 6 类离子含量总体呈现由高迅速变低(4a 阶段)再到高(4b 阶段)的过程, SO_4^{2-} 和 CO_3^{2-} 含量在 4a 阶段处于较低的范围,4b 阶段则迅速演化到一个相对较高的峰值。

从各类离子的纵向变化来看,随着时间的变化, CO_3^{2-} 含量总体波动较大, HCO_3^- 含量在一个相对稳定的范围内波动, Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量表现为由低到高的变化趋势, Cl^- 含量在 3b 阶段出现剖面的最高峰值,后者一直表现为低值,到 4b 阶段

才逐渐升高; K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量总体存在较大波动, Na^+ 和 Ca^{2+} 含量在第 1、2b阶段晚期、3b和 4b阶段出现相对的峰值, K^+ 和 Mg^{2+} 含量仅在第 2a阶段晚期和第 3b阶段表现为峰值。

4 古人类活动时期的环境变化

东谷坨遗址剖面处于泥河湾古湖湖滨环境, 是地表水和湖水交互作用的地段, 反映环境变化比湖心区更敏感。作者根据各类离子含量的变化, 同时结合 $CaCO_3$ 含量, 探讨了古人类活动时期古气候及湖水化学性质的变化过程。

4.1 湖泊沉积物代用指标的意义

在半干旱区, $CaCO_3$ 的形成主要取决于湖水蒸发的强度, 在干燥或高温的气候环境下蒸发强度较大, 有利于 $CaCO_3$ 的形成, 而湿润或低温的环境下蒸发强度较小, 不利于 $CaCO_3$ 的形成 (卢演铸, 1981; 刘东生和丁仲礼, 1992)。含盐量的变化反映了半干旱区湖水蒸发量与补给量对比关系的变化, 同时可揭示干与湿的古气候变化旋回 (李容全等, 2000)。 Cl^- 是封闭湖盆中对流域气候变化非常敏感的离子, 具有反映气候变化的范围广和受侵蚀原岩类型影响小等优点; 一般来说, 若流域内降水量增多, 湖水位上升, 大量氯化物溶解于水, 仅少量 Cl^- 保存于湖底沉积物中; 如果流域内气候变干, 湖水浓缩, 则水中 Cl^- 的浓度增大, 保存于沉积物中的 Cl^- 增多 (奚晓霞等, 1996)。阴离子中 $(HCO_3^- + CO_3^{2-}) / (Cl^- + SO_4^{2-})$ 值和 Cl^- / SO_4^{2-} 值可以反映优势阴离子; 阳离子中 $(Na^+ + K^+) / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ 值和 Ca^{2+} / Mg^{2+} 值相结合, 可以反映优势阳离子。淡水中的阴离子以 $(HCO_3^- + CO_3^{2-})$ 为主, 随着盐度的增高, $(Cl^- + SO_4^{2-})$ 会逐渐成为优势阴离子, 因此 $(HCO_3^- + CO_3^{2-}) / (Cl^- + SO_4^{2-})$ 的比值降低可反映湖水的咸化; 而随着湖水盐度的增高, Cl^- 含量相对于 SO_4^{2-} 含量会增高, 因此 Cl^- / SO_4^{2-} 值的增高可反映湖水的咸化 (翟秋敏, 2001)。 $(Na^+ + K^+) / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ 值能反映区域降水的变化, 高的比值代表气候相对干旱, 降水量相对较小; 淡水湖中以 Ca^{2+} 为主, 随着盐度的增高, Mg^{2+} 含量会增高, 因此湖水中高盐度会对应于 Ca^{2+} / Mg^{2+} 值的低值 (李容全等, 2000)。

4.2 湖水化学性质变化

综合各主要代用指标纵向上的变化 (图 4), 可将剖面的湖水化学性质演化划分为 4 个阶段。

第 1 阶段对应于剖面的第 6E 层, 为黏土层。pH 值相对较高, 指示湖水呈弱碱性。含盐量逐渐升高, $(HCO_3^- + CO_3^{2-}) / (Cl^- + SO_4^{2-})$ 比值相对较低, 表明该阶段湖水咸化程度相对较高。

第 2 阶段的沉积物早期为黏土夹 (角) 砾石层, 晚期为粉砂层。pH 值相对较高且波动较小, 表明湖水酸碱度变化不大。2a 阶段对应于剖面的第 6D 层, 含盐量由高到低, $(HCO_3^- + CO_3^{2-}) / (Cl^- + SO_4^{2-})$ 值较低, 表明湖水咸化程度有所减弱; 2b 阶段对应于剖面的第 6B-6C 层, Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量相对较低, $(HCO_3^- + CO_3^{2-}) / (Cl^- + SO_4^{2-})$ 值相对较高, 表明湖水咸化程度相对较弱。

第 3 阶段早期为粉砂沉积, 后期为黏土层。含盐量表现为由低到高的变化过程。3a 阶段对应于剖面的第 6A 层, pH 值较高, 湖水呈弱碱性。 $(HCO_3^- + CO_3^{2-}) / (Cl^- + SO_4^{2-})$ 值逐渐降低且存在较大波动, 表明湖水咸化程度逐渐增强; 3b 阶段对应于剖面的第 5 层, pH 值降低, 含盐量、 Cl^- 含量和 Cl^- / SO_4^{2-} 比值逐渐升高并处于一个相对的峰值, $(HCO_3^- + CO_3^{2-}) / (Cl^- + SO_4^{2-})$ 比值较低, 表明湖水咸化程度相对较强。

第 4 阶段含盐量仍显示一个由高到低再到高的过程。4a 阶段对应于剖面的第 3-4 层, 沉积物为粉砂层, pH 值相对较低; 含盐量、 Cl^- 含量和 HCO_3^- 含量降低, Ca^{2+} / Mg^{2+} 值和 $(HCO_3^- + CO_3^{2-}) / (Cl^- + SO_4^{2-})$ 值升高, 表明湖水咸化程度降低; 4b 阶段对应剖面的第 2 层, 为粉砂质黏土层, pH 值表现为逐渐升高的过程, 表明湖水为弱碱性; 含盐量相对升高, $(HCO_3^- + CO_3^{2-}) / (Cl^- + SO_4^{2-})$ 比值相对较低, 表明湖水咸化程度相对增强。

4.3 古气候变化

从东谷坨遗址剖面 $CaCO_3$ 含量和易溶盐主要指标的变化曲线 (图 4) 来看, $CaCO_3$ 含量和含盐量的变化较为一致。结合各主要指标纵向上的变化, 相应地可将剖面划分为 4 个阶段, 其与湖水化学性质演化的 4 个阶段一致, 分别对应不同的古气候特征。

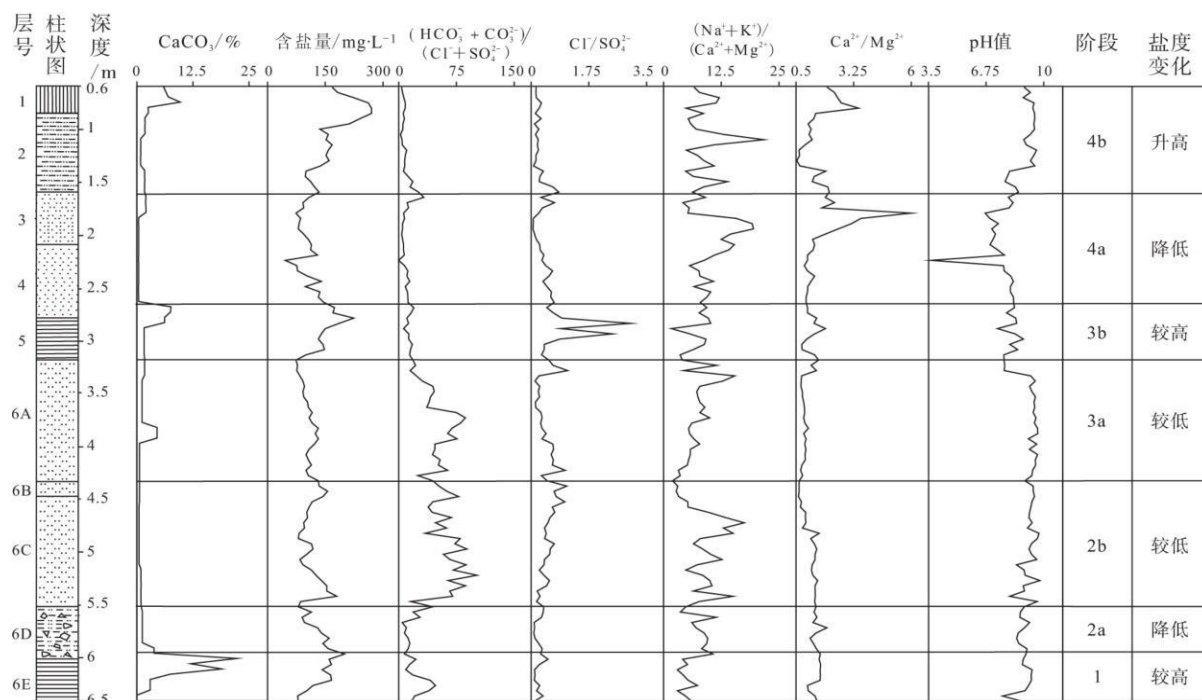


图 4 泥河湾盆地东谷坨遗址剖面 CaCO₃ 含量和易溶盐指标变化曲线 (图例见图 2)

Fig.4 Curves of CaCO₃ content and soluble salt indicators of the Donggutuo site in Nihewan Basin (legends see Fig.2)

第 1 阶段 CaCO₃ 含量逐渐升高, 反映气温逐渐升高。(Na⁺ + K⁺) / (Ca²⁺ + Mg²⁺) 比值相对较低, 表明该阶段降水相对较多。在此阶段, 由于温度升高导致蒸发作用增强, 使得湖水盐度较高。

第 2 阶段分为两个次一级阶段: 2a 阶段中, CaCO₃ 含量由高到低, (Na⁺ + K⁺) / (Ca²⁺ + Mg²⁺) 比值略有升高, 表明气候开始变干旱; 2b 阶段中, CaCO₃ 含量相对较低, (Na⁺ + K⁺) / (Ca²⁺ + Mg²⁺) 值相对较高且存在波动, 表明降水量相对较少, 气候相对变干且存在一定波动。

第 3 阶段中 CaCO₃ 含量表现为由低到高的变化过程。3a 阶段中 (Na⁺ + K⁺) / (Ca²⁺ + Mg²⁺) 值和 Cl⁻ 含量逐渐升高, 表明降水量相对较少; 3b 阶段中 (Na⁺ + K⁺) / (Ca²⁺ + Mg²⁺) 值较低, 指示气候较湿, 而 CaCO₃ 含量和含盐量逐渐升高并处于一个相对的峰值, 表明气温逐渐升高, 蒸发作用增强。从 3a 阶段到 3b 阶段, 气候由较干变得湿润。

第 4 阶段的 4a 阶段中 CaCO₃ 含量较低, Cl⁻ 含量逐渐降低, (Na⁺ + K⁺) / (Ca²⁺ + Mg²⁺) 比值存在较大波动, 表明气候存在一定的波动, 蒸发作用相对较弱, 含盐量降低; 4b 阶段中 Cl⁻ 含量相对较低, (Na⁺ + K⁺) / (Ca²⁺ + Mg²⁺) 比值低且波

动较大, 表明气候逐渐变湿且波动较大, 而 CaCO₃ 含量逐渐升高, 表明蒸发作用相对变强, 含盐量升高。从 4a 阶段到 4b 阶段显示了气候从较干变得相对湿润, 直到最上面沉积的马兰黄土, 气候完全变得干旱。

对干旱一半干旱区内陆湖泊安固里淖的研究表明, 易溶盐含量高的阶段对应于沉积物中黏粒含量相对较高的阶段 (翟秋敏, 2001)。对东谷坨遗址剖面泥河湾层的易溶盐分析表明, 含盐量高的阶段对应于沉积颗粒细的阶段, 即含盐量的峰值出现在第 2、5 和 6E 层, 均为颗粒相对较细的黏土或粉砂质黏土沉积, 与上述研究结果基本吻合。考虑到东谷坨遗址剖面处于湖滨区, 受区域局部小气候的影响较多, 且剖面仅包含了该遗址周围泥河湾层的下部沉积, 因此, 易溶盐含量在探讨气候变化方面存在一定局限性, 揭示泥河湾古湖总体性质的演化方面尚需进一步完善。

4.4 古人类活动时期环境变化特征

泥河湾盆地在距今 2.0—0.8 Ma 属于暖温带气候, 有可能达到亚热带气候条件, 动植物资源丰富, 为古人类生存提供了充足的食物资源 (袁宝

印等, 2009)。从易溶盐和 CaCO_3 含量所反映的古气候及环境变化来看, 东谷坨遗址剖面湖滨相沉积自第 6E 层开始沉积到第 2 层结束沉积, 经历了 4 个气候变化阶段。在沉积开始的第 1 阶段, 气候相对较湿, 推测湖水位相对较高, 地层内仅发现 1 件石制品, 表明该阶段古人类在该遗址仅有零星石器打制活动。随后进入第 2 阶段, 早期降水量少, 地层内发现少量石制品和少量动物碎骨, 表明古人类在该期进行了原料采办、一定规模的石器制作活动和狩猎及生活活动 (Schick et al. 1991); 后期, 气候逐渐变干, 推测湖水位相对较低, 地层内发现丰富的石制品和动物碎骨, 表明古人类在该阶段活动比较集中。进入第 3 阶段, 早期降水量相对较少, 气候较干, 层内石制品和动物碎骨数量减少, 推测古人类活动逐渐减弱; 后期降水量增多, 湖水位相对升高, 气候变湿, 古人类逐渐远离该遗址。随后进入第 4 阶段, 气候总体向较干的方向发展, 古人类没有留下遗物。

5 结论

1) 东谷坨遗址剖面的易溶盐分析表明, 此剖面代表的泥河湾古湖属于 $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-$ 型, 为淡水湖一半咸水湖, 处于半干旱区湖泊演化早期的碳酸盐湖泊阶段。

2) K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 和 Cl^- 等 6 类离子的变化曲线表现出较大的相似性, 且它们与 CaCO_3 含量及含盐量的变化大体一致。各主要离子含量的纵向变化大致划分为 4 个阶段, 代表了湖泊演化的不同阶段。

3) 根据各主要离子比值变化以及 CaCO_3 含量和含盐量分析了湖泊演化 4 个阶段的湖水化学性质变化和古气候特征。古人类活动时期对应于前 3 个阶段。

致谢 样品易溶盐的测试在核工业地质分析测试研究中心完成, 中国地质科学院地质力学研究所第四纪地质与环境实验室承担了样品的 CaCO_3 含量测试; 中国科学院植物研究所的李承森研究员审阅了论文初稿并提出修改意见, 作者致以衷心的感谢。

参 考 文 献

陈茅南. 1988. 泥河湾层的研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 1-145.

- 李容全, 乔建国, 邱维理, 等. 2000. 泥河湾层内易溶盐沉积及其环境意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 30(2): 148-158.
- 刘东生. 1997. 中国第四纪环境概要 [M]. 见: 刘东生等编译. 第四纪环境. 北京: 科学出版社, 189-239.
- 刘东生, 丁仲礼. 1992. 二百五十万年来季风环流与大陆冰量变化的阶段性耦合过程 [J]. 第四纪研究, 12(1): 12-23.
- 卢演涛. 1981. 黄土层中 CaCO_3 含量变化与更新世气候旋回 [J]. 地质科学, 16(2): 122-131.
- 邱占祥. 2000. 泥河湾哺乳动物群与中国第四系下限 [J]. 第四纪研究, 20(2): 142-154.
- 王红强. 2007. 泥河湾盆地东谷坨剖面磁性特征及环境意义 [J]. 第四纪研究, 27(6): 1081-1091.
- 王晓蓉. 1993. 环境化学 [M]. 江苏南京: 南京大学出版社, 1-360.
- 卫奇, 孟浩, 成胜泉. 1985. 泥河湾层中新发现一处旧石器地点 [J]. 人类学学报, 4(3): 223-232.
- 卫奇, 谢飞. 1989. 泥河湾研究论文选编 [M]. 北京: 文物出版社, 1-574.
- 奚晓霞, 穆德芬, 方小敏, 等. 1996. 早更新世东山古湖氯离子含量变化与季风演化 [J]. 冰川冻土, 8(2): 125-133.
- 夏正楷, 刘锡清. 1984. 泥河湾古地理环境的初步认识 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 4(3): 101-110.
- 谢飞. 2006. 泥河湾 [M]. 北京: 文物出版社, 1-142.
- 袁宝印, 同号文, 温锐林, 等. 2009. 泥河湾古湖的形成机制及其与早期古人类生存环境的关系 [J]. 地质力学学报, 15(1): 77-87.
- 翟秋敏. 2001. 全新世安固里淖易溶盐沉积与环境 [J]. 古地理学报, 3(1): 91-96.
- 中国科学院南京土壤研究所. 1978. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1-593.
- 周廷儒, 李华章, 刘清泗, 等. 1991. 泥河湾盆地新生代古地理研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1-162.
- 朱日祥, 邓成龙, 潘永信. 2007. 泥河湾盆地磁性地层定年与早期人类演化 [J]. 第四纪研究, 27(6): 922-944.
- Barbour G B, Licent E, Teilhard de Chardin P. 1927. Geological study of the deposits of the Sangkanho basin [J]. Bulletin of the Geological Society of China 5(2-4): 263-278.
- Björck S, Olsson S, Evans C E, et al. 1996. Late Holocene palaeoclimatic records from lake sediments on James Ross Island, Antarctica [J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology 121(3-4): 195-220.
- Håkanson L, Jansson M. 1983. Principles of Lake Sedimentology [M]. Berlin: Springer-Verlag 1-174.
- Schick K, Toth N, Wei Q, et al. 1991. Archaeological perspectives in the Nihewan Basin, China [J]. Journal of Human Evolution 21(1): 13-26.
- Teilhard de Chardin P, Piveteau J. 1930. Les mammifères fossiles de Nihewan (Chine) [J]. Annales de Paléontologie 19: 1-154.
- Wang H Q, Deng C L, Wei Q, et al. 2005. Magnetostatigraphy dating of the Donggutuo and Maliang Paleolithic sites in the Nihewan Basin, North China [J]. Quaternary Research 64(1): 1-11.

(责任编辑 张西娟)