

近500年来咸海湖泊沉积记录的环境演变^①

叶尔波拉提¹ 德勒恰提·加娜塔依¹ William M.Last² 方巧¹ 邓宏¹

(1.新疆大学地质与矿业工程学院 乌鲁木齐 830047;2.曼尼托巴大学地质科学系 加拿大温尼伯 R3T 2N2)

摘要 过去的五十年里,作为曾经世界第四大湖泊的咸海面积急剧萎缩,环境质量严重下降并对大部分中亚地区造成了灾难性的影响。咸海的水位下降过程虽然历时相对较短却变化显著,为了了解这一变化的详细过程,1997年从咸海北部湖盆采集了AS17孔浅钻岩芯。通过对该岩芯的矿物学、介形虫、孢粉等沉积环境指标综合分析,结果表明岩芯在矿物学特征及生物特征上的一系列显著变化,揭示了过去近500年中咸海的沉积环境经历了含盐量增加—下降—再增加三个明显的阶段,并为15世纪咸海的干旱提供了新的证据。

关键词 咸海 含盐量 沉积物 矿物学 介形虫 孢粉

第一作者简介 叶尔波拉提 男 1988年出生 硕士研究生 矿产普查与勘探 E-mail: boken23@qq.com

通讯作者 德勒恰提·加娜塔依 女 研究员 E-mail: deleqati@sina.com

中图分类号 P532 **文献标识码** A

0 引言

湖泊沉积物具有覆盖广泛、分辨率高、连续性好、信息丰富以及对区域环境响应迅速的特点,是目前广泛用于研究陆地环境变化最重要的信息载体之一。同时湖泊沉积也被认为是比较理想的全新世气候变化的载体。本文通过对采集自咸海北部湖盆的AS17孔浅钻岩芯沉积物进行高密度取样分析研究,从该沉积物中获取包括沉积矿物学、生物学等方面的高分辨率环境信息,探讨咸海在近500年以来的沉积环境演化历史。

咸海是一个大的内陆湖,20世纪60年代湖泊面积约 $6.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,为世界第四大湖泊。其位于中亚的哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦两国交界处($43^\circ 24' \sim 46^\circ 56' \text{ N}; 58^\circ 12' \sim 61^\circ 59' \text{ E}$),属于中亚干旱性温带气候区^[1],地处西风环流控制区(图1)。咸海为封闭湖泊,没有出水河流,控制湖泊水量的因素包括两条主要河流(锡尔河和阿姆河)的流量、降水量、地下水和蒸发量。20世纪60年代以来,由于气候变化及人类对流域水资源的不合理利用,导致咸海快速萎缩,至2007年咸海面积减少至大约 $1.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[2]。在过去的五十年里,咸海的面积缩小了八成,体积减小到不足上世纪60年代的十分之一^[2],从而导致湖水含盐量从1960年的 10 g/L ^[3]增加到2007年的超过 100

g/L ^[4]。Boomer等^[5-12]研究认为,湖泊水位在近2000年中出现过两次明显上升、三次显著下降,湖泊水位在30~53 m之间波动。而在近500年中,咸海水位就出现了两次下降和一次上升,可见咸海环境的变化是短暂而显著的。因此,本文通过对所采集的AS17孔岩芯湖泊沉积物的沉积矿物学、介形虫、孢粉等多种沉积环境指标的分析,来揭示咸海近500年来这一短暂而又显著的沉积环境演变过程。

研究咸海沉积物记录的环境演化信息对于认识我国西北干旱区半干旱区湖泊的演化历史,为合理开发和保护这些湖泊资源提供一定的科学依据。并且由于咸海所处的亚洲中部干旱区是全球气候敏感中心,研究它对全球气候变化响应过程与机理也有重要意义。

1 沉积物特征分析

1997年从咸海北部湖盆,使用利文斯顿活塞式取样管对湖底沉积物浅钻采样,从水深12.5 m处获得芯长为1.50 m的AS17孔岩芯(图1)。对AS17孔岩芯底部150 cm处芦苇茎的AMS¹⁴C年龄测试初步结果为AD1440~1640^[13],初步认为这段岩芯记录了咸海约500年的环境变化信息。在实验室对所获得的高密度取样样品进行沉积矿物学、硅藻、有孔虫类、介形虫类和孢粉等多指标的综合分析。尽管岩芯中硅藻保留较少,且主要集中在距离地表20 cm以内。

①新疆研究生科研创新项目(编号:XJCRI2013042)资助
收稿日期:2013-11-27;收修改稿日期:2014-04-15

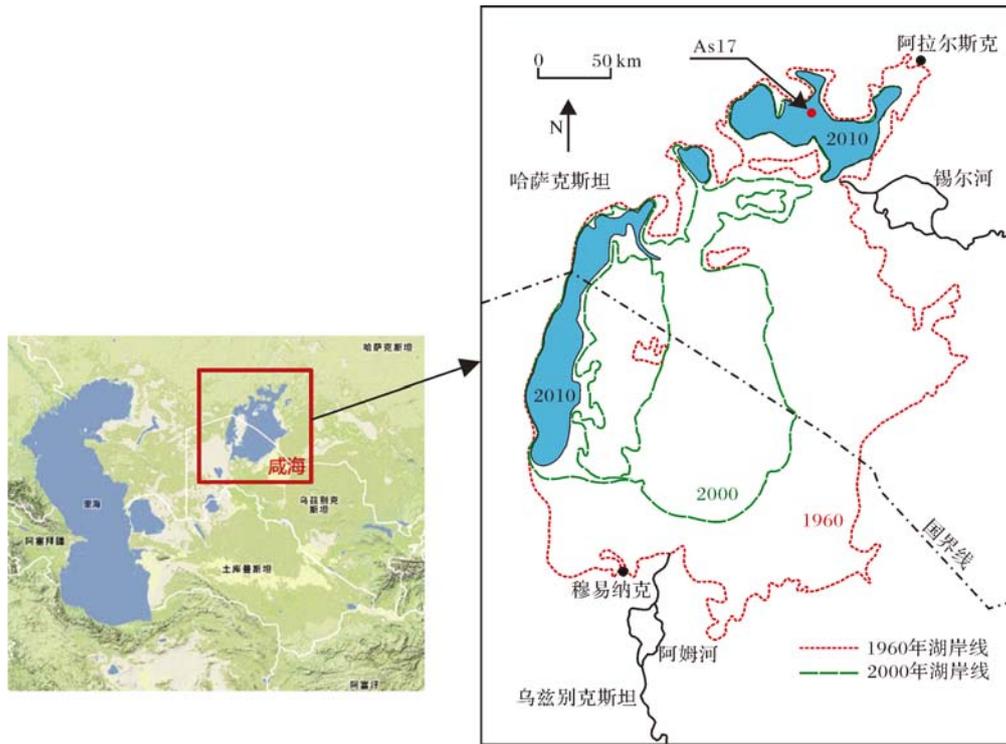


图1 咸海地理位置及湖岸线变化图

Fig.1 The geographical location and lake shoreline changes of the Aral Sea

然而岩芯在矿物学特征和其他生物学特征上的一系列显著变化,揭示了过去近500年中咸海的沉积环境主要经历了含盐量增加—下降—再增加三个明显的阶段,并为15世纪咸海的干旱提供了新的证据。

1.1 岩性描述

由于咸海湖水的较高含盐度和湖底沉积物的频繁出露,硅质微化石的保存非常困难。同样,由于湖盆面积大且较浅,使得过去近500年来的沉积物的层理构造及颗粒大小是比较稳定的。沉积物碎屑组分呈细粒状、具有纹理的特性,同时根据岩芯所含介形虫数据初步恢复重建了湖水含盐度,AS17孔岩芯具体岩性描述如下:①0~14 cm:深灰色泥,有搅动构造;②14~47 cm:浅灰色泥,有软体动物遗骸;③47~119 cm:深灰色泥,有植物遗骸;④119~140 cm:富含有机物黑色泥,有软体动物;⑤140~150 cm:深灰色泥,有植物遗骸(图2)。

1.2 矿物学特征

湖泊沉积物的矿物含量和组合的变化,在一定程度上能够指示沉积时环境条件(如气温、降水、物源和水文等)的变化情况^[14-15]。咸海沉积物中大范围存在的内生和自生的碳酸盐和硫酸盐,为解读过去湖水组成、湖平面和水文环境方面的变化提供了依据。

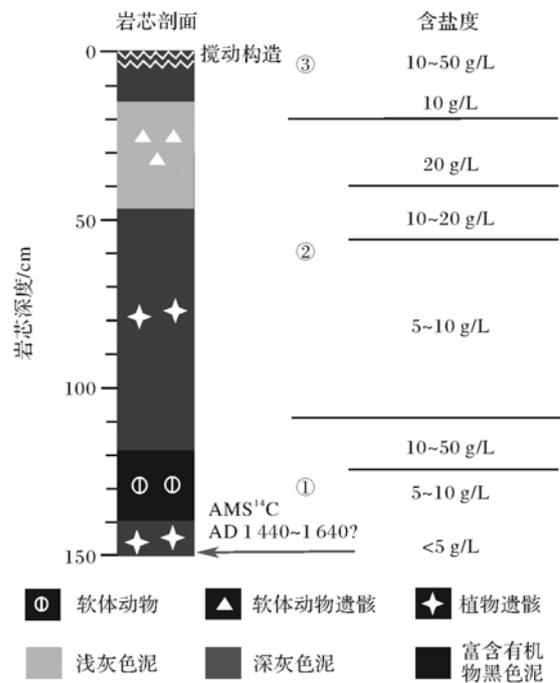


图2 AS17孔浅钻岩芯沉积物特征

Fig.2 Sediment characteristics of AS17 shallow drilling core

由于咸海湖水中的高镁钙和高钠钙比率以及高碱度,因此沉积物中矿物以镁、钠、镁钙的碳酸盐和硫酸盐

为主,含有少量石盐和石英。其中,碳酸盐主要有白云岩、碳酸钠、方解石、水菱镁石和菱镁矿等;而硫酸盐中以石膏和各种钠、镁的含水硫酸盐为主。

从 AS17 孔沉积物的矿物学分析来看(图 3),岩芯深度在大约 110~130 cm 区间和 0~20 cm 区间,均有高比例的方解石、白云石、石膏(硫酸钙)和石盐的大量出现及相关增长,表明了这两个区间所在的时期咸海湖水变浅,湖面缩小,含盐度增加。这些现象与岩芯所记录的生物特征(见下文)共同反映了咸海在 15 世纪和近期环境的衰退。沉积物粒度总体上相对较小(岩芯深度 20 cm 以下粒度大于 75 μm 颗粒含量仅占 10%左右),但在 0~20 cm 区间上粒度大于 75 μm 颗粒含量出现大幅度的增加,最高值达 50%左右;而与此同时,石英含量则与之相反呈现大幅下降,说明近期该位置湖水水位大幅降低,内生和自生沉淀物的大量析出。

2 生物特征

湖泊沉积中广泛存在并保存较好的微体化石(介形虫、有孔虫类和植物孢粉等)、植物大化石可以为湖泊的古环境变化研究提供信息。介形虫作为环境的指示器已逐渐成为古环境变化研究中常用的重要生物代用指标。由于介形虫广泛的分布于各类湖泊体系中,对环境的变化又是极其敏感的,尤其是湖水盐度和温度的变化,因此,介形虫种属组合、丰度和分异度等方面的变化特征,可以有效反映湖水盐度变

化^[16-17]。特定孢粉组合具有重要的植被和气候信息,可以反映当时的植物面貌,进而恢复当时古气候环境的演化^[18-20]。通过对 AS17 孔岩芯中所含介形虫和孢粉的取样分析,表明咸海近 500 年中经历了含盐量增加—下降—再增加,对应的湖泊水位下降—上升—再下降的三个明显的变化阶段。

2.1 AS17 孔岩芯介形虫分布特征

介形虫分布特征分为三个阶段(图 4):

第一阶段(148~110 cm):这个阶段记录了一个短暂而显著的环境变化过程,本单元的中下部介形虫组合以细花介属(*Leptocythere cymbula*)和玻璃介属(*Candona* sp.)为主,各自百分比含量均超过 40%。由于细花介属(*Leptocythere cymbula*)是一种普通的沿海物种,其生存的盐度范围 0~25.0‰;而玻璃介属(*Candona* sp.)主要生活在淡水至微咸水环境中(生存盐度范围为 0~15.0‰),表明沉积环境为微咸水或低含盐水体。然而在本单元的中上部的介形虫组合类型突然转变为以女星介属(*Cyprideis torosa*)为主,含量超过 80%,其在盐度几乎从 0~150.0‰的水体中都能生存;同时细花介属(*Leptocythere cymbula*)和玻璃介属(*Candona* sp.)百分比含量迅速下降,这揭示了湖水含盐量的一个快速增加的过程(典型半咸水环境的有孔虫类的大量出现就是最好的证据)。随后,在单元的顶部细花介属(*Leptocythere cymbula*)含量又开始逐渐增加,并逐步占据主导地位,但其他介形虫丰度显著降低,介形虫类的丰富程度显著下降。

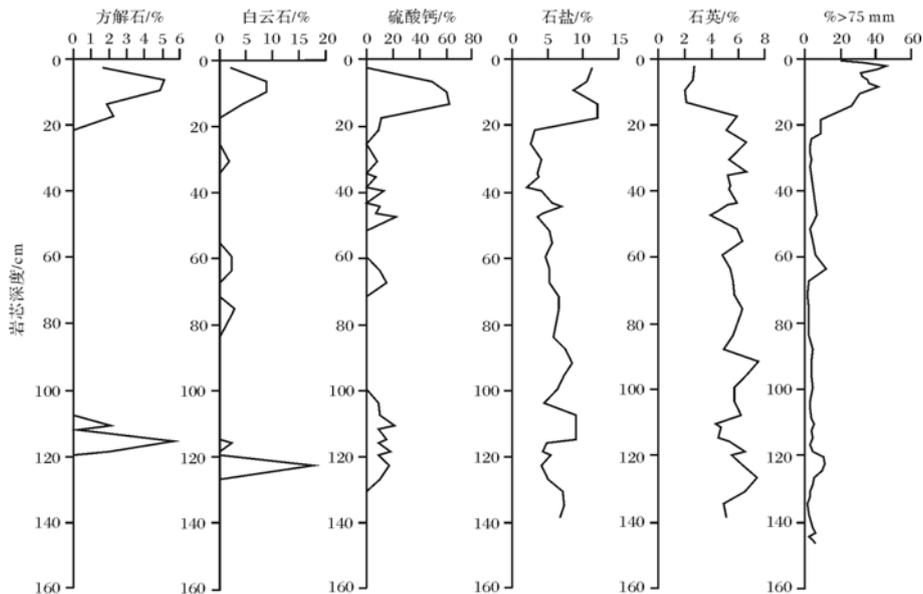


图 3 AS17 孔浅钻岩芯矿物含量变化图

Fig.3 Mineral content changes of AS17 shallow drilling core

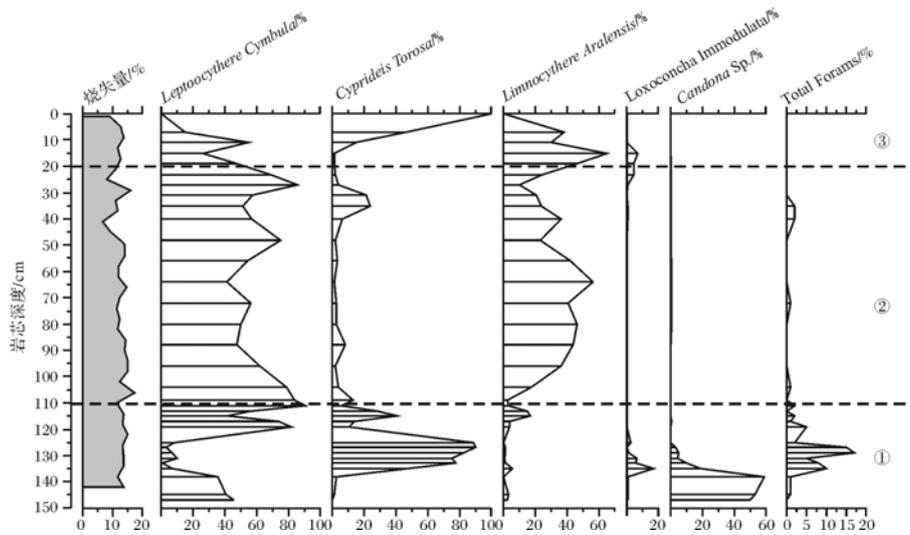


图4 AS17孔浅钻岩芯介形虫百分比含量变化图

Fig.4 The percentage content changes of ostracods in AS17 shallow drilling core

事实上,在此阶段顶部其他介形虫和有孔虫类都几乎完全消失,表明此时湖水含盐度已经开始下降。综上所述,本阶段主要反映了咸海含盐度增加,湖水水位下降,湖泊面积缩小的过程。

第二阶段(110~20 cm):在本阶段介形虫是以细花介属(*Leptocythere cymbula*)和湖花介属(*Limnocythere aralensis*)为主要组合类型,尽管湖花介属(*Limnocythere aralensis*)能适应较广的盐度范围,从淡水至真盐水,偏好盐度为5.0‰~18.0‰。但是其他介形虫类的消失或很少出现,以及有孔虫类几乎缺失。可以确定此阶段是相对稳定的低含盐度的水体环境,含盐度较第一阶段要低,湖泊处于一个相对较高的水位,并且伴有几次较为明显的水位波动。

第三阶段(20~0 cm):在本阶段除了女星介属(*Cyprideis torosa*)持续增加,并占据绝对主导外,其他物种均快速消失,进一步表明20世纪60年代以来咸海含盐量持续增加,水位持续下降,面积大幅缩小。

2.2 AS17孔岩芯孢粉分布特征

对AS17孔岩芯的孢粉分析表明整个岩芯的孢粉谱在中亚的沙漠草原是非常典型的,以蒿属(*Artemisia*)和藜科(*Chenopodiaceae*)占主导地位,伴有少量的树栖类群(含量小于12%)(图5)。藜科(*Chenopodiaceae*)和蒿属(*Artemisia*)是耐盐的植物,反映干旱的气候环境,它们会积极侵占像咸海这样由于湖水水位下降而暴露出来的咸水湖泊边缘。藜科(*Chenopodiaceae*)的顶峰出现在岩芯的下部大约120 cm处,同时介形虫、矿物学和地层学证据也可以同时说明咸海

在15世纪处于一个低湖水水位。在岩芯顶部(0~15 cm)藜科(*Chenopodiaceae*)比例明显的上升,表明近五十年来咸海水位持续下降,但未达到15世纪的水平,说明湖水水位在15世纪可能比目前水位更低。

木本植物孢粉在整个岩芯孢粉谱中仅占很低的比例,然而树栖植物的孢粉朝着岩芯的顶部有明显的增长,这一增长现象与20世纪30年代以来阿拉尔斯克市和锡尔河地区城市发展和灌溉产生的树木覆盖的扩展有关。

来自水生植物的孢粉也比较罕见,耐淡水的萍蓬草(*Nuphar pumilum*)作为最丰富的类群出现,这似乎有点矛盾。因为前面的介形虫证据表明湖水在AS17孔岩芯所代表的大部分时期已经保持着较高的含盐度,合理的解释是萍蓬草属(*Nuphar pumilum*)的孢粉源自附近的锡尔河,因为咸海在低水位期北部湖盆主要由锡尔河所主导。与此同时,在岩芯顶部的萍蓬草(*Nuphar pumilum*)含量从最大峰值下降与20世纪60年代开始北部小咸海几乎完全停止流动以及近几十年来大量投入锡尔河的肥料有关。

3 结论与讨论

造成咸海1960年以来持续干旱的主要原因是由于两大主要支流锡尔河和阿姆河大量的河水被截流用于灌溉,导致流入咸海的流量减少。通过对咸海AS17孔浅钻岩芯沉积物的分析研究,初步划分出过去近500年中咸海经历了含盐量增加—下降—再增加,相应的湖水水位呈现下降—上升—再下降的三个

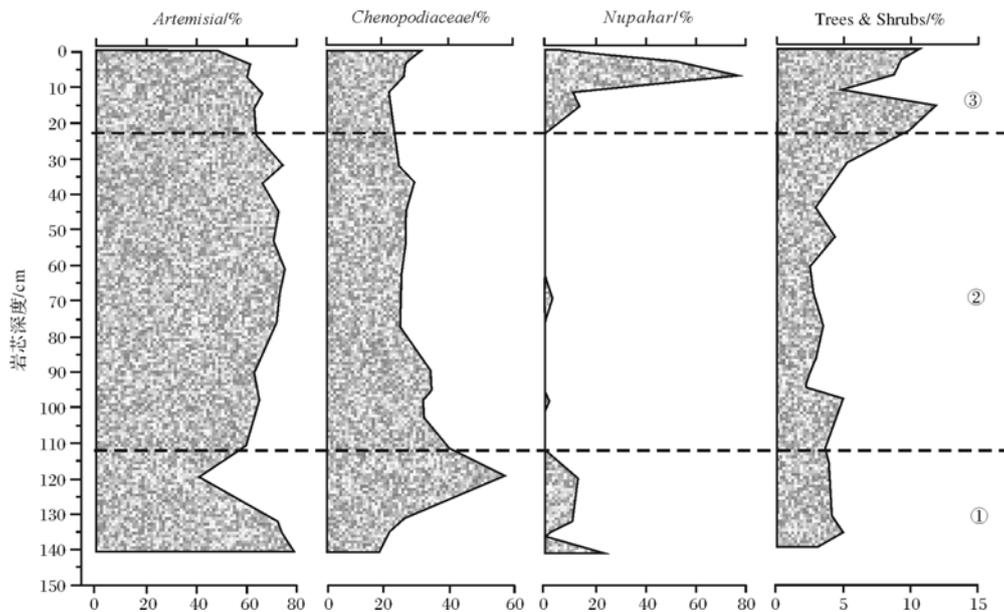


图 5 AS17 孔浅钻岩芯孢粉分析

Fig.5 Pollen analysis of AS17 shallow drilling core

明显变化阶段,揭示了咸海在这一时期的沉积环境演化过程,并为 15 世纪咸海的干旱提供了新证据。

而发生在 15 世纪的咸海退化的主要原因被认为是由于阿姆河流向的改变,阿姆河开始流入萨雷卡梅什(Sarykamysh)洼地,直到 1573 年阿姆河才重新流入咸海,水位逐步回升^[21]。这次咸海的退化可能比目前的退化更为严重,同时湖水水位也可能比现在更低。AS17 孔岩芯所记录的第二阶段介形虫组合和丰度的变化情况表明,一旦支流重新开始完全注入咸海,水位能够恢复至 20 世纪 60 年代前的水位,随后咸海可以保持一个相对稳定状态,直到 20 世纪 60 年代后期咸海生态危机的出现。因此,在咸海近 500 年的演化历史中出现过与目前咸海退化类似的情况,这将有助于我们对咸海生态环境的恢复以及其他类似湖泊的未来管理。并且表明如果咸海可以得到恰当的淡水流入,生态环境可以逐渐从目前生态危机中恢复。

沉积矿物学分析表明咸海中有大量内生和自生沉淀物,但是这些沉积物的详细来源、成因还不够明确,其中许多碳酸盐和石膏很可能真的是由于内力作用形成的,是在过饱和水柱中无机沉淀而自生形成的;但是也有可能由于其他方式形成的,如河流带入的陆源碎屑、生物贝壳和藻类分解伴生形成等。这些矿物的来源、成因及其蕴含的环境意义需要进一步研究。

参考文献 (References)

- 1 吴敬禄,马龙,吉力力·阿不都外力. 中亚干旱区咸海的湖面变化及其环境效应[J]. 干旱区地理,2009,2(3):418-422.[Wu Jinglu, Ma Long, Jilili Abuduwaii. Lake surface change of the Aral Sea and its environmental effects in the arid region of the Central Asia [J]. Arid Land Geography, 2009, 2(3): 418-422.]
- 2 Aladin N V, Plotnikov I S, Micklin P, et al. Aral Sea: water level, salinity and long-term changes in biological communities of an endangered ecosystem—past, present and future[J]. Natural Resources and Environmental Issues, 2009, 15(36): 177-183.
- 3 Glazovsky N F. The salt balance of the Aral Sea[J]. GeoJournal, 1995, 35(1): 35-41.
- 4 Micklin P. The Aral sea disaster [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2007, 35: 47-72.
- 5 Boomer I, Aladin N, Plotnikov I, et al. The palaeolimnology of the Aral Sea: a review[J]. Quaternary Science Reviews, 2000, 19(13): 1259-1278.
- 6 Boomer I. Sub - fossil *Ostracoda* and the death of the Aral Sea [J]. Geology Today, 1993, 9(1): 18-22.
- 7 Boomer I. Palaeoenvironmental indicators from Late Holocene and contemporary ostracoda of the Aral Sea [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1993, 103(3/4): 141-153.
- 8 Boomer I, Wünnemann B, Mackay A W, et al. Advances in understanding the Late Holocene history of the Aral Sea region [J]. Quaternary International, 2009, 194(1/2): 79-90.
- 9 Oberhänsli H, Novotná K, Pišková A, et al. Variability in precipitation, temperature and river runoff in W Central Asia during the past 2000 yrs [J]. Global and Planetary Change, 2011, 76(1/2): 95-104.
- 10 Krignonov S K. Extent of the Aral Sea drop in the Middle Age [J].

- Doklady Earth Sciences, 2009, 428(1): 1146-1150.
- 11 Austin P, Mackay A, Palagushkina O, et al. A high resolution diatom-inferred palaeoconductivity and lake level record of the Aral Sea for the last 1600 yr[J]. Quaternary Research, 2007, 67(3): 383-393.
 - 12 Cretaux J F, Letolle R, Bergé-Nguyen M, et al. History of Aral Sea level variability and current scientific debates [J]. Global and Planetary Change, 2013, 110: 99-113.
 - 13 Last W M, Deleqat Jantay, Juggins, et al. Late Holocene history of the Aral Sea [C]// GSA 1998 Annual Meeting & Exposition. 1998, P-16, A-162.
 - 14 宋友桂. 沉积矿物学在古环境恢复中的应用进展[J]. 东华理工大学学报;自然科学版, 2009, 32(4): 313-323. [Song Yougui. Sedimentary mineralogy and its application for paleoenvironmental reconstruction[J]. Journal of East China Institute of Technology: Natural Science, 2009, 32(4): 313-323.]
 - 15 金章东. 湖泊沉积物的矿物组成、成因、环境指示及研究进展[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(1): 34-44. [Jin Zhangdong. Composition, origin and environmental interpretation of minerals in lake sediments and recent progress[J]. Journal of Earth Science and Environment, 2011, 33(1): 34-44.]
 - 16 张家武, 何晶, 陈硕, 等. 第四纪湖相介形类壳体化石在古环境中的应用——一种属组合研究进展与问题[J]. 地球科学进展, 2009, 24(11): 1229-1237. [Zhang Jiawu, He Jing, Chen Shuo, et al. Applications of non-marine ostracods in Quaternary paleoenvironment——advances and problems in fossil assemblages[J]. Advances in Earth Science, 2009, 24(11): 1229-1237.]
 - 17 李军, 余俊清. 湖相介形虫古生态学在环境变化研究中的应用[J]. 盐湖研究, 2002, 10(1): 66-71. [Li Jun, Yu Junqing. Application of lacustrine ostracodes to the study of environmental changes[J]. Journal of Salt Lake Research, 2002, 10(1): 66-71.]
 - 18 于革. 高分辨湖泊沉积和孢粉记录对气候、水文变化的响应[J]. 沉积学报, 2011, 29(1): 118-124. [Yu Ge. High-resolution records of lacustrine sedimentology and palynology responding to changes in climate and hydrology[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(1): 118-124.]
 - 19 黄小忠, 赵艳, 程波, 等. 新疆博斯腾湖表层沉积物的孢粉分析[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 602-609. [Huang Xiaozhong, Zhao Yan, Cheng Bo, et al. Modern pollen analysis of the surface sediments from the Bosten Lake, Xinjiang, China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(5): 602-609.]
 - 20 许哲平, 陈建强, 肖景义. 云南昆明盆地中更新世晚期以来的孢粉记录及古气候演化[J]. 地质学报, 2009, 83(1): 65-77. [Xu Zheping, Chen Jianqiang, Xiao Jingyi. Pollen records since late middle-pleistocene in the Kunming Basin, Yunnan province and paleoclimate evolution[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(1): 65-77.]
 - 21 Boroffka N G O, Oberhänsli H, Sorrel P, et al. Archaeology and climate: settlement and lake level changes at the Aral Sea[J]. Geoarchaeology, 2003, 21(7): 721-734.

Environmental Changes Recorded by Lake Sediments from Aral Sea During Recent 500 Years

YEERBOLATI¹ DELEQIATI · Jantay¹ William M. Last² FANG Qiao¹ DENG Hong¹

(1. Institute of Geological and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830047;

2. Department of Geological Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Canada, R3T 2N2)

Abstract: Over the past five decades, the Aral Sea, as the world's fourth largest lake, has a rapid decline of area, a serious decline in quality of the environment and has a devastating impact on most of the Central Asian region. Although the water level of the Aral Sea descent lasted relatively short but had significant changes, in order to understand the detailed process of this change, we collected AS17 shallow drilling core holes from the northern Aral Sea in 1997. Through the comprehensive analysis of mineralogy, ostracods, pollen and other deposits environmental indicators, it shows that the core had a series of significant changes in mineralogical characteristics and biological characteristics, reveals three distinct phases that the Aral Sea depositional environment has experienced during the past nearly 500 years; increase decrease and again increase in salinity, and provides new evidence to the 15th century drought in the Aral Sea.

Key words: Aral Sea; salinity; sediments; mineralogy; ostracods; pollen