

黄旗海介形类及其壳体稳定同位素环境记录

李 军,余俊清

(中国科学院青海盐湖研究所西安二部,陕西 西安 710043)

摘要:利用黄旗海冬季坚固的冰封面作为稳固的司钻平台,在湖泊中央成功地获取了高质量的湖底连续沉积岩芯。对其中长 11m 的 HQH4 岩芯中的介形类化石进行了属种古生态和壳体稳定同位素研究。结果显示,在 10200a B. P. 前后黄旗海进入了稳定的湖泊阶段。在此之前,介形类的丰度极低。介形类的最大丰度出现在 10200—6800a B. P.,反映了早全新世期间黄旗海较高的生物生产率。在此期间,介壳的 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化范围较大,反映了黄旗海水体氧同位素组成在全新世早期的变幅较大。从 6800a B. P. 起,介形类的丰度突然大幅度降低,介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值随后降低,反映了中全新世黄旗海湖水变深,湖底还原性显著增强。从 3200a B. P. 起,湖泊水位显著下降,湖底氧化条件明显增强,介形类的丰度继续下降,直到大约 1300a B. P. 才出现回升。

关键词:黄旗海;介形类古生态;稳定同位素;全新世;环境变化

中图分类号: P597. 2 文献标识码: A 文章编号: 1008—858X(2002)04—0013—06

0 前言

介形类广泛分布于各类湖泊体系中,其碳酸盐壳体化石通常在湖泊沉积物中保存完好。水体的物化参数控制和影响着介形类的生存和丰度,其中盐度和温度是两个重要的环境因素^[1]。因此,湖相介形类在环境变化研究,特别是在古湖环境重建的研究中具有重要的意义^[2-6]。本文首次对黄旗海的湖心钻孔剖面,以及其中的介形类及其壳体稳定同位素的环境记录进行了研究。

黄旗海属内蒙古自治区乌兰察布盟察哈尔右翼前旗(东经 113°11′—113°24′,北纬 40°48′—40°54′),位于东亚夏季风北界—内蒙古高原东南边缘。湖面海拔 1264m,面积 71.93km²,水深 1.5m,其中 1m 水深的面积占全面积的 70%。盐度为 11~12 ‰,pH 平均为 9.3,为半咸水湖。

湖区属中温带大陆性半干旱气候,夏季温热短促雨量集中,冬季漫长寒冷干燥。该区多年年平均降水量 379mm,蒸发量 2267mm。黄旗海为一内陆封闭湖泊,湖泊的水量均衡主要受气候条件的制约,其水位和盐度的变化敏感地反映了区域季风降水量的变化。

前人在湖蚀和湖积地貌、湖区堆积和沉积及湖区露头剖面等的基础上,对全新世以来黄旗海湖泊演化和湖面波动的过程及规律进行了研究,探讨了引起这种变化的原因——环境和气候的变化以及人为因素的影响^[7,8]。本文以黄旗海湖中央湖底连续完整的沉积岩芯为研究材料,介绍了沉积岩芯剖面中介形类古生态学和介壳地球化学的研究结果,进一步探讨和研究了黄旗海湖冰后期以来的环境演变。

1 研究方法

收稿日期: 2002—07—31

作者简介: 李军(1971—),男,硕士,主要从事地球化学和环境变化研究。

基金项目: 国家自然科学基金项目(49971074);中国科学院创新项目(KZCX1—Y—05)

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

我们在黄旗海湖中央水深 1.4 m 处, 依托湖泊冰封面作为稳定的司钻平台, 利用 Livingstone 型取芯装置取得三孔长度为 11m 的连续柱状沉积岩芯。对黄旗海 HQH4 沉积钻孔岩芯以 5 ~ 10 cm 的不等间距采集样品进行介形类属种的鉴别和丰度的计算, 对其中介形类丰度较大的岩芯段进行了介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的质谱分析, 分析方法和误差见文献^[9]。对岩芯中自生碳酸盐含量较高的样品利用液体闪烁计数法测定了它们的¹⁴C 年龄^[10]。

2 结果与分析

2.1 年代学数据

黄旗海 HQH4 岩芯自生碳酸盐样品在 472.5 cm 深度上的¹⁴C 年龄为 $3890 \pm 180\text{a B.P.}$, 在 755cm 深度上的¹⁴C 年龄为 $9812 \pm 280\text{a B.P.}$, 根据这两个¹⁴C 年龄数据估算的平均沉积速率分别为 1.21 mm/a 和 0.77 mm/a, 结合黄旗海全新世以来的沉积纹层估算年龄^[11]分析, 全新世以来黄旗海沉积物沉积的平均沉积速率约为 0.80mm/a。

2.2 介形类属种及其分布特征

黄旗海 HQH4 岩芯中介壳化石的保存条件较好, 介壳样品中含有较多的幼体壳和双瓣壳。根据介壳化石的形态和壳饰等对其进行种属鉴定, 结合采样记录的数目和体积, 计算各属种介形类样品的丰度, 结果见图 1(n 为壳瓣数)。镜下鉴定出 HQH4 剖面中的介形类有 7 属 13 种, 主要属种为湖陆花介 *Cytherissa lacustris*, 具尾玻璃介 *Candona caudata*, 双折土星介 *Ilyocypris biplicata*, 意外湖花介 *Limnocythere inopinata*, 胖真星介 *Eucypris inflata* 等五个属种, 它们在岩芯剖面中自下而上的分布变化特征简述如下。

1100 ~ 807.5 cm: 岩性以灰黑色砾石、粗砂及灰褐色、褐色泥质粉细砂为主, 间有少量砂质淤泥, 介形类化石含量极低甚至缺失。在 1100 ~ 993 cm 中缺失介形类化石; 在 993 ~ 851.5 cm 中化石含量极低, 几乎不含介形类化石, 只是偶尔在某些层位偶见极个别介形类化石; 在

851.5 ~ 807.5 cm 中介形类化石含量很低, 可见少量胖真星介、双折土星介及意外湖花介, 偶见少量陆生蜗牛化石。造成上述现象的原因有以下几种可能: 1. 水体温度较低或盐度较小, 不适宜介形类的生存^[6, 12]; 2. 水动力条件较强, 机械破坏作用严重, 稳定水体存在的时间较短, 不利于介形类的生存和介壳的保存^[2, 13]。

807.5 ~ 534.5 cm: 岩性以浅灰色碳酸盐质湖相淤泥为主, 棕褐色和浅色纹层发育, 介形类化石种类和数量较多, 丰度为剖面的最高部分。在 807.5 ~ 782.5 cm 中以喜冷广盐性属种胖真星介^[14, 15]和双折土星介为主, 可见少量隆起土星介和意外湖花介; 在 782.5 ~ 645.5 cm 中以偏冷淡水种双折土星介为主^[16, 17], 可见少量胖真星介和意外湖花介及隆起土星介; 在 645.5 ~ 534.5 cm 中以喜冷淡水种具尾玻璃介和湖陆花介^[18, 19]及双折土星介为主; 可见少量隆起土星介和意外湖花介。

534.5 ~ 261.5 cm: 岩性为浅灰褐色粘土, 具典型湖相沉积纹理。在 534.5 ~ 423.5 cm 中介形类化石含量中等, 以双折土星介为主, 可见少量意外湖花介和胖真星介; 在 423.5 ~ 261.5 cm 中介形类化石含量较低, 以喜冷广盐性属种意外湖花介^[16, 20]为主, 偶见少量双折土星介。

261.5 ~ 106.5 cm: 岩性为橄榄灰色、灰褐色、浅灰褐色淤泥, 介形类化石含量很低, 偶见少量双折土星介及湖花介。沉积物中含有一定数量的黑色较厚破碎介壳。造成介形类的丰度极低的可能原因为: 湖水温度下降或盐度增加或食物缺乏, 不适宜介形类的生存; 水位下降水体变浅, 与大气的交换作用增强, 湖水呈显著氧化性, 湖底有机质被氧化, 沉积物呈明显还原性, pH 值下降, 化学溶蚀作用增强, 不利于介壳化石的保存^[21, 22]。

106.5 ~ 0 cm: 岩性以黑色、深灰色、灰色、灰褐色腐泥和粘土为主, 偶见灰褐色粉砂质粘土, 介形类化石含量中等, 丰度较前有所增加, 主要为双折土星介, 可见少量隆起土星介和胖真星介, 偶见少量陆生蜗牛化石。

2.3 介壳稳定同位素

黄旗海 HQH4 岩芯中介壳化石的丰度变化

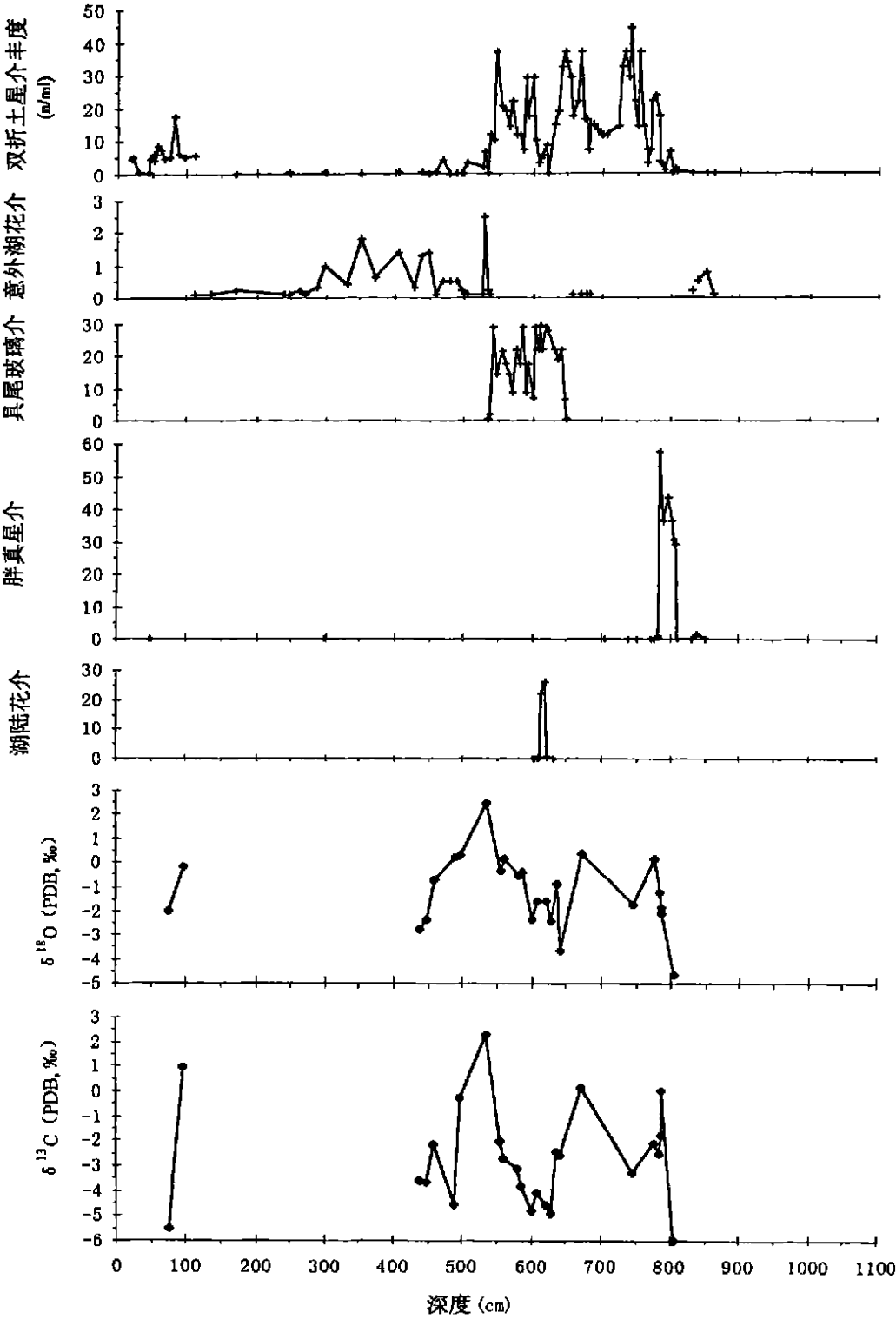


图 1 黄旗海 HQH4 岩芯介形类丰度及介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化曲线

Fig 1 Ostracode abundance, $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of ostracode shells versus sediment depth for core HQH4 from Lake Huangqihai

较大,有些层位丰度极低甚至缺失,因此,无法开展介壳稳定同位素分析。本文只对该孔芯 76.5~97.5 cm 及 437.5~805 cm 等介壳化石丰度较大的岩芯段进行了稳定同位素分析,结果见图 1。在研究剖面中,介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 $-4.64 \sim -2.46\text{‰}$ 之间变化,最小值 -4.64‰ 出现在 805 cm 处,最大值 -2.46‰ 出现在 534.5 cm 处;介壳 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化与 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化大体同步,亦同时达最小值和最大值,其值分别为 -6.01‰ 和 -2.22‰ 。

介壳是在很短时间内分泌形成的,其稳定同位素组成是介壳形成时湖水化学条件的时空记录,保存在岩芯剖面中的介壳稳定同位素值的变化反映了湖泊古水文学和古水化学条件变化的相关信息^[23]。在干旱—半干旱区封闭湖泊体系中,湖水温度的长期变化对介壳同位素组成的影响较小,介壳的稳定同位素组成主要由湖水的同位素组成决定,湖水同位素的组成及变化取决于降水和蒸发作用之间量的均衡^[4,9]。对于黄旗海而言,区域降水量的增大会使得湖泊水位上升,水体淡化且富集轻同位素;反之亦反。因此,造成黄旗海岩芯剖面中介壳同位素变化的主导因素是水体同位素的组成。另外,水体温度季节性的冷暖变化对介壳同位素的组成也有一定的影响。

岩芯剖面中介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 与 $\delta^{13}\text{C}$ 值的大体同步变化,可能反映了黄旗海在全新世期间总体分层较弱、对流较强、混合均匀。

3 结果讨论

整个 HQH4 岩芯剖面中介壳化石的保存条件较好,双折土星介和具尾玻璃介样品中含有相当数量的幼体壳,而胖真星介样品中则含有一定数量的双瓣壳。因此,沉积后期的搬运和移置是十分有限的,岩芯剖面中的介壳化石基本是原地埋葬的。岩芯剖面中的介形类以双折土星介为优势种,差别主要表现在各个属种丰度的变化上。剖面中一直存在的优势种双折土星介多生活在流动性水体中,它的出现可指示入湖径流和湖泊水位的变化。剖面中较为连续的湖花介为喜冷属,而双折土星介虽为偏冷属,但不能忍受极低的温度,它们丰度的变化可指

示水体冷暖的变化。胖真星介和湖花介为广盐属,而双折土星介和玻璃介及陆花介为淡水属,它们丰度的变化可指示水体盐度的变化。另外,在剖面中偶见的陆生蜗牛化石,指示了湖泊水位的变化。根据介形类属种组成和丰度的变化状况,结合¹⁴C 年代学和岩性地层学以及介壳氧同位素的变化,黄旗海的演化过程可以划分为以下几个阶段:

1) 1100~807.5 cm, ? ~ 10200 a B.P.。在 1100~993 cm 岩芯段中基本未见到介形类化石;993~851.5 cm 中开始出现个别介形类化石;851.5~807.5 cm 中介形类化石丰度较低,出现少量意外湖花介、胖真星介及双折土星介。本阶段早期沉积物为砾石、粗砂及泥质砂层,可能为湖滨岸和浅湖沼交替环境,在临近结束的较短时期内出现较浅淡水—微咸水水体。造成本阶段介形类化石缺失或丰度较低的主要原因因为水体温度较低,不适宜介形类的生存。本阶段的气候条件可能为寒冷干燥,湖面冰封期较长。

2) 807.5~534.5 cm, 10200~6800 a B.P.。在 10200 a B.P. 前后黄旗海进入稳定的湖泊阶段,开始出现典型的湖相沉积和大量的介形类化石。本阶段化石种类和数量较多,丰度为剖面中的最高部分,表明早全新世期间黄旗海水体的物理化学条件有利于介形类的发育和生长以及较高的湖泊生物生产率。807.5~782.5 cm 介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值持续增大,反映湖水浓缩咸化,盐度增加,重氧同位素富集。在此过程中,胖真星介出现最大丰度。虽然胖真星介为广盐性属种,但中盐度环境是最适宜其繁生的环境。季节性纹层沉积和自生碳酸盐含量上升,反映水体为较稳定的半咸水环境且气候条件温暖,夏季蒸发量大。

782.5~645.5 cm 介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值波动变化,反映湖水盐度和氧同位素组成的波动变化。在此过程中,广盐性属种胖真星介丰度骤减,双折土星介成为优势种。虽然双折土星介为淡水种,但其能够忍受一定的盐度变化。沉积物呈现典型湖积韵律,说明此时黄旗海的深度较前有所增大,为较稳定的微咸水环境。

645.5~534.5 cm 具尾玻璃介出现最大丰

度, 反映水化学条件发展到了喜淡介形类生存阶段。此阶段中介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值逐渐升高, 反映湖水的 $\delta^{18}\text{O}$ 组成在小幅度变化中呈现总体富集趋势。随着介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值的继续增大, 具尾玻璃介突然消失, 反映水体逐渐浓缩咸化, 盐度增大, 最终不适宜淡水介的生存, 此时黄旗海为较稳定的微咸水环境。

3) 534.5~261.5cm, 6800~3000a B.P.。介形类化石的丰度在此阶段大幅度降低, 反映湖泊发生了使介形类生产率降低的环境变化。伴随着介壳丰度的突然降低, 介壳的 $\delta^{18}\text{O}$ 值大约降低了 5‰。介壳的 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 534.5~423.5cm 岩芯段中急剧减小, 从 2.46‰跌至 -2.76‰, 与此同时, 有机碳上升了约 2%^[11]。以上现象提供了湖水变深, 湖底还原性增强的证据^[24], 反映了湖区降水量和有效湿度的明显升高。造成介形类丰度急剧下降的主要原因为水体变深, 温度下降和盐度减小, 不适宜介形类的生存。423.5~261.5cm 岩芯段中广盐性属种意外湖花介丰度的增多, 从另一侧面也佐证了上述推论。

4) 261.5~0cm, 3200 a B.P. 至今。261.5~106.5cm 岩芯段中保存的介形类化石继续延续上一阶段的较低丰度。本沉积单元底界面上出现了从褐灰色纹理层沉积物向橄榄灰色隐层沉积物的明显转变, 以及生物扰动和侵蚀面的出现, 反映了湖泊水位下降的极大可能性。最低的介形类化石丰度和有机碳含量的明显下降^[11], 反映了本阶段早期的湖泊生物生产率为全新世的最低时期。从 106.5cm 往上, 以双折土星介为优势种的介形类丰度和有机碳含量明显有所上升^[11], 预示黄旗海开始朝着与其现代湖泊环境相似的方向发展。

参考文献:

- [1] 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
- [2] Whatley R. Population structure of ostracods: some general principles for recognition of palaeoenvironments. In: De Deckker P, Colin J P, & Peypouquet J P. (eds.), *Ostracoda in the earth sciences* [M]. Amsterdam: Elsevier, 1988. 245-256
- [3] De Deckker P. & Forester R M. The use of ostracods to reconstruct continental paleoenvironmental records [M]. In: De Deckker P. et al (eds.), *Ostracoda in the Earth Sciences*. London: Elsevier, 1988. 175-200.
- [4] Xia J, Haskell B J, Engstrom D R, et al. Holocene climate reconstruction from tandem trace-element and stable-isotope composition of ostracods from Coldwater Lake, North Dakota, USA [J]. *Paleolimnol*, 1997, 17: 85-100
- [5] Holmes J A, Patrick A, Fothergill F, et al. A high-resolution Holocene record from Sahel zone of Northeastern Nigeria [J]. *Paleolim*, 1998, 20: 369-380
- [6] Holmes J A. Recent nonmarine Ostracoda from Jamaica, West Indies [J]. *Micropalaeontology*, 1997, 16(2): 137-143.
- [7] 李华章, 刘清泗, 汪家兴. 内蒙古高原黄旗海、岱海全新世湖泊演变研究[J]. 湖泊科学, 1992, 4(1): 31-39.
- [8] 李栓科, 王涛. 全新世内蒙南缘黄旗海湖面的波动[J]. 湖泊科学, 1993, 5(4): 324-333
- [9] 张彭熹, 张保珍, 钱桂敏, 等. 青海湖全新世以来古环境参数的研究[J]. 第四纪研究, 1994, 3: 225-238.
- [10] 黄麒, 蔡碧琴, 余俊清, 等. 盐湖年龄的测定 I 液体闪烁计数法测定¹⁴C年代[J]. 海洋与湖沼, 1981, (12): 41-48.
- [11] 王小燕. 黄旗海湖积物中有机质及有机碳同位素古气候意义的研究[D]. 西宁: 中科院青海盐湖所硕士论文, 2000
- [12] Holmes J A, David J H. Non-marine Ostracoda: Evolution and environment [J]. *Paleogeogr Palaeoclimat Palaeoeco*, 1999, 148: 1-7
- [13] Whatley R. Population structure of ostracods: some general principles for the recognition of palaeoenvironments [M]. In: De Deckker P. et al (eds.), *Evolutionary Biology of Ostracoda*. London: Elsevier, 1988. 519-530.
- [14] De Deckker P. Ostracodes of athalassic saline lakes [J]. *Hydrobiologia*, 1981, 81: 131-144.
- [15] 青海石油管理局勘探开发研究院, 中国科学院南京地质古生物研究所. 柴达木盆地第三纪介形类动物群[M]. 南京: 南京大学出版社, 1988.
- [16] Sars G O. An account of the Crustacea of Norway [M]. Bergen: Mus. Ostracoda, 1928, 9
- [17] 彭金兰. 西藏佩枯错距今 13000-4500 年间的介形类及环境变迁[J]. 微体古生物报, 1997, 14(3): 239-254
- [18] Delome L D. Ostracodes as Quaternary paleoecological indicators [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1969, 6: 1471-1476
- [19] Yang F. Distribution of brackish-salt water ostracods in north-western Qinghai Plateau and its geological significance [C]. In: Hanai et al (eds.), *Evolutionary Biology of Ostracoda* [M]. Amsterdam: Elsevier, 1988. 519-530
- [20] Delome L D. Distribution of freshwater ostracodes in Lake Erie [J]. *Journal of Lakes Research*, 1978, 4: 216-220
- [21] Delome L D. The use of ostracodes in paleoenvironmental reconstruction [M]. In: Morgan A V. (ed.), *Biological Tech-*

nique in Paleoenvironmental Interpretation. London: Elsevier, 1990, 115—137.

[22] 赵宇虹. 不同 pH 值水溶液对现生介形类壳体保存的影响[J]. 微体古生物学报, 1990, 7(1): 1—8.

[23] 李军, 余俊清. 湖相介形类壳体地球化学在环境变化研究中的应用与进展[J]. 湖泊科学, 2001, 13(4): 367—375

[24] 余俊清, 王小燕, 李军, 等. 湖泊沉积有机碳同位素与环境变化的研究进展. 湖泊科学, 2001, 13(1): 72—78

Lake Huangqihai, Inner Mongolia: a Palaeoenvironmental Record Deduced from Ostracoda and Stable Isotope Composition of Ostracode Shells

LI Jun, YU Jun-qing

(Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xi’ an 710043, China)

Abstract: The successful recovery of 3 sediment cores, each with 11m long, from the middle of Lake Huangqihai is the first practice of the “off-the—ice coring technique” for lakes in China Core HQH4, one of the 3 cores, was used for the investigation of ostracoda palaeoecology and stable isotope geochemistry of ostracode shells. Results suggest that the appearance of the ostracode started from about 10200 a B. P. , from which Lake Huangqihai began to be a constant lake environment. The abundance of ostracode shells was extremely low in the sediments deposited before 10200 a B. P. Maximum abundance occurred in the early Holocene between 10200 and 6800 a B. P. , reflecting the highest biological productivity of the lake. The ostracode $\delta^{18}\text{O}$ values of early Holocene varied in the range from -4.64‰ to 2.46‰ , suggesting a large range of variation in $\delta^{18}\text{O}$ of the lake water. At about 6800 a B. P. , an abrupt decrease in ostracode abundance was followed by a sharp decrease in $\delta^{18}\text{O}$ ostracode. This suggests a deepened lake environment with much more reduced conditions at the lake bottom during 6800 and 3200 a B. P. From about 3200 a B. P. , Lake Huangqihai decreased in lake—level, and ostracode abundance continued to decrease, and then increased around 1300 a B. P. as the redox conditions of the lake bottom turned to be less reduced.

Key words: Lake Huangqihai; Ostracoda palaeoecology; Stable isotopes; Holocene; Environmental changes