

文章编号: 1000-0550(2012)04-0731-08

黄旗海湖泊沉积记录的早中全新世大湖期环境的差异性^①

徐佳佳¹ 贾玉连¹ 赖忠平² 王彭岭³ 徐敏¹ 申洪源⁴

(1. 江西师范大学地理与环境学院 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室 南昌 330022;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 冰冻圈科学国家重点实验室 兰州 730000;

3. 国家气象局气候中心 北京 100866; 4. 临沂大学化学与资源环境学院 山东临沂 277110)

摘要 内蒙古黄旗海 H6 剖面揭示了最近间冰期古湖泊涨缩的一个完整旋回。基于 OSL 年代、粒度并结合沉积物地球化学等数据,分析了黄旗海在早、中全新世(约(11.4±1.1~6.7±0.7) ka)大湖期指标记录特点与环境意义。研究认为黄旗海全新世大湖期可分为三个阶段:1) (11.4±1.1~9.3±0.9) ka BP,半深水环境、湖水盐度低、流域存在有利于化学风化的湿润气候条件;2) (9.3±0.9~7.7±0.7) ka BP,湖水变浅、湖泊萎缩、湖泊盐度升高,流域可能存在不利于化学风化的干燥气候;3) (7.7±0.7~6.7±0.7) ka BP,大湖期结束,指标记录存在剧烈波动,揭示气候具有宽幅震荡特征。同时,研究初步认为 Mn/Li 比值可以作为流域化学风化的指标指示。

关键词 黄旗海 全新世大湖期 醋酸淋溶 Sr/Ca Mn/Li

第一作者简介 徐佳佳 女 1985 年出生 硕士研究生 第四纪环境变化 E-mail: jjiayu@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

在东亚季风区,全新世湖泊演化与区域气候变化一直存在诸多争议。传统观点认为 8.0~6.0 ka BP 是全新世气候演化的最适宜阶段^[1],气候温暖湿润。最近陆续有一些研究,证实了这个暖湿气候期的存在^[2,3],但也相继有一些记录^[4~6]认为此阶段气候具有干燥的表征。这表明我们对于早中全新世气候环境的认知还存在很大不确定性,有待于进一步明确。

内蒙古黄旗海是一个封闭的内陆湖泊,地处东亚季风区边缘区,受东亚夏季风和冬季风的相互影响,其湖泊演化不仅记录了区域气候干湿变化的历史,还敏感反映了东亚季风的变迁历史。本文基于黄旗海 H6 剖面的若干气候代用指标记录,尝试重建湖泊演化与环境变化过程,重点探讨全新世早中期这个关键时段季风边缘区的古气候环境特点。

1 材料与方法

1.1 剖面描述与样品采集

黄旗海位于内蒙古高原东南边缘地带,属于构造断陷湖盆,地貌景观以由北向南呈缓倾斜状的冲击湖积平原、低山丘陵和玄武岩台地为主。材料取自黄旗

海南部湖滩(图 1)由黄旗海的入湖河流八台沟河谷下切侵蚀形成的 H6(N40°50'11",E113°23'8")剖面。剖面顶部海拔 1 277~1 278 m,高出 1986 年湖面(1 268 m)9~10 m。

经人工开挖,H6 剖面出露总厚度 3.3 m,未见底,沉积序列见图 2。其中 1.76~2.96 m 深度为青灰色含砂粉砂层,具体可分为上下两层:上层 1.76~2.25 m 为浅青灰色,下层 2.25~2.96 m 为青灰色。根据颜色与粒度特点,初步判断为湖相沉积。它们夹在上下两个冲洪积相(三角洲相)地层之间,已有研究证实这是黄旗海全新世湖相堆积^[7]。

在 1.40~3.26 m 之间以 1.5 cm 间隔连续采样,共采集 124 个指标样品,用于粒度、元素等气候代用指标的测试。同时在整个剖面采集了 8 个光释光年代样品。

1.2 年代测定

光释光年代样品的前处理和测试都在装有红光(波长为 600~700 nm)的暗室内操作。首先挖出管内沉积物,去除两端(2 cm 左右)可能存在曝光和污染的样品,中间部分用于等效剂量与年剂量率的测试。取样品约 300 g 用浓度为 30% 的双氧水和 1 mol/L 的盐酸分别浸泡,除去样品中的有机质和碳酸

^①江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室开放基金项目(编号:2009011)与江西省教育厅科技计划项目(编号:[2006]117)资助。收稿日期:2011-08-06;收修改稿日期:2011-11-07

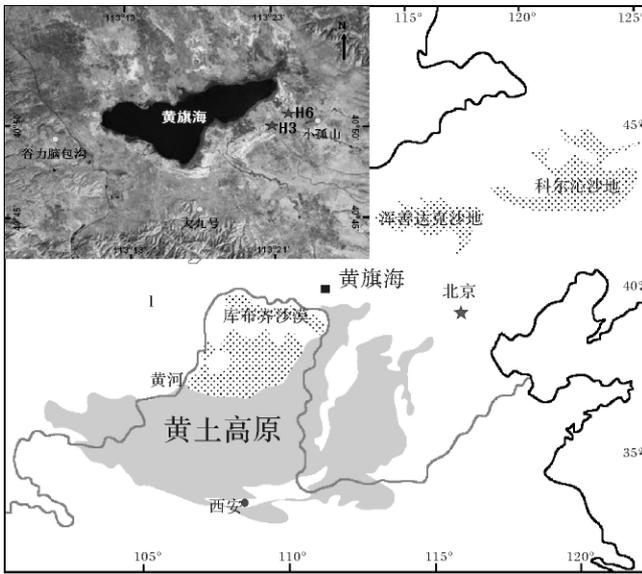


图1 黄旗海地理位置与采样点 H6 剖面位置

Fig.1 Map showing Huangqihai Lake and location of Section H6

盐类化合物, 冲洗湿筛分选出 $38 \sim 63 \mu\text{m}$ 粒级颗粒。为提取 OSL 测年所需的高纯度石英, 用 40% 氟硅酸溶蚀上述混合样品大约 3 周, 以去除长石; 用 10% 盐酸洗去残留的氟化物沉淀。用红外检测长石释光信号, 若长石信号较强, 则再度溶蚀直到长石信号可忽略不计。最后, 将处理后符合实验条件的石英颗粒用硅油单层粘贴在直径为 10 mm 的不锈钢钢片中间的 4 ~ 5 mm 的区域内, 用于样品等效剂量的测试。

等效剂量的测试在中国科学院青海盐湖研究所释光实验室完成, 使用仪器为 Risø TL/OSL-20 全自动释光仪。测试石英释光信号的蓝光激发光源的波长为 $(470 \pm 30) \text{ nm}$, 检验长石组分所用的红外激光波长为 830 nm, 光电倍增管前放置两个 7.5 mm 的 Hoya U-340 滤光片, 人工 β 辐射源为 $90\text{Sr}/90\text{Y}$ 。年剂量率测试中的 K、Th 和 U 的含量采用中子活化法测量, 测量实验在中国原子能科学研究院完成。

1.3 指标测试

粒度分析: 首先对样品进行前处理, 样品烘干后取 0.5 ~ 0.2 g 不等的样品量, 用蒸馏水浸泡一昼夜, 利用 10% 的过氧化氢去除样品中的有机质, 10% 的盐酸去除碳酸钙, 加六偏磷酸钠, 利用超声波分散 5 min, 然后上机测试。粒度分析在临沂师范学院现代分析中心完成, 仪器是英国 MALVERN 公司生产的 Master Size2000 激光粒度分析仪。该仪器测量粒径范围为 0.02 ~ 2 000 μm 。

醋酸淋溶与元素分析: 样品烘干、研磨, 进行醋酸

淋溶实验。准确称取样品 8.0 g, 放入 200 mL 烧杯中, 加入适量去离子水浸泡, 然后加 1 mol/L 的醋酸溶液 100 mL 进行淋溶, 不时搅动; 室温下反应 4 h 后, 对样品进行离心, 将上层清液移入 200 mL 容量瓶中; 不容物用少量去离子水反复冲, 离心, 清洗液一并倒入容量瓶, 定容至 200 mL, 待测。烘干不容物并称量, 计算淋溶率。元素测试在南京大学现代分析测试中心用等离子体发射光谱 (ICP-AES) 完成, 分析误差经标样控制, 误差小于 10%。

2 结果与分析

2.1 地层时代与沉积相变化

样品的等效剂量、年剂量率、OSL 年龄结果及其他信息见表 1。样品的光释光年龄根据 Aitken^[8] 提供的方法计算得到。H6 剖面的 8 个样品除了底部两个年代以外, 其它 6 个样品的年代均落在全新世的范围内。所有年代在误差范围内均随深度的增加而变老, 没有出现年代倒置的现象。

表 1 样品等效剂量以及石英 OSL 年龄结果

Table 1 D_e determination and OSL ages

样品编号	采样深度 /m	等效剂量 (Gy)	总剂量率 (Gy/ka)	年代 /Ka
H6-1	3.30	100.8 ± 2.7	2.20 ± 0.22	45.9 ± 4.7
H6-2	3.00	75.8 ± 2.0	2.27 ± 0.22	34.6 ± 3.5
H6-3	2.75	18.0 ± 0.2	1.77 ± 0.17	10.2 ± 1.0
H6-4	2.47	16.2 ± 0.2	1.88 ± 0.18	8.7 ± 0.8
H6-5	2.20	15.17 ± 0.4	2.30 ± 0.22	6.7 ± 0.7
H6-6	2.00	9.42 ± 0.15	2.17 ± 0.16	4.3 ± 0.3
H6-7	1.70	5.7 ± 0.1	2.54 ± 0.18	2.2 ± 0.2
H6-8	1.41	3.10 ± 0.15	3.39 ± 0.24	0.93 ± 0.07

H6 剖面下部冲、洪积相地层, H6-1 与 H6-2 的年代分别为距今 $(45.9 \pm 4.7) \text{ ka}$ 、 $(34.6 \pm 3.5) \text{ ka}$, 对应末次冰期大间冰阶晚期; 其上地层逐渐过渡为褐色中细砂, 河流或湖滨相。中部青灰色地层, H6-3 与 H6-4 的年代分别为距今 $(10.2 \pm 1.0) \text{ ka}$ 、 $(8.7 \pm 0.8) \text{ ka}$ 。另据 GSN 剖面的沉积相与 OSL 年代测试, 大致在这个时段, 黄旗海湖面一直维持在 1 320 ~ 1 330 m 左右的高度^[9]。H6 此层段为深湖相沉积, 湖泊水动力环境较为稳定, 沉积速率应较为均匀, 根据该层已有的两个年代和深度的关系, 线性内插得到该层下界限年代为 $(11.4 \pm 1.1) \text{ ka}$ (误差取 10%)。其上浅青灰地层的三个年代分别为 $(6.7 \pm 0.7) \text{ ka}$ 、 $(4.3 \pm 0.3) \text{ ka}$ 和 $(2.2 \pm 0.2) \text{ ka}$ 。剖面顶部 1.4 m

为洪积与冲积相,块状堆积,夹两个褐色含黏土含砂粉砂层,疑为风成沉积。

2.2 粒度分析

湖泊沉积物粒度组成对湖泊水位波动反应敏感,可以用来反演湖面波动状况,重建气候的干湿变化^[10,11]。经典的湖泊机械碎屑沉积模式认为,近湖滨水动力较强,颗粒较粗,湖泊中心深水区,水动力条件弱,颗粒较细,沉积物在平面上具有同心圆状分布特点。据此,可以通过粒度变化来推断湖泊的涨缩。

图 2 反映了 H6 剖面黏土、粉砂(5~63 μm)、砂(>63 μm 颗粒,包括大于 125 μm 组分)以及大于 125 μm 颗粒组分含量随深度的变化情况。可以看出全新世湖相地层沉积主要为粉砂,其含量平均达到 61%,砂次之,黏土最少。早全新世,沉积物颗粒最细,砂及大于 125 μm 的粗颗粒含量较低,粉砂与黏土较高,半深湖相;中、晚全新世,粒度变粗,黏土与粉砂降低,砂及大于 125 μm 的粗颗粒增加,浅湖相。顶部冲洪积相以砂质(>63 μm 颗粒)组分为主,与湖相地层炯异(图 2)。

综合粒度与沉积相变化,H6 剖面完整揭露了全新世大湖期湖泊扩张—稳定—萎缩的一个完整湖泊

演化旋回,具体表现在:1)距今(11.4±1.1) ka 前后,湖泊经历了一个快速的扩涨事件。沉积相由滨湖(或河流)相深褐色中细砂突变为湖相青灰色砂质粉砂,期间的过渡层极薄,仅 1~2 cm 厚,显示了湖泊环境的突变;2)湖泊快速扩涨后,黄旗海进入了全新世大湖期,剖面所在的位置湖泊水动力环境弱,湖泊环境稳定,机械碎屑沉积较细,为半深湖相。3)约在(9.3±0.9~7.7±0.7) ka,沉积物颗粒逐渐变粗,砂及大于 125 μm 的粗颗粒增加显著,粉砂及黏土含量明显降低,表明水动力环境增强,指示湖水变浅,湖泊萎缩。4)(7.7±0.7~6.7±0.7) ka,大湖期结束阶段,粒度急剧变粗,粉砂与黏土明显减少,指示水动力条件增强,湖泊急剧萎缩。

也就是说,大湖期开始湖水快速上涨,具有突变性;早期湖面最高,湖泊最深(由于黄旗海主要是降水补给为主,湖泊变深指示流域有效降水 P-E(P 为降水,E 为陆面蒸发)增加),中期湖泊便有所萎缩,在全新世中期,湖泊积聚萎缩,大湖期结束。

那么对于 H6 剖面浅湖相部分,相对于半深湖相段,砂及大于 125 μm 的粗颗粒均升高,黏土和粉砂的含量降低,说明此时湖泊水动力较前一时段明显加

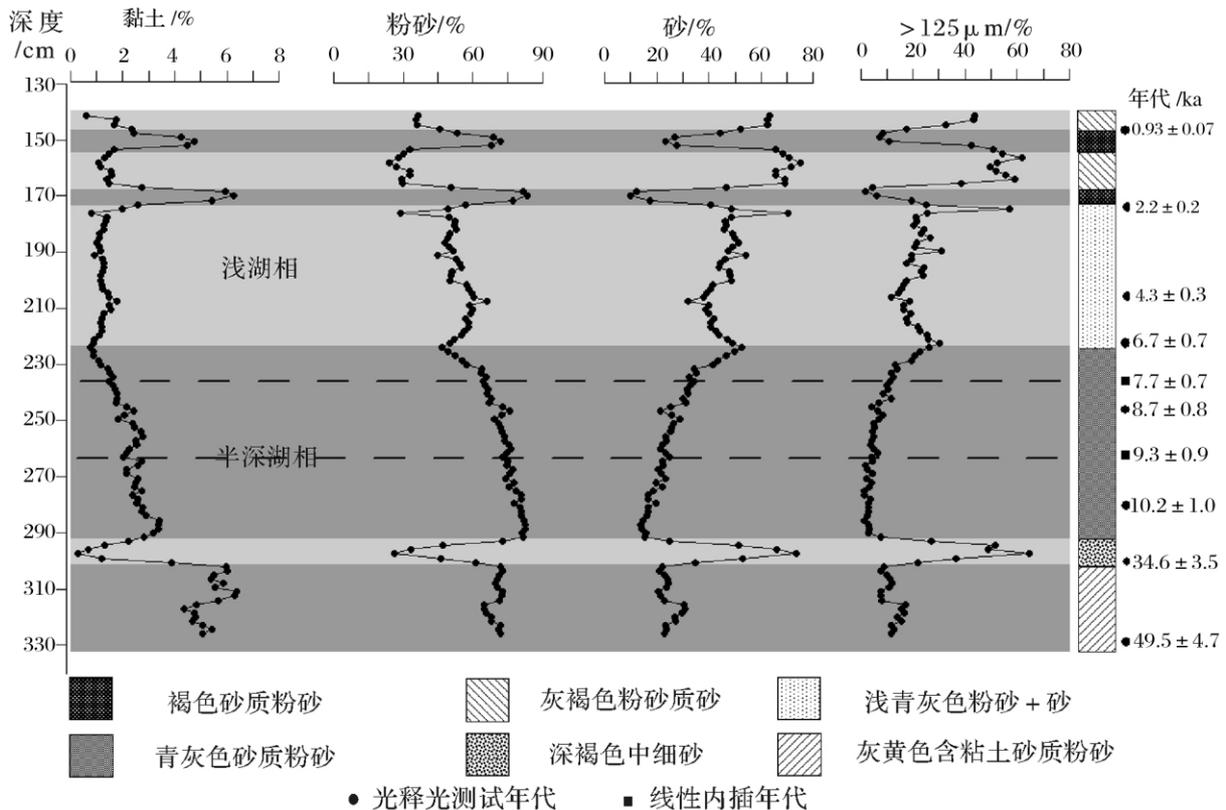


图 2 黄旗海 H6 剖面地层序列及湖相地层粒级组分含量

Fig. 2 Stratigraphy and grain size data plotted against depth for Section H6 in Huangqihai Lake

强。(6.7±0.7~4.3±0.3) ka 时段,从湖泊急剧萎缩到大湖期结束这一突发的干冷事件后,便快速回升。(2.2±0.2) ka 时段之后,湖泊水位持续波动,沉积相发生了剧烈的变化,出现了两层古土壤和一层湖滨沙。

2.3 元素地球化学

湖泊沉积中元素含量的变化能通过揭示湖泊水体某些化学属性的变化来反映气候环境的变化^[12,13],尤其 Sr/Ca 比值与碳酸盐含量等,是不可或缺的地球化学指标。

由于醋酸淋溶只对碳酸盐起作用^[14],因此,醋酸淋溶率反映的是湖泊沉积中碳酸盐含量的高低。H6 剖面淋溶率与沉积相的变化具有显著的一致性,且与 Ca、Sr 等易形成碳酸盐矿物沉淀的元素含量显著相关(图3)(Ca、Sr 含量与淋溶率的相关系数分别达 0.942 和 0.935,通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著水平检验)。其中,深湖—半深湖相地层的淋溶率与 Ca、Sr 等元素浓度均比较高,浅湖相比较低。

淋溶率高表明沉积物中碳酸盐含量高,这一方面指示随着湖泊扩大,剖面所在位置远离湖岸,外源碎屑沉积通量降低,造成碳酸盐沉积通量相对较高;另外,湖泊扩涨,湿润的气候环境(可能伴随着暖,因为在东亚季风区中国北方在千百年尺度上气候具有暖与湿的配比特点^[15])有利于激发湖泊的初级生产力,造成碳酸盐沉积加剧。大量研究认为浮游生物光合作用引起的二氧化碳同化作用是湖泊内生碳酸钙沉淀的重要因素^[16,17],气温高,浮游生物光合作用增强,湖泊水体中的 CO_2 被大量吸收,致使 $\text{X} + 2\text{HCO}_3^- = \text{XCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ 的反应平衡向右移动,导致碳酸

盐沉淀。

若湖泊环境表现出与上述两个因素相反的趋势,会造成碳酸盐沉积通量降低,淋溶率降低。

黄旗海流域主要是太古代变质火山岩与第三纪玄武岩,无碳酸岩出露。湖泊碳酸盐主要是湖泊内生环境的产物,这从湖相地层尤其是半深湖相地层淋溶率与 Ca、Sr 等元素含量远高于浅湖相可以得到证明。因此,在湖相地层,特别是半深湖相地层中,某些元素含量变化,可指示湖泊内生环境的变化。

例如, Sr/Ca 比值可以用来指示湖泊水体盐度,其高值指示湖水盐度较高,其低值指示湖水盐度较低^[18]。以往的研究多是基于腹足类、介形类等生物的钙质壳体开展这个方面的研究^[19,20],主要是为了规避外源碳酸盐的影响,不过,如果湖泊碳酸盐以内生作用为主,在理论上效果是一样的。

另外,流域内化学风化程度的强弱,也有相应的指标指示,许多研究倾向基于全样品的 Rb/Sr 比值。本研究尝试采用湖泊碳酸盐中的 Mn/Li 比值。采用这对元素,是基于如下考虑:1) Mn、Li 元素所富集的矿物具有不同的抗风化能力, Mn 主要富集在抗风化能力较弱的基性、超基性岩中, Li 分散性强,主要富集在酸性岩石中。因此在化学风化过程中, Mn、Li 元素可由其赋存矿物的抗风化能力不同而产生分馏或分离;2) 游离的锰、锂在湖泊过程中具有相似的矿物配比关系,这在附近的岱海湖泊沉积研究中得到过证实^[21]。金章东^[21]通过连续提取法分析了湖泊沉积中元素在不同的矿物相态的富集特点,结果表明 Mn、Li 元素在碳酸盐结合态、水可溶态、可交换态、铁锰氧化物结合态与有机质结合态中具有较为一致的配

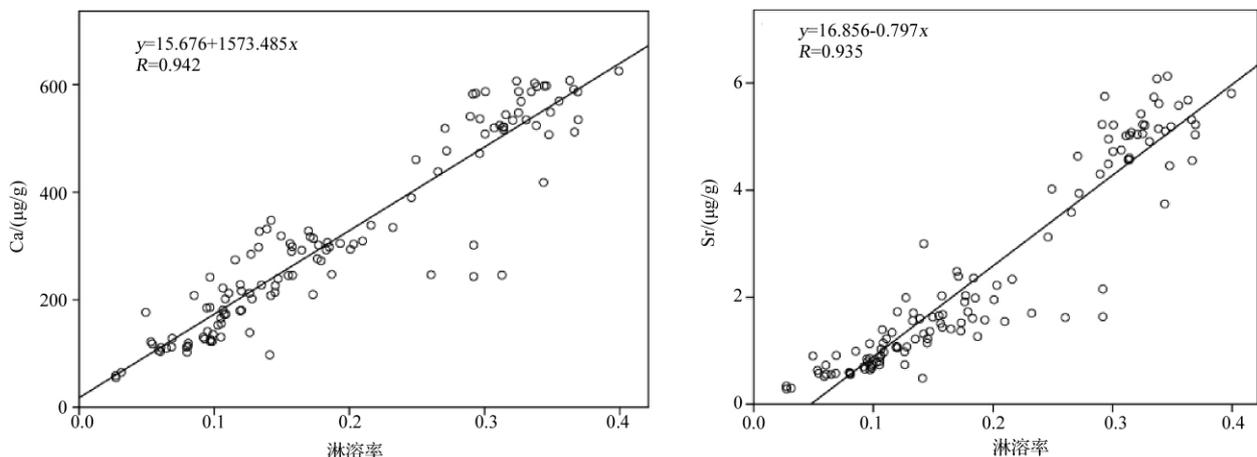


图3 Ca、Sr 元素浓度与淋溶率相关关系

Fig. 3 correlativity analysis of Ca、Sr element concentration and leaching ratio of sediments of Section H6 in Huangqihai Lake

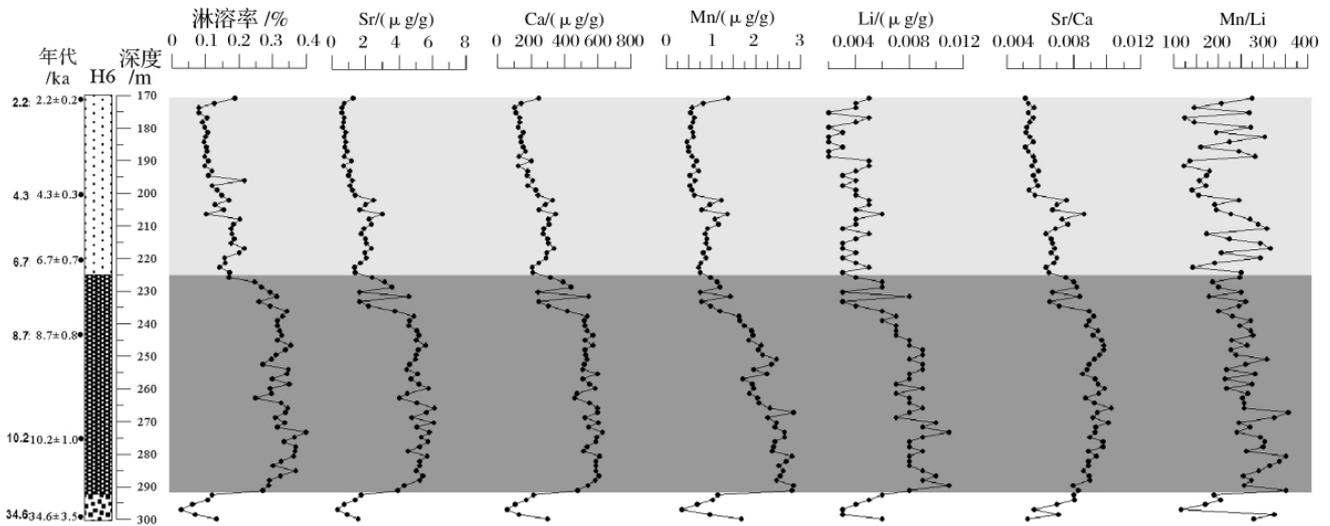


图4 黄旗海 H6 剖面淋溶率、元素及元素比值变化曲线

Fig. 4 Variation of HAc leaching ratio, element and element ratio for Section H6 in Huangqihai Lake

比。这意味着碳酸盐结合态中锰与锂元素含量,可定量估测 Mn 、 Li 在整个化学风化过程淋溶及分馏的程度,也就能估测流域化学风化的相对强弱。

根据图4所示,H6剖面从(半)深湖相—浅湖相地层, Sr/Ca 比值表现为快速升高—基本稳定—渐趋降低—急剧降低,这与一个湖泊轮回过程中盐度的变化是一致的。

Mn/Li 比值揭示,在大湖期的早期阶段,比值较高且波动较为剧烈,中、晚期波动降低。这与大湖期的早期湖泊最广阔,流域有效降水 $P-E$ (P 为降水, E 为陆面蒸发)增加,流域存在有利于化学风化的湿润气候,大湖期的中、晚期湖泊有所萎缩,气候可能偏干的推论是相吻合的。

为了进一步论证 Mn/Li 比值的意义,我们将其与粉砂含量进行对比,发现二者具有较为一致的变化节奏。上文已知粒度(包括粉砂)变化指示了湖面的波动状况,而湖面波动指示了流域有效降水的变化,而降水是化学风化强弱的重要驱动因子。 Mn/Li 比值与粉砂含量变化的一致性,间接证实 Mn/Li 比值可以作为化学风化的指示。

3 讨论

基于 ^{14}C 年代和地质、地貌证据,李华章等^[22]与李栓科等^[23]认为黄旗海湖面开始上涨的时间是11~8 ka BP,但表现为冷湿气候,距今9.5 ka BP左右,湖面海拔大约在1310 m左右;8~6 ka BP湖面海拔达到1340 m左右,比现代湖面高70余米,为全新世

的适宜期,之后湖泊开始波动萎缩。这些证据揭示的全新世湖泊涨缩,最高湖面出现在全新世中期(8.0~6.0 ka BP)。

本文认为黄旗海最高湖面出现在全新世早期,也就是这次湖涨的早期,也就是说黄旗海全新世大湖期在早期便达到了鼎盛阶段,之后湖泊便具有萎缩趋势,显著不同于本流域已有的研究,也早于区域上的全新世适宜期出现在8.0~6.0 ka BP的传统观点。

这些不同来自于如下两个因素:1)年代控制的不确定性;2)全新世东亚夏季风的强度演化的不同认识。

本流域的早已有年代研究,主要是基于 ^{14}C 测年,但是主要是基于全样有机碳的测年,没有考虑碳污染因素,年代结果也没有经过日历年的矫正,因此其年代结果存有问题。申洪源^[24]首次在黄旗海的研究中应用OSL年代测试,同时也测试了一些 ^{14}C 数据,对与本剖面沉积序列相似的H3剖面进行了年代标定,测试的OSL年代与层位上相邻的 ^{14}C 年代(未进行树轮矫正)大致相近,作者由此标定了H3的年代,但整体比H6剖面OSL年代晚至少2000年。我们知道OSL年代时标是距今年代,在这个意义上,它与日历年是相同的,而 ^{14}C 年代,由于碳库效应以及老新碳汇入等问题,必须矫正才能与日历年进行比较,因此,H3年代控制是有些问题的。

虽然OSL年代应用在风成沉积序列中较为成熟,在水成沉积物的应用中还存在一些问题,但是在本研究中我们进行了一系列的条件实验,结果证明

OSL 在本研究区是可行的。作者曾对黄旗海几个剖面进行的常规¹⁴C 年代测试表明,由于老碳混入和碳库效应严重,年代结果往往异常混乱。H6 剖面的 8 个 OSL 年代没有发生倒置,全新世样品的等效计量值都很集中,呈标准正态分布,测年误差均在 10% 以内,基本都存在一条标准生长曲线^[9]。因此本文采用了 OSL 年代序列。

对于全新世东亚夏季风的强度及其演化序列,历来存在较多争议^[25, 2]。近年来石笋的氧同位素记录逐渐对明确这个问题提供了一些思路,其精度较高的 U—Th 定年具有重要的时标意义。来自于东亚中纬度的诸多洞穴石笋记录认为 Younger Drays 结束后,夏季风迅速增强,在 9.0 ka BP 达到最大强度,之后波动减弱,在 6.0 ka BP 前后显著减弱^[26, 27]。这个年代序列所揭示的东亚夏季风的变化与本文黄旗海大湖期湖面波动的年代框架是吻合的,因此我们初步认为黄旗海在早全新世出现高湖面甚至是全新世最高湖面是可信的。

4 结论

通过对黄旗海湖泊沉积物粒度及地球化学指标分布规律的研究,得出如下结论:

(1) 早全新世,湖泊开始快速扩张,湖水变深,黄旗海出现了高湖面,此后湖泊水位便呈现缓慢下降趋势,中全新世大湖期结束。

(2) 黄旗海早中全新世时期的大湖期湖泊演化变现为:(11.4 ± 1.1 ~ 9.3 ± 0.9) ka,为(半)深水环境,湖泊沉积粒度较细,水动力环境弱,淋溶率及各元素含量均较高,湖水盐度低、流域气候条件有利于化学风化;(9.3 ± 0.9 ~ 7.7 ± 0.7) ka,湖水有所变浅、湖泊有所萎缩,湖泊沉积粒度变粗,砂质增加,水动力环境渐强,淋溶率及各元素含量降低,湖泊盐度升高、流域化学风化能力降低;(7.7 ± 0.7 ~ 6.7 ± 0.7) ka,大湖期结束阶段,指标记录存在剧烈波动,揭示气候具有宽幅震荡特征。

(3) 此外元素结果很好的记录了黄旗海地区全新世以来的环境变化。并且基于黄旗海湖泊碳酸盐以内生作用为主,因此 Sr/Ca 比值可以用来指示湖泊水体盐度。沉积物中 Sr/Ca 值和淋溶率的同步变化进一步证明了这一点。

参考文献 (References)

1 Shi Y F, Kong Z Z, Wang S M, *et al.* Mid-Holocene climates and en-

- vironments in China [J]. *Global and Planetary Change*, 1993, 7: 219-233
- 2 安成邦,冯兆东,唐领余. 黄土高原西部全新世中期湿润气候的证据 [J]. *科学通报*, 2003, 48(21): 2280-2287 [An Chengbang, Feng Zhaodong, Tang Lingyu. Evidence of a humid mid-Holocene in the western part of Chinese Loess Plateau [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(21): 2280-2287]
- 3 Zhao Y, Yu Z, Chen F H, *et al.* Holocene vegetation and climate change from a lake sediment record in the Tengger Sandy Desert, north-west China [J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72: 2054-2064
- 4 Li X Q, Zhou W J, An Z S, *et al.* The vegetation and monsoon variation at the desert-loess transition belt at Midwan in northern China for the last 13ka [J]. *The Holocene*, 2003, 13: 770-784
- 5 Chen F H, Wu W, Holmes J A, *et al.* A mid-Holocene drought interval as evidenced by lake desiccation in the Alashan Plateau, Inner Mongolia China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003a, 48: 1401-1410
- 6 Chen F H, Lan H C, Lou J Y, *et al.* The dry Holocene megathermal in Inner Mongolia [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003b, 193: 181-200
- 7 申洪源,贾玉连,李徐生,等. 内蒙古黄旗海不同粒级湖泊沉积物 Rb、Sr 组成与环境变化 [J]. *地理学报*, 2006, 61(11): 1209-1217 [Shen Hongyuan, Jia Yulian, Li Xusheng, *et al.* Environmental change inferred from distribution of Rb and Sr in different grain size fractions from lacustrine sediments in Huangqihai Lake, Inner Mongolia [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(11): 1209-1217]
- 8 Aitken M J. *An Introduction to Optical Dating* [M]. Oxford: Oxford University Press, 1998: 1-60
- 9 Zhang J R, Jia Y L, Lai Z P, *et al.* Luminescence chronology of Huangqihai Lake and the Holocene climate change in semi-arid northern China [J]. *The Holocene*, 2011, in press
- 10 陈敬安,万国江,徐经意. 洱海沉积物粒度记录与气候干湿变迁 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(3): 341-345 [Chen Jing'an, Wan Guo Jiang, Xu Jingyi. Sediment particle sizes and the dry-humid transformation of the regional climate in Erhai lake [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(3): 341-345]
- 11 孙千里,周杰,肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古环境意义 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 21(1): 93-95 [Sun Qianli, Zhou Jie, Xiao Jule. Grain-size characteristics of Lake Daihai sediments and its paleoenvironment significance [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2001, 21(1): 93-95]
- 12 Deurer R, Forstner U, Schmoll G. Selective chemical extraction of carbonate-associated metals from recent lacustrine sediments [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, 42: 425-427
- 13 Quade J, Chivas A R, McCulloch M T. Strontium and carbon isotope tracer and origins of soil carbonate in South Australia and Victoria [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1995, 113: 103-117
- 14 刘连文,王洪涛,陈旸,等. 黄土醋酸淋溶实验及其碳酸盐组分的地球化学特征 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2002, 21(1): 69-75 [Liu Lianwen, Wang Hongtao, Chen Yang, *et al.* Chemical leaching of loess deposits in China and its implications for carbonate composi-

- tion [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2002, 21(1): 69-75]
- 15 王苏民, 冯敏. 内蒙古岱海湖泊环境变化与东南季风强弱的关系 [J]. *中国科学: B 辑*, 1991, 7: 759-768 [Wang Sumin, Feng Min. Environmental change recorded in the Daihai Lake and its relationship with the change in strength of the southeast monsoon [J]. *Science in China: Series B*, 1991, 7: 759-768]
 - 16 Lerman A. *Lakes-Chemistry, Geology, Physics* [M]. New York: Springer-Verlag Inc. 1978: 179-236
 - 17 Camoin G F, Gautret P, Montaggioni L F, *et al.* Nature and environmental significance of microbialites in Quaternary reefs: The Tahiti paradox [J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 126: 271-304
 - 18 曹建廷, 沈吉, 王苏民, 等. 内蒙古岱海地区小冰期气候演化特征的地球化学记录 [J]. *地球化学*, 2001, 30(3): 231-235 [Cao Jianting, Shen Ji, Wang Sumin, *et al.* Geochemical record for the characteristics of climate change during the Little Ice Age in Daihai Lake, Inner Mongolia [J]. *Geochimica*, 2001, 30(3): 231-235]
 - 19 张彭熹, 张保珍, 杨文博. 青海湖冰后期水体环境的演化 [J]. *沉积学报*, 1988, 6(2): 1-14 [Zhang Pengxi, Zhang Baozhen, Yang Wenbo. The evolution of the water body environment in Qinghai Lake since the postglacial age [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1988, 6(2): 1-14]
 - 20 朱育新, 吉磊, 王苏民. 介形类壳体中 Sr/Ca 及 Mg/Ca 比值的 ICP-AES 测定 [J]. *湖泊科学*, 1996, 8(2): 179-183 [Zhu Yuxin, Ji Lei, Wang Sumin. Determination of Sr/Ca and Mg/Ca ratios in ostracod shells with inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1996, 8(2): 179-183]
 - 21 金章东, 邹成娟, 李福春, 等. 湖泊沉积物中元素相态的连续提取分析——以岱海为例 [J]. *湖泊科学*, 2005, 17(1): 47-53 [Jin Zhangdong, Zou Chengjuan, Li Fuchun, *et al.* Element distribution in chemical fractions of lake sediments determined by sequential extraction: the case of Daihai Lake [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2005, 17(1): 47-53]
 - 22 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 [Li Huazhang, Liu Qingsi, Wang Jiaying. Study of evolution of Huangqihai and Daihai Lakes in Holocene in Inner Mongolia plateau [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1992, 4(1): 31-39]
 - 23 李栓科, 王涛. 全新世内蒙古南缘黄旗海湖面的波动 [J]. *湖泊科学*, 1993, 5(4): 324-334 [Li Shuanke, Wang Tao. Study of fluctuations of closed lake level of Huangqihai Lake in Inner Mongolia since Holocene [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1993, 5(4): 324-334]
 - 24 申洪源, 张红梅, 贾玉连. 内蒙古黄旗海湖泊沉积物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 记录的环境演变信息 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, 25(4): 35-40 [Shen Hongyuan, Zhang Hongmei, Jia Yulian. An organic carbon isotopic record from sediments of the Huangqihai Lake, Inner Mongolia: Implications of environmental evolution [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2005, 25(4): 35-40]
 - 25 An Z S, Porter S C, Kutzbach J E, *et al.* Asynchronous Holocene optimum of the East Asian monsoon [J]. *Quaternary Science Review*, 2000, 19(8): 743-762
 - 26 Maher B A. Holocene variability of the East Asian summer monsoon from cave records: a reassessment [J]. *The Holocene*, 2008, 18: 861-866
 - 27 段福才, 汪永进, 童进国, 等. 13ka 以来东亚夏季风演变过程和全新世适宜期问题 [J]. *地球化学*, 2009, 38(2): 106-113 [Duan Fucai, Wang Yongjin, Tong Jinguo, *et al.* Long-term trend of East Asian summer monsoon over the last 13ka and a preliminary discussion on Holocene Optimum [J]. *Geochimica*, 2009, 38(2): 106-113]

Climate Variations During Early to Mid-Holocene in Huangqihai Lake in Northern China Based on the Lake Deposit Analysis

XU Jia-jia¹ JIA Yu-lian¹ LAI Zhong-ping² WANG Peng-ling³ XU Min¹ SHEN Hong-yuan⁴

(1. Institute of Geography and Environment Jiangxi Normal University, Wetland and Watershed Research of Poyang Lake Educational Ministry Key Laboratory, Nanchang 330022;

2. State Key Laboratory of Cryospheric Science, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

3. Climate Center of Meteorological Administration China, Beijing 100866;

4. School of Chemistry & Resource Environment, Linyi University, Linyi Shandong 277110)

Abstract: Climate change in the north margin of the East Monsoon area is sensitive to the intensity of summer monsoon, so this zone is a key region of the past climate research, where changes of the water levels of the closed lakes and areas of lakes are the important indicators of climate change. Lake sediments are valuable archives of past climates providing a detailed regionally climatic record of variations. Previous results for Holocene climate change show some discrepancies. Some researchers reported that there was a cold and dry climate state with low lake level stands

during the Early Holocene(11.0 ~ 8.0 kaBP) , and the climate in the Mid Holocene(8.0 ~ 5.0 kaBP) , however , was warm and wet (Holocene Optimum) with high lake level stands. But , in recent years , new developed records indicate a mid Holocene drought existed in the East Asian monsoon marginal area. This paper presents a new record from Huangqihai Lake to address the pattern of Holocene climate change.

Huangqihai Lake (40°41′-41°43′N , 112°49′-113°40′E) , a closed-basin lake in Inner Mongolia of China , lies at the northern limit of the East Asian summer monsoon and in the central part of Asian Winter Monsoon. Thus , its lacustrine sediment sensitively recorded the changes of the monsoon system. The catchment basin consists of metamorphic pyrogenic rock , Tertiary basalt and Quaternary clastic sediments. Multi-level sand ridges and lacustrine sediment were exposed in the present lake shore plain , which are ideal materials of recording lake evolution.

Section H6 (N40°50′11" , E113°23′8") at the front margin of the first lake terrace of Huangqihai Lake was exposed due to the stream downcut of the Bataigou River. The sedimentary stratigraphy were composed of lacustrine and fluvial deposits. Based on OSL chronology , the grain size data and the elements analysis , we concluded that Huangqihai Lake maintained a high lake level state during early and middle Holocene(ca. 11.4 ± 1.1 ~ 6.7 ± 0.7kaBP) . This high lake level period can be divided into three phases as follows. At the first phase(11.4 ± 1.1 ~ 9.3 ± 0.9 kaBP) , proportions of clay and silt show a gradually increase dominated by the silt fraction , contrary to the sand fraction , and high contents of chemistry elements; which indicate that the lake experienced the high lake level and wet climate was in favor of chemical weathering activity at that time. At the second phase(9.3 ± 0.9 ~ 7.7 ± 0.7kaBP) , the proportions of silt and clay began to decrease and the sand fraction was increasing. The lake salinity had been rising and the contents of chemistry elements had been falling. these showed that the lake level began to decline , and the climate became drying , and the chemical weathering appeared weakening for a dry climate state. At the third phase(7.7 ± 0.7kaBP ~ 6.7 ± 0.7kaBP) , corresponding to the end period of Maximum lake level , the dramatically fluctuation of proxies shown the characteristics of largely oscillation. Meanwhile , preliminary studies about element ratio of Mn/Li suggested that this ratio could be regarded as a proxy of chemical weathering in catchment.

Key words: Huangqihai Lake; Holocene great lake period ; HAc leaching; Sr/Ca; Mn/Li