

若尔盖盆地 RM 孔揭示的 过去 14 万年古环境*

薛 滨 王苏民 吴艳宏 夏威岚
吴敬禄 钱君龙 胡守云 王云飞

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提 要 根据青藏高原东部若尔盖盆地 RM 孔湖泊沉积物自生碳酸盐碳氧同位素, 碳酸盐含量, 木本花粉含量以及有机质含量分析, 重建了 14 万年以来的古气候与古环境过程, 结果表明, 14 万年以来有 5 个气候环境显著变化时期, 对应于深海氧同位素 5 个阶段. 5 阶段对应于末次间冰期, 又可分为 5 个次级阶段(5a-5e), 其中 5e 又可进一步分为(5e₁-5e₅), 4 阶段以来记录了一系列冷事件, 文章对 RM 孔记录与邻区及全球的相关记录进行了对比. 研究表明, 3 阶段同样是一个引人注目的时期, 气候条件改善明显.

关键词 若尔盖盆地 湖泊沉积 古气候环境 140kaBP

分类号 P532

青藏高原对现代北半球大气环流有着至关重要的影响, 理解高原隆升的过程及相应的环境变化, 尤其是高原加速隆升的晚更新世其边界条件状况, 对检验和改进全球变化数字模拟模型, 有效减少未来趋势预测的不确定性, 将起极为重要的作用^[1]. 然而, 青藏高原地区长期以来缺乏长尺度、连续的古气候记录, 使得对高原过去环境条件难以有深入的了解, 若尔盖盆地 RM 孔 310m 连续湖泊岩芯的提取为研究高原中更新世以来的环境过程提供了可能.

作为青藏高原攀登项目“青藏高原形成、环境演化和生态系统研究”的湖泊深钻专题, 1992-1993 年对若尔盖盆地进行了野外踏勘, 钻取了一长 310m 的湖泊岩芯(RM 孔), 底界年龄已达 900kaBP. 该孔位于盆地的沉积中心(33°57'N, 102°21'E), 取心率 90%, 是迄今青藏高原最深的全取心井^[2]. 全井沉积岩性较细, 以青灰色、灰色、褐棕灰色的粉砂质泥、泥质粉砂和粉砂为主, 夹薄层泥炭, 局部有细砂层, 未见中砂以上的粗碎屑沉积. 本文主要根据湖泊沉积物物理、化学、生物等环境多代用指标的综合判识, 重建钻孔上部 140kaBP 以来环境演化过程.

1 研究盆地背景

若尔盖盆地位于西南季风的边缘, 年均温约 0.6-1.2℃, 年温差仅 19.1-21.2℃. 盆地区内年降雨量 622-827mm, 夏秋季降雨占全年的 86%-90%. 若尔盖盆地面积约 19600km², 是一个典型的受控于 NWW、NE 和 NW 向断层的断陷盆地, 盆地在北、东、南为 4000-5000m 的高山所环绕, 西部和宽广的黄河谷地衔接. 若尔盖古湖受三条河流补给, 即白河、黑河及黄河.

* “八五”国家攀登计划(KJ-85-07-2)和国家科委资助项目.
收稿日期: 1996-03-31; 收到修改稿日期: 1997-06-20. 薛滨, 男, 1970 年生, 副研究员.

约 30kaBP 前后古湖为黄河袭夺疏干^[3], 沼泽开始发育。

区域水文地质钻孔已经揭示盆地内分布巨厚的松散堆积, 甚至可达几百米, 沉积中心位于黑河的下流。RM 钻孔的位置处于盆地中心范围, 地面高程约 3400a. s. l., 孔深 310.46m。

该孔共获得 5 个有机质泥样的¹⁴C 年龄数据, 即: 3324 ± 145aBP(2.6m), 3428 ± 124aBP(2.8m), 6167 ± 155aBP(4.1m), 21600 ± 1500aBP(6.3m), 33140 ± 2350aBP(8.2m), 大于 40000aBP(12.45m)。古地磁测试结果表明布莱克事件(110kaBP)位于 24.76 – 25.48m。钻孔的年代序列建立在湖泊沉积的固结模型基础上^[4]。研究表明, 钻孔顶部 31m 代表过去 14 万年以来的沉积, 这一时段包含了距今最近的一个完整的冰期—间冰期旋回, 也是本文的研究对象。其中 31 – 8m 以泥质粉砂、粉砂、粉砂质泥为主, 夹薄层泥炭沉积, 8m 以上逐渐过渡为黄灰色河流相砂质沉积, 对应若尔盖古湖被黄河切穿。古环境的重建主要通过自生碳酸盐碳氧同位素($\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$), 碳酸盐含量, 木本花粉含量以及有机质含量分析, 采样间距 10cm。

2 分析结果

2.1 自生碳酸盐稳定同位素含量(图 1a, 1b)

为了避免陆源碎屑碳酸盐的干扰, 通过筛分的方法, 选择小于 20 μm 粒级组分进行自生碳酸盐碳氧同位素分析。镜下观测及 X 衍射分析揭示 RM 孔自生碳酸盐主要由单一方解石组成, 因此, RM 孔湖相自生碳酸盐的氧碳同位素分析能用来指示古环境^[5]。然而, 影响碳酸盐¹³C 与¹⁸O 变化的因素较为复杂, 如温度、盐度、湖水硬度等等, 要进一步研究其中的古温度信息必须通过¹³C 与¹⁸O 变化的综合判识, 例如两者同步的变化能提供这方面的信息。

同位素分析结果表明, 30m 以上钻孔 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 值存在明显的负相关, 这种镜向关系可能受控于外部机制, 如流域的温度状况^[5]。究其根本机制, 在于若尔盖古湖长期以来是一个浅水湖泊, 温度相对较高, 气候状况相对适宜时, 沼泽环境频频发育^[6], 这种环境下的相对滞水条件富集¹⁸O, 同时陆生、水生植物被发育, 生物成因的 CO_2 的释放稀释了湖水总溶解无机碳(TDIC)¹³C 的含量。

此外, 若尔盖古湖长期以来只有碳酸盐沉积, 湖水的硬度可以近似地代表湖水的矿化度, 因此, 当盐度增加时, 主要受控于湖水硬度的¹³C 富集, 同时¹⁸O 也得到富集。从这一方面讲, ¹³C 与¹⁸O 的镜向变化也说明 $\delta^{18}\text{O}$ 值是古温度的有效指标, 并非受盐度条件的控制, 也即高的 $\delta^{18}\text{O}$ 值对应于暖期, 反之对应冷期。

整个剖面 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化范围在 -7.7‰ 至 -12.8‰ 之间, 从采样的间距看, 14 万年来每个样品的分辨率达 500 年。从曲线可看出, 当 $\delta^{18}\text{O}$ 处于高值时, ¹³C 含量的变化仍然较为剧烈, 表明影响重碳同位素的因素更为复杂。

2.2 有机质

氢指数(HI, 表示 $\text{mg}(\text{CH}) \cdot \text{g}^{-1}(\text{TOC})$)用热解仪测定, 总有机碳(TOC)和总氮(TN)分别用重铬酸盐容量法和过硫酸盐—紫外分光光度法分析测定^[7]。

湖泊沉积物中的 TOC 主要受控于湖泊的初始生产力、陆源有机碎屑输入及有机质沉积后的保存潜势。HI 作为反映沉积有机质组成的一种有效指标, 在湖泊沉积研究中已引起越来越多的重视。木炭和煤系物质的 HI 小于 200, 陆相植物的木质及其它木质素组织的 HI 在 200 – 500 之间, 高等植物的角质层、孢子花粉树脂等非晶质物质的 HI 在 500 – 750 之间, 而浮游植

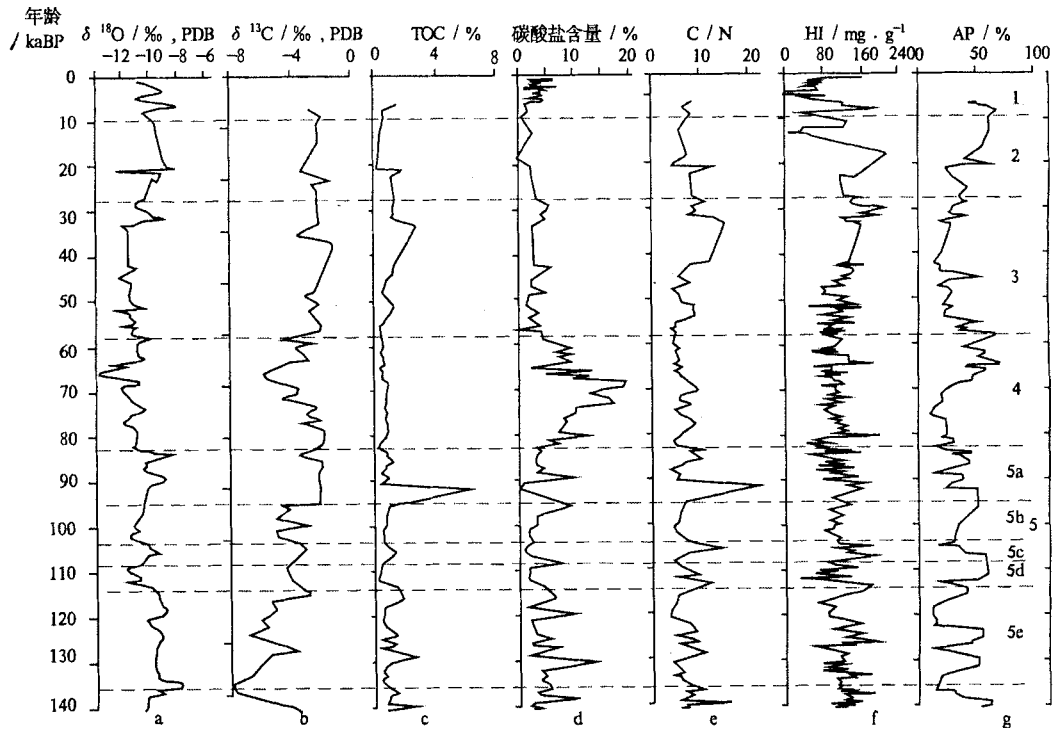


图 1 RM 孔 140kaBP 以来的各项分析结果

Fig.1 Analytical results of core RMin the past 140kaBP

物包括细菌、藻类等非晶质体的 HI 则在于 750^[8], 因此, 非常高的 HI 和 TOC 值可能来源于保存较好的藻类物质, 表明环境条件适合水生及陆生植物的生长。

同时选择 C/N 比值作为指示古环境的一项代用指标, 因为外源有机质的 C/N 比值平均为 23, 而内源有机质的 C/N 比值为 6^[9], 因此湖泊沉积物 C/N 的高值表示来源于陆源植物的组分占较大的比例, 进一步说明地表径流量的增加。因此, C/N 比值可从一定程度上反映流域径流的强度, 对于作者所研究的长尺度古环境而言, 又能进而指示区域降水量的变化, 也即 C/N 的高值对应降水的增加。

2.3 碳酸盐含量

碳酸盐总量的测定采用库仑法, 测试前用筛分的方法排除了螺壳碎屑的干扰。镜下观测表明自生碳酸盐的主要组分, 两者呈同步变化关系。因此, 图 1d 中给出的总碳酸盐变化基本能代表区域的有效温度状况。X 衍射的分析同时表明自生碳酸盐的为单一方解石, 没有检出文石、白云石等其它碳酸盐矿物。

2.4 化石花粉

花粉分析采用常规二次重液(比重 $2.1\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)浮选法提取孢粉, 总浓度按重量法求得。结果表明: 花粉浓度变化范围为 $100 - 1300\text{粒}\cdot\text{g}^{-1}$, 木本花粉主要由云杉(*Picea*), 冷杉(*Abies*), 松(*Pinus*), 栎属(*Quercus*)组成, 草本花粉的主要属种是莎草科(*Cyperaceae*), 禾本科

(Graminea), 蒿属(*Artemisia*), 藜科(*Chenopodiaceae*), 图 1g 给出的木本花粉百分数可从一定程度上反映区域的植被覆盖度。

3 钻孔记录的环境阶段

根据各项环境代用指标的综合分析, 14 万年来若尔盖古湖的环境演化过程总体可区分出以下 5 个阶段:

3.1 阶段 5(30.5–20.5m; \cong 136–82kaBP)

本阶段沉积物由灰色泥质粉砂和粉砂组成, 夹灰黑色有机残体和螺壳碎屑, 水平层理发育。高的 $\delta^{18}\text{O}$ 值、低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值表明该时期气温较高。TOC, HI, AP 和 C/N 总体处于高值, 也对应于暖温的气候。碳酸盐含量的低值及低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值表明湖水与大气的 CO_2 交换较为强烈。TOC 和 HI 的高值可从一定程度上反映生物量较为丰富和强烈的有机地球化学过程。综合上述指标分析表明, 该时期是一个水汽配置最佳时期, 代表温暖湿润的气候条件。根据环境指标的分布及年代序列, 这一阶段对应于深海氧同位素 5 阶段(MIS5), 就其内部而言, 存在几次明显的次级波动, 即 5a(20.5–22.3m, 82–95kaBP), 5b(22.3–23.7m, 95–104kaBP), 5c(23.7–24.4m, 104–107.5kaBP), 5d(24.4–25.7m, 107.5–114.5kaBP), 5e(25.7–30.5m, 114.5–136kaBP)。5a 亚阶段, 尤其是其底部, 是一个显著的暖湿时期, 5b 和 5d 为冷的气候期, 对应于 $\delta^{18}\text{O}$ 的低值, 其它指标表明这两个亚阶段气候条件偏干, 尤其 5b, 干旱条件更甚, 从同位素曲线看 5c 亚阶段较 5a 下部是一个相对弱的暖期, 但湿度条件好于 5b 和 5d。就整个 5 阶段而言, 5e 亚阶段 $\delta^{18}\text{O}$ 值最高, 反映该亚阶段是整个 5 阶段的最暖时期。5e 内部同样记录了两次快速的冷事件, 因此, 5e 也可进一步区分出 5 个次级波动(5e₁–5e₅)。其中 5e₅ 同位素记录的温度最高, 但从 C/N 看温度条件似乎到 5e₃ 才改善。

3.2 阶段 4(20.5–12.4m; \cong 82–58kaBP)

沉积物以灰色泥质粉砂为主, 上部为泥质粉砂与粉砂互层, 自生碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 的低值及 $\delta^{13}\text{C}$ 的高值表明该时期气候偏冷, 碳酸盐的显著高值暗示湖水偏咸, 反映为冷干的气候条件, TOC, HI 和 C/N 总体为低值, 与上述分析较为一致。该阶段内部 $\delta^{18}\text{O}$ 有四次明显的偏正 79kaBP(19.5m), 73kaBP(17.94m), 68kaBP(16.47m), 61kaBP(14.23m), 五次偏负 81.8kaBP(20.3m), 74.5kaBP(18.6m), 69kaBP(16.73m), 66kaBP(15.8m), 60.5kaBP(14.51m)。该时期内部气候波动也较剧烈, $\delta^{18}\text{O}$ 变化的最大幅度达 3‰。

3.3 阶段 3(12.4–6.5m; \cong 58–28kaBP)

该段的下部为灰色粉砂质泥与粉砂互层, 夹薄层泥炭层, 水平层理发育, 沉积物向上变粗, 以粉砂为主。碳酸盐含量很低, 尤其是上部, 表明水汽条件明显改善。TOC 和 HI 也为高值, 指示湖泊初始生产力的增加。C/N 比的明显高值可能是丰富的径流量的结果, $\delta^{18}\text{O}$ 向上增加, 气候较前期逐渐变暖。当然, 该时期内部仍然有一些次级波动, 从 $\delta^{18}\text{O}$ 变化看, 较明显的波动分别发生在 51.5kaBP, 51kaBP, 42kaBP, 33kaBP 和 28kaBP。

3.4 阶段 2(6.5–5.0m; \cong 28–10kaBP)

本段的岩性主要以褐黄色、黄灰色砂为主, 夹浅灰白色细砂, 层内见厘米级的槽状层理, 为明显的河流相沉积, 由于河流因素的介入, 同位素对古气候的指示意义不明显。极低的碳酸盐含量和 HI 值同样是河流作用加强的结果, 若尔盖古湖被切开, 沉积物被出露氧化。

3.5 阶段 1(5.0-0m; \cong 10-1.5kaBP)

由于 RM 孔位于现代黑河的阶地上,所以该孔缺失 1.5kaBP 以来的沉积物,据钻孔附近露头,沉积物为黄色细砂与浅灰色泥质粉砂互层.该单元内有三个明显的小沉积旋回^[10].木本花粉含量和 TOC 含量清楚地表明全新世高温期大约在 8.3-3.3kaBP(4.5-2.5m),对应黑河的高阶地顶部螺壳年代为 5580 ± 172 aBP,阶地组成物质为河间洼地的湖沼沉积,其中 5kaBP(3.5m 左右)的降温较清楚,3kaBP 以后气候明显趋干.

4 讨论

RM 孔环境多代用指标的分析,清楚地记录了 14 万年来若尔盖古湖及其周围区域的初始生产力及温度、湿度变化状况.

136-82kaBP 尽管存在明显的次级波动,但总体为暖湿的特点.由于水汽条件组合较佳,湖泊初始生产力较高,其中 5 个次级波动也可对应于深海氧同位素 5 阶段的 5a-5e,我们的记录表明 5e 最暖,5a 水汽配置最佳,而 5c 是一个弱的暖期.同样 5e 又有更小的次级波动,即 $5e_1-5e_3$,其中 $5e_1$ 是气候最暖期,这种特征与格陵兰冰芯 GRIP 结果一致^[11],反映了末次间冰期气候的不稳定性.

82-10kaBP 对应于一个完整的冰期.该孔记录了其中 7 次暖期和 6 次的波动,暖期发生在 73,68,61,51,42kaBP 对应于 GRIP 的 IS20, IS19, IS17, IS14, IS8, 5 次冷期发生在 66,51.5,33,28,21kaBP 对应深海的 H6, H5, H4, H3, H2^[4,12].值得注意的是同位素 3 阶段, C/N 比的明显峰值及其它代用指标指示了河流作用的加强,从另一个侧面也可说明流域内降水增加.3 阶段的这种显著特征在青藏高原比较普遍,高原湖泊为一个明显的扩张时期^[12],古里雅冰芯有着同样的记录,是否这是高原的独特现象,还是具有全球的意义,有待更多的地质资料进行证实.

由于本文参考的湖相沉积物的沉积固结模型与冰芯及深海的定年模型有明显的差异,所以各个冷暖阶段、事件的起止年龄与全球的记录是有差别的.但总体来说,这些事件仍然能够进行对比^[4].RM 孔一系列快速大幅的冷事件不仅在附近我国黄土高原有记录,甚至在整个北半球都有反映,Porter 等^[14]根据数值模拟的结果提出了所谓“表层风暴潮”经向加强的机制解释,这种解释是否合理,以及是否有地区的时间先后等等问题均需进一步论证.

此外, RM 孔同样记录了末次间冰期早期(5e)的快速冷事件,这种现象在我国黄土高原还没见报道,但在青藏高原的东北部有着类似的记录^[15],是否这些事件也是所谓“Heinrich”事件,究竟是否同样的驱动机制,青藏高原在其中扮演什么角色,仍需进一步研究.

致谢 沈才明副研究员提供孢粉数据,张平中副研究员提供氢指数数据,一起参加野外的还有吉磊同志,张惠玉同志协助清绘图件,在此一并表示感谢.

参 考 文 献

- 1 Flohn H. The elevated heat source of the Tibetan highlands and its role for the large scale atmospheric circulation. In: Geological and Ecological Studies of the Qinghai - Xizang Plateau. Beijing: Science Press, 1981, 2:1463 - 1469
- 2 王苏民, 薛滨. 中更新世以来若尔盖盆地环境演化与黄土高原比较研究. 中国科学, 1996, 26(4):323 - 328
- 3 王云飞, 王苏民, 薛滨等. 黄河袭夺若尔盖古湖时代的沉积学依据. 科学通报, 1995, 40(8):273 - 275
- 4 吴敬禄, 王苏民, 潘红玺等. 青藏高原东部 RM 孔 140kaBP 以来湖泊碳酸盐同位素记录的古气候特征. 中国科学, 1997, 27(3):255 - 259
- 5 Fontes J C, Gasse F and Gibert E. Holocene environmental changes in Lake Bangong basin (West Tibet), Part: Chronology and stable isotopes of carbonates of a Holocene lacustrine core, *Palaeogeogr Palaeoclimatol Plaeoecol*, 1996, 12:125 - 147
- 6 吉磊, 王苏民, 薛滨. 若尔盖盆地 RH 孔湖泊沉积物的沉积旋回及其气候波动指示. 见:孙鸿烈, 郑度主编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(1994). 北京: 科学出版社, 1995. 182 - 188
- 7 钱君龙, 王苏民, 薛滨等. 湖泊沉积研究中一种定量估算陆源有机碳的方法. 科学通报, 1997, 42:1655 - 1657
- 8 Talbot M R and Livingstone D A. Hydrogen index and carbon isotope of their environments. *Earth Planet Sci Letts*, 1989, 24:91 - 98
- 9 王苏民, 余源盛, 吴瑞金等. 岱海—湖泊环境与气候变化. 合肥: 中国科技大学出版社, 1990
- 10 王苏民等. 若尔盖盆地湖泊: 深钻岩芯记录. 见: 施雅风主编. 晚新生代以来青藏高原演化. 广州: 广东科技出版社, 1998
- 11 Grip Members. Climate instability during the last Interglacial period recorded in the GRIP core. *Nature*, 1993, 364:203 - 207
- 12 Bond G and Heinrich H. Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic ocean during the Last glacial period. *Nature*, 1992, 360:245 - 248
- 13 王富葆. 青藏高原全新世气候及环境基本特征. 见: 施雅风主编. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1993. 197 - 205
- 14 Porter S C and An Z S. Correlation climate between events in the North Atlantic and China during the Last Glaciation. *Nature*, 1995, 375:305 - 308
- 15 陈发虎, 李吉均. 末次间冰期陇西黄土记录的初步研究. 见: 孙鸿烈, 郑度主编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(1994). 北京: 科学出版社, 1995. 96 - 102

Palaeoenvironmental Reconstruction of Zoige Basin of Eastern Tibetan Plateau During the Past 140 ka

XUE Bin WANG Sumin WU Yanhong XIA Weilan
WU Jinlu QIAN Junlong HU shouyun WANG Yunfei
(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008*)

Abstract

The Tibetan Plateau plays a major role on modern atmospheric circulation of Northern Hemisphere, especially with respect to the Tropical Easterly Jet and monsoon circulation. Understanding the past climate in the plateau, especially during the late Pleistocene when the Tibetan Plateau uplifting accelerated, will be very important.

A 310m core(RM) (33°57'N, 102°21'E) collected from the central part of Zoige Basin, east Tibetan Plateau was analyzed. The upper 31m provide a continuous palaeoclimate information in the past 140ka, which is reconstructed on the basis of stable isotope analyses ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of authigenic carbonate), content of carbonate, organic matter and pollen, etc. The results reveal significant changes of palaeoenvironmental condition, induced by climate changes and/or local hydrological factors.

Five stages are identified. Stage 5 (140 – 82kaBP) equivalent to Last Interglaciation was warm and wet. The primary productivity was high due to the optimum associaton of heat and moisture. 5 substages (5a – 5e) can be divided, moreover, 5e can be further divided into 5 subordinate substages (5e₁ – 5e₅). In the record, 5e is the warmest substage among them, while 5a is the optimum, and 5c is a weakly warm period. A series of cooling events have been recorded since stage 4 (82 – 10kaBP). i. e. 66, 51.5, 33, 28, 21 kaBP, equivalent to H6, H5, H4, H3, H2 event reported in deep-sea sediment. Comparison study has been done for the RM core record with the other records adjacent and in the world. The result also shows that the stage 3 was a conspicuous period, when the climate was very optimum. The basin was cut off by the Yellow River ca 30kaBP, correspondingly the lacustrine deposits were replaced by fluvial and swamp deposits.

Key Words Zoige Basin, palaeoenvironment, 140 ka