

青藏高原中部色林错 SL-1 孔粒度参数指示的 5.33 ka BP 以来的水位变化

王海雷, 郑绵平

中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037

摘要 对取自青藏高原中部色林错深水区的 SL-1 孔开展年代学和粒度参数研究, 以此重建了该湖 5.33 ka BP 以来的水位变化。结果表明, 5.33~4.25 ka BP 是一期较为稳定的高湖面期, 湖面波动较小, 始终维持在高湖面, 后期 (4.30~4.25 ka BP) 湖面开始下降; 4.25~2.20 ka BP, 风力加强, 湖面较上一期有所降低, 属湖面降低期, 风力作用的影响增加; 2.20~1.90 ka BP, 稳定的低湖面期; 1.90 ka BP 至今, 高湖面期。但有几期短暂而快速的湖面降低, 湖面降低的持续时间一般为 20~50 a, 具有约 0.10 ka 和 0.20 ka 的周期性, 约 0.20 ka 的准周期基本贯穿了色林错自 5.33 ka BP 以来的湖面变化。这种周期在青藏高原冰芯氧同位素恢复的温度序列中也存在, 说明在百年尺度上, 温度对色林错的湖面变化有一定影响。

关键词 青藏高原中部; 色林错; 粒度; 水位变化

中图分类号 P532

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.35.003

Lake Level Changes Indicated by Grain-size of Core SL-1 Sediments Since 5.33 ka BP in Selin Co, Central Qinghai-Tibetan Plateau

WANG Hailei, ZHENG Mianping

MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments; Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

Abstract This paper studies the chronology and the grain-size of core sediments retrieved from deep area of Selin Co, central Qinghai-Tibetan Plateau (QTP), to reconstruct the lake level changes since 5.33 ka BP. Lake level changes of Selin Co are in several distinct stages: 5.33~4.25 ka BP sees a continuous high lake level with tiny fluctuations; the lake level goes down during the period of 4.25~2.20 ka BP, and the wind contributes much to the sedimentary of Selin Co; 2.20~1.90 ka BP is a stable low lake level period; 1.90 ka BP-present sees a high lake level since 5.33 ka BP with several short and fast fluctuations. 0.1 ka and 0.2 ka cycles are recovered during this period. The low lake level usually lasts for only 20~50 a. The 0.20 ka cycle, which can also be seen in the temperature sequence recorded in the ice core from the QTP, goes through the whole period since 5.33 ka BP, indicating that on the centennial scale, the air temperature is important for the lake level variations of Selin Co.

Keywords central Qinghai-Tibetan Plateau; Selin Co; grain-size; lake level change

青藏高原是全球变化研究的一个热点区域, 众多学者围绕高原开展了卓有成效的研究, 包括青藏高原各期隆升的时代及高原隆升对气候环境的影响等^[1-4]。对高原内部的气候环境变化, 也借助冰芯^[5,6]、树轮^[7-9]和湖相沉积^[10-13]等材料开展了大量的研究工作。

高分辨率是当前古气候、古环境研究的一个重要的发展趋势, 最终可为建立模拟模型和预测未来气候变化提供基础。冰芯和树木年轮具有较高的分辨率, 且定年较为可靠, 被广泛应用于近代高分辨率的气候变化研究。但两者均受分布范围的限制, 且树木样本一般年代较近, 研究范围多为

收稿日期: 2014-09-15; 修回日期: 2014-10-31

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (1212011120046); 国家自然科学基金面上项目 (41372179); 国土资源部公益性行业专项 (201311140)

作者简介: 王海雷, 副研究员, 研究方向为微体古生物和全球变化, 电子信箱: wanghailei77@126.com

引用格式: 王海雷, 郑绵平. 青藏高原中部色林错 SL-1 孔粒度参数指示的 5.33 ka BP 以来的水位变化[J]. 科技导报, 2014, 32(35): 29-34.

1~2 ka^[14]。湖泊沉积物具有连续性好,时间跨度范围大等优点,尤其是近年来在测年技术上取得了突破,用¹³⁷Cs和²¹⁰Pb方法,结合纹层法及AMS¹⁴C和释光测年,其分辨率可以达到1~10 a尺度,被广泛用于气候环境变化研究^[15-17]。

青藏高原地区5 ka的气候变化包含了全新世大暖期的结束并向冷期过渡。文献[18]综合青藏高原不同区域的物候学、冰芯、湖相沉积物孢粉、介形类和碳氧同位素等的资料后认为,青藏高原大暖期结束时间在中部较早,约4.0 ka BP,而其余地区则晚至3.0 ka BP。在距今3 ka的时候出现了气候由暖向冷的过渡。近期研究发现,在距今4.2~4.0 ka BP期间,全球发生了一次显著的降温事件^[19-22],在青藏高原的敦德冰芯中也有明显的记录^[23]。标志着世界许多地区气候最适宜期的结束和后全新世的开始^[24,25]。环境考古研究也表明,4.2~4.0 ka BP的降温事件导致了甘青地区以农业为主的齐家文化的衰落^[26]。

色林错位于青藏高原中部,随着近些年水位的不断上涨,目前已成为西藏的第一大湖。笔者于2012年2月在色林错水深30 m处获得一根2.78 m的原状湖芯。本文初步讨论该湖芯的沉积特征,通过¹³⁷Cs/²¹⁰Pb和AMS¹⁴C测年建立该钻孔可靠的年代框架,并选择环境温度指示意义较为明确的粒度参数变化来讨论色林错近5 ka以来的湖面变化,以期为后续利用该钻孔开展详细的高分辨率气候环境变化研究提供基础。

色林错位于西藏那曲地区,藏北中南部,班戈县西约90 km,海拔4552 m(图1)。

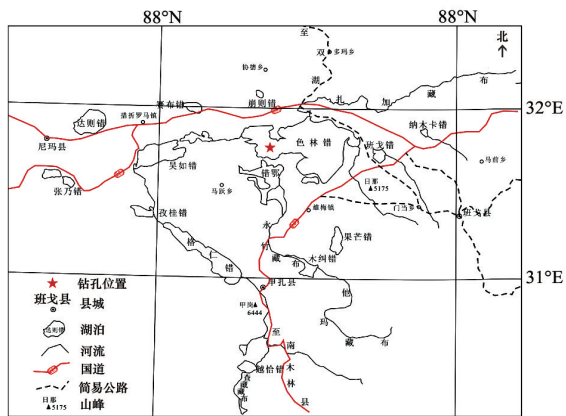


图1 色林错地理交通图及SL-1钻孔位置

Fig. 1 Traffic map of Selin Co showing the location of Core SL-1

色林错、班戈错湖盆构造上处于班公—怒江缝合带中段,是在新生代古近纪初开始发育的班戈断陷盆地基础上,在新近纪—第四纪继承活化发育而成的新生断陷盆地。盆地长轴近EW向,南北两缘新构造发育,随着青藏高原的整体隆升而隆升。中晚更新世以来,大湖逐渐缩小,由于局部隆升差异而将大湖分割,逐渐形成现代众湖分布格局,沉积中

心由SEE向NWW转移。

色林错流域水系发育,总流域面积约45000 km²,是西藏最大的内陆湖水系。流域内有很多相互串连的内陆湖泊群,较大的湖泊有格仁错、吴如错、错鄂、仁错贡玛、恰规错等。色林错位于全流域最低洼的地区,是水流汇集的中心,常年或季节性汇入色林错的主要河流有扎根藏布、扎加藏布和波曲藏布等,最主要的河流扎加藏布发源于冰川山脉格拉丹东。

色林错流域属于高原寒带半干旱区,太阳辐射强,日照时间长,冬春寒冷,夏秋温凉,干湿季分明。年日照时数2910~2970 h,年降水量290~321 mm,年平均气温0.8~1.0℃,年平均最高气温5.5~6.9℃,年平均最低气温-6.6~-6.0℃,年大风日数103~132 d^[27]。

1 材料与方 法

2012年冬天在色林错西湖盆冰上利用重力钻获得一根湖芯(SL-1)。钻孔位于色林错西部湖盆水深30 m处(31°43.538'N,88°44.474'E)。湖芯全长2.78 m,取芯率100%。钻探取样时湖芯沉积物-水界面清晰,无扰动(图2(a))。对钻孔样品进行了0.5 cm间距分样。顶部25 cm采用了¹³⁷Cs和²¹⁰Pb测年(在中国科学院南京地理与湖泊研究所完成)。整个钻孔还采用了AMS¹⁴C测年(在美国BETA实验室完成)。

粒度测试采用国土资源部盐湖资源与环境重点实验室的Master-size 2000粒度仪。测量范围为0.2~2000 μm。样品先用低温烘干,称约1.0 g样品于烧杯,视反应情况加10~30 mL双氧水,去除样品中的有机质,反应完毕后再加入10 mL 10%的盐酸,去除样品中的碳酸盐和钙质胶结,待反应完毕后加入清水,静置24 h,直至溶液澄清。去除上清液,加0.05当量的六偏磷酸钠,摇均后供超声测量。

2 结果与分析

2.1 钻孔岩性变化及年代学

SL-1孔沉积物顶部3 cm为灰黄色的含粉砂淤泥,钻孔上部岩性主要为灰白色中细砂或粉细砂与黑色黏土互层,下部以灰黑色、黑色黏土为主,岩性相对较细。具体岩性如图2(b)所示。

湖芯顶部25 cm以上采用¹³⁷Cs和²¹⁰Pb测年。¹³⁷Cs强度曲线规律性比较明显,与全球¹³⁷Cs强度年代能较好吻合(图3(a))。一般认为,¹³⁷Cs测年的有效范围是200 a,根据这些时间点,采用多项式拟合得出0~200 a的拟合公式(图3(b)):

$$y = -0.0765x^4 + 1.4468x^3 - 5.4569x^2 + 13.326x + 0.9691 \quad (1)$$

$$R^2 = 0.9965$$

根据式(1),顶部0 cm处的年龄为1,比较合理。8 cm处的年龄为1826 AD,前8 cm的平均沉积速率为0.43 mm/a。

AMS¹⁴C测年在美国BETA实验室完成,共取得12个数据(表1,均为树轮校正年龄,BP为距2012年)。顶部几个数据

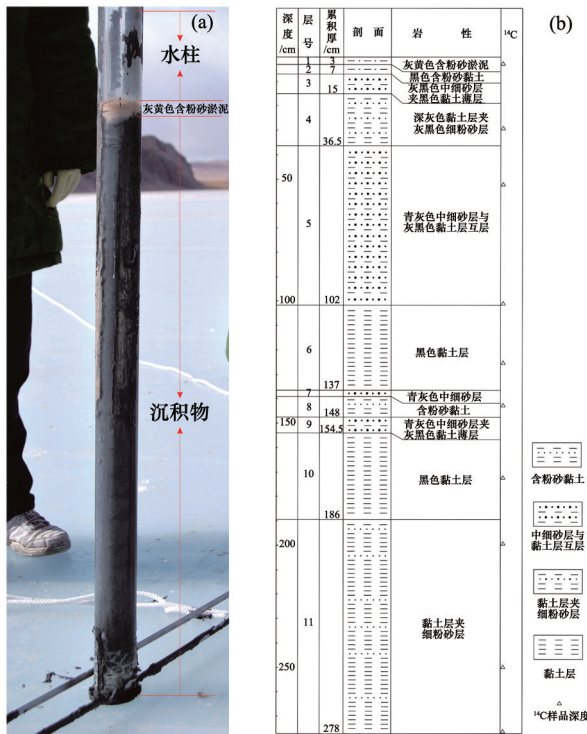


图2 SL-1孔取芯时的水-沉积物界面(a)及岩性柱状图(b)
Fig. 2 Water-sediments interface (a) and lithology (b) of Core SL-1

比较混乱,存在上下颠倒,而150 cm以后的4个数据比较稳定,线性较好。顶部年龄混乱的原因,可能与样品量较少有关。这里采用样品量相对较多的SL2-99的测年数据,以及150 cm以后的4个数据,发现这5个数据具有较好的线性关

系,相关系数达0.996,通过内插和外推法,建立年代框架,顶部外推年龄为1890 a,将它作为碳库效应扣除,最后结合¹³⁷Cs测年8 cm处对应的年龄185 a,建立色林错SL孔完整的年代框架,其中8 cm以上采用图3(b)的拟合公式,8~278 cm采用内插法和外推法(图4),以此计算的钻孔平均沉积速率为0.522 mm/a,底部外推年龄为5.33 ka BP。

表1 色林错SL孔AMS ¹⁴C测年数据
Table 1 AMS ¹⁴C ages of Core SL-1

样号	深度/cm	年龄/a	误差	测年材料
SL1-5	2.5	2915	5	有机C
SL6-20	13.0	5545	35	有机C
SL2-52	29.0	5430	10	有机C
SL2-99	52.5	2900	60	有机C
SL6-102	54.0	6255	15	有机C
SL6-176	91.0	4280	130	有机C
SL6-198, 199	99.0	2740	20	有机C
SL6-244, 245	125.0	3320	60	有机C
SL4-93, 94	145.0	5660	60	有机C
SL4-148	172.5	5205	5	有机C
SL4-208, 209	202.5	5525	65	有机C
SL4-259, 260	228.0	5960	40	有机C
SL4-358	277.5	7220	60	有机C

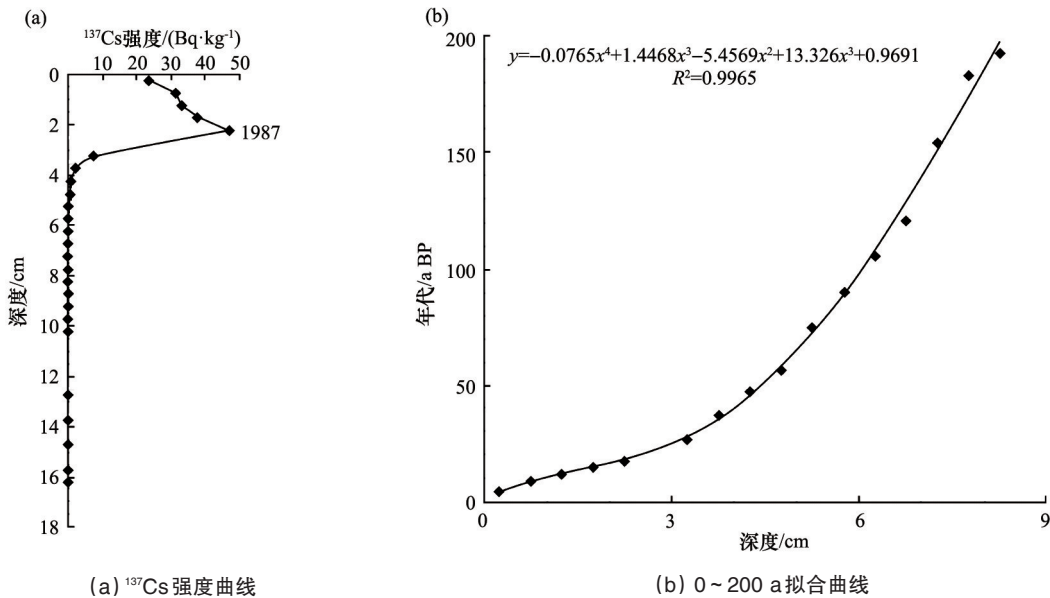


图3 色林错湖芯顶部¹³⁷Cs测年曲线
Fig. 3 Curve of ¹³⁷Cs dating for the top part of Core SL-1

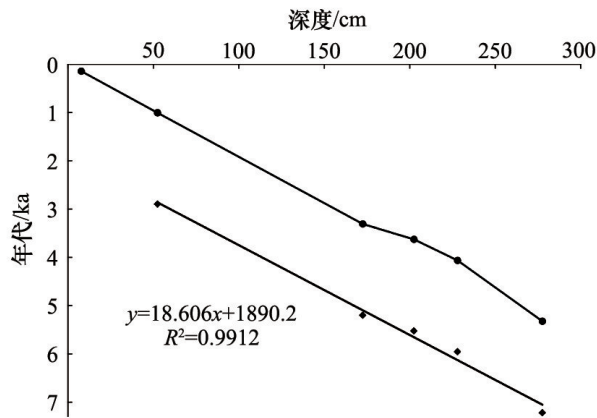


图4 色林错 SL-1 孔年代框架
Fig. 4 Age-depth model of Core SL-1

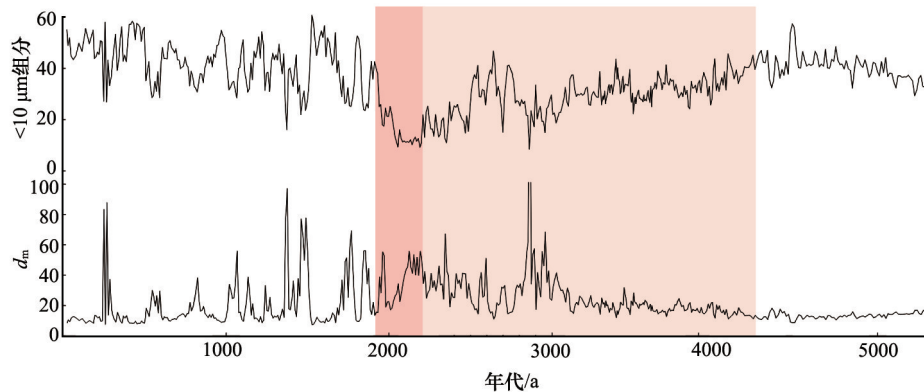


图5 SL-1 孔中值粒径和<10 μm 组分的变化曲线
Fig. 5 d_m and <10 μm component of grain-size of Core SL-1

3 讨论

沉积物粒度的中值粒径和细颗粒组分(<10 μm 组分或 <4 μm 组分)能比较敏感地反映湖面的变化。在色林错开展的现代沉积物粒度研究表明:在同样的风力或地表径流条件下,中值粒径与湖泊水位具有较明显的反相关关系,而细颗粒组分含量与湖泊水位具有较明显正相关关系,且<10 μm 组分比<4 μm 组分的相关性更高^[28]。本文仅利用 SL-1 孔粒度的中值粒径和<10 μm 组分含量两个指标简单讨论色林错湖近 5000 a 来的湖面变化。

从分析结果看,色林错 5.33 ka BP 以来的湖面变化大致可以划分以下几个较显著的阶段:

5.33~4.25 ka BP, 高湖面期。沉积物粒度组成偏细,中值粒径基本维持在较低值,而<10 μm 组分含量则在较高值附近小幅波动。此期湖面较高,水体较深,风力携带的粗颗粒组分较难到达钻孔位置。但后期(4.30~4.25 ka BP)出现少量石膏沉积,说明湖面开始下降,水体变咸。

4.25~2.20 ka BP, 风力加强,湖面降低期。中值粒径值

2.2 钻孔粒度参数

沉积物粒度中值粒径(d_m)是粒度频率累积曲线 50% 处的颗粒粒径,中值粒径能较敏感的反映水动力条件的变化。粒度组成中<10 μm 或<4 μm 的细颗粒组分一般指示了湖泊湖心附近的深水沉积。依据上述粒度参数的环境指示意义,提取色林错钻孔沉积物的中值粒径和<10 μm 组分两个粒度参数(图 5)。从图 5 可以划分出几个比较明显的变化阶段:5.33~4.25 ka BP, 中值粒径始终维持在较低值,而<10 μm 组分含量则在较高值附近小幅波动;4.25~2.20 ka BP, 中值粒径值逐渐升高,尤其是在后期(3.10~2.20 ka BP),中值粒径值显著增大,<10 μm 组分含量较明显降低;2.20~1.90 ka BP, <10 μm 组分含量明显降低,基本达到全剖面最低值,中值粒径值总体较高;1.90 ka BP 至今,<10 μm 组分含量始终较高,基本达到剖面最高值,但是有较大的波动,中值粒径值较低,除了有几期短暂而快速的升高,这几期也分别对应了<10 μm 组分低值期。

逐渐升高,尤其是在后期(3.10~2.20 ka BP),中值粒径显著增大,<10 μm 组分含量较明显降低。这一时期环境比较动荡,间断出现风成沉积。此期湖面较前一阶段逐渐降低,水体变浅,受风力作用影响增大。

2.20~1.90 ka BP, 低湖面期。<10 μm 组分含量明显降低,基本达到全剖面最低值,中值粒径值总体较高。这一时期环境比较动荡,间断出现风成沉积。此期水成沉积物变粗,水体较浅,湖面降低,此期是一个稳定的低湖面期。这与此期出现的大量的水菱镁矿沉积非常吻合^[29]。

1.90 ka BP 至今,高湖面期。<10 μm 组分含量始终较高,基本达到剖面最高值,但有较大波动,中值粒径值较低,除了有几期短暂而快速的升高,这几期也分别对应了<10 μm 组分低值期,指示了湖面的突然降低期,分别是:1.88~1.83、1.78~1.69、1.5~1.46、1.38~1.36、1.28~1.23、1.18~1.13、1.08~1.02、0.88~0.78、0.59~0.53、0.29~0.24 ka BP。这一期的高湖面有可能是色林错自 5.33 ka BP 以来的最高湖面,因为<10 μm 组分含量基本达到剖面最高值,说明这一时期水成沉积

颗粒更细,水体变深,湖面较前几个阶段有较大的抬升。在初期(1.90~1.69 ka BP)出现了少量的石膏沉积,说明这一时期蒸发作用较强,水体有一定退缩,这与本文识别出的1.88~1.83 ka BP和1.78~1.69 ka BP两期湖面突然降低期较为吻合,只是因为本文的粒度分析测样间距为0.5 cm,而盐矿鉴定和XRD分析的测样间距大概为1~2 cm,粒度参数的分析还识别出其中有一次湖面的短暂回升(1.83~1.78 ka BP)。

色林错湖泊最近一次高湖面约开始于1770 AD,目前仍处于高湖面期,并且湖面仍在不断扩张。由于色林错没有水文站,没有近期湖泊水位变化的监测数据。吕鹏等^[30]根据1969年航片和2001年卫片对比分析了色林错湖面变化,经计算机矢量化统计计算得出:1969年12月色林错水域面积1895.00 km²,2001年1月水域面积为2261.19 km²,水位相对增高5.0 m,水域面积增加了19.34%。根据1976—2011年期间的色林错湖区几期卫星照片,对比分析了色林错近年来的湖面变化,确认了色林错1969—2001年的湖面扩张,同时也发现2001年以来湖面仍有较大的扩张。

Li等^[31]研究认为,色林错自末次冰期早期以来,湖面断续下降,期间有4次相对稳定的高湖面期:末次冰期早期、末次冰盛期晚期、冰消期和全新世大暖期。研究表明在全新世中后期,色林错湖面波动更趋频繁,1.92 ka BP至今为高湖面期,目前湖面仍在不断扩张。

顾兆炎等^[32]研究了12 ka以来青藏高原季风的变化。将色林错12 ka以来气候变化划分为冷干(12~10 ka BP)、温湿(10~4.2 ka BP)和冷干(4.2~0 ka BP)。认为色林错沉积物记录的气候冷干-温湿的同步变化正是高原季风的主要变化。但本文研究表明色林错至少近代以来是一个比较明显的湖面上升期,这种湖面上升也为近代观测和遥感资料所记录和验证。

4 结论

色林错自5.33 ka BP以来的湖面变化表现出了一定的规律:5.33~4.25 ka BP是一期较为稳定的高湖面期,湖面波动较小,始终维持在高湖面,后期(4.30~4.25 ka BP)湖面开始下降;4.25~2.20 ka BP,风力加强,湖面较上一期有所降低,属湖面降低期,风力作用的影响增加;2.20~1.90 ka BP,稳定的低湖面期;1.90 ka BP至今,高湖面期。但有几期短暂而快速的湖面降低,湖面降低的持续时间一般为20~50 a,具有约0.10、0.20 ka的周期性,约0.20 ka的准周期基本贯穿了色林错自5.33 ka BP以来的湖面变化。这种周期在青藏高原冰芯氧同位素恢复的温度序列中也存在,说明在百年尺度上,温度对色林错的湖面变化有一定的影响。

参考文献(References)

- [1] 施雅风, 李吉均, 李炳元, 等. 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化[J]. 地理学报, 1999, 54(1): 10-20.
Shi Yafeng, Li Jijun, Li Bingyuan, et al. Uplift of the Qinghai-Xizang
- (Tibet) Plateau and east Asia environmental change during Late Cenozoic[J]. Acta Geographica Sinica, 1999, 54(1): 10-20.
- [2] 李吉均, 方小敏, 潘保田, 等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 381-391.
Li Jijun, Fang Xiaomin, Pan Baotian et al. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang Plateau and its impacts on environments in surrounding area[J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 381-391.
- [3] Fang X M, Zhang W L, Meng Q Q, et al. High-resolution magnetostratigraphy of the Neogene Huaitoutala section in the eastern Qaidam Basin on the NE Tibetan Plateau, Qinghai Province, China and its implication on tectonic uplift of the NE Tibetan Plateau[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2007, 258(1/2): 293-306.
- [4] Cai M T, Fang X M, Wu F L, et al. Pliocene-Pleistocene stepwise drying of Central Asia: Evidence from paleomagnetism and sporopollen record of the deep borehole SG-3 in the western Qaidam Basin, NE Tibetan Plateau[J]. Global and Planetary Change, 2012, 94/95: 72-81.
- [5] Thompson L G, Mosley-Thompson E, Davis M E, et al. Holocene-late Pleistocene climate ice core record from Qinghai-tibetan[J]. Science, 1989, 246(4929): 474-477.
- [6] Yao T D, Thompson L G, Shi Y F, et al. Climate variation since the last interglaciation recorded in the Guliya ice core[J]. Science in China, Series D, 1997, 40(6): 662-668.
- [7] Yang B, Bräuning A, Shi Y F. Late Holocene temperature fluctuations on the Tibetan Plateau[J]. Quaternary Science Review, 2003, 22: 2335-2344.
- [8] Sheppard P R, Tarasov P E, Graumlich L J, et al. Annual precipitation since 515 BC reconstructed from living and fossil juniper growth of northeastern Qinghai Province, China[J]. Climate Dynamics, 2004, 23: 869-881.
- [9] 勾晓华, 陈发虎, 杨梅学, 等. 青藏高原东北部树木年轮记录揭示的最高最低温的非对称变化[J]. 中国科学, D辑, 2007, 37(11): 1480-1492.
Gou Xiaohua, Chen Fahu, Yang Meixue et al. Asymmetric Change of Maximum and Minimum Temperature revealed from the tree ring record in the north east of Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Science in China, Series D, 2007, 37(11): 1480-1492.
- [10] 刘兴起, 沈吉, 王苏民, 等. 16 ka以来青海湖湖相自生碳酸盐沉积记录的古气候[J]. 高校地质学报, 2003, 9(1): 38-46.
Liu Xingqi, Shen Ji, Wang Sumin, et al. A 16000-year paleoclimatic record derived from authigenic carbonate of lacustrine sediment in Qinghai lake[J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(1): 38-46.
- [11] 沈吉, 刘兴起, Matsumoto R, 等. 晚冰期以来青海湖沉积物多指标高分辨率的古气候演化[J]. 中国科学, D辑, 2004, 34(6): 582-589.
Shen Ji, Liu Xingqi, Matsumoto R et al. High-resolution palaeoclimatic evolution based on several proxies from Qinghai lake sediments since the Late Glacial[J]. Science in China, Series D, 2004, 34(6): 582-589.
- [12] 李世杰, 王小天, 夏威岚, 等. 青藏高原苟鲁错湖泊沉积记录的小冰期气候变化[J]. 第四纪研究, 2004, 24(5): 578-584.
Li Shijie, Wang Xiaotian, Xia Weilan et al. The little age climate fluctuations derived from lake sediments of Goulucuo, Qinghai-xizang Plateau[J]. Quaternary Sciences, 2004, 24(5): 578-584.
- [13] 李世杰, 张宏亮, 施雅风, 等. 青藏高原甜水海盆地 MIS 3 阶段湖泊沉积与环境变化[J]. 第四纪研究, 2008, 28(1): 122-131.
Li Shijie, Zhang Hongliang, Shi Yafeng et al. A high resolution MIS3 environmental change record derived from lacustrine deposit of

- Tianshuihai Lake, Qinghai-tibetan Plateau[J]. Quaternary Sciences, 2008, 28(1): 122-131.
- [14] 刘禹, 安芷生, Linderholm H W, 等. 青藏高原中东部过去2485年以来温度变化的树轮记录[J]. 中国科学, D辑, 2009, 39(2): 166-176.
Liu Yu, An Zhisheng, Linderholm H W, et al. Temperature changes recorded in tree ring in the central and east part of the Qinghai-Tibetan Plateau since 2485a[J]. Science in China, Series D, 2009, 39(2): 166-176.
- [15] 赖忠平, 周杰, 卢演涛, 等. 风成沉积物红外及绿光释光测年比较研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(1): 57-61.
Lai Zhongping, Zhou Jie, Lu Yanchou, et al. Comparison of IRSL and GLSL dating of Aeolian sediments[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2000, 20(1): 57-61.
- [16] 周爱锋, 强明瑞, 张家武, 等. 苏干湖沉积物纹层计年和²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs测年对比[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2008, 44(6): 15-18.
Zhou Aifeng, Qiang Mingrui, Zhang Jiawu, et al. Comparison of varve chronology and ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs dating from the Sugan lake sediment[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2008, 44(6): 15-18.
- [17] Neugebauer I, Brauer A, Dräger N. A Younger Dryas varve chronology from the Rehwiesspalaeolake record in NE-Germany[J]. Quaternary Science Reviews, 2012, 36: 91-102.
- [18] 刘光秀, 施雅风, 沈永平, 等. 青藏高原全新世大暖期环境特征之初步研究[J]. 冰川冻土, 1997, 19(2): 114-123.
Liu Guangxiu, Shi Yafeng, Shen Yongping et al. Holocenemegathermal environment in the Tibetan Plateau[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1997, 19(2): 114-123.
- [19] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate[J]. Science, 2005, 308(5723): 854-857.
- [20] Cosford J, Qing H, Eglington B, et al. East Asian monsoon variability since the Mid-Holocene recorded in a high-resolution, absolute-dated aragonite speleothem from eastern China[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2008, 275: 296-307.
- [21] Weiss H, Courty M A, Wetterstrom W, et al. The genesis and collapse of third millennium North Mesopotamian civilization[J]. Science, 1993, 261(5124): 995-1004.
- [22] Booth R K, Jackson S T, Forman S L, et al. A severe centennial-scale drought in mid-continental North America 4200 years ago and apparent global linkage[J]. The Holocene, 2005, 15: 321-328.
- [23] Yao T D, Thompson L G. Trend and features of climatic changes in the past 5000 years recorded by the Dunde ice core[J]. Annals of Glaciology, 1992, 16: 21-24.
- [24] 许靖华. 太阳、气候、饥荒与民族大迁移[J]. 中国科学, D辑, 1998, 28(4): 366-384.
Xu Jinghua. Sun, climate, famine and the great national migration[J]. Science in China, Series D, 1998, 28(4): 366-384.
- [25] 张兰生, 方修琦, 任国玉, 等. 我国北方农牧交错带的环境演变[J]. 地学前缘, 1997, 4(1): 127-136.
Zhang Lansheng, Fang Xiuqi, Ren Guoyu et al. Environmental changes in the north China farming-grazing transitional zone[J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4(1): 127-136.
- [26] 吴文祥, 刘东生. 4000 a B.P.前后降温事件与中华文明的诞生[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 443-451.
Wu Wenxiang, Liu Dongsheng. 4000a B.P. event and its implications for the origin of ancient Chinese civilization[J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 443-451.
- [27] 达桑. 近50年来西藏色林错流域气温和降水的变化趋势[J]. 西藏科技, 2011(1): 42-45.
Da Sang. The trends of air temperature and precipitation changes in the past 50 years in Selincuo Lakearea, Tibet[J]. Science and Technology of Tibet, 2011(1): 42-45.
- [28] Wang H L, Zheng M P. Grain-size of lake sediments in Selin Co, Tibet, links to lake level status[J]. Journal of Limnology, 2014, submitted.
- [29] 林勇杰, 郑绵平, 王海雷. 青藏高原中部色林错矿物组合特征对晚全新世气候的响应[J]. 科技导报, 2014, 32(35): 35-40.
Lin Yongjie, Zheng Mianping, Wang Hailei. Late Holocene climatical and environmental evolutions inferred from mineralogical records in Selin Co, central Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(35): 35-40.
- [30] 吕鹏, 曲永贵, 李庆武, 等. 藏北地区色林错、班戈错湖盆扩张及现代裂陷活动[J]. 吉林地质, 2003, 22(2): 15-19.
Lü Peng, Qu Yonggui, Li Qingwu, et al. Shelincuo and Banggecuo extensional lake basins in the northern part of Tibet and present chasmic activities[J]. Jinlin Geology, 2003, 22(2): 15-19.
- [31] Li D W, Li Y K, Ma B Q, et al. Lake-level fluctuations since the Last Glaciation in Selin Co (lake), Central Tibet, investigated using optically stimulated luminescence dating of beach ridges[J]. Environmental Research Letters, 2009, 4: 045204.
- [32] 顾兆炎, 刘嘉麒, 袁宝印, 等. 12000年来青藏高原原季风变化——色林错沉积物地球化学的证据[J]. 科学通报, 1993, 38(1): 61-64.
Gu Zhaoyan, Liu Jiaqi, Yuan Baoyin, et al. Qinghai-tibetan Plateau Monsoon variations since 12 ka BP, records from the geochemistry of lakes ediments in Selincuo[J]. Chinese Science Bulletin, 1993, 38(1): 61-64.

(责任编辑 刘志远)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映中国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域中国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。