

文章编号: 1006-6616 (2014) 02-0165-09

鄂尔多斯高原距今 15 ka 以来环境演化

蒋复初¹, 王书兵¹, 傅建利¹, 李朝柱¹, 蔡 遥²

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;
2. 浙江省地质矿产研究所, 杭州 310007)

摘要: 通过鄂尔多斯高原中部折家梁海子湖泊沉积物的粒度、磁化率、色度等环境指标综合分析, 探讨鄂尔多斯高原距今 15 ka 以来的环境演化。鄂尔多斯高原在距今 14.3~11.9 ka, 深度 205~235 cm, 为冷干环境; 距今 11.9~4.0 ka, 指标特征反映了降水较为丰富, 湖泊扩张, 湖泊演化为稳定的深湖环境。潮湿气候环境可能是由于季风活动加剧所致; 距今 4.0~0 ka, 深度 85~0 cm, 以大幅度波动为特征, 表明气候干冷和温暖交替, 风沙发生的频率和强度加强。其中又以距今 1.2~1.4 ka 期间, 深度 25~30 cm 时气候最为干旱, 沉积了较粗的砂, 为一强沙尘暴多发时期。

关键词: 湖泊沉积; 环境演化; 鄂尔多斯高原

中图分类号: P534.63 **文献标识码:** A

鄂尔多斯高原地处黄河流域中游, 西、北、东三面被黄河环绕, 地势中西部高、四周低。东部为准格尔黄土丘陵沟壑区, 西部为桌子山低山缓坡和鄂托克高地, 北部为库布其沙漠, 南部为毛乌素沙地。鄂尔多斯有大小河流和季节性河川近 100 条, 大小湖泊超过 820 个。高原中部为内流区, 河流均为水量小、流程短的间歇性河流, 最终注入内陆湖泊和沼泽之中。鄂尔多斯高原是黄土高原的一部分, 位于东亚夏季风区的西北缘, 环境变化敏感, 是研究全球变化的理想区域。湖泊沉积一直被认为是比较理想的全新世气候变化载体, 不少学者对鄂尔多斯高原风成和湖相沉积序列记录的古气候和古环境进行了研究^[1~14]。本文选取鄂尔多斯中部折家梁干海子, 对其沉积物进行多环境指标的综合分析, 探讨鄂尔多斯高原距今 15 ka 以来的气候变化历史。

1 地层

折家梁海子位于鄂尔多斯市东胜区柴登镇折家梁村南约 2 km, 地处库布齐沙漠与毛乌素沙地的过渡地带。海子周围没有明显的河道形迹, 湖泊主要以降水和地下水补给为主。海子已于 2005 年前后干涸, 降水大的年份中部低洼处有少量积水。笔者在湖中心位置人工揭露了一个浅井剖面(见图 1), 剖面坐标北纬 39°50'58.5", 东经 109°29'15.4", 海拔高度 1395 m; 剖面深度 2.35 m, 地层没有明显沉积间断(见图 2)。

收稿日期: 2013-11-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41272393, 40972223); 中国地质调查局项目(1212010711705)

作者简介: 蒋复初(1949-), 男, 研究员, 主要从事第四纪地质与环境研究工作。E-mail: jiangfuchu@126.com

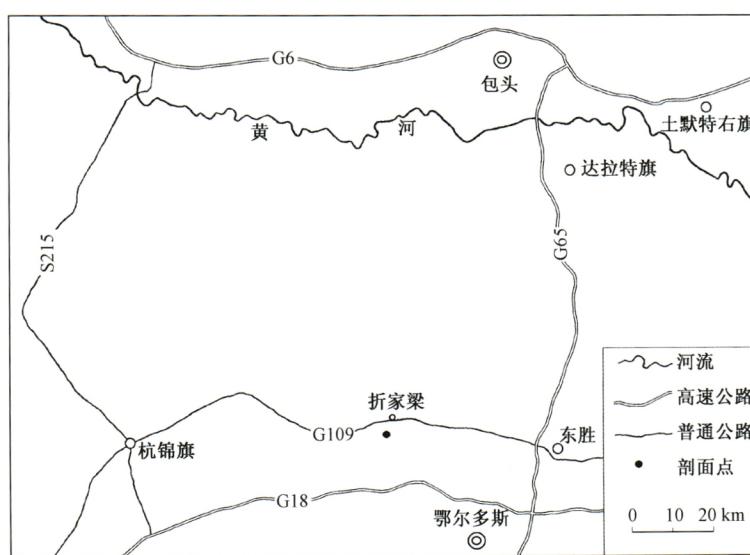


图 1 折家梁剖面位置略图

Fig. 1 The location for the Shejialiang section

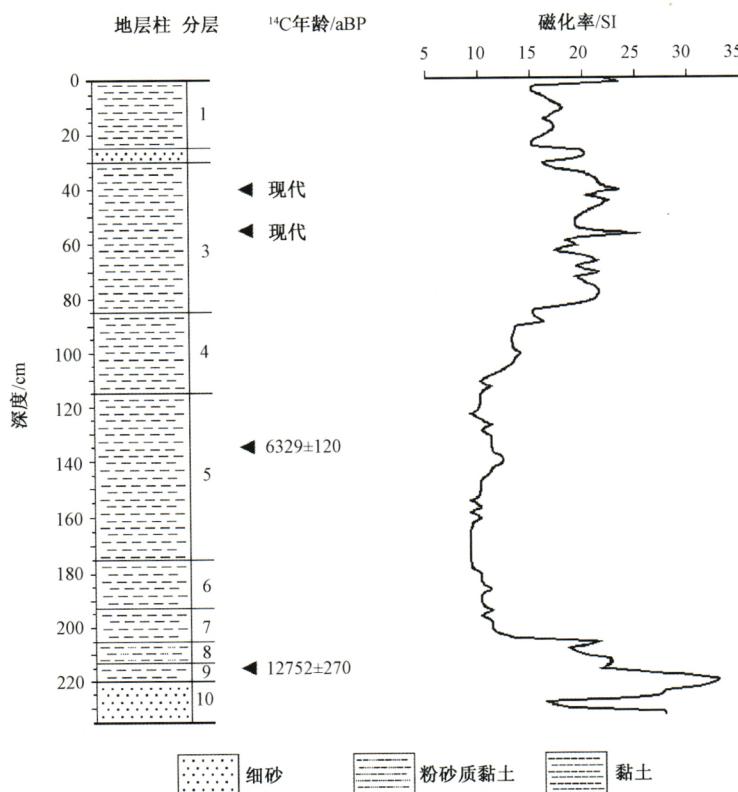


Fig. 2 Stratigraphic column and magnetic susceptibility curves of the Shejialiang section

根据粒度、颜色等特征，剖面地层自上而下描述如下：

①土棕色黏土，团粒状，顶部有一青灰色层	厚 25 cm
②黄色细砂，夹两层薄层浅青灰色黏土	厚 5 cm
③棕褐、棕红色黏土，夹三层黑色黏土。深度40 cm及55 cm两处 ¹⁴ C测年结果显示为现代	厚 55 cm
④青灰色黏土	厚 30 cm
⑤棕红色黏土，含白色网纹；深度135 cm处 ¹⁴ C年代为距今6329 ± 120 a	厚 60 cm
⑥青灰色黏土	厚 18 cm
⑦浅棕红色黏土	厚 12 cm
⑧青灰色砂质黏土	厚 8 cm
⑨浅棕红色黏土；深度215 cm处 ¹⁴ C年代为距今12752 ± 270 a	厚 7 cm
⑩青色、青绿色细砂。未见底	厚 15 cm

2 地层时代与时间标尺

对采自剖面中的4个样品进行¹⁴C年代测定，结果如表1所示。

表1 折家梁剖面¹⁴C年代测试结果
Table 1 The results of ¹⁴C dating in the Shejialiang section

样品编号	距地表深度/cm	距今时间/a
DS ¹⁴ C-4	40	现代
DS ¹⁴ C-3	55	现代
DS ¹⁴ C-2	135	6329 ± 120
DS ¹⁴ C-1	215	12752 ± 270

注：样品经中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室测定

以折家梁海子湖相地层深度135 cm和215 cm两个¹⁴C年龄为控制点。两个年龄点间地层的平均沉积速率为12.46 cm/ka，以此沉积速率外推，下部年龄点之下的20 cm地层，约需沉积时间1.6 ka，剖面底部的年龄约为距今14.35 ka。以这两个¹⁴C年龄控制点推算的沉积速率12.5 cm/ka计算，深度205 cm处的年龄约为距今11.95 ka。折家梁海子于2005年前后干涸，湖相层顶部年龄可以认为是0 a，与DS¹⁴C-2样点间的地层厚135 cm，平均沉积速率为21.3 cm/ka，推算深度85 cm处的年龄约为距今4.0 ka。剖面主体为全新世沉积，底部为晚更新世晚期沉积。

3 环境指标

3.1 粒度

本文在折家梁干海子剖面以2 cm间距采集了粒度样品117个，各粒级组成在剖面随深度变化情况见图3。

以4 ϕ (63 μm) 和8 ϕ (4 μm) 作为砂粒/粉砂及粉砂/粘粒的分界线，折家梁干海子剖面的各粒级组成有如下特征：砂 (<4 ϕ 或 >63 μm) 含量为0~72.74%，平均16.38%；粉砂粒级 (4 ϕ ~ 8 ϕ 或 4 ~ 63 μm) 在粒度组成中占绝对优势，含量为23.31% ~ 71.10%，平均含量可达57.25%，其中粗粉砂 (20 ~ 63 μm) 平均含量为17.97%，细粉砂 (4 ~ 20 μm)

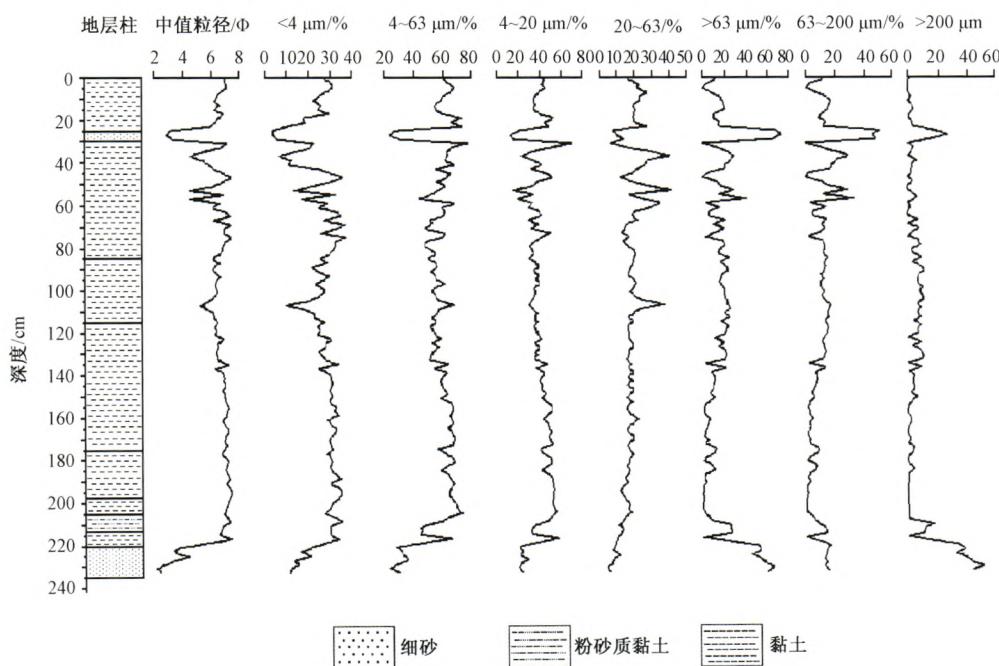


图 3 折家梁剖面粒度分布

Fig. 3 Grain size distribution in the Shejialiang section

平均含量为 39.28%；粘粒（ $>8\phi$ 或 $<4 \mu\text{m}$ ）含量为 3.56% ~ 37.34%，平均值为 26.37%。

折家梁剖面粒度曲线大致可以分成 3 段：

①深度 0 ~ 85 cm，总体以除粗砂含量组分外的各组分含量曲线呈大幅度变化为特征，按变化特征可再细分为 3 个阶段。其中深度 58 ~ 85 cm 以中等变化幅度为特征，细粒组分占主要地位；深度 25 ~ 58 cm 以大幅度波动为特征，粗粒、细粒组分交替出现，后期以粗粒组分占主要地位；深度 0 ~ 25 cm 以小幅变化为特征，细粒组分占主要地位。

②深度 85 ~ 205 cm，各组分含量曲线总体变化幅度不大，细粒组分尤其粘粒组分变化幅度稍大一些。

③深度 205 ~ 235 cm，中值粒径与砂、粗砂含量曲线变化一致，与黏土、粉砂、细粉砂、粗粉砂含量曲线呈相反变化；总体上以砂含量逐渐减少和黏土粉砂含量增加为特征。

沉积物的粒度参数与形成环境及搬运动力条件具有密切的关系，粒度作为反映沉积物来源和恢复沉积环境的参数指标得到了广泛的应用。折家梁干海子剖面粒度参数随深度变化如图 4 所示。由图 4 可以看出，干海子剖面平均粒径波动范围较大，多集中在 $5 \sim 8 \phi$ ，底部（深度 220 cm 以下）和顶部（深度 25 ~ 30 cm 间）粒径集中在 $3 \sim 5 \phi$ 之间；标准偏差范围在 1.18 ~ 3.11，多集中在 1.5 ~ 2.6，总体变化幅度较小，表明沉积物的分选较差；偏度基本以 0 度线为中心，部分负偏，部分正偏，说明剖面粗、细组分均有；峰度值主要集中在 2 ~ 3.4 之间，剖面上部地层部分时段的峰度值大于 3.4。

3.2 磁化率

磁化率应用于古气候的变化始于对黄土的研究^[15]。中国黄土地层磁化率与成土古气候温湿程度基本成正比，即黄土层磁化率为低值，代表相对干冷的气候环境，土壤层磁化率为万方数据

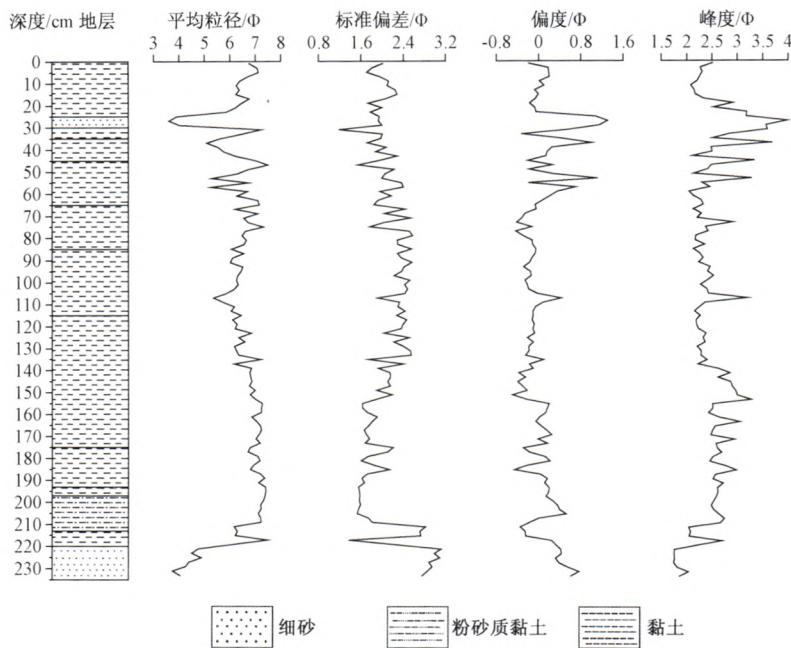


图4 折家梁剖面粒度参数随深度变化曲线

Fig. 4 The distribution curve of grain size parameters varies with depths in the Shejialiang section

高值，代表相对湿热的气候环境，同时磁化率值的高低不仅与原始粉尘沉积时铁磁性矿物的含量有关，也与成土作用、风化作用及成壤过程中产生的超细磁性颗粒、碳酸盐淋失、空隙度变化、有机质含量等相关^[16~19]。

在干海子剖面以2 cm间距采集了磁化率样品117个。磁化率的最高值为32 SI，出现在深度221 cm处；最低值为9 SI，出现在深度155~179 cm之间；平均值15.3 SI；整个剖面的磁化率变化特征（见图2）如下：

深度0~85 cm，磁化率总体在最高值段，且变化幅度较大；

深度85~205 cm，磁化率总体处于低值段，且变化幅度较小，中部稍有一不明显的峰，之后逐渐增加；

深度205~235 cm，磁化率高值段，底部先迅速降低，然后达到剖面的最高值，之后逐渐降低。

3.3 色度

色度作为一种最直观和简便的环境指标被普遍用于反映海洋沉积物中千年尺度的环境变化。近年来也有研究者将这一指标应用于湖泊沉积和黄土^[20~23]。

色度中的明度 L^* 与沉积物中碳酸盐、有机质含量具有相关性。 L^* 一般与沉积物的碳酸盐含量正相关，与有机质含量呈负相关。 L^* 值高时，气候较冷，有机质含量减少，碳酸盐含量较高；反之，气温上升，有机质含量增加，碳酸盐含量较低。

色度中的红度 a^* 值高低与沉积物中Mg含量相关，较高的 a^* 值对应于沉积物中较高的MgO含量和高Mg/Ca比值，反映气温较高。较低的 a^* 值对应于沉积物中较低的MgO含量和高Mg/Ca比值，反映气温较低。

色度中的黄度 b^* 值高低与三价铁的含量相关，较高的 b^* 值代表湖泊处于较强的氧化条件下，因此 b^* 值可以用于反映湖水深度变化和有效湿度的变化。 b^* 值高，湖水浅，氧化作

用增强； b^* 值低，湖水深，氧化作用减弱。

折家梁干海子剖面，以 2 cm 间距采集了色度样品 117 个。干海子剖面色度的明度 L^* 、红度 a^* 、黄度 b^* 随深度变化如图 5 所示。

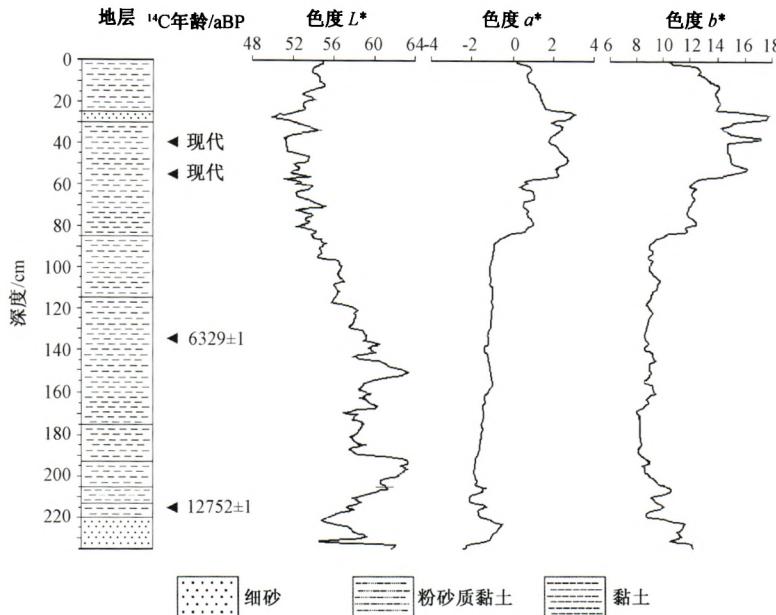


图 5 折家梁剖面色度指标随深度变化曲线

Fig. 5 The distribution curves of chrominance varies with depths in the Shejialiang section

深度 0~85 cm，色度 L^* 总体处于低值段，且变化幅度相对小。色度 a^* 、 b^* 曲线处于高值段，并分别达到剖面的最高值。按其变化特征，可细分为 3 个次一级的变化阶段，其中深度 58~85 cm，色度 L^* 值逐渐降低，而色度 a^* 、 b^* 值逐渐升高；深度 25~58 cm，色度 L^* 波动降低并达到剖面最低值，而色度 a^* 、 b^* 波动升高并达到剖面最高值，曲线波动幅度大；深度 0~25 cm，色度 L^* 逐渐升高，而色度 a^* 、 b^* 逐渐降低。

深度 85~205 cm，色度 L^* 处于高值段，色度 a^* 、 b^* 处于低值段。其中色度 L^* 在下部达到剖面的最高值段，然后降低并基本保持平稳，之后又进入一高值段，逐渐降低。色度 a^* 曲线变化幅度较小，呈逐渐上升趋势；色度 b^* 曲线变化趋势与色度 a^* 曲线一致，只是变化幅度稍大一些。

深度 205~235 cm，色度 L^* 、 a^* 、 b^* 总体处于高值段，其中色度 L^* 在剖面底部值较高，然后迅速降低。

4 鄂尔多斯中部环境演化过程

综合折家梁剖面磁化率、粒度主要组分细粉砂含量、色度指标的变化特征，折家梁干海子剖面记录了 3 个阶段的环境变化过程（见图 6）。

距今 14.3~11.9 ka，深度 235~205 cm，磁化率值为剖面最高值段，粒度以粗粒组分为主，色度的红度 a^* 、黄度 b^* 和明度 L^* 都偏低，为湖水较浅的冷干环境，可能相当于新仙女木期。

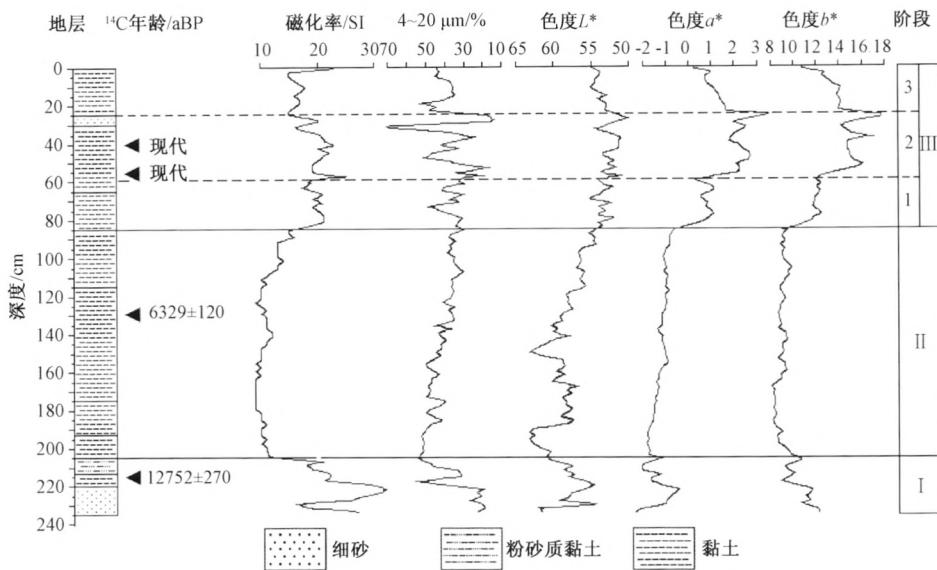


图 6 环境代指标变化曲线与演化阶段

Fig. 6 Curves of environmental proxies of the Shejialiang section and evolutionary stages

距今 11.9 ~ 4.0 ka, 深度 205 ~ 85 cm, 以细粒组分为主, 明度 L^* 值较高, 磁化率、色度 a^* 和 b^* 值相对较低且稳定, 反映降水较为丰富, 湖泊扩张, 湖泊演化为稳定的深湖环境。

距今 4.0 ~ 0 ka, 深度 85 ~ 0 cm, 较高的磁化率、红度 a^* 和黄度 b^* , 较低的明度 L^* , 粗粒组分为主, 且以大幅度波动为特征, 表明气候干冷和交替, 湖水波动频繁。其中又以距今 1.2 ~ 1.4 ka, 深度 25 ~ 30 cm 间气候最为干旱, 沉积了较粗的砂层。

参 考 文 献

- [1] 杨志荣, 张梅青. 鄂尔多斯泊江海子地区 800 余年来的气候与环境变化 [J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1997, 20 (4): 74 ~ 81.
YANG Zhi-rong, ZHANG Mei-qing. Climatic and environmental changes since 800 aBP in Pojianghaizi Lake area, Ordos Plateau [J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 1997, 20 (4): 74 ~ 81.
- [2] 董光荣, 靳鹤龄, 陈惠忠. 末次间冰期以来沙漠 - 黄土边界带移动与气候变化 [J]. 第四纪研究, 1997, (2): 158 ~ 167.
DONG Guang-rong, JIN He-ling, CHEN Hui-zhong. Desert-loess boundary belt shift and climatic change since the last interglacial period [J]. Quaternary Sciences, 1997, (2): 158 ~ 167.
- [3] Bernasconi S, Dobson J, Mckenzie J A, et al. 东北亚的新仙女木和全新世气候演变的初步证据: 一个湖泊岩心的古环境变化的同位素和磁性记录 [J]. 化工矿产地质, 1998, 20 (3): 233 ~ 240.
Bernasconi S, Dobson J, Mckenzie J A, et al. Isotopic and magnetic record of paleoenvironmental changes in an Inner Mongolian lake core: Preliminary evidence for the Younger Dryas and Holocene climate evolution in Northeast Asia [J]. Geology of Chemical Minerals, 1998, 20 (3): 233 ~ 240.
- [4] Sun J M, Ding Z L. Deposits and soils of the past 130, 000 years at the desert-loess transition in northern China [J]. Quaternary Research, 1998, 50 (2): 148 ~ 156.
- [5] Sun J M, Ding Z L, Liu T S, et al. 580, 000-year environmental re-construction from Aeolian deposits at the Mu Us Desert margin, China [J]. Quaternary Science Reviews, 1999, 18 (12): 1351 ~ 1364.
- [6] 周杰, 周卫健, 陈惠忠, 等. 新仙女木时期东亚夏季风降水不稳定的记录 [J]. 科学通报, 1999, 44 (2): 205

- ~ 208.
- ZHOU Jie, ZHOU Wei-jian, CHEN Hui-zhong, et al. Evidence for Asian summer monsoon precipitation instability of the Younger Dryas Phase [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44 (9): 849 ~ 852.
- [7] 田孝先. 鄂尔多斯盆地浩勒报告淖全新世盐湖特征 [J]. 地质力学学报, 2000, 6 (1): 84 ~ 89.
- TIAN Xiao-xian. Studies on the features of the Holbaojiniao Quarternary salt lake in mid-north Ordos Basin [J]. Journal of Geomechanics, 2000, 6 (1): 84 ~ 89.
- [8] Zhou W J, Dodson J, Head M J, et al. Environmental variability within the Chinese desert-loess transition zone over the last 20000 years [J]. Holocene, 2002, 12 (1): 117 ~ 122.
- [9] 许清海, 孔昭宸, 陈旭东, 等. 鄂尔多斯东部 4000 余年来的环境与人地关系的初步探讨 [J]. 第四纪研究, 2002, 22 (2): 105 ~ 112.
- XU Qing-hai, KONG Zhao-chen, CHEN Xu-dong, et al. Changes and the effects of human impacts in the east Ordos plateau since 4000 aBP [J]. Quaternary Sciences, 2002, 22 (2): 105 ~ 112.
- [10] 汪勇, 羊向东, 沈吉, 等. 陕西红碱淖近百年来环境变化的湖泊沉积记录 [J]. 湖泊科学, 2004, 16 (2): 105 ~ 112.
- WANG Yong, YANG Xiang-dong, SHEN Ji, et al. A 0.1 ka-year record of environmental evolution in Hongjiannao Lake, Shaanxi Province [J]. Journal of Lake Sciences, 2004, 16 (2): 105 ~ 112.
- [11] 肖霞云, 羊向东, 沈吉, 等. 陕西红碱淖近百年来的孢粉记录及环境变化 [J]. 湖泊科学, 2005, 17 (1): 28 ~ 34.
- XIAO Xia-yun, YANG Xiang-dong, SHEN Ji, et al. Sporopollen record and environmental evolution since ~ 100 years in Lake Hongjiannao, Shaanxi Province [J]. Journal of Lake Sciences, 2005, 17 (1): 28 ~ 34.
- [12] 汪勇, 沈吉, 羊向东, 等. 陕北红碱淖沉积物粒度特征所揭示的环境变化 [J]. 沉积学报, 2006, 24 (3): 349 ~ 355.
- WANG Yong, SHEN Ji, YANG Xiang-dong, et al. Environmental changes deduced from grain-size characteristics of the sediments from Hongjiannao Lake, Shaanxi Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24 (3): 349 ~ 355.
- [13] 隆浩, 王乃昂, 李育, 等. 毛乌素沙地北缘泊江海子剖面粒度特征及环境意义 [J]. 中国沙漠, 2007, 27 (2): 187 ~ 193.
- LONG Hao, WANG Nai-ang, LI Yu, et al. Particle size characteristics of deposits from PJHZ section in northern edge of Mu Us desert and their environmental significance [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27 (2): 187 ~ 193.
- [14] 黄昌庆, 冯兆东, 马玉贞, 等. 巴汗淖孢粉记录的全新世环境变化 [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2009, 45 (4): 7 ~ 12.
- HUANG Chang-qing, FENG Zhao-dong, MA Yu-zhen, et al. Holocene palaeoenvironment changes recorded by pollen of Baahar Nuur Lake [J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2009, 45 (4): 7 ~ 12.
- [15] Heller F, Liu T S. Magnetostratigraphical dating of loess deposits in China [J]. Nature, 1982, 300: 431 ~ 433.
- [16] 刘秀铭, 刘东生, Shaw J. 中国黄土磁性矿物特征及其古气候意义 [J]. 第四纪研究, 1993, (3): 281 ~ 287.
- LIU Xiu-ming, LIU Dong-sheng, Shaw J. Magnetic mineral characteristics of Chinese loess and its palaeoclimatic significance [J]. Quaternary Sciences, 1993, (3): 281 ~ 287.
- [17] 王建, 刘泽纯, 姜文英, 等. 磁化率与粒度、矿物的关系及其古环境意义 [J]. 地理学报, 1996, 51 (2): 155 ~ 163.
- WANG Jian, LIU Ze-chun, JIANG Wen-ying, et al. A relationship between susceptibility and grain-size and minerals, and their paleo-environmental implications [J]. Acta Geographica Sinica, 1996, 51 (2): 155 ~ 163.
- [18] 蒋雪中, 王苏民, 羊向东. 云南鹤庆盆地 HQ 孔沉积特征与古环境变迁 [J]. 地质力学学报, 1998, 4 (4): 77 ~ 81.
- JIANG Xue-zhong, WANG Su-min, YANG Xiang-dong. Sedimentary characteristics and climatic evolution of core HQ in Heqing Basin, Yunnan Province [J]. Journal of Geomechanics, 1998, 4 (4): 77 ~ 81.
- [19] 范淑贤, 赵景波, 吴锡浩, 等. 秦岭太白盆地晚更新世晚期环境变迁 [J]. 地质力学学报, 1997, 3 (4): 46 ~ 51.
- FAN Shu-xian, ZHAO Jing-bo, WU Xi-hao, et al. Environment changes during the close of Pleistocene in the Taibai Basin

- in the Qinling Mountain [J]. Journal of Geomechanics, 1997, 3 (4): 46 ~ 51.
- [20] 吴艳宏, 李世杰. 湖泊沉积物色度在短尺度古气候研究中的应用 [J]. 地球科学进展, 2004, 19 (5): 789 ~ 792.
WU Yan-hong, LI Shi-jie. Significance of lake sediment color for short time scale climate variation [J]. Advances in Earth Science, 2004, 19 (5): 789 ~ 792.
- [21] 杨石岭, 丁仲礼, 秦小光, 等. 黄土沉积中红光/反射光亮度值变化及古气候意义 [J]. 第四纪研究, 1999, (4): 380.
YANG Shi-ling, DING Zhong-li, QIN Xiao-guang, et al. Variation of red light/reflection lightness of loess deposit and its paleoclimatic implication [J]. Quaternary Sciences, 1999, (4): 380.
- [22] 吴健, 沈吉. 兴凯湖沉积物磁化率和色度反映的28 kaBP以来区域古气候环境演化 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29 (3): 123 ~ 131.
WU Jian, SHEN Ji. Paleoenvironmental and paleoclimatic changes reflected by diffuse reflectance spectroscopy and magnetic susceptibility from Xingkai Lake sediments [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29 (3): 123 ~ 131.
- [23] 罗超, 杨东, 彭子成, 等. 新疆罗布泊地区近3.2万年沉积物的气候环境记录 [J]. 第四纪研究, 2007, 27 (1): 114 ~ 121.
LUO Chao, YANG Dong, PENG Zi-cheng, et al. Climatic and environmental records in the sediment of the Luobei Billabong in Lop-Nur, Xinjiang in recent 32ka [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27 (1): 114 ~ 121.

ON THE ENVIRONMENTAL CHANGES SINCE 15 ka BP IN THE ORDOS PLATEAU

JIANG Fu-chu¹, WANG Shu-bing¹, FU Jian-li¹, LI Chao-zhu¹, Cai Yao²

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Institute of Geology and Mineral of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: In this paper, the climatic and environmental evolution since past nearly 15 kaBP were revealed by the comprehensive analysis of grain size, magnetic susceptibility and chrominance from lacustrine deposits in the Shejialiang Lake Area, central Ordos Plateau. It's revealed that during 14.3 ~ 11.9 kaBP, at depth of 235 ~ 205 cm, depositional environment are dry and cold relatively. 11.9 ~ 4.0 kaBP, at depth of 205 ~ 85 cm, sediment proxies reflect that abundant rainfall, enlarging lake, and the lake has developed into a stable deep-water condition, wetter climate possibly due to increase monsoon activity. 4.0 ~ 0 kaBP, at depth of 85 ~ 0 cm, showed that the climatic characteristics were fluctuated by a large margin, that was period of alternate cool dry and warm wet, and the water level of Shejialiang Lake has been fluctuate. That frequency and intensity of sandstorms have strengthened, Including of 1.2 ~ 1.4 kaBP, at depth of 25 ~ 30 cm, It was one of the driest period, the strong dust storm are frequent, and that deposited coarse sandy layer.

Key words: lacustrine deposits; environmental evolution; Ordos Plateau

