

文章编号: 1000-0550(2006)06-0864-06

青藏高原东部全新世泥炭灰分的粒度特征及其古气候意义^①

于学峰¹ 周卫健¹ 刘晓清² 郑艳红³ 宋少华¹

(1 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室 西安 710075)

(2 陕西师范大学旅游与环境学院 西安 710062 3. 西北大学地质学系 西安 710069)

摘要 通过将红原泥炭地泥炭灰分的粒度特征与典型风成沉积物、湖泊沉积物、河流沉积物的粒度特征进行比较,发现泥炭灰分的粒度特征与典型风成沉积(如黄土、古土壤)相似,而与湖泊沉积以及河流沉积有较大差异。环境判别参数也显示泥炭灰分来源为风成的。据此,作者认为该地区泥炭沉积中的灰分物质是风成堆积,进而提出该地区泥炭灰分含量可以指示冬季风强度的变化。

关键词 泥炭 粒度 灰分 古气候 冬季风

第一作者简介 于学峰 男 1974 年出生 博士 助理研究员 第四纪地质学 E-mail: xfyu@bess.higg.ac.cn

中图分类号 P534.63 **文献标识码** A

1 引言

泥炭也称草炭或泥煤,是一种由未完全分解和已经分解的有机残体以及矿物质(灰分)构成的沉积物。Chambers & Chaman 把泥炭地(peat land)定义为:陆地表面自然积累有机物质层的区域。全球大约有 $4 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的表面覆盖了泥炭沉积^[1]。我国是一个泥炭资源丰富的国家,分布范围较广,南起海南,北至黑龙江,西到新疆艾比湖,东到黑龙江三江平原,几乎都有泥炭分布,但分布较为零散,其中以青藏高原东部的若尔盖和红原地区最为富集^[2-3]。

全新世泥炭沉积因具有相对简单的埋藏学特征^[1]、时间分辨率高、易于测年、可提取的古气候信息多等优势,而受到许多全新世古气候学家的青睐^[4-24]。就青藏高原东部地区全新世泥炭的古气候记录研究而言,成果已经颇为丰富^[16-24],这些研究从不同方面建立了该地区全新世气候演化的框架,尤其是西南季风演化状况,但因为缺乏冬季风气候代用指标,所以很少涉及冬季风气候状况的讨论。气候模拟研究表明,青藏高原阶段性隆升对冬季风的影响要强于对夏季风的影响^[25]。因此探索一种有效的冬季风气候代用指标,重建全新世以来该地区冬季风演化序列具有重要意义。

本文从泥炭灰分的粒度特征研究出发,应用前人研究比较成熟的方法^[26-27],探讨了泥炭沉积物中矿物质(灰分)的来源及其动力学问题,从而提供了泥炭灰分含量可以作为冬季风气候代用指标的粒度证据。

2 样品采集与实验方法

2.1 采样点概况

本研究用材料采自青藏高原东部地区的红原泥炭地,采样地点位于四川省红原县南偏西 2 km 处的泥炭地 ($32^{\circ}46'7''\text{N}$, $102^{\circ}31'0''\text{E}$) (图 1),海拔 3 527 m。研究点泥炭属河流阶地泥炭地,根据对不同部位泥炭厚度的钻探结果,发现研究地点泥炭剖面呈楔状沿缓坡向白河谷底展布(图 2A),故泥炭厚度最大的地方并不在剖面最低洼处,而在山坡前缘的缓坡上,白河最大洪水水位不能到达此处,故此处植物主要依靠大气降水生存,泥炭也主要因大气降水而发育,并同时接受大气粉尘沉积。该泥炭剖面在平面等厚图上呈葫芦状分布(图 2B)。泥炭沉积地层质地较为均匀,含大量植物残体。因植物残体分解程度不同而具有明暗相间的条带,较暗的条带为植物残体分解程度较高的沉积,而较亮的条带则为植物残体分解程度较低的沉积。

^① 国家自然科学基金项目(批准号: 40121303 40531003)和黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金共同资助。
收稿日期: 2006-02-12 收修改稿日期: 2006-04-27

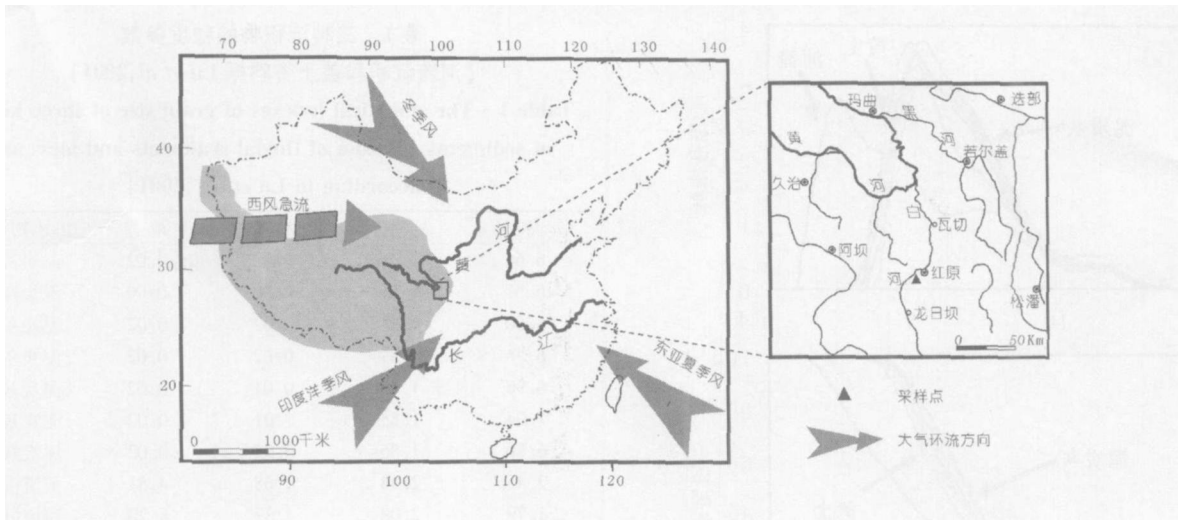


图 1 采样点位置及大气环流形式

Fig 1 The location of the study site and the atmospheric circulation system around the site

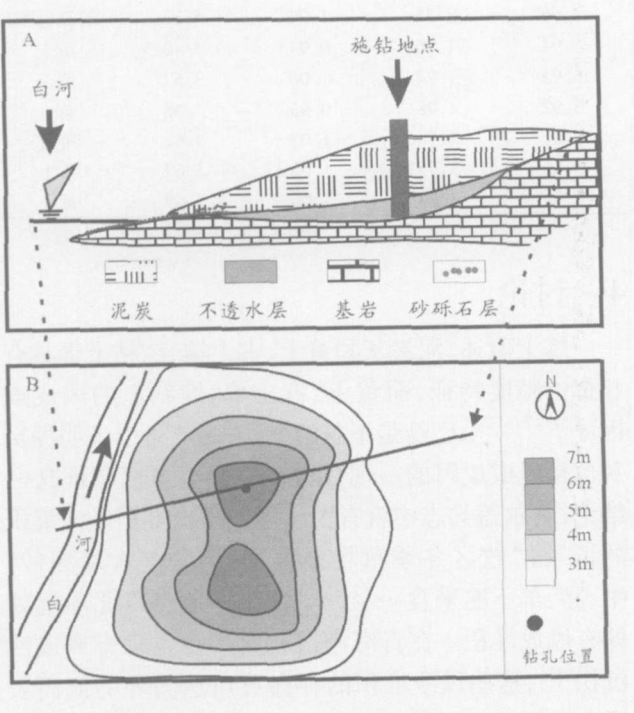


图 2 红原泥炭剖面沉积示意图

Fig 2 The outline map of the study section

2.2 泥炭灰的粒度实验方法

泥炭灰分就是泥炭沉积中无机矿物组分。可以通过氧化反应将泥炭中有机物除去获得灰分。将泥炭样品置于马弗炉中,在 600°C 有氧条件下使其充分燃烧,收集灰烬用于粒度测试。

用英国 Malvern 公司产的 Mastersize S 型激光粒度仪对样品进行测量。实验在黄土与第四纪地质国家重点实验室完成。

3 粒度分析结果

3.1 粒度分布曲线与概率累积曲线

统计表明不同沉积物类型具有不同的粒度频率分布曲线和粒度概率累积曲线,所以在沉积相判别中常以粒度分布曲线和粒度概率累积曲线作为判别依据^[28]。为分析泥炭灰的沉积学特征,我们分别对泥炭灰、黄土沉积、河流相沉积进行了粒度分析。

图 3 分别为黄土、河流相沉积物、泥炭灰的粒度分布曲线和粒度概率累积曲线。泥炭灰分与黄土沉积具有相似的粒度分布特征,而与河流相沉积具有较大差别。泥炭灰分与典型黄土沉积具有相同的双峰分布特征^[29]。不仅如此,泥炭灰与黄土沉积粒度分布主峰的粒级也较为一致,大约在 5 ϕ 左右,反映相对较为简单的搬运方式,以悬浮搬运为主。河流沉积则不具备较为单调的双峰分布,而且主峰明显偏粗,反映多种搬运方式共存,和较强的动力特征(图 3a)。

粒度概率累积曲线(图 3 b)也显示泥炭灰与黄土较为相似,而与河流相沉积呈现较大差别。

由粒度分布曲线和粒度概率累积曲线可以明显地将泥炭灰与黄土归为一类,而将其与河流相沉积区分开来。

3.2 粒度参数特征

沉积物粒度参数与沉积物形成时的环境有很好的相关性。粒度参数包括:平均粒径、标准差、偏度、峰态等。本文利用鹿化煜等研究红粘土粒度特征时使用的粒度参数计算公式^[26-27],计算得到泥炭灰分

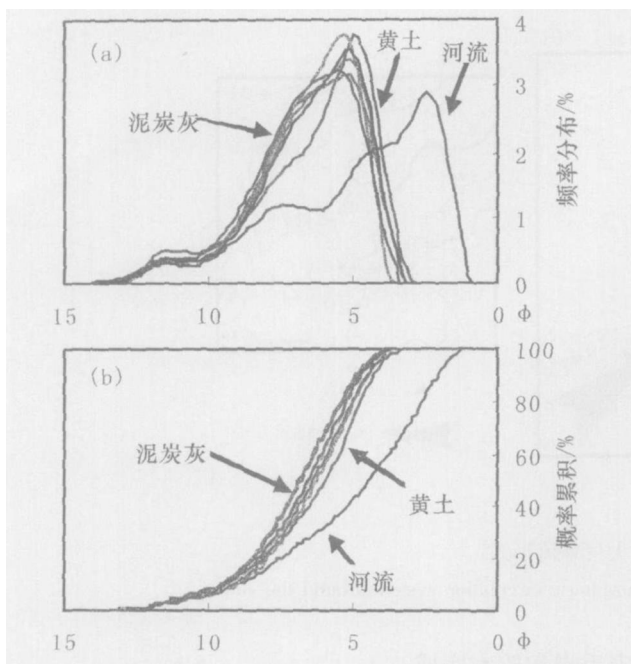


图 3 泥炭灰分粒度分布曲线和概率累积曲线
(用于粒度分析的黄土取自大荔人遗址洛河三级阶地;
河流沉积物取自洛河沉积)

Fig 3 The grain size distribution curves and the cumulative curves of peat ash (less sample and fluvial sediment for comparison are taken from the DaliMan site)

粒度的几个重要参数。表 1 是泥炭灰、黄土和河流沉积物粒度参数的比较。泥炭灰分粒度的平均粒径和标准差与黄土沉积的非常相似,而与河流相沉积物有较大差别。泥炭粒度的平均粒径比黄土的略细,这也符合全新世冬季风强度弱于冰期时冬季风强度的事实。

3.3 环境判别参数特征

根据不同沉积相沉积物粒度参数的统计特征,前人得出了风成沉积与水成沉积之间沉积环境判别的一条经验公式——环境判别参数 $Y^{[28]}$,并在风成沉积物判别中得到较好的应用^[26-27]:

$$Y = -3.5688X + 3.7016(S_{\phi})^2 - 2.0766SK_{\phi} + 3.1175K_{\phi}$$

图 4 是根据公式计算的泥炭灰的环境判别参数与前人计算的黄土、古土壤、红粘土、湖泊沉积以及河流沉积的环境判别参数^[26-27]比较。典型风成沉积物的环境判别参数皆为负值,而水成沉积物的环境判别参数则大部分都为正值。由此也可以将泥炭灰与黄土、古土壤、红粘土划归一类。

表 1 三种沉积物的粒度参数
(河流沉积和黄土资料据 Lu et al 2001)

Table 1 The statistical indexes of grain size of three kinds of sediments (Datum of fluvial sediments and less are according to Lu et al., 2001)

平均粒径 ϕ	标准差	偏度	峰态	沉积物类型
6.66	1.76	0.02	0.02	泥炭灰分
6.51	1.86	0.00	0.00	泥炭灰分
6.60	1.86	0.02	0.02	泥炭灰分
6.76	1.87	0.02	0.02	泥炭灰分
6.96	1.85	0.01	0.02	泥炭灰分
7.04	1.85	0.01	0.02	泥炭灰分
6.80	1.86	0.02	0.02	泥炭灰分
2.45	2.44	1.68	4.81	河流沉积
1.79	2.08	2.37	8.20	河流沉积
5.07	2.74	0.33	1.68	河流沉积
4.00	2.83	0.72	2.22	河流沉积
4.06	2.84	0.71	2.20	河流沉积
3.51	2.71	1.15	3.06	河流沉积
2.66	2.28	1.94	5.82	河流沉积
5.94	1.76	0.94	3.40	黄土
5.92	1.74	1.00	3.52	黄土
5.92	1.78	0.95	3.38	黄土
5.81	1.74	1.03	3.61	黄土
5.75	1.75	1.05	3.69	黄土
5.76	1.74	1.06	3.69	黄土

4 讨论

综上所述,泥炭灰和黄土、古土壤、红粘土等具有相似的粒度特征,而黄土、古土壤、红粘土的风成成因^[26-27, 30-32],已经是不争的事实,由此可以证明泥炭灰也是风成成因的。现代观测记录也可以印证这一结论,若尔盖县志中就有关于泥炭地上堆积风沙沉积的记录,“牧区冬季草场枯黄,大风吹起大量泥沙,牛、马、羊不愿采食...”^[33]。在研究地点以北不远处即有风成堆积。在青海湖沉积物中也发现有风成沙沉积^[34],这些风沙堆积的存在可以从另外的侧面表明在红原地区泥炭沉积中存在风成沉积物的可能性。

孙广友等报道了在红原泥炭剖面发现纹泥构造^[35],因为纹泥是一种弱水动力环境下的沉积物,纹泥的出现一方面表明该地区发育的泥炭沉积受洪水和河流沉积的影响较弱,或者没有影响;另一方面也说明该地区沉积作用受到积水的影响。该地区泥炭地作为一种内陆积水环境下的沉积系统,可能兼备了风成沉积和弱水动力条件下的水成沉积的特征:风成沉积指示了其物质来源,而纹泥构造可能指示了积水环境中特殊的沉积作用。

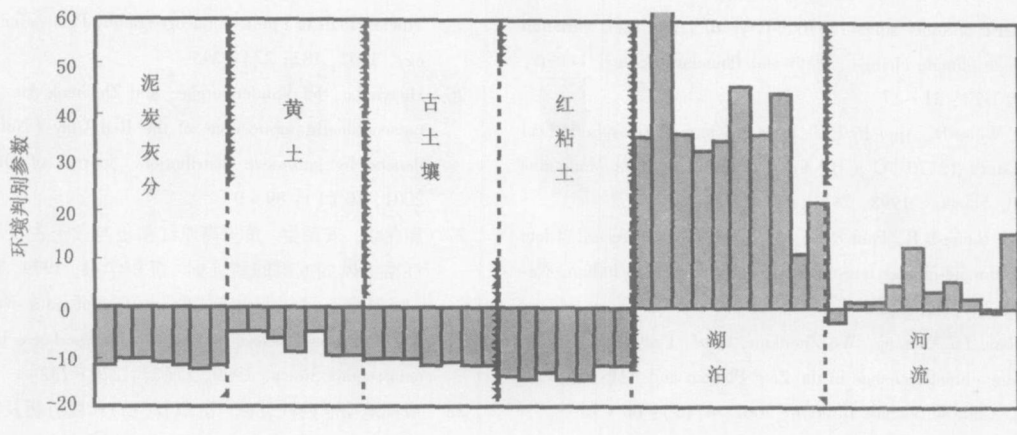


图 4 几种不同沉积相环境判别参数 Y 值比较
(黄土、古土壤、红粘土、湖泊、河流沉积的资料据 Lu *et al.*, 2001)

Fig. 4 Comparison of the Y value among the peat ash, peat, paleosol, red clay, fluvial sediments and lacustrine sediments (Data except the peat ash are according to Lu *et al.*, 2001)

既然泥炭沉积物中灰分的多少代表物源输入的多少, 前面又已经证明该地区泥炭灰分主要是风成堆积, 那么, 沉积物中灰分含量的高低则可以指示粉尘输入动力的大小, 即冬季风的强度。所以灰分含量可以作为一个指示冬季风强度的气候代用指标。

应该指出的是, 不同地区泥炭灰分的成因可能不同, 本文关于青藏高原东部地区的结论只适用于该地区, 而不具有普遍意义, 其他地区泥炭沉积的灰分含量应该根据具体情况赋予相应的气候意义。如华南地区(定南大湖泥炭剖面)泥炭沉积中, 泥炭发育主要受控于水动力条件的大小^[9], 泥炭灰分代表有效降水的多少, 而不是粉尘输入的多少, 此时泥炭灰分非但不能用作冬季风代用指标, 相反应该作为夏季风代用指标。所以将泥炭灰分含量用作冬季风气候代用指标时应该慎重。最好先进行沉积学分析, 确定是风成堆积后, 再使用该指标比较妥当。

致谢 感谢评审专家中肯的意见和修改建议, 感谢中国科学院地球环境研究所戈双文、王先彦同学协助进行粒度测量。

参考文献 (References)

- 1 Frank M, Chambers & Dan J Chaman. Holocene environmental change: contributions from the peatland archive. *The Holocene* 2004, 14(1): 1~6
- 2 尹善春. 中国泥炭资源. 地学前缘, 1999, 6(增刊): 116~124 [Yin Shanchun. Peat resources of China. *Earth Science Frontiers* 1999, 6 (Supp): 116~124]
- 3 胡金明. 中国泥炭资源蕴藏的空间格局分析. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2000, 23(2): 144~146 [Hu Jiming. Analysis on spatial partem of peat distribution in China. *Journal of Anhui Normal*

- University (Natural Science). 2000, 23(2): 144~146]
- 4 Blackford J J. Palaeoclimatic records from peat bogs. *Tree* 2000, 15 (5): 193~198
- 5 Blackford J J. Proxy climate record for the last 1000 years from Irish blanket peat and a possible link to solar variability. *Earth and Planet Science Letters* 1995, 130: 145~150
- 6 Xie S G, Nott C J, A vseejs L A *et al.* Palaeoclimatic records in compound specific δD values of a lipid biomarker in an ombrotrophic peat. *Organic Geochemistry* 2000, 31: 1053~1057
- 7 Xie Shucheng & Evershed R P. Peat molecular fossils recording paleoclimatic change and organism replacement. *Chinese Science Bulletin* 2002, 46(20): 1749~1752
- 8 Weijian Zhou, Shucheng Xie, Philip A Meyers *et al.* Reconstruction of late glacial and Holocene climate evolution in southern China from geolipids and pollen in the Dingnan peat sequence. *Organic Geochemistry* 2005, 36: 1272~1284
- 9 Zhou Weijian, Yu Xuefeng A J, Timothy Jull *et al.* High resolution evidence of an early Holocene optimum and a mid-Holocene dry event from southern China during the last 18 000 years. *Quaternary Research* 2004, 62: 39~48
- 10 Hong Y T, Jiang H B, Liu T S *et al.* Response of climate to solar forcing recorded in a 6000 year delta O-18 time series of Chinese peat cellulose. *The Holocene* 2000, 10: 1~7
- 11 Hong Y T, Wang Z G, Jiang H B *et al.* A 6000 year record of changes in drought and precipitation in northeastern China based on a delta C-13 time series from peat cellulose. *Earth and Planetary Science Letters* 2001, 185: 111~119
- 12 Hong Y et al. Evidence for solar forcing of climate variation from $\delta^{18}O$ of peat cellulose. *Science in China (Series D)*, 1999, 29(6): 527~531
- 13 Shoyk W, Michael K rachler and Antonio M artinez Cortizas. A peat bog record of natural pre-anthropogenic enrichments of trace elements in atmospheric aerosols since 12370 ^{14}C yr BP and their variation with Holocene climate change. *Earth and Planetary Science Letters*

- 2002 199(12): 21~37
- 14 Sholyk W, Weiss D, Appleby P G *et al* History of atmospheric lead deposition since 12370¹⁴ C a BP from a peat bog Jura Mountains Switzerland Science 1998 281(11): 1635~1640
- 15 Sukumar R, Ramesh R, Pant R K *et al* A delta C-13 record of late Quaternary climate change from tropical peats in southern India. Nature 1993 364: 703~706
- 16 Zhou Weijian, Lu Xuefeng, Wu Zhenkun *et al* Peat record reflecting Holocene climatic change in the Zoige Plateau and AMS radiocarbon dating Chinese Science Bulletin 2002 47(1): 66~70
- 17 Hong Y T, Hong B, Lin Q H *et al* Correlation between Indian Ocean summer monsoon and North Atlantic climate during the Holocene Earth and Planetary Science Letters 2003 214: 371~380
- 18 Hong Y T, Hong B, Lin Q H *et al* Inverse phase oscillations between the East Asian and Indian Ocean summer monsoons during the last 12000 years and paleo E1Nino Earth and Planetary Science Letters 2005 234: 337~346
- 19 王曼华. 若尔盖高原区泥炭地的孢粉组合及古植被与古气候. 地理科学, 1987 7(2): 147~155 [Wang Manhua. The spore pollen groups of peatland on Ruogai Plateau and paleobotany and paleoclimate Scientia Geographica Sinica 1987 7(2): 147~155]
- 20 王富葆, 韩辉友, 阎革, 等. 青藏高原东北部 30ka 以来的古植被与古气候演变序列. 中国科学, 1996 26(2): 111~117 [Wang Fubao, Han Huiyou, Yan Ge *et al* Sequence of palaeovegetational and palaeoclimatic changes in northeastern Tibetan Plateau during the last 30 ka Science in China (Series D), 1996 26: 111~117]
- 21 Wang Hua, Hong Yetang, Zhu Yongxuan *et al* Humification degrees of peat in Qinghai Xizang Plateau and palaeoclimate change Chinese Science Bulletin 2004 49(5): 514~519
- 22 洪冰, 林庆华, 洪业汤, 等. 全新世青藏高原东部西南季风的演变. 地球与环境, 2003 32(1): 42~49 [Hong Bing, Lin Qinghua, Hong Yetang *et al* Evolution of southwest monsoon in the eastern part of Qinghai Tibetan Plateau during Holocene Earth and Environment 2003 32(1): 42~49]
- 23 Xu Hai, Hong Yetang, Lin Qinghua *et al* Temperature variations in the past 6000 years inferred from $\delta^{18}O$ of peat cellulose from Hongyuan China Chinese Science Bulletin 2002 47(18): 1578~1584
- 24 何光荣. 红原 I、II 泥炭地植被生态特征与泥炭堆积. 四川地质学报, 1999 19(1): 58~63 [He Guangrong. Vegetation Ecological features and peat deposits of the Hongyuan peatlands I, II. Acta Geologica Sichuan 1999 19(1): 58~63]
- 25 Liu X D, Yin Z Y. Sensitivity of East Asian monsoon climate to the Tibetan Plateau uplift Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology 2002 183: 223~245
- 26 Huayu Lu, Jef Vandenberghe and Zhisheng An. Aeolian origin and palaeoclimatic implications of the Red Clay (North China) as evidenced by grain size distribution Journal of Quaternary Science 2001 16(1): 89~97
- 27 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比: 红粘土风成成因的新证据. 沉积学报, 1999 17(2): 226~232 [Lu Huayu, An Zhisheng. Comparison of grain size distribution of red clay and loess palaeosol deposits in Chinese Loess Plateau Acta Sedimentologica Sinica 1999 17(2): 226~232]
- 28 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用. 北京: 地质出版社, 1976. 31~127 [Chengdu Geology College. Grain Size Analysis of Sediment and Their Applications Beijing Geological Publication House 1976. 31~127]
- 29 孙东怀, 鹿化煜, David Rea 等. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义. 沉积学报, 2000 18(3): 327~335 [Sun Donghuai, Lu Huayu, David Rea *et al* Bimodal grain size distribution of Chinese loess and its palaeoclimate implication Acta Sedimentologica Sinica 2000 18(3): 327~335]
- 30 Liu Tunsheng *et al* Loess and the Environment Beijing: China Ocean Press 1985. 149~158
- 31 An Zhisheng, Kuzbach J E, Prell W L *et al* Evolution of Asian monsoon and phased uplift of the Himalaya Tibetan plateau since late Miocene times Nature 2001 414: 62~66
- 32 Guo Z T, William F Ruddiman, Hao Q Z *et al* Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China Nature 2002 416: 159~163
- 33 若尔盖县志编纂委员会. 若尔盖县志. 北京: 民族出版社, 1996 33 [Editorial Committee of General Records of Zoige County. General Records of Zoige County. Beijing: The Ethnic Publishing House 1996. 33].
- 34 中国科学院兰州分院, 中国科学院西部资源环境研究中心, 著. 青海湖近代环境的演化和预测. 北京: 科学出版社, 1994. 112~130 [Lanzhou Branch of Chinese Academy of Sciences & Western Research Center for the Environment and Resources. CAS. The Environmental Change in Recent Years in Lake Qinghai and the Environmental Prediction. Beijing Science Press 1994. 112~130]
- 35 孙广友, 罗新正, Tuener R E. 青藏东北部若尔盖高原全新世泥炭沉积年代学研究. 沉积学报, 2001 19(2): 177~181 [Sun Guangyou, Luo Xinzhen, Tuener R E. A study on peat deposition chronology of Holocene of Zoige Plateau in the Northeast Qinghai Tibetan Plateau Acta Sedimentologica Sinica 2001 19(2): 177~181]

Grain Size Characteristics of the Holocene Peat Sediment in Eastern Tibetan Plateau and Its Paleoclimatic Significance

YU Xue-feng¹ ZHOU Wei-jian¹ LIU Xiao-qing² ZHENG Yan-hong³ SONG Shao-hua¹

(1. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710075)

2. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062

3. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract Based on the comparison of the grain size characteristics of the Holocene peat sediment in eastern Tibetan Plateau with that of typical eolian sediments, fluvial sediments, and lacustrine sediments, the authors find that the grain size characteristics of peat sediment in the study site closely resemble that of eolian sediments (e.g. loess and paleosol), but differ from that of fluvial sediments and lacustrine sediments, no matter in the distribution curves or the cumulative curves. The discriminant parameter for the sedimentological environment determining, calculated by the statistical parameters of grain size, also shows the same result. So, the ash content in peat sediment can be used as a proxy to indicate the winter monsoon intensity: higher ash content shows stronger winter monsoon, and the vice versa.

Key words peat grain size, ash content, paleoclimate, winter monsoon