

文章编号: 1000-0550(2013)04-0646-07

乌梁素海湖泊沉积物粒度特征及其环境指示意义^①

马龙¹ 吴敬禄² 温军会³ 刘文^{2,4} 吉力力·阿不都外力¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室 乌鲁木齐 830011;

2. 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 南京 210008;

3. 陕西省地矿局区域地质矿产研究院 陕西咸阳 712000; 4. 中国科学院大学 北京 100049)

摘要 结合放射性同位素测年,在对乌梁素海湖泊沉积物粒度的分析基础上,结合黄河以及河套地区相关文献资料,探讨乌梁素海在自然和人类活动共同作用下的演变过程。乌梁素海沉积物中黏土($<4\ \mu\text{m}$)平均含量28.7%、细粉砂($4\sim 16\ \mu\text{m}$)平均含量34.4%、中粉砂($16\sim 32\ \mu\text{m}$)平均含量17.3%、粗粉砂($32\sim 64\ \mu\text{m}$)组分平均含量14.1%、砂质组分($>64\ \mu\text{m}$)含量整体较低,平均含量为5.5%。沉积物不同粒级范围颗粒含量的相关性分析表明,在1965年左右(岩芯深度20 cm)乌梁素海沉积物组分特征发生了明显变化。基于此,结合前期对湖泊沉积物中元素含量特征的分析,利用粒径-标准偏差方法,通过对比黄河泥沙以及流域沉积物的粒度特征,研究了约1965年前后两个时段的沉积物来源。尽管乌梁素海湖泊沉积物主要来源于黄河携带的泥沙以及河套平原灌溉退水携带的大量流域表土侵蚀物质,但同一物源组分在1965年前后这两个不同的演化阶段具有不同的粒级特征。1965年之前, $<19.95\ \mu\text{m}$ 的粒级组分反映了河套平原灌溉退水携带的流域表层侵蚀物质组分特征,而 $19.95\sim 181.97\ \mu\text{m}$ 的粗颗粒组分反映了黄河径流携带的泥沙,后者决定了乌梁素海沉积物的粒级特征。1965年以来,这两种不同来源组分的粒级变细,灌溉退水携带的流域表土侵蚀物质($<5.71\ \mu\text{m}$ 组分)控制了湖泊沉积物的粒度特征,并与总排干入乌梁素海的水量变化、围湖建堤以及扬水站的修建等人类活动强度密切相关。总体来看,上世纪六十年代以来,乌梁素海湖泊沉积物的粒度组成受人类施加的影响已经超越了自然作用的影响。

关键词 乌梁素海 沉积物 粒度 环境变化

第一作者简介 马龙 男 1982年出生 博士 干旱区湖泊资源与环境 E-mail: malong@ms.xjb.ac.cn

中图分类号 P512.32 **文献标志码** A

湖泊沉积物是陆地环境变化的天然档案库,保存了丰富的环境演化以及人类活动等信息,成为研究过去环境变化的良好载体^[1,2]。沉积物粒度作为重建古环境的重要指标,广泛应用于古环境研究之中^[3-5]。目前主要通过粒度组分Weibull分布的函数拟合法^[6]、端元模型法^[7]、粒径标准偏差法^[8,9]和因子分析法^[10]等对沉积物的物质来源进行分析。河套平原地区开发历史悠久,早在秦汉时期就开始开渠引水,发展农业,人类活动已经深刻影响到区域环境的变化^[11]。前期已对乌梁素海湖泊沉积物元素含量进行了分析,研究了沉积物中元素的变化规律,探讨了沉积物中元素变化的影响因素^[12],本文基于对黄河上游河套平原的乌梁素海湖泊沉积物粒度特征分析,通过粒径-标准偏差对粒度组分的物质来源进行分析,并结合历史文献研究资料,探讨河套地区乌梁素海在自然和人类活动共同作用下的演变过程,以期

为合理利用湖泊资源,协调区域可持续发展提供基础资料。

1 研究区概况

乌梁素海($N40^{\circ}47'\sim 41^{\circ}03'$, $E108^{\circ}43'\sim 108^{\circ}57'$)地处巴彦淖尔市乌拉特前旗东北约9 km(图1),位于河套盆地后套平原最东端,是地球上同一纬度最大的自然湿地,同时是亚洲湿地公约组织名录中的大型湿地生物多样性保护区,乌梁素海湿地生态系统对维护周边地区生态平衡具有重要的作用^[13,14]。2008年测定pH值平均9.04,矿化度平均2.48 g/L,湖泊面积370 km²左右^[12]。该区属温带大陆性气候,年均气温6.7℃,年降水量为224 mm,全年蒸发量为2456 mm^[15]。乌梁素海作为河套灌区水利工程的重要组成部分,直接纳入后套黄河灌区农业灌溉退水^[11]。根据文献记载,公元1850年左右,今

^①中国科学院西部之光人才培养计划项目(XBBS201106)、国家自然科学基金项目(2011CB403301)、国家自然科学基金(41101190)以及中国博士后科学基金(20110491752)和王宽城博士后工作奖励基金联合资助
收稿日期: 2012-07-20; 收修稿日期: 2012-10-20

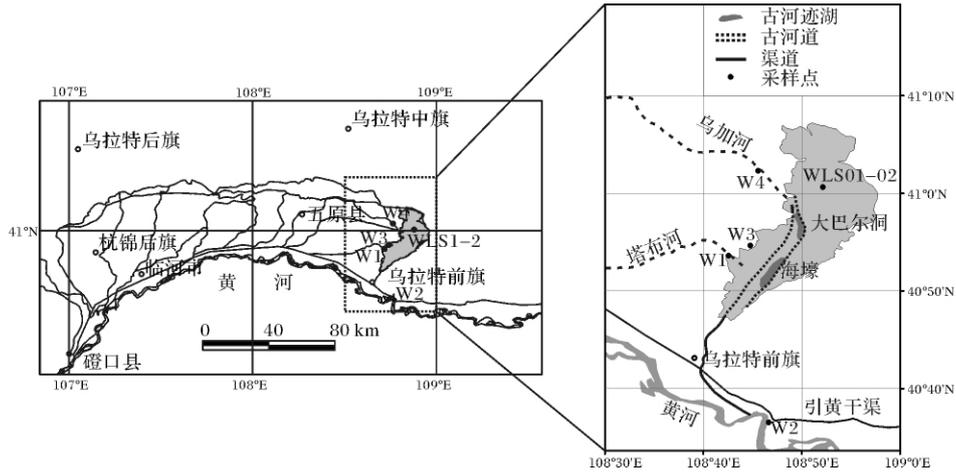


图 1 乌梁素海区域位置及古河迹湖、古河道位置图

Fig.1 The location map of Wuliangsu Lake , former fluvial lake and ancient Yellow River course

乌拉河至乌加河一段长约 15 km 的河道因泥沙淤塞而断流,在乌拉山西部,留有四处积水洼地,即为现今乌梁素海湖区中较深的“大巴尔洞”和“海壕”,形成总面积只有 2 km²的河迹湖^[11]。

2 样品分析与结果

2008 年 8 月在乌梁素海北部用活塞采样器平行采集 WLS01(深 42 cm)和 WLS02(深 56 cm)等 2 个湖泊沉积物岩芯,同时采集 W1、W2、W3 和 W4 等 4 个不同类型流域沉积物样品进行粒径-频率曲线对比,采样站位见图 1 和表 1。WLS01 和 WLS02 等沉积岩芯均在野外现场以 1 cm 间隔分层,并装入塑料袋中密封保存,分别用于同位素测年和粒度分析。²¹⁰Pb 的放射性比活度采用 γ 分析方法,分析仪器为美国 ORTEC 公司生产的由高纯锗井型探测器(Ortec HPGe GWL)与 Ortec 919 型谱控制器和计算机构成的 16K 多道分析器所组成的 γ 谱分析系统。通过恒

氢以及盐酸处理后,加入六偏磷酸钠超声振荡,将振荡后的样品用英国 Malvern Mastersizer 2000 型激光粒度仪上进行粒度测试^[12]。

粒度能够反映搬运介质能量的高低和沉积环境的变化^[16,17]。本文根据传统沉积学岩性分类方法将粒度分黏土(4 μm)、细粉砂(4~16 μm)、中粉砂(16~32 μm)、粗粉砂(32~64 μm)和砂(>64 μm)等五类^[18]。平均粒径表示粒度分布的集中趋势,按福克

和沃德的定义表达式 $M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$ 计算平均粒

径 φ 值。φ₁₆、φ₅₀ 和 φ₈₄ 分别代表累积曲线上百分含量为 5%、50% 以及 84% 三处的粒径 φ 值^[18]。φ 值转换为 μm 单位表示,粒度分析结果见图 2。湖泊沉积物中黏土(<4 μm)的平均含量为 28.7%,在 6~15 cm 黏土含量最大,平均含量达 37.8%;细粉砂(4~16 μm)的平均含量为 34.4%,在 5~15 cm 为一较低阶段,平均为 29.3%;中粉砂(16~32 μm)的平均含量为 17.3%,粗粉砂(32~64 μm)的平均含量为 14.1%;砂(>64 μm)组分含量整体较低,平均 5.5%,在 35~40 cm 以及 20 cm 之上存在两个含量较大的阶段,含量平均分别为 7.4% 和 6.9%。从变化趋势图看,乌梁素海湖泊沉积物中不同粒级含量较为复杂。20 cm 之下,黏土质(<4 μm)含量变幅很小,与细粉砂含量一致,且与平均粒径呈反向变化;20 cm 之上,黏土含量急剧增加,且与细粉砂以及粉砂等组分含量相反(图 2)。

表 1 乌梁素海采样点信息

Table 1 The information of sediment samples in Wuliangsu lake watershed

样品点	经度 E	纬度 N	样品点属性
W1	108.7096	40.8934	引黄河水渠道底泥
W2	108.7722	40.6081	黄河底泥
W3	108.7467	40.9106	长济渠分支河道边表层
W4	108.7599	41.0380	总排干岸边表层
WLS01, WLS02	108.8696	41.01068	湖泊沉积物

定补给速率(CRS)模式计算得到研究剖面的年代序列,见文献^[12]。取沉积物样品 0.3 g 左右,经过氧化

3 讨论

本文采用粒级标准偏差算法提取沉积物中的环

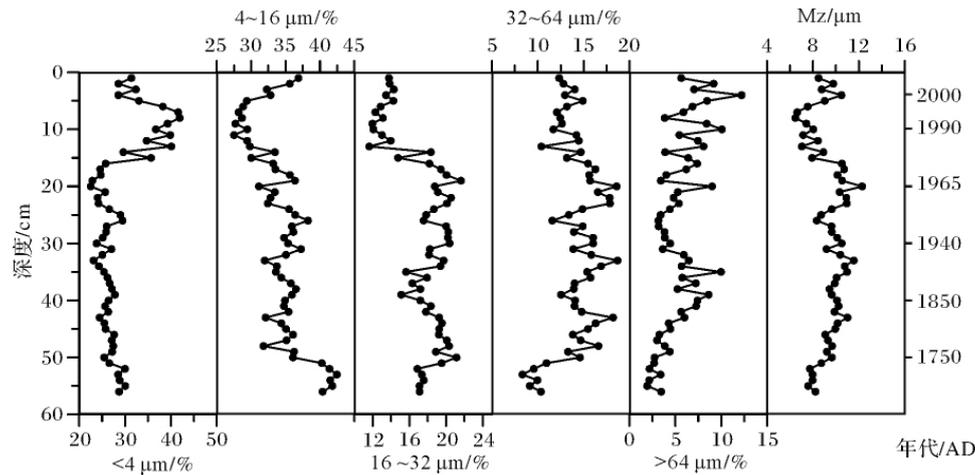


图2 乌梁素海沉积物粒度垂向分布特征

Fig. 2 The vertical distribution of different grain size in Wuliangsu Lake

境敏感粒度组分对粒度分析结果进行讨论^[19,20]。其原理是通过研究激光粒度仪给出的每一粒级所对应含量的标准差变化而获得粒度组分的个数和分布范围。粒级—标准偏差变化曲线主要反映了不同样品的粒度含量在各粒径范围内的差异性,高的标准偏差值反映了不同样品的粒度含量在某一粒径范围内差异较大,低的标准偏差则反映了粒度含量在某一粒径范围内差异较小。图中较高标准偏差值所对应的粒级即对沉积环境敏感的粒度众数,据此可以反映出一系列样品中粒度变化存在显著差异的粒度组分的个数和分布范围^[8]。但通过相关分析,在1~20 cm, <4 μm的粒径组分和其它粒级含量反相关(表2);而在20 cm之下, <4 μm和4~16 μm具有一致的变化趋势(表3),上下两段粒径组分之间的关系差异,反映了不同粒径组分受地质作用在20 cm左右发生了重要变化。与此对应,沉积物元素含量也发生了明显的变化^[12]。因此本文将岩芯分为0~20 cm和20~56 cm两段分别进行粒级—标准偏差的计算分析。

表2 0~20 cm层位相关性分析

Table 2 The correlation analysis of different size group in the layers 0~20 cm

不同粒级含量	< 4 μm	4~16 μm	16~32 μm	32~64 μm	>64 μm
< 4 μm	1				
4~16 μm	-0.862**	1			
16~32 μm	-0.848**	0.679**	1		
32~64 μm	-0.719**	0.392	0.838**	1	
> 64 μm	0.091	-0.200	-0.534*	-0.389	1

** . p=0.01 水平时显著(双尾检验); * . p=0.05 水平时显著(双尾检验)

表3 20~56 cm层位相关性分析

Table 3 The correlation analysis of different size group in the layers 20~56 cm

不同粒级含量	< 4 μm	4~16 μm	16~32 μm	32~64 μm	>64 μm
< 4 μm	1				
4~16 μm	0.794**	1			
16~32 μm	-0.530**	-0.409*	1		
32~64 μm	-0.873**	-0.965**	0.528**	1	
> 64 μm	-0.539**	-0.614**	-0.354*	0.501**	1

** . p=0.01 水平时显著(双尾检验); * . p=0.05 水平时显著(双尾检验)

根据对20~56 cm层段(1965年之前)沉积物的粒度的分析,粒级—标准偏差分布曲线中较高标准偏差峰值分别出现在8.71 μm和45.71 μm(图3A),可将粒度组分划分为组分1(F_1)(<19.95 μm)和组分2(F_2)(19.95~181.97 μm)。 F_1 和 F_2 的含量及其平均粒径变化如图4A和图4B, F_1 和 F_2 的含量呈反向变化,且 F_1 的平均粒径变化不显著(图4A), F_2 的平均粒径(图4B)与乌梁素海湖泊沉积物的平均粒径变化(图2)趋势一致,反映 F_2 控制了粒度的变化,是湖泊沉积物的敏感组分。通过 F_2 的粒级范围与黄河泥沙粒径频率曲线(图3B)的对比,两者具有相似的粒级范围,反映了 F_2 主要来源于黄河携带的泥沙。对比分析表明,乌梁素海流域退水渠底沉积物(图3C)与 F_1 的粒级范围较为一致, F_1 主要来源与河套地区灌溉退水携带的流域近源物质。从 F_2 的含量和平均粒径来看(图4B),从岩芯底部到约1910年(35 cm),粗颗粒泥沙增多,沉积物粒度逐渐变粗,这与黄河水动力条件逐渐增强有关^[21,22],径流偏多的年份,

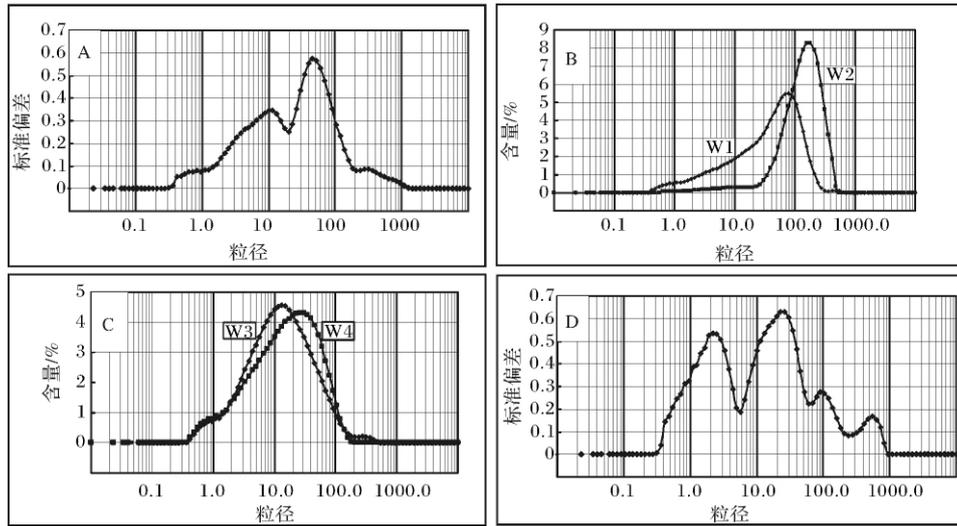


图 3 不同层位粒径标准偏差曲线及典型沉积物粒径频率分布曲线

Fig. 3 Standard deviation values vs. grain size of sediment cores and grain-size distribution curves of typical sediments

水动力较强,黄河所携带的泥沙增多。1910 ~ 1965 (35 ~ 20 cm) 这段时间, F_2 组分的粒径变化不明显,同时根据元素分析显示该阶段各种元素含量稳定^[12],该时期是沉积环境相对稳定的时期。

20 cm 以上层段(1965 年以来)沉积物的粒径—标准偏差分布曲线中,较高标准偏差峰值分别出现在 2.19 μm 和 22.91 μm (图 3D),反映了组分 1 (F_1) (< 5.71 μm) 和组分 2 (F_2) (5.71 ~ 60.56 μm) 两个粒径组分受不同来源物质影响。就 F_1 和 F_2 的含量和平均粒径来看(图 4C, D), F_1 的平均粒径和粒度总体平均粒径一致,说明 F_1 为环境敏感组分,而粗颗粒组分 F_2 应主要反映了黄河携带泥沙的特征,与 1965 年以来

的黄河粒径的减少与黄河径流的持续减小一致^[23,24]。细颗粒组分 F_1 主要由于乌梁素海位于河套平原的最低点,接受了大量灌溉退水携带的流域近源物质。1965 年以来湖岸围堤及红圪卜闸的建成,流域侵蚀物质不能直接入湖。由于退水中的物质组成经过了退水渠的再沉积,沉积物粒度组成以细颗粒物质为主。由于从 1977 年以来入湖水量迅速增大,湖泊水位升高,沉积物中细颗粒组分 F_1 含量和入湖水量成正相关(图 5),1977 ~ 1998 年细颗粒组分 F_1 含量明显增多,与入湖水量的变化趋势一致,入湖水量的增加伴随着细颗粒组分含量的显著增加。而 1998 年以来总排干入湖水量在减少,细粒径组分显

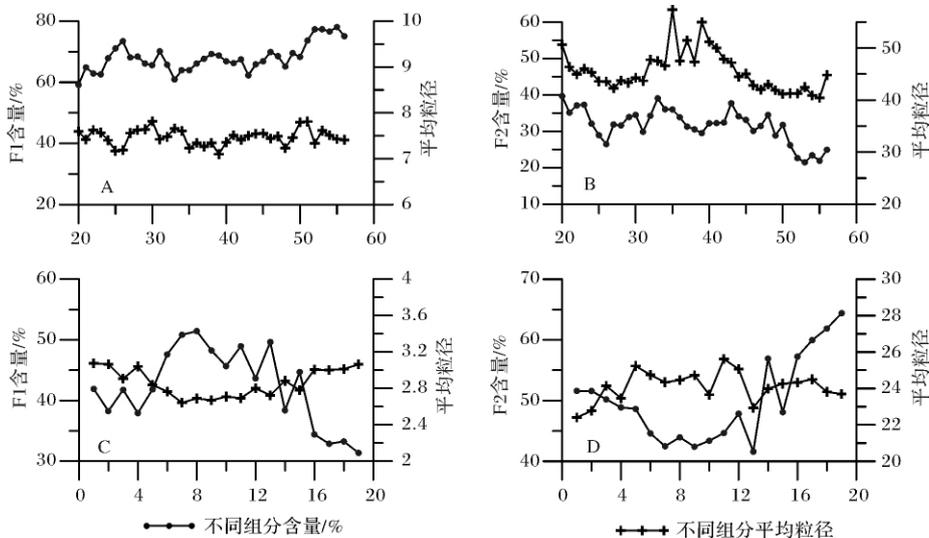


图 4 不同深度不同来源组分含量及平均粒径

Fig. 4 The content of separated grain-size populations and the average particle size of two grain-size populations.

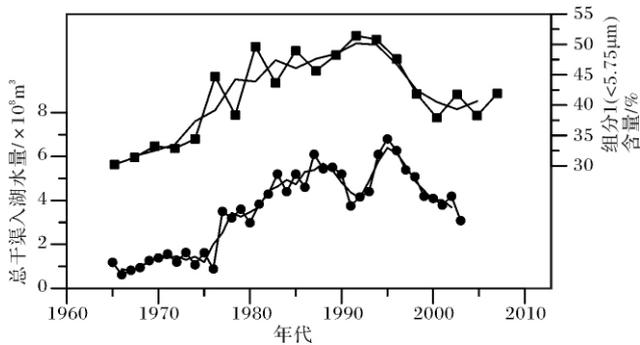


图5 1965年以来细颗粒组分含量与总排干入湖水量对比图^[25]

Fig. 5 The contents of fine grain-size populations and the runoff of the main drainage canal in Hetao Plain

著减少,同时2004年以来引黄济乌的实施,导致黄河泥沙直接进入乌梁素海,乌梁素海湖泊沉积物中粗颗粒组分含量增加。

4 结论

乌梁素海湖泊沉积物黏土($< 4 \mu\text{m}$)平均含量28.7%,在6~15 cm黏土含量最大,平均含量在37.8%。细粉砂(4~16 μm)含量34.4%,在5~15 cm为一较低的阶段,平均29.3%。粉砂(16~64 μm)组分平均含量31.5%,砂($> 64 \mu\text{m}$)组分含量整体较低,平均5.5%,在35~40 cm,以及20 cm之上存在两个含量较大的阶段,含量平均分别为7.4%和6.9%。但通过相关分析,在1~20 cm, $< 4 \mu\text{m}$ 粒径组分和其他粒径组分反相关;而在20 cm之下, $< 4 \mu\text{m}$ 和4~16 μm 具有一致的变化趋势。

通过粒径一标准偏差方法,结合流域沉积物粒径频率分布曲线的对比研究,发现1965年之前,湖泊沉积物粒径的变化主要受控于黄河入湖泥沙的变化,在此阶段,从岩芯底部到1910年黄河径流呈逐渐增强的状态,黄河携带的泥沙颗粒较粗,进入乌梁素海的粗颗粒泥沙增多,湖泊沉积物粒度逐渐变粗;而1910~1965年进入乌梁素海的各种物质粒度特征相对比较稳定,反映了较为稳定的沉积环境。1965年以来,人类活动显著影响了湖泊的沉积物特征,河套平原灌溉退水携带的大量流域物质控制了沉积物的粒度组成,并且该组分的含量与总排干入湖水量的变化一致。在不同的时期,乌梁素海受人类活动和气候变化的影响程度不尽一致,上世纪60年代以来,人类活动的影响已显著影响了湖泊沉积物的组成。在短时间尺度下,分析沉积物的环境指示意义时,必须综合分

析各种因素对环境记录的影响方式和程度,才能对粒度的环境指示意义得出可靠结论。

参考文献 (References)

- 1 沈吉. 湖泊沉积研究的历史进展与展望[J]. 湖泊科学, 2009, 21(3): 307-313 [Shen Ji. Progress and prospect of palaeolimnology research in China[J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(3): 307-313]
- 2 王苏民, 张振克. 中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展[J]. 科学通报, 1999, 44(6): 579-587 [Wang Sumin, Zhang Zhenke. New progress of lake sediments and environmental changes research in China [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(6): 579-587]
- 3 陈敬安, 万国江, 张峰, 等. 不同时间尺度下的湖泊沉积物环境记录—以沉积物粒度为例[J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(6): 563-568 [Chen Jingan, Wan Guojiang, Zhang Feng, et al. Environmental records of lacustrine sediments in different time scales: Sediment grain size as an example [J]. Science in China Series D: Earth Science, 2003, 33(6): 563-568]
- 4 Peng Y, Xiao J, Nakamura T, et al. Holocene East Asian monsoonal precipitation pattern revealed by grain-size distribution of core sediments of Daihai Lake in Inner Mongolia of north-central China [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2005, 233(3): 467-479
- 5 Noren A J, Bierman P R, Steig E J, et al. Millennial-scale storminess variability in the northeastern United States during the Holocene epoch [J]. Nature, 2002, 419(6909): 821-824
- 6 Sun D, Bloemendal J, Rea D, et al. Grain-size distribution functions of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components [J]. Sedimentary Geology, 2002, 152(3-4): 263-277
- 7 Weltje G J. End-member modeling of compositional data: numerical-statistical algorithms for solving the explicit mixing problem [J]. Mathematical Geology, 1997, 29(4): 503-549
- 8 孙有斌, 高抒, 李军. 边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J]. 科学通报, 2003, 48(1): 83-86 [Sun Youbin, Gao Shu, Li Jun. Preliminary analysis of grain-size populations with environmentally sensitive terrigenous components in marginal sea setting [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(1): 83-86]
- 9 肖尚斌, 李安春. 东海内陆架泥区沉积物的环境敏感粒度组分[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 122-129 [Xiao Shangbin, Li Anchun. A study on environmentally sensitive grain-size population in inner shelf of the east China Sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(1): 122-129]
- 10 陈国成, 郑洪波, 李建如, 等. 南海西部陆源沉积物粒度组成的控制动力及其反映的东亚季风演化[J]. 科学通报, 2007, 52(23): 2768-2776 [Chen Guocheng, Zheng Hongbo, Li Jianru, et al. Dynamic control on grain-size distribution of terrigenous sediments in the western South China Sea: Implication for East Asian monsoon evolution [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(23): 2768-2776]
- 11 马龙, 吴敬禄. 近50年来内蒙古河套平原气候及湖泊环境演变[J]. 干旱区研究, 2010, 27(6): 871-877 [Ma Long, Wu Jinglu.

- Climate and lake environment change in the Hetao Plain of Inner Mongolia in recent 50 years [J]. *Arid Zone Research*, 2010, 27(006): 871-877]
- 12 马龙, 吴敬禄. 内蒙古乌梁素海湖泊沉积物元素地球化学特征及其影响因素[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2010, 30(3): 119-125 [Ma Long, Wu Jinglu. Element geochemical characteristic of lake sediments and its influence factors in Ulansuhai Lake, Inner Mongolia [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2010, 30(3): 119-125]
- 13 李哲. 乌梁素海湿地自然保护区的污染治理问题应引起重视[J]. *内蒙古环境科学*, 2007, 19(001): 71-73 [Li Zhe. The pollution treatment problems of Wuliangsu Lake wetland nature reserve [J]. *Inner Mongolia Environmental Sciences*, 2007, 19(001): 71-73]
- 14 Duan X, Wang X, Mu Y, *et al.* Seasonal and diurnal variations in methane emissions from Wuliangsu Lake in arid regions of China [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39(25): 4479-4487
- 15 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 320-322 [Wang Sumin, Dou Hongshen. *A Directory of Lakes in China* [M]. Beijing: Science Press, 1998: 320-322]
- 16 蒋庆丰, 刘兴起, 沈吉. 乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候环境意义[J]. *沉积学报*, 2007, 24(6): 877-882 [Jiang Qingfeng, Liu Xingqi, Shen Ji. Grain-size characteristics of Wulugu Lake sediments and its palaeoclimate and palaeoenvironment implication [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 24(6): 877-882]
- 17 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 paleoenvironment significance [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21(1): 93-95]
- 18 姜在兴. 沉积学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 74-75 [Jiang Zaixing. *Sedimentology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 74-75]
- 19 Liu Z, Colin C, Trentesaux A, *et al.* Late Quaternary climatic control on erosion and weathering in the eastern Tibetan Plateau and the Mekong Basin [J]. *Quaternary Research*, 2005, 63(3): 316-328
- 20 Guan Q, Pan B, Li N, *et al.* An indicator of sand storms in the south of the Tengger Desert [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2010, 102(1): 197-203
- 21 孙军艳, 刘禹, 蔡秋芳, 等. 以树木年轮资料重建黄河上游大通河 480 年以来 6-7 月径流变化历史 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2011, 31(3): 109-116 [Sun Junyan, Liu Yu, Cai Qiufang, *et al.* Tree-ring based June-July runoff reconstruction for the Datong river watershed, western China since AD1525 [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2011, 31(3): 109-116]
- 22 李伟珮, 闫观清, 李保国, 等. 黄河流域近 300 年来水文情势及其变化 [J]. *人民黄河*, 2009, 31(011): 25-26 [Li Weipei, Yan Guanqing, Li Baoguo, *et al.* Recent 300-year hydrological regime and its variations of the Yellow River Basin [J]. *Yellow River*, 2009, 31(011): 25-26]
- 23 饶素秋, 霍世青, 薛建国, 等. 黄河上中游水沙变化特点分析及未来趋势展望 [J]. *泥沙研究*, 2001, (2): 74-77 [Rao Suqiu, Huo Shiqing, Xue Jianguo, *et al.* Analysis on the characteristics of runoff and sediment and the outlook of their tendency in the future in the upper and middle Yellow River [J]. *Journal of Sediment Research*, 2001, (2) 74-77]
- 24 马柱国. 黄河径流量的历史演变规律及成因 [J]. *地球物理学报*, 2005, 48(6): 1270-1275 [Ma Zhuguo. Historical regular patterns of the discharge in the Yellow River and the cause of their formation [J]. *Chinese Journal of Geophysics* 2005 48(6): 1270-1275]
- 25 韩翠连, 武石军. 总排干沟排退水质变化及对乌梁素海湿地的影响 [J]. *内蒙古水利*, 2005, (3): 79-82 [Han Cuilian, Wu Shijun. Water quality change of main drainage of Hetao plain and its influences on Ulansuhai marsh [J]. *Inner Mongolia Water Conservancy*, 2005 (3): 79-82]

Grain Size Characteristics and Its Environmental Significance of Lacustrine Sediment Recorded in Wuliangsu Lake, Inner Mongolia

MA Long¹ WU Jing-lu² WEN Jun-hui³ LIU Wen^{2 4} Jilili Abuduwaili¹

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;

2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

3. Institute of Geology and Mineral Resources, Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xi'an 712000;

4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: Based on radiocarbon dating of ²¹⁰Pb, the grain size of lacustrine sediment in Wuliangsu Lake was analyzed. Comparing with historical documents, the environmental evolution under the combined effects of natural and human activities was studied in Wuliangsu Lake region, Inner Mongolia. The average content for clay (< 4 μm), fine silt (4 ~ 16 μm), medium silt (16 ~ 32 μm), coarse silt (32 ~ 64 μm), fine sand (> 64 μm), is 28.7%, 34.

4% , 17.3% , 14.1% , 5.5% , respectively. Through the correlation analysis of different grain size contents , the grain size characteristic changed significantly around 1965 AD in Wuliangsu Lake. Based on this result , with the method of grain size vs. standard deviation , the sediment sources were extracted in the two stages before and after 1965AD. The results show that: the sources of lake sediment are composed of materials from Yellow River and topsoil erosion in Hetao irrigation. But in the tow stages , the grain size characteristics of different populations in lake sediment have obvious differences. Before 1965 AD , the fine grain-size populations ($< 19.95 \mu\text{m}$) are from the topsoil erosion in Hetao irrigation , and the other coarse grain-size populations ($19.95 \sim 181.97 \mu\text{m}$) are carried by Yellow River , which dominated grain size characteristic of the whole Wuliangsu lake sediment. After 1965 AD , the gain size of the fine and coarse population are $< 5.71 \mu\text{m}$ and $5.71 \sim 60.56 \mu\text{m}$, respectively , but the fine grain size one dominated the lake sediment characteristic , which are consistent with runoff of the main drainage canal in Hetao Plain. Overall , since the 1960s , lake sediments in Wuliangsu were mostly imposed by human influence , which has exceeded the natural role.

Key words: Wuliangsu Lake; lacustrine sediment; grain size; environmental change