

浑善达克沙地近 50 年来风沙活动的湖泊记录^{*}

陈永福 顾兆炎 储国强 许 冰 吕延武 孙小虹

(中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境重点实验室,北京 100029)

摘要 干旱、半干旱地区湖泊沉积物能否有效地记录大气粉尘源区的风沙活动历史对理解沙尘暴发生的气候和环境背景具有重要的意义。对于位于内蒙古浑善达克沙地南缘的夏日淖(湖)近代沉积物进行 $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$ 定年和沉积学分析显示,碎屑沉积物具有两个明显的粒度组分,其一是与当地沙丘砂粒度分布相同的中细砂组分;另一为与大气降尘粒度相似的粉砂组分,自 1957 年以来反映这两个粒度组分相对变化的中值粒径和 $>63\mu\text{m}$ 砂的含量都具有显著的变化。与浑善达克地区和中国北方气象记录对比发现,沉积物中值粒径和 $>63\mu\text{m}$ 砂的含量分别与沙尘暴和 6m/s 风速(或大风)发生频次呈正相关,与温度呈负相关;最近 50 年来这些沉积和气候参数具有总体一致的变化。这样的事实说明,夏日淖沉积物主要由风力搬运沉积的,其粒度与风沙活动存在内在联系,粗粒沉积物增加是风沙活动加强的结果。因此,干旱、半干旱地区湖泊中风力搬运的沉积物粒度受风沙活动强度控制,可以成为重建过去风沙活动历史的重要标志。

主题词 风沙活动 湖泊沉积物粒度 浑善达克沙地

中图分类号 P941.73 **文献标识码** A

作为干旱、半干旱区风力侵蚀土壤的一种自然现象,风沙活动不仅会对源区沙漠演化和土地荒漠化起直接控制作用,而且是邻近区域风沙灾害以及空气污染的主要影响因素^[1-9];通常情况下,风沙活动产生的粉尘还可以经大气传输到源区下风区几千公里之外,传输粉尘则会通过改变云层性质^[10],反射和吸收太阳辐射以及影响大气环流水汽输送^[11-18]等来影响全球气候变化;甚至还可以改变海洋生物地球化学状况^[16,19]。

风沙活动产生的粉尘沉积是重要的气候记录载体,如陆地的黄土堆积^[20,21]、冰芯中的粉尘^[22,23]和深海粉尘沉积^[24]。虽然这些记录对反映源区的环境演变和大气环流格局具有重要的科学意义,但对于理解源区风沙活动和风扬粉尘过程都只是间接推测。因此,寻找连续的源区风成沉积是解决问题的关键。干旱、半干旱区由于风蚀过程强烈,很难保存连续性良好的风成沉积,而封闭湖泊是天然的大气降尘收集场所,可能是风沙活动记录的重要载体^[25-27]。

湖泊沉积物粒度已被用作指示环境变化的替代

性指标^[28-35],但确切环境指示意义还存在诸多争议。一般来说,湖泊沉积物粒度是湖水动力学特征的标志,往往作为湖面波动^[29]或降雨量变化^[30]的替代指标。而本文则拟通过对夏日淖湖泊沉积特征、流域水文以及气候状况的综合研究,试图揭示风成来源的湖泊沉积物粒度是干旱区风沙活动的可靠指标。

1 研究区概况

内蒙古浑善达克沙地处于温带季风干旱、半干旱气候区,年平均气温 $0\sim3^{\circ}\text{C}$ 。年降雨量为 $200\sim400\text{mm}$,约 $80\%\sim90\%$ 的降水产生于 8 月、9 月份,且年降水量地域差异较大,东南部多,可达 $350\sim400\text{mm}$;西北部较少,仅有 200mm 左右。年蒸发潜在 $1700\sim3000\text{mm}$ 之间。每年 4 月空气湿度最低,受季风影响,年平均风速可达 4.5m/s , $>6\text{m/s}$ 的风速日数平均达 58 天,逐年沙尘暴日数变化于 $2\sim21$ 天之间。尘暴和 $>6\text{m/s}$ 风速多出现在 4~6 月份,形成以朱日和为中心的尘暴源区。该沙地中可见固定、半固定沙丘。

第一作者简介:陈永福 男 29 岁 博士研究生 第四纪地质学专业 E-mail:saiwaijiaozhi@163.com

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目(批准号:2006CB400503)和国家自然科学基金项目(批准号:40673072)资助

2009-05-03 收稿,2009-05-22 收修改稿

通讯作者:顾兆炎 E-mail:zgu@mail.igcas.ac.cn

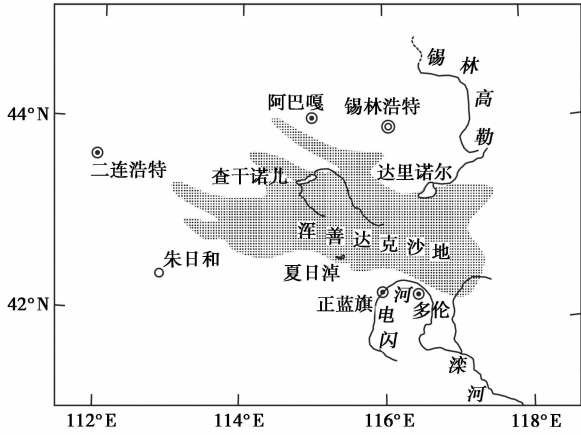


图 1 夏日淖(湖泊)在内蒙古浑善达克沙地的位置
Fig. 1 The location of the Xiarinao Lake
in the Hunshandake Desert, Inner Mongolia, China

夏日淖(42. 62°N, 115. 49°E; 海拔 1230m a. s. l)位于内蒙古浑善达克沙地中部南缘(图1),是典型的封闭湖泊。湖水表面积 3. 1km², 水深<2m^[36]。湖泊位于丘间低地,湖泊周边的沙丘地形和缓,坡度较小,沙丘高度 20m 左右,以半固定沙丘为主,自然植被则主要为沙生植物。未见出、入湖河流,湖泊四周也未见特征的流水痕迹。湖水补给除大气降水外,可能存在一定的地下水补给。当年 11 月末到次年 4 月初湖泊处于冰封期。风力搬运的沙尘可能是湖泊碎屑沉积物的主要来源。

2 样品采集与实验方法

2006 年 3 月,用重力钻在夏日淖湖心钻取了两孔岩芯,其中, XN06-1 长 59. 0cm, XN06-2 长 62. 5cm。两孔岩芯沉积物结构、岩性相似。XN06-1 岩芯可分为 5 段,其中 0~24. 5cm 为黑灰色粉砂; 24. 5~33. 0cm 为灰色砂质粉砂; 33. 0~42. 5cm 为青灰色砂; 42. 5~49. 0cm 为灰色粉砂; 49~59cm 为浅灰色粉砂质砂。在颗粒较粗砂层中未见层理和草根等生物活动、水流或干涸土壤化等痕迹。

在实验室 XN06-1 岩芯以 0. 5cm 间距分割,随后冷冻干燥,称取干密度。¹³⁷Cs 和 ²¹⁰Pb 定年方法被用于 XN06-1 岩芯柱沉积物的年代序列。其中 ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb 和 ²²⁶Ra 等核素活度测量是在中国科学院地质与地球物理研究所低本底放射性测量实验室进行的。仪器为 EURISYS[®] 生产的、配有井型高纯锗 (HPGe) 探头的、低背景多道 γ 能谱仪。首先将样品烘干、磨碎、称重,装入内径为 13mm 的塑料圆管中,密封,放置一个月左右,然后放入铅室 HPGe 井

型探头中,计数 24 小时以上。活度标定参考标准为国标 GB08304。粒度是由中国科学院地质与地球物理研究所的激光粒度分析仪 (SALD-3001) 测定的,测量范围为 0. 2~2000 μ m。测试前,取适量样品置于 100ml 烧杯,加入过量 10% 的双氧水静置 12 小时,去有机质;然后,加入 1 mol/L 的盐酸去除碳酸盐;最后在测量前加 2~3 滴 20% 的六偏磷酸钠,超声震荡 10 分钟。粒径数据采用 ϕ 值($\phi = -\log_2 d$, d 为颗粒直径,单位为 mm)表示。另外,气象数据是从中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn>) 下载获得的。

3 结果与讨论

3. 1 ¹³⁷Cs/²¹⁰Pb 年龄

湖泊沉积物年龄是根据 ²¹⁰Pb 和 ¹³⁷Cs 放射性核素活度建立的。²¹⁰Pb 是自然放射性核素, U 系衰变子体,其半衰期为 22. 26a。湖泊沉积物中蓄积的 ²¹⁰Pb 有两个来源:一是沉积物中 ²²⁶Ra 经由 ²²²Rn 衰变生成的 ²¹⁰Pb,称为 ²²⁶Ra 补偿的 ²¹⁰Pb,并假定两者达到衰变平衡;另一部分是大气 ²²²Rn 衰变产生的 ²¹⁰Pb,随降水或干沉降形式沉降的 ²¹⁰Pb,这部分 ²¹⁰Pb 被称作超额的 ²¹⁰Pb,标记为 ²¹⁰Pb_{ex},其浓度为测量的 ²¹⁰Pb 与 ²²⁶Ra 活度之差。

¹³⁷Cs 为核弹大气试暴产生的核素,半衰期为 30. 17a。由于 ¹³⁷Cs 在大气中滞留时间小于 1 年,因此, ¹³⁷Cs 在地层中蓄积于峰值位置是与核弹大气试暴高频时期相对应的,由于蓄积后 ¹³⁷Cs 分子的扩散作用不足以改变其在沉积物剖面上的峰值位置,所以 ¹³⁷Cs 的峰值已被作为 1963/1964 年的时标。图 2 显示,沉积物 XN06-1 岩芯中 ¹³⁷Cs 峰值出现在 22cm 左右,因此深度首先被确定为 1963/1964 年。

根据 ²¹⁰Pb_{ex} 数据,结合 ¹³⁷Cs 1963/1964 年时标,假定 ²¹⁰Pb_{ex} 沉积通量为常数,以及沉积物岩芯顶面 0cm 位置为沉积物钻取日期 2006 年 3 月,运用 CRS 模式年龄^[37,38]计算出岩芯深度 25cm 以上各个样品的年龄(图2)。在这段岩芯中, ²¹⁰Pb_{ex} 活度总体上呈指数衰减,25cm 处为 1957 \pm 1 年; 25cm 以下岩芯 ²¹⁰Pb_{ex} 浓度较低、测量误差已达 50%,所以未做年龄估计。

3. 2 沉积物的来源

一般来说,干旱地区的湖泊碎屑沉积物可能存在风成和水成两种来源。如上所述,现代夏日淖是

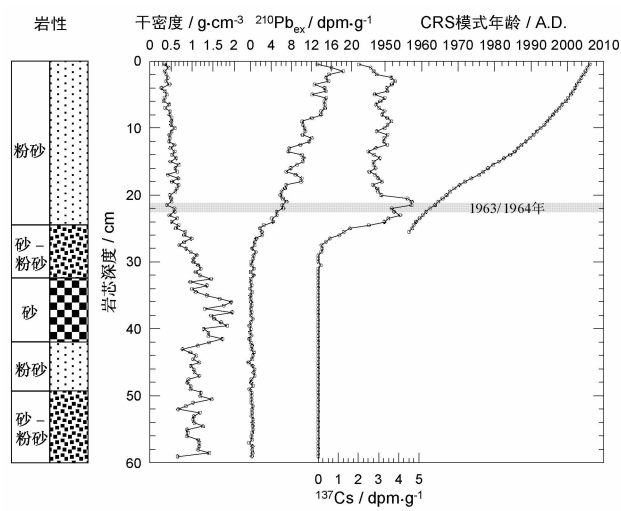


图2 内蒙古浑善达克夏日淖湖沉积物 XN06-1 岩芯干密度和 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}/^{137}\text{Cs}$ 建立的年代序列

Fig. 2 The $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}/^{137}\text{Cs}$ chronology of the sediment core XN06-1 from the Xirinao Lake in the Hunshandake Desert, Inner Mongolia, China

浑善达克沙地中典型的封闭湖泊。根据野外观测,夏日淖湖盆未发育补给水系,干旱的气候条件下,地形平缓低地也很难形成动力较强的面流,XN06-1 沉积物岩芯中类似于河流搬运的粗颗粒砂层也不具有流水搬运的层理构造。另外,湖泊位于浑善达克沙地下风区,盛行的风沙活动产生的沙尘可能是夏日淖碎屑沉积物的主要来源。

其次,对夏日淖湖泊碎屑沉积物粒度分析表明,沉积物具有风成来源的特征。XN06-1 岩芯沉积物粒度分布(图3a~3d)具有两个显著区别的组分,分别是以众数为 6ϕ ($16\mu\text{m}$) 左右的粉砂组分和众数约为 $2.2\sim3.0\phi$ ($220\sim125\mu\text{m}$) 的中细砂组分。前者与尘暴天气沉降的沙尘分布^[39]相似,而后者与湖泊周边沙丘砂分布(图3e)相近。因此,从粒度分布来说,夏日淖湖泊沉积物这两种组分可能都是风成来源,即大气降尘和沙丘。

另外,从计算的夏日淖的过剩 ^{210}Pb 沉积通量(可以发现,其值可达 $4.73\text{dpm/a}\cdot\text{cm}^2$,远远大于北半球 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的大气沉积通量(平均为 $0.7\text{dpm/a}\cdot\text{cm}^2$, $0.3\sim0.9\text{dpm/a}\cdot\text{cm}^2$)^[40]。同时也远远大于东北小龙湾玛珥湖几乎完全由大气沉降的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 通量值 ($1.5\text{dpm/a}\cdot\text{cm}^2$)^[41])。显然,夏日淖的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 来源必然具有其他途径。两个途径可以使大气 ^{222}Rn 产生的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 在湖泊中积蓄:其一,直接从大气中经干、湿过程沉降湖泊;其二,由碎屑沉积物携带的再

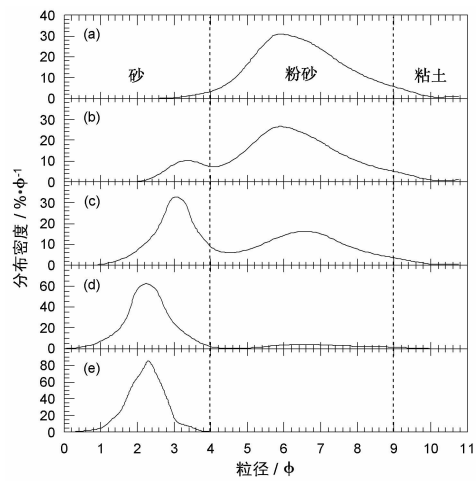


图3 夏日淖 XN06-1 岩芯不同层段沉积物和湖泊周边沙丘粒度分布

(a),(b),(c)和(d)分别为岩芯深度 0~10cm, 10.0~24.5cm, 24.5~33.0cm 和 33.0~42.5cm 沉积物 (e)为浑善达克沙丘砂

Fig. 3 Grain size distributions of the sediment core XN06-1 from the Xiarinao Lake and sand dunes in Hunshandake Desert. Mean grain size distributions for the core depth intervals of 0~10cm, 10.0~24.5cm, 24.5~33.0cm, and 33.0~42.5cm, and for sand dunes are shown in Fig. 3(a~d) and respectively

循环 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 。后者往往起初从大气沉积于地表,并被土壤细颗粒吸附,一般很难迁移。因此,风蚀土壤粉尘具有高的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 浓度,如 2006 年 4 月北京降尘 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 浓度高达约 8dpm/g (据顾兆炎未发的表数据)。而河流侵蚀携带沉积物 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 浓度较低。夏日淖湖泊沉积物近 50 年来衰变校正的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 浓度平均高达 $18.7\pm3.5\text{dpm/g}$ 。因此夏日淖湖泊沉积物 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 高浓度和高通量应是大气粉尘沉积的结果。

3.3 沉积物粒度与风沙活动的关系

具有 $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$ 年代控制的岩芯上部 25cm 样品的粒度分析结果(图4)显示,自约 1957 年以来无论是中值粒径(图4 中 Md)还是 $<4\phi$ 的砂 ($>63\mu\text{m}$) 含量都具有显著的变化。1959 年之前沉积物颗粒最粗,砂含量平均高达 25%(图4),之后随砂含量波动降低,粒径呈逐步变小的趋势,两个参数的变化具有高度的相关关系。如图 3 所示,夏日淖碎屑沉积物主要由与大气降尘和当地沙丘砂相似分布的粉砂和砂组成。因此,中值粒径主要取决于这两个组分在沉积物中的相对比例,其次才是各组分的粒度,而 $>63\mu\text{m}$ 砂含量则实际上就近似等于似沙丘砂组分在沉积物中的份额。

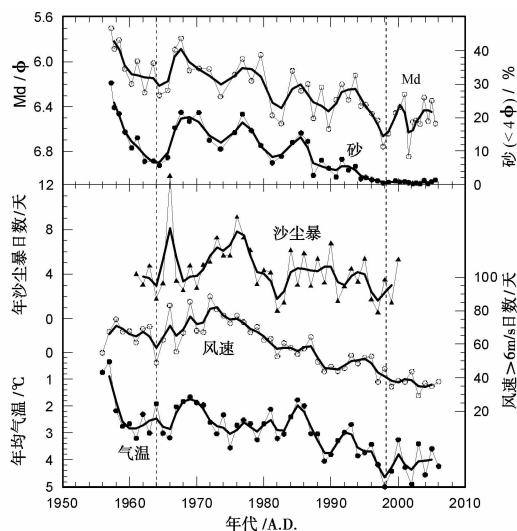


图 4 最近 50 年来夏日淖沉积物中值粒径 (Md) 和砂含量变化与浑善达克地区年沙尘暴日数^[42]、风速 $>6\text{m/s}$ 日数和年均气温变化的对比

Fig. 4 Correlations of the variations in grain size and sand concentration of the sediment core XN06-1 from Xiarinao Lake with changes in the annual dust storm days, $>6\text{m/s}$ wind days, and mean annual temperature in Hunshandake Desert, Inner Mongolia, China during the last 50 years

风洞实验^[43]揭示,当砂粒大于 $90\mu\text{m}$ ($<3.5\phi$) 时起沙速率随粒径增大而增加,而当砂粒小于 $90\mu\text{m}$ 时起沙速率随粒径减小而增加。对浑善达克沙地起砂风速的观测^[44]表明,2m 高处的起砂风速同样随砂粒变大而增加,如 $100\sim250\mu\text{m}$ 的砂粒起砂风速为 4.8m/s , $0.5\sim1.0\text{mm}$ 砂粒风速增加到 6.9m/s 。另外,起砂风速与当地植被覆盖度密切相关,相同粒径的颗粒起砂风速随地表覆盖率增加而增加。尽管起砂风速与粉砂粒径成反相关,但是,砂和粉砂,尤其是大于 $20\mu\text{m}$ (5.6ϕ)^[45],以低空悬移和跃移方式搬运的颗粒,其沉降或停止跃移、滚动的风速总是与风速成正相关。一般来说, $<63\mu\text{m}$ (4ϕ) 粉砂在空气中以悬浮搬运为主,而 $>63\mu\text{m}$ 的砂主要以跃移、滚动的方式搬运。因此,风力搬运的沉积物(如黄土)的粒度与风沙活动的强度密切相关,已被普遍用来指示风力大小^[46]或源区的远近^[47,48]。尤其是黄土中 $>63\mu\text{m}$ 颗粒的含量与沙漠距离呈反相关的关系^[49],源区距离的变化主要表现为沙漠的扩张和收缩,本质上反映的是风沙活动强度的变化,这进一步说明了 $>63\mu\text{m}$ 颗粒含量是指示风沙活动强度的有效指标。

因此,如果浑善达克沙地夏日淖湖泊碎屑沉积

物是风成的,那么, XN06-1 岩芯中值粒径和 $>63\mu\text{m}$ 砂含量应该是风沙活动强度变化的记录。通常衡量风沙活动强度的气象指标包括风速、风频、风蚀速率、沙尘暴发生频次等。图 4 中显示的近 50 年来浑善达克地区气象记录与沉积物 XN06-1 岩芯粒度的关系,进一步说明夏日淖湖泊碎屑沉积物是风成的。首先,可以看出,夏日淖沉积物中值粒径和 $>63\mu\text{m}$ 砂含量的变化与气象记录的年沙尘暴和风速 $>6\text{m/s}$ 发生天数,以及与年平均气温的变化,无论在趋势还是在主要变化上分别都具有不同程度的相关。其中,中值粒径和砂含量与沙尘暴和风速 $>6\text{m/s}$ 日数分别呈正相关,与年均温呈反相关。通过对我国北方数个气象站近 50 年的气象数据统计^[50,51]发现,大风 ($>17\text{m/s}$) 与沙尘暴日数高度正相关,温度则分别与大风和沙尘暴日数呈显著的负相关关系。这些相关关系说明,沙尘暴发生频率是随大风发生频率的变化而变化的,也就是说,后者是近代沙尘暴的主要控制因素。进一步来说,西伯利亚高压严重影响中国北方的天气变化^[52],尤其是冬春两季,当西伯利亚高压加强时高纬地区冷空气迅速向南偏东运动,温度降低、风速增大。这就是为什么我们经常体验到,几乎每次降温过程都是与西北风加强同时出现的原因。从而不难理解温度与风速的反相关关系。因此,夏日淖沉积物粒度与年均温的相关性具有内在的联系。其次,从图 4 还可以看出,夏日淖沉积物中值粒径和 $>63\mu\text{m}$ 砂含量与气象记录的年沙尘暴和风速 $>6\text{m/s}$ 发生天数,以及年平均气温分别相关的程度依次增高,这可能是气象参数代表性和精度的问题,很明显具有广泛代表性的温度变化往往在相邻的站点间具有高度的一致性,而风速在相邻的站点间由于受地形地貌的影响,往往偏差较大;沙尘暴发生频次的统计差别可能更大。另外,夏日淖岩芯沉积物粒度所反映的风沙活动强度变化更加一致于中国北方地区气象记录的平均状况(图5),这不仅支持夏日淖湖泊碎屑沉积物风成来源的观点,而且有力地说明其粒度是风沙活动强度变化的记录。

4 结论

干旱、半干旱地区湖泊碎屑沉积物中部分甚至全部分是风成来源的,具有重建风沙活动历史的潜力。通过分析内蒙古浑善达克沙地夏日淖沉积物粒度组成、流域地貌和水文特征以及气象记录,我们认为夏日淖碎屑沉积物主要是风成来源的。证据包

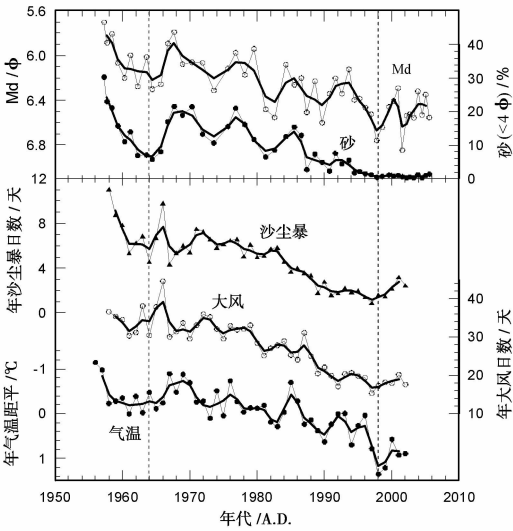


图 5 最近 50 年来夏日淖沉积物中值粒径 (Md) 和砂含量变化与中国北方 100 个气象站数据平均的年沙尘暴日数、大风 (>17m/s) 日数和年均气温距平变化^[50,51] 的对比
Fig.5 Correlations of the variations in grain size and sand concentration of the sediment core XN06-1 from Xiarinao Lake in the Hunshandake Desert, Inner Mongolia with the records of the mean annual dust storm days, mean annual gale days, and mean annual temperature deviations from 100 meteorological stations in Northern China during the last 50 years

括: 1) 无河流输入; 2) 湖泊碎屑沉积物明显具有两个可区分的粒度组分, 砂组分和粉砂组分, 前者与当地沙丘砂粒度分布相同, 后者与大气降尘粒度分布相似; 3) 沉积物中超高的 ²¹⁰Pb 浓度具有大气降尘的相似特征; 另外, 最近 50 年来的沉积物粒度的变化所反映的风沙活动强度变化, 不仅与浑善达克地区而且与中国北方干旱和半干旱气象记录一致。因此, 夏日淖沉积物粒度组成可以用来重建过去风沙活动的历史。

致谢 真诚地感谢审稿专家提出的建设性意见, 使文章最终得以修改完善。

参考文献 (References)

1 王训明, 李吉均, 董光荣等. 近 50a 来中国北方沙区风沙气候演变与沙漠化响应. 科学通报, 2007, **52**(24): 2882 ~ 2888
Wang Xunming, Li Jijun, Dong Guangrong *et al.* Responses of desertification to variations in wind activity over the past five decades in arid and semiarid areas in China. *Chinese Science Bulletin*, 2007, **53**(3): 426 ~ 433

2 Liu Shulin, Wang Tao. Aeolian desertification from the mid-1970s to 2005 in Otindag sandy land, Northern China. *Environmental Geology*, 2007, **51**: 1057 ~ 1064

3 史培军, 李平, 袁艺. 中国北方风沙活动的驱动力分析. 第

四纪研究, 2001, **21**(1): 41 ~ 47

Shi Peijun, Yan Ping, Yuan Yi. The driving force analyses of the blown-sand activity in Northern China. *Quaternary Sciences*, 2001, **21**(1): 41 ~ 47

4 张小曳. 有关中国黄土高原黄土物质的源区及其输送方式的再评述. 第四纪研究, 2007, **27**(2): 181 ~ 186

Zhang Xiaoye. Review on sources and transport of loess materials on the Chinese Loess Plateau. *Quaternary Sciences*, 2007, **27**(2): 181 ~ 186

5 Fang Xiuqi, Xie Yun, Li Lungjun *et al.* Effects of duststorms on the air pollution in Beijing. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 2003, **3**: 93 ~ 101

6 Sun Yele, Zhuang Guoshun, Wang Ying *et al.* The air-borne particulate pollution in Beijing: Concentration, composition, distribution and sources. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**: 5991 ~ 6004

7 刘东生, 韩家懋, 张德二等. 降尘与人类世沉积——I: 北京 2006 年 4 月 16 ~ 17 日降尘初步分析. 第四纪研究, 2006, **26**(4): 628 ~ 633

Liu Tungsheng, Han Jiamao, Zhang De'er *et al.* Falling dust and deposits in anthropogene——I: Preliminary analyses of the dust fall in Beijing on April 16 ~ 17, 2006. *Quaternary Sciences*, 2006, **26**(4): 628 ~ 633

8 张崧, Heller F, 靳春胜等. 2006 年 4 月 17 日北京降尘的粒度分布与磁学特征. 第四纪研究, 2008, **28**(2): 354 ~ 362

Zhang Song, Heller F, Jin Chunsheng *et al.* Grain size distribution and magnetic characteristics of dust fall in Beijing on April 17, 2006. *Quaternary Sciences*, 2008, **28**(2): 354 ~ 362

9 岳乐平, 杨利荣, 李智佩等. 阿拉善高原干涸湖床沉积物与华北地区沙尘暴. 第四纪研究, 2004, **24**(3): 311 ~ 317

Yue Leping, Yang Lirong, Li Zhipei *et al.* Lacustrine deposit in the Alxa Plateau and the sand-dust storm in Northern China. *Quaternary Sciences*, 2004, **24**(3): 311 ~ 317

10 Sassen K, DeMott P J, Prospero J M *et al.* Saharan dust storms and indirect aerosol effects on clouds: CRYSTAL-FACE results. *Geophysical Research Letters*, 2003, **30**(12): 1633, doi: 1029/2003GL017371

11 Tegen I, Lacis A A, Fung I. The influence of mineral aerosols from disturbed soils on the global radiation budget. *Nature*, 1996, **380**: 419 ~ 422

12 Rosenfeld D, Rudich Y, Lahav R. Desert dust suppressing precipitation: A possible desertification feedback loop. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001, **98**: 5975 ~ 5980

13 Kaufman Y J, Tanré D, Boucher O. A satellite view of aerosols in the climate system. *Nature*, 2002, **419**: 215 ~ 223

14 Tegen I. Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system. *Quaternary Science Reviews*, 2003, **22**: 1821 ~ 1834

15 Miller R L, Tegen I, Perlwitz J. Surface radiative forcing by soil dust aerosols and the hydrologic cycle. *Journal of Geophysical Research*, 2004, **109**: D04203, doi: 10.1029/2003JD004085

16 Jickells T D, An Z S, Andersen K K *et al.* Global iron connection between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. *Science*, 2005, **308**: 67 ~ 71

17 Satheesh S K, Moorthy K K. Radiative effects of natural aerosols: A review. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**: 2089 ~ 2110

18 Solmon F, Mallet M, Elguindi N *et al.* Dust aerosol impact on

regional precipitation over Western Africa, mechanisms and sensitivity to absorption properties. *Geophysical Research Letters*, 2008, **35**: L24705, doi: 10. 1029/2008GL035900

19 Fung I Y, Meyn S K, Tegen I *et al.* Iron supply and demand in the upper ocean. *Global Biogeochemistry Cycles*, 2000, **14**: 281 ~ 295

20 刘东生等著. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 303 ~ 358
Liu Tungsheng *et al.* Loess and the Environment. Beijing: Science Press, 1985. 303 ~ 358

21 Pye K. The nature, origin and accumulation of loess. *Quaternary Science Reviews*, 1995, **14**: 653 ~ 667

22 Delmonte B, Petit J R, Maggi V *et al.* Glacial to Holocene implications of the new 27000-year dust record from the EPICA Dome C (East Antarctica) ice core. *Climate Dynamics*, 2002, **18**: 647 ~ 660

23 Lambert F, Delmonte B, Petit J R. Dust-climate couplings over the past 800000 years from the EPICA Dome C ice core. *Nature*, 2008, **452**: 616 ~ 619

24 Rea D K. The paleoclimatic record provided by eolian deposition in the deep sea: The geologic history of wind. *Reviews of Geophysics*, 1994, **32**: 159 ~ 195

25 金章东, 王苏民, 沈吉等. 岱海地区近 400 年来的“尘暴”事件——来自岱海沉积物粒度的证据. 湖泊科学, 2000, **12** (3): 193 ~ 198
Jin Zhangdong, Wang Sumin, Shen Ji *et al.* Dust-storm events in Daihai Lake area, Inner Mongolia during the past 400 years: Evidence from grain-size analysis of lake sediments. *Journal of Lake Sciences*, 2000, **12** (3): 193 ~ 198

26 强明瑞, 陈发虎, 周爱锋等. 苏干湖沉积物粒度组成记录尘暴事件的初步研究. 第四纪研究, 2006, **26** (6): 915 ~ 922
Qiang Mingrui, Chen Fahu, Zhou Aifeng *et al.* Preliminary study on dust storm events documented by grain size component of Sugan Lake sediments, North Qaidam Basin. *Quaternary Sciences*, 2006, **26** (6): 915 ~ 922

27 沈吉, 汪勇, 羊向东等. 湖泊沉积记录的区域风沙特征及湖泊演化历史: 以陕西红碱滩湖泊为例. 科学通报, 2006, **51** (1): 87 ~ 92
Shen Ji, Wang Yong, Yang Xiangdong *et al.* Paleosandstorm characteristics and lake evolution history deduced from investigation on lacustrine sediments——The case of Hongjiannao Lake, Shaanxi Province. *Chinese Science Bulletin*, 2006, **51** (1): 87 ~ 92

28 Peng Yanjia, Xiao Jule, 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. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, **233**: 467 ~ 479

29 申慧彦, 李世杰, 于守兵等. 青藏高原兹格塘错沉积物粒度组成及其环境记录的研究. 第四纪研究, 2007, **27** (4): 613 ~ 619
Shen Huiyan, Li Shijie, Yu Shoubing *et al.* Grain-size characteristics of sediments from the Zigetang Co Lake, Tibetan Plateau and their environmental implication. *Quaternary Sciences*, 2007, **27** (4): 613 ~ 619

30 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. 中国科学 (D 辑), 2003, **33** (6): 563 ~ 568
Chen Jing'an, Wan Guojiang, Zhang Feng *et al.* The environmental record of lake sediments in different time-the study of grain-size. *Science in China (Series D)*, 2003, **33** (6): 563 ~ 568

31 孙千里, 肖华荣. 岱海沉积记录的季风/干旱过渡区全新世适宜期特征. 第四纪研究, 2006, **26** (5): 781 ~ 790
Sun Qianli, Xiao Jule. Characteristics of the Holocene optimum in the monsoon/arid transition belt recorded by core sediments of Daihai Lake, North China. *Quaternary Sciences*, 2006, **26** (5): 781 ~ 790

32 朱立平, 王君波, 林晓等. 西藏纳木错深水湖芯反映的 8.4ka 以来气候环境变化. 第四纪研究, 2007, **27** (4): 588 ~ 597
Zhu Liping, Wang Junbo, Lin Xiao *et al.* Environmental changes reflected by core sediments since 8.4ka in Nam Co, Central Tibet of China. *Quaternary Sciences*, 2007, **27** (4): 588 ~ 597

33 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. 第四纪研究, 2007, **27** (1): 114 ~ 121
Luo Chao, Yang Dong, Peng Zicheng *et al.* Climatic and environmental records in the sediment of the Luobei billabong in Lop-Nur, Xinjiang in recent 32ka. *Quaternary Sciences*, 2007, **27** (1): 114 ~ 121

34 殷志强, 秦小光, 吴金水等. 湖泊沉积物粒度多组分特征及其成因机制研究. 第四纪研究, 2008, **28** (2): 345 ~ 353
Yin Zhiqiang, Qin Xiaoguang, Wu Jinshui *et al.* Multimodal grain-size distribution characteristics and formation mechanism of lake sediments. *Quaternary Sciences*, 2008, **28** (2): 345 ~ 353

35 薛积彬, 钟巍. 新疆巴里坤湖全新世环境记录及区域对比研究. 第四纪研究, 2008, **28** (4): 610 ~ 620
Xue Jibin, Zhong Wei. Holocene climate change recorded by lacustrine sediments in Barkol Lake and its regional comparison. *Quaternary Sciences*, 2008, **28** (4): 610 ~ 620

36 Sun Qing, Chu Guoqiang, Liu Guoxiang *et al.* Calibration of alkenone unsaturation index with growth temperature for a lacustrine species, *Chysoila lamellose* (Haptophyceae). *Organic Geochemistry*, 2007, **38**: 1226 ~ 1234

37 Appleby P G, Oldfield F. The calculation of ^{210}Pb dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena*, 1978, **5**: 1 ~ 8

38 Appleby P G, Oldfield F. Assessment of ^{210}Pb data from sites with varying sediment accumulation rates. *Hydrobiologia*, 1983, **103**: 29 ~ 35

39 王赞红, 夏正楷. 北京 2002 年 3 月 20 ~ 21 日尘暴过程的降尘量与降尘粒度特征. 第四纪研究, 2004, **24** (4): 95 ~ 99
Wang Zanhong, Xia Zhengkai. Dust flux and particle size of dustfall of the duststorm on March 20 ~ 21, 2002 in Beijing. *Quaternary Sciences*, 2004, **24** (4): 95 ~ 99

40 Preiss N, Melieres M A, Pourchet M. A compilation of data on lead 210 concentration in surface air and fluxes at the air-surface and water-sediment interfaces. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101** (D22): 28847 ~ 28862

41 Chu Guoqiang, Sun Qing, Rioual P *et al.* Dinocyst microlaminations and freshwater “red tides” recorded in Lake Xiaolongwan, North Eastern China. *Journal of Paleolimnology*, 2008, **39**: 319 ~ 333

42 王革丽, 吕达仁, 尤莉. 浑善达克沙地沙尘暴气候特征分析. 气候与环境研究, 2002, **7** (4): 433 ~ 439
Wang Geli, Lü Daren, You Li. Analyses of climatic characteristics on Hunshandake dust storms. *Climatic and Environmental Research*, 2002, **7** (4): 433 ~ 439

43 董治宝, 李振山. 风成沙粒度特征对其风蚀可蚀性的影响. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, **4** (4): 1 ~ 6
Dong Zhibao, Li Zhenshan. Wind erodibility of aeolian sand as influenced by grain-size parameters. *Journal of Soil Erosion and Soil*

and Water Conservation,1998,4(4):1~6

44 刘树林,王 涛,郭 坚. 浑善达克沙地春季风沙活动特征观测研究. 中国沙漠, 2006,26(3):356~361
Liu Shulin, Wang Tao, Guo Jian. Characteristics of blown sand activities in Hunshandake sandy land in spring. *Journal of Desert Research*,2006,26(3):356~361

45 Tsoar H, Pye K. Dust transport and the question of desert loess formation. *Sedimentology*,1987,34:139~153

46 Xiao J L, Porter S C, An Z S *et al.* Grain size of quartz as an indicator of winter monsoon strength on the Loess Plateau of Central China during the last 130,000 yr. *Quaternary Research*,1995,43:22~29

47 Ding Zhongli, Sun Jimin, Rutter N W *et al.* Changes in sand content of loess deposits along a north-south transect of the Chinese Loess Plateau and the implication for desert variations. *Quaternary Research*,1999,52:56~62

48 Ding Z L, Derbyshire E, Yang S L *et al.* Stepwise expansion of desert environment across Northern China in the past 3.5Ma and implications for monsoon evolution. *Earth and Planetary Science Letters*,2005,237:45~55

49 Yang Shiling, Ding Zhongli. Advance-retreat history of the East-Asian summer monsoon rainfall belt over Northern China during the last two glacial-interglacial cycles. *Earth and Planetary Science Letters*,2008,274:499~510

50 唐国利,巢清尘. 近 48 年中国沙尘暴的时空分布特征及其变化. 应用气象学报,2005,16(增刊):128~132
Tang Guoli, Chao Qingchen. The distributions characteristic and variation of sandstorm in China for last 48 years. *Journal of Applied Meteorological Science*,2005,16(Suppl.):128~132

51 唐国利,巢清尘. 中国近 49 年来沙尘暴变化趋势的分析. 气象, 2005,31(5):8~11
Tang Guoli, Chao Qingchen. Analysis on sandstorm variation in China for last 49 years. *Meteorological Monthly*,2005,31(5):8~11

52 Gong Daoyi, Ho Changhoi. The Siberian high and climate change over middle to high latitude Asia. *Theoretical and Applied Climatology*,2003,72:1~9

LACUSTRINE SEDIMENT RECORD FOR ACTIVITIES OF WIND AND DUST
IN THE HUNSHANDAKE DESERT DURING THE LAST
50 YEARS FROM XIARINAO LAKE

Chen Yongfu Gu Zhaoyan Chu Guoqiang Xu Bing Lü Yanwu Sun Xiaohong

(Laboratory of Cenozoic Geology and Environment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

Atmospheric dust produced in arid and semi-arid regions by wind activities plays an important role in global climate system. As northern part of China has been recognized as an important source area for global dust loading, the hydrological closed lake in these regions could be an ideal preservative place for the eolian sediments. The sediments in the Xiarinao Lake with out any rive recharge, located at the southern of the Hunshandake Desert could be wind blown since. The grain size measurements on modern sediment core XN06-1 from the lake showed that the sediment is composed of two major components of the sands and silts. The grain size distribution for the sands is same as that of the sand-dunes, and for the silts is similar to that of dust storms. The decay corrected ²¹⁰Pb concentration in the core is as high as 18.7 ± 3.5 dpm/g which would be attributed to the contribution of the atmospheric dust instead of rivers loading sediments. So, these evidences support that the sediments in the Xiarinao Lake are mostly eolian sediment.

The sediment core for the top of 25cm has been dated by ¹³⁷Cs/²¹⁰Pb chrological method. The median grain size and the content of the >63μm particles in the sediment core from Xiarinao Lake have been used to reconstruct the history of wind and dust activies in the Hunshadeke Desert for recent 5 decades. The median grain size and sand (>63μm) content of the sediment core vary in ranges of 9~19μm(6.9~5.7φ) and 0.3%~30.4% respectively (Fig.4), showing a decreasing trend for the both of them from 1957~2005A. D. These changes parallel to changes in frequency of dust storm, wind speed, and temperature from meteorological stations around the Hunshandeke Desert and Northern China during the last about 50 years, indicating that the activities of dust storm and wind become negative with increasing air temperature, and also supporting that grain size of the eolian sediments in the lakes in dust source regions could be used as a proxy of intensity of dust and wind activities.

Key words 风沙活动, 沙尘暴, 湖相沉积物, 浑善达克沙漠