

文章编号: 1000-0550(2008) 04-0647-08

# 干旱区湖泊沉积物粒度组分记录的区域沙尘活动历史: 以新疆巴里坤湖为例<sup>1</sup>

薛积彬<sup>1</sup> 钟 巍<sup>1, 2, 3</sup>

(1 华南师范大学地理科学学院 广州 510631; 2 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室 乌鲁木齐 830046  
3 兰州大学西部环境教育部重点实验室 兰州 730000)

**摘 要** 根据中国西北干旱区巴里坤湖 BK-1 剖面沉积物的粒度分析, 采用粒级一标准偏差法提取了对沉积环境变化敏感的粒度组分。结果表明, 巴里坤湖沉积物中 45~170 μm 粒级组分含量和平均粒径对研究区区域性风沙活动较为敏感, 据此结合 <sup>14</sup>C 测年数据重建了研究区 9400 cal aBP 以来的风沙活动历史。在过去的 2000 年内, 巴里坤湖地区尘暴事件多发或强风沙活动时段主要出现在 240~440 cal aBP, 600~1280 cal aBP 和 1400~1800 cal aBP 期间, 这些时段同历史时期的雨土频率高值期、古里雅冰芯阴离子高含量期较为一致。从更长地质时期来看, 8000~8300 cal aBP, 7400~7700 cal aBP, 6500~7000 cal aBP 时段, 特别是在中全新世 (3900~6100 cal aBP) 期间, 区域性的尘暴事件或强风沙活动尤其频繁, 这些时段同古里雅冰芯中微粒浓度、敦德冰芯中的微粒含量记录均可以进行良好的对比。干旱区封闭湖泊沉积是记录地质历史时期风沙活动的良好载体, 但由于气候环境变化往往具有较强的区域性特征, 因此, 对某一剖面沉积物环境敏感粒度组分的提取及应用不具有普适性。

**关键词** 巴里坤湖 全新世 沙尘活动 环境敏感粒度组分

**第一作者简介** 薛积彬 男 1977 年出生 博士 气候与环境变化 E-mail: jibinxue@yahoo.com.cn

**通讯作者** 钟巍 E-mail: DL0@snu.edu.cn

**中图分类号** X141 P512.2 **文献标识码** A

沙尘暴是一种对人类生产和生活造成巨大破坏的灾害性天气, 对大气尘埃载荷具有重要贡献。大气尘埃不仅可以指示气候变化, 而且可能是全球气候变化的驱动因素之一<sup>[1]</sup>。由于陆源尘埃物质进入大气的主要途径是依靠沙尘天气过程 (沙尘暴或风沙活动), 并且沙尘天气的发生具有很强的区域性, 因此, 研究不同地区尤其是中国西北干旱区 (全球大气粉尘的主要源区<sup>[2]</sup>) 大气尘埃物质主要源区及其附近地区沙尘天气的过去变化历史, 对于揭示大气尘埃载荷变化以及风沙活动对于气候环境变化的影响具有重要意义。然而, 我国西北干旱地区风蚀作用强烈, 连续、完整的高分辨率风沙活动沉积记录在地层中一般难以保存<sup>[3]</sup>。研究表明, 干旱一半干旱地区的湖泊沉积物能够良好的记录过去风沙活动发生的频率、强度以及与之相关的流域自然环境<sup>[3]</sup>, 其粒度组成被认为是地质历史时期干旱事件和风场状况的良好指标<sup>[2, 4]</sup>。原因在于, 在干旱一半干旱地区, 湖泊作为相对稳定的静水水体, 除接纳地表径流搬运来的流

域物质外, 还接受风力输送来的物质, 后者进入湖中直接参与沉降, 这两种不同动力机制所带来的沉积物必然会对沉积物的粒度组成产生影响<sup>[3, 5]</sup>, 而通过对湖泊沉积物粒度组成的分析则可以将两者分离开来<sup>[4]</sup>, 因此, 内陆干旱一半干旱地区的湖泊沉积就成为研究过去区域风沙活动或尘暴事件的重要信息档案。

沉积物粒度资料曾广泛用于物质运动方式的判别和沉积环境类型的识别, 但是利用全样沉积物粒度参数已经很难对受多种物源和不同沉积动力影响的古环境进行深入研究。近年来, 通过对样品粒度资料进行各种数学运算, 提取出沉积物中对环境变化敏感的粒度组分或者端元组分进而重建地质历史时期的古气候环境已经取得了一系列的研究成果<sup>[6-13]</sup>, 然而, 上述分析方法在我国内陆湖泊沉积研究中至今运用尚少<sup>[14, 15]</sup>。研究表明<sup>[4]</sup>, 干旱一半干旱地区湖泊沉积物粒度在揭示沙尘天气事件方面具有很大的潜力, 其粗颗粒含量及中值粒径大小可以指示历史时期沙尘天气发生的频率和强度。本文以位于中国西北

<sup>1</sup> 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室项目 (批准号: XJDX0201-2008-02)、兰州大学西部环境教育部重点实验室开放基金和国家自然科学基金项目 (批准号: 49761007) 共同资助。

收稿日期: 2007-09-04 收修改稿日期: 2007-11-12

干旱区的巴里坤湖为例, 通过对该湖沉积物环境敏感粒度组分的提取及分析, 力图析别出湖泊沉积中所保存的风沙活动记录, 并重建该区域地质历史时期以来的风沙活动历史。

## 1 研究材料和实验分析

巴里坤湖 ( $43^{\circ}36' \sim 43^{\circ}43'N$ ,  $92^{\circ}43' \sim 92^{\circ}51'E$ ) 位于天山东段巴里坤山与北部莫钦乌拉山之间的巴里坤盆地内, 东距巴里坤哈萨克自治县城约 14 km。巴里坤湖为盆地中的一内陆封闭性咸水湖, 海拔 1 580 m, 流域面积约 4 514 km<sup>2</sup>, 河流大部分发源于巴里坤山北坡和北山南坡, 年径流量小, 流程短促, 主要由山地冰川及融雪水补给。古时的巴里坤湖面积约 800 km<sup>2</sup>, 1998 年时面积仅为 116 km<sup>2</sup>, 平均水深为 0.6 m, 现代巴里坤湖地区气候干燥, 年降水量为 202 mm, 而年蒸发量高达 1 638 mm; 年平均气温 1.1℃, 1 月平均气温 -18.6℃, 7 月平均气温 16.9℃。

剖面大致位于巴里坤湖中心部位 ( $43^{\circ}42'N$ ,  $92^{\circ}50'E$ , 简称 BLK-1, 图 1), 深度为 250 cm, 底部 20 cm 以 3 cm 间距取样, 之上以 1 cm 间距取样, 共取样 236 个。在兰州大学西部环境教育部重点实验室采用英国产 Mastersize2000 型激光粒度仪完成全部样品的粒度分析, 事先对样品进行了彻底的前处理<sup>[16]</sup> 以去

除样品中的有机质和碳酸盐类胶结物, 在正式上激光粒度仪测试前加入 10% 的分散剂六偏磷酸钠溶液约 10 ml 并经超声波振荡仪振荡 10 min, 以使样品颗粒充分分散。测试完毕后, 激光粒度仪自动给出样品中值粒径 ( $Md$ )、各粒级百分含量、频率曲线等指标。粒级划分根据乌登—温特沃思 (Udden-Wentworth) 分类标准, 并采用克伦宾 (Kumbien) 提出的公式将粒径转换成  $\phi$  值, 转换公式为:  $\phi = -\lg d$  ( $d$  为粒径, 单位: mm)<sup>[17]</sup>。全剖面共采集 7 个 <sup>14</sup>C 年代样品, 以 3 ~ 5 cm 间距采集, 由兰州大学 <sup>14</sup>C 实验室采用常规方法进行全有机质年龄测定 (表 1)。研究表明, 巴里坤湖湖水的碳库年龄大约为 750 a, 经过碳库年龄校正和日历年换算 (采用 Calib5.0 程序<sup>[18]</sup>) 后, BLK-1 剖面年代与深度间呈现较好的线性关系, 据此计算, BLK-1 剖面最底部的年龄约为 9 400 cal aBP, 全剖面样品时间分辨率平均约为 38 年。

## 2 巴里坤湖沉积物粒度分析结果

沉积物粒度的频率分布曲线能直观的反映其所包含的粒度组分 (单组分或多组分) 信息, 并可求解不同组分的分布范围和相对含量进而追索各沉积组分对应的来源和运输方式。图 2 (A) 示出了 BLK-1 剖面不同深度样品的频率分布曲线, 从中可以

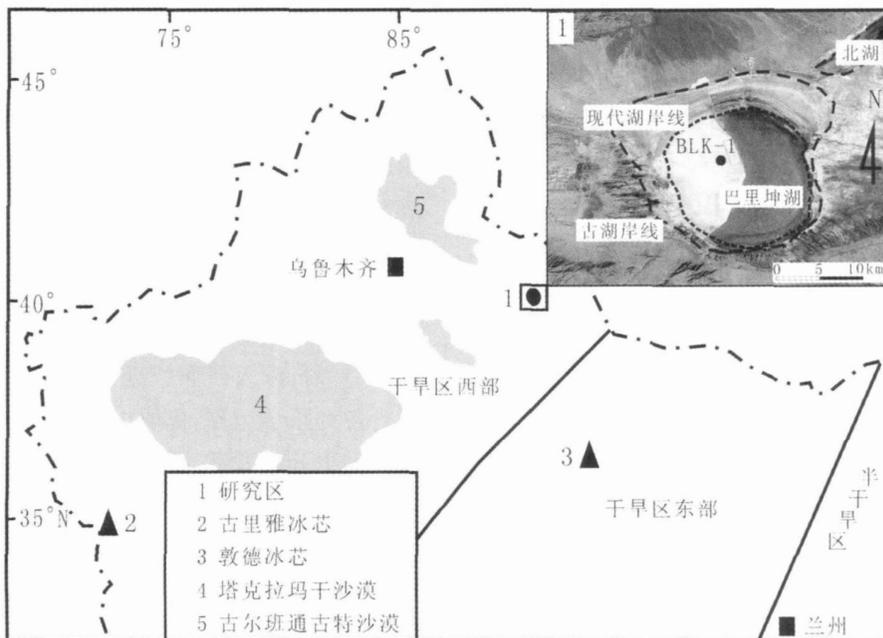


图 1 巴里坤湖在中国西北干旱区的地理位置与 BLK-1 剖面地点

Fig 1 Map showing the location of the Barkol Lake in NW China and the site of BLK-1 section

<sup>1</sup> 薛积彬, 钟巍, 赵引娟等. 东疆北部全新世气候不稳定性的湖泊沉积记录. 2008 《中国沙漠》特刊.

表 1 巴里坤湖 BLK-1剖面测年数据  
Table 1 Radiocarbon data of BLK-1 section

野外编号	实验室编号	深度 /cm	<sup>14</sup> C 年龄 /a BP	校正年龄 (2σ) /cal a BP	测年材料
BLK-1-243-246	05-44-1	4 ~ 7	907 ± 63	698 ~ 930	全有机
BLK-2-231-234	05-43	16 ~ 19	1590 ± 65	1344 ~ 1686	全有机
BLK-3-198-200	05-42-1	50 ~ 52	2245 ± 58	2125 ~ 2350	全有机
BLK-4-170-173	05-41-2	77 ~ 80	3422 ± 60	3486 ~ 3839	全有机
BLK-5-142-145	05-40	105 ~ 108	4340 ± 60	4823 ~ 5266	全有机
BLK-6-110-113	05-39	137 ~ 140	5166 ± 65	5742 ~ 6176	全有机
BLK-8-040-035	05-37-1	210 ~ 215	8111 ± 72	8774 ~ 9280	全有机

看出它们的频率曲线明显包含不同的粒度组分(众数),但从单个沉积物的粒度频率曲线却难以判定每一粒度组分的个数和分布范围,这是因为整个沉积序列所包含的粒度组分并不都在单个样品中表现为明显的峰值。BLK-1剖面沉积物粒度频率曲线主要以明显的单峰态曲线类型(F型)为主,反映了较为单一、比较稳定的水动力沉积环境,但是不同深度沉积物的频率曲线中也明显存在包含两个或三个峰态的曲线类型(C, D, E型),这种多峰态曲线分布特征表明,它们可能来自同一物源但在不同的沉积动力过程作用下最终按照不同比例混合而成,也可能是不同的物源和不同的沉积动力条件综合作用的结果<sup>[5, 19]</sup>。对于干旱一半干旱地区的湖泊尤其是封闭湖泊来说,其沉积作用主要包括流水作用、风力作用以及流水与风力的混合作用<sup>[5]</sup>,从 BLK-1剖面沉积物粒度频率曲线特征来看,风力作用以及流水与风力的共同沉积作用无疑是存在的。因此,只有从多组分混合沉积物中分离出各单一组分的含量和众数值,才有可能进一

步深入探讨每一粒度组分所对应的沉积动力过程。

在提取沉积物中的环境敏感粒度组分时,粒级一标准偏差算法已经得到了广泛的应用<sup>[6-12]</sup>,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<sup>[12]</sup>。粒级一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,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,而这些粒度组分则与沉积动力环境密切相关<sup>[11]</sup>。本文主要依据粒级一标准偏差的变化来提取 BLK-1剖面沉积物的环境敏感粒度组分。

图 2(B)示出了利用粒级一标准偏差算法获得 BLK-1剖面的四个粒度组分,图中较高标准偏差所对应的粒级即对沉积环境敏感的粒度众数。4个明显的标准偏差峰值分别出现在 4.1, 16.3, 64.7 和 389.7 μm,所对应的粒度组分范围分别是 < 7.1 μm (组分 1), 7.1 ~ 45 μm (组分 2), 45 ~ 170 μm (组分 3)和 > 170 μm (组分 4)。由于组分 4在剖面中的平均含量不足 1%,因此我们只考虑前 3个组分粒度反映的环境变化,而不考虑组分 4的影响,根据各组分的分布范围分别计算了前 3个粒度组分的粒级含量和平均粒径(图 3)。

从图 3可以看出,组分 1和组分 2的粒级含量具有明显的波动变化,而且两者变化趋势大致相反,然而,从平均粒径的变化来看,组分 1的平均粒径在整个剖面中没有明显的变化,几乎呈一条直线,而组分 2的粒级含量与其平均粒径不仅波动明显,而且变化趋势也非常相似,这表明组分 1的粒级含量变化主要是由组分 2的粒级含量变化所引起的,组分 2应该是对 BLK-1剖面中对环境变化较为敏感的粒度组分之一。同样,组分 3的粒级含量与其平均粒径的变化也大致

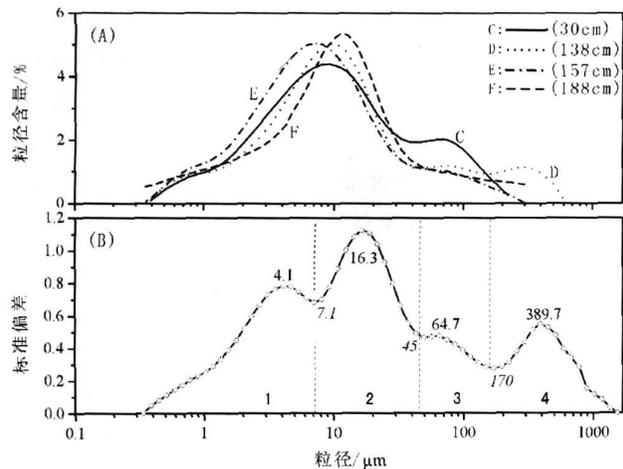


图 2 BLK-1剖面粒度分析结果

- (A) 不同深度沉积物的粒度频率分布曲线;
- (B) 粒级一标准偏差变化曲线

Fig 2 Grain-size distribution and standard deviation curve

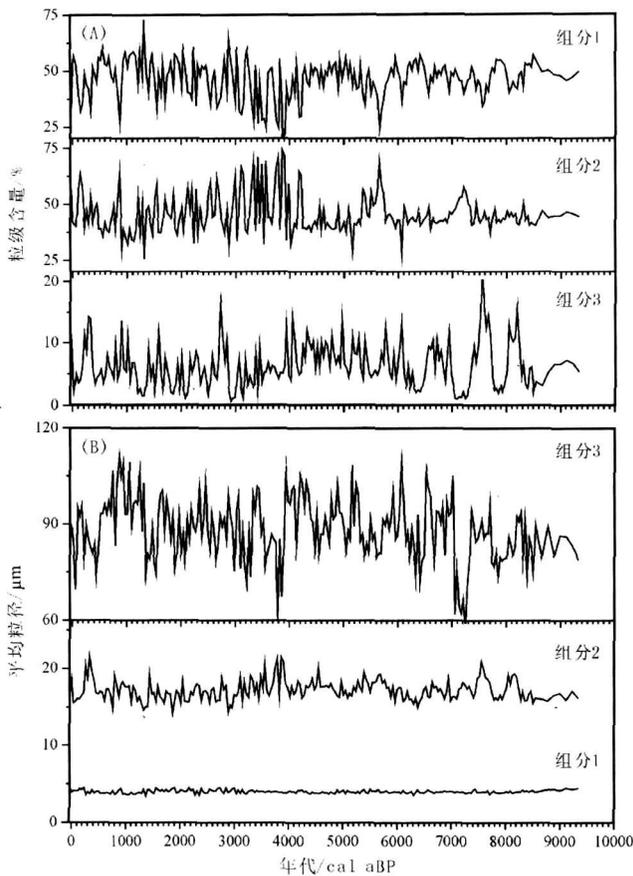


图 3 BLK-1剖面 3个粒度组分的粒级含量(A)和平均粒径(B)变化

组分 1:  $< 7.1 \mu\text{m}$ ; 组分 2:  $7.1 \sim 45 \mu\text{m}$ ; 组分 3:  $45 \sim 170 \mu\text{m}$

Fig 3 Variations of the grain-size content and mean grain-size diameter of BLKA-1 section

呈相似的变化趋势,表明组分 3 也是 BLK-1剖面中对环境变化较为敏感的粒度组分。虽然组分 2和组分 3都是对环境变化较为敏感的粒度组分,但是它们所代表的地质环境意义可能并不相同。在此,本文主要讨论了组分 3可能代表的环境指示意义,并认为组分 3的粒级含量变化可能反映了地质历史时期以来的区域性风沙活动历史,而组分 2的环境指示意义则有待于进一步研究。

### 3 巴里坤湖沉积物粒度组分的沙尘指示意义及重建的区域风沙活动史

#### 3.1 有关地质历史时期沙尘活动及沙尘活动代用指标的研究

国内有关沙尘活动的研究,主要以对现代沙尘暴的研究为主,对地质历史时期沙尘活动状况的研究相对较少,主要集中在以下几个方面:

( )历史文献记载: 20世纪 80年代,国内学者曾利用历史文献资料开展了历史时期沙尘天气的研究工作<sup>[20 21]</sup>,给出了我国近 3 000年降尘地点分布图和近 1 700年来的降尘(雨土)频数曲线,之后又有学者相继进行了这方面的研究<sup>[22 23]</sup>。但这些研究的对象较为宽泛,包括了雨土、降尘、扬沙等多种沙尘天气类型,而专门研究历史时期沙尘暴的工作还比较缺乏。

( )冰芯中的微粒研究: 冰芯记录具有分辨率高、保真性强、储存信息丰富等独特优势,在全球变化研究中占据了相当重要的地位。研究表明<sup>[24 25]</sup>,冰芯中的微粒含量是对陆源物质成分变化非常敏感的环境指标,反映了地质历史时期大气中尘埃频率和强度的波动历史。我国西部大多数地区都是沙漠和荒漠,沙尘暴、尘暴和浮尘事件发生频繁而且持续时间也很长,而这些事件所产生的微粒在青藏高原的冰芯中都有很好的记录<sup>[26]</sup>。对祁连山敦德冰芯中微粒含量、粒径分布与沙尘暴关系的研究<sup>[26 27]</sup>表明,微粒含量和粒径变化主要反映了地质历史时期沙尘暴的强度和波动历史,沙尘暴频率高时,冰芯中微粒含量高、粒径大,反之则微粒含量较低、粒径较小。古里雅冰芯中的微粒记录了末次间冰期以来青藏高原东北部大气粉尘的变化历史<sup>[25]</sup>,其阴、阳离子记录是反映过去地质历史时期大气尘埃和环境变化的可靠指标<sup>[24]</sup>,据此可以恢复过去大气尘埃变化的历史,反映了过去地质历史时期的沙尘活动状况。

( )湖泊沉积: 对岱海沉积记录的研究表明<sup>[4 5]</sup>,沉积物粒度分布的双峰形态是风力作用和流水作用共同影响形成的,其粗颗粒组分( $> 100 \mu\text{m}$ )含量反映了外源风尘物质的输入,是对地质历史时期较强尘暴事件的响应。陕西红碱湖沉积物中的粗颗粒组分( $> 100 \mu\text{m}$ )含量有效记录了过去近百年中较强的几次风沙沉降事件<sup>[3]</sup>。对柴达木苏干湖沉积物粒度的研究<sup>[2]</sup>显示, $> 63 \mu\text{m}$ 的粒度组分指示了苏干湖地区历史时期以来的尘暴事件或风沙活动演化史。Decker等在研究澳大利亚北部 Carpentaria湖沉积物所记录的风沙活动历史时认为, $> 60 \mu\text{m}$ 的沉积物粒度组分指示了该区域地质历史时期的风沙活动过程。此外,还分别有学者以 $50 \sim 80 \mu\text{m}$ <sup>[28]</sup>、 $10 \sim 50 \mu\text{m}$ <sup>[29]</sup>的粒级组分含量探讨了地质历史时期地层中可能的沙尘活动特征。可见,在干旱一半干旱地区的湖泊沉积记录中,粗颗粒( $> 60 \mu\text{m}$ 或 $> 100 \mu\text{m}$ )组分在一定程度上能够反映地质历史时期沙尘活动。

### 3 2 巴里坤湖沉积物粗粒度组分的沙尘指示意义及区域风沙活动历史

在我国,张德二最早通过统计分析历史文献、古籍记载中的“雨黄土”、“黄雾”、“土霾”等记录(在近代气象记录中则相当于严重的沙尘暴和浮尘现象),获得了有关降尘记载共 1 156 条,在摒除可判为火山灰和局地沙尘暴所致的降尘现象后,建立了自公元 300 年来分辨率为 10 年的雨土频率曲线<sup>[20]</sup>,基本上可以代表了干旱一半干旱地区历史时期以来的强沙尘事件频数(图 4-F)。古里雅冰芯取自青藏高原西北边缘西昆仑山古里雅冰帽,姚檀栋<sup>[24]</sup>、邬光剑等<sup>[25]</sup>的研究早已指出,古里雅冰芯中的微粒浓度、阴、阳离子含量是反映该区大气尘埃和沙尘活动的良好指标(图 4-A、B、C、D,图 5-H),对青藏高原西部和

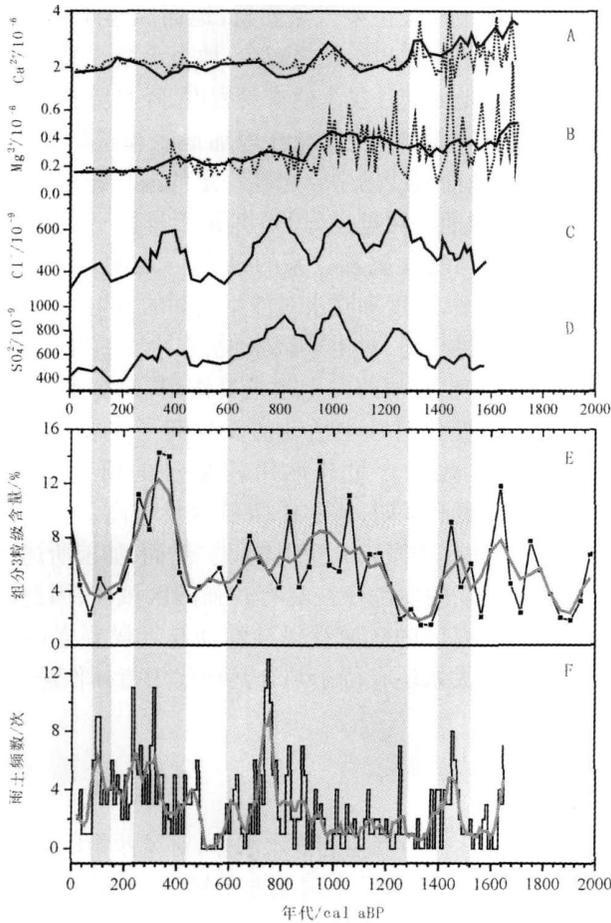


图 4 根据粒度资料重建的过去 2 000 年巴里坤湖地区的区域风沙活动历史及与其他沙尘活动记录的对比  
A—D. 古里雅冰芯中阴、阳离子含量<sup>[24]</sup>; F. 历史时期雨土频数<sup>[20]</sup>;  
E. 组分 3 粒级含量。图中曲线已作百年尺度平滑。

Fig 4 Dust and sand activities reconstructed by the grain-size materials during the past 2 000 years

北部的大气气溶胶变化具有良好的代表性和敏感性。敦德冰芯位于中国西北的祁连山区,年内周边地区浮尘、尘暴活动频繁。对敦德冰芯中微粒的研究表明<sup>[26-27]</sup>,冰芯中的微粒源区主要是其周围中远距离的干旱一半干旱地区,周围环境的大风强度、尘暴的规模、频率及强度等对冰芯中微粒记录影响较大,微粒含量和粒径变化主要反映了地质历史时期沙尘暴的强度和波动历史,沙尘暴频率高时,冰芯中微粒含量高、粒径大,反之则微粒含量较低、粒径较小(图 5G)。BLK-1 剖面沉积物揭示了巴里坤湖地区过去 9 400 cal aBP 以来的气候与环境变化过程,平均每个样品的年代分辨率约为 38 年。虽然样品的年代分辨率同历史文献记载<sup>[20-21]</sup>、冰芯中微粒含量<sup>[24-27]</sup>等有关沙尘活动记录还存在一定的差距,但是从百年尺度上来看,通过粒度—标准偏差法获得的 BLK-1 剖面中组分 3 粒级含量和平均粒径同上述沙尘活动记录还是表现出了较好的一致性(图 4 图 5)。

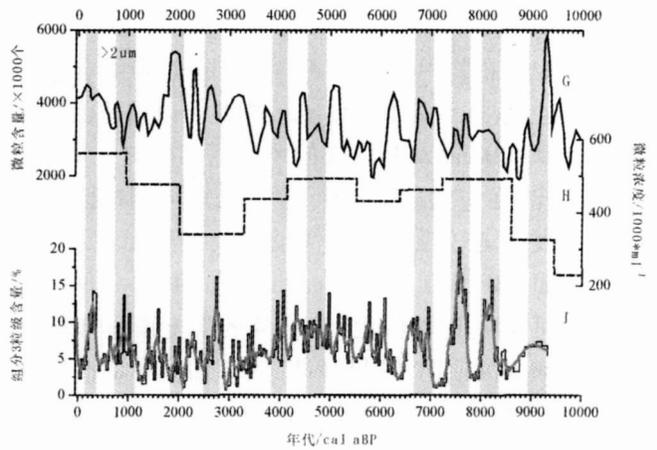


图 5 根据粒度资料重建的 9 400 cal aBP 以来巴里坤湖地区的区域风沙活动及与冰芯中微粒含量记录的对比  
G. 敦德冰芯中微粒含量<sup>[26]</sup>; H. 古里雅冰芯中微粒浓度<sup>[25]</sup>;  
I 组分 3 粒级含量。曲线 J 已作百年尺度滑动平均

Fig 5 Dust and sand activities reconstructed by the grain-size materials during the past 9400 years and its comparison with them icroparticle records in ice cores

有资料显示,尘暴降尘粒度具有双峰分布的特征,反映了地方性(较粗)颗粒和远程搬运(较细颗粒)的粉尘混合物特征<sup>[30]</sup>,较强尘暴降尘粒度的双峰分布叠加在水流搬运组分的粒度分布上,完全可能在细砂粒级(63~250 μm)以上部分显露出次峰来,而次峰强弱能够良好反映风沙沉降事件强弱的变

化<sup>[3]</sup>。BLK-1剖面沉积物粒度频率曲线主要以单峰态类型为主,但在不同深度的沉积物中也存在双峰或三峰态曲线类型,反映出了不同沉积动力机制相混合的结果。巴里坤湖地处西北极端干旱区,周边主要是沙漠、戈壁,除流水作用沉积外,不存在冰筏或其他重力流沉积,沉积物中外源风尘物质的输入无疑应该是存在的,况且,巴里坤湖湖底平坦,流域降水量稀少,水流缓慢且携沙能力有限,不足以产生较大的地表径流将较粗颗粒物搬运到近湖中心的位置。显然,对沉积物中的双峰或三峰态曲线类型可能较为合理的解释是,在尘暴事件或大风条件下,巴里坤湖将接纳来自周边地区受风力吹扬、搬运的较粗颗粒物,特别是巴里坤湖地区年均气温低,年内湖面冰封时间(11月~次年3月)较长,流域地表的较粗颗粒很有可能在风力作用下以跃移或蠕移的方式被搬运到冰面上,由于砂粒与冰的热容量不同而在冰融后沉积在湖中。因此,BLK-1剖面中较粗颗粒物(组分3 45~170  $\mu\text{m}$ )含量可能主要指示了研究区区域性的风沙活动历史。

选取沉积物中组分3(45~170  $\mu\text{m}$ )粒级含量作为区域性风沙活动的替代指标,据此可以重建巴里坤湖地区9 400 cal aBP以来的风沙活动历史。从图4可以看出,在过去的2 000年内,巴里坤湖地区尘暴事件多发或者较强的风沙活动时段主要出现在240~440 cal aBP, 600~1 280 cal aBP和1400~1 800 cal aBP期间,这些时段同近1 700年的雨土频率曲线<sup>[20]</sup>的雨土频率高值期、古里雅冰芯阴、阳离子的高含量期<sup>[24]</sup>都具有良好的可比性。从更长的地质历史时期来看(图5),早、中全新世期间,研究区风沙活动较为强烈,如8 000~8 300 cal aBP, 7 400~7 700 cal aBP, 6 500~7 000 cal aBP时段,特别是在中全新世(3 900~6 100 cal aBP)期间,区域性的尘暴事件或强风沙活动尤其频繁,而自晚全新世以来,研究区的风沙活动强度和频率较早、中全新世期间有所减弱。通过对比可以发现,BLK-1剖面组分3(45~170  $\mu\text{m}$ )粒级含量所指示的区域风沙活动强烈时期古里雅冰芯中微粒浓度记录<sup>[25]</sup>具有较高的一致性,同敦德冰芯中的微粒含量<sup>[36]</sup>记录也可以进行良好的对比。如前所述,沙尘天气的发生往往具有很强的区域性特征,古里雅冰芯与巴里坤湖同位于西北干旱区,而敦德冰芯位于西北半干旱区,因此,巴里坤湖沉积记录的区域风沙活动可能跟古里雅冰芯记录具有更强的相似性,而与敦德冰芯记录必然会存在一定的差异。况且,由

于敦德冰芯的微粒源区较巴里坤湖地区更为复杂,既有沙漠、戈壁,又有风蚀劣地、黄土、沙黄土等,再加之河西走廊狭长的地貌类型组合、西北地区干旱少雨的天气类型以及海拔高度、高空不稳定的大气层等等因素,其微粒记录受到局部物质来源及其他因素的影响作用可能更为复杂,换言之,敦德冰芯记录中微粒含量所指示的沙尘活动可能具有更强的区域性特征,这样就不难理解,BLK-1剖面组分3粒级含量与敦德冰芯微粒含量记录之间存在一定的差异也是自然使然了。

### 3.3 气候变化与沙尘作用机制浅析

气候变化作为影响沙尘天气发生的背景因素,其与沙尘活动作用机制比较复杂。一般来说,沙尘天气的发生与气象条件及地表状况有关,风力状况是影响沙尘天气发生的最主要气象要素,地面风速减小,沙尘天气发生的频率也会随之减少;地表土壤湿度状况直接关系到地面起沙扬尘的难易程度,降水增加会使地表土壤湿度增加,并且能够增加地表植被的覆盖度,从而对地面起沙扬尘会起到一定的抑止作用<sup>[31]</sup>。张自银、杨保通过对过去2 000年来干旱区一半干旱区沙尘事件与气候要素关系的研究<sup>[32]</sup>表明,在干旱区和半干旱区,温度和降水对沙尘活动的发生所起的支配作用不尽相同,对干旱区来说,在十至百年尺度上,温度对沙尘活动的发生起主要作用,而在半干旱区则是降水变化对沙尘活动的发生起了主要作用。对敦德冰芯微粒含量与冰川积累量的研究也表明<sup>[27]</sup>,在气候干旱期,冰芯中微粒含量较高,而在气候湿润期,冰芯中微粒含量则较低。然而,如前所述,由于沙尘活动的发生往往具有较强的区域性,因此,对于本文研究区的区域性风沙活动与气候要素(温度、降水)的关系还有待于结合其他代用指标作进一步研究。

## 4 结论

湖泊作为相对稳定的静水水体,对风沙物质具有良好的保存性,尤其是中国北方干旱、半干旱地区的湖泊,其沉积物记录了风沙发生的频率、强度以及与之有关的流域自然环境。利用高精度激光粒度仪对中国西北干旱区巴里坤湖BLK-1剖面沉积物的粒度进行了分析,采用粒级一标准偏差算法提取了该剖面沉积物中对环境变化(风沙活动)较为敏感的粒度组分。结果表明,45~170  $\mu\text{m}$ 粒级组分含量是反映研究区地质历史时期以来风沙活动较为敏感的粒度组

分, 据此重建的过去 2 000 年以及 9 400 cal aBP 以来的风沙活动历史同其他沙尘活动记录代用指标具有较好的一致性, 表明了干旱区湖泊沉积环境敏感粒度组分是重建高分辨率古气候环境变化记录的良好指标, 特别是对于追索过去地质历史时期以来的沙尘天气活动提供了一种新思路。需要指出的是, 气候环境(风沙活动)变化往往具有较强的区域性特征, 因此, 对某一剖面沉积物环境敏感粒度组分的提取及其应用不具有普适性, 必须根据具体的粒度资料分析来提取其环境敏感粒度组分, 以获得更准确的气候环境变化信息。本文的认识也仅仅是一个初步的尝试, 还需要更多的后续研究来加以支持和验证。

### 参考文献 (References)

- 1 Yung Y L, Lee T, Wang C H, *et al* Dust A diagnostic of the hydrologic cycle during the last Glacial Maximum [ J ]. *Science* 1996 271: 962-963
- 2 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 [ J ]. *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 [ J ]. *Quaternary Sciences* 2006 26(6): 915-922 ]
- 3 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: 以陕西红碱淖湖为例 [ J ]. *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 [ J ]. *Chinese Science Bulletin* 2005, 50(20): 2355-2361 ]
- 4 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 [ J ]. *湖泊科学*, 2000 12(3): 193-198 [ Jin Zhangdong, Wang Sumin, Shen Ji *et al* Dust-storm events in Dahai Lake area Inner Mongolia during the past 400 years evidence from grain-size analysis of lake sediments [ J ]. *Journal of Lake Sciences* 2000 12(3): 193-198 ]
- 5 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 Dahai sediments and its paleoenvironment significance [ J ]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21(1): 93-95 ]
- 6 Prins M A, Postma G, Weltje G. Controls on terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the Late Quaternary: the Makran continental slope [ J ]. *Marine Geology* 2000, 169 351-371
- 7 Stuut J B, Prins M A, Schneider P R, *et al* A 300-kyr record of aridity and wind strength in southwestern African inference from grain-size distributions of sediments on Walvis Ridge Southeast Atlantic [ J ]. *Marine Geology* 2002, 180 221-233
- 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. Primary analysis on the sensitive grain-size of terrigenous sediment to environments in marginal sea [ J ]. *Chinese Science Bulletin* 2003 48(1): 83-86 ]
- 9 Boulay S, Colin C, Trentesaux A, *et al* Mineralogy and sedimentology of Pleistocene sediment in the South China Sea (ODP Site 1144) [ J ]. *Proceedings of Ocean Program, Scientific Results* 2004 21: 1-21
- 10 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近 2ka 来东海内陆架的泥质沉积记录及其气候意义 [ J ]. *科学通报*, 2004, 49(21): 2233-2238 [ Xiao Shangbin, Li Anchun, Jiang Fuqing *et al* Recent 2000-year geological records of mud in the inner shelf of the East China Sea and their climatic implications [ J ]. *Chinese Science Bulletin* 2005 50(5): 466-471 ]
- 11 向荣, 杨作升, Saito Y, 等. 济州岛西南泥质区近 2300a 来环境敏感粒度组分记录的东亚冬季风变化 [ J ]. *中国科学 (D 辑)*, 2006 36(7): 654-662 [ Xiang Rong, Yang Zuosheng, Saito Y, *et al* East Asia winter monsoon changes inferred from environmentally sensitive grain-size component records during the last 2300a in mud area southwest of Cheju Island ECS [ J ]. *Science in China (Series D)*, 2006 49(6): 604-614 ]
- 12 万世明, 李安春, Jan-Berend, 等. 南海北部 ODP1146 站粒度揭示的近 20Ma 以来东亚季风演化 [ J ]. *中国科学 (D 辑)*, 2007, 37(6): 761-770 [ Wan Shiming, Li Andun, Jan-Berend *et al* Grain-size records at ODP Site 1146 from the northern South China Sea Implications on the East Asian monsoon evolution since 20Ma [ J ]. *Science in China (Series D)*, 2007, 50(10): 1536-1547 ]
- 13 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 ]
- 14 雷国良, 张虎才, 张文翔, 等. 柴达木盆地察尔汗古湖贝壳堤剖面粒度特征及其沉积环境 [ J ]. *沉积学报*, 2007, 25(2): 274-282 [ Lei Guoliang, Zhang Hucui, Zhang Wenxiang *et al* Characteristics of grain-size and sedimentation of shell bar section in Salt Lake Qarhan Qaidam Basin [ J ]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2007 25(2): 274-282 ]
- 15 隆浩, 王乃昂, 马海州, 等. 腾格里沙漠西北缘湖泊沉积记录的区域风沙特征 [ J ]. *沉积学报*, 2007, 25(4): 626-631 [ Long Hao, Wang Naiang, Ma Haizhou *et al* Eolian activity and environment evolution history recorded by the Qingtu Lake NW Tengger Desert [ J ]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2007 25(4): 626-631 ]
- 16 鹿化煜, 安芷生. 前处理方法对黄土沉积物粒度测量影响的实验研究 [ J ]. *科学通报*, 1997, 42(23): 96-101 [ Lu Huayu, An Zhisheng. Pretreated methods on loess-palaeosol samples granulometry [ J ]. *Chinese Science Bulletin* 1998 43(3): 237-240 ]
- 17 成都地质学院陕北队. 沉积物粒度分析及其应用 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1978 [ College of Geological Chengdu Grain-Size Analysis and Its Application of Sediments [ M ]. Beijing Geological Publishing House 1978 ]

- 18 Stuiver M, Reimer P J, Reimer R. CALIB Radiocarbon Calibration [J/OL]. <http://calib.qub.ac.uk/calib/>
- 19 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, 2006, 24(6): 878-882 [ Jiang Qing-feng, Liu Xingqi, Shen Ji. Grain-size characteristics of Wulugu Lake sediments and its paleoclimate and palaeoenvironment implication [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6): 878-882 ]
- 20 张德二. 历史时期“雨土”现象剖析 [J]. 科学通报, 1982, 27(5): 294-297 [ Zhang De'er. Analysis of dust rain in the historic times of China [J]. Chinese Science Bulletin, 28(3): 361-366 ]
- 21 张德二. 我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析 [J]. 中国科学 (B辑), 1984, (3): 278-288 [ Zhang De'er. Synoptic-climatic studies of dust fall in China since historic times [J]. Science in China (Series B), 1984, 27(8): 825-836 ]
- 22 王社教. 历史时期我国沙尘天气时空分布特点及成因研究 [J]. 陕西师范大学学报 (哲社版), 2001, 30(3): 81-87 [ Wang She-jiao. An investigation of the temporal and spatial distribution and the contributing factor of dust weather in our country through history [J]. Journal of Shanxi Normal University (Social Science), 2001, 30(3): 81-87 ]
- 23 刘多森, 汪丛生. 中国历史时期尘暴波动的分析 [J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 549-553 [ Liu Duosen, Wang Zongsheng. Analysis on fluctuations of dust storms in the historic times of China [J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(4): 549-553 ]
- 24 姚檀栋. 古里雅冰芯近 2000 年来气候环境变化记录 [J]. 第四纪研究, 1997, 17(1): 52-60 [ Yao Tandong. Climatic and environmental record in the past about 2000 years from the Guliya ice core [J]. Quaternary Sciences, 1997, 17(1): 52-60 ]
- 25 邬光剑, 姚檀栋, Thompson L G, 等. 末次间冰期以来古里雅冰芯微粒记录与极地冰芯的对比 [J]. 科学通报, 2004, 49(5): 475-479 [ Wu Guangjian, Yao Tandong, L G. Thompson, et al. Microparticle record in the Guliya ice core and its comparison with polar records since the last interglacial [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(6): 607-611 ]
- 26 刘纯平, 姚檀栋, 谢树成. 祁连山敦德冰芯微粒变化特征和大气环境记录 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(3): 105-113 [ Liu Chunping, Yao Tandong, Xie Shucheng. Characteristics of microparticle variation and records of atmospheric environment in Dunde ice core [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1999, 19(3): 105-113 ]
- 27 刘纯平, 姚檀栋, Thompson L G, 等. 敦德冰芯中微粒含量与沙尘暴及气候的关系 [J]. 冰川冻土, 1999, 21(1): 9-14 [ Liu Chunping, Yao Tandong, L G. Thompson, et al. Microparticle concentration with in the Dunde ice core and its relation to dust storm and climate since the Little Ice Age [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1999, 21(1): 9-14 ]
- 28 施琪, 陈发虎. 早全新世石羊河流域沙尘暴活动记录 [J]. 地理科学, 2001, 21(3): 257-261 [ Shi Qi, Chen Fahu. Dust storm records in Shiyang River drainage during early Holocene [J]. Scientia Geographica Sinica, 2001, 21(3): 257-261 ]
- 29 蔡小微, 赵景波. 长安四府村 32~10ka BP 期间沙尘暴活动的记录 [J]. 中国沙漠, 2005, 25(3): 409-411 [ Cai Xiaowei, Zhao Jingbo. Loess record of sand-dust storm activity during 32-10ka BP in Sifi Village, Chang'an, Shaanxi Province [J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(3): 409-411 ]
- 30 Pye K. Aerial Dust and Dust Sediment [M]. Beijing: Ocean Publishing House, 1991: 79-80
- 31 王宁练, 姚檀栋, 羊向东, 等. 冰芯和湖泊沉积记录所反映的 20 世纪中国北方沙尘天气频率变化趋势 [J]. 中国科学 (D 辑), 2007, 37(3): 378-385 [ Wang Ninglian, Yao Tandong, Yang Xiangdong, et al. Variations in dust event frequency over the past century reflected by ice-core and lacustrine records in north China [J]. Science in China (Series D), 2007, 50(5): 736-744 ]
- 32 张自银, 杨保. 中国北方过去 2000 年沙尘事件与气候变化 [J]. 第四纪研究, 2006, 26(6): 905-914 [ Zhang Ziyin, Yang Bao. Dust storm events and their relation to climate changes in Northern China during the past 2000 years [J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(6): 905-914 ]

## Variations in Dust Event Reflected by Grain-size Component of Lacustrine Records in Droughty Area: a case study on Barkol Lake, Xinjiang, China

XUE Ji-bin<sup>1</sup>, ZHONG Wei<sup>1,2</sup>

(1 School of Geography Science, South China Normal University, Guangzhou 510633;

2 Key Laboratory of Oasis Ecology (Xinjiang University) Ministry of Education, Urumqi 830046;

3 Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), Lanzhou University, Lanzhou 730000)

**Abstract** Grain-size analysis of BLK-1 section, retrieved from Barkol Lake, NW China, was carried out using a Malvern 2000 grain-size analyzer, and environmentally sensitive grain-size components can be easily identified according to the variations in the grain-size standard deviation. The results indicated that 45~170  $\mu\text{m}$  grain-size component (to be continued on page 669)

## Am ino A cids in Surface Sediment of Chukchi Sea-Canada Basin

WANG Kui CHEN Jian-fang JIN Hai-yan

JIN Ming-ming LI Hong-liang ZHANG Hai-sheng

(Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012)

**Abstract** The Cruise of Chinese Second Arctic Science Expedition were conducted from July to September 2003. The concentrations of total hydrolyzable amino acids (THAA), hexosamines(HA) in the Chukchi Sea and Canada Basin surface sediment samples were measured. The major compositions were different between areas in Chukchi Sea. Glutamic acid(Glu), Glycine(Gly) were the major forms of amino acid, while Serine(Ser) took the main part at the Stations B8Q, B11, P27 in Canada Basin, and features in sediments included total organic carbon(TOC), total nitrogen(TN), THAA, HA, etc. varied greatly with different areas. TOC, HA were lowest at BS11 and that THAA, TN were lowest at B8Q. TOC, TN were highest at R03 while R11 had the highest THAA and P11 had the highest HA. The spatial variation of amino acids in surface sediments of Chukchi Sea-Canada Basin was discussed. DIW was introduced according to amino acid selective preservation and Principal Component Analysis to investigate the organic matter degradation of the seven stations sediments, by which we sort them as C15> BS11> R11> S11> P11> R03> B8Q. The sequence was related to sediment sources and hydrographic conditions. This indicated Bering Strait organic matter in sediments was fresher than Chukchi Cape and Canada Basin, between which was Chukchi shelf.

**Key words** Amino acids, Bering Strait, Chukchi Sea, Canada Basin, surface sediment

( to be continued from page 654)

and its mean grain-size diameter are sensitive to the regional dust events in the study area, combined with the radiocarbon ages, the dust events during the last 9.4 cal ka BP was reconstructed. During the last 2 000 years, strong dust events appeared at 240~ 440 cal aBP, 600~ 1 280 cal aBP and 1 400~ 1 800 cal aBP epochs, which are consistent well with the high values of rain-dust frequency and high contents of ions in Guliya Ice Core. During the last 9.4 cal kaBP, 8 000~ 8 300 cal aBP, 7 400~ 7 700 cal aBP, 6 500~ 7 000 cal aBP, especially during the middle Holocene epoch of 3 900~ 6 100 cal aBP, the regional dust events took place continually, which can contrast well with the microparticulate records in Guliya and Dunde Ice Cores. Lacustrine sediment in droughty areas is a good carrier which can denote the dust events during the historical period well, as the climatic variations has great regional characteristics, and so the environmentally sensitive grain-size components in some one section could not be used universally.

**Key words** Barkol Lake, Holocene, dust event, environmentally sensitive grain-size component