

文章编号: 1000-0550(2008) 03-0501-07

稳定湖相沉积物和风成黄土粒度判别函数的建立及其意义¹

张平¹ 宋春晖¹ 杨用彪¹ 高红山¹ 张红艳²
刘维明¹ 潘美慧¹ 刘平¹ 胡思虎¹ 夏维民¹

(1 兰州大学西部环境教育部重点实验室与资源环境学院 兰州 730000)

(2 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)

摘要 沉积物粒度变化主要受搬运介质、搬运方式、沉积环境和气候等多种因素的控制,通过粒度分析可判别沉积物的成因类型,推断其形成的沉积环境,解释环境演变。利用统计学方法对典型稳定湖相沉积物(罗布泊湖相样品 282 块,岱海湖相样品 123 块)和典型风成黄土(甘肃兰州榆中样品 263 块)粒度参数进行定量化分析,并经稳定湖相和风成沉积物验证,获得稳定湖相与风成沉积物的判别公式: $F_{(湖相,风成沉积物)} = 20.363Mz - 56.371Sd - 67.922Sk + 23.516G - 55.626$ 若 $F > 0$ 为稳定湖相沉积物,反之, $F < 0$ 则为风成沉积物。这为研究地史中稳定湖泊与风成环境沉积物的鉴别提供粒度分析定量化判别方法,它对陆相古环境、干旱化事件和尘暴事件等研究具有十分重要的借鉴价值。

关键词 稳定湖相沉积物 风成黄土 粒度分析 判别函数

第一作者简介 张平 男 1980 年出生 硕士研究生 沉积学

通讯作者 宋春晖 E-mail: songch@lzu.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 前言

沉积物粒度参数的变化受搬运介质、搬运方式、沉积环境和气候等因素控制^[1,2],因此,沉积物粒度分析对揭示气候变化和环境演变具有重要的意义。例如在中国黄土研究中粒度大小被广泛作为东亚冬季风强度的良好代用指标,使古气候研究取得了突破性进展^[3-9]。在湖泊研究中,粒度指标也受到很多学者的青睐^[10-16],尤其对于封闭湖泊而言,沉积物粒度大小变化是反映湖区降水和干旱化以及湖水能量的重要指标^[15-21]。利用沉积物粒度多种参数综合判断沉积物成因是沉积物粒度分析的重要研究内容,前人已提出了多种沉积环境之间沉积物粒度参数综合判别公式^[2,22,23],使沉积物粒度分析在恢复古环境研究中得到广泛应用。但对稳定湖相和风成沉积物之间的粒度参数综合判别公式还未见报道。因此,建立能区分稳定湖相与风成沉积物的粒度参数定量化方法就成为沉积物粒度分析古环境研究中面临的十分迫

切的新问题。本文运用统计学的分析方法,通过对典型稳定湖相沉积物和风成黄土粒度参数的定量化研究,试图建立判别两种沉积环境的数学模型。这对陆相古环境、干旱化事件和尘暴事件等研究具十分重要的科学价值。

1 材料与方法

1.1 样品及数据的获得

研究材料选择典型稳定湖泊沉积物与风成堆积黄土。湖相样品选取岱海和塔里木盆地罗布泊地区湖相沉积物,其中岱海沉积物粒度资料由孙千里博士提供,包括岱海 0~10 m 沉积物样品,取样间距 10 cm(局部加密)共 123 块样品^[15]。罗布泊湖相沉积物取自中国大陆环境科学钻探工程罗布泊地区 LS2 钻孔下部 1 000.05~1 056.1 m,取样间距 20 cm 共 282 块样品。黄土样品采自兰州市榆中县典型的风成黄土沉积剖面,取样间距 5 cm,共计 263 块样品。

为了验证判别函数的准确性,我们另选了已知环

¹ 国家重点基础研究发展计划项目(编号: 2004CB720201)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: k2CX2-YW-104)、国家自然科学基金项目(批准号: 40721061, 40334038)和教育部科学研究重大项目(编号: 306016)资助。

收稿日期: 2007-09-24 收修修改稿日期: 2007-10-30

境的甘肃临夏盆地湖相沉积物和兰州沙金坪风成黄土为验证对象。临夏盆地稳定湖相沉积物主要分布于毛沟剖面 288~318 m^[24], 取样间距 10 cm 共 300 块样品。兰州沙金坪风成黄土选取 0~13.1 m^[25], 取样间距 10 cm, 共计 131 块样品。

罗布泊地区和临夏盆地毛沟剖面湖相沉积物以及兰州一带黄土的粒度测量是在兰州大学西部环境教育部重点实验室沉积物粒度实验室进行。每个样品中取 0.3~0.5 g 放入烧杯, 视有机质的多少加入适量浓度为 10% 的双氧水 (H₂O₂), 加热煮沸, 使其充分反应至完全去除有机质。然后加入 10 ml 浓度为 10% 的盐酸 (HCl) 煮沸, 使其充分反应除去碳酸盐。再加去离子水注满烧杯, 静置 12 h 后, 抽去上清液, 加入 10 ml 浓度为 0.05 mol/L 的六偏磷酸钠 (Na₆PO₃)₆ 分散剂, 在超声波振荡仪上振荡 7 min, 然后在英国 Malvern 公司 Mastersizer 2000 型激光粒度仪上进行粒度测量, 其重复测量误差小于 2%。

粒度参数的计算运用能描述样品整体粒度特征的矩值法^[2, 26, 27], 其计算公式^[2]如下:

$$\phi = -\log_2 d \quad (1)$$

$$M_z = \sum (f_i X_i) / \sum f_i \quad (2)$$

$$S_d = [\sum f_i (X_i - M_z)^2 / \sum f_i]^{1/2} \quad (3)$$

$$S_k = \sum f_i (X_i - M_z)^3 / \sum f_i / S_d^3 \quad (4)$$

$$K_g = \sum f_i (X_i - M_z)^4 / \sum f_i / S_d^4 \quad (5)$$

其中 d 为颗粒直径值, 单位 mm, M_z 代表平均粒径, S_d 为标准偏差, S_k 为偏度值, K_g 为峰态值, f_i 为每个粒级权重, X_i 为各粒级平均粒径, $\sum f_i$ 等于 100

1.2 判别分析

判别分析是一种多元统计分析, 可以来寻找适当的统计值以判断不同的沉积作用和沉积环境。判别分析中最常用的是两组样品的多元线性判别函数^[2, 28]。

粒度参数 M_z , S_d , S_k , K_g 是沉积物粒度的四个最重要参数^[2, 29]。平均粒径 M_z 指示沉积物粒度分布的集中趋势, 代表沉积介质的平均动力能; 标准偏差 S_d 反映沉积物颗粒的均一程度, 与沉积物搬运动力条件密切相关; 偏度 S_k 用来表示频率曲线的对称性, 反映沉积物中粗细颗粒占有的比例; 峰态 K_g 是用来说明与正态频率曲线相比时, 曲线的尖锐或钝圆程度, 反映沉积物粒径分布的集中程度。综合利用四个参数的特征来判别沉积环境更为准确可靠, 并且前人在粒度判别分析中的变量都为粒度参数 M_z , S_d , S_k , K_g ^[2, 22, 23], 为寻求一致性本文也利用粒度参数 M_z ,

S_d , S_k , K_g 建立多元线性判别函数。

假定有已知的两种环境的两组样品, 每组样品都含有相同的变量 X_i ($i = 1, 2, \dots, P$), 粒度分析中的变量为粒度参数 M_z , S_d , S_k , K_g 则可构成判别函数^[2, 28]:

$$F = \sum_{i=1}^P C_i X_i, \quad (i = 1, 2, \dots, P)$$

式中 P 代表变量 X_i 的个数; C_i 为判别方程中的各系数, 反映特征参数的作用方向及分辨能力和贡献率大小。再利用 Fisher 判别准则, 使类间均差与类内离差平方和比值达到最大, 由极值原理列出 C_i 必须满足的方程组, 解之得到判别函数^[2, 22, 28]。然后, 计算出 F_1 和 F_2 , 若 $F_1 > F_2$ 为一类沉积作用和沉积环境; $F_1 < F_2$, 为另一类沉积作用和沉积环境^[2, 28]。

我们分别将岱海典型稳定湖相沉积物和兰州榆中风成黄土的沉积环境做为已知类别, 运用统计软件 spss13.0^[28] 对岱海湖相沉积物和兰州榆中风成黄土的粒度参数 (M_z , S_d , S_k 和 K_g) 进行分析并建立判别函数, 再对罗布泊样品 (湖相) 的沉积环境做出判断 (进行验证分析)。

利用 Enter Independents together (建立所选择的全部自变量的判别式) 和 Use stepwise method (采用逐步判别方法作判别分析) 两种方法分别来建立判别函数^[28]。其中在 Use stepwise method 方法中, 又分别利用了 Use F value (使用 F 值) 和 Use probability of F (使用 F 检验的概率) 两种分析方法。

2 结果与讨论

2.1 判别函数的建立

(1) 判别计算结果

表 1 类均值相等的检验

Table 1 Tests of equality of group means

变量	Wilks' λ	F	d_f^1	d_f^2	显著性
M_z	0.300	897.257	1	384	0
S_d	0.869	57.824	1	384	0
S_k	0.377	634.475	1	384	0
K_g	0.940	24.566	1	384	0

从表 1 显示粒度参数 M_z , S_d , S_k 和 K_g 每个变量的类内均值检验 (Sig) 的显著性概率均小于 0.05 表明四个变量类内均值都存在显著差异 (类内均值都存在显著差异是得到满意判别结果的重要条件之一), 说明可以进行判别分析。

(2) 协方差阵相等的 Box's 检验 (Box's Test of Equality of Covariance Matrices)

表 2 协方差阵相等的 Box's M 检验结果

Table 2 Box's test results of Equality of Covariance Matrices

Box's M 统计量	F			
	Approx	df ₁	df ₂	显著性
1273.341	125.612	10	278904.687	0

由表 2 揭示检验协方差矩阵相等的 Box's M 统计量值为 1 273. 341 (> > 0. 05), 从而认为各类协方差矩阵相等 (类协方差矩阵相等是得到满意判别结果的另一重要条件)。同时, F 检验的显著性概率 Sig = 0 (< < 0. 05), 因此, 判别分析显著 (判错率很小)。

(3) 判别函数检验

表 3 λ 值

Table 3 Wilks Lambda

判别函数	Wilks' λ	卡方	自由度	显著性
1	0. 067	1030. 614	4	0

表 3 是对判别函数显著性的检验, Wilks 的 λ 值等于 0. 067 (很小), 卡方统计量值 (Chi-square) 为 1 030. 614 自由度 (df) 为 4 显著性概率 Sig = 0 因此, 判别函数有效。

(4) 分类统计

表 4 分类函数系数

Table 4 Classification function coefficients

变量	Mz	Sd	Sk	Kg	常数	
分类函数	1	60. 885	28. 444	- 38. 218	89. 461	- 390. 141
	2	40. 522	84. 815	29. 704	65. 945	- 334. 515

表 4 给出了 Fisher 线性判别函数系数, 据此建立线性判别模型。

$$\text{区划 1 } F_1 = 60. 885M_z + 28. 444S_d - 38. 218S_k + 89. 461K_g - 390. 141 \quad (6)$$

$$\text{区划 2 } F_2 = 40. 522M_z + 84. 815S_d + 29. 704S_k + 65. 945K_g - 334. 515 \quad (7)$$

将各变量值代入这两个判别函数模型进行计算, 得到的数值进行比较, 若 $F_1 > F_2$, 对应观测量归入 1 类, 即为湖相沉积物; $F_2 > F_1$, 则对应观测量归入 2 类, 即为风成沉积物。

为了计算结果的简单化, 用公式 (6) ~ (7) 得到

公式 (8):

$$F = 20. 363M_z - 56. 371S_d - 67. 922S_k + 23. 516K_g - 55. 626 \quad (8)$$

将各变量值代入此判别函数模型进行计算, 若 $F > 0$ 对应观测量归入 1 类 (湖相沉积物); $F < 0$ 则对应观测量归入 2 类 (风成沉积物)。

(5) 结构矩阵

表 5 结构矩阵表

Table 5 Structure matrix

变量	Mz	Sk	Sd	Kg
判别函数	- 0. 411	0. 345	0. 104	0. 068

表 5 结构矩阵是判别变量与标准化判别函数之间的合并类内相关系数, 表明判别变量和判别函数之间的相关性, 如表所示各变量和判别函数之间的相关性由大到小依次为 M_z , S_k , S_d 和 K_g 。

表 6 分类结果

Table 6 Classification results^{a b}

原始结果	样品	判别结果			
		稳定湖相	风成	合计	
数值	岱海湖相沉积物	121	2	123	
	兰州榆中黄土	0	263	263	
	罗布泊验证样品	201	81	282	
百分数	岱海湖相沉积物	98. 4	1. 6	100	
	兰州榆中黄土	0	100	100	
	罗布泊验证样品	71. 3	28. 7	100	
交叉验证结果	数值	岱海湖相沉积物	121	2	123
	兰州榆中黄土	0	263	263	
	百分数	岱海湖相沉积物	98. 4	1. 6	100
		兰州榆中黄土	0	100	100

a 判别分类与样品原分类对照, 判别符合率为: 99. 5%

b 交叉验证分类与样品原分类对照, 判别符合率为: 99. 5%

运用 Enter Independents together (建立所选择的全部自变量的判别式) 和 Use stepwise method (采用逐步判别方法作判别分析) 两种方法得到三次结果完全相同, 证明研究结果具可靠性。

为了充分证明判别公式的可靠性, 我们又将临夏盆地毛沟剖面湖相沉积物和兰州沙金坪风成黄土两种已知沉积环境沉积物粒度参数 (M_z , S_d , S_k , K_g) 代入判别公式 (8), 得到的结果: 临夏盆地湖相沉积物 75% 样品判别为稳定湖相沉积物, 而兰州沙金坪风成黄土 100% 的样品判别为风成, 表明建立的判别公式是可靠的。

2.2 判别结果的分析

表 6 是根据表 4 的 Fisher 线性判别函数式 (6) 和 (7) 对研究的 668 个样品判别结果的统计, 对已知为风成环境 (属于区划类 2) 的兰州黄土 263 个样品全部判为风成沉积物, 判别准确率为 100%; 而未知为湖相环境 (属于区划类 1) 的岱海湖相 123 个样品中有 121 个样品判为湖相沉积物, 仅 2 个样品被判为风成沉积物; 对于罗布泊 LS2 钻孔底部沉积物的判别结果: 71.3% 的样品为稳定湖相沉积物, 28.7% 的样品形成于风成沉积环境。判别分类是一种概率分类, 并非绝对可靠, 仅能把错判的可能性抑制到最低限度^[30]。在判别分析中, 实际判错的原因可能是样品

的不纯所致^[30], 即研究样品可能存在复合沉积成因。对于稳定湖相沉积物造成其粒度变化的原因可能是尘暴^[17-21]或河流注入稳定湖相沉积环境带来新的沉积物加入。

由于沉积物粒度的频率曲线直观的表示了组成样品的各粒级含量的变化和全样的总体粒度特征, 指示了搬运颗粒的介质动力所作用的粒级范围和介质动力的特征^[31]; 因此, 在进行沉积作用研究时沉积物粒度频率曲线成为一种重要的研究手段^[15, 17-21, 32], 其曲线的峰态是反映沉积作用形式变化的重要参数^[15, 33, 34], 或代表不同的搬运机制或动能^[30-32, 35], 所以沉积物粒度的多峰频率曲线可能是几种沉积作用

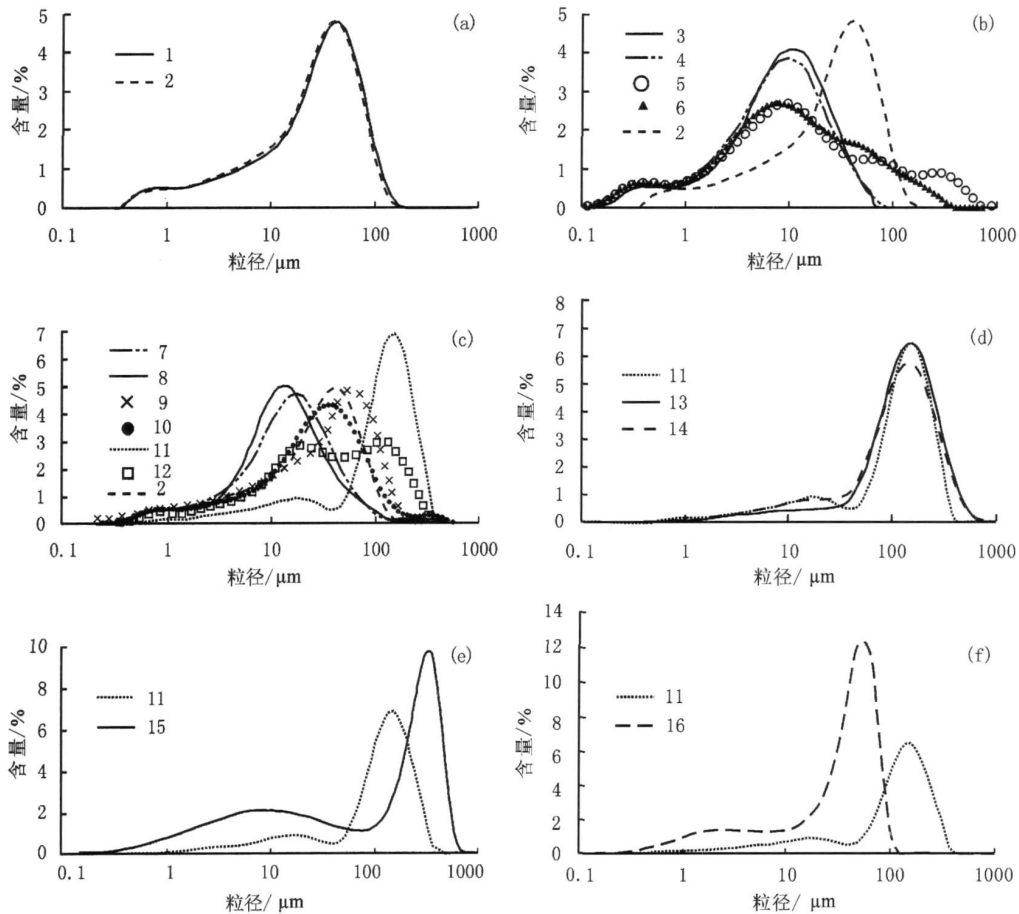


图 1 沉积物粒度的频率曲线特征

- a 兰州榆中典型风成黄土粒度频率曲线; b 岱海典型稳定湖相沉积物 (代表曲线 3、4) 和判别为非稳定湖相沉积物 2 个样品 (曲线 5、6) 的粒度频率曲线; c 罗布泊稳定湖相沉积物 (代表曲线 7、8) 和判别为非稳定湖相沉积物 (代表曲线 9、10、11、12) 的粒度频率曲线; d 冷湖气象站季节降尘样品粒度相频率曲线 (曲线 13、14)^[19];
- e 河流沉积物粒度频率曲线 (曲线 15)^[32]; f 榆林风成黄土粒度频率曲线 (曲线 16)^[32]

Fig 1 Frequency curves of sediments grain-size

- a Eolian loess from Lanzhou (curves 1, 2); b Dahai stable Lake sediments (curves 3, 4) and discriminated eolian sediments of lake sediments (curves 5, 6); c Lop Nur Lake sediments (curves 7, 8) and discriminated eolian sediments of lake sediments (curves 9, 10, 11, 12); d Arbohome dust sediments (curves 13, 14)^[19];
- e Fluvial sediment (curve 15)^[32]; f Eolian loess from YuLin (curve 16)^[32];

的共同结果。对上述湖相沉积序列中被判为风成沉积物样品(岱海 2 个样品和罗布泊 81 个样品)的频率曲线及其峰态作进一步的研究,图 1a b c 对比显示,风成黄土频率曲线表现为正偏态;岱海典型的稳定湖相沉积物和罗布泊稳定湖相沉积物曲线都表现为较为对称的峰态,且平均粒径较风成黄土的小,是稳定的深水环境的产物^[15]。图 1b 中 5 和 6 两条曲线是岱海判为风成沉积物的 2 个样品,其频率曲线呈多峰,其中曲线 5 的粗端组分粒度在 200 μm 以上,它可能指使了河流作用(跃移组分)的参与^[32],其他两个众数粒径分别和黄土、稳定湖相主峰的粒径为同一范围,所以曲线 5 可能反映了河流作用、风成作用参与了稳定湖泊的沉积过程^[15]。曲线 6 各众数粒径分别和风成黄土、稳定湖相主峰的粒径为同一区域,指示较强的风力作用参与了稳定湖泊的沉积过程。据孙千里等人^[36]对岱海稳定湖相沉积物上部 9.9 m 的研究,沉积速率基本呈线性变化,平均为 1.83 mm/a,由此推算曲线 5 和 6 两样品(分别为 440 cm 和 630 cm)形成年龄距今分别为 2 414 a 和 3 452 a 左右。同时前人对岱海地区孢粉和粒度等指标的研究表明^[36-39], 3.5 kaB.P. 以后岱海流域气候总体趋于干旱。当冬季风增强时大量的粗颗粒被吹起,导致稳定的湖相沉积物中混入了较粗的风成组分。因此,本文判别岱海 2 个样品(分别为 440 cm 和 630 cm)风成沉积物可能代表近 3 500 a 来两次强烈尘暴事件。

在罗布泊地区判为风成沉积物中 9 和 10 号两种代表性曲线与兰州榆中风成黄土(图 1c)、以及代表性曲线 11 号与柴达木盆地冷湖气象站季节降尘样品^[19]的粒度频率曲线特征十分相似(图 1d),同时代表性曲线 11 号与河流沉积物^[32](图 1e)和榆林风成黄土^[32](图 1f)粒度频率曲线也类似,但河流相沉积物的频率曲线众数粒径粗,而榆林 L1 黄土众数粒径相对较细,因此,罗布泊地区判为风成沉积物中 9、10 和 11 号三种代表性曲线可能是尘暴事件使风成沉积物落入湖泊的结果。图 1c 中罗布泊地区判为风成沉积物中的 12 号代表性曲线为明显双峰特征,十分类似于河流环境沉积特征^[32],但其两众数相对河流的明显偏细,而两众数的位置分别位于频率曲线 11 主峰和稳定湖相沉积物主峰的位置,结合前人类似研究^[15,32],推断代表性曲线 12 号可能是尘暴沉积物与稳定湖相沉积物混合的结果。由此利用该判别公式在罗布泊湖相沉积物中提取出的 81 个被判为

风成沉积物的样品,可能代表该区在稳定湖泊沉积序列中存在的尘暴事件。

3 结论

通过大量典型风成黄土和稳定湖相沉积物粒度参数定量化判别分析,并经验证,获得稳定湖相沉积物与风成沉积物的粒度分析判别公式:

$$F = 20.363M_z - 56.371S_d - 67.922S_k + 23.516K_g - 55.626$$

若 $F > 0$ 为稳定湖相沉积物;若 $F < 0$ 为风成沉积物。

利用此判别公式可以对未知沉积环境的沉积物进行沉积物成因的判断,同时在古湖相沉积序列中,结合粒度分布模式能较简捷的提取出风成组分(干旱化事件),这些对古环境研究具有十分重要的参考价值。

需要指出,该判别公式和前人^[2,22,23]研究的判别公式一样,为减小构造等因素的影响,对研究的分析样品采集时,需注意沉积物的地质时间间隔不宜太长以及整个采样区沉积物的物源要单一^[40]。

致谢 感谢潘保田教授提供兰州黄土粒度资料以及孙千里博士提供岱海湖泊沉积物粒度资料!对邢强、马文忠、李立立、王亚东、贾志磊和唐玉虎在室内粒度分析工作的帮助以及咎金波和方克艳给予的有益建议一并表示感谢!

参考文献 (References)

- 1 Mcave IN, Syvitski JPM. Principle and Methods of Geological Particle Size Analysis[M]. New York: Cambridge University Press, 1991: 3-21
- 2 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京:地质出版社, 1976: 55-103 [Shanbei Team of Chengdu Institute of Geology. Grain Size Analysis of the Sedimentary Rock (Sediment) and Its Application[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1976: 55-103]
- 3 Porter SC, An ZS. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glaciation[J]. Nature, 1997: 375: 305-308
- 4 An Zhiheng, Kukla G, Porter SC, et al. Late Quaternary dust flow on the Chinese Loess Plateau[J]. Catana, 1991, 18: 125-132
- 5 Ding Zhongli, Yu Zhijie, Rutter NW, et al. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits[J]. Quaternary Science Reviews, 1994, 13: 39-70
- 6 鹿华煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(3): 278-283 [Lu Huayu, An Zhiheng. Paleoclimatic significance of grain size of loess-palaeosol deposit in Chinese

- Loess Plateau [J]. *Science in China (Series D)*, 1998, 28(3): 278-283]
- 7 Ding Z, Liu T S, Rutter N, *et al*. Ice volume forcing of East Asian winter monsoon variations in the past 800 000 years [J]. *Quaternary Research*, 1995, 44: 149-159
 - 8 孙东怀, 鹿化煜. 晚新生代黄土高原风尘序列的粒度和沉积速率与中国北方大气环流演变 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27(2): 251-262 [Sun Donghuai, Lu Huayu. Grain-size and dust accumulation rate of late Cenozoic aeolian deposits and the inferred atmospheric circulation evolutions [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(2): 251-262]
 - 9 Lu H Y, Huusstedt K, An Z S, *et al*. East Asian winter monsoon variations on a millennial time-scale before the last glacial-interglacial cycle [J]. *Journal of Quaternary Science*, 1999, 14: 101-110
 - 10 Kenji Kashiyama, Shinya Ochiai, Hideo Sakai and Takayoshi Kawai. Orbit-related long-term climate cycles revealed in a 12-Myr continental record from Lake Baikal [J]. *Nature*, 2001, 410(6824): 71-74
 - 11 Dearing J A. Sedimentary indicators of lake-level changes in the humid temperate zone: a critical review [J]. *Journal of Palaeolimnology*, 1997, 18(1): 1-14
 - 12 Finney B P, Johnson T C. Sedimentation in Lake Malawi (East Africa) during the past 10,000 years: A continuous paleoclimatic record from the southern tropics [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1991, 85: 351-366
 - 13 Campbell C. Late Holocene lake sedimentology and climate change in southern Alberta, Canada [J]. *Quaternary Research*, 1997, 49: 96-101
 - 14 Alin S R, Cohen A S. Lake level history of Lake Tanganyika, East Africa, for the past 2,500 years based on ostracode-inferred water depth reconstruction [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003, 119: 31-49
 - 15 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 Dai Hai sediments and its paleoenvironmental significance [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2001, 21(1): 93-95]
 - 16 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 Jing'an, Wan Guojiang, Zhang Feng, *et al*. Environmental records of lacustrine sediment in different scales: the case of granulometry. *Science in China (series D)*, 2003, 33(6): 563-568]
 - 17 Street-Perrott F A, Holmes J A, Waller M P, *et al*. Drought and dust deposition in the west African Sahel: a 5500-year record from Kajumani Oasi, Northeastern Nigeria [J]. *The Holocene*, 2000, 10(3): 293-302
 - 18 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: 以陕西红碱淖湖泊为例 [J]. *科学通报*, 2006, 51(1): 87-92 [Shen Ji, Wang Yong, Yang Xiangdong, *et al*. Regional sandstorms characteristics and historical evolution of lake recorded by lacustrine sediments: Taking Hongjiannao Lake of Shanxi for example [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(1): 87-92]
 - 19 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(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(6): 915-922]
 - 20 Xiao J L, Inouchi Y, Kumai H, *et al*. Eolian quartz flux to Lake Biwa, Central Japan, over the past 145000 years [J]. *Quaternary Research*, 1997, 48: 48-57
 - 21 Deckker P D, Comege T, Head J. Late Pleistocene record of cyclic eolian activity from tropical Australia suggesting the Younger Dryas is not an unusual climatic event [J]. *Geology*, 1991, 19(6): 602-605
 - 22 李昌志, 王裕宜. 泥石流、冰碛和河湖沉积物的粒度特征及判别 [J]. *山地学报*, 1999, 17(1): 50-54 [Li Changzhi, Wang Yuyi. Preliminary exploration on grain characteristic and discrimination of debris flow deposit, moraine and river & lake deposit [J]. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(1): 50-54]
 - 23 Sahu B K. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1964, 34: 73-83
 - 24 宋春晖, 白晋锋, 赵彦德, 等. 临夏盆地 13~4 Ma 湖相沉积物颜色记录的气候变化探讨 [J]. *沉积学报*, 2005, 23(3): 507-513 [Song Chunhui, Bai Jinfeng, Zhao Yande, *et al*. The color of lacustrine sediments recorded climatic changes from 13 to 4.5 Myr in Linxia Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(3): 507-513]
 - 25 徐树建, 潘保田, 高红山, 等. 末次间冰期—冰期旋回黄土环境敏感粒度组分的提取及意义 [J]. *土壤学报*, 2006, 43(12): 183-189 [Xu Shujian, Pan Baotian, Gao Hongshan, *et al*. Analysis of grain-size populations with environmentally sensitive components of loess during the last interglacial-glacial cycle and their implications [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(12): 183-189]
 - 26 贾建军, 高抒, 薛允传. 图解法与矩法沉积物粒度参数的对比 [J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(6): 577-582 [Jia Jianjun, Gao Shu, Xue Yunchuan. Grain size parameters derived from graphic and moment methods: a comparative study [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(6): 577-582]
 - 27 徐树建, 潘保田, 张慧, 等. 末次冰期旋回风成沉积物图解法与矩法粒度参数的对比 [J]. *干旱区地理*, 2005, 28(2): 194-198 [Xu Shujian, Pan Baotian, Zhang Hui, *et al*. Grain size parameters of Loess-paleosol deposits from graphic and moment methods: a comparative study [J]. *Arid Land Geography*, 2005, 28(2): 194-198]
 - 28 郝黎仁, 樊元, 郝哲欧, 等. SPSS 实用统计分析 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002, 289-315 [Hao Liren, Fan Yuan, Hao Zheou, *et al*. For SPSS Statistical Analysis [M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2002, 289-315]
 - 29 Folk R L, Ward W C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters [J]. *Sedimentary Petrology*, 1957, 27: 3-27
 - 30 何仲秋. 利用判别分析法对比昌福山区主采煤层 [J]. *能源与环境*, 2006, 4: 83-96 [He Zhongqiu. Discriminant analysis method using contrast-connections of the main mining in a mountainous area of Changfu [J]. *Energy and Environment*, 2006, 4: 83-96]
 - 31 Sun Donghuai, Jan Bbonenda, David K Rea, *et al*. Bimodal grain-size distribution of Chinese loess and its paleoclimatic implications [J]. *Catena*, 2004, 55: 325-340

- 32 Donghuai Sun, Bøenendal J, Rea D K, Vandenberghe J *et al* Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments and numerical partitioning of the sedimentary components [J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 152: 263-277
- 33 Mason C C, Folk R L. Differentiation of beach, dune and aeolian flat environment by size analysis [J]. *Journal of Sedimentary Petrology* 1958, 28: 211-216
- 34 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 Xiangdong *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]
- 35 Sun Donghuai. Monsoon and westerly circulation changes recorded in the late Cenozoic aeolian sequences of Northern China [J]. *Global and Planetary Change* 2004, 41: 63-80
- 36 孙千里, 周杰, 沈吉, 等. 北方环境敏感带岱海湖泊沉积所记录的全新世中期环境特征 [J]. *中国科学(D辑 地球科学)*, 2006, 36(9): 838-849 [Sun Qianli, Zhou Jie, Shen Ji *et al*. Holocene environmental features records of lacustrine sediment of Da Hai Lake of Northern environmentally sensitive zone [J]. *Science in China (Series D)*, 2006, 36(9): 838-849]
- 37 孙千里, 肖举乐. 岱海沉积记录的季风干旱过渡区全新世适宜期特征 [J]. *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 Da Hai Lake, North China [J]. *Quaternary Sciences* 2006, 26(5): 781-790]
- 38 Xiao J L, Xu Q H, Nakamura T, *et al* Holocene vegetation variation in the Da Hai Lake region of North central China: A direct indication of the Asian monsoon climatic history [J]. *Quaternary Science Reviews* 2004, 23 (14-15): 1669-1679
- 39 Peng Y J, Xiao J L, Nakamura T, *et al* Holocene East Asian monsoonal precipitation pattern revealed by grain size distribution of core sediments of Da Hai Lake in Inner Mongolia of North central China [J]. *Earth and Planetary Science Letters* 2005, 233 (3-4): 467-479
- 40 Davis D K, Etridge F G. Sandstone composition and depositional environment [J]. *AAPG Bulletin*, 1975, 59: 239-264

The Significance and Establishment of Discriminant Function with Grain Size of Stable Lacustrine Sediment and Eolian Loess

ZHANG Ping¹ SONG Chun-hui¹ YANG Yong-biao¹ GAO Hong-shan¹
 ZHANG Hong-yan² LIU Weiming¹ PAN Meihui¹
 LIU Ping¹ HU Shihu¹ XIA Weimin¹

(1. Resources and Environment, Lanzhou University School of the Environment Ministry West Key Laboratories, Lanzhou 730000;

2. Institute of Earth Environment, SKLLQG-CAS, Xi'an 710075)

Abstract Changes in sediment grain-size are mainly controlled by the transporting medium, transporting mode, depositional environment, climate and other factors. Through analyzing characteristic of grain-size, types of sediments can be distinguished and that characteristic of the sedimentary environment can be concluded, environmental evolution can be interpreted. In this paper, the samples include typical stable lacustrine sediments (282 lacustrine sediment samples from Lop Nur, 123 lacustrine sediment samples from Da Hai) and typical eolian loess (263 samples from Lanzhou). The grain-size characteristic parameters of these samples are obtained with moment method. This article quantitative analyzes these parameters by means of discriminatory-analytical method. And then obtained discriminant function of stable lacustrine sediments and typical eolian sediments $F_{(\text{lake eolian sediment})} = 20.36Mz - 56.371Sd - 67.922Sk + 23.516Kg - 55.626$ if $F > 0$ the sediment is stable lacustrine sediment, if $F < 0$ the sediment is eolian sediment. This is a good quantitative analysis to the stable lacustrine sediments and eolian sediments of geological history, as well as a basis for distinguish eolian components from the sequence of paleo-lacustrine sediments. And it is significant for the investigation of terrestrial paleoenvironments, drought events and dust-storm events.

Key words stable lacustrine sediment, eolian loess, analysis of grain-size, discriminant function