

# 六种不同前处理方法对陕北砂黄土粒度测量的影响

李 静<sup>1\*</sup>, 马义娟<sup>1#</sup>, 苏志珠<sup>2</sup>, 刘 蓉<sup>3</sup>, 侯 丽<sup>1</sup>

<sup>1</sup>太原师范学院地理科学学院, 山西 晋中

<sup>2</sup>山西大学历史文化学院, 山西 太原

<sup>3</sup>陕西师范大学地理科学与旅游学院, 陕西 西安

Email: \*tysyljijing@163.com, #mayijuan@163.com

收稿日期: 2021年2月5日; 录用日期: 2021年3月17日; 发布日期: 2021年3月24日

## 摘 要

不同前处理方法对沉积物粒度测试结果的真实性具有十分重要的作用。采取6种不同的前处理方法对陕北砂黄土运用激光粒度仪进行测量, 探讨不同前处理方法对粒度测量的影响, 以获取砂黄土准确的粒度分布情况。结果表明: 经方法A和方法E处理后得到的黏粒含量平均值较大, 分别为6.38%和6.10%; 方法C和方法F的平均粒径 $\Phi$ 值都较小, 分别为5.21 $\Phi$ 和5.08 $\Phi$ , 经过超声波、分散剂和HCl处理后的得到的黏粒含量不是真实的粒度测量结果。砂黄土中的有机质会对粒度测量产生较大影响, 方法D得到的黏粒含量较小, 为6.17%, 粉砂粒含量较大, 为69.19%, 表明经过处理后细粒组分百分含量减少。单独加入H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的前处理方法得到的黏粒含量最多(6.75%), 平均粒径最细(5.29 $\Phi$ ), 分选性最差(1.82), 偏度最大(0.43); 与其他方法相比, 分散效果更好。单独加入H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的前处理方法(文中B方法)粒度分散效果最好, 更适用砂黄土的粒度测量。

## 关键词

砂黄土, 粒度测量, 前处理方法, 陕北

# Influence of Six Different Pretreatment Methods on Grain Size Measurement of Sandy Loess in Northern Shaanxi Province

Jing Li<sup>1\*</sup>, Yijuan Ma<sup>1#</sup>, Zhizhu Su<sup>2</sup>, Rong Liu<sup>3</sup>, Li Hou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Geography Science, Taiyuan Normal University, Jinzhong Shanxi

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 李静, 马义娟, 苏志珠, 刘蓉, 侯丽. 六种不同前处理方法对陕北砂黄土粒度测量的影响[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(3): 279-289. DOI: 10.12677/ag.2021.113024

<sup>2</sup>College of History and Culture, Shanxi University, Taiyuan Shanxi

<sup>3</sup>Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi

Email: \*tysylijing@163.com, #mayijuan@163.com

Received: Feb. 5<sup>th</sup>, 2021; accepted: Mar. 17<sup>th</sup>, 2021; published: Mar. 24<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Different pretreatment methods play a very important role in the authenticity of sediment particle size test results. This paper adopted six different pretreatment methods to measure the grain size of sandy loess in northern Shaanxi Province by laser particle size analyzer, and the influence of different pre-treatments on grain size distribution was discussed. The results showed that the average clay content after treatment by method A and method E was larger, 6.38% and 6.10%, respectively; the average particle diameter  $\Phi$  value of method C and method F are both smaller, 5.21 $\Phi$  and 5.08 respectively  $\Phi$ , the content of clay particles after ultrasonic, dispersant and HCl treatment is not the true particle size measurement result. The organic matter in the sandy loess will have a greater influence on the grain size measurement. The clay content obtained D the method is small, 6.17 and the silt content is 69.19, which indicates that the percentage content of fine grained component decreases after treatment. The pre-treatment method with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> addition alone obtained the most clay content, which was 6.75%, and the average particle size was the coarsest, which was 5.29 $\Phi$ , and the sorting coefficient and skewness were also the largest, which were 1.82 and 0.43, respectively. Compared with other methods, the median particle size was larger, the content of coarse particles was reduced, the content of fine particles was increased, the particle size become finer, and the dispersion effect was better. Therefore, the pretreatment method of adding H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alone (method B in the paper) was more suitable for grain size measurement of sandy loess.

## Keywords

Sandy Loess, Grain Size, Pretreatment Method, Northern Shaanxi Province

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

砂黄土分布在沙漠区与黄土区之间的交错地带,地处东亚季风区的边缘地带,其粒度特征对研究沙漠进退过程以及古气候变化具有重要意义[1] [2] [3]。粒度作为反映沉积物组分特征、搬运介质、动力大小及沉积环境的重要指标[4],已在黄土[5] [6]、海洋[7]、沙漠[8]、湖泊[9]和冰川[10]等沉积环境中得到广泛应用。测定沉积物粒度的方法有很多,激光粒度仪由于具有重复性好、测量速度快、范围广等特点被普遍采用[11]。但由于不同环境中沉积过程的复杂性,有机质、碳酸盐、次生黏土矿物及游离氧化物等的胶结作用以及黏粒吸附作用,容易导致沉积物粒度测量结果的粗颗粒含量增加,因此需要在前处理时加入 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、HCl、(NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> 分散剂以及超声波震荡等方法来去除这些干扰因素。学者们通过对不同沉积物粒度进行各种前处理后测量发现,测量结果存在很大的差异[12]-[20]。砂黄土由于所处区域对环境变化敏感以及本身的土壤特性与黄土、古土壤存在差异,加之目前仍没有针对砂黄土粒度测试前处理的具体

方法,故本文选择陕北砂黄土为研究对象,探讨不同的前处理方法对砂黄土粒度结果的影响,以便为获取真实可靠的粒度测量结果,以期对砂黄土粒度分析提供更为准确的数据基础,并对土壤风蚀防治、保水固土、提高土地生产力等具有重要实践意义。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区概况

陕北砂黄土带的地理位置为  $34^{\circ}48'N\sim 39^{\circ}36'N$ ,  $107^{\circ}25'E\sim 111^{\circ}14'E$ ,位于五寨、清涧、环县、海原一线以北,河曲、榆林、靖边、盐池一线以南,其形状呈微向东南突出的弧形,自东北向西南后折向西北[21],地貌上表现为覆沙黄土丘陵,主要为以崃为主的崃梁沟壑丘陵区。气候属于温带大陆性季风气候,降水时空分布不均匀,且多夏季暴雨。陕北境内河流众多,地带性土壤为栗钙土淡栗钙土。地质构造属于鄂尔多斯台坳,区域表面覆盖第四纪黄土。砂黄土粒度成分以粗粉粒级为主,粗粉粒含量可达75%~85%,粘粒含量一般小于12% [22]。

### 2.2. 数据来源与处理

在陕北地区采集30个地表砂黄土样品,将其在实验室自然风干后,采用6种不同的方法进行粒度前处理,而后使用 *Beckman Coulter* 2000 激光粒度仪进行测量。该激光粒度仪测试范围为  $0.02\sim 2000\ \mu\text{m}$ ,重复性误差  $< 1\%$ ,遮光度达到10%~15%范围内停止加样。6种前处理方法(标注为A、B、C、D、E、F)的步骤有所差异,现分别予以描述。

A) 称重0.8 g样品,加入纯水静置12 h,抽取上层清液后上机测量; B) 称重0.8 g样品,加入10 ml浓度为10%的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,放置加热板加热使其充分反应,冷却后加入纯水静置12 h以去除砂黄土中的有机质,抽取上层清液后上机测量; C) 称重0.8 g样品,加入10 ml浓度为10%的  $\text{HCl}$ ,放置加热板加热使其充分反应,冷却后加入纯水静置12 h以去除砂黄土中的碳酸盐类产物,期间需换多次纯水进行洗酸,抽取上层清液后上机测量; D) 称重0.8 g样品,加入10 ml浓度为10%的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,放置加热板加热使其充分反应,冷却后加纯水静置12 h,抽取上层清液,再加入10 ml浓度为0.05 mol/L的  $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂使砂黄土胶结颗粒分散的更为完全,而后上机测量; E) 称重0.8 g样品,直接加入10 ml浓度为0.05 mol/L的  $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂,上机测量; F) 称重0.8 g样品,加入10 ml浓度为10%的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,放置加热板加热使其充分反应,冷却后加入10 ml浓度为10%的  $\text{HCl}$ ,再放置加热板加热使其充分反应,冷却后加纯水静置12 h,期间需换多次纯水进行洗酸,而后抽取上层清液,加入10 ml浓度为0.05 mol/L的  $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂,进行上机测量。

砂黄土的粒度分级采用 *Udden-Wentworth* 粒级标准[23] [24],将沉积物颗粒组别划分为砂粒( $63\sim 2000\ \mu\text{m}$ )、粉砂粒( $2\sim 63\ \mu\text{m}$ )和黏粒( $< 2\ \mu\text{m}$ )。数据在Excel中进行处理分析,粒度频率分布曲线通过 *Origin8.5* 软件绘制。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 砂黄土粒度组成特征

砂黄土粒度组成特征是揭示东亚冬、夏季风变化良好的代用性指标[3]。按照上述6种前处理方法对陕北地区的砂黄土样品进行粒度测试,其粒度组分结果见表1。从表1中可以看出,陕北砂黄土颗粒组成整体上以粉砂粒( $2\sim 63\ \mu\text{m}$ )含量为主,变化范围为41.72%~84.69%,平均值为69.17%;砂粒( $63\sim 2000\ \mu\text{m}$ )含量次之,变化范围在7.06%~54.98%之间,平均值为25.33%;黏粒( $< 2\ \mu\text{m}$ )含量最少,变化范围在2.95%~8.75%之间,平均值为5.80%。

就不同前处理方法而言,砂黄土的颗粒组分含量差异明显。从不同粒级组分含量变化来看,黏粒( $< 2 \mu\text{m}$ )含量经方法 E 测试所得到的含量变化范围最大,差值为 5.03%,其次为方法 B,含量范围为 4.54%~8.75%,但方法 B 的平均值(6.75%)最大,方法 C 的平均值(4.57%)最小,说明经方法 B 处理后所测试得到的黏粒含量增加,而方法 C 黏粒含量减少。粉砂粒(2~63  $\mu\text{m}$ )含量变化范围差值由大到小依次为方法 E (42.88%) > 方法 C (42.24%) > 方法 B (38.04%) > 方法 F (37.66%) > 方法 A (34.59%) > 方法 D (34.03%),其中,方法 C 测得的粉砂粒的平均值(70.60%)最大,方法 B 的平均值(67.81%)最小,表明方法 C、F 所测得的粉砂粒含量比其他方法增多。方法 E 处理后的砂粒(63~2000  $\mu\text{m}$ )含量范围变化最大,为 7.06%~54.98%,最小的是方法 A (8.46%~46.83%)。砂粒平均值最大的方法 B,为 25.44%,方法 D (24.64%)最小,表明经方法 D 处理后得到的砂粒含量减少。

**Table 1.** The grain size distribution of sandy loess by different pretreatment methods (Unit: %)

**表 1.** 不同前处理方法测试的砂黄土颗粒组分含量(单位: %)

方法		黏粒 $< 2 \mu\text{m}/\%$	粉砂粒 2~63 $\mu\text{m}/\%$	砂粒 63~2000 $\mu\text{m}/\%$
A	范围	4.33~8.25	48.70~83.29	8.46~46.83
	平均值	6.38	68.67	24.95
B	范围	4.54~8.75	45.58~83.62	7.87~49.60
	平均值	6.75	67.81	25.44
C	范围	2.95~5.63	41.72~83.96	10.41~54.92
	平均值	4.57	70.60	24.83
D	范围	4.16~7.97	48.54~82.57	9.80~47.30
	平均值	6.17	69.19	24.64
E	范围	3.21~8.24	41.81~84.69	7.06~54.98
	平均值	6.10	68.69	25.21
F	范围	3.33~5.81	46.55~84.21	10.24~48.83
	平均值	4.82	70.09	25.09
整体	范围	2.95~8.75	41.72~84.69	7.06~54.98
	平均值	5.80	69.17	25.33

### 3.2. 砂黄土粒度参数特征

砂黄土作为风成沉积物,其粒度参数特征可指示风力强弱、反映沉积环境状况[25]。在冷干多风的气候条件下,平均粒径  $\Phi$  值较小,颗粒较粗;分选程度较差,分选系数较小;粒度分布集中在粗粒部分,偏度为正偏;峰态较窄,沉积物物质来源单一。依据 Folk 等[26]提出的公式图解计算得到砂黄土的粒度参数(表 2)。从表 2 中可知,陕北砂黄土的平均粒径变化范围在 4.03~5.92 $\Phi$  之间,平均值为 5.16 $\Phi$ ,属粉砂粒级;分选系数的变化范围为 1.33~2.22,平均值为 1.72,属分选较差;偏度介于 0.14~0.55 之间,平均值为 0.41,属极正偏,平均值向中位数的较细端靠近;峰度范围变化在 0.80~1.73 之间,平均值为 1.22,属窄峰态型。

从不同前处理方法的平均粒径来看,方法 E 的含量变化范围最大,为 4.03~5.88 $\Phi$ ,最小的是方法 F,为 4.31~5.55 $\Phi$ 。方法 B 的平均值(5.29 $\Phi$ )最大,方法 F(5.08 $\Phi$ )最小。对于分选系数而言,6 种前处理方法下所测试的粒级组分并计算得到分选系数的平均值依次为方法 B (1.82) > 方法 A (1.80) > 方法 E (1.74) > 方法 D (1.70) > 方法 C (1.68) > 方法 F (1.60);其中,方法 E 砂黄土的分选系数变化范围最大(1.33~2.13)。

方法 B、A、E 的分选系数平均值较大,说明这三种方法的分选性优于其他方法,但 6 种前处理方法的分选性均处于较差水平。在偏度上,方法 C 的含量变化范围最大,为 0.14~0.52,方法 E 最小(0.37~0.48);方法 B 和方法 D 的平均值(均为 0.43)最大,最小的是方法 C(0.37),说明经过方法 B、D 处理后的沉积物颗粒向细粒组分方向聚集。对峰度而言,方法 E 的含量变化范围最大(0.89~1.73),最小的是方法 F,为 0.99~1.65。方法 D、F、E 的峰度平均值分别为 1.32、1.30、1.24,均大于其他三种方法,属于很窄峰态,其他方法属于中等峰态。

**Table 2.** Grain size parameters of sandy loess by different pretreatment methods

**表 2.** 不同前处理方法下砂黄土粒度参数

方法	平均粒径 $Mz/\Phi$	分选系数 $\sigma$	偏度 $Sk$	峰度 $Kg$	
A	范围	4.49~5.86	1.62~2.11	0.31~0.51	0.89~1.56
	平均值	5.26	1.80	0.42	1.18
B	范围	4.35~5.92	1.59~2.22	0.33~0.55	0.87~1.67
	平均值	5.29	1.82	0.43	1.19
C	范围	4.40~5.68	1.54~2.02	0.14~0.52	0.80~1.49
	平均值	5.21	1.68	0.37	1.12
D	范围	4.27~5.70	1.44~2.08	0.38~0.51	1.02~1.73
	平均值	5.15	1.70	0.43	1.32
E	范围	4.03~5.88	1.33~2.13	0.37~0.48	0.89~1.73
	平均值	5.24	1.74	0.41	1.24
F	范围	4.31~5.55	1.38~1.94	0.36~0.52	0.99~1.65
	平均值	5.08	1.60	0.40	1.30
整体	范围	4.03~5.92	1.33~2.22	0.14~0.55	0.80~1.73
	平均值	5.16	1.72	0.41	0.22

### 3.3. 砂黄土粒度频率曲线特征

粒度频率曲线能更完整的反映沉积物颗粒分布形态[2] [3],因此不同前处理方法下的粒度测试结果差异会在粒度频率曲线上具有更直观的反映。陕北砂黄土经过不同前处理方法得到的粒度频率曲线(图 1),均呈现双峰态,30~60  $\mu\text{m}$  之间的主峰最为突出,峰值为 5~8  $\mu\text{m}$  之间次峰起伏较小,同时还存在 0.02~2  $\mu\text{m}$  之间的超细粒组分,如样品 1、2、9、15、21、28。粒度频率曲线上超细粒组分以及次峰的存在,主峰偏向细粒端,表明所有样品在经过不同前处理方法后细粒组分含量增多。

供实样品中,0.02~2  $\mu\text{m}$  超细粒组分在方法 C、F 中峰值最低,方法 B、E、D 的峰值较高,说明用方法 B、E、D 经过前处理后得到的细颗粒增加;5~8  $\mu\text{m}$  的次峰在方法 C 中峰值最高,细粒组分含量最多,方法 D、E 的峰值最低;方法 F 中 30~60  $\mu\text{m}$  的主峰峰值最高,且主峰向粗粒端靠近。

## 4. 讨论

前处理方法是為了去除原有样品中的胶结物和分离团粒物质,以达到沉积物颗粒分散的效果。激光粒度仪在进行样品粒度测量时采用的前处理方法包括加入化学药品去除样品中增加颗粒黏结的成分,或使用超声波震荡的方法击碎土壤中的絮凝颗粒,这些前处理方法中化学药品的分配及顺序将会对土壤粒度测量产生影响。前处理中加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  是为了去除土壤样品中的有机质,  $\text{HCl}$  除去碳酸盐、铁氧化物及部



分粘土矿物,  $(\text{NaPO}_3)_6$  分散剂会将土壤颗粒更好的分散, 超声波震荡把土壤中的颗粒更好的震荡开, 还有化学分离石英方法剔除长石、云母和细颗粒此生黏土矿物等成分。黄土中的有机质的碳酸钙含量较高, 北方红色风化壳中的次生粘土矿物和游离氧化物会产生胶结作用, 风成红粘土粘性较高, 南方红土中不含游离碳酸钙物质, 沙漠沉积物中造成颗粒絮凝的物质较少, 湖泊沉积物及海洋沉积物因水动力和风力等多重因素影响粒度特征较为复杂, 各类沉积物由于搬运动力及沉积环境的变化其粒度产生独特性, 因此在对沉积物进行粒度测量时, 不同前处理方法会对测量结果的真实性产生影响。砂黄土带由于地处黄土和沙漠的交互地带, 其影响土壤颗粒产生团聚的矿物不一致, 分析 6 种不同的前处理方法对砂黄土粒度测量产生的影响。

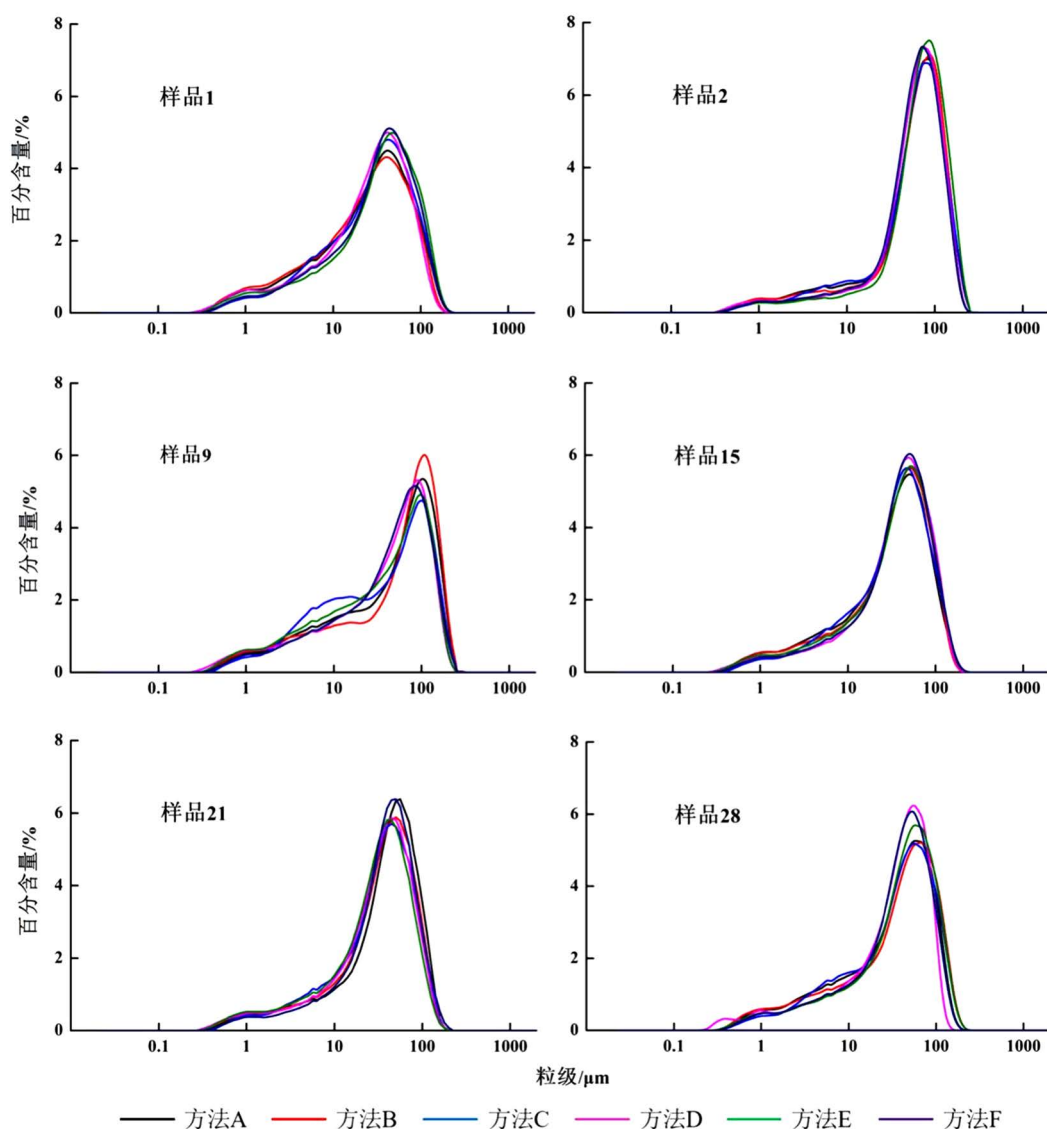
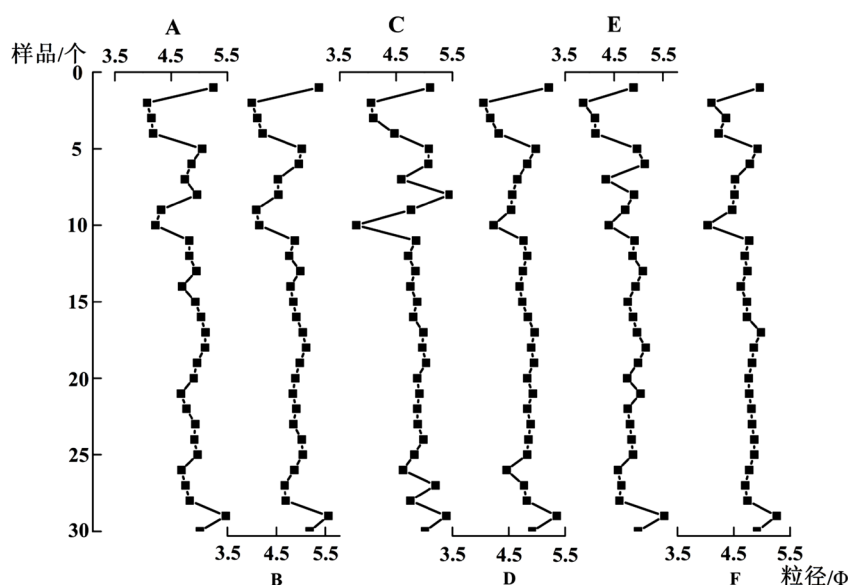


Figure 1. Grain size frequency curves of sand loess by different pretreatment methods

图 1. 不同前处理方法后砂黄土的粒度频率曲线

Bettersize2000 激光粒度仪本身具有超声波震荡功能, 所有前处理方法都分别加入了  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{HCl}$ 、 $(\text{NaPO}_3)_6$  分散剂或经过超声波分散, 因此粒度频率曲线差异很小。表 1 中数据显示, 方法 A、B、D、E (C、

F 除外)的 $<2\ \mu\text{m}$  的黏粒含量都在 6.00% 以上,表明经过这些方法前处理后黏粒含量增加。经过方法 A、B、E 处理后的平均粒径  $\Phi$  值变大,从中值粒径(图 2)也看出,这三种方法都使得  $\Phi$  值增大,颗粒变细,使得样品的总体粒径趋于细粒化,粒度频率曲线向细粒端靠近。整体中值粒径标准差为 0.32,6 种前处理方法下的中值粒径标准差依次为方法 B (0.37) > 方法 C (0.36) > 方法 E (0.34) > 方法 A (0.33) > 方法 D (0.28) > 方法 F (0.26),方法 A、E 与整体差异较小,表明按照 A、E 方法前处理后测得的中值粒径曲线比其他方法波动更接近整体水平,测量结果更为稳定和可靠。



**Figure 2.** Comparison of  $Md(\Phi)$  of all samples using different pretreatment methods  
**图 2.** 不同前处理方法后砂黄土中值粒径( $\Phi$ )的比较

沙漠和黄土在成因上具有相似性,属于风力作用下的同期异相沉积。沙漠-黄土交错带地处东亚夏季风西北边缘,砂黄土粒度特征对指示冬季风强弱变化较为敏感[3]。根据本文不同前处理方法后测得砂黄土平均粒径变化范围为  $26.22\sim 77.75\ \mu\text{m}$  ( $4.03\sim 5.92\Phi$ ),中值粒径为  $21.13\sim 72.06\ \mu\text{m}$  之间。不同前处理方法下末次间冰期黄土平均粒径的平均值为  $5.99\ \mu\text{m}$ ,古土壤平均粒径的平均值为  $6.10\ \mu\text{m}$  [5];洛川剖面 S4 古土壤中值粒径在  $13.36\ \mu\text{m}$  左右[6];延安新区马兰黄土剖面[12]经过不同前处理得到的平均粒径在  $13.33\sim 38.41\ \mu\text{m}$  之间。黄土以粉砂组分含量为主,属于粉尘沉积,物质来源为高空风扬尘堆积。砂黄土中含较多的粗组分,则说明除来源于远源粉尘外,还有近源粉尘沉积,即来自上风向沙漠区部分粗粉砂颗粒。砂黄土粒度频率曲线与黄土高原的黄土粒度频率曲线大体一致,但其主峰与次峰的差别相较黄土更为明显。砂黄土粒度频率曲线的主峰更靠近粗粒组分方向,这些粗粒组分是冬季风盛行的近距离、低空搬运的粉尘物质。而本次实验测试(C方法),与黄土  $1\sim 10\ \mu\text{m}$  的次峰(细粒组分)相比,砂黄土呈现出峰值为  $5\sim 8\ \mu\text{m}$  起伏较小的次峰以及  $0.02\sim 2\ \mu\text{m}$  之间的超细粒组分,砂黄土较黄土分布更靠西北,部分细颗粒组分表现更显著[27]。超细粒组分是大量近距离上风区以及少量沉积于当地的粉尘,经过次生的化学或生物化学作用形成胶体和盐类化合物等的次生物质;而次峰是高空西风气流搬运的原始常态粉尘物质[28]。

#### 4.1. 超声波及分散剂对粒度测量的影响

经过超声波震荡得到的黏粒含量较高,平均粒径较小,其原因可能是:1) 处理后得到的细颗粒其中

一部分是超声波击碎碳酸盐(原生和次生)的产物[13]。2) 砂黄土沉积后的风化成壤作用比细粒黄土较弱, 粗颗粒物较多, 吸附能力不如细粒黄土, 样品在等待测量过程中发生再凝聚的可能性降低[14]。3) 样品进入测量仪器后, 震荡时间越长, 平均粒径逐渐减小[14]。方法 A 和方法 E, 即单独经过超声波分散和仅加入 $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂得到超细粒组分及次峰峰值较高, 平均粒径和中值粒径  $\Phi$  值较大, 黏粒含量平均值(6.38%、6.10%)比单独加 HCl 的方法 C (4.57%)要大, 粒径明显变细, 分散效果较好。这种前处理后测试结果与鹿化煜等[5]对黄土粒度研究中得出的结论相一致, 即单独加 $(\text{NaPO}_3)_6$ 分散剂和经过超声波分散得到的细颗粒含量比单独加  $\text{H}_2\text{O}_2$  和 HCl 较多。方法 E 的黏粒含量比方法 A 少, 平均粒径和中值粒径  $\Phi$  值大, 表示分散剂含量多少对粒度测量有影响, 会在一定程度上阻碍细小黏土的再聚集, 但影响结果比超声波震荡小[15]。

#### 4.2. 碳酸钙对粒度测量的影响

干旱半干旱地区的黄土中碳酸盐含量较高, 因此需要通过前处理方法进行去除。张永双等[22]发现陕北、晋西的砂黄土即使经过方法 A 和 E 处理后, 黏土矿物与超细碳酸钙仍呈不可分离的强结合团聚状态。方法 C 和 F 都加入了 HCl 是去除沉积物中的碳酸盐, 结果是方法 C 和方法 F 的黏粒含量最小, 分别为 4.57% 和 4.82%, 粉砂含量比其他方法要高, 为 70.60% 和 70.09%。方法 C 中 0.02~2  $\mu\text{m}$  的超细粒组分峰值最小, 方法 F 的主峰峰值最大, 粗颗粒含量较多。平均粒径  $\Phi$  值都较小, 分别为 5.21 $\Phi$  和 5.08 $\Phi$ 。其原因可能是强酸会破坏矿物组成, 洗酸不够彻底时, PH 较低加重了粘土絮凝颗粒的产生, 导致颗粒土壤凝聚[16] [17]。黏粒含量减少的另外一种可能原因是, 前处理时多次洗酸过程将样品中的部分细颗粒洗掉, 造成结果的真实性降低[18]。王君波[9]等对湖泊沉积物影响的研究也表明, 如果在前处理中使用 HCl, 反应后的洗酸过程很重要, 要进行多次洗酸, 使样品呈中性再测量, 可减少较强酸性造成的颗粒絮凝。

#### 4.3. 有机质对粒度测量的影响

一般而言, 考虑到有机质对沉积物粒度测量的影响, 前处理中要加入  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 但由于区域气候、地形、土壤质地、植被和生物条件不同导致沉积物中有机质含量不同。从质地上看, 与典型黄土和粘黄土相比, 砂黄土中有机质含量极少, 其平均值为 0.23% [29]。晋西北人工林地和荒地的有机质含量分别为 7.21  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、9.23  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  [30]。加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  的方法 B、D、F 与其他方法相比, 偏度及峰度较大, 主峰含量较多, 表明颗粒较粗的砂黄土在除去有机质后粒度分布的峰态明显变宽, 粗颗粒组分含量明显增加。孙有斌等[7]对北黄海沉积物粒度研究中也发现, 对于较粗的沉积物除去有机质和碳酸盐后, 其粒度频率曲线的峰态变宽, 平均粒径和 >32  $\mu\text{m}$  的粗颗粒含量增加。说明尽管砂黄土有机质含量较低, 但有机质对沉积物粒径还是会产生影响。鹿化煜等[5]研究发现, 经过多种步骤的前处理方法没有得到最好的分散效果。方法 F 的主峰含量最高, 平均粒径和中值粒径  $\Phi$  值最小也证明了这一点。方法 B 平均粒径的  $\Phi$  值最大, 为 5.29 $\Phi$ 。方法 D 与方法 B 相比, 黏粒含量(6.17% < 6.75%)较小, 粉砂粒含量较大, 为 69.19% > 67.81%, 砂粒含量较小, 主峰峰值较高。表明粗粒组分百分含量增加, 细粒组分百分含量减少。有机质会与粘土矿物形成有机质复合体, 从而参与和强化粘土物质的胶结作用, 所以还是需要加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  去除砂黄土中的有机质, 但可以适当减少电热板加热时间, 以加快实验进程[19]。

#### 4.4. 与传统方法(F)的比较

差异系数  $Y_i$  可以定量分析前处理方法对粒度测量结果的影响[20], 因此引入差异系数来反映同一样品测量结果的不同前处理方法与传统方法的差异性。

$$Y_i = (X_i - X_s) / X_s \times 100\%$$



其中： $X_s$ --前处理 F 法(传统方法)的粒度测量结果， $X_i$ --任一种前处理方法的粒度指标。 $Y_i$ 值越大，说明与传统方法差异越大，反之亦然。图 3 显示，平均粒径的差异系数中，方法 A 和方法 B 的值最大，均为 4.00%，方法 D 的值最小，为 1.56%。不同前处理方法中值粒径的差异系数表明，方法 C 中值粒径的差异系数最大，为 2.47%，方法 D 的值最小，为 0.96%。因此，差异系数表明，前处理方法 A、B、C，即超声波震荡、单独去除有机质以及碳酸盐对砂黄土粒度测量的影响比分散剂和综合运用多种方法要大。方法 D 的差异系数较小，表明方法 D 和方法 F 得到的结果较为相似。方法 B 得到的平均粒径和中值粒径都比方法 D 要小，黏粒含量较多。

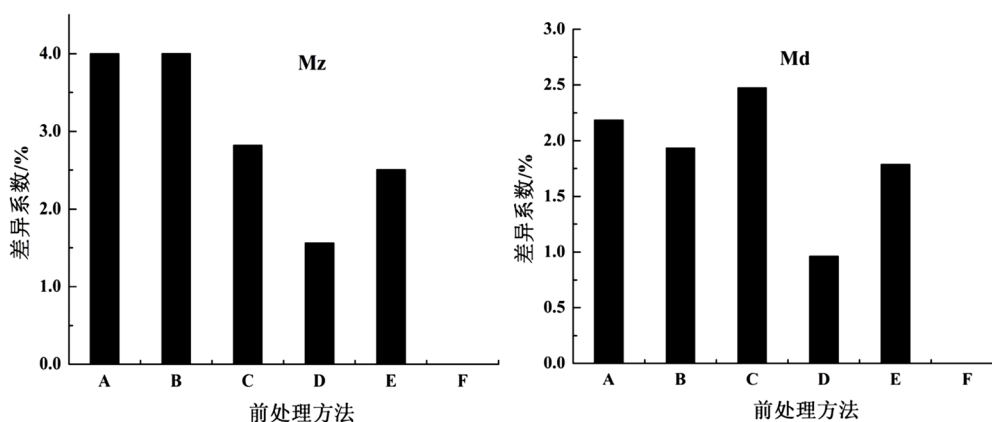


Figure 3. Difference coefficient under different pretreatment methods

图 3. 不同前处理方法的差异系数

方法 B 得到的黏粒含量较多，平均粒径和中值粒径较小，但与传统方法的差异系数较大，因此需要利用  $<2 \mu\text{m}$  细颗粒含量增加、频率曲线呈单峰且中值粒径最小以及差异系数等多种指标来综合分析分散效果，才能得出最适合砂黄土粒度测量的前处理方法。但对于超声波震荡、加入分散剂或去除有机质、碳酸盐对沉积物粒度测量影响不大，以及在分散效果类似的情况下，应优先选择前处理步骤较少的方法[8]。

## 5. 结论

通过采用不同的前处理方法对陕北砂黄土粒度测量进行分析，初步获得三点认识。

1) 不同前处理方法对砂黄土粒度的分散效果不同。方法 C 和方法 F(去除碳酸钙)的测试结果为黏粒含量最小，分别为 4.57% 和 4.82%，可能是洗酸过程造成黏粒含量降低。经方法 A 和方法 E(使用分散剂和超声波进行分散的方法)处理后得到的细颗粒含量较多，也未能达到最好的分散效果，其原因可能为单独采用这两种方法得到的细颗粒不能代表砂黄土粒度的真实情况。方法 B 和方法 D(去除有机质)对砂黄土粒度测量产生的结果较为符合粒度整体特征。

2) 经过对比不同前处理方法发现有机质对粒度测量结果有较大影响，因此即使有机质含量少，也需要去除有机质对黄土的胶结作用。方法 B 得到的平均粒径和中值粒径的  $\Phi$  值最大，分别为  $5.29\Phi$ 、 $4.79\Phi$ ，黏粒含量最多(6.75%)，说明经过方法 B 处理后，细颗粒组含量相对增多，粗粒组含量相对减少分散效果较好。故本文推荐方法 B 作为砂黄土粒度分析的前处理方法最优，即加入 10 ml 浓度为 10% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ，加热充分反应，静置后上机测量。

3) 前处理方法 B(加入  $\text{H}_2\text{O}_2$ )适用于陕北的砂黄土粒度测试，且测量结果接近真实情况，同时测量过程中可减少电热板加热时间，对于其他沉积环境沉积物需根据具体的实际情况选取合适的前处理方法进行粒度分析才更科学合理。

## 基金项目

国家重点研发计划项目“京津冀风沙源区沙化土地治理关键技术研究示范”第5课题(2016YFC050085)。

## 参考文献

- [1] 董光荣, 李保生, 高尚玉, 等. 鄂尔多斯高原的第四纪古风成沙[J]. 地理学报, 1983, 38(4): 341-347, 450-451.
- [2] 董光荣, 靳鹤龄, 陈惠忠. 末次间冰期以来沙漠-黄土边界带移动与气候变化[J]. 第四纪研究, 1997(2): 63-65, 67-72.
- [3] 丁仲礼, 孙继敏, 刘东生. 联系沙漠-黄土演变过程中耦合关系的沉积学指标[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 1999, 29(1): 82-87.
- [4] 任明达. 现代沉积环境概论[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [5] 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): 2535-2538.
- [6] 雷国良, 张虎才, 张文翔, 等. Mastersize2000 型激光粒度仪分析数据可靠性检验及意义——以洛川剖面 S4 层古土壤为例[J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 531-539.
- [7] 孙有斌, 高抒, 鹿化煜. 前处理方法对北黄海沉积物粒度的影响[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(6): 665-671.
- [8] 李金凤, 鲁瑞洁, 贾飞飞. 前处理方法对青海湖地区全新世风成沉积物粒度测量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(1): 141-146.
- [9] 董应巍. 冰川沉积物粒度实验的对比与分析[D]: [硕士学位论文]. 大连: 辽宁师范大学, 2014.
- [10] 杨玉颖, 解庆红, 赵红, 等. LS230 激光粒度仪及其应用[J]. 现代科学仪器, 2002(3): 41-43.
- [11] 王力, 李喜安, 洪勃, 等. 前处理方法对马兰黄土粒度测量影响的实验研究[J]. 地球与环境, 2018, 46(2): 210-217.
- [12] 鹿化煜, 苗晓东, 孙有斌. 前处理步骤与方法对风成红粘土粒度测量的影响[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(3): 129-135.
- [13] 张红艳, 鹿化煜, 赵军, 等. 超声波振荡对细颗粒黄土样品粒度测量影响的实验分析[J]. 沉积学报, 2008, 26(3): 494-500.
- [14] 庞奖励, 乔晶, 黄春长, 等. 前处理过程对汉江上游谷地“古土壤”粒度测试结果的影响研究[J]. 地理科学, 2013, 33(6): 748-754.
- [15] 刘海丽, 韩志勇, 李徐生, 等. 不同前处理方法对南方红土粒度测量的影响——以安徽宣城第四纪红土剖面为例[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(2): 161-167.
- [16] 胡宗杰, 颜佳新, 韩鸿印. 湖泊沉积物粒度分析前处理过程中絮凝现象的消除方法研究[J]. 湖泊科学, 2013, 25(2): 243-249.
- [17] 任少芳, 郑祥民, 艾东升, 等. 不同前处理方法对下蜀黄土粒度测量的影响[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(3): 185-194.
- [18] 王君波, 朱立平. 不同前处理对湖泊沉积物粒度测量结果的影响[J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 17-23.
- [19] 赵启, 安萍, 于禄鹏, 等. 有机质去除程度对度测量结果的影响及其意义[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2016, 29(4): 39-45.
- [20] 徐树建, 杜忠花. 激光粒度仪测量风成堆积物粒度的实验研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 209-212.
- [21] 刘东生. 黄河中游黄土[M]. 北京: 科学出版社, 1964: 200-201.
- [22] 张永双, 曲永新. 陕北晋西砂黄土的胶结物与胶结作用研究[J]. 工程地质学报, 2005, 13(1): 18-28.
- [23] Udden, J.A. (1898) The Mechanical Composition of Wind Deposits. Agustana Library Publications, Rock Island, 3(1): 1-69.
- [24] Wentworth, C.K. (1922) A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal of Geology*, **30**, 377-392. <https://doi.org/10.1086/622910>
- [25] 鹿化煜, 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.
- [26] Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, **27**, 3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>

- 
- [27] 孙东怀. 黄土粒度分布中的超细粒组分及其成因[J]. 第四纪研究, 2006, 26(6): 928-936.
- [28] 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[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 327-335.
- [29] 刁桂仪, 文启忠. 黄土中的有机质[J]. 地理科学, 1988, 8(3): 226-231.
- [30] 苏志珠, 刘蓉, 梁爱民, 等. 晋西北沙化土地土壤机械组成与有机质的初步研究[J]. 水土保持研究, 2018, 25(6): 61-67.