

# 用沉降法和激光法测定土壤粒度的对比研究<sup>①</sup>

李学林, 李福春\*, 陈国岩, 谢昌仁, 王金平, 李文静

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

**摘要:** 分别用激光粒度仪和沉降法测定了古水稻土剖面 100 个样品和下蜀黄土剖面 105 个样品的粒度分布。对两种测定方法所获结果进行了系统的对比分析。研究结果认为: ①沿垂直剖面采集的系列样品不适合于讨论两种方法之间的相关性, 质地多样化的表层土壤样品组合较适合讨论该问题; ②对于黏粒和砂粒来说, 两种方法之间的相关性很好, 它们的相关系数分别为 0.98 和 0.93, 但激光法所测结果低于沉降法。对于粉粒来说, 激光法所测结果明显高于沉降法, 但两种方法之间的相关性较差; ③沉降法和激光法都不可能测得“真实的”粒度, 它们的结果反映了同一样品在不同方面表现出的粒度特点。

**关键词:** 激光粒度仪; 沉降法; 粒度; 对比研究

**中图分类号:** S152.3

沉积物的粒度受搬运动力和沉积环境等因素控制。因此, 粒度分布特征被作为反映古气候变化的重要指标而广泛地应用于黄土等沉积物的研究中<sup>[1]</sup>。土壤的粒度分布可以反映其母质来源及发育程度, 是区分土壤质地的基础, 也是划分土壤类型的重要依据。

土壤粒度的测定方法有多种, 可以归纳为传统的和现代的两个系列。前者以沉降法最具有代表性, 后者以激光粒度仪法(以下简称激光法)最为常用。近 10 年来, 一些研究者以土壤<sup>[2-5]</sup>、陆相沉积物<sup>[6]</sup>、海相沉积物<sup>[7]</sup>以及石英粉<sup>[2]</sup>等为研究样本对沉降法和激光法进行过对比研究。研究发现, 两种方法所得结果之间的相关性一般来说比较好<sup>[5]</sup>。尽管在两者之间的差异性问题上有不一致的观点, 但共同的想法是激光法测定的黏粒含量低于沉降法<sup>[3]</sup>。

近几年来, 本文作者所在课题组用激光法对若干个土壤剖面和下蜀黄土剖面进行了系统的粒度测定, 同时又用传统方法对它们进行了粒级分组和定量<sup>[8-10]</sup>。我们选择其中两个样品数量较多的剖面——江苏昆山绰墩 P-02 古水稻土剖面(100 个样品)和南京老虎山下蜀黄土剖面(105 个样品)进行了系统的对比研究, 试图讨论沉降法和激光法所得结果共同性、差异性及其相关性。本文简要报道该研究结果, 旨在为今后进一步研究两种方法之间的相互关系积累一些研究资料。

## 1 研究材料和方法

绰墩 P-02 剖面位于江苏省昆山市绰墩农业遗址

内。剖面深 2 m, 以 2 cm 间距共采集 100 个样品<sup>[11]</sup>。老虎山剖面位于南京市上元门附近, 剖面深 10.5 m, 以 10 cm 间距共采集 105 个样品<sup>[9]</sup>。

采用常规方法对样品进行前处理并根据 Stokes 定律进行粒度分组。绰墩剖面的样品分成  $>200 \mu\text{m}$  (但实际上所有样品中  $>200 \mu\text{m}$  粒级的含量为 0)、 $20 \sim 200 \mu\text{m}$ 、 $2 \sim 20 \mu\text{m}$  和  $<2 \mu\text{m}$  粒级。老虎山剖面的样品分成  $>45 \mu\text{m}$ 、 $2 \sim 45 \mu\text{m}$  和  $<2 \mu\text{m}$  粒级<sup>[8]</sup>。在用 Mastersizer 2000 型激光粒度仪测定粒度之前, 采用常规的方法对样品进行前处理。测定范围为  $0.05 \sim 1000 \mu\text{m}$ , 测定误差  $<2\%$ 。

## 2 实验结果

### 2.1 绰墩 P-02 剖面

为便于对比, 将用激光法测得的 100 组数据按  $<2 \mu\text{m}$ 、 $2 \sim 20 \mu\text{m}$  和  $20 \sim 200 \mu\text{m}$  3 个粒级进行统计和计算。对分界线上的数据进行加权计算。最后, 将用两种方法所测结果绘制成图 1。从图 1 中可以看出: 3 个粒级的含量在剖面上的变化趋势总体上一致。不同之处在于: ①激光法所测结果的变化幅度较小, 而沉降法所测结果变化幅度较大; ②沉降法测定的  $<2 \mu\text{m}$  粒级数据中, 有 60% 高于激光法。对于  $2 \sim 20 \mu\text{m}$  粒级来说, 沉降法所测结果全部低于激光法, 而  $20 \sim 200 \mu\text{m}$  粒级正好相反, 沉降法所测结果全部高于激光法。

### 2.2 老虎山剖面

为了保证对比在相同的水平上进行, 统一 P-02 剖

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40571088 和 40971138) 和教育部留学回国人员基金项目 (G200406) 资助。

\* 通讯作者 (fchli@njau.edu.cn)

作者简介: 李学林 (1980—), 女, 宁夏中卫人, 硕士研究生, 主要从事土壤地球化学研究工作。E-mail: lixuel@njau.edu.cn

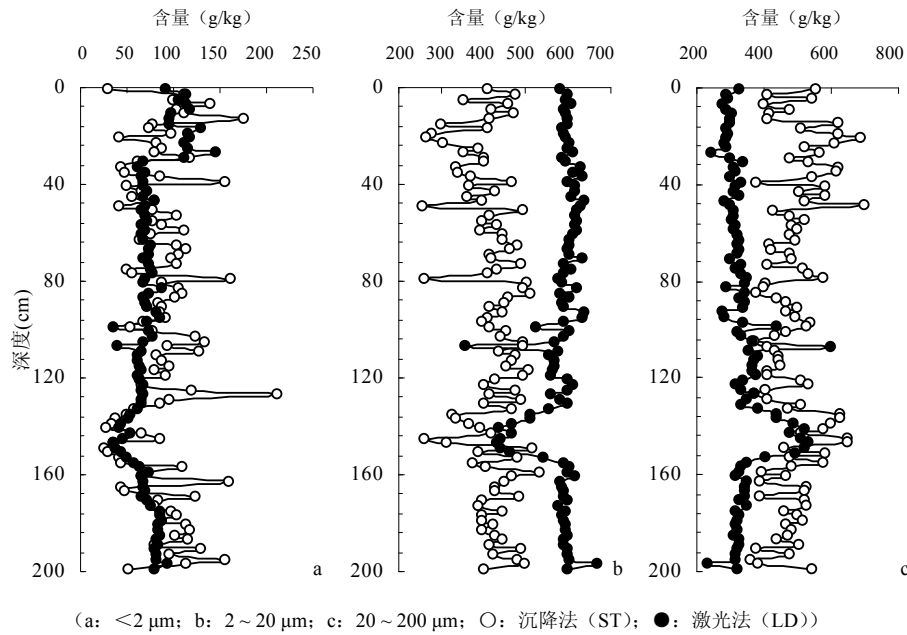


图 1 绰墩剖面土壤各粒级含量

Fig. 1 Contents of each grain-sizes in Chuodun site

面和老虎山剖面的粒级分组方案是完全必要的。我们假定，尽管用两种方法测定的同一个样品的某一粒度值可能不完全相同，但在某两个较宽的粒度范围内的比值应该相差不大。这样，就可以根据激光法结果对沉降法结果进行重新分组。按此思路，我们将老虎山剖面的沉降法结果从原来的<2 μm、2~45 μm和>45 μm 3个粒级重新分组成<2 μm、2~20 μm和>20 μm 3个粒级。为便于表述，我们以下将绰墩P-02剖面的20~200 μm粒级也表示为>20 μm粒级。具体方法和步骤

是：①对激光法所测结果进行计算，求出各个样品的2~20 μm和20~45 μm占2~45 μm粒级含量的百分比，分别记为 $n_1$ 和 $n_2$ ；②如果将沉降法测得的2~45 μm粒级含量记为A，将>45 μm粒级含量记为B，则2~20 μm含量为 $A \times n_1$ ，>20 μm含量为 $A \times n_2 + B$ 。

根据计算得到的<2 μm、2~20 μm和>20 μm 3个粒级含量数据绘制成图 2。从图 2 可以看出：除个别样品以外，沉降法所测的<2 μm粒级含量均高于激光法。其他结果与 P-02 剖面基本相同。

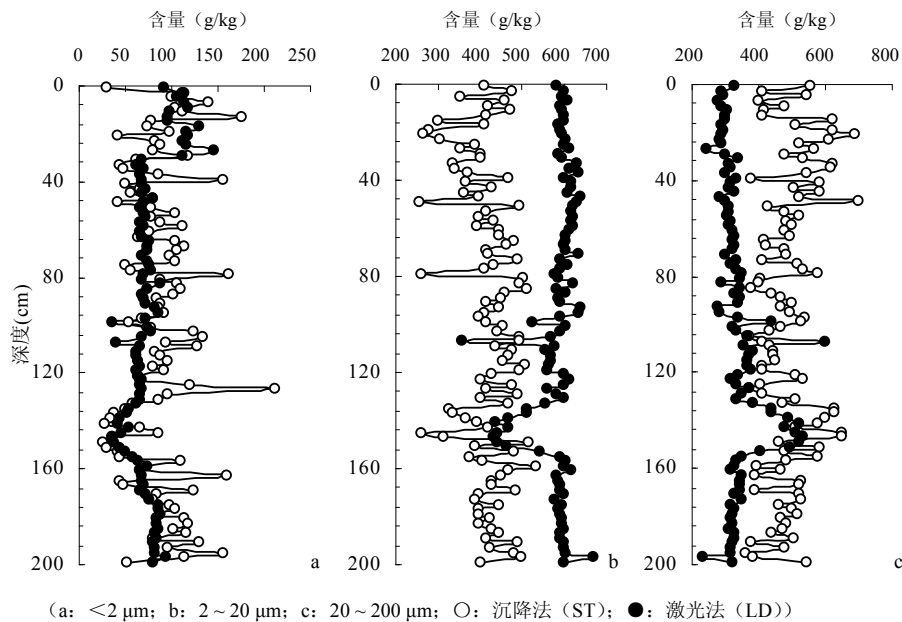


图 2 南京老虎山剖面土壤各粒级含量

Fig. 2 Contents of each grain-sizes in Laohushan site

### 3 讨论和结论

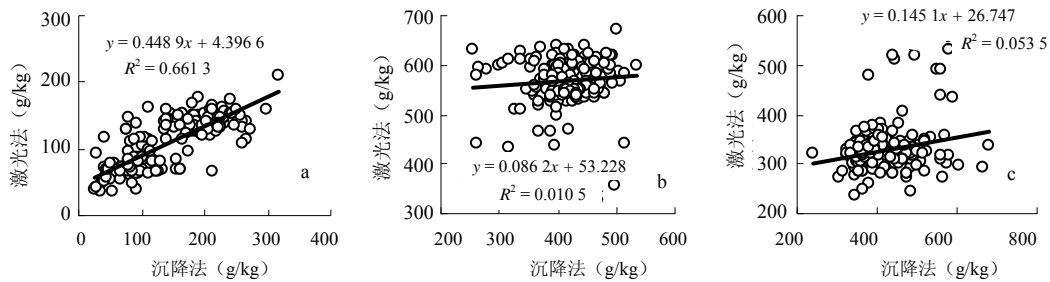
#### 3.1 两种方法所获结果的差异性分析

为了语言简炼起见, 以下我们将沉降法结果与激光法结果的差值用 $K_1$ 表示, 沉降法结果与激光法结果的商值用 $K_2$ 表示。 $K_1$ 和 $K_2$ 的计算结果表明, 两个剖面 $<2\ \mu\text{m}$ 粒级的 $K_1$ 平均值 $>0$ ,  $K_2>1$ 。这可能是沉降法高估了黏粒含量而激光法低估了黏粒含量造成的结果;  $2\sim 20\ \mu\text{m}$ 粒级的 $K_1$ 平均值 $<0$ ,  $K_2<1$ ;  $>20\ \mu\text{m}$ 粒级的 $K_1$ 平均值 $>0$ ,  $K_2<1$ 。可见, 两种方法之间的差异是比较明显的。此外, 它们的共性也很明显: 对于 $<2\ \mu\text{m}$ 和 $>20\ \mu\text{m}$ 粒级来说, 总体上沉降法结果大于激光法, 而 $2\sim 20\ \mu\text{m}$ 粒级正好相反。

#### 3.2 两种方法测定结果的相关性

对两种方法的各粒级含量进行相关性分析发现, 它们之间的相关性均很差,  $R^2$ 最大值仅为 0.088。我们推测, 同一个剖面的粒度数据可能不适合于讨论相关性问题, 因为土壤的粒度继承了母质的粒度特点。尽管成壤作用会使细粒组分增加, 但同一个剖面的粒度分布并不会有很大变化, 尤其是激光法结果的变化非

常小(图 1 和图 2)。这样, 粒度的数据点在图中聚集在一起, 因而显示相关性很差。据此判断, 单一剖面的相关性分析结果可能未反映出真实情况。为此, 我们将两个剖面的 205 个样品合在一起再作图(图 3), 结果是:  $2\sim 20\ \mu\text{m}$ 和 $>20\ \mu\text{m}$ 粒级的相关性仍然很差(分别是 $R^2=0.011$ 和 $0.054$ ), 而 $<2\ \mu\text{m}$ 粒级的相关性较好,  $R^2=0.661$  ( $r=0.81$ )。但这样的结果仍与前人的研究结果相差甚远。仔细阅读文献发现, 前人所研究的样品具有以下特点: ①采样点比较分散, 例如Pieri等<sup>[5]</sup>研究的 8 个样品中有 6 个采自美国, 2 个采自意大利; 刘雪梅等<sup>[4]</sup>研究的 8 个样品(原文为 9 个, 其中 1 个未用沉降法测定)来自全国 6 个省(市、区); ②土壤质地多样化, 有黏壤、粉壤、砂壤以及有机土等<sup>[3,5]</sup>; ③没有沿土壤的垂直剖面采样。庞奖励等<sup>[6]</sup>用激光法和沉降法测定了采自两个全新世黄土/古土壤剖面的 390 个样品, 但未进行相关性讨论, 其数据的相关性不得而知。于是, 我们进一步推测: 土壤质地多样化可能有利于分析两种方法的相关性。因为只有这样数据点才能比较分散。



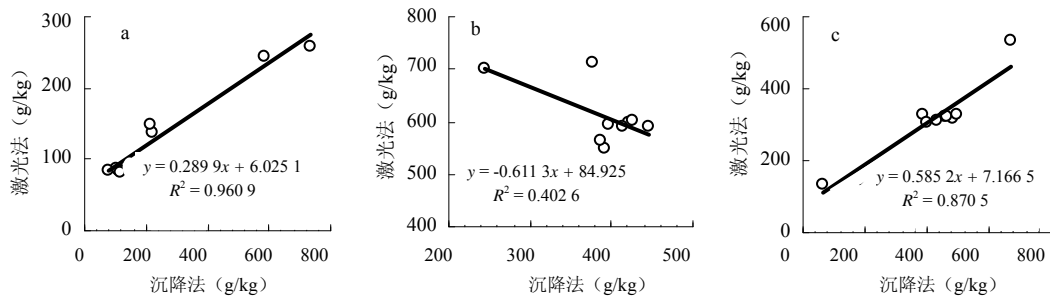
(a:  $<2\ \mu\text{m}$ ; b:  $2\sim 20\ \mu\text{m}$ ; c:  $>20\ \mu\text{m}$ )

图 3 激光法和沉降法所获结果之间的相关性分析图 ( $n=205$ )

Fig. 3 Correlations of each grain fractions of soil between LD and ST

在  $0\sim 20\ \text{cm}$  深度范围内采集的样品通常被作为表层土壤样品。因此, 我们也选择  $0\sim 20\ \text{cm}$  土壤的数据进行分析: 老虎山剖面 2 个样品、绰墩剖面 5 个样品(相邻的两个样品合并, 即相当于采样间距为  $4\ \text{cm}$ )和南京大湖头水稻土剖面 2 个数据(激

光法结果未发表, 沉降法结果见文献[10]), 共计 9 个样品。相关性分析结果(图 4)表明, 对于黏粒和砂粒, 两方法的相关性很好(相关系数分别为 0.98 和 0.93)。对于粉粒, 两种方法之间呈负相关(图 4b)。



(a:  $<2\ \mu\text{m}$ ; b:  $2\sim 20\ \mu\text{m}$ ; c:  $>20\ \mu\text{m}$ )

图 4 激光法和沉降法测定的表层土壤粒度含量之间的相关图 ( $n=9$ )

Fig. 4 Correlations of each grain fraction of topsoil between LD and ST

### 3.3 差异性的原因分析

两种方法测定的粒度结果有一定差异，它是沉降法的误差与激光法的误差的叠加或抵消之总和。沉降法的误差可能与下列因素有关：①沉降法假设土粒的密度为  $2.65 \text{ g/cm}^3$ （与石英的密度相当）。事实上，不同土粒的密度不同。如果用平均密度将重量比换算成体积比，自然会高估黏粒含量；②土粒的形状实际上并不象假设的实心圆球。在土粒体积相同的情况下，球形颗粒的沉降速度最快。对于非球形颗粒来说，低估了沉降所需要的时间，即高估了黏粒的含量；③在分离  $2 \sim 20 \mu\text{m}$  和  $20 \sim 200 \mu\text{m}$  的颗粒时，往往是先将  $2 \sim 20 \mu\text{m}$  的颗粒从悬浊液中提取出来，剩余的颗粒即被认为是属于  $20 \sim 200 \mu\text{m}$  粒级。但  $2 \sim 20 \mu\text{m}$  粒级的沉降时间仅为  $3 \sim 5 \text{ min}$ ，在操作上容易产生误差；④从理论上讲，颗粒沉降过程应在恒温条件下进行。水温通过影响粘滞系数进而对沉降时间产生影响。但在实际操作中，由于量筒较高，一般实验室不具备使其保持恒温的条件。所以，通常以开始沉降时的温度计算沉降所需要的时间。对于黏粒来说，通常要沉降  $6 \sim 7 \text{ h}$ ，期间水温会发生一定的变化。即使根据沉降时间段内的平均水温来计算，仍然不可避免产生误差。

激光法的误差可能与下列因素有关：①激光粒度仪量程的中段精度最高，靠近量程边缘的精度则较低；②激光粒度仪的量程一般在  $0.05 \sim 900 \mu\text{m}$ ，这意味着若样品中  $<0.05 \mu\text{m}$  和  $>900 \mu\text{m}$  的粒级含量较高时，误差会较大；③激光法是在假定所测颗粒为球体、沿颗粒横断面的绕射为球形绕射的前提下进行测量的。而实际土壤颗粒不全是球形的；④激光法是在假定折射率一定的情况下测定的，而实际上折射率易受到颜色等因素的影响<sup>[5]</sup>。

### 3.4 初步结论

通过对绰墩 P-02 和老虎山剖面共 205 个样品的沉降法和激光法粒度测定结果的对比分析，可以得出如下初步结论：①沿垂直剖面系统采集的土壤样品不适合于讨论两种方法之间的相关性，应该选用质地多样化的样品组合讨论该问题；②对于黏粒和砂粒来说，两种方法之间的相关性很好，它们的相关系数分别为 0.98 和 0.93，但激光法结果低于沉降法结果。对于粉粒来说，激光法结果明显高于沉降法结果，但两种方

法之间的相关性较差；③从粒度在土壤/黄土垂直剖面上的分布来看，激光法结果的变化幅度较小，而沉降法结果的变化幅度较大；④沉降法和激光法都不能测得“真实的”粒度结果，它们从不同角度反映了同一样品的粒度特点。

### 参考文献：

- [1] 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. 第四纪研究, 2007, 27(2): 251-262
- [2] Beuselink L, Govers G, Poehen J, Degraer G, Froyen L. Grain-size analysis by laser diffractometry: Comparison with the sieve-pipette method. *Catena*, 1998, 32: 193-208
- [3] Eshel G, Levy GJ, Mingelgrin U, Singer MJ. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2004, 68: 736-743
- [4] 刘雪梅, 黄元仿. 应用激光粒度仪分析土壤机械组成的实验研究. *土壤通报*, 2005, 36(4): 579-582
- [5] Pieri L, Bittelli M, Pisa PR. Laser diffraction, transmission electron microscopy and image analysis to evaluate a bimodal Gaussian model for particle size distribution in soils. *Geoderma*, 2006, 135: 118-132
- [6] 庞奖励, 黄春长, 贾耀峰. 不同方法测定黄土和古土壤样品粒度的比较. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2003, 31(4): 87-92
- [7] Ramaswamy V, Rao PS. Grain size analysis of sediments from the Northern Andaman Sea: Comparison of laser diffraction and sieve-pipette techniques. *Journal of Coastal Research*, 2006, 22(4): 1 000-1 009
- [8] 李福春, 谢昌仁, 冯家毅, 杨用钊. 提取古环境变化信息的一种有效方法: 粒度分组. *地球化学*, 2004, 33(5): 477-481
- [9] Li FC, Jin ZG, Xie CR, Feng JY, Wang LB. Roles of sorting and chemical weathering in geochemistry and magnetic susceptibility of the Xiashu loess, East China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007, 29: 813-822
- [10] 陈国岩, 李福春, 杜伟, 李学林, 何为红. 南京长城岗水稻土剖面中固定态铵与黏土矿物的相关性研究. *土壤*, 2009, 41(6): 857-862
- [11] 李夏, 刘本定, 代静玉. 绰墩遗址古、今水稻土的正构烷烃和正脂肪酸特征分析. *土壤通报*, 2009, 40(5): 977-980

## Comparative Study on Grain-size Measured by Laser Diffraction and Sedimentation Techniques

LI Xue-lin, LI Fu-chun, CHEN Guo-yan, XIE Chang-ren, WANG Jin-ping, LI Wen-jing

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Grain-size distributions of ancient paddy soil ( $n = 100$ ) and Xiashu loess ( $n = 105$ ) were measured by laser diffraction and sedimentation techniques, the measured results of the two methods were not comparable for soil samples from the vertical-profile series, but comparable for topsoil samples with different textures. Significant correlations between clay fractions and sand fractions existed in the two methods ( $r = 0.98$  and  $0.93$ , respectively). Both clay and sand fractions obtained by laser diffraction were lower than those by sedimentation techniques, while silt fractions obtained by laser diffraction were clearly higher than those by sedimentation techniques and no significant correlation between the two methods was found. Neither of the two methods can get the “real” grain-size distribution, the results represent different grain-size characteristics of the same sample.

**Key words:** Laser-particle-sizer Analyzer, Sedimentation techniques, Grain-size, Comparative study