

# 激光粒度仪与沉降—吸管法测定褐土颗粒组成的比较

刘 涛, 高晓飞

(北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

**摘 要:**土壤颗粒组成是土壤的基本物理属性之一,沉降—吸管法是传统土壤颗粒分析的主要方法,激光粒度仪法是近年来新兴的粒度分析方法。为了研究二者的差异,选取了 23 个黏粒含量差异较大的褐土样品,采用上述两种方法对土样进行了分析。结果表明:激光粒度仪检测 $<0.002\text{ mm}$  颗粒含量低于吸管法,但二者有较好的相关性,决定系数为 0.97;在检测 $<0.02\text{ mm}$  颗粒含量时两者比较接近,并且相关性很好,决定系数为 0.99;检测 $<0.05\text{ mm}$  颗粒含量时两者也比较接近,决定系数为 0.91。激光粒度仪检测结果通过转换模型修正后,可以较好地反映褐土土壤颗粒组成情况。

**关键词:**土壤颗粒分析; 吸管法; 激光粒度仪法; 转换模型

中图分类号:S152.3<sup>+</sup>2; 151.9<sup>+</sup>2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0016-03

## Comparison of Determination on Grain Size of Cinnamon Soil by Laser Diffraction Particle Size Analyzer and Pipette Method

LIU Tao, GAO Xiao-fei

(School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** The particle-size composition is a basic soil physical property. Pipette method is a main traditional approach to analyze the soil particle-size composition while laser diffraction particle size analyzer is a new particle-size analysis instrument in recent years. The paper took 23 cinnamon soil samples with various clay particle contents to study the discrepancy between the two methods mentioned above. It shows that the results from laser diffraction particle size analyzer method are lower than pipette method when measuring the particle-size  $<0.002\text{ mm}$  while they have a good correlation with a determination coefficient of 0.97; when it comes to  $<0.02\text{ mm}$  particle-size, the results come close and have a strong correlation with a determination coefficient of 0.99; when measuring particle content  $<0.05\text{ mm}$ , they come very close with a determination coefficient of 0.91. The results from laser diffraction particle size analyzer can reflect the soil particle-size composition well if they get revised by a transformational model.

**Key words:** soil particle-size analysis; pipette method; laser diffraction particle size analyzer; transformational model

土壤粒径分布是土壤重要的物理性质之一,它与诸多土壤理化性质有着密切的关系。筛分—沉降—吸管法是传统的经典测定方法<sup>[1-2]</sup>,利用光学衍射进行粒度测量的激光粒度仪法是近年来新兴的一种测量方法<sup>[2]</sup>。但目前的研究结果普遍认为,激光粒度仪法低估了土壤黏粒含量,而相应地高估了土壤粉粒含量<sup>[3-7]</sup>。但就两种方法测定结果的相关性及转换关系,意见存在较大的分歧。

Eshel 等使用沉降法和激光粒度仪法测定了 42

个土样的颗粒组成,认为虽然二者测定的黏粒含量有较好的相关性,但粉粒和砂粒部分的一致性差,认为两者之间不存在固定的或可行的转换关系<sup>[3]</sup>。Konert 和 Vandenberghe 测定了 158 个土样,针对激光粒度仪法对黏粒测定值偏低的情况进行了研究,得出了两种方法测定的黏粒含量的线性转换关系式,并且模型的预报精度较高( $R=0.95$ )<sup>[4]</sup>。Beuselinck 等也使用上述两种方法对 86 个土样的颗粒组成进行了分析,发现两种方法测定的黏粒和砂粒,都有很好的线

性转换关系( $R=0.98$ ),并且黏粒部分的转换关系式与 Konert 和 Vandenberghe 的研究结果有较好的一致性<sup>[5]</sup>。杨金玲等分析了中国6个主要土纲(铁铝土、富铁土、均腐土、新成土、淋溶土、人为土)的265个土样,认为两种方法的每个粒级测定结果都有很好的相关性,并提出了中国土壤测定结果的转换关系,认为激光粒度仪测定结果通过转换之后,可用于土壤质地的划分<sup>[6]</sup>。但转换模型与前人的研究差异较大,这可能与激光粒度仪的类型及原理有关。刘雪梅和黄元仿通过分析9个颗粒组成差异较大的不同类型土壤样品(潮土1、栗钙土、红壤、淡灰钙土、风沙土、灌淤土、潮土2、褐土、黑土)认为,虽然激光粒度仪分析得到的黏粒含量显著低于吸管法,但二者在质地分类上的结果基本是一致的<sup>[7]</sup>。

因此,有学者认为造成两种方法测定结果相关性不好的原因,可能与土壤类型、样品用量及前处理、激光粒度仪的计算模型等几个因素有关<sup>[5-6,8]</sup>。因此,针对某一特定类型的土壤和特定的激光粒度仪,进行与吸管法匹配的颗粒组成预报,标定两种检测方法的关系式是必要的。目前黄土在这方面的研究较多<sup>[8-10]</sup>,其他土壤的此类系统研究相对较少。本研究以黏粒含量差异较大的褐土土样为供试样品,使用 Microtrac S3500 激光粒度仪和沉降—吸管法测定的颗粒分布,探讨两种分析方法测定结果的转换关系,以期为该类型土壤颗粒组成的两种方法测定的数据转换提供参考。

## 1 实验材料与方法

研究共选择23个样品,主要是来自北京和河北地区的不同剖面的褐土土样。选样依据主要是根据实验室先前使用吸管法测定的248个样品的颗粒组成,根据其黏粒含量,每间隔大约5%,选择1~2个样品。土壤黏粒含量范围为2.4%~61.6%。对选中的样品,再使用沉降—吸管法和激光粒度仪法进行测量。

### 1.1 吸管法

吸管法参考《土壤物理性质测定法》<sup>[1]</sup>进行分析,其基本步骤如下:称取土壤样品15.00 g左右,放入500 ml锥形瓶中,加入200 ml蒸馏水,再加入15.00 ml分散剂(六偏磷酸钠溶液,0.5 mol/L),用手摇动使其充分混合,静置过夜。在电热板上煮沸,保持沸腾1 h,在整个煮沸过程中,经常摇动锥形瓶,防止土粒结底。将锥形瓶取下,自然冷却至室温。使用0.25 mm筛湿筛分,将样品悬浊液中 $<0.25$  mm颗粒完全

转移到1 000 ml的量筒中,加水定容至1 000 ml。将 $>0.25$  mm的土粒洗入蒸发皿,蒸干、烘干,使用分度值0.01 g的天平称重。

测量实验室的水温,计算0.05,0.02,0.002 mm土粒沉降到10 cm所需要的时间。在相应时间,使用特制的20 ml土壤颗粒组成分析吸管吸取 $<0.05$  mm, $<0.02$  mm和 $<0.002$  mm颗粒的悬浊液,转移到已知重量(精确到0.1 mg)的50 ml小烧杯中,在电热板上蒸干、烘干,在干燥器中冷却,然后使用分度值0.1 mg的天平称重。

根据吸取的悬浊液中土壤颗粒的质量、分散剂的质量及吸管体积,计算各粒级土壤颗粒的质量,根据土样质量及其吸湿水含量折合的烘干土质量(精确到0.01 g),计算各粒级的百分含量。

### 1.2 激光粒度仪法

激光粒度仪法样品的前处理过程同吸管法,只是取样量降低,为5.00 g左右,相应的分散剂(六偏磷酸钠溶液,0.5 mol/L)用量为5.00 ml。煮沸过程、冷却过程同吸管法。冷却后,向锥形瓶中加水定容至250 ml左右。

研究使用的是美国 Microtrac 公司生产的 S3500 型激光粒度仪,颗粒测量范围0.021 5~2 000  $\mu\text{m}$ 。实验时,依次打开仪器和控制电脑,打开仪器自带的操作软件,控制仪器清洗管路,使纯水以100%的泵速流动,设置背景,使仪器处于加样状态。

手拿锥形瓶,充分摇匀土壤悬浊液,用药匙迅速舀取大约0.4 ml悬浊液,加入到仪器的样品池中。点击“RUN”图标,进行检测。从仪器检测结果中,求出 $<0.002$  mm, $<0.02$  mm和 $<0.05$  mm颗粒含量的数据。每个样品检测3次,对检测数据取平均值。

### 1.3 数据处理

使用 Excel 进行数据计算和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种方法测定结果的比较

对比两种方法检测的结果,可以发现激光粒度仪检测的 $<0.002$  mm颗粒含量低于沉降—吸管法;但激光粒度仪检测 $<0.02$  mm和 $<0.05$  mm颗粒含量的数值,与沉降—吸管法接近。

在吸管法测定的 $<0.002$  mm颗粒含量低于10%时,激光粒度仪的检测结果不稳定,有时检测结果为0。随着 $<0.002$  mm粒级颗粒含量的增加,激光粒度仪法测定的数值也随之增加。对二者进行线性拟合,得出如下方程:

$$y_{0.002} = 0.43x_{0.002} - 2.88 \quad R^2 = 0.97 \quad (1)$$

式中:  $y_{0.002}$ ——激光粒度仪测定的  $<0.002$  mm 的颗粒含量;  $x_{0.002}$ ——沉降—吸管法测定的  $<0.002$  mm 的颗粒含量。预报模型的决定系数为 0.97, 达到了极显著的水平。黏粒含量转换方程与 Konert—Vandenbergh 的方程<sup>[4]</sup> 比较接近, 比 Beuselinck 模型<sup>[5]</sup> 的计算结果略高。正如前文所述, 这有激光粒度仪本身性能的因素, 也与预处理等因素有关系。预处理不彻底, 黏粒含量测定值会偏低。

在测试  $<0.02$  mm 和  $<0.05$  mm 的颗粒含量时, 两种方法的测量结果比较接近。分别对两种方法测得的  $<0.02$  mm 和  $<0.05$  mm 的颗粒含量进行线性回归, 得到如下方程:

$$y_{0.02} = 1.17x_{0.02} - 13.50 \quad R^2 = 0.99 \quad (2)$$

$$y_{0.05} = 1.72x_{0.05} - 68.33 \quad R^2 = 0.91 \quad (3)$$

式中:  $y_{0.02}$ ,  $y_{0.05}$ ——激光粒度仪测得的  $<0.02$  mm 和  $<0.05$  mm 的颗粒含量;  $x_{0.02}$ ,  $x_{0.05}$ ——沉降—吸管法测得的  $<0.02$  mm 和  $<0.05$  mm 的颗粒含量。方程的决定系数分别为 0.99 和 0.91, 相关性都达到了极显著的水平。

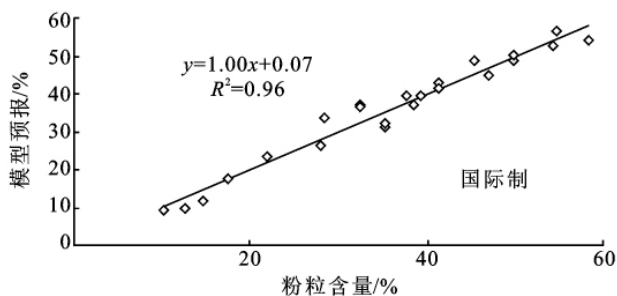


图 2 激光粒度仪法预报的粉粒含量与沉降—吸管法测定值的比较

原因是激光粒度仪法低估了土壤黏粒 ( $<0.002$  mm) 的含量, 而测得的黏粒 + 粉粒的含量与吸管法接近。因此, 直接计算粉粒含量必然高估粉粒含量, 而激光粒度仪法预报  $<0.002$  mm 颗粒含量、预报  $<0.02$  mm 颗粒含量和预报  $<0.05$  mm 颗粒含量模型的斜率和截距是明显不同的。

因此使用激光粒度仪测量结果预报沉降—吸管法测量的土壤颗粒含量时, 将测得的小于某个粒级的颗粒含量先根据模型进行转换, 然后再计算黏粒和粉粒含量, 结果比较理想。

### 3 结论

激光粒度仪具有简便、快速的优点, 尤其适合对少量样品的快速检测, 有一定的应用前景。研究发现激光粒度仪测得的黏粒含量低于沉降—吸管法的测定值, 但二者之间有较好的正相关关系。这与许多以

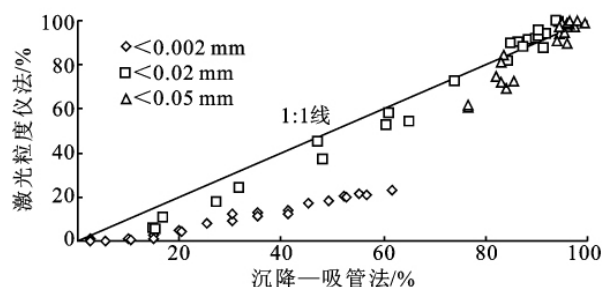
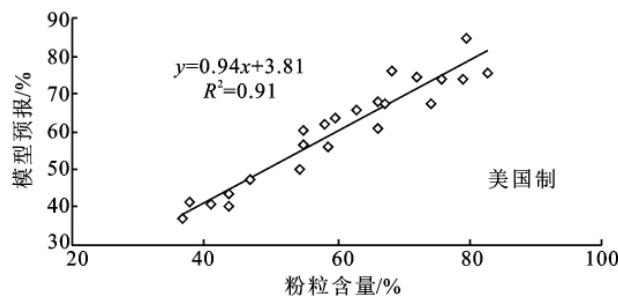


图 1 沉降—吸管法和激光粒度仪法测定结果的比较

### 2.2 使用激光粒度仪法估计土壤颗粒组成

考虑到两种检测方法的结果具有很好的相关性, 因此本文试图进行两者检测结果的转换, 使用激光粒度仪测定结果粗略估计土壤颗粒组成情况。

结果发现, 直接使用激光粒度仪法测定的结果来进行土壤黏粒 ( $<0.002$  mm)、粉粒 (国际制,  $0.002 \sim 0.02$  mm; 美国制,  $0.002 \sim 0.05$  mm) 的划分, 得到的结果不理想。激光粒度仪法直接测得的土壤粉粒含量 ( $0.002 \sim 0.05$  mm) 与吸管法测得的粉粒含量 ( $0.002 \sim 0.05$  mm) 相关性很差。但根据方程 (1)、方程 (2) 和方程 (3) 进行变换后, 根据得到的结果进行黏粒和粉粒的估计, 预报结果会有很大的提高 (图 2)。



往的研究结果比较一致。先将测得的小于某个粒级的颗粒通过模型转换, 再计算土壤黏粒、粉粒和沙粒的含量, 效果比较理想。

本文得出的三个关系方程, 与前人的类似研究有一定的共性, 也有较大的区别。对于使用激光粒度仪测定褐土的颗粒组成有一定的参考价值, 是针对 Microtrac S3500 激光粒度仪, 将激光粒度仪测定土壤颗粒组成与筛分—沉降—吸管法测定结果转换的补充。

### 参考文献:

- [1] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 28-42.
- [2] Dane J H, Topp G C. Methods of Soil Analysis: physical Methods[M]. Madison W I: Soil Science Society of America, 2002.

(下转第 22 页)

的变化情况,结果如表 1 所示。可知,当大坑小流域水文年降雨量增加或减少 10% 时,年径流深会表现出增加或减少 17.8% 的正响应;当水文年降雨量增加或减少 20% (30%) 时,年径流深会表现出增加或减少 35.6% (53.4%) 的正响应。这些都说明影响大坑小流域径流深的主导因子是降雨量。

## 4 结论

(1)大坑小流域 1957—2005 年平均年降雨量为 1 596.3 mm,其年内变化为典型的单峰型曲线。降雨主要集中在 3—7 月,占全年降雨量的 65.5%。降雨量的季节差异亦非常明显,春、夏、秋、冬等季节的降雨量分别占年降雨量的 38.3%,34.4%,14.0%,13.3%。同时,降雨量的年际变化较大,总体呈增加趋势。

(2)大坑小流域 1957—2005 年平均年径流深为 814.3 mm,其年内变化为单峰型曲线,径流主要集中在 3—7 月,占全年径流深的 83.0%。径流深也表现为较大的季节差异,春、夏、秋、冬等季节的径流深分别占年径流深的 50.7%,35.3%,5.4%,8.6%。同时,径流深的年际变化较大,总体呈增加趋势。

(3)从年径流深与年降雨量的回归分析可知,大坑小流域的降雨量与径流深之间存在密切的相关性。经计算,当水文年降雨量增加或减少 10% 时,年径流深会表现出增加或减少 17.8% 的正响应;当水文年降雨量增加或减少 20% (30%) 时,年径流深会表现出增加或减少 35.6% (53.4%) 的正响应。

### 参考文献:

- [1] 张运福,王颖,赵春雨. 辽宁省雨日数的气候特征[J]. 自然灾害学报,2008,17(5):75-81.
- [2] 唐湘玲,魏文寿. 玛纳斯河流域气候变化对径流变化的影响[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2005,23(6):730-734.
- [3] Kamran H S, Goodrich D C, Myers D E, et al. Spatial characteristics of thunderstorm rainfall fields and their relation to runoff[J]. Journal of Hydrology, 2003, 271(1):1-21.
- [4] Marin C T, Boutena W, Sevinka J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia[J]. Journal of Hydrology, 2000, 237(1):40-57.
- [5] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近 50 年来中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,2005,63(6):942-956.
- [6] 王顺德,王彦国,王进,等. 塔里木河流域近 40 a 来气候、水文变化及其影响[J]. 冰川冻土,2003,25(3):315-320.
- [7] 徐素宁,杨景春,李有利. 近 50 a 来玛纳斯河流量变化及对气候变化的响应[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(6):65-68.
- [8] 康玲玲,余辉,王金花,等. 气候变化对黄河唐乃亥以上地区径流量的影响[J]. 水力发电,2005,31(7):22-24.
- [9] 叶柏生,李翀,杨大庆,等. 我国过去 50 a 来降水变化趋势及其对水资源的影响. I: 年系列[J]. 冰川冻土,2004,26(5):587-594.
- [10] 叶柏生,李翀,杨大庆,等. 我国过去 50 a 来降水变化趋势及其对水资源的影响. II: 月系列[J]. 冰川冻土,2005,27(1):100-105.
- [11] 王怀清,赵冠男,彭静. 近 50 年鄱阳湖五大流域降水变化特征研究[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(7):616-619.
- [12] 林承坤,吴小根. 长江径流量特性及其重要意义的研究[J]. 自然杂志,1999,21(4):200-205.

(上接第 18 页)

- [3] Eshel G, Levy G J, Mingelgrin U, et al. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis[J]. Soil Science Society of American Journal, 2004,68:736-743.
- [4] Konert M, Vandenberghe J. Comparison of laser grain-size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction [J]. Sedimentology, 1997,44:523-535.
- [5] Beuselinck L, Govers G, Poesen J, et al. Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method[J]. Catena, 1998,32:193-208.
- [6] 杨金玲,张甘霖,李德成,等. 激光法与湿筛—吸管法测定土壤颗粒组成的转换及质地确定[J]. 土壤学报,2009,46(5):772-780.
- [7] 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[J]. 土壤通报,2005,36(4):579-582.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版,2003,31(4):87-92.