

# 激光衍射法与吸管法对东北黑土区 土壤粒径分布测定的差异性研究

王彬<sup>1,2</sup>, 郑粉莉<sup>1,2</sup>, 安娟<sup>2,3</sup>, 吕春花<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所  
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 目前激光衍射法(laser diffraction method, LD)逐步被用于土壤颗粒粒径分布(particle size distribution, PSD)的分析,为了对比 LD 法和吸管法测定东北黑土区土壤 PSD 的差异性,采用 LD 法和吸管法分别对东北黑土区宾州河流域 36 个土壤剖面不同层次 178 个土壤样品的 PSD 值进行了测定与分析。结果表明,同吸管法相比,LD 法低估了土壤的黏粒含量,平均低估幅度 19.69%,而高估了土壤的粉粒和砂粒含量,平均高估幅度分别为 14.66%和 5.13%。LD 法所得 PSD 结果依据美国土壤质地分类制判定的土壤质地,相对于吸管法总体由粉黏质偏向粉砂质方向。建立了 LD 法与吸管法测定 PSD 结果的转换模型,将 LD 法测定的 PSD 结果利用转换模型校正后,其测定的各土壤粒级同吸管法相比,准确度达 96.97%~98.71%,判定土壤质地的准确率也达 83.15%。

**关键词:** 激光衍射法; 吸管法; 颗粒粒径分布; 转换模型; 东北黑土区

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2009)02-0134-06

中图分类号: S152

## Comparative Study of Particle Size Distribution by Laser Diffraction Method and Pipette Method in Black Soil Region of Northeast China

WANG Bin<sup>1,2</sup>, ZHENG Fen-li<sup>1,2</sup>, AN Juan<sup>2,3</sup>, LÜ Chun-hua<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Laser diffraction method(LD method)has been regarded as an effective method of measuring soil particle size distribution(PSD)in recent years. In order to compare PSD difference in measurements by LD method and pipette method in black soil region, 178 soil samples collected from various layers of 36 soil profiles were analyzed by LD method and traditional pipette method. Results showed that, compared with pipette method, clay content by LD method was under-estimated by 19.69%, and silt and sand contents were over-estimated by 14.66% and 5.13%, respectively. According to US soil texture classification, soil texture varied from silt and clay texture to sand and silt texture, compared with pipette method. For clay, silt and sand particles, three PSD transform models between LD method and pipette method were built. When the transform models were used to revise PSD by LD method, the accuracy of measured PSD was 96.97%~98.71% and the accuracy of determined soil texture classification reached 83.15% by LD.

**Keywords:** laser diffraction method; pipette method; particle size distribution; transform model; black soil area of Northeast China

收稿日期: 2008-08-30

修回日期: 2008-12-30

资助项目: 国家重点基础研究发展计划项目“不同类型区土壤侵蚀过程及其机理”(2007CB407201); 中国科学院西部行动计划(二期)项目“水文过程响应及其模拟”(KZCX2-XB2-05-03); 西北农林科技大学创新团队计划项目“土壤侵蚀及其治理环境效应评价”(01140202)

作者简介: 王彬(1983—), 男(汉族), 河南省新乡市人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与土壤可蚀性研究。E-mail: wangbin1836@yahoo.com.cn.

通信作者: 郑粉莉(1960—), 女(汉族), 陕西省西安市蓝田县人, 研究员, 博士, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀过程及预报和土壤侵蚀环境效应评价研究。E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn.

土壤质地是土壤最基本的特征之一,是土壤分类的重要依据,对土壤肥力、土壤养分运移、土壤水分特征曲线<sup>[1]</sup>及土壤可蚀性<sup>[2-3]</sup>等具有重要影响。而土壤质地的确定基于土壤颗粒粒径分布(particle size distribution, PSD)分析。因此,PSD分析方法的优劣直接影响土壤质地的判断。近年来,由于以光衍射理论和散射理论为基础的激光衍射法(laser diffraction method, LD)较基于 Stokes 定律的传统方法(吸管法和比重计法)具有分析速度快,粒径分级多且测定不受土壤比重影响等优点<sup>[4-8]</sup>,逐步被用于土壤 PSD 分析<sup>[9-11]</sup>。

目前基于 Stokes 定律的土壤质地分类制,依据各粒级重量百分含量划分土壤质地,而根据光衍射理论和散射理论获得的 PSD 结果为各粒级的体积百分含量,其结果能否直接应用于传统的分类系统仍需深入研究。大量学者以不同质地的土壤为研究对象对 LD 法与吸管法之间的差异进行了探讨<sup>[5-8,12-13]</sup>,认为与传统吸管法相比 LD 法对黏粒含量存在“低估”现象,可通过建立适当的线性模型将 LD 法与吸管法测得结果进行转换加以解决。

由于 PSD 分析受土壤比重、颗粒形状等因素的影响<sup>[12-15]</sup>,因而不同母质和成土环境下发育的土壤 PSD 结果存在较大差异。东北黑土区作为重要的粮食生产基地,在我国粮食安全方面具有举足轻重的地位。而该区严重的土壤侵蚀使得黑土的土壤质量退化,对当地农业生产和土壤侵蚀防治提出了新的挑战。因此,本文选择侵蚀较为严重的黑龙江省宾县薄层黑土作为研究对象,利用 LD 法和吸管法分别进行 PSD 分析,比较两种方法测定结果的差异,探讨 LD 法对薄层黑土 PSD 分析的适用性,以期提供适用于黑土区的快速便捷的土壤质地测定方法,进一步扩展 LD 法在土壤可蚀性定量研究中的应用。

本研究的研究区位于黑龙江省宾县宾州河流域(127°26'04"—127°32'02"E, 45°43'13"—45°51'37"N),属松嫩平原东部边缘的薄层黑土区。该区地处张广才岭支脉,为漫岗丘陵地貌,地势平缓,耕地坡度多变化于 1°~7°,坡长达数百米,甚至数千米。气候属寒温带大陆性季风气候,气温年较差大,年均气温 3.9℃,无霜期 148 d 左右。年均降雨量为 548.5 mm,年际变化大且分布不均,多集中于 6—9 月份,占全年降水量的 78.7%。研究区土壤以黑土为主,占流域面积的 2/3 以上,其次为草甸黑土和白浆化黑土。成土母质主要为河湖相沉积物和近代淤积物的黄土状母质,黑土层厚度多变化于 10~50 cm,耕地表层容重 1.1 g/cm<sup>3</sup> 左右,有机质含量 1%~7%。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样地选取

以黑龙江省宾县 1:1 万地形图及土壤类型图为基础,于 2008 年 5 月在宾州河流域进行详细调查及现场考察,初步确定流域上、中、下游各 2 个典型坡面为采样坡面(表 1)。在选定的 6 个典型坡面内挖取土壤剖面 80 余个,以地貌部位、黑土土层厚度及侵蚀的空间分布作为参考依据,最终在宾州河流域上、中、下游 6 个典型坡面的坡上部、坡中部和坡下部共确定 36 个土壤剖面作为采样剖面,即对应于每个典型坡面的坡上部、坡中部和坡下部各选取土壤剖面 2 个。

### 1.2 样品采集与前期处理

采样时按照 0—5, 5—10, 10—20, 20—40, 40—60 cm 共 5 个层次分层采集土壤样品共 178 个。土壤样品前期处理为:风干土样过 2 mm 筛,用 6% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 去除有机质,直至无气泡产生,过量的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 用加热法排除;PSD 分析前,在土样中加入 10 ml 浓度 0.5 mol/L 的 NaOH,用超声波发生器分散土壤样品 15 min。

表 1 采样坡面基本情况

坡面号	地理位置	海拔/m	样品数	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	有机质/%
BX-A	45°45'53"N, 127°32'02"E	158~177	30	2.696~2.753	1.07~1.43	1.37~2.83
BX-B	45°44'23"N, 127°28'02"E	169~195	30	2.699~2.756	1.05~1.59	0.35~2.40
BX-C	45°47'29"N, 127°28'19"E	136~155	30	2.601~2.671	0.98~1.48	2.11~5.20
BX-D	45°48'06"N, 127°28'10"E	138~158	30	2.537~2.644	0.92~1.46	1.37~7.47
BX-E	45°43'48"N, 127°28'12"E	189~210	28	2.659~2.730	1.00~1.46	0.78~2.65
BX-F	45°51'36"N, 127°28'35"E	125~147	30	2.626~2.733	1.09~1.41	1.08~4.46

### 1.3 激光衍射法(LD)

激光衍射法(LD)又称小角度激光散射法,是按照 Fraunhofer 衍射理论和 Mie 散射理论反映颗粒的横截面特征,确定被测样品颗粒粒度分布情况的方法<sup>[16-17]</sup>。本试验采用英国马尔文公司生产的 Master-

Sizer 2000-MAL100902 (MS2000) 进行 PSD 分析。该仪器采用 He-Ne 激光器发射激光,波长为 633 nm,测量范围 0.02~2000 μm。配套湿法进样器型号为 Hydro 2000MU(A)。测定时根据样品特性及前人研究成果<sup>[12,18]</sup>,设定颗粒折射率为 1.533,分散

剂折射率为 1.330, 颗粒吸收率为 0.1, 测定拟合模型选用增强多重窄峰模式(球形); 进样器泵速为 2 200 r/min, 超声波分散强度为 16.00, 分散时间为 26 s。

#### 1.4 吸管法

测定各土壤样品密度(表 1—2), 并按照 Stokes 定律计算各粒级沉降所需时间。吸管法参见南京土壤研究所测定方法<sup>[4]</sup>。

#### 1.5 数据处理

数据统计分析采用 SPSS 12.0, 图形处理采用 Sigma Plot 10.0 进行。

## 2 试验结果与分析

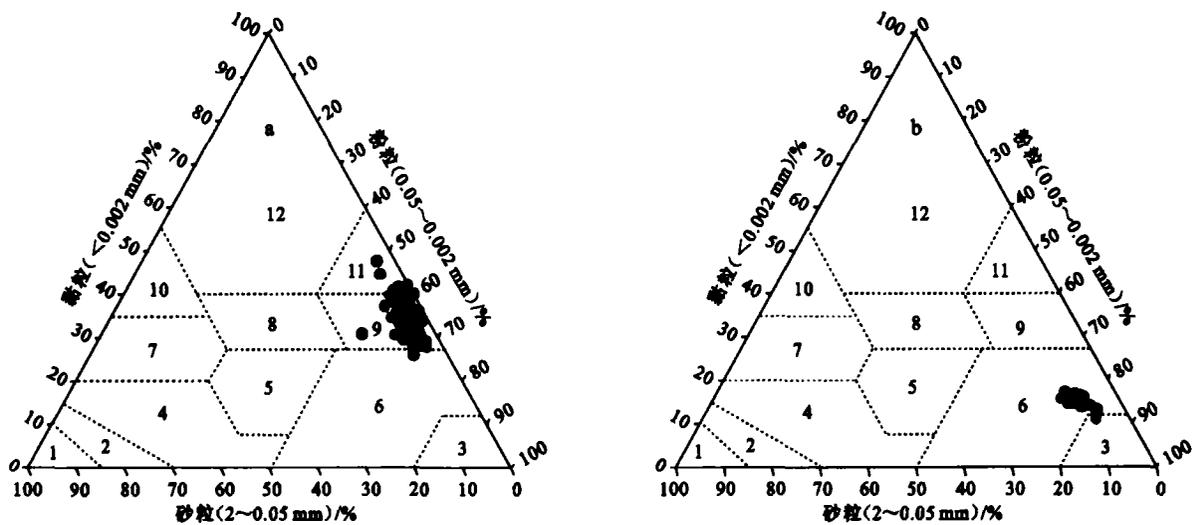
### 2.1 LD 法与吸管法测定 PSD 的差异分析

2.1.1 各粒级含量的差异 由于篇幅有限, 这里从实测 178 个土壤样品的 PSD 结果中随机选取 35 个结果列于表 2。由表 2 可以看出, 两种方法对 35 个土壤样品 PSD 分析的各粒级结果存在较大差异。同吸管法相比, LD 法低估了土壤的黏粒含量, 低估幅度 10.1%~28.5%, 平均低估 19.19%; 而其高估了粉粒含量, 高估幅度为 3.6%~22.3%, 平均 13.38%; 对于砂粒也存在高估现象, 高估幅度为 2.8%~10.3%, 平均相差 5.81%。对比分析 178 个土壤样品两种方法测定的 PSD 分析结果, 发现与随机选取的 35 个土壤样

品的 PSD 分析结果基本一致。图 1—2 表明, 对于 178 个土壤样品, LD 法同样也低估了土壤的黏粒含量(图 2c), 低估幅度 10.15%~36.29%, 平均低估 19.69%; 而其也相应高估了土壤的粉粒含量(图 2b), 高估幅度为 3.63%~33.25%, 平均 14.66%; 对于砂粒也同样存在高估现象(图 2a), 高估幅度为 0.04%~10.35%, 平均相差 5.13%。

2.1.2 两种分析法对土壤质地判定的差异 按照美国农业部土壤质地分类制(USDA)把土壤颗粒粒级分为砂粒(2~0.05 mm)、粉粒(0.05~0.002 mm)和黏粒(<0.002 mm)3 级, 最终得到 LD 法和吸管法测定的土壤质地图(图 1)。由图 1 可见, LD 法与吸管法所得 PSD 结果判定的土壤质地大不相同。由于 LD 法低估土壤的黏粒含量, 而高估其粉粒含量, 导致测得土壤质地相对于吸管法总体偏向粉砂方向, 即土壤质地由粉黏土变为粉壤(粉土), 或由粉黏壤变为粉壤。

以上两种测定方法对砂粒、粉粒和黏粒含量以及土壤质地诊断的不一致性表明, 尽管 LD 法在进行土壤颗粒 PSD 分析中具有一定的优点, 但其测定数据尚不能直接用于现有的基于 Stokes 定律的土壤质地分类系统, 而需将 LD 测定结果进行一定的转换或者建立基于土壤颗粒体积百分含量的土壤质地分类系统进一步解决。



1 砂土; 2 壤砂土; 3 粉土; 4 砂壤; 5 壤土; 6 粉壤; 7 砂黏壤; 8 黏壤; 9 粉黏壤; 10 砂黏土; 11 粉黏土; 12 黏土

图 1 吸管法(a)与 LD 法(b)土壤质地图(美国制)对比

### 2.2 LD 法与吸管法 PSD 转换模型

2.2.1 转换模型的建立 利用两种方法所得各级颗粒粒径含量对应的散点图(图 2), 建立 PSD 转换模型。通过比较各拟合模型的相关系数及有效性指数(ME), 发现线性相关模型形式最为简便且具有较好的转换效果。建立两种测定方法各粒级转换模型如下:

(1) 对于砂粒(2~0.05 mm):

$$y_{\text{sand}} = 0.477x_{\text{sand}} - 0.249$$

$$(r = 0.474, P < 0.01, n = 178) \quad (1)$$

(2) 对于粉粒(0.05~0.002 mm):

$$y_{\text{silt}} = 117.671 - 0.756x_{\text{silt}}$$

$$(r = -0.566, P < 0.01, n = 178) \quad (2)$$

(3) 对于黏粒(<0.002 mm):

$$y_{\text{clay}} = 57.945 - 1.470x_{\text{clay}}$$

$$(r = -0.406, P < 0.01, n = 178) \quad (3)$$

考虑到土壤黏粒的波动性以及上述方程相关系数的影响,黏粒含量用下式计算:

$$y_{\text{clay}} = 100 - (y_{\text{sand}} + y_{\text{silt}}) \quad (4)$$

式中:  $y_{\text{sand}}, y_{\text{silt}}, y_{\text{clay}}$  —— 分别指转换为重量百分含量的砂粒、粉粒和黏粒含量(%);  $x_{\text{sand}}, x_{\text{silt}}, x_{\text{clay}}$  —— 分别指 LD 法测得的砂粒、粉粒和黏粒所对应的体积百分含量(%).

表 2 LD 法与吸管法 PSD 分析结果

样品号	密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	吸管法/%				LD 法/%				误差/%		
		砂粒	粉粒	黏粒	质地	砂粒	粉粒	黏粒	质地	砂粒	粉粒	黏粒
BX-A-A-1	2.753	7.0	66.8	26.2	粉壤	11.9	72.1	16.0	粉壤	4.9	5.3	-10.1
BX-A-A-2	2.754	5.5	64.7	29.9	粉黏壤	12.4	72.2	15.3	粉壤	6.9	7.6	-14.5
BX-A-A-3	2.734	4.8	63.2	32.0	粉黏壤	12.5	72.3	15.2	粉壤	7.7	9.1	-16.8
BX-A-A-4	2.738	6.2	64.2	29.6	粉黏壤	13.4	71.8	14.8	粉壤	7.3	7.5	-14.8
BX-A-A-5	2.781	5.5	66.4	28.1	粉黏壤	15.8	70.0	14.2	粉壤	10.3	3.6	-14.0
BX-A-B-1	2.738	7.2	62.5	30.2	粉黏壤	11.8	71.9	16.3	粉壤	4.5	9.4	-13.9
BX-A-B-2	2.744	6.9	61.9	31.2	粉黏壤	11.4	72.3	16.3	粉壤	4.5	10.5	-14.9
BX-A-B-3	2.729	3.9	63.8	32.3	粉黏壤	11.1	72.6	16.2	粉壤	7.3	8.8	-16.1
BX-A-B-4	2.711	1.6	64.5	34.0	粉黏壤	10.6	72.9	16.5	粉壤	9.1	8.4	-17.5
BX-A-B-5	2.752	2.3	61.2	36.4	粉黏壤	8.8	76.8	14.4	粉壤	6.5	15.6	-22.0
BX-A-C-1	2.714	5.2	61.7	33.1	粉黏壤	11.1	73.3	15.7	粉壤	5.9	11.6	-17.5
BX-A-C-2	2.707	5.3	61.6	33.1	粉黏壤	8.8	74.8	16.4	粉壤	3.5	13.1	-16.7
BX-A-C-3	2.696	3.8	61.4	34.7	粉黏壤	7.8	77.5	14.7	粉壤	4.0	16.1	-20.0
BX-A-C-4	2.706	4.1	56.4	39.5	粉黏壤	7.4	78.3	14.2	粉壤	3.3	22.0	-25.3
BX-A-C-5	2.734	2.6	57.3	40.1	粉黏土	8.3	78.5	13.1	粉壤	5.7	21.3	-27.0
BX-B-A-1	2.699	4.2	55.9	39.9	粉黏土	7.5	75.7	16.8	粉壤	3.3	19.9	-23.1
BX-B-A-2	2.721	5.0	55.1	39.9	粉黏土	7.8	75.5	16.7	粉壤	2.8	20.4	-23.2
BX-B-A-3	2.713	2.6	57.8	39.5	粉黏土	7.1	77.1	15.7	粉壤	4.5	19.3	-23.8
BX-B-A-4	2.756	0.3	57.6	42.1	粉黏土	7.4	78.8	13.8	粉壤	7.1	21.2	-28.3
BX-B-A-5	2.744	2.4	55.9	41.7	粉黏土	8.6	78.2	13.2	粉壤	6.2	22.3	-28.5
BX-B-B-1	2.722	2.3	60.8	36.9	粉黏壤	9.6	74.0	16.4	粉壤	7.3	13.2	-20.5
BX-B-B-2	2.718	4.0	61.8	34.1	粉黏壤	9.7	73.9	16.4	粉壤	5.7	12.1	-17.7
BX-B-B-3	2.723	3.6	61.2	35.3	粉黏壤	9.3	74.8	15.9	粉壤	5.8	13.6	-19.4
BX-B-B-4	2.746	2.6	63.0	34.4	粉黏壤	8.7	76.5	14.7	粉壤	6.1	13.5	-19.7
BX-B-B-5	2.744	2.4	58.9	38.7	粉黏壤	8.1	77.5	14.4	粉壤	5.7	18.5	-24.3
BX-B-C-1	2.709	3.7	61.1	35.2	粉黏壤	9.1	75.2	15.7	粉壤	5.4	14.1	-19.5
BX-B-C-2	2.700	4.7	61.0	34.3	粉黏壤	10.0	74.0	15.9	粉壤	5.3	13.0	-18.3
BX-B-C-3	2.702	1.9	62.5	35.6	粉黏壤	9.5	74.0	16.4	粉壤	7.6	11.5	-19.2
BX-B-C-4	2.710	2.8	62.8	34.4	粉黏壤	7.4	76.9	15.7	粉壤	4.6	14.1	-18.7
BX-B-C-5	2.723	2.4	58.2	39.4	粉黏壤	7.7	78.0	14.3	粉壤	5.3	19.8	-25.1
BX-C-A-1	2.671	7.2	62.9	29.8	粉黏壤	14.4	70.6	15.1	粉壤	7.1	7.7	-14.8
BX-C-A-2	2.661	6.3	66.1	27.6	粉黏壤	14.5	70.0	15.5	粉壤	8.2	4.0	-12.2
BX-C-A-3	2.648	6.3	63.3	30.4	粉黏壤	12.7	70.6	16.7	粉壤	6.4	7.3	-13.7
BX-C-A-4	2.633	5.7	59.5	34.8	粉黏壤	10.0	73.1	16.9	粉壤	4.3	13.6	-17.9
BX-C-A-5	2.632	5.2	56.4	38.5	粉黏壤	8.4	75.7	16.0	粉壤	3.2	19.3	-22.5
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

注:采用美国农业部土壤质地分级制(USDA);误差为 LD 法与吸管法各级结果之差。

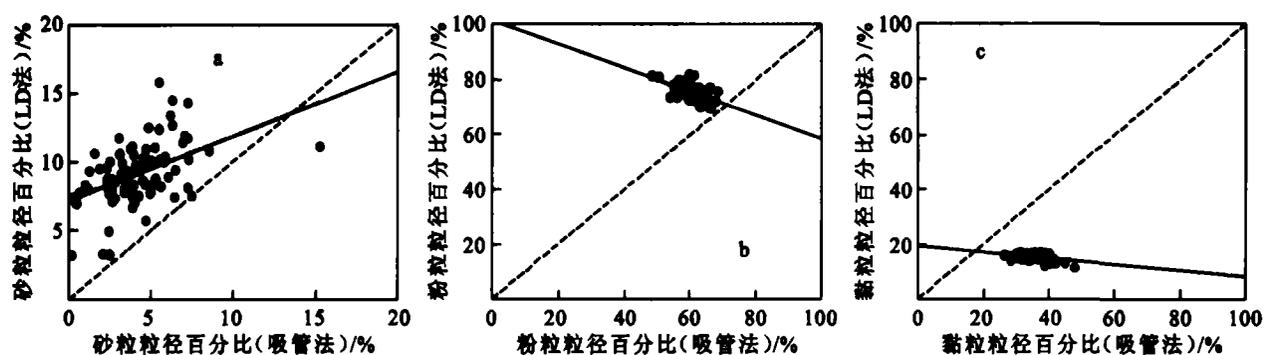
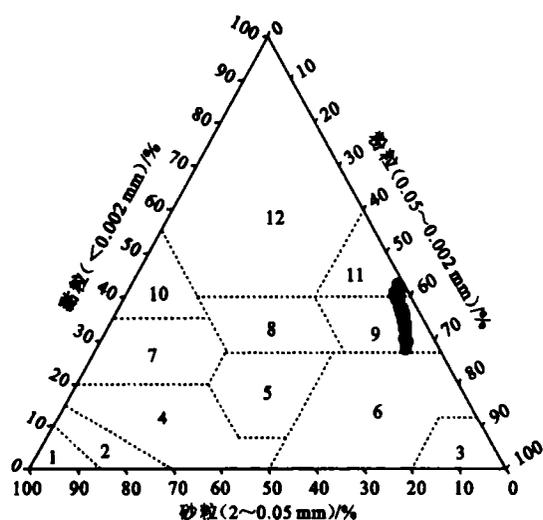


图 2 LD 法与吸管法各粒级粒径相关关系图

2.2.2 模型验证 将 LD 法测得的砂粒和粉粒数据分别利用式(1)、式(2)、式(4)进行转换,获得转换后各粒级重量百分含量。通过对转换数据确定的土壤质地类型(图 3)与吸管法判定的结果(图 1a)进行对比,发现转换后各粒级绝对误差均有不同程度减少。其中,黏粒含量绝对误差降至 0.05%~9.00%,平均降低至 3.03%,降低为转换前的 1/6 左右;粉粒含量绝对误差降至 0.01%~8.23%,平均 2.22%,降低为转换前的 1/7 左右;砂粒含量平均绝对误差为 1.29%,为转换前的 1/4 左右。LD 法测定结果经转换模型校正后,有 148 个土壤质地与吸管法判定结果一致,判定土壤质地的准确率达 83.15%,而另外 30 个土壤样品质地也转换为相邻质地。



1 砂土; 2 壤砂土; 3 粉土; 4 砂壤; 5 壤土; 6 粉壤;  
7 砂黏壤; 8 黏壤; 9 粉黏壤; 10 砂黏土; 11 粉黏土; 12 黏土

图 3 LD 法结果转换后土壤质地图(美国制)

2.2.3 模型的适用范围 本研究虽同样发现砂粒、粉粒和黏粒间存在一定的线性关系,但与前人研究结果<sup>[8,12-13,19]</sup>存在一定差异。LD 法与吸管法在粉粒和黏粒粒级建立的转换模型中,实测值间呈负相关关系,有别于其它研究结论。其产生的原因应为本研究

选择土壤类型单一,且各粒级含量变化差异较小所致。同时,将本研究结果应用于杨艳芳、Linda 等<sup>[8,12]</sup>提出的颗粒粒径转换方程后,所得结果不适用。因此,认为 LD 法和沉降法 PSD 结果间不存在统一转换关系式<sup>[8-9,12-13]</sup>,对于不同类型的土壤应依据实测结果建立相应转换模型。

### 3 讨论

LD 法测定的黏粒含量较吸管法偏低的主要原因可以概括为以下几个方面。

(1) 理论基础的差异。LD 法是按照 Fraunhofer 衍射理论和 Mie 散射理论测定颗粒的当量直径<sup>[16-17]</sup>,反映颗粒横截面特征的方法;而吸管法基于 Stokes 定律以实心球体假设为基础测定土壤颗粒的当量直径,反映颗粒的沉降速度。一般来说,砂粒、粉粒的颗粒形状近似于球形,而黏粒的颗粒形状则受黏粒矿物的不同而呈现为极不规则形状,多呈扁盘状或片状<sup>[1]</sup>。但物体在介质中沉降时,沉降速度受颗粒最大剖面直径的限制<sup>[20]</sup>。由此,在测定含有黏粒较高的土壤样品时,黏粒部分颗粒沉降时间延长。故分析结果出现按照吸管法确定为黏粒的部分,却被 LD 法认定为大于该黏粒粒级的部分,产生 LD 法“低估”黏粒含量的现象。另外,在 LD 法进行 PSD 分析中非球体表现出的横断面直径大于同体积理论球体,部分粒径小的非球状颗粒的当量直径被夸大,也即“低估”了黏粒含量<sup>[15]</sup>。

同时,LD 法与吸管法两者 PSD 测定结果的单位不同(前者为体积含量,后者为质量含量)也可能是造成黏粒含量差异的原因。

(2) 测定范围及获取信息量的差异。LD 法与吸管法在进行 PSD 分析时具有不同的测量范围假设,本研究所采用的 MS2000 激光粒度分析仪测定范围为 0.02~2000  $\mu\text{m}$ ,而吸管法在理论上没有测定的最小范围。因此,若测试样品中极小颗粒占较大比重时,激光粒度分析仪无法测得<sup>[13]</sup>,将造成测定结果低

估黏粒含量的现象。另一方面,LD法与吸管法进行PSD分析时基于不同理论,可测定颗粒粒径的级别差异较大。MS2000激光粒度分析仪可将粒径级别设置为101个,并且在黏粒部分( $<2\ \mu\text{m}$ )细分为39个级别,故在进行PSD分析时能够提供详细的黏粒部分信息。而吸管法则一般仅提供 $<1\ \mu\text{m}$ , $1\sim 2$

$\mu\text{m}$ , $2\sim 5\ \mu\text{m}$ , $5\sim 10\ \mu\text{m}$ , $10\sim 50\ \mu\text{m}$ , $50\sim 100\ \mu\text{m}$ , $100\sim 250\ \mu\text{m}$ , $250\sim 500\ \mu\text{m}$ , $500\sim 1\ 000\ \mu\text{m}$ 和 $1\ 000\sim 2000\ \mu\text{m}$ 等10余个级别的数据,并且在 $<1\ \mu\text{m}$ 部分由于测定时间的限制一般不再细分。所以,在进行PSD分析时由于获取的数据量不同,计算精度有一定的差异(图4)。

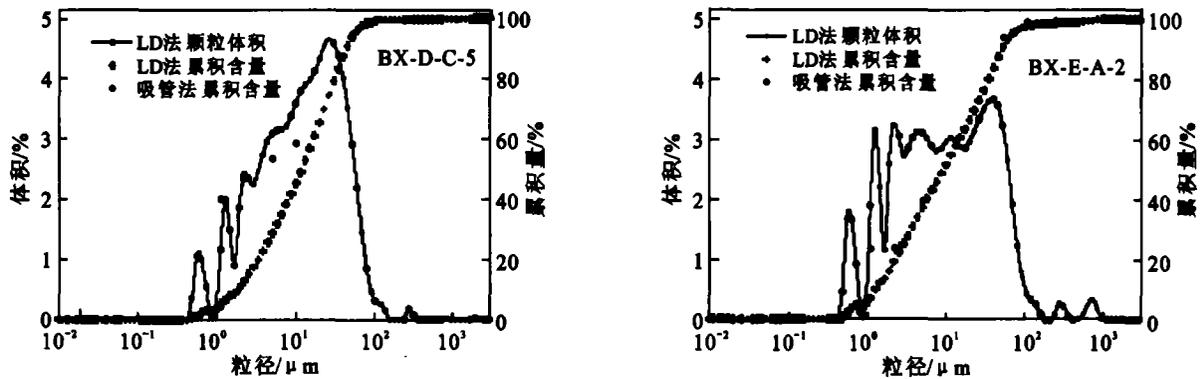


图4 LD法与吸管法PSD分析结果比较

#### 4 结论

通过分析LD法和吸管法测定36个土壤剖面不同层次的178个土壤样品PSD的差异性,得到如下结论。

(1) 与吸管法相比,LD法低估了土壤的黏粒含量,平均低估幅度为19.69%;相应高估了粉粒含量14.66%。

(2) LD法所得PSD结果判定的土壤质地相对于吸管法总体偏向粉砂方向,即土壤质地由粉黏土变为粉壤(粉土),或由粉黏壤变为粉壤。

(3) LD法与吸管法实测各粒级百分含量具有极显著的线性相关关系;粉粒和黏粒各粒级实测值间呈负相关的原因可能为试验土样土壤类型单一,各粒级含量变化差异小所致。

(4) 建立了LD法与吸管法PSD转换模型: $y'_{\text{sand}} = 0.477x_{\text{sand}} - 0.249$ ,  $y'_{\text{silt}} = 117.671 - 0.756x_{\text{silt}}$ ,  $y'_{\text{clay}} = 100 - (y'_{\text{sand}} + y'_{\text{silt}})$ 。经验证,LD法测定结果转化后与吸管法测得结果间的误差降低至1.29%~3.03%,转换后判定土壤质地的准确率达83.15%。

(5) LD法低估黏粒的原因尚无定论<sup>[8,15,17,19-20]</sup>,而Stokes定律的实心球体假设与实际情况相差甚远,需在此方面进行更为深入的研究。

#### [参考文献]

[1] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:69-80.

- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Evaluation of soil properties to its erodibility[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1969, 33(1): 131-137.
- [3] Wischmeier W H, Johnson C B. A soil erodibility nomograph for farmland and conservation sites [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1971, 26(5): 189-193.
- [4] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定方法[M]. 北京:科学出版社,1978:26-49.
- [5] Clifton J, McDonald P, Plater A, et al. An investigation into the efficiency of particle-size parathion using Stokes' measurement [J]. Earth Surface Process and Landforms, 1999, 24:725-730.
- [6] Shiozawa S, Campbell G S. On the calculation of mean particle diameter and standard deviation from sand, silt, and clay fractions [J]. Soil Science, 1991, 152:427-431.
- [7] Bittelli M, Campbell G S, Flury M. Characterization of particle-size distributions in soils with a fragmentation model [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1999, 63:782-788.
- [8] 杨艳芳,李德成,杨金玲,等. 激光衍射法和吸管法分析黏性富铁土壤颗粒粒径分布的比较[J]. 土壤学报, 2008, 45(3):405-412.
- [9] Beuselinck L, Govers G, Poesen J, et al. Grain-size analysis laser diffractometry: Comparison with the sieve-pipette method [J]. Catena, 1998, 32:193-208.
- [10] Wu Q, Borkovec M, Sticher H. On particle-size distributions in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1993, 57:883-890.

(下转第143页)

垫铺设创造了良好的水热条件。在研究期内,由于气候干燥少雨,生态垫还未分解,因此,生态垫铺设对沙丘土壤其它一些理化和微生物性质的影响有待进一步研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王涛,吴薇,薛娴,等.近50年来中国北方沙漠化土地的时空变化[J].地理学报,2004,59(2):203-212.
- [2] 王式功,董光荣.沙尘暴研究的进展[J].中国沙漠,2000,20(4):349-356.
- [3] 杜尧东,刘锦奎,何健.广州地区蔬菜田土壤温度变化特征及其预报模型研究[J].生态学杂志,2005,24(9):1021-1024.
- [4] 张伟,汪春,梁远,等.残茬覆盖对寒地旱作区土壤温度的影响[J].农业工程学报,2006,22(5):70-73.
- [5] 刘平,马履一,郝亦荣.生态垫对河滩造林地土壤温湿度和杂草的影响[J].中国水土保持科学,2005,3(1):77-81.
- [6] 占玉芳,蔺国菊.河西中部沙漠治理中应用生态垫对沙丘水分的影响[J].林业科技,2007,32(1):14-16.
- [7] 杨志国,孙保平,丁国栋,等.应用生态垫治理流动沙地机理研究[J].水土保持学报,2007,21(1):50-53.
- [8] 李禄军,蒋志荣,车克钧,等.绿洲—荒漠交错带不同沙丘土壤水分时空动态变化规律[J].水土保持学报,2007,21(1):123-127.
- [9] 张建新,张梅花,李庆会,等.生态垫覆盖对沙漠土壤水分和温度的影响[J].中国沙漠,2008,28(2):80-83.
- [10] 胡斌.夏玉米田秸秆覆盖效果的试验研究[J].灌溉排水,1998,17(3):46-48.
- (上接第139页)
- [11] Martin M A, Montero E. Laser diffraction and multifractal analysis for the characterization of dry soil volume-size distributions [J]. Soil Tillage Res., 2002, 64:113-123.
- [12] Linda P, Marco B, Paola R P. Laser diffraction, transmission electron microscopy and image analysis to evaluate a bimodal Gaussian model for particle size distribution in soils [J]. Geoderma, 2006, 135:118-132.
- [13] 程鹏,高抒,李徐生.激光粒度仪测试结果及其与沉降法、筛分法的比较[J].沉积学报,2001,19(3):449-455.
- [14] Eshel G, Levy G J, Mingelgrin U, et al. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2004, 68:736-743.
- [15] 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, 22:523-535.
- [16] Jonasz. Nonsphericity of suspended marine particles and its influence on light scattering [M]. Limnol; Oceanogr. 1987; 1059-1065.
- [17] 牛占,和瑞勇,李静,等.激光粒度分析仪应用于黄河泥沙颗粒分析的实验研究[J].泥沙研究,2002,(5):6-14.
- [18] Jonasz M. Size, shape, composition and structure of micro-particle from light scattering[M]//Syvitske J P M. Principles, Methods, and Application of Particle Size Analysis. Cambridge, UK; Cambridge University Press, 1991:143-162.
- [19] 陈秀法,冯秀丽,刘冬雁.激光粒度分析与传统分析方法相关对比[J].青岛海洋大学学报,2002,32(4):608-614.
- [20] Krumbein W C. Settling velocity of flume behavior of nonspherical particles [M]. Trans. Am. Geophys., 1942, 41:621-633.