

# 土壤颗粒悬液搅拌对土壤质地分析的影响

李朝英<sup>1</sup>, 郑路<sup>1,2</sup>

(1. 中国林业科学研究院 热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600;

2. 广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站, 广西 凭祥 532600)

**摘要:** [目的] 探究土壤颗粒悬液搅拌对土壤质地分析的影响, 为实验室准确测定土壤机械组成提供可行的参考与指导。[方法] 采用比重法测定土壤机械组成, 在搅拌不同行程、搅拌不同次数、悬液静置不同时间后搅拌、不同测定时点搅拌的多种条件下所测结果进行比较分析。[结果] 搅拌行程、搅拌次数、悬液静置后搅拌对黏粒含量测定无影响, 对粉砂粒和砂粒含量测定均有影响。搅棒从液面下行至沉降筒底搅拌, 有利于颗粒充分运动及均匀分布, 黏粒、粉砂粒、砂粒含量测定稳定, 精密度良好; 以氢氧化钠为分散剂的悬液搅拌 30 次, 黏粒、粉砂粒、砂粒含量测定准确, 精密度良好; 悬液静置的适宜时间大于 1 h, 搅拌 30 次所测粉砂粒和砂粒含量的精密度呈下降趋势, 搅拌 45 次所测粉砂粒、砂粒、黏粒含量稳定, 精密度良好, 与洗后即搅拌 30 次的测定结果一致。在第 2 测定时点增加搅拌 1 min 对测定结果无影响。[结论] 本试验方法测定结果准确可靠, 避免了重复操作, 有利于减少误差, 适用于多个样品的同时检测。

**关键词:** 土壤颗粒; 悬液; 搅拌; 质地分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)06-0256-05

中图分类号: S151.92

**文献参数:** 李朝英, 郑路. 土壤颗粒悬液搅拌对土壤质地分析的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 256-260. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.043; Li Chaoying, Zheng Lu. Effects of stirring soil particle suspension on soil texture analysis[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 256-260. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.043

## Effects of Stirring Soil Particle Suspension on Soil Texture Analysis

LI Chaoying<sup>1</sup>, ZHENG Lu<sup>1,2</sup>

(1. *Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi 532600, China;*

2. *Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang, Guangxi 532600, China*)

**Abstract:** [Objective] Effects of stirring soil particle suspension on the analysis of soil texture were researched to provide guidance for the determination of soil mechanical composition accurately. [Methods] The comparison and analysis were carried out under different conditions, such as stirring stroke, stirring number, stirring when soil particle suspension was placed at different time and stirring at different determination time, in the determination of soil mechanical composition by gravimetric method. [Results] The stirring stroke, stirring number and stirring after suspension all had no effect on clay particle content, but had impacts on the silt and sand content. Stirring rod stirred from the liquid level down to the bottom of the precipitation tube was conducive to uniform distribution of particles, determination of the clay, silt and sand content was stable, precision was good. At the condition of the suspension setting time was more than 1 h, measurement of silt and sand content was unstable when it was stirred 30 times. Measurement of silt sand and clay content was stable, precision was good when it was stirred 45 times. The addition of stirring before the second test points had no impact to the results. [Conclusion] The optimized method was helpful to reduce the error was accurate and reliable, and suitable for simultaneous detection of multiple samples.

**Keywords:** soil particle; suspension; stir; texture analysis

收稿日期: 2017-05-18

修回日期: 2017-06-30

资助项目: 广西自然科学基金项目“马尾松人工林采伐剩余物分解及提升地力研究”(2013GXNSFAA019106)

第一作者: 李朝英(1971—), 女(汉族), 甘肃省酒泉市人, 本科, 实验师, 主要从事土壤检测分析工作。E-mail: lzying1877@sina.com。

通讯作者: 郑路(1968—), 男(汉族), 河北省乐亭县人, 博士, 高级工程师, 主要从事森林生态学方面的研究。E-mail: zhengluli@sina.com。

土壤机械组成分析即测定土壤的不同粒径颗粒含量,用于评价土壤基本性质,揭示其形成环境,对于水土保持,环境演变等领域定量化推论提供基础数据。同时为指导耕作,施肥、土壤修复与改良,推动土地生产力可持续性发展有着重要的现实意义<sup>[1-3]</sup>。土壤机械组成测定的传统方法有比重法和吸管法<sup>[4-6]</sup>,主要检测步骤均包含颗粒分散与清洗、悬液搅拌及测定几部分<sup>[7-8]</sup>。近期有研究讨论分析了土壤颗粒分散效果对测定结果的影响,提出振荡分散、超声分散等多种方法以替代国标所述煮沸分散颗粒法,求得检测简便,准确高效<sup>[9-10]</sup>。对于悬液搅拌,国标与林业行标指出搅拌次数(30次/60s),对搅拌行程、搅拌前土壤颗粒悬液静置时间等无过多描述,现有文献中未见有关搅拌对测定结果影响的报导,所述搅拌时机有两种做法,一种在第1测定时点前搅拌30次后,即完成3个时点测定;另一种是在第1测定时点和第2测定时点前均搅拌30次。两种做法对测定结果的影响无从得知<sup>[11-13]</sup>。上述情况难以作为准确测定土壤机械组成提供可行的参考指导。为此,本试验以林业行标所述比重法为基准,探讨搅拌行程、悬液静置时间、搅拌次数以及搅拌时机对土壤机械组成测定结果的影响,以期对土壤机械组成测定方法的搅拌条件进行优化完善与补充,减少人为误差,提高准确性,为实验室准确测定土壤机械组成提供可行的参考与指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集区环境

本试验土壤样品在2015年8月采集于广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站的大青山固定监测样地(22°18'15"N,106°41'50"E)。该区处于南亚热带南缘,与北热带毗邻,属于南亚热带季风气候区。年平均气温21.5℃,最冷月(1月)平均气温13.5℃,最热月(7月)平均气温27.6℃,大于10℃的年积温7500℃,年降雨量1400mm,属于南亚热带季风气候区。地带性土壤为中酸性火山岩和花岗岩发育而成的砖红壤(含紫色土),土层平均厚度0.5~1.0m。其地形地貌复杂,气候高温高湿,雨量充沛。

### 1.2 样品处理

在固定监测样地的3个5m×5m样地中分别在0—20cm,20—40cm两个剖面层各取1个土样,共计6个样。风干后研磨过10目筛后装入有标识的聚丙烯塑料袋中密封保存于阴凉处。

### 1.3 试验仪器及试剂

甲种密度计(刻度0~60g/L)、1L沉降筒、搅

棒、60目筛、40目筛、18目筛;20g/L的氢氧化钠、无水乙醇。

### 1.4 试验方法

6个土壤样品的机械组成分析采用比重法,在机械组成分析中粒级划分采用美国制。因国标所述煮沸法分散土壤颗粒较繁琐,效率低。本试验采用振荡法分散土壤颗粒。①6个样品各称取50.00g入250ml塑料瓶中,加入20g/L氢氧化钠溶液50mL和蒸馏水200ml振荡30min,将土壤悬浊液倒至1L沉降筒上的60目筛中,用蒸馏水少量多次冲洗筛上颗粒至洁净无泥。筛上洗净的颗粒放入105℃烘箱中,烘干后倒入组合筛(从上至下依次为18,40,60目筛)筛分处理,分别将18目筛上粒径>1mm的颗粒,40目筛上粒径0.5~1mm的颗粒,60目筛上粒径0.25~0.5mm的颗粒称量记录,土壤颗粒清洗液定容至1L后即用搅拌棒从液面行至筒底上下搅拌30次/60s,在静置30s,4.5min,8h时分别放入比重计读数。以上试验各重复3次。②6个样品各称取50.00g入250ml塑料瓶中,按(1)所述加入分散剂、振荡、过筛烘干称重及清洗液定容,土壤颗粒清洗液由搅棒从液面到距筒底10cm处之间搅拌(后简称搅拌不到筒底),按(1)所述测定。以上试验各重复3次。③6个样品各称取50.00g入250ml塑料瓶中,共称3组,按(1)所述加入分散剂、振荡、过筛烘干称重及清洗液定容,第1组土壤颗粒清洗液静置1h,第2组土壤颗粒清洗液静置2h,分别按(1)所述搅拌测定。第3组土壤颗粒清洗液静置2h,按(1)所述搅拌测定,但搅拌45次/60s。以上试验各重复3次。

## 2 结果与分析

### 2.1 搅拌行程对测定结果的影响

由图1可见,两种搅拌行程所测黏粒、粉砂粒及砂粒含量变化趋于一致,但搅拌到筒底的黏粒、粉砂粒含量大于搅拌不到筒底的,砂粒含量小于搅拌不到筒底的。两者黏粒含量差异较小,粉砂粒和砂粒含量差异偏大。由表1可见,搅拌到筒底所测6个样品的黏粒、粉砂粒、砂粒含量变异系数( $C_v$ )均小于6%。搅拌不到筒底所测黏粒含量 $C_v$ 在2.12%~7.22%,粉砂粒含量与砂粒含量 $C_v$ 大于15%。两种搅拌行程的检测结果进行质地判定分析,样品1,3,6的质地相同,样品2,4,5的质地判定不相同,占6个样品量的50%。搅拌到筒底使悬液不同深度的大小颗粒充分运动,满足Stoke's定律的假设条件,所测结果精密度及准确性良好,且具代表性,是适宜的搅拌行

程。搅拌不到筒底不能使悬液中的粉砂粒及砂粒充分运动,所测粉砂粒和砂粒含量的精密度差,测定结

果不稳定,缺乏代表性。可见,搅拌到筒底的为适宜行程。

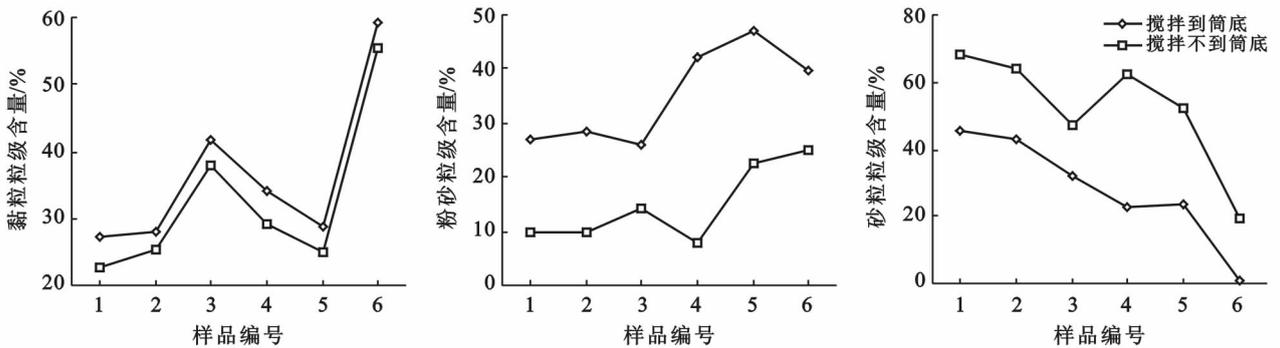


图 1 搅拌不同行程测定的黏粒、粉砂粒和砂粒含量

表 1 搅拌不同行程的测定结果

| 样品编号 | 不同粒径颗粒含量/% |       |       |      |                |       |       |       | 变异系数 $C_v$ /% |      |      |                |       |       |
|------|------------|-------|-------|------|----------------|-------|-------|-------|---------------|------|------|----------------|-------|-------|
|      | 搅棒到筒底      |       |       |      | 搅棒到距筒底 10 cm 处 |       |       |       | 搅棒到筒底         |      |      | 搅棒到距筒底 10 cm 处 |       |       |
|      | 黏粒         | 粉砂粒   | 砂粒    | 质地判定 | 黏粒             | 粉砂粒   | 砂粒    | 质地判定  | 黏粒            | 粉砂粒  | 砂粒   | 黏粒             | 粉砂粒   | 砂粒    |
| 1    | 27.15      | 26.95 | 45.18 | 砂质黏壤 | 22.57          | 9.95  | 67.96 | 砂质黏壤土 | 4.03          | 4.99 | 4.39 | 7.22           | 20.83 | 1.74  |
| 2    | 28.15      | 28.53 | 42.59 | 黏质壤土 | 25.28          | 9.94  | 66.04 | 砂质黏壤土 | 0.41          | 5.27 | 4.87 | 3.80           | 36.08 | 5.6   |
| 3    | 41.83      | 25.84 | 31.6  | 黏土   | 37.83          | 14.16 | 47.28 | 黏土    | 2.73          | 5.26 | 4.67 | 2.73           | 24.95 | 9.97  |
| 4    | 33.95      | 42.23 | 23.1  | 黏质壤土 | 29.23          | 7.88  | 62.17 | 砂质黏壤土 | 1.31          | 4.18 | 5.43 | 2.12           | 69.63 | 9.39  |
| 5    | 28.77      | 47.25 | 23.25 | 黏质壤土 | 24.77          | 22.38 | 52.12 | 砂质黏壤土 | 4.16          | 2.96 | 5.15 | 5.33           | 24.5  | 10.84 |
| 6    | 59.1       | 39.68 | 0.49  | 黏土   | 55.24          | 25.08 | 18.96 | 黏土    | 0.2           | 1.72 | 1.26 | 5.63           | 9.32  | 16.0  |

注:黏粒: $<0.002$  mm;粉砂粒: $0.05\sim 0.002$  mm;砂粒: $0.05\sim 2$  mm。下同。

## 2.2 悬液静置时间及搅拌次数对测定结果的影响

由图 2 可见,悬液静置 1 h 搅拌 30 次所测黏粒、粉砂粒与砂粒与洗后即搅的趋于一致。悬液静置 2 h 搅拌 30 次所测黏粒与洗后即搅的趋于一致,所测粉砂粒和砂粒含量与洗后即搅的不一致,其中粉砂粒有偏低趋势,砂粒有偏高趋势。静置 2 h 后搅拌 45 次所测粉砂粒和砂粒含量与洗后即搅的趋于一致。土壤颗粒洗后即搅拌,颗粒充分分散,在悬液中均匀分布,达到最佳测定状态,所测结果准确稳定。上述可见,随着悬液静置时间延长,悬液状态有变化,静置 1 h 搅拌 30 次能促使粉砂粒和砂粒均匀分布,静置 2 h 搅拌 30 次不易使粉砂粒和砂粒均匀分布,难以保证测定结果的准确性,搅拌 45 次可克服悬液状态变化对测定的干扰,促使粉砂粒和砂粒均匀分布,测定准确。这表明增加搅拌次数可克服悬液状态变化对测定的干扰而保证测定准确。由表 2 可见,静置 2 h 后搅拌 45 次所测黏粒、粉砂粒及砂粒含量  $C_v$ 。与土壤颗粒洗后即搅拌 30 次的  $C_v$  均小于 6%,两者测定结果精密度良好。悬液静置 1 h 搅拌 30 次所测黏粒含量  $C_v$  小于 5%,砂粒与粉砂粒含量的  $C_v$  小于 7%。可见,悬液静置 1 h 后搅拌 30 次所测黏粒含量的精密度良好,

砂粒和粉砂粒含量趋于不稳定;静置 2 h 后搅拌 45 次、洗后即搅拌 30 次与悬液静置 1 h 搅拌 30 次测定结果进行质地判断分析,结果一致。综上所述,搅拌效果与悬液静置时间长短及搅拌次数有关。土壤样品逐个清洗搅拌对测定结果的影响最小。但在同时检测多个样品时,土壤样品逐个清洗搅拌不便于检测,操作繁琐,易出错。多个样品清洗完毕,再逐一搅拌测定更简捷方便。结合检测实际情况,本试验提出悬液静置时间小于 1 h 为宜,静置时间长于 1 h 后搅拌 45 次,检测准确且精密度良好。

## 2.3 不同测定时点前搅拌对测定结果的影响

由图 3 可见,第 1 个测定时点前搅拌 30 次,所测黏粒含量、粉砂含量、砂粒含量与在前 2 个测定时点前均搅拌 30 次的趋于一致。第 2 测定时点前增加搅拌 30 次,对第 2,3 个时点的测定结果无影响。由表 3 可见,第 1 个测定时点前搅拌 30 次与前 2 个测定时点前各搅拌 30 次所测黏粒、粉砂粒及砂粒含量的  $C_v$  均小于 6%,两者精密度良好。这说明第 1 个测定时点前搅拌 30 次已使颗粒充分运动后,第 2 个测定时点搅拌与否对测定结果无影响,这种做法费时费力,易产生人为差错。故在第 1 时点搅拌 30 次即完成 3 次测定为宜。

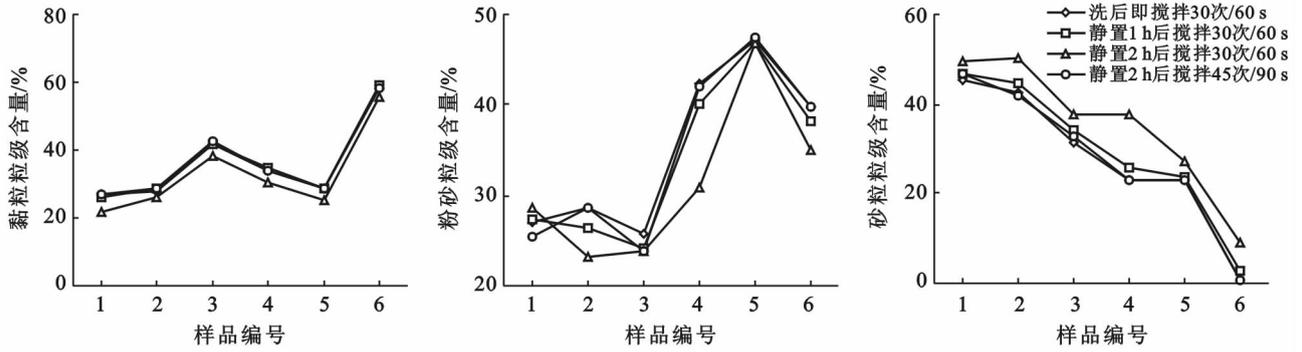


图 2 悬液静置前后的黏粒、粉砂粒和砂粒含量

表 2 不同悬液搅拌不同次数的测定结果

| 样品<br>编号 | 不同颗粒含量/%             |       |       |       |                      |       |       |       | 变异系数 $C_v$ /%        |      |                      |      |      |      |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------|------|----------------------|------|------|------|
|          | 静置 1 h 后搅拌 30 次/60 s |       |       |       | 静置 2 h 后搅拌 45 次/90 s |       |       |       | 静置 1 h 后搅拌 30 次/60 s |      | 静置 2 h 后搅拌 45 次/90 s |      |      |      |
|          | 黏粒                   | 粉砂粒   | 砂粒    | 质地判断  | 黏粒                   | 粉砂粒   | 砂粒    | 质地判断  | 黏粒                   | 粉砂粒  | 砂粒                   | 黏粒   | 粉砂粒  | 砂粒   |
| 1        | 26.11                | 27.22 | 46.66 | 砂质黏壤土 | 27.39                | 25.28 | 46.59 | 砂质黏壤土 | 4.59                 | 6.87 | 4.89                 | 4.37 | 4.34 | 0.51 |
| 2        | 29.07                | 26.35 | 44.57 | 黏质壤土  | 28.63                | 28.73 | 41.89 | 黏质壤土  | 3.68                 | 6.79 | 6.13                 | 4.65 | 5.94 | 5.71 |
| 3        | 41.35                | 24.19 | 34.45 | 黏土    | 42.59                | 23.76 | 32.91 | 黏土    | 2.90                 | 6.90 | 6.50                 | 4.87 | 5.04 | 3.63 |
| 4        | 34.43                | 40.03 | 25.53 | 黏质壤土  | 34.09                | 42.07 | 23.10 | 黏质壤土  | 0.35                 | 5.62 | 6.54                 | 0.61 | 5.15 | 4.32 |
| 5        | 28.97                | 46.96 | 24.06 | 黏质壤土  | 28.63                | 47.39 | 23.24 | 黏质壤土  | 4.14                 | 2.22 | 4.28                 | 4.65 | 0.50 | 5.15 |
| 6        | 58.92                | 38.13 | 2.94  | 黏土    | 58.59                | 39.81 | 0.86  | 黏土    | 0.19                 | 6.42 | 6.46                 | 0.88 | 0.97 | 5.88 |

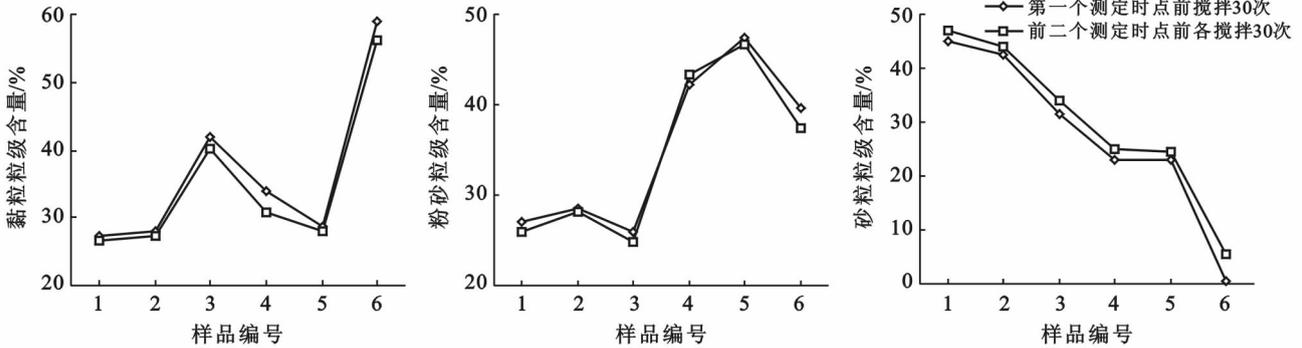


图 3 第 1 个测定时点和前 2 个测定时点前搅拌测定黏粒、粉砂粒和砂粒含量

表 3 不同测定时点搅拌的测定结果

| 样品<br>编号 | 第 1 测定时点前<br>搅拌 30 次 |       |       | 质地<br>判定 | 前两个测定时点前<br>各搅拌 30 次质地 |       |       | 质地<br>判定 | 第 1 测定时点前<br>搅拌 30 次 |      |      | 前 2 个测定时点前<br>各搅拌 30 次 |      |      |
|----------|----------------------|-------|-------|----------|------------------------|-------|-------|----------|----------------------|------|------|------------------------|------|------|
|          | 黏粒                   | 粉砂粒   | 砂粒    |          | 黏粒                     | 粉砂粒   | 砂粒    |          | 黏粒                   | 粉砂粒  | 砂粒   | 黏粒                     | 粉砂粒  | 砂粒   |
| 1        | 27.15                | 26.95 | 45.18 | 砂质黏壤     | 26.69                  | 25.78 | 46.80 | 砂质黏壤     | 4.03                 | 4.99 | 4.39 | 3.23                   | 4.58 | 4.89 |
| 2        | 28.15                | 28.53 | 42.59 | 黏质壤土     | 27.19                  | 28.21 | 43.87 | 黏质壤土     | 0.41                 | 5.27 | 4.87 | 2.56                   | 4.37 | 4.08 |
| 3        | 41.83                | 25.84 | 31.6  | 黏土       | 40.28                  | 24.99 | 34.00 | 黏土       | 2.73                 | 5.26 | 4.67 | 4.28                   | 3.02 | 4.11 |
| 4        | 33.95                | 42.23 | 23.1  | 黏质壤土     | 30.85                  | 43.19 | 25.23 | 黏质壤土     | 1.31                 | 4.18 | 5.43 | 2.97                   | 3.95 | 5.66 |
| 5        | 28.77                | 47.25 | 23.25 | 黏质壤土     | 28.09                  | 46.52 | 24.66 | 黏质壤土     | 4.16                 | 2.96 | 5.15 | 3.09                   | 5.46 | 4.31 |
| 6        | 59.1                 | 39.68 | 0.49  | 黏土       | 56.23                  | 37.59 | 5.45  | 黏土       | 0.2                  | 1.72 | 1.26 | 2.54                   | 4.81 | 2.57 |

### 3 结论

(1) 根据 Stoke's 定律的原理,土壤悬液搅拌是促使不同颗粒均匀分布的重要步骤,是影响不同颗粒含量准确测定的关键因素之一。本试验提出搅拌适

宜行程应与悬液深度相当,悬液静置时间小于 1 h,当悬液静置时间大于 1 h 时搅拌 45 次。第 1 个小时点前搅拌 30 次,分别在 3 个测定时点测定为宜。本试验所述优化方法有利于减少误差,测定准确可靠,适用于多个样品的同时检测。

(2) 由于氢氧化钠分散剂对土壤颗粒分散效果的持久性有一定时限,悬液静置过程中,土壤颗粒受悬液电解质、pH值等影响不断聚合絮凝,悬液状态有所变化,国标或行标所述30次搅拌不能使聚合絮凝的颗粒分散至单粒体状,颗粒未均匀分布,影响测定结果准确性<sup>[14-17]</sup>。45次搅拌更易于破坏颗粒的聚合絮凝状态,分散颗粒,达到最佳测定状态。因此本试验首次提出悬液静置时限对测定结果的影响,并提出增加搅拌次数的做法。

(3) 砂粒(粒径 $2\sim 0.05\text{ mm}$ )与粉砂粒(粒径 $0.05\sim 0.002\text{ mm}$ )粒径大,在 $1\sim 5\text{ min}$ 之间快速沉降;黏粒(粒径 $<0.002\text{ mm}$ )粒径小,沉降时间长达 $5\sim 6\text{ h}$ <sup>[18-19]</sup>。因此,粒径大、沉降快的粉砂粒与砂粒在搅拌行程及搅拌次数不足时不易均匀分布,从而更易影响测定结果。悬液中颗粒未达到均匀分布的最佳测定状态,所测粒径 $<0.05\text{ mm}$ 的粉砂粒及黏粒含量偏小,粒径 $0.25\sim 0.05\text{ mm}$ 砂粒含量由上述结果计算所得值偏高,故砂粒含量偏高故砂粒含量偏高,黏粒及粉砂粒含量偏低。

(4) 现有文献主要讨论分析温度、沉降筒规格、分散方法、比重计读数等对土壤机械组成测定的影响<sup>[20-21]</sup>,本试验所述悬液搅拌行程和搅拌时机的阐述,对现有土壤机械组成检测方法的理解进行明确,所述悬液静置时限及搅拌次数对现有土壤机械组成检测方法进行了补充及优化,减少误差,提高检测准确性。本试验提出的优化方法对指导实验室准确检测批量样品的土壤机械组成有着重要的现实意义。

#### [参 考 文 献]

- [1] 依丽燕. 土壤物理研究法[M]. 北京:北京大学出版社, 2009(8):19-43.
- [2] 武天云,李凤民,钱佩源. 利用离心法进行土壤颗粒分级[J]. 应用生态学, 2004, 15(3):477-481.
- [3] 刘广通,海春义,李占宏. 应用吸管法进行沙土机械组成分析的试验研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2):121-123.
- [4] 王成燕,张丽君. 激光法传统方法比较测定土壤粒度的研究[J]. 环境与发展, 2010, 22(6):57-62.
- [5] 马艳霞,冯秀丽,叶银灿,等. 比重计法和吸管法粒度分析比较[J]. 海洋科学, 2002, 26(6):63-67.
- [6] 曹玉鹏,邓永降,洪振舜. 激光法与比重计法粒度分布相关性试验研究[J]. 东南大学学报, 2012, 42(4):755-760.
- [7] 国家标准局. GB7845-87, 中华人民共和国国家标准森林土壤颗粒组成(机械组成)测定方法[S]. 北京:中国标准出版社, 1987.
- [8] 国家标准局. LY/T1225-1999, 中华人民共和国林业部行业标准森林土壤颗粒组成(机械组成)测定方法[S]. 北京:中国标准出版社, 1999.
- [9] 章明奎. 不同预处理方法对高铁土壤颗粒分析结果的影响[J]. 浙江农业大学学报, 1996(1):94-97.
- [10] 刘雪琴,黄元仿. 应用激光粒度仪分析土壤机械组成的试验研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(4):579-582.
- [11] 国家标准局. NY/T1121. 3-2006, 中华人民共和国农业部行业标准土壤机械组成测定方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [12] 杨乐苏,于彬. 比重计法测定酸性土壤机械组成的方法改进[J]. 河南林业科技, 2005, 25(3):43-44, 52.
- [13] 陈丽琼. 比重计法测定土壤颗粒组成的研究[J]. 环境科学导刊, 2010, 29(4):97-99.
- [14] 胡琼英,兰叶青,薛家骅. 土壤胶体稳定性影响因素[J]. 土壤, 1996(6):290-294.
- [15] 覃宏华,丁武泉,张智,等. 不同环境条件对土壤细颗粒絮凝沉降的影响研究[J]. 人民长江, 2013(9):72-74.
- [16] 施鲁莎,邓东升,别学清,等. 国外比重计法颗粒分析试验相关性研究[J]. 三峡大学学报:自然科学版, 2015, 37(4):39-43.
- [17] 王敏,洪健. 对密度计沉降法颗粒分析试验的一点改进[J]. 山西建筑, 2009, 35(16):173-174.
- [18] 张建根,刘学芹,宋胜虎. 浅析颗粒分析中比重计读数校正[J]. 矿产勘查, 2006, 9(7):31-32.
- [19] 李兴林,李福春. 用沉降法和激光法测定土壤粒度对比研究[J]. 土壤, 2011, 43(1):130-134.
- [20] 曹晓娟. 关于颗粒分析试验的误差分析和对策研究[J]. 铁道工程学报, 2014(2):38-40.
- [21] 刘学芹. 颗粒分析试验成果影响因素分析[J]. 城市道桥与防洪, 2013(7):304-305.