

## 土壤学实验课的目的意义及相关事项

土壤是人类赖以生存和发展的重要物质基础，也是人类从事农业生产的基地和生产资料。土壤学实验教学有利于学生深化对理论知识的理解，掌握运用基本理论和原理分析实际问题，对所学知识的认识由感性认识升华为理性认识，锻炼学生的动手能力、技术操作能力、观察能力、思维创新能力和团队合作能力，从而培养学生的综合素质。

### 一、土壤学实验课的目的与意义

(1) 通过实验课，让学生掌握土壤理化性质测试的基本操作技术、分析方法及原理，强化和巩固所学理论知识。

(2) 通过实验课，培养学生的操作能力、观察能力、分析能力、独立思考和解决问题的能力。

(3) 通过实验课，培养学生实事求是的科学态度和严谨的思维方式，

为今后的科研工作奠定基础。

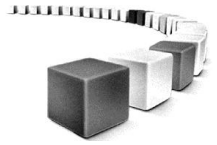
## 二、土壤学实验课的要求

(1) 实验课开始前，学生必须认真预习实验指导，回顾已学过的相关知识，初步掌握实验的目的、基本原理、主要仪器和试剂、操作步骤及注意事项。

(2) 进入实验室前应穿好实验服，不迟到，不早退，实验期间不得借故外出。如有特殊情况需要离开实验室，应征得指导教师同意。

(3) 进入实验室后，师生要遵守实验室各项规章制度。对号入座，不得随意更换座位，应保持安静，不得嬉戏打闹。实验开始前，要仔细检查仪器和试剂是否齐全，如有缺损，要及时报告实验指导老师，不得随意乱拿仪器和试剂。实验期间不得进行任何与实验无关的活动。

(4) 实验过程中，学生应细心准确地进行各项操作，要仔细观察各种现象，并做好记录；要保持实验操作台的清洁卫生，随时清除污物，不得放置与实验无关的物品；注意节约各种实验材料，共用仪器或试剂在使用完毕后应放回原处；注意实验小组内的团结、配合与分工协作，



保证实验操作井然有序。

(5) 实验结束后，学生应将实验仪器清洗干净，放到实验老师指定的位置，对于需要回收的废液，要根据要求转入废液收集瓶内，做好实验室的清洁卫生，经实验老师清点检查完毕后才能离开实验室。

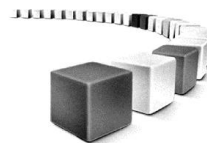
(6) 按照要求及时完成实验报告，实验报告要求书写认真、文字工整、数据真实且结果分析翔实，对数据处理结果及所观察到的现象的分析要有理有据，不得妄自非议；不得抄袭他人的实验报告。

## 实验一

# 土壤机械组成的测定——简易比重计法

土壤是由大小不同的土粒按不同的比例组合而成的，这些不同粒级的颗粒总是以各种比例关系组成土壤，这种比例关系就称为土壤的机械组成或颗粒组成。土壤机械组成对土壤的水、肥、气、热状况都有深刻的影响，是进行土壤分类、土壤改良和指导农业生产的重要依据。土壤机械组成数据是确定土壤质地、估算土壤比面和评价土壤结构性的基础资料。

土壤机械组成测定方法主要有吸管法和比重计法。吸管法较精确，但操作烦琐；比重计法操作较简单，适合大批量测定，但精确度相对于吸管法略低。在没有特殊要求的情况下，常采用比重计法测定土壤机械组成。采用比重计法测定时，需要绘制曲线，时效上较慢。而简易比重计法，对同一工厂出品的同型号比重计可以不进行比重计校正，相对于



常用的比重计法更简便快速，但精确度更低，可用于测定土壤机械组成，定性土壤质地。

## 一、实验原理

土壤样品经处理制成悬浮液，根据斯托克斯定律( Stokes law ,1845 )，用特制的甲种土壤比重计（鲍氏比重计）于不同时间测定悬浮液密度的变化，并根据沉降时间、沉降深度及比重计读数计算出土粒粒径大小及其含量百分数。

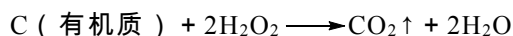
无论是吸管法还是比重计法，测定土壤机械组成一般都分为分散、筛分和沉降三个步骤。

### （一）土粒分散——土壤的复粒变成单粒

除风砂土和碱土外，绝大部分土壤是在各种胶结物质（腐殖质、无机胶体及盐类等）的作用下相互团聚而成的。采用一定的分散剂把土壤样品中的复粒分散成单粒的土壤悬液，然后再进行不同粒级的分选。根据分析要求的精度不同，用于分散土粒的方法也有所不同。

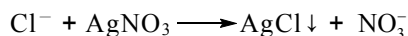
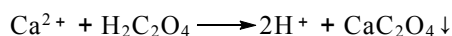
## 1. 除去有机质

土壤中含有的有机质会影响测定结果，通常采用过氧化氢（ $\text{H}_2\text{O}_2$ ）破坏土壤中的有机质。

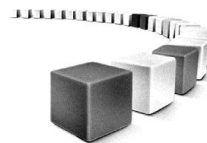


## 2. 脱钙和淋失量的测定

对于含碳酸盐的土壤样品，需要用盐酸（ $\text{HCl}$ ）处理脱钙，稀盐酸不仅可以溶解游离的碳酸钙（ $\text{CaCO}_3$ ）和其他胶结剂，还能够利用  $\text{H}^+$  代换有凝聚作用的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  等，并淋洗土壤溶液中的溶质。用草酸（ $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ）及硝酸银（ $\text{AgNO}_3$ ）检查淋洗钙的结果。



在稀盐酸淋洗中，可能会淋出一部分黏粒的组分（如无定形的二、三氧化物和水合氧化硅等），因此需要收集稀盐酸淋洗液进行化学分析测定。盐酸处理土壤后的洗失量处理原则如下：① 对于盐基不饱和的土壤，应把盐酸洗失量加入到“物理黏粒”中；② 对于盐基饱和的土壤，把盐酸洗失量加入到“物理砂粒”中。



### 3. 直接分散法

对于精度要求不高的土样,分析时采用直接分散法,并根据土壤 pH 值采用不同的分散剂。

#### (1) 酸性土壤。

50 g 土壤样品加入  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  氢氧化钠 (NaOH) 40 mL, 氢氧化钠的作用是中和酸度后使土壤胶体形成代换性钠的胶体。

#### (2) 中性土壤。

50 g 土壤样品加入  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  草酸钠 ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) 20 mL。

#### (3) 碱性土壤。

50 g 土壤样品中加入  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  六偏磷酸钠 ( $(\text{NaPO}_3)_6$ ) 60 mL, 六偏磷酸钠的作用是在厚度为 0.002 mm 的碳酸钙表面形成不溶的胶状保护物, 致使碳酸钙不再溶解。

### (二) 粗土粒的筛分

对于粒径大于 0.6 mm 的粗土粒, 用孔径粗细不同的圆筛逐级筛分处理土样悬液, 可得到不同粒径的土粒数量。常规粒径分析应该只针对直径大于 0.25 mm 的土粒进行筛分, 但由于直径大于 0.1 mm 的土壤颗

粒在水中沉降速度太快，用吸管吸取悬液得不到较好的结果，因此筛分范围可放宽到 0.1 mm。通过套筛，粗粒依次被截留在各个筛子上，以圆筛的孔径作为土粒的有效粒径，如通过 0.5 mm 圆筛而被截留在 0.25 mm 圆筛上的土粒，即认为是 0.25 ~ 0.5 mm 粒级，依此类推。

### (三) 细土粒的沉降分离

细粒部分根据颗粒半径与颗粒在静水中沉降速率的关系，计算不同粒级土粒在静水中的沉降速度，把土粒看成光滑的实心圆球，球体在介质中沉降，其沉降速度与球体半径的平方成正比，而与介质的黏滞系数成反比，即斯托克斯定律。其表达式如下：

$$v = \frac{2gr^2(d_s - d_w)}{9\eta} \quad (1.1)$$

式中： $v$ ——土粒沉降速度， $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ；

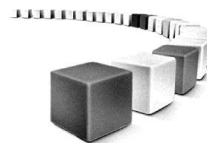
$\eta$ ——液体的黏滞系数， $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ；

$r$ ——土粒半径， $\text{cm}$ ；

$d_s$ ——土粒密度， $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，土粒密度可实测，也可取常用密度

$2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。





$d_w$ ——液体的密度， $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ；

$g$ ——重力加速度， $981\text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 。

## 二、实验仪器及试剂

### (一) 主要仪器

鲍氏比重计 ( 又称为甲种比重计 , 刻度范围为  $0\sim 60\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  , 须进行校正后使用 )、搅拌棒、沉降筒 ( 1 L 量筒 )、土壤筛 ( 2 mm )、洗筛 ( 直径 6 cm , 孔径 0.25 mm )、大漏斗 ( 直径 7~9 cm )、温度计 (  $\pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$  )、三角瓶 ( 500 mL )、电热板 ( 或酒精灯、三脚架和石棉网 )、烘箱、秒表、铝盒、天平 ( 0.01 g )。

### (二) 主要试剂

( 1 )  $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  氢氧化钠溶液 : 称取 20 g 氢氧化钠 ( NaOH , 化学纯 ) 溶于蒸馏水 , 稀释至 1 L ( 用于酸性土壤 )。

( 2 )  $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  草酸钠 (  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  ) 溶液 : 称取 35.5 g 草酸钠 (  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  , 化学纯 ) 溶于水 , 稀释至 1 L ( 用于中性土壤 )。

(3)  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  六偏磷酸钠 ( $(\text{NaPO}_3)_6$ ) 溶液：称取 51 g 六偏磷酸钠 ( $(\text{NaPO}_3)_6$ ，化学纯) 溶于水，稀释至 1 L (用于碱性土壤)。

### 三、实验步骤

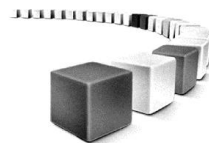
#### (一) 样品处理

##### 1. 大于 1 mm 石砾的处理

将土样自然风干，拣去粗有机质、杂物等，磨碎过 1 mm 筛，大于 1 mm 的石砾装在皿器中，加蒸馏水煮沸，用带橡皮头的玻璃棒轻轻擦洗，去除浊水，再加水煮洗，如此反复进行，直至石砾上的附着物完全去除干净。将石砾移至已称重的铝盒中，放入烘箱烘干称重。再过 3 mm 筛，分别称重，计算石砾的含量百分数。

##### 2. 风干土壤吸湿水含量的测定

将铝盒放在恒温干燥箱中于 ( $105\text{ }^\circ\text{C}\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ ) 烘约 2 h，移入干燥器内冷却至室温，称重 (精确至 0.01 g)。称取土壤样品约 5 g，均匀地平铺在铝盒中，盖好，称重 (精确至 0.01 g)，将铝盒盖倾斜放在铝盒上，置于已预热至 ( $105\text{ }^\circ\text{C}\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ ) 的恒温干燥箱中烘至恒重 (至少 6 h)，取



出,盖好,移入干燥器内冷却至室温(约 20 min),称重(精确至 0.01 g),计算风干土吸湿水含量。

## (二) 悬液制备

### 1. 分散土样

称取过 1 mm 筛孔的风干土样 50 g 转入 500 mL 三角瓶中,根据土壤的 pH 值加入不同的分散剂(酸性土壤加  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  氢氧化钠溶液 40 mL;中性土壤加  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  草酸钠溶液 20 mL;碱性土壤可加  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  六偏磷酸钠溶液 60 mL),加蒸馏水使悬液容积约为 250 mL,瓶口放一个漏斗,充分摇匀后静置 2 h。随后将三角瓶放在电热板上加热,煮沸 1 h,要不断摇动三角瓶,防止土粒沉积在瓶底结块。

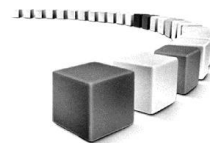
### 2. 大于 0.25 mm 土粒的筛选

将孔径为 0.25 mm 的洗筛放在漏斗中,将漏斗放在沉降筒上,待悬液冷却后,通过洗筛将悬液全部洗入沉降筒,用蒸馏水冲洗洗筛上的土粒,保证小于 0.25 mm 的土粒全部淋洗入沉降筒,直至洗筛下的淋洗液清澈,但要保证量筒内总水量不能超过 1 L,最后往量筒内加蒸馏水至

1 L 刻度。留在洗筛上的粗砂粒用蒸馏水洗入已称重的铝盒内，在电热板上蒸干后移入烘箱，放于(  $105\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  )的恒温干燥箱中烘至恒重( 至少 6 h )，移入干燥器内冷却至室温( 约 20 min )，称重( 精确至 0.01 g )，计算粗砂粒的含量百分数。

### ( 三 ) 测定悬液比重

将量筒置于昼夜温度变化较小的平稳实验台上。用搅拌棒搅拌悬液 1 min ( 上下各约 30 次，搅拌棒的多孔片不要提出液面 )，搅拌时，悬液若产生较多气泡，影响比重计读数时，可加数滴 95% 乙醇除去气泡。搅拌完毕后，立即开始计时，并测定悬液温度，根据表 1-1 查找待测的粒级最大直径值所对应的读数时间，在读数前 30 s 将比重计垂直地轻轻放入悬液，并用手略微扶住比重计的玻杆，防止比重计前后左右摆动。到了选定时间马上读数，并再次测试液温，要求二次测温误差不超过  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，否则应重新搅拌，按照上述步骤分别测出小于 0.05 mm、小于 0.01 mm、小于 0.005 mm、小于 0.001 mm 等各级土粒的比重计读数并做好记录，每次读数均以弯月面上缘为准。读数完毕后立即取出比重计，



并用蒸馏水洗净，以备后用。

表 1-1 小于某粒径颗粒沉降时间表 ( 简易比重计法 )

温度/°C	颗粒直径/cm	< 0.05	< 0.01	< 0.005	< 0.001
	沉降时间				
4		1°32'	43'	2°55'	48'
5		1°30'	42'	2°50'	48'
6		1°25'	40'	2°50'	48'
7		1°23'	38'	2°45'	48'
8		1°20'	37'	2°40'	48'
9		1°18'	36'	2°30'	48'
10		1°18'	35'	2°25'	48'
11		1°15'	34'	2°25'1"	48'
12		1°12'	33'	2°20'1"	48'
13		1°10'	32'	2°15'1"	48'
14		1°10'	31'	2°15'1"	48'
15		1°8'	30'	2°15'1"	48'
16		1°6'	29'	2°5'1"	48'
17		1°5'	28'	2°0'1"	48'
18		13'	27'30"	1°55'1"	48'
19		10'	27'	1°55'1"	48'

续表

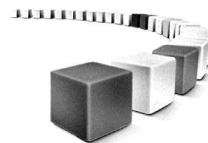
温度/°C	颗粒直径/cm	< 0.05	< 0.01	< 0.005	< 0.001
	沉降时间				
20		58'	26'	1°50'1"	48'

21	56'	26'	1°50'1"	48'
22	55'	25'	1°50'1"	48'
23	54'	24'30"	1°45'1"	48'
24	54'	24'	1°45'1"	48'
25	53'	23'30"	1°40'1"	48'
26	51'	23'	1°35'1"	48'
27	50'	22'	1°30'1"	48'
28	48'	21'30"	1°30'1"	48'
29	46'	21'	1°30'1"	48'
30	45'	20'	1°28'1"	48'
31	45'	19'30"	1°25'1"	48'
32	45'	19'	1°25'1"	48'
33	44'	19'	1°20'1"	48'
34	44'	18'30"	1°20'1"	48'
35	42'	18'	1°20'1"	48'
36	42'	18'	1°15'1"	48'
37	40'	17'30"	1°15'	48'
38	38'	17'30"	1°15'	48'
39	37'	17'	1°15'	48'
40	37'	17'	1°10'	48'

注：“°”表示小时，“'”表示分钟，“”表示秒。

#### (四) 测定值校正

(1) 分散剂校正 (即每升悬液中所含分散剂的数量): 加入样品



中的分散剂充分分散样品并分布在悬液中，故对 0.1 mm 的各级颗粒含量均需要校正。由于在计算中各级含量百分数由各级依次递减而算出，因此，分散剂占烘干样品质量的百分数可直接从测得最小一级的粒径含量中减去。

(2) 比重计读数的温度校正：由于比重计读数时不一定为 20 °C，因而温度不同时，必须将比重计读数加以校正。根据第二次测试的土液的实际温度查校正表（见表 1-2）。

表 1-2 鲍氏（甲种）比重计读数的温度校正值

悬液温度/°C	校正值	悬液温度/°C	校正值	悬液温度/°C	校正值
6.0~8.5	- 2.2	18.5	- 0.4	26.5	+ 2.2
9.0~9.5	- 2.1	19.0	- 0.3	27.0	+ 2.5
10.0~10.5	- 2.0	19.5	- 0.1	27.5	+ 2.6
11.0	- 1.9	20.0	0	28.0	+ 2.9
11.5~12.0	- 1.8	20.5	+ 0.15	28.5	+ 3.1
12.5	- 1.7	21.0	+ 0.3	29.0	+ 3.3
13.0	- 1.6	21.5	+ 0.45	29.5	+ 3.5
13.5	- 1.5	22.0	+ 0.6	30.0	+ 3.7
14.0~14.5	- 1.4	22.5	+ 0.8	30.5	+ 3.8
15.0	- 1.2	23.0	+ 0.9	31.0	+ 4.0
15.5	- 1.1	23.5	+ 1.1	31.5	+ 4.2
16.0	- 1.0	24.0	+ 1.3	32.0	+ 4.6

16.5	- 0.9	24.5	+ 1.5	32.5	+ 4.9
17.0	- 0.8	25.0	+ 1.7	33.0	+ 5.2
17.5	- 0.7	25.5	+ 1.9	33.5	+ 5.5
18.0	- 0.5	26.0	+ 2.1	34.0	+ 5.8

(3) 当石砾含量小于 5% 时, 应将 1~3 mm 石砾含量归入砂粒之内, 并包含在分析结果的 100% 之内, 若大于 5%, 则在质地命名时, 冠以“石质性”土 (见表 1-3)。

表 1-3 土壤中石质类型的分类 (卡庆斯基, 1972)

大于 1mm 土粒含量/%	石质程度	石质类型
<0.5	非石质土	—
0.5~5	轻石质土	漂砾性石质
5~10	中石质土	石砾性石质
>10	重石质土	碎石性石质

#### 四、结果计算

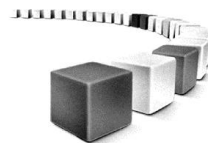
##### 1. 风干土吸湿水含量的计算

$$\text{风干土吸湿水含量}(\%) = (W_2 - W_3)/(W_3 - W_1) \times 100\% \quad (1.2)$$

式中:  $W_1$ ——烘干后铝盒质量, g;

$W_2$ ——烘干前铝盒与土壤样品总质量, g;





$W_3$ ——烘干后铝盒与土壤样品总质量，g。

## 2. 烘干土质量的计算

$$\text{烘干土质量(g)} = \frac{\text{风干土质量(g)}}{\text{风干土质量(g)} \times \text{风干土吸湿水含量(\%)} + 1000} \times 1000 \quad (1.3)$$

## 3. 比重计读数的校正计算

$$\text{校正后读数} = \text{原读数} - \text{校正正值} \quad (1.4)$$

$$\text{校正正值} = \text{分散剂校正正值} + \text{温度校正正值} \quad (1.5)$$

$$\text{分散剂校正正值(g)} = \frac{\text{加入的分散剂的体积(L)} \times \text{分散剂的摩尔浓度}(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) \times \text{分散剂的摩尔质量}(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})}{\text{分散剂的摩尔质量}(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})} \quad (1.6)$$

## 4. 小于某粒径颗粒 ( 0.25 mm 粒径以下 ) 的累积含量的计算

$$\text{某粒径颗粒含量(\%)} = \frac{\text{校正后读数}}{\text{烘干土质量}} \times 100\% \quad (1.7)$$

相邻两粒径的土粒累积百分数值相减，即该两粒径范围内的粒组百分含量（比重计法允许平行误差小于 3%）。

### 【注释】

应用斯托克斯定律的前提条件有如下几点。

(1) 沉降颗粒必须是球形、光滑、非弹性的，所以土壤样品必须充分分散成单粒状态。因此，采用稀盐酸洗净土壤样品中的可溶性钙、镁化合物及吸附在土壤胶体上的钙、镁离子，然后加入化学分散剂，使土

壤胶体表面为钠离子所饱和，再用物理方法（如加热煮沸或研磨、振荡等）使之均匀分散成单粒状。

（2）颗粒在介质中必须是自由落体、垂直沉降，因此在进行土壤颗粒分析时，须注意勿使悬液产生涡流现象，尽量避免沉降土粒的布朗运动。

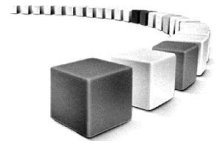
（3）沉降筒内悬液的密度，应当保证土粒在介质中自由沉降而彼此互不影响，一般以 3% 为宜，不能大于 5%。

（4）温度的改变会引起介质黏滞系数的变化，如颗粒在 20 °C 时的沉降速度就比在 100 °C 时增大 30%。所以，整个分析过程温差过大会引起介质的对流作用，而增加分析结果的误差。

（5）斯托克斯定律假设所有颗粒密度相同，但实际上只有大多硅酸盐的密度在  $2.6 \sim 2.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  之间，其他矿物和氧化铁的密度可达到  $5.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  或更高，所以粒径分析只是近似值。

（6）斯托克斯公式只适用于直径为 0.002 ~ 0.02 mm 的颗粒。当颗粒直径过大时，其沉降速度超过公式所允许的速度，颗粒沉降时就会产生紊流现象，而不是等速运动，故不能应用斯托克斯公式；颗粒直径过小

## 实验一 土壤机械组成的测定——简易比重计法



时，在沉降时易产生布朗运动，而且，颗粒受水合作用的程度大，颗粒体积及其密度因有液合膜而发生变化，从而改变了原沉降颗粒的特性。

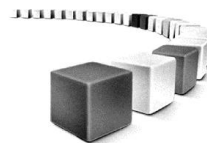
## 实验二

# 土壤机械组成的测定——吸管法

吸管法是土壤机械组成测定的主要方法之一。该方法是以斯托克斯定律为基础，利用土粒在静水中的沉降规律，将不同直径的土壤颗粒按不同粒级分开，加以收集、烘干、称重并计算各级颗粒百分含量。

### 一、实验原理

对粒径较粗的土粒（大于 0.25 mm）一般采用筛分法，逐级分离出来。对粒径较细的土粒（小于 0.1 mm），需要先把土粒充分分散，然后让土粒在一定容积的液体中自由沉降，根据粒径愈大沉降愈快的原理，采用斯托克斯定律计算出某一粒径的土粒沉降至某一深度需要的时间，在规定时间内用吸管在相应深度吸取一定体积的悬液，该悬



液中所含土粒的直径则必然都小于计算所确定的粒级直径。将吸出悬液烘干称重，计算百分含量。根据不同粒径的百分含量确定土壤机械组成及土壤质地。

## 二、实验仪器及试剂

### (一) 仪器

土壤颗粒分析吸管仪、搅拌棒、沉降筒(1 L量筒)、土壤筛、三角瓶(500 mL)、天平(感量 0.000 1 g, 0.01 g)、电热板、秒表、温度计、烘箱、烧杯(250 mL, 50 mL)、量筒、漏斗、漏斗架、真空干燥器。

### (二) 试剂

(1)  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  氢氧化钠溶液：称取 20 g 氢氧化钠(NaOH, 化学纯), 用蒸馏水定容至 1 L。

(2)  $0.25 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  草酸钠溶液：称取 33.5 g 草酸钠( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , 化学纯), 加蒸馏水溶解后定容至 1 L。