



# 土壤学实验指导

主编 王景明

江西农业大学出版社

# 序

土壤是人类赖以生存的物质基础，也是地球陆地生态系统的重要组成部分和人类社会珍贵的自然资源。但随着全球人口的增加、耕地的占用和土壤环境的破坏等，合理利用土壤资源和保护土壤环境，学习、认知和合理利用土壤，对保障国家粮食安全、生态安全和资源安全等具有重要意义。

土壤学是实践性特别强的应用基础学科，广泛服务于农业生产、生态环境保护、区域可持续发展、资源利用和保护等领域，掌握土壤学实验和实践是学习土壤学的重要组成部分，是认识与利用土壤的重要手段。

王景明老师从20世纪70年代末就在江西农业大学土壤教研室从事土壤学实验和野外调查的教学工作，具有丰富的土壤调查和室内实验的知识与经验。朱美英和肖青亮两位老师是土壤学硕士，是土壤教研室的后起之秀，掌握了现代土壤学的实验知识与技能。三位老师相互取长补短，在总结、学习和借鉴的基础上，根据土壤学教学大纲和国家土

壤测定标准编写了《土壤学实验指导》。尽管现在国内外有不少土壤学的实验指导书,但本书内容更加丰富、全面和新颖,既有土壤各种理化性状和主要肥料成分的实验室分析方法,又有土壤野外剖面观测、土壤野外调查、成土矿物与岩石等的观察实验,还有土壤实验常用试剂配制、标准筛的对照及实验室临时急救措施等内容。本书既可以作为农业资源与环境、农学、林学、生物、地学、环境等本科专业和土壤学、农学、林学和生态学等硕士研究生的教学实验指导,也可以供从事土壤学相关专业的教学、科研人员参考。

赵小敏 教授/博导

2011年5月8日

# 前言

为了适应现代教学、科研和生产等需要,我们根据土壤学教学大纲和国家土壤测定标准,编写了本书。由于篇幅有限,本书只包括七个方面的基本内容:成土矿物和岩石标本的识别、土壤水分分析、土壤物理性质分析、土壤养分分析(其中包括土壤有效N、P、K的速测法)、土壤酸碱度和氧化还原电位的分析、土壤剖面观察和自然成土因素的野外观察记载、部分肥料分析。本书可供农业、林业高等院校,农业、林业中等专业学校有关专业师生作为土壤学实验教材,也可供农业、林业、园艺科技工作者作为土壤理化分析参考或工具书,还可为基层测土施肥提供方便。考虑到分析条件等原因,书中有的部分在同一分析项目中并列了几种方法,可根据需要选用。本书由江西农业大学、海南大学、浙江大学、广州大学等学校的教师联合编写。由于编者水平有限,书中疏漏、错误之处在所难免,敬请提出宝贵意见,以便进一步修改。在本书的编写过程中,南昌师范高等专科学校博士生导师赵小敏教授和江西农业大学吴建富副教授等老师进行了悉心审阅,并提出了宝贵的意见,在此致以诚挚的谢意。

编者

2011年5月

# 目录

第一章	土壤实验的基本知识 .....	1
第二章	常见成土矿物标本的观察与认识 .....	8
第三章	常见成土岩石标本的观察与认识 .....	14
第四章	土壤样品的采集与制备 .....	20
第五章	土壤水分的测定 .....	25
第六章	土壤有机质的测定 .....	28
第七章	土壤机械分析 .....	33
第八章	土壤微团粒分析 .....	53
第九章	土壤密度(比重)的测定 .....	58
第十章	土壤容重、毛管孔隙的测定 .....	61
第十一章	土壤田间持水量的测定 .....	66
第十二章	土壤酸碱度 pH 的测定 .....	68
第十三章	土壤水解性酸的测定及石灰施用量的 计算 .....	74
第十四章	土壤代换性盐基总量的测定 .....	77
第十五章	土壤有效养分速测法(N、P、K) .....	81

第十六章	土壤全氮的测定 .....	90
第十七章	土壤碱解氮的测定 .....	97
第十八章	土壤中全磷的测定 .....	102
第十九章	土壤有效磷的测定 .....	106
第二十章	土壤全钾的测定 .....	113
第二十一章	土壤速效钾的测定 .....	116
第二十二章	土壤缓效钾的测定 .....	122
第二十三章	土壤氧化还原电位的测定 .....	124
第二十四章	氮素化学肥料中含氮量的测定 .....	129
第二十五章	钙镁磷肥中有效磷含量的测定 .....	133
第二十六章	草木灰中全钾量的测定 .....	137
第二十七章	土壤剖面的观察和记录 .....	140
第二十八章	土壤野外实习 .....	149
附录一	常用标准筛孔、筛号对照表 .....	158
附录二	常用商品试剂的近似比重、百分含量、摩尔 浓度和当量浓度 .....	159
附录三	标准酸碱溶液的配制和标定 .....	160
附录四	实验室的临时急救措施 .....	162
参考文献	.....	164

# 第一章 土壤实验的基本知识

## 1.1 简述

在进行土壤学实验的学习之前,必须学习有关的基本理论知识和基本操作技术。这些知识包括基本的数理化知识、分析实验室知识、农业生产知识和土壤化学专业知识。这些基本知识必须在有关课程的学习中及在生产实践和科学研究工作中不断吸取和累积。本章只对土壤分析用的纯水、试剂、器皿等基本知识做一些简要的说明。

## 1.2 纯水的制备

在所有的化学类实验和化学类分析工作中都普遍要用到大量的纯水,为了保证实验分析的正确性就要保证纯水的质量。一般分析用水都使用的是蒸馏水和去离子水,实验室一般是用电热蒸馏水器制得蒸馏水,或用纯水器制得去离子水。

## 1.3 实验室分析用水的标准

实验室分析用水的外观应无色透明的液体,它分为三个

等级:一级水,基本上不含有溶解或胶态离子杂质及有机物质,它可用二级水经过石英装置重蒸馏的方法制得;二级水,可允许含有微量的无机、有机或胶态杂质,可用蒸馏、反渗透或去离子后再进行蒸馏等方法制得;三级水,可采用蒸馏、反渗透或去离子等方法制得。

按照我国国家标准《实验室用水规格》(GB 6682—86)的规定,实验室用水要经过 pH、电导率、可氧化限度、吸光度及二氧化硅五个项目的测定和试验,并符合相应的规定和要求(见表 1-1)。

表 1-1 实验室用水标准<sup>\*</sup>

级别	一级水	二级水	三级水
pH	难以测定,不规则	难以测定,不规则	5.0~7.5
电导率 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	<0.1	<0.1	<5.0
可氧化 限度	无此试验项目	1L 水 + 98g/L 硫酸 10mL + 0.002mol/L 高 锰酸钾 1.0ml 煮沸 5min,淡红色不褪尽	100mL 水, 同二级水 测定
吸光度( $\lambda =$ 254nm)	<0.001(同右)	<0.01(石英比色 杯,1cm 为参比,测 2cm 比色杯中水的 吸光度)	不需此测 定项目
SiO <sub>2</sub> (mg/L)	<0.02	<0.05	不需此测 定项目

\* 详细测定方法见:楼书聪.化学试剂配制手册.江苏科学技术出版社,1995.380~386

土壤常量分析实验室的用水,一般使用三级水,有些特殊的或微量元素的分析项目可用更高纯度级别的水。其水的纯度可用电导仪测定检验,一般电导率在  $2\mu\text{s}/\text{cm}$  左右的普通蒸馏水



或纯水 pH 在 6.5 ~ 7.5 范围内即可用于常量分析。

#### 1.4 试剂的标准

我国的化学试剂标准分国家标准、部颁标准和企业标准三种,《中华人民共和国国家标准·化学试剂》制定于 1965 年,其后又在 1995 年重新修订。国家标准由化学工业部提出,国家标准局审批和发布,其代码中“GB”是“国家”的汉语拼音的缩写;其编号形式如“GB 2299—80 高纯硼酸”表示国家 2299 号,1980 年颁布。它的内容包括试剂名称、性状、分子式、分子量、试剂的最低含量、检测规则、试验方法、包装及标志等。

部颁标准由化工部组织制定、审批、发布,报送国家标准局备案,其代码是“HG(化工)”;还有一种是化工部发布的暂时执行标准,其代码为“HGB(化工部)”。其编号形式与国家标准相同。

企业标准由省化工厅或省、市标准局审批,发布在化学试剂行业或一个地区内执行。企业标准代号采用分数形式“Q/HG”或“Q、HG”即“企/化工”的汉语拼音缩写。其编号形式与国家标准相同。

在以上三种标准中,部颁标准不得与国家标准相抵触,企业标准不得与国家标准和部颁标准相抵触。

#### 1.5 试剂的规格和选用

试剂规格又叫试剂级别或试剂类别。我国试剂规格基本上按纯度划分,有高纯、光谱纯、基准、分光纯、优级纯、分析纯和化学纯七种。国家和主管部门颁布质量指标的主要是优级纯、分析纯和化学纯三种:①优级纯,属一级试剂,标签为绿色,这类试剂主要用于精密的科学研究和分析工作,规格代码为“G. R”。

②分析纯,属二级试剂,标签为红色,这类试剂主要用于一般的科学研究和分析工作,规格代码为“A. R”。③化学纯,属三级试剂,标签为蓝色,这类试剂主要用于一般的分析工作,规格代码为“C. P”。在一般的土壤常规定量分析工作中作为标准溶液、基准物质和标定剂,选用“G. R”或“A. R”试剂,其他选用“C. P”试剂就可以了。

## 1.6 常用器皿的性能、选用和洗涤

### 1.6.1 实验室常用玻璃器皿

#### 1.6.1.1 软质玻璃

软质玻璃又称普通玻璃,主要成分有二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )、氧化钙( $\text{CaO}$ )、氧化钾( $\text{K}_2\text{O}$ )、三氧化二铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、三氧化二硼( $\text{B}_2\text{O}_3$ )、氧化钠( $\text{Na}_2\text{O}$ )等。有一定的化学稳定性、热稳定性和机械强度,透明性较好,易于灯焰加工焊接。但热膨胀系数大,易炸裂、破碎。因此,多制成不需要加热的仪器,如试剂瓶、漏斗、量筒、玻璃管等。

#### 1.6.1.2 硬质玻璃

硬质玻璃又称硬料,主要成分是二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )、碳酸钾( $\text{K}_2\text{CO}_3$ )、碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )、碳酸镁( $\text{MgCO}_3$ )、硼砂( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )、氧化锌( $\text{ZnO}$ )、三氧化二铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )等,也称为硼硅玻璃。如我国的“95料”、GG-17耐高温玻璃和美国的Pyrex玻璃等。硬质玻璃的耐温、耐腐蚀及抗击性能好,热膨胀系数小,耐较大的温差(一般在 $300^\circ\text{C}$ 左右),可制成加热的玻璃器皿,如各种烧瓶、试管、蒸馏器等,但不能用于B、Zn元素的测定。此外,根据某些分析工作的要求,还有石英玻璃、无硼玻璃、高硅玻璃等。

#### 1.6.1.3 玻璃器皿的洗涤

玻璃器皿,一般先用自来水洗刷,后用少量纯水淋洗2~3

次即可。每次淋洗必须充分沥干后再洗第二次,否则洗涤效率不高。洗涤的器皿内壁应能均匀地被水湿润,不沾水滴。一般污渍可用洗衣粉(合成洗涤剂)刷洗或用铬酸洗液浸泡后再洗刷。含砂粒的洗衣粉不宜用来擦洗玻璃器皿的内壁,特别是不要用它来刷洗量器(量筒、容量瓶、滴定管等)的内壁以免擦伤玻璃。用上法不能洗去的特殊污垢,须将水沥干后根据污垢的化学性质和洗涤剂的性能,选用适当的洗涤液浸泡刷洗。例如,多数难溶于水的无机物(铁锈、水垢等)用废弃的稀 HCl 或  $\text{HNO}_3$ ; 油脂用铬酸洗涤液(温度视玻璃的质量和洗涤的难易而定)或碱性酒精洗涤液或碱性  $\text{KMnO}_4$  洗液;盛  $\text{KMnO}_4$  后遗下的  $\text{MnO}_2$  氧化性还原物用  $\text{SnCl}_2$  的 HCl 液或草酸的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  液;难溶的银盐( $\text{AgCl}$ 、 $\text{Ag}_2\text{O}$  等)用  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  液或  $\text{NH}_3$  水;铜蓝痕迹和钼磷喹啉、钼酸(白色  $\text{MoO}_3$  等)用稀 NaOH 液;四苯硼钾用丙酮等。用过的各种洗液都应倒回原瓶以备再用。器皿用清水充分洗刷并用纯水淋洗几次。

## 1.6.2 瓷、石英、玛瑙、铂、塑料等器皿

### 1.6.2.1 瓷器皿

实验室所用的瓷器皿实际上是上釉的陶器。因此,瓷器的许多性质主要由釉的性质决定。它的熔点较高( $1410^\circ\text{C}$ ),可高温灼烧,如瓷坩埚可以加热至  $1200^\circ\text{C}$ ,灼烧后重量变化小,故常常用来灼烧沉淀和称重。它的热膨胀系数为  $(3 \sim 4) \times 10^{-6}$ ,在蒸发和灼烧的过程中,应避免温度的骤然变化和加热不均匀现象,以防破裂。瓷器皿对酸、碱等化学试剂的稳定性较玻璃器皿的稳定性好,然而同样不能和 HF 接触,过氧化钠及其他碱性溶剂也不能在瓷器皿或瓷坩埚中熔融。

### 1.6.2.2 石英器皿

石英器皿的主要化学成分是二氧化硅,除 HF 外,不与其他

酸作用。在高温时,能与磷酸形成磷酸硅,易与苛性碱及碱金属碳酸盐作用,尤其在高温下,侵蚀更快,然而可以用焦磷酸钾熔融。石英器皿对热稳定性好,在 1700℃ 以下不变软,不挥发,但在 1100 ~ 1200℃ 开始失去玻璃光泽。由于其热膨胀系数较小,只有玻璃的 1/15,故而热冲击性好。石英器皿价格较贵,脆而易破裂,使用时须特别小心,其洗涤的方法大体与玻璃器皿相同。

#### 1.6.2.3 玛瑙器皿

玛瑙器皿是二氧化硅胶溶体分期沿石空隙向内逐渐沉积成的同心层或平层块体,可制成研钵和杵,用于土壤全量分析时研磨土样和某些固体试剂。

玛瑙质坚而脆,使用时可以研磨,但不可将杵击撞研钵,更要注意勿摔落地上。它的导热性能不良,加热时容易破裂,所以,无论在什么情况下都不得烘烤或加热。玛瑙是层状多孔体,液体能渗入层间内部,所以玛瑙研钵不能用水浸洗,而只能用酒精擦洗。

#### 1.6.2.4 铂质器皿

铂的熔点很高(1774℃),导热性好,吸湿性小,质软,能很好地承受机械加工,常用铂与铱的合金(质较硬)制作坩埚和蒸发器皿等分析用器皿。铂的价格很贵,约为黄金的 9 倍,故使用铂质器皿时要特别注意其性能和使用规则。

#### 1.6.2.5 塑料器皿

聚四氟乙烯的化学稳定性和热稳定性好,是耐热性能较好的有机材料,使用温度可达 250℃。当温度超过 415℃ 时,急剧分解。它的耐腐蚀性好,对于浓酸(包括 HF)、浓碱或强氧化剂,皆不发生作用。可用于制造烧杯、蒸发器皿、表面皿等塑料器皿。聚四氟乙烯制的坩埚能耐热至 250℃(勿超过 300℃),可以代替铂坩埚进行 HF 处理,塑料器皿对于微量元素和钾、钠的分

析工作尤为有利。

### 1.7 滤纸的性能与选用

滤纸分为定性滤纸和定量滤纸两种。定性滤纸灰分较多,供一般的定性分析用,不能用于定量分析。定量滤纸经盐酸和氢氟酸处理,再经蒸馏水处理,灰分较小,适用于精密的定量分析。此外,还有用于色谱分析的层析滤纸。

选择滤纸要根据分析工作对过滤沉淀的要求和沉淀性质及其量的多少来决定。国产定量滤纸的类型、适用范围、规格见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 国产定量滤纸的类型和适用范围

类型	色带标志	性能和适用范围
快速	白	纸张组织松软,过滤速度最快,适用于保留粗度沉淀物,如氢氧化铁等
中速	蓝	纸张组织较密,过滤速度适中,适用于保留中等细度沉淀物,如碳酸锌等
慢速	红	纸张组织最密,过滤速度最慢,适用于保留微细度沉淀物,如硫酸钡等

表 1-3 国产定量滤纸规格

圆形直径(cm)	7	9	11	12.5	15	18
灰分每张含量(g)	$3.5 \times 10^{-5}$	$5.5 \times 10^{-5}$	$8.5 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{-4}$

定性滤纸的类型与定量滤纸相同(无色带标志),灰分含量小于 2g/kg。

国外某些定量滤纸的类型有 Whatman 41 S. S589/1(黑带)粗孔、Whatman 40 S. S589/2(白带)中孔、Whatman 42 S. S589/3(蓝带)细孔。

## 第二章 常见成土矿物 标本的观察与认识

### 2.1 简述

土壤是由母质发育而成,母质是岩石风化的产物,岩石是矿物的集合体,而矿物本身又有它的化学组成和物理性质,因此学习土壤学,必须先学习岩石和矿物,以了解土壤母质,为学习土壤学打下基础。

本实验使用放大镜、条痕板、小刀、硬度计、小锤、稀盐酸等物品,对主要的造岩矿物和成土岩石进行肉眼观察鉴定。

### 2.2 形态

矿物形态除表面为一定几何外形的单独体外,还常常聚集成各种形状的集合体,常见的有下列形态:

柱状——由许多细长晶体组成,平行排列,如角闪石。

板状——形状似板,如透明石膏、斜长石。

片状——可以剥离成极薄的片体,如云母。

粒状——大小和排列具有一定规律的晶粒的集合体,如橄榄石、黄铁矿。

块状——结晶或不结晶的矿物，成不定形的块体，如结晶的块状石英，非结晶的蛋白石。

土状——细小均匀的粉末状集合体，如高岭石。

纤维状——晶体细小，纤细平行排列，如石棉。

鲕状——似鱼卵状的圆形小颗粒集合体，如赤铁矿。

豆状——集合体呈圆形或椭圆形，大小似豆者，如赤铁矿。

## 2.3 颜色

矿物首先引人注意的是它的颜色，矿物的颜色是其重要特征之一。一般来说，不透明体的颜色是由反射的光色决定的。如孔雀石为绿色，是因孔雀石吸收绿色以外的色光而独将绿色反射所致。根据颜色的成因可分为自色、他色和假色。

自色——矿物本身所含的化学成分中，具有的色素表现出来的颜色，如石英的白色。

他色——矿物因为含有外来的带色素的杂质而产生的颜色，如无色透明的石英(水晶)因锰的混入而被染成紫色，即是他色。

假色——矿物内部裂缝、解理面及表面由于氧化膜的干涉效应而产生的颜色。

## 2.4 条痕

矿物粉末的颜色。将矿物在无釉瓷板上刻划(必须注意矿物硬度小于瓷板)，所留在瓷板上的颜色即为条痕。条痕对有色矿物有鉴定意义。

## 2.5 光泽

矿物表面反射可见光波的能力称光泽。按其表现可分为：

(1) 金属光泽——如黄铁矿。

(2) 半金属光泽——如赤铁矿。

(3) 非金属光泽——玻璃光泽,如石英晶面;油脂光泽,如石英断口面;丝绢光泽,如石棉;珍珠光泽,如白云母;土状光泽,如高岭石。

## 2.6 硬度

矿物抵抗刻划、压入和研磨的能力即为硬度。常常用两个矿物相对刻划的方法得出其相对硬度。硬度的大小,以摩氏硬度计的十种矿物作标准,从滑石到金刚石依次定为十个等级,其排列次序见表 2-1。

表 2-1

代表矿物	滑石	石膏	方解石	萤石	磷灰石	正长石	石英	黄玉	刚玉	金刚石
硬度等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

在野外可用指甲(硬度 2~2.5)、回形针(3)、玻璃(5)、小刀(5~5.5)、钢锉(6~7)代替标准硬度计。

## 2.7 解理

矿物受击后沿一定方向裂开成光滑平面的性质称为解理,裂开的平面称为解理面。按其裂开的难易、解理面的厚薄、大小及平整光滑程度,一般可有下列等级:

(1) 极完全解理——解理面平整光滑,易分裂成薄片状,如云母。

(2) 完全解理——解理面平滑,不易发生断口,往往可沿解理面裂开成小块,其外形仍与原来的晶形相似,如方解石的菱面



体小块。

(3) 中等解理——在矿物碎块上,既可看到解理面,又可看到断口,如长石、角闪石。

(4) 不完全解理——在矿物的碎块上,很难看到明显的解理面,大部分为断口,如磷灰石。

(5) 无解理——矿物碎块中除晶面外,找不到其他光滑的面,如石英。

必须指出,在同一矿物上可以有不同方向和不同程度的几向解理出现。例如云母具有一向极完全解理;长石、辉石具有二向完全解理;方解石具有三向完全解理等。

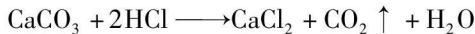
## 2.8 断口

矿物受击后,产生的不规则的破裂面,称为断口。在解理不发达及非结晶矿物受击后,容易发生断口。其形状有贝壳状(如石英的断口)、参差状(如自然铜)、平坦状(如磁铁矿)等。

同一矿物,解理与断口的性质表现出互为消长的关系,如极完全解理的云母,则不易见到断口。

## 2.9 盐酸反应

含有碳酸盐的矿物,加盐酸会放出气泡,其反应式:



根据与 10% 的盐酸发生反应时放出气泡的多少,可分四级:

低——徐徐的放出细小气泡。

中——明显起泡。

高——强烈起泡。

极高——剧烈起泡,呈沸腾状。