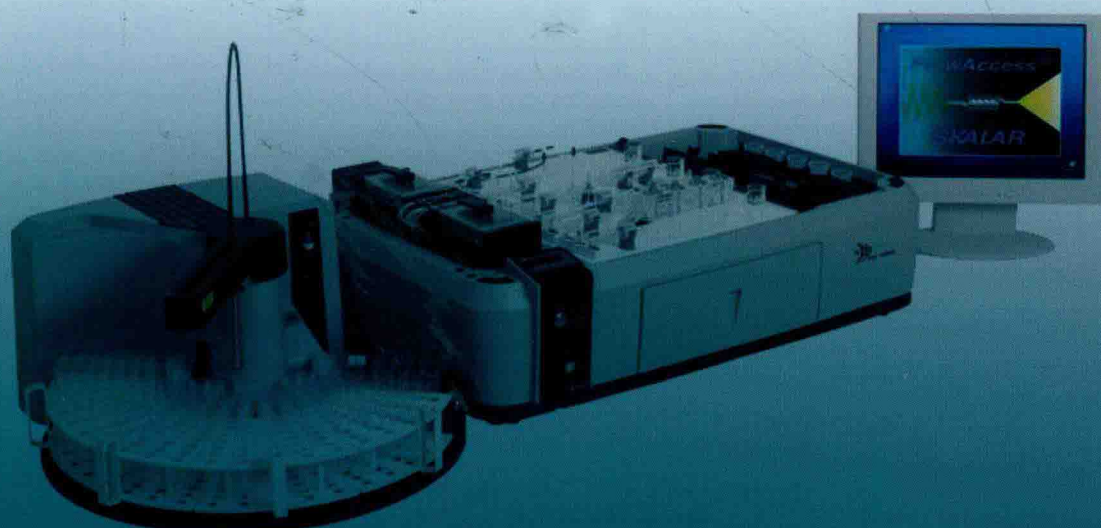


国家自然科学基金面上项目 (31770529, 41601090, 41877337)
重庆市自然科学基金项目 (cstc2018jcyjAX0813)
重庆市教育委员会科学技术研究项目 (KJZD-K201801201, KJQN20181230)
重庆市高校重点实验室项目 (WEPKL2016ZD-01, WEPKL2016ZZ-01)
江苏省自然科学基金 (BK20160950)
江苏省高校自然基金 (16KJB170009)

环境土壤学分析测试与研究方法

林俊杰 刘丹 于志国 著



东北大学出版社
Northeastern University Press

国家自然科学基金面上项目(31770529, 41601090, 41877337)

重庆市自然科学基金项目(cstc2018jcyjAX0813)

重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJZD-K201801201, KJQN20181230)

重庆市高校重点实验室项目(WEPKL2016ZD-01, WEPKL2016ZZ-01)

江苏省自然科学基金(BK20160950)

江苏省高校自然基金(16KJB170009)

环境土壤学分析测试与研究方法

林俊杰 刘 丹 于志国 著

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 林俊杰 刘 丹 于志国 2018

图书在版编目 (CIP) 数据

环境土壤学分析测试与研究方法 / 林俊杰, 刘丹,
于志国著. — 沈阳: 东北大学出版社, 2018. 6

ISBN 978-7-5517-1919-3

I. ①环… II. ①林…②刘…③于… III. ①环境土
壤学—沉积物—分析方法②环境土壤学—沉积物—测试技
术③环境土壤学—沉积物—研究方法 IV. ①X144

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 153207 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路三号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024-83687331(市场部) 83680267(社务部)

传真: 024-83680180(市场部) 83680265(社务部)

E-mail: neuph@neupress.com

网址: <http://www.neupress.com>

印 刷 者: 沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm×240mm

印 张: 9.5

字 数: 151 千字

出版时间: 2018 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2018 年 6 月第 1 次印刷

组稿编辑: 周文婷

责任编辑: 潘佳宁

责任校对: 张雪娇

封面设计: 潘正一

ISBN 978-7-5517-1919-3

定 价: 54.00 元

《环境土壤学分析测试与研究方法》

著作名单

林俊杰 重庆三峡学院

刘 丹 重庆三峡职业学院

于志国 南京信息工程大学

前 言

土壤与粮食生产与安全、人类健康与生存密切相关，同时，在环境保护、全球气候变化等领域也发挥着重要作用。土壤学发展历史悠久，理论与研究方法日渐成熟，主要包括土壤物理学、土壤化学、土壤生物学和土壤地理学等分支学科。近年来，土壤学与全球气候变化关系密切，且土壤污染与修复研究成为重要方向，呈现多学科交叉快速发展态势。研究热点不断涌现，主要包括：“重金属污染与生物累积效应”“土壤有机污染与生物降解”“土壤管理与元素循环”“土壤固碳与全球气候变化”“土壤微生物与环境污染”“土壤理化性质与水盐运移”“土壤有机碳与环境效应”“土壤区域环境与空间变异”等方面。

全书共分为7章，第1章为土壤样品的采集、处理与保存，详细介绍了土壤剖面、盐分、原状等样品的采集、前处理方法及常用采样工具等。第2章为土壤基本性质，介绍了土壤pH值、含水量、容重、粒径组成的测定方法。第3章为土壤碳分析，介绍了土壤总碳、可溶性有机碳、颗粒有机碳、水溶性碳水化合物、非结构碳水化合物、溶解性有机碳的生物可降解性、微生物量碳、土壤轻重组有机碳、活性有机碳以及土壤活性、非活性碳、碳库活度、碳库指数、土壤呼吸速率等的分析与研究方法。第4章为土壤氮分析，介绍了土壤全氮、土壤无机氮、氮形态、净氮矿化和总氮矿化等测试与研究方法。第5章为土壤磷、钾、硫、铁分析，介绍了土壤总磷、有效磷、速效磷、磷形态、微生物磷、水溶液中硫化物、水溶液中二价铁和三价铁等分析与研究方法。第6章为土壤生物学性质，介绍了土壤微生物多样性、土壤酶、土壤氨基糖和线虫群落组成与多样性的测定与研究方法。第7

章为土壤重金属，介绍了土壤、沉积物和植物样品中重金属测定的消解方法以及原子吸收分光光度法和电感耦合等离子体原子发射光谱法。

在研究和撰写本书过程中，得到了国家自然科学基金面上项目(31770529, 41601090, 41877337)，重庆市自然科学基金项目(cstc2018jcyjAX0813)，重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJZD-K201801201, KJQN20181230)，重庆市高校重点实验室项目(WEPKL2016ZD-01, WEPKL2016ZZ-01)，江苏省自然科学基金(BK20160950)，江苏省高校自然科学基金(16KJB170009)的资助，同时得到了张帅、曲衍桦、陈茜、周爽等的大力帮助，特此向他们表示深深的谢意。此外，书中引用了大量国内外相关专家、学者的研究成果，在此一并致谢。

著 者

2018年5月16日

目 录

第 1 章 土壤样品的采集、处理与保存	1
1.1 土壤样品采集方法	1
1.2 土壤采样工具	5
1.3 土壤样品前处理	6
1.4 土壤样品保存方法	7
第 2 章 土壤基本性质	9
2.1 土壤 pH 值	9
2.2 土壤含水量的测定 (烘干法)	12
2.3 土壤最大持水量的测定 (环刀法)	13
2.4 土壤容重的测定 (环刀法)	14
2.5 土壤粒径的测定	15
2.6 手动团聚体分级	26
第 3 章 土壤碳分析	29
3.1 有机质	29
3.2 碳	31
3.3 土壤碳库	45
3.4 土壤呼吸速率	49
3.5 土壤底物有效性	52
第 4 章 土壤氮分析	55
4.1 总氮	55
4.2 土壤无机氮	58

4.3	土壤结合态氮	67
4.4	土壤氮矿化	68
4.5	土壤微生物生物量氮——氯仿熏蒸浸提法	72
第5章	土壤磷、钾、硫、铁分析	77
5.1	土壤磷	77
5.2	土壤钾	92
5.3	土壤硫	96
5.4	土壤铁	99
第6章	土壤生物学性质	102
6.1	微生物多样性——PLFA	102
6.2	土壤酶活性	106
6.3	土壤氨基糖	118
6.4	土壤线虫群落组成和多样性——蔗糖梯度离心法	122
第7章	土壤重金属	125
7.1	土壤重金属消解	125
7.2	原子吸收分光光度法	129
7.3	电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES)	131
附图	常用仪器、工具	134

第1章 土壤样品的采集、处理与保存

1.1 土壤样品采集方法

1.1.1 原状土壤样品

为测定某些土壤物理性质，需要采集原状样品。土壤物理性质的测定，包括土壤孔隙度、土壤容重等土壤结构方面的测定，可直接用环刀在各土层中取样。在取样过程中，尽量保持土壤的原状，保持土块不受挤压，避免样品变形[见图 1-1-1(a)(b)]；采样时，注意土壤湿度大小，不宜过干或过湿，最好在经接触不变形、不粘铲时分层取样，如有受挤压变形的部分则不宜采用。土样采集后要装入铁盒中保存，根据拟测定项目的要求装入铝盒或环刀，携带到室内进行分析测定[见图 1-1-1(c)]。



(a)



(b)



(c)

图 1-1-1 环刀取样

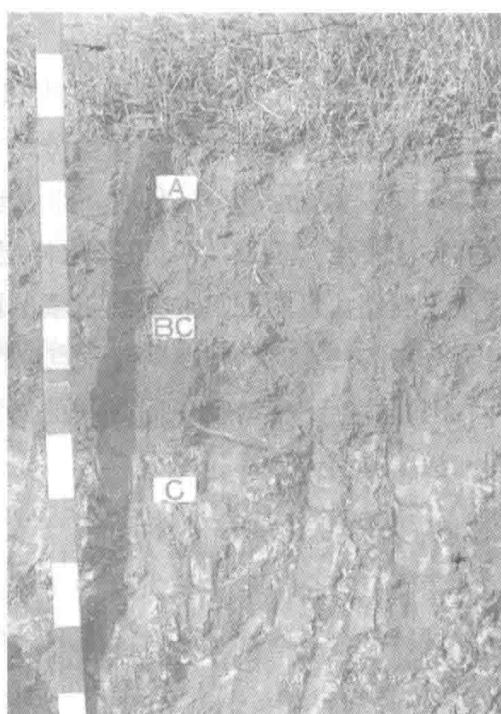
1.1.2 土壤剖面样品

土壤剖面指从地表到母质层的垂直断面。不同类型土壤具有不同形态的土壤剖面。土壤剖面可表示土壤的外部特征，包括土壤的若干发生层次、颜色、质地、结构、新生体等。在土壤形成过程中，由于物质的迁移和转化，土壤分化成一系列组成、性质和形态各不相同的层次，称为发生层。发生层的顺序及变化情况，反映了土壤的形成过程及土壤性质。土壤剖面发生层一般分为：表土层（A 层）、心土层（B 层）和底土层（C 层）。底土层中，还包括潜育层（G 层）。

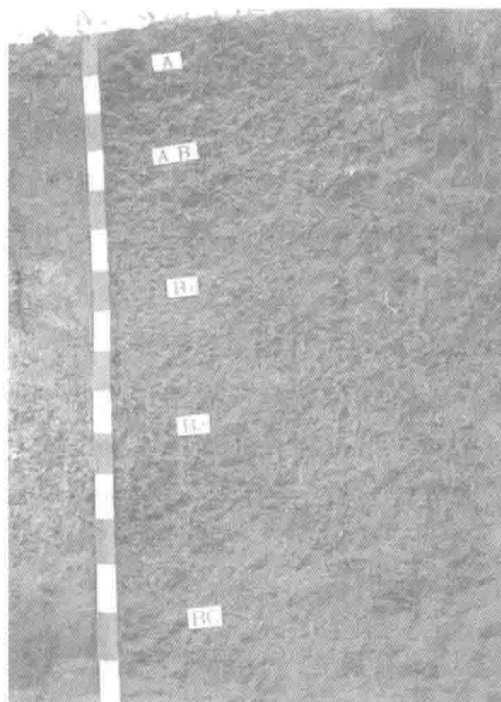
土壤剖面样品，按土壤发生层次采样，一般用于研究土壤基本理化性质。先在选择好的剖面位置挖掘 1 个长方形土坑，规格为 1.0m×1.5m 或者 1.0m×2.0m，土坑的深度根据具体情况确定，大多在 1~2m，一般要求达到母质层或地下水位。观察面为长方形较窄向阳的一面，挖出的土严禁放在观察面的上方，应置于土坑两侧。然后自上而下划分土层，根据土壤剖面的结构、湿度、颜色、松紧度、质地、植物根系分布等进行确定。在分层基础上，按计划项目仔细进行逐条观察并做出描述与记录，为便于分析结果审查时参考，应当在剖面记载簿内逐一记录剖面形态特征。观察记录完成后，采集分析样品时，自上而下逐层进行，无需采集整个发生层。对各发生土层中部位置的土壤进行采集，将采好的土样放入样品袋内，并准备好标签（注明采集地点、层次、剖面号、采样深度、土层深度、采集日期和采集人等信息），将标签同时附在样品袋的内外。



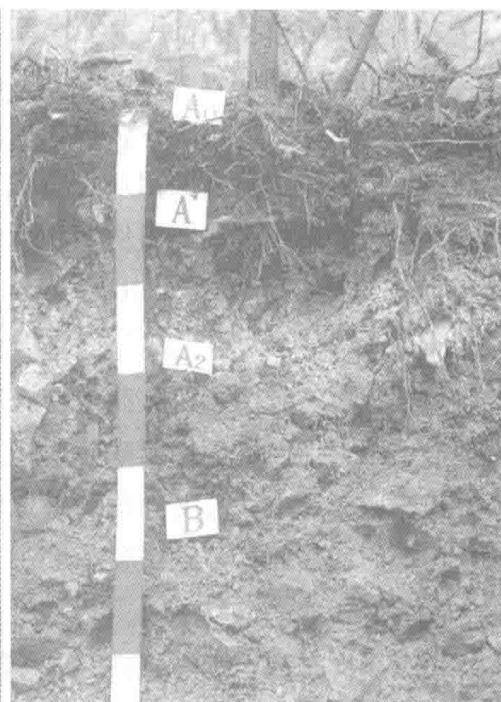
(a) 暗棕壤剖面图



(b) 红壤剖面图



(c) 褐土剖面图



(d) 灰化土剖面图

图 1-1-2 土壤剖面图

1.1.3 土壤盐分动态样品

为掌握土壤中盐分的积累规律和动态变化,需要采集盐分动态样品。淋溶和蒸发是造成土壤剖面中盐分季节性变化的主要原因,因此这类样品的采集应按垂直深度分层采取。即从地表起每 10cm 或 20cm 划 1 个采样层,取样方法多用“段取”,即在该取样层内自上而下,全层均匀采取,这样有利于土壤储盐量的计算或绘制土壤剖面盐分分布图。而研究盐分在土壤中垂直分布的特点时,则多采用“点取”,即在各取样层的中部位置取样。此外,因盐分上下移动受不同时间的淋溶与蒸发作用的影响很大,对采样时间和深度应引起重视。

1.1.4 平均(混合)样品

为研究符合苗木生长发育的土壤条件,在苗圃或实验地分数处采集土壤并进行混合。通常采取一定深度(随苗木根系深度而定)的土壤或只取耕作层土壤。

(1) 选点。

土壤样品化验结果,代表采样单元面积的土壤情况。如样品没有代表性,即使化验再准确也无实用价值,因此,必须在采样田块中多点采样,混合均匀。采样点数的多少,根据地形地貌、肥力均衡性和采样田块的大小而定。地形地貌复杂的田块设点数多些;肥力差异较大的田块,相应要比肥力均匀的田块多些;田块面积大的要比田块面积小的多些。一般田块面积小于 0.7hm^2 ,取 5~10 个点; $0.7\sim 3.3\text{hm}^2$,取 10~15 个点;大于 3.3hm^2 取 15 个点以上。采样点分布的原则是均匀,不能过于集中,注意避开田边、沟边、肥堆边和前茬作物施肥处等特殊位置。根据田块大小、地形地势、肥力均匀性等因素确定,用对角线、棋盘式和蛇形等三种方法采样。田块面积较小,可用对角线采样法;田块面积中等,可用棋盘式采样法;田块面积较大,可用蛇形采样法(如图 1-1-3)。

(2) 取样。

每点采样时,先铲去表层杂质(若有明显杂质),再用铁铲铲成 V 字形土坑,深度与耕层相同,一般为 15~20cm。将土坑一面铲成垂直面,然后从垂直面铲取一块 2~5cm 厚、上下层厚度一致的土样,用刀垂直划去土块左右两边,留下长条形土块即为采样土块。每个采样点的取土深度应均匀

一致，所取土块上下层厚度要相同，采样土块重量大致相等。如测试微量元素，需用非金属器具采样。



图 1-1-3

(3) 样品重量、标签和装袋。

送到化验室的样品，重量要求 1kg 左右。在采样过程中，将多点采集的土壤集中在一起，称为混合样。混合样重量较大，所以要去掉部分样品。方法是：将混合样摊在塑料布上，除去动植物残体、石砾等杂质。如果动植物残体、石砾等杂质过多，应将混合样、杂质分别称重记录。需将大块的样品破碎，注意混匀，摊成圆形，中间划十字分成四份，然后对角线去掉 2 份，留取 2 份，这种方法称为“四分法”（见图 1-1-4）。若样品还多，将样品再混合均匀，反复进行“四分法”，直至样品重量为 1kg 左右。用铅笔写好样品标签，每个样品须写 2 个标签，标签内容包括编号、采样地点、采样深度、田块位置（或经纬度）、农户姓名、采样人、采样时间等。可用专用土样袋或塑料袋装样品，样品装进统一的样品袋，内外各附一张标签。

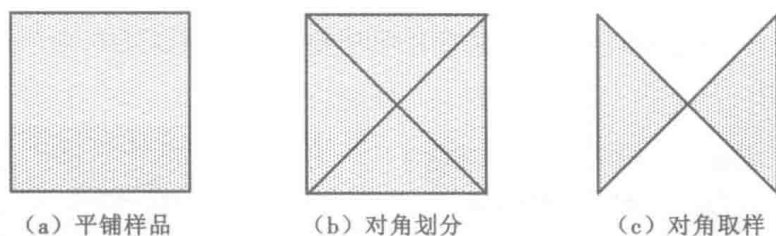


图 1-1-4 四分法

1.2 土壤采样工具

(1) 工具类。

铁铲、铁镐、土钻、土刀、土铲等。

(2) 器材类。

GPS、罗盘、高度计、卷尺、标尺、环刀、铝盒、盐分速测仪、土壤养分速测仪、渗水速率测定仪、样品袋、标本盒、照相机、卷尺及其他特殊器材。

(3) 安全防护用品类。

工作服、雨具、防滑登山鞋、安全帽、常用药品等。

(4) 其他。

标签、记录表格、文具类。

1.3 土壤样品前处理

1.3.1 风干

除了某些项目（如田间水分、硝态氮、铵态氮、亚铁等）需用新鲜土样测定以外，一般项目都用风干样品进行分析。将土壤样品弄成碎块平铺在干净的纸上（或土壤风干盘中），堆成薄层放于室内阴凉通风处（通常在气温 $25\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，空气相对湿度为 $20\%\sim 60\%$ 时），经常加以翻动，以加速干燥，并随时拣去粗大的植物残体、结核等物。风干时各个土样应处于相同条件下。在有条件的情况下也可在通风橱中风干，切忌阳光直接曝晒，也勿使酸碱、蒸汽或氮等气体侵入，风干时在土面上盖上薄纸，以防尘土落入。待土样半干时，须将大土块碾碎（尤其是黏性土壤），以免完全干燥后结成硬块，难以磨细。将一个带编号（用铅笔写）的不怕水湿的塑料标签放于土中，并注意此标签在随后的磨碎时必须取出，以防和土一起被磨碎而混在土中。



图 1-3-1 土样风干

1.3.2 冻干

将采集的土壤样品收集到密闭的非金属容器，根据样品分隔要求，将土壤样品置于样品盘内，套入样品冻干保护膜，放入冻干机内，预冻开始。预冻结束后，执行干燥程序（可直接调用内嵌干燥程序），干燥结束后收集冻干机土壤样本，长期保存需真空密封。

1.3.3 研磨过筛

（1）研钵研磨。

挑出自然风干土样内的植物残体，使土体充分混匀，称取土样约 500g 放在研钵内研磨。用四分法取 500g 干土样放在硬木盘上，用木棒碾压（不可用铁棒或岩石粉碎机，以防压碎石块或铁污染），用孔径为 1mm 的筛子过筛，直至全部筛完（检验方法是用手搓石块时，无土粒黏附在手上），将大于 1mm 的石砾称重，计算石砾占总土重的百分数，然后弃去；小于 1mm 的土样，经充分混合后，置于广口瓶中，贴上标签。

（2）球磨仪研磨。

风干样品的粒径不超过 8mm 时可用冷冻混合球磨仪，其是实验室样品前处理的必备仪器，主要用于少量样品的干磨、湿磨以及低温研磨和快速粉碎，需要的样品量不是很大，但可在极短的时间内达到混合、均化和精细研磨的效果，可同时研磨两组样品，最终出样尺寸约 5 μ m。

1.4 土壤样品保存方法

在生产和科研工作中的土壤样品，通常应保存半年至一年，以备必要时核查，标准样品或对照样品则需长期妥善保存，保存的分析样品须密装在磨口塞的广口瓶中，瓶上贴有标签，瓶内放有一张同样的标签，以防瓶外标签脱落。标签上记明土样号码、土类名称、采样土点、采土深度、采样日期、采取人等项目（见图 1-4-1），一般样品在分析后，剩余部分也可装入纸袋保存。瓶装和纸袋装样品，应避免存放在受日光、高温、

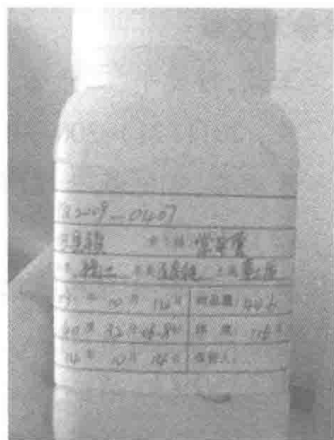


图 1-4-1 样品保存示例

潮湿和酸碱气体等影响的环境中。

表 1-4-1

标准筛孔对照表

筛号	筛孔直径/mm	筛号	筛孔直径/mm
2.5	8.00	35	0.50
3	6.72	40	0.42
3.5	5.66	45	0.35
4	4.76	50	0.30
5	4.00	60	0.25
6	3.36	70	0.21
7	2.83	80	0.177
8	2.38	100	0.149
10	2.00	120	0.125
12	1.68	140	0.105
14	1.41	170	0.088
16	1.18	200	0.074
18	1.00	230	0.062
20	0.84	270	0.053
25	0.71	325	0.044
30	0.59		

本章参考文献

- [1] 王娟,孙爱平,王开营,等.土壤样品采集的原则与方法[J].现代农业科技, 2011(21):300-301.
- [2] 奚廷孔,张艳新.土壤样品的采集和处理技术[J].广西农学报,2007,22(3):36-37.
- [3] 陶澍,曹军.土壤中水溶性有机碳测定中的样品保存与前处理方法[J].土壤通报,2000,31(4):174-176.

第2章 土壤基本性质

2.1 土壤 pH 值

2.1.1 实验原理

采用电位法测定土壤 pH 值是将 pH 玻璃电极和甘汞电极（或复合电极）插入土壤悬液或浸出液中构成原电池，测定其电动势值并换算成 pH 值。

在酸度计上测定，经过标准溶液校正后可直接读取 pH 值。水土比对 pH 值影响较大，尤其对于石灰性土壤稀释效应的影响较为显著。因此，采取较小水土比为宜，本方法采用水土比为 2.5 : 1。此外，酸性土壤除测定水浸土壤 pH 值外，还应测定盐浸 pH 值，即以 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 溶液浸提土壤 H^+ 后，用电位法测定。本方法适用于各类土壤 pH 值的测定。

2.1.2 实验试剂

① 去离子水。

② $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钾溶液：称取 74.6g 氯化钾溶于 800mL 去离子水中，用稀氢氧化钾和稀盐酸调节溶液 pH 值为 5.5~6.0，稀释至 1L。

③ pH 值为 4.01（25℃）标准缓冲液：称取经 110~120℃ 烘干 2~3h 的邻苯二甲酸氢钾 10.21g 溶于水，移入 1L 容量瓶，定容，储于聚乙烯瓶中。

④ pH 值为 6.86（25℃）标准缓冲溶液：称取经 110~130℃ 烘干 2~3h 的磷酸氢二钠 3.533g 和磷酸二氢钾 3.388g 溶于水，移入 1L 容量瓶，定容，储于聚乙烯瓶中。