



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

基础化学实验

(第二版)

刘汉兰 陈 浩 文利柏 主编



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

基础化学实验

(第二版)

刘汉兰 陈 浩 文利柏 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是教育部“新世纪教学改革工程——农科类实验课程体系教学改革研究”的研究成果。

全书共分三个部分:第一篇,介绍化学实验的基本知识、基本原理、基本方法和基本技术;第二篇,实验选编,按照“基础层次—提高层次—综合性设计性实验”等三个层次,选编了分离提纯实验、制备实验、物理量的测定、验证性实验、定量分析实验,以及综合性设计性实验等内容,并特别安排了研究型实验项目,为学生实现自主性探究研究搭建平台;第三篇,附录——包括化学实验中常用仪器的操作方法与常用数据。全书共编写了70个实验。

本书可以作为高等农林院校农、林、水及生物等相关专业和其他院校生物类专业化学实验教材,也可以作为相关专业科研人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

基础化学实验/刘汉兰,陈浩,文利柏主编. —2版. —北京:科学出版社, 2009

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-025081-0

I. 基… II. ①刘…②陈…③文… III. 化学实验-高等学校-教材
IV. O6-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 127512 号

责任编辑:赵晓霞 杨向萍 魏晓焱 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年8月第 二 版 印张:23 1/2

2009年8月第五次印刷 字数:469 000

印数:12 001—16 000

定价:33.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《基础化学实验》(第二版)

编委会

主 编 刘汉兰 陈 浩 文利柏
副主编 李雪刚 刘永红 岳霞丽
康勤书 廖水姣

编 委(以姓氏拼音排序)

陈 浩	胡先文	瞿 阳
康勤书	李 庆	李胜清
李雪刚	梁建功	廖水姣
刘汉兰	刘永红	陆冬莲
马宗华	王嘉讯	文利柏
肖志东	薛爱芳	岳霞丽
张新萍	周媛媛	朱书奎

主 审 陈长水 韩鹤友

第二版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是教育部“新世纪教改工程——农科类实验课程体系教学改革研究”和湖北省教学研究项目“农科基础化学实验研究性教学模式的构建与实践”的研究成果。

本书第一版于2005年出版,在4年的教学使用过程中得到了广大师生的大力支持与厚爱,他们对本书提出了许多中肯的意见与建议。本次再版,编者尽可能采纳这些意见与建议,并结合近几年教学研究与改革的成果,在保持原有特色和编排体系的基础之上,对第一版进行了修正与充实。

随着教育质量工程的不断深入,为了培养学生“探究式”学习习惯和创新意识,针对农林院校非化学专业低年级学生的特点和专业背景,本书增加了研究型实验内容,为学生搭建探究性学习平台,提高学生创新意识和综合运用知识的能力。在内容上注重结合农林科专业特点,体现绿色化学理念以及环境保护意识。

此外,针对实验技术的发展,增加了全二气相色谱、拉曼光谱分析、现代光学探针技术以及纳米材料合成技术等内容的介绍,并提供了相关的参考文献,供学生了解科学技术的发展与应用。希望通过这次修订,使本书更加完善,适用性和针对性更强。

由于编者水平有限,难免出现错误和缺点,恳请读者批评指正。

最后,借本书出版之际,诚挚地向华中农业大学教务处、理学院和广大读者表示衷心的感谢!

编 者

2009年3月于武汉

第一版前言

本书是教育部“新世纪教改工程”重点研究项目——“农科类实验课程体系教学改革研究”和湖北省教学研究项目“农科基础化学实验教学改革的理论与实践”的研究成果。华中农业大学一贯重视并坚持开展教学研究与教学改革,特别重视实践教学环节,注重培养和提高学生的实践动手能力和创新能力。在教学改革的研究与实践中,结合农林高校化学实验的教学特点,更新并整合相关教学内容,改革教学方法,提高教学手段,并且将部分重要的基本操作实验内容实现了网络化。加强基本实验技能训练,减少验证性实验内容,增加综合性设计性实验内容,加强开放实验室等课外教学环节,以化学实验技术为主线统筹安排教学次序和教学内容,取得了良好的教学效果。“基础化学实验”课程被评为华中农业大学优质课程,并获得华中农业大学教学成果一等奖。

本书包括化学实验的基本知识、基本原理、基本方法和基本技术;按照“基础层次—提高层次—综合性设计性实验”三个层次,选编了分离提纯实验、制备实验、物理量的测定、验证性实验、定量分析实验、综合性设计性实验以及计算机模拟实验和外文原文引入实验等内容,共 63 个实验。使用本书的学校可以根据具体条件选择使用。

本书具有以下特点:①在内容编排上体现了以实验技术为主线,将原无机、分析和有机等实验内容进行整合,减少验证性实验内容,增加基本操作和综合性实验内容,以培养和提高学生的动手能力及创新精神。②微型化学实验内容占有一定篇幅,体现了多年来实验教学改革成果,包括分离与提纯、制备以及滴定分析等实验内容。为了便于学生更全面地掌握知识及实验技能,部分实验内容中还编写了常规实验和微型实验,以寻求常规实验与微型实验协调发展的平衡点。③本书中引入外文原始文献实验及计算机模拟实验内容,体现了当前实验化学的发展潮流和趋势。④充分体现以人为本,因材施教的原则,将某些实验内容进行扩展。根据学科特点,按照不同基础、不同专业学生的要求,将实验分成基础性实验、提高性实验和综合性设计性实验,并开设选做实验、开放实验和计算机模拟实验,以满足不同层次、不同需求学生的要求,培养学生的创新思维 and 创新能力。

本书由刘汉兰、陈浩、文利柏任主编。编写人员有:岳霞丽、张新萍、李雪刚、马宗华、胡先文、刘永红、周媛媛、廖水蛟、薛爱芳、李庆、王嘉讯、李胜清,余桂莲参加了部分绘图工作。

本书的编写,参阅了本校及部分兄弟院校已出版的教材及相关著作,从中借鉴

或吸取了有益的内容。本书在出版过程中,受到华中农业大学教务处的的大力支持和资助,理学院和化学系给予了极大的关心和帮助。华中农业大学陈长水教授和韩鹤友教授在百忙之中审阅了全部书稿,并提出许多宝贵意见;左贤云、王淑玉、王运、康勤书、陆冬莲、宁丽红、曹敏惠等老师对本书的编写提出过一些良好的建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,错误或不妥之处在所难免,敬请有关专家和读者批评指正。

编 者

2005 年 7 月于武汉

目 录

第二版前言

第一版前言

绪论	1
0.1 基础化学实验教学的目的和任务	1
0.2 基础化学实验的学习方法	1
0.3 基础化学实验在大学生创新能力培养中的地位与作用	3

第一篇 化学实验基本知识与操作技能

第1章 化学实验基本知识	7
1.1 实验室规则及实验室的安全知识	7
1.1.1 实验室规则	7
1.1.2 实验室的安全知识	7
1.2 常用试剂的分类	8
1.2.1 常用试剂的规格	8
1.2.2 试剂的保管	9
1.3 常用仪器及用具	10
1.3.1 化学实验基本仪器	10
1.3.2 标准磨口玻璃仪器介绍	17
1.3.3 微型化学实验仪器介绍	17
1.4 误差和数据处理	17
1.4.1 误差	18
1.4.2 有效数字	19
1.4.3 实验数据的处理	21
1.5 溶液的配制方法	23
1.6 实验记录、实验报告及分析结果的表示	24
1.6.1 实验记录	24
1.6.2 实验报告	24
1.6.3 分析结果的表示	25
1.7 常用参考资料简介	25
1.7.1 常用化学手册	25

1.7.2 常用参考书	27
1.7.3 常用期刊	27
第2章 化学实验的基本技能	28
2.1 简单玻璃工操作	28
2.1.1 玻璃管(棒)的截断与熔光	28
2.1.2 玻璃管的弯曲	28
2.1.3 玻璃管的拉制(制作滴管和毛细管)	29
2.2 玻璃仪器的洗涤与干燥	30
2.2.1 玻璃仪器的洗涤	30
2.2.2 玻璃仪器的干燥	31
2.3 化学试剂的取用	32
2.3.1 固体试剂的取用	32
2.3.2 液体试剂的取用	32
2.3.3 特种试剂的取用	33
2.4 加热与制冷技术	34
2.4.1 常用加热器具简介	34
2.4.2 液体的加热	36
2.4.3 固体的加热	38
2.4.4 制冷技术	39
2.5 滴定分析基本操作及常用度量仪器的使用	40
2.5.1 滴定管	40
2.5.2 容量瓶	44
2.5.3 移液管和吸量管	45
2.6 分离与提纯技术	46
2.6.1 固液分离技术	46
2.6.2 重结晶技术	50
2.6.3 升华提纯技术	53
2.6.4 蒸馏与分馏	55
2.6.5 水蒸气蒸馏	59
2.6.6 减压蒸馏	62
2.6.7 色谱分离技术	66
2.6.8 萃取	78
2.6.9 干燥与干燥剂	81
2.7 重量分析基本操作	84
2.7.1 沉淀	84

2.7.2 过滤和洗涤	85
2.7.3 沉淀的干燥和灼烧	86
2.8 物理常数测定技术	87
2.8.1 熔点测定	87
2.8.2 沸点测定	93
2.8.3 旋光度测定	95
2.8.4 折光率测定	98
2.9 光谱分析技术	100
2.9.1 电磁辐射与光谱分析法	101
2.9.2 紫外-可见吸收光谱法概述	102
2.9.3 红外吸收光谱法概述	105
2.9.4 拉曼光谱法概述	108
2.9.5 分子荧光光谱法概述	111
2.10 纳米材料和纳米结构制备策略简介	115
2.10.1 纳米材料的制备策略	115
2.10.2 准一维纳米材料的制备和生长机制	116

第二篇 实验选编

第3章 物质的制备及分离纯化	125
实验1 粗食盐的提纯	125
实验2 工业乙醇的蒸馏与分馏及其折光率的测定	128
实验3 五水硫酸铜的制备与提纯	131
(扩展实验 硫酸四氨合铜的制备)	133
实验4 从烟草中提取烟碱(微型实验)	133
(扩展实验 烟碱的紫外光谱分析)	135
实验5 乙酸异戊酯的制备(微型实验)	135
(扩展实验 乙酸异戊酯的气相色谱分析)	137
实验6 乙酰苯胺的制备(微型实验)	138
(扩展实验 乙酰苯胺的红外光谱分析)	140
实验7 苯甲酸的制备	141
实验8 菠菜叶中色素的提取及其薄层色谱(微型实验)	143
实验9 柱色谱分离有机染料(微型实验)	146
实验10 纸色谱分离氨基酸	148
实验11 有机磷农药的薄层色谱(微型实验)	150
实验12 纸上电泳分离氨基酸	152

第4章 物理量的测定技术	155
实验 13 熔点的测定	155
实验 14 光学活性物质旋光度的测定	158
实验 15 阿伏伽德罗常量的测定	159
实验 16 中和热的测定	162
实验 17 乙酸电离度和电离常数的测定	166
实验 18 凝固点降低法测摩尔质量	167
实验 19 化学反应速率及速率常数的测定	171
第5章 化合物的性质实验	177
实验 20 胶体与吸附	177
实验 21 无机化合物的性质试验	181
实验 22 有机化合物的元素定性分析	186
实验 23 有机化合物官能团的性质试验	189
实验 24 糖和蛋白质的性质试验	193
第6章 化合物的定量分析实验	197
实验 25 酸碱标准溶液的配制和浓度的比较	197
实验 26 HCl 标准溶液的标定	199
实验 27 混合碱的测定(双指示剂法)	201
实验 28 铵盐中含氮量的测定(甲醛法)	204
实验 29 EDTA 溶液的标定和水的总硬度的测定	206
实验 30 KMnO_4 标准溶液的配制与标定	210
实验 31 KMnO_4 法测定钙的含量	213
实验 32 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 法测定亚铁盐中铁的含量	215
实验 33 水质化学耗氧量的测定(KMnO_4 法)	216
实验 34 补血糖丸中硫酸亚铁含量的测定(KMnO_4 法)	219
实验 35 邻菲咯啉分光光度法测定铁	221
(扩展实验 邻二氮菲-亚铁配合物稳定性试验及配位数的分光 光度法测定)	224
实验 36 磷的比色分析	226
(扩展实验 土壤速效磷的测定)	228
实验 37 硫代硫酸钠标准溶液的配制和标定	230
实验 38 碘量法测定葡萄糖含量	232
实验 39 氯化钡中钡的测定(重量法)	234
实验 40 碘量法测定水中的溶解氧(微型实验)	236

第 7 章 综合性实验	240
实验 41 硫酸亚铁铵的制备及纯度分析	240
实验 42 邻、对硝基苯酚的合成(微型实验)	244
实验 43 从肉桂皮中提取肉桂油及其主要成分的鉴定(微型实验)	245
实验 44 从红辣椒中分离红色素	249
实验 45 植物叶片中叶绿素含量的测定	251
实验 46 植物样品中维生素 B ₂ 的分子荧光测定	253
实验 47 紫外分光光度法测定土壤硝态氮	255
实验 48 从番茄中提取番茄红素和 β -胡萝卜素	258
实验 49 烟草中还原糖的提取及测定	260
实验 50 蒸馏氧化法测定魔芋精粉中 SO ₂ 的含量(微型实验)	263
实验 51 纳米氧化铁的合成及其性能试验	265
实验 52 火焰原子吸收光谱法测定自来水中钙、镁的含量	268
第 8 章 设计性实验	271
实验 53 三草酸根合铁(Ⅲ)酸钾的合成和组成分析	271
实验 54 混合液中 Pb ²⁺ 、Bi ³⁺ 含量的连续测定的设计性实验	272
实验 55 一组未知液分析的设计性实验	273
实验 56 立体分子模型的设计及制作	274
实验 57 系列设计性实验	277
实验 58 一组计算机模拟实验	280
第 9 章 研究性实验项目	282
实验 59 肉桂醛酰脲配合物的合成及抑菌活性研究	282
实验 60 棉籽的利用开发的新工艺研究	283
实验 61 2-脱氧-D-葡萄糖杂环脲类化合物的合成及除草活性研究	285
实验 62 超临界流体色谱分析番茄红素	286
实验 63 废旧电池的综合利用	287
实验 64 土壤样品中全氮量的测定方法研究	288
实验 65 乙酸乙烯酯共聚乳液的制备	289
第 10 章 英文原文引入实验	291
实验 66 Preparation of 2,4-dinitrochlorobenzene	291
实验 67 pH Titration of H ₃ PO ₄ Mixtures, Calculation of K ₁ , K ₂ and K ₃ [*]	293
实验 68 Redox Processes and Faraday's Law	298
实验 69 Transforming Bengay into Aspirin	302
实验 70 Determination of Iron in an Ore	309

第三篇 附录

第 11 章 常用仪器的使用方法	315
11.1 托盘天平(台秤)的使用方法	315
11.2 电子天平的使用方法	315
11.2.1 电子天平的特点	316
11.2.2 使用方法	316
11.3 酸度计的结构及使用方法	316
11.3.1 仪器主机外型结构	316
11.3.2 使用方法	317
11.4 分光光度计的使用方法	319
11.4.1 仪器外型	320
11.4.2 操作使用	321
第 12 章 常用数据表	322
12.1 弱酸及其共轭碱在水中的离解常数(25°C , $I=0$)	322
12.2 金属配合物的稳定常数	324
12.2.1 金属与常见配位体配合物稳定常数的对数值	324
12.2.2 金属与氨基酸配合物稳定常数的对数值($I=0.1$, $t=20\sim 25^{\circ}\text{C}$)	326
12.3 元素的相对原子质量	326
12.4 常见离子和化合物的颜色	330
12.4.1 离子	330
12.4.2 化合物	331
12.5 常用缓冲溶液的配制	333
12.6 常用试剂的配制	334
12.7 几种常用酸、碱的浓度	337
12.8 常用指示剂	337
12.8.1 酸碱指示剂($18\sim 25^{\circ}\text{C}$)	337
12.8.2 混合酸碱指示剂	339
12.8.3 金属离子指示剂	340
12.8.4 氧化还原指示剂	341
12.8.5 沉淀滴定吸附指示剂	342
12.9 常用化学物质性质(含毒性和易燃性)	342
12.9.1 相对急性毒性标准	342
12.9.2 常见化学物质毒性和易燃性	342
12.9.3 危险药品的分类、性质和管理	346

12.10 一些物质的摩尔质量	346
12.11 常见共沸混合物	353
12.11.1 与水形成的二元共沸物(水沸点 100℃)	353
12.11.2 常见有机溶剂间的共沸混合物	354
12.12 常用试剂的物理常数	354
12.13 不同温度下水的饱和蒸气压($\times 10^2$ Pa, 0~50℃)	355
主要参考文献	357

绪 论

0.1 基础化学实验教学的目的是任务

基础化学实验是高等农林院校农、林、水产、食品科技、生物技术等专业的重要基础课,以介绍化学实验原理、实验方法、实验手段以及实验操作技术为主要内容。

基础化学实验课程的教学目的是适应 21 世纪高等农林院校对本科生的科学素质、知识能力和创新精神培养的要求,使学生获得相关化学实验的基本知识、基本操作技术和从事科学研究的规范训练。通过基础化学实验的教学过程要达到以下目的:

(1) 以基础实验—提高实验—综合性设计实验三个层次的实验教学,配合开放实验室等课外教学环节,培养学生以化学实验为工具获取新知识的能力。

(2) 培养学生百折不挠的科学精神,以及善于观察、勤于思考、敢于存疑的创新思想和创新能力。

(3) 经过严格的实验技能训练,使学生具备一定的分析问题和解决问题的能力,收集和处理化学信息的能力,文字表达能力,以及团结协作的精神。

基础化学实验课程的教学任务:通过本课程的学习,使学生获取大量的实验事实,经过观察、思考、归纳、总结,从感性认识上升到理性认识。学生经过严格而系统的训练,规范地掌握基本操作技术。通过实验教学,了解无机化合物和有机化合物的一般制备、分离和提纯方法;了解确定物质组成和含量测定的一般方法;掌握常用化学试剂的使用、常用的定量分析方法和指示剂的使用;确定严格的“量”的概念;掌握常见离子和有机官能团的基本性质和鉴定方法;学会提取天然有机物的一般方法;学会运用误差理论正确处理实验数据。通过实验,提高学生的动手能力、观察能力、查阅能力、记忆能力、思维能力、想象能力和表达能力,从而使学生具备一定的分析问题和解决问题的能力,具备初步的科学研究的能力。

同时,在实验过程中培养学生求真务实、团结协作、勤奋不懈、百折不挠的精神,并且使学生养成节约、整洁、准确和有条不紊的良好实验习惯。

0.2 基础化学实验的学习方法

基础化学实验是一门实践性的课程。要学好它不仅要求学生具有端正的学习

态度,而且需要学生具备正确的学习方法。

1. 实验预习

实验预习是做好实验的重要保证,是实验成败的关键之一。通过认真阅读实验讲义,明确实验目的,理解实验原理,熟悉实验内容、主要操作步骤以及数据的处理方法,确定实验方案。因此,要求每位学生必须准备一个实验记录本。预习内容包括以下几项:

- (1) 阅读实验教材,明确实验目的与要求,理解实验原理。
- (2) 查阅附录或有关手册,了解相关仪器的结构及使用方法,列出实验所需的物理化学数据。
- (3) 了解实验药品、实验内容、实验步骤、操作方法以及注意事项。
- (4) 根据预习情况,认真写出预习报告。

2. 实验过程

实验过程中,必须认真而规范地操作,仔细观察,勤于思考,如实记录,做到边实验、边思考、边记录。具体要求如下:

- (1) 严格按操作规程及实验步骤独立操作,要既大胆,又心细。
- (2) 将实验中所观察的实验现象,测定的实验数据准确、及时记录在实验记录本上(绝不允许随意记录在小纸片上)。记录必须做到简明扼要、字迹清晰,原始数据不得涂改,更不允许杜撰原始数据。
- (3) 若实验现象出现异常时,可以通过对照实验,空白实验进行分析,查找原因。不允许在不明原因的情况下擅自重做。
- (4) 若实验结果达不到要求,应认真检查原因,经教师同意后重做实验。

3. 实验结束

- (1) 认真核对实验数据,清洗实验仪器。
- (2) 认真完成实验报告。实验报告是总结实验情况,分析实验中出现的問題,整理归纳实验结果必不可少的环节。实验报告的格式与要求,在不同的学习阶段,不同的实验内容略有差异,但基本内容应包括:实验目的、实验原理、实验仪器(厂家、型号、测量精度)、实验药品(纯度等级)、实验装置、原始实验数据、实验现象及测量数据、实验结果(包括数据处理)、结果讨论等。具体实验报告格式见 1.6 节。

0.3 基础化学实验在大学生创新能力培养中的地位与作用

在围绕培养创新精神、增强实践能力的教学改革中,在全面推进素质教育的形势下,基础化学实验作为高等农林院校中农林生产类各专业重要的基础课,在培养“能力型农科通才”应具有的化学素质和能力方面起着重要作用。

化学实验教学同与之相适应的理论课的讲授一样,目的是使学生掌握化学知识,提高化学素质,发展智力,培养分析问题和解决问题的能力,培养学生创造性思维方法和严肃认真的科学态度的重要教学环节。此外,在基础化学实验教学中,对学生的动手操作能力、解决实际问题的能力和创造能力的培养和提高更加偏重,并引导学生结合自身专业的特点,运用化学实验技术进行科学研究工作,学会运用科学实验的方法验证和探索化学变化的规律,使学生掌握从事科学研究的基本技术和方法。所有这些化学实验教学功能是理论教学所不能代替的。

高等教育应是全面的素质教育。对于化学教育而言,如何实现全面的素质教育呢?著名化学家戴安邦教授曾经指出:“全面的化学教育要求化学教育既要传授化学知识和技术,更要训练科学方法和思维,还要培养科学精神和品德。化学实验课是实施全面化学教育的一种最有效的教学形式”。实验过程中,通过手、眼、脑的合作性劳动,学生既巩固了所学的理论知识,又学到了新的实验技术,更培养了学生的动手能力以及客观、准确、细致的观察能力和运用所学知识分析问题和解决问题的能力。同时,实验还可以激发学生探索自然界物质结构和物质变化奥秘的兴趣,提高学生学习的主动性,培养学生实事求是、严肃认真的科学态度以及勇于创新的精神。

因此,大学化学教育应该将实验教育当作实施全面素质教育,达到全能培养目标的重要手段,教师和学生都应该充分认识到这一点,只有这样,才能充分调动教与学两个方面的积极性,全面提高学生的科学素质和智力因素。