



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高等农林院校“十一五”规划教材




分析化学

第二版

FENXI HUAXUE

徐宝荣 王 芬 主编



 中国农业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等农林院校“十一五”规划教材

分 析 化 学

第 二 版

徐宝荣 王 芬 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

分析化学 / 徐宝荣, 王芬主编. —2 版. —北京: 中国农业出版社, 2008. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-12003-7

I. 分… II. ①徐…②王… III. 分析化学-高等学校-教材 IV. 065

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 001014 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 曾丹霞 荣玉芝

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2003 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 2 版

2008 年 2 月第 2 版北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 22.75

字数: 401 千字

定价: 31.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共13章，内容包括定性分析的一般步骤、定量分析的误差及数据处理、滴定分析法概论、酸碱滴定法、氧化还原滴定法、配位滴定法、沉淀滴定法、重量分析法、光学分析法简介、电化学分析法简介、色谱法简介、定量分析中常用的分离方法。

为适应21世纪高等农林院校教学改革的需要，结合农林教学、科研和生产实践，本教材增加了各种分析方法在农林领域的应用，强化分析化学的实用性，增强了知识的可应用性。同时，适当反映分析化学的新发展和新成就等前沿性内容，以加强教材的科学性和先进性，为后续课打基础，为专业课服务，突出农林院校基础课教材的特色。

本书可作为高等农林院校非化学专业本科生的教材，也可作为从事与分析化学相关专业人员的参考书。

- 主 编** 徐宝荣 (东北农业大学)
王 芬 (沈阳农业大学)
- 副主编** 张金艳 (黑龙江八一农垦大学)
刘俊渤 (吉林农业大学)
王启为 (宁夏大学)
- 参 编** 许 晶 (东北农业大学)
隋春霞 (东北农业大学)
蒋红梅 (南京农业大学)
刘衣南 (沈阳农业大学)
梁大栋 (吉林农业大学)
- 主 审** 赵士铎 (中国农业大学)
赵明宪 (吉林农业大学)

第一版编者名单

- 主 编** 徐宝荣 (东北农业大学)
王 芬 (沈阳农业大学)
- 副主编** 刘艳新 (东北农业大学)
刘俊渤 (吉林农业大学)
刘毓琦 (东北林业大学)
- 参 编** 李颖娇 (东北农业大学)
肖振平 (东北农业大学)
申凤善 (延边大学)
孙太凡 (黑龙江八一农垦大学)
- 主 审** 赵明宪 (吉林农业大学)

第二版前言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。为适应 21 世纪高等农林院校教学改革的需要,根据《高等农林院校面向 21 世纪化学系列课程教学基本要求和教学大纲》,结合多年来的教材编写实践,并吸取了近年来国内外分析化学教材的许多优点,我们在 2003 年第一版《分析化学》的基础上修订编写了这本教材。本书可作为高等农林院校非化学专业本科生的教材,也可作为从事与分析化学相关专业人员的参考书。编者力求体现教材的科学性、先进性与实用性,在内容的选择及编排上具有如下特色:

1. 重点突出。根据农林院校本科生的培养目标和分析化学教学基本要求,考虑到农林院校分析化学学时较少,国家扩大招生和部分省市实行大综合考试后,学生的化学基础知识薄弱,在教材体系上不过多地追求学科体系的完整性,简化理论要求,力求少而精,简明扼要。

2. 重视“量”的概念和使用。定量分析计算是分析化学的重要内容之一。本教材在标准溶液的配制与标定、待测组分含量的计算中,使用“等物质的量反应规则”,并把基本单元引用到计算中,使计算简单实用。同时适当降低了计算的难度和复杂性,这在农林院校同类教材中是一创新。

3. 与农林领域结合紧密。教材在内容和阅读材料的安排上,注意强化基础理论、基本知识的应用,紧密结合农林教学、科研和生产实践,增加各种分析方法在农林领域的应用,强化分析化学的实用性,增强了知识的可应用性。

4. 结合环境、食品、生物、农药、畜牧等农林领域的实际情况,适当反映分析化学的新发展和新成就等前沿性内容,以加强教材的科学性和先进性。为后续课打基础,为专业课服务,突出农林院校基础课教材的特色。

5. 本教材语言简练、概念准确、内容深入浅出、便于阅读。并与普通

化学教材使用的有关物理量的符号、单位相衔接，尽量统一于国际单位制(SI)和我国的法定计量单位及量和单位的国家标准 GB 3102—93 的规定。

6. 每章开篇前有“教学基本要求”，章后设置“思考题”、“习题”，使学生学习时目标明确，大致内容清楚，便于预习与复习。

参加本教材编写的教师均是长期从事分析化学教学和科研工作的人员，具有丰富的教学经验和较高的学术水平。参加本教材编写的学校有东北农业大学、沈阳农业大学、黑龙江八一农垦大学、吉林农业大学、宁夏大学、南京农业大学。全书由主编修改统稿。

本教材在编写过程中，参阅了一些兄弟院校的教材，并吸收了一些内容，在此表示感谢。

由于编者水平有限，难免有疏漏欠妥之处，恳请同行专家和使用本书的同学批评指正。

编 者

2007年8月

第一版前言

基础理论是应用学科的基础，基础科学每出现一次重大突破，整个科学技术就出现一次飞跃。因而，基础理论教学在高等院校中是十分重要的。基础理论教学，要从培养人才的总体规格上来看待它的作用与地位，它对培养学生的科学思维能力和适应能力有着极其重要的作用。

近年来我们先后编写了高等农、林、牧、水产院校的分析化学教材，积累了一些经验，特别是通过几年来的教学实践，根据农、林等院校的培养目标和各门基础课的基本要求，编写了这本教材。

由于农林院校基础课学时较少，扩招以后学生的素质降低，因而在教材体系上不过多地追求学科体系的完整性和系统性，有些概念和定理的叙述不要求过于严谨。在选材上，尽量地考虑专业的需要，为后续课打基础，为专业服务，具有农林院校基础课教材的特色。

本教材根据 1995 年全国高等农林院校普通化学、分析化学研讨会上制订的《分析化学（I）教学基本要求》而编制的。

分析化学是高等农林院校的一门重要基础课，它能帮助学生掌握分析化学的基本原理、分析方法和基本操作技能，培养学生严谨、认真和实事求是的科学态度，观察、分析和判断问题的能力，精密、细致地进行科学实验的技能，提高学生分析问题和解决问题的能力，为后续课的学习和将来从事生产实践、科学研究打下良好的基础。

本教材分为定性分析和定量分析两部分，共 13 章。在编写中，我们既考虑到分析化学本身的科学性和系统性，又考虑到教学的具体情况和特点，有利于教学，有利于学生自学，力求适应农林科学发展的新形势。由于学时关系，定性分析内容尽量精练，主要介绍农、林、牧业中常见的 17 种阳离子和 14 种阴离子的鉴定方法，在系统分析上主要介绍两酸

两碱法。在滴定分析概论一章里考虑到滴定分析计算和滴定分析误差的重要性，本书增加了滴定分析的误差和滴定分析计算示例，并使解题规范化。根据1995年全国高等农林院校分析化学会上制订的《分析化学(I)的基本要求》和当前农林科技发展的需要，本书又增加了农业生产和科研上常用的几种仪器分析方法简介。本书中各种物理量的符号、单位尽量统一于国际单位制(SI)和我国的法定计量单位及量和单位的国家标准GB 3102—86的规定。

参加本书编写的有东北农业大学徐宝荣(绪论、第2、4章)、刘艳新(第9、10章)、肖振平(第6章)、李颖娇(第13章)，沈阳农业大学王芬(第3、7章)，吉林农业大学刘俊渤(第11、12章)，东北林业大学刘毓琦(第1章)，黑龙江八一农垦大学孙太凡(第8章)，延边大学申凤善(第5章)。全书由主编修改统稿，由吉林农业大学赵明宪审阅，东北农业大学刘焱龙教师为本书的出版做了很多工作，在此特致谢意。

由于编者水平有限，难免有不尽如人意之处，敬请读者批评指正，不胜感谢。

编 者

2002年9月

目 录

第二版前言	
第一版前言	
0 绪论	1
0.1 分析化学的任务和作用	1
0.2 分析方法分类	2
0.3 分析化学的发展趋势	4
【阅读资料】当今分析化学的前沿	6
1 定性分析	8
1.1 概述	8
1.2 常见阳离子的分析	13
1.3 常见阴离子的分析	23
【阅读资料】常见有机物定性分析方法	30
思考题	31
习题	31
2 定量分析的误差及数据处理	33
2.1 有关误差的一些基本概念	33
2.2 随机误差的分布	37
2.3 有限数据的统计处理	41
2.4 提高分析结果准确度的方法	52
2.5 有效数字及其计算规则	54
【阅读资料】误差的传递	57
思考题	59
习题	59
3 滴定分析法概论	61
3.1 概述	61

3.2	滴定分析中的标准溶液	65
3.3	滴定分析的计算	71
3.4	滴定分析的误差	81
	【阅读资料】分析化学杂志	83
	思考题	84
	习题	85
4	酸碱滴定法	88
4.1	酸碱质子理论	88
4.2	酸碱溶液中酸碱度的计算	92
4.3	酸碱指示剂	98
4.4	一元酸碱滴定曲线和指示剂的选择	103
4.5	多元酸碱滴定曲线和指示剂的选择	111
4.6	CO ₂ 对酸碱滴定的影响	114
4.7	标准溶液的配制与标定	115
4.8	酸碱滴定法的应用	116
	【阅读资料】终点误差	120
	思考题	122
	习题	123
5	沉淀滴定法	125
5.1	银量法的分类	126
5.2	银量法的应用	132
	【阅读资料】银量法的滴定曲线	132
	思考题	134
	习题	134
6	配位滴定法	136
6.1	概述	136
6.2	EDTA及EDTA配位化合物的特点	137
6.3	影响金属-EDTA配合物稳定性的因素	139
6.4	金属指示剂	144
6.5	配位滴定的基本原理(单一金属离子的滴定)	148
6.6	混合离子的滴定简介	154

6.7 配位滴定法的应用	159
【阅读资料】配位反应的条件稳定常数与副反应系数	161
思考题	164
习题	164
7 氧化还原滴定法	166
7.1 概述	166
7.2 氧化还原反应的基本知识	167
7.3 氧化还原滴定中的指示剂	172
7.4 氧化还原滴定曲线	174
7.5 常用氧化还原滴定法	178
【阅读资料】土壤有机质测定法	186
思考题	188
习题	188
8 重量分析法	190
8.1 概述	190
8.2 沉淀的溶解度及其影响因素	192
8.3 沉淀的形成和沉淀的纯度	196
8.4 沉淀条件的选择	200
8.5 沉淀析出后的处理	202
8.6 重量分析的计算	204
【阅读资料】热重分析法	205
思考题	206
习题	207
9 光学分析法简介	208
9.1 概述	208
9.2 紫外-可见分光光度法	209
9.3 荧光分析法	221
9.4 原子吸收光谱法	225
9.5 原子发射光谱法	231
【阅读资料】紫外-可见吸收光谱	242
思考题	243

习题	243
10 电化学分析法简介	245
10.1 概述	245
10.2 电导及电位分析法	246
10.3 电解及库仑分析法	264
10.4 极谱及伏安分析法	272
10.5 电化学分析法在农业上的应用	276
【阅读资料】城市污水氟化物的测定	277
思考题	277
习题	278
11 色谱法简介	280
11.1 概述	280
11.2 气相色谱	289
11.3 液相色谱	293
【阅读资料】食品饲料中维生素 A 和维生素 E 的测定	296
思考题	297
12 定量分析的一般步骤	298
12.1 样品的采取和调制	298
12.2 试样的分解处理	304
12.3 分析方法的选择原则	309
思考题	311
习题	311
13 定量分析中常用的分离方法	312
13.1 沉淀分离法	312
13.2 萃取分离法	319
13.3 层析分离法	326
13.4 离子交换分离法	330
思考题	336
习题	336

附录	337
附录 1 弱酸在水中的离解常数 (25 °C)	337
附录 2 弱碱在水中的离解常数 (25 °C)	339
附录 3 难溶化合物的溶度积 (18~25 °C)	339
附录 4 标准电极电势 (18~25 °C)	340
附录 5 条件电极电势	343
附录 6 一些化合物的摩尔质量	344
附录 7 相对原子质量	346
主要参考文献	347

0 绪 论

0.1 分析化学的任务和作用

分析化学 (analytical chemistry) 是发展和应用各种方法、仪器和策略以获得有关物质在空间和时间方面组成和性质的信息的一门学科, 是使用和有赖于化学、物理学、数学、信息科学和生物学定律的一门边缘科学。它要回答的是这样一个在理论上和实际中都很重要的问题: 物质世界是如何组成的。

分析化学按其任务可分为成分分析 (composition analysis) 和结构分析 (structure analysis), 但目前仍以成分分析为本课程的基本内容。成分分析的目的是找出存在于一个系统中化学组分的类型和数量, 主要可以分为定性分析 (qualitative analysis) 和定量分析 (quantitative analysis) 两部分。定性分析的任务是鉴定物质所含组分 (元素、离子、基团或化合物); 定量分析的任务是测定各组分的相对含量。在定量之前必须清楚试样的来源和组成情况, 原则是先做试样的定性分析, 然后再进行定量分析。因为定量分析方法的选择要考虑到试样中存在哪些干扰成分, 量的多少, 以及怎样消除干扰等问题。对已知组分的试样, 就没有必要进行定性分析了, 可直接选择合适的定量分析方法测定组分的含量。

分析化学是一门工具科学, 在科学研究上可以帮助我们扩大和加深对自然界的认识, 起着“眼睛”的作用。它几乎与国民经济的一切部门都有着密切联系, 在生产和科学研究工作中有着十分重要的实际意义。例如, 在农业生产方面, 对于土壤的性质、灌溉用水、化肥、农药以及农作物生产过程的研究等都要用到分析化学。在工业生产方面, 对于矿山的开发、资源的勘探、工业原料的选择、工艺流程的控制、产品的检验、新产品的试制以及三废 (废水、废气、废渣) 的利用等都要靠分析化学提供数据进行分析。在科学研究方面, 分析化学已渗透到许多学科领域, 如生物学、医药学、天文学、地质学、矿物学、海洋学、国防科学、材料科学、环境化学以及考古学等, 任何研究课题, 大都需要以分析化学为研究手段, 去解决科学研究中的具体问题。像公安部门在侦察、破获敌特活动和刑事犯罪活动等也经常需要分析化验工作的配合。所以分析化学有工农业生产的“眼睛”, 科学研究的“参谋”之称。可以说现代

分析化学在促进其他学科的发展和直接为国民经济、国防建设服务方面，不仅影响着人们物质文明和社会财富的创造，而且还影响有关人类生存（如环境、生态）和政治决策（如资源、能源开发）等重大社会问题的解决，成为衡量一个国家科技水平的标志之一。

在高等学校的许多专业，特别是高等农林畜牧水产院校中，分析化学是一门重要的基础课，它为后续的有关课程打基础。例如，生物学、生物化学、生理学、土壤学、肥料学、栽培学、遗传学、药理学、家畜卫生学、兽医临床诊断学、食品理化检验、植物保护学、农药学等课程，都要用到分析化学的理论知识 and 操作技术。通过本课程的学习，不仅要使学生了解分析化学的有关基础理论，学会分析方法，掌握分析技术，树立准确的量的概念，还要培养学生严谨的工作作风和实事求是的科学态度，提高分析问题和解决问题的能力，为后续课程的学习和今后从事生产及科学研究工作打下必要的基础，这就是我们开设分析化学课的目的。

分析化学是一门实践性很强的学科。作为一门课程，它的实验部分占有很大的比重，学习分析化学的大部分时间要在实验室里度过。学习者除需掌握各种基本原理和操作技能，还应着力培养观察、思考、推理、判断、表达及应变能力，所以，学习分析化学必须在理论联系实践的基础上加强基本操作的训练，自觉地养成科学的工作态度，良好的工作习惯。在学习过程中不能只重视理论而忽视实验，否则是学不好分析化学的。

0.2 分析方法分类

分析化学应用领域非常广泛，其内容十分丰富，所以采用的分析方法也多种多样，其分析方法的分类也不尽一致。根据分析任务、分析对象、操作方法、测定原理和具体要求的不同，分析方法可分为许多种类。

(1) 结构分析、定性分析、定量分析 结构分析的任务是研究物质的分子结构或晶体结构；定性分析的任务是鉴定物质是由哪些元素、原子团、官能团或化合物所组成的；定量分析的任务是测定物质中有关组分的含量。

(2) 无机分析、有机分析 根据分析对象的不同，分析化学可以分为无机分析和有机分析。前者的分析对象是无机物，后者的分析对象是有机物。虽然两者在分析原理上大体相同，但分析对象不同也必然带来一些要求上的差异和分析手段上的不同。无机物所含的元素种类繁多，要求分析的结果以某些元素、离子、化合物是否存在，以及相对含量的多少来表示。有时也要做晶体结构测定。而有机分析中，情况就不大一样，因为组成有机物的元素虽为数不