




普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 新编仪器分析

(第二版)

高向阳 主编

 科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 新编仪器分析

(第二版)

高向阳 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是《普通高等教育“十五”国家级规划教材》之一,是在长期教学研究和教学实践的基础上,结合国情和生产、科研实际而编写的。

本书主要介绍了紫外及红外吸收光谱法、分子吸光和发光分析法、原子光谱分析法、动力学分析法、电导分析法、库仑分析法、离子选择性电极分析法、气相色谱法、高效液相色谱法、离子色谱法、核磁共振波谱和质谱法的基本原理、基本概念、基本计算及其应用。同时,注意仪器分析的发展趋势,适当介绍了仪器分析的前沿理论和技术,如酶催化动力学分析、细胞生物电化学分析、生物质谱、高效毛细管电泳分析、毛细管电动色谱、超临界流体色谱、生物传感器分析技术、流动注射分析技术以及微波压力溶样技术和分析质量控制及分析质量保证等内容。各章均安排有实验技术或应用,章后有思考题和习题,书后有附录。编写过程中尤其注意到内容的系统性、科学性、先进性、新颖性和实用性。

本书可作为高等院校生命科学类如农、林、牧、医、生物工程、生物技术、生物科学专业,以及环境科学、食品质量与安全、食品科学等专业仪器分析课程的教材,也可供化学、应用化学专业本科生、研究生、分析测试工作者及相关人员阅读和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

新编仪器分析/高向阳主编. —2版. —北京:科学出版社,2004

(普通高等教育“十五”国家级规划教材)

ISBN 7-03-012731-5

I. 新… II. 高… III. 仪器分析-高等学校-教材 IV. O657

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第002718号

责任编辑:杨向萍 吴伶伶 / 责任校对:刘小梅

责任印制:安春生 / 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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

1992年2月第 一 版 中国科学技术出版社

2004年3月第 二 版 开本: B5(720×1000)

2004年3月第一次印刷 印张: 21 3/4

印数: 1—4 000 字数: 402 000

定价: 26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

## 第二版前言

21世纪是生命科学技术日新月异、迅猛发展的新世纪,祖国的繁荣昌盛迫切需要造就大批理论基础扎实、操作技术娴熟、素质全面、文化素养高、一专多能的技术人才,而人才培养的关键在于教育。

仪器分析是分析化学的主要组成部分之一,是一门实践性、技术性很强的综合性课程,与国民经济的各个领域密切相关,被誉为工农业生产的“参谋”、科学技术研究的“眼睛”、国民经济发展的“尖兵”,是检验千千万万、形形色色原料、产品质量的重要手段和工具。

1992年,由高向阳教授任主编,刘约权教授、呼世斌教授任副主编的《新编仪器分析》由中国科学技术出版社出版后,先后被十余所高等农、林、牧、水院校采用,在培养高科技人才方面起到了重要作用。与此同时,结合我国国情,围绕仪器分析主题,我们开展了全方位的长达十余年的科研和教学研究,取得了一大批成果,为本书的编写奠定了坚实的基础。

考虑到十余年来科学技术的迅猛发展和巨大变化,这次重新编写时紧密结合生物技术、生物科学、食品质量与安全、食品科学、卫生检验、环境科学以及农、林、牧、水、医等领域的实际安排相关内容,系统阐述了仪器分析各类方法的基本原理、基本概念、基本计算和一些实验技术,内容深入浅出、叙述流畅、通俗易懂,重点、难点突出。

本书为《普通高等教育“十五”国家级规划教材》之一,根据专家组审定的教学大纲,结合农林及生命科学类院校的实际编写。编写过程中尤其注意到内容的系统性、科学性、先进性、新颖性和实用性。同时,“开宗明义”,把“新”和“实用”作为本书的主要特点。在讲授经典理论和方法的同时,注意各种方法的前沿理论和技术,适当介绍了仪器分析的一些新理论、新概念、新技术及其应用。例如,酶催化动力学分析、流动注射分析、细胞生物电化学分析、化学发光分析、生物发光分析、高效毛细管电泳分析、超临界流体色谱、毛细管电动色谱、离子色谱、生物质谱、分析质量控制及分析质量保证、微波溶样技术和生物传感器分析技术等内容,在其他同类教材中尚不多见。

全书共14章,由高向阳教授担任主编,参加编写的有河南农业大学高向阳(前言、第1~5章、第8章、附录和常用缩略语表)、上海水产大学周冬香(第6、7章)、湖南农业大学石国荣(第9、10章)、河南农业大学宋莲军(第11、13、14章)、安徽工程科技学院陈宁生(第12章),全书最后由高向阳教授通读、修改、定稿。

本书在图表绘制、光盘制作过程中,得到了河南农业大学食品科学系、应用化学系老师们的大力支持和帮助,编写过程中参阅了一些文献资料,作者在此表示衷心的感谢。

由于作者的学识水平所限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2004年2月于河南农业大学(郑州)



## 第一版序言

学习、掌握仪器分析方法在培养农林科技人才工作中的重要性日渐突出。目前,国内外仪器分析的书籍不少,但适合我国高等农林院校的用书并不多。

由河南农业大学、西北农业大学、河北农业大学、北京农学院联合编写的这本书,针对仪器分析在教学计划中的地位和作用,从学习及研究工作的需要出发,精选了其内容。它包括常用的光学、电学、色谱等方法,也简略介绍了一些仪器分析的新进展。每种方法以基本原理为主,也简要介绍仪器的构造和使用。它所引用的仪器大都符合我国高等农林院校目前的实际。对各种方法在农业上的利用,给予了恰当介绍。这就使得学生在学习本课程之后,在阅读文献资料时,能了解有关的术语和数据,在实际工作中也可以恰当地选择可以利用的仪器分析手段与方法。我想,这些正是学习仪器分析这门课的目的。

我们从事基础课教学的老师,常常要因调整新知识与基础知识以及理论与实际的关系而进行学时与内容的调整,并为此煞费苦心。过分强调一方面,会顾此失彼,适得其反。如强调实际应用,刀下见菜,则着重介绍方法,忽视基本原理,仅能使学生获得较狭窄的知识面;另一方面,在农林院校的有限学时下,过多地介绍基础理论,对实际应用必有所影响。本书对这一方面的处理是比较恰当的。

本书对分子发光分析法、动力学分析法、离子色谱法、自动化分析法各章及光导纤维传感分析法、免疫分析法、中子活化分析法等内容的介绍,在国内其它仪器分析课本中还比较少见。

参加本书编写的多为中年教师,我作为一名在农业院校从事多年仪器分析教学的教师,对此甚感欣喜,特对本书的出版表示祝贺。我相信,它对我国高等农业教育必将起到应有的作用。

吉林农业大学 袁尔立

1991年3月于长春

## 第一版前言

仪器分析具有灵敏、准确、快速、易实现自动化等特点,是近代分析化学的重点发展方向。随着生产和科学技术的迅猛发展,仪器分析在农林科学中的应用与日俱增,已成为农业化学、食品化学、生物化学、作物营养诊断、环境保护、农副产品检验、生物资源利用等学科进行科学研究的不可缺少的重要手段,并在实现社会主义农业现代化的进程中发挥着日益重要的作用。

近年来,日新月异的电子技术、微处理机和其它科学新理论、新技术与分析仪器的完美结合,使仪器分析的面貌发生了很大变化,旧有的分析方法不断更新,新型测定技术相继涌现。为满足仪器分析日益发展和当今科研、生产实践广泛应用的要求,满足高等农林院校各专业本科生和研究生学习仪器分析课程的需要,根据我国国情和各院校的实际,我们在多年教学实践的基础上编写了此书。

本书注意理论与实践相结合,着重介绍仪器分析的基础理论,并注意各种方法在农林科学上的应用,以便为学习者将来从事有关工作打下必要的基础。同时,又注意反映现代仪器分析中的新理论,适当介绍了一些正在迅速发展中的投资少、见效快、操作简便、利于普及和推广的新方法。对那些与农林各学科关系密切而需要了解但目前大多数院校尚无条件开设实验课的新方法,专列一章进行简要介绍,各校在使用本书时可根据具体情况灵活安排。

参加本书编写的有(以章节先后为序):刘约权(河北农业大学,第一章 § 1-1、§ 1-4、§ 1-5,第三章)、李敬慈(河北农业大学,第一章 § 1-2、§ 1-3)、高向阳(河南农业大学,前言、第二章、第四章、第十四章)、曲东(西北农业大学,第五章)、葛兴(北京农学院,第六章)、呼世斌(西北农业大学,第七章、第十三章)、陈更新(河南农业大学,第八章)、张玉英(北京农学院,第九章)、黄晓书(河南农业大学,第十章)、王志(河北农业大学,第十一章)、高岐(河南农业大学,第十二章)。

本书在编写过程中得到了有关院校及教研室的大力支持和帮助,他们提出了不少宝贵建议;河南农业大学为该书的组织编写、出版做了不少有益的工作;西北农业大学薛澄泽教授应邀担任该书主审,并在百忙中撰写了绪论;吉林农业大学袁尔立教授热情为本书作序,在此一并表示衷心的感谢。

全书由主编、副主编讨论修改,最后由主编通读、定稿。由于编著者学识水平有限和经验不足,书中不当和错误之处恳望读者不吝指正。

编著者

1991年6月

# 目 录

第二版前言

第一版序言

第一版前言

1 绪论 .....	1
1.1 仪器分析的特点和任务 .....	1
1.2 仪器分析方法简介 .....	1
1.2.1 光学分析法 .....	2
1.2.2 电化学分析法 .....	2
1.2.3 分离分析法 .....	2
1.2.4 其他仪器分析方法和技术 .....	2
1.3 分析仪器的组成 .....	3
1.4 分析仪器的主要性能参数 .....	3
1.4.1 精密度 .....	3
1.4.2 灵敏度 .....	4
1.4.3 线性范围 .....	4
1.4.4 检出限 .....	4
1.4.5 选择性和准确度 .....	5
1.5 仪器分析的发展趋势 .....	5
1.6 分析质量控制和分析质量保证 .....	6
1.6.1 分析质量控制 .....	6
1.6.2 分析质量保证 .....	8
思考题与习题 .....	8
2 分子吸光分析法 .....	10
2.1 光谱分析法导论 .....	10
2.1.1 分子能级 .....	10
2.1.2 光的性质 .....	12
2.2 紫外-可见吸收光谱 .....	13
2.2.1 紫外-可见吸收曲线 .....	13
2.2.2 有机化合物分子的电子跃迁 .....	14
2.2.3 一些基本概念 .....	15



2.2.4 无机化合物分子的电子跃迁 .....	18
2.3 紫外-可见分光光度计 .....	19
2.3.1 仪器的基本组成 .....	19
2.3.2 仪器的类型 .....	20
2.4 紫外-可见吸收光谱法的应用 .....	23
2.4.1 定性分析 .....	23
2.4.2 定量分析 .....	26
2.5 红外吸收光谱法 .....	29
2.5.1 基本原理 .....	29
2.5.2 红外光谱定性和定量分析 .....	34
2.5.3 红外吸收光谱仪 .....	36
2.6 实验技术 .....	38
2.6.1 紫外-可见吸收光谱分析实验技术 .....	38
2.6.2 红外吸收光谱法实验技术 .....	42
思考题与习题 .....	43
<b>3 分子发光分析法</b> .....	<b>46</b>
3.1 概述 .....	46
3.2 分子荧光分析法 .....	46
3.2.1 分子荧光和磷光的产生 .....	46
3.2.2 分子荧光的性质 .....	49
3.2.3 分子荧光的参数 .....	52
3.2.4 荧光强度的主要影响因素 .....	52
3.2.5 荧光定量分析方法 .....	57
3.2.6 荧光分光光度计 .....	59
3.3 分子磷光分析法 .....	61
3.3.1 低温磷光分析 .....	61
3.3.2 室温磷光分析 .....	62
3.4 化学发光分析法 .....	62
3.4.1 化学发光分析的基本理论 .....	62
3.4.2 化学发光分析的主要类型 .....	64
3.4.3 化学发光分析仪器 .....	67
3.4.4 影响液相化学发光的主要因素 .....	69
3.4.5 生物发光分析法 .....	69
3.5 实验技术 .....	70
3.5.1 分子荧光、分子磷光分析实验技术 .....	70

---

3.5.2 化学发光和生物发光分析实验技术 .....	72
3.6 分子发光分析法应用简介 .....	73
3.6.1 分子荧光分析法的应用 .....	73
3.6.2 分子磷光分析法的应用 .....	74
3.6.3 化学发光分析法的应用实例 .....	74
思考题与习题 .....	74
4 原子光谱分析法 .....	77
4.1 原子发射光谱分析的基本原理 .....	77
4.1.1 概述 .....	77
4.1.2 原子发射光谱的产生 .....	78
4.1.3 原子线和离子线 .....	78
4.1.4 谱线强度与元素含量的关系 .....	79
4.2 原子吸收光谱分析法的基本原理 .....	79
4.2.1 原子吸收光谱分析引论 .....	79
4.2.2 一般分析过程 .....	80
4.2.3 基态原子及原子吸收光谱的产生 .....	81
4.2.4 基态原子与激发态原子的分配 .....	82
4.2.5 谱线的轮廓及其变宽 .....	83
4.3 原子吸收谱线的测量 .....	86
4.3.1 积分吸收 .....	86
4.3.2 峰值吸收 .....	87
4.4 原子吸收光谱仪 .....	88
4.4.1 基本装置及其工作原理 .....	88
4.4.2 光源 .....	89
4.4.3 原子化系统 .....	90
4.4.4 分光系统 .....	94
4.4.5 检测和显示 .....	94
4.5 原子吸收定量分析方法 .....	95
4.5.1 标准曲线法 .....	95
4.5.2 标准加入法 .....	95
4.5.3 浓度直读法 .....	97
4.5.4 双标准比较法 .....	97
4.5.5 内标法 .....	97
4.6 实验技术 .....	97
4.6.1 溶样方法简介 .....	97

4.6.2	干扰及其抑制 .....	99
4.6.3	测定条件的选择 .....	102
4.6.4	原子吸收分析中的萃取技术 .....	102
4.7	灵敏度与检出限 .....	103
4.7.1	灵敏度与最佳测量范围 .....	103
4.7.2	检出限与灵敏度间的关系 .....	104
4.8	原子吸收光谱法的应用 .....	105
	思考题与习题 .....	107
<b>5</b>	<b>动力学分析法 .....</b>	<b>110</b>
5.1	概述 .....	110
5.1.1	催化法 .....	111
5.1.2	非催化法 .....	111
5.1.3	诱导反应法 .....	112
5.2	动力学分析法基础 .....	112
5.2.1	能量条件和位能曲线 .....	112
5.2.2	基元反应转化速率方程式 .....	113
5.2.3	反应级数 .....	114
5.2.4	影响转化速率的主要因素 .....	117
5.3	转化速率的测量 .....	118
5.3.1	指示反应与指示物质 .....	118
5.3.2	转化速率的测量方法 .....	119
5.4	定量分析 .....	120
5.4.1	定量分析关系式 .....	120
5.4.2	定量分析实验技术与求值方法 .....	120
5.5	动力学分析法的灵敏度和选择性 .....	122
5.5.1	灵敏度 .....	122
5.5.2	选择性 .....	123
5.6	动力学分析法在吸光光度法中的应用 .....	124
5.6.1	催化显色反应转化速率的监测 .....	124
5.6.2	标准加入法在催化显色反应中的应用 .....	126
5.6.3	催化褪色反应转化速率的监测 .....	127
5.7	酶催化动力学分析方法 .....	129
5.7.1	酶活性及其单位 .....	129
5.7.2	酶分析法的机理和基本方程式 .....	130
5.7.3	影响酶催化反应速率的主要因素 .....	131

5.7.4 酶活性的计算 .....	132
5.7.5 酶催化分析的应用简介 .....	133
思考题与习题 .....	135
<b>6 电化学分析导论 .....</b>	<b>138</b>
6.1 电化学分析基础 .....	138
6.1.1 电化学分析的分类 .....	138
6.1.2 电化学分析的基本概念 .....	138
6.1.3 电极的类型 .....	142
6.2 电导分析法 .....	145
6.2.1 电导分析法的基本原理 .....	145
6.2.2 电导测量装置 .....	147
6.2.3 电导分析法的应用 .....	150
6.3 电解分析法 .....	151
6.3.1 电解分析法的基本原理 .....	151
6.3.2 电解分析法的应用 .....	157
6.4 库仑分析法 .....	157
6.4.1 库仑分析法的基本原理 .....	157
6.4.2 电流效率 .....	157
6.4.3 库仑分析法的分类 .....	158
6.4.4 库仑分析法的应用 .....	161
思考题与习题 .....	162
<b>7 离子选择性电极分析法 .....</b>	<b>164</b>
7.1 概述 .....	164
7.2 离子选择性电极及其分类 .....	164
7.2.1 离子选择性电极 .....	164
7.2.2 离子选择性电极的分类 .....	166
7.3 电极的性能及其影响测量的主要因素 .....	173
7.3.1 电极的性能参数 .....	173
7.3.2 影响测量的主要因素 .....	175
7.4 实验技术及分析方法 .....	176
7.4.1 直接电位法 .....	176
7.4.2 浓度直读法 .....	178
7.4.3 电位滴定法 .....	180
7.4.4 实验注意事项 .....	183
7.5 应用示例 .....	183

7.5.1	在生命科学中的应用 .....	184
7.5.2	在环境分析及食品分析中的应用 .....	184
7.5.3	在饲料分析中的应用 .....	185
7.5.4	其他应用实例 .....	185
	思考题与习题 .....	186
<b>8</b>	<b>色谱分析导论</b> .....	<b>189</b>
8.1	概述 .....	189
8.1.1	按两相状态分类 .....	189
8.1.2	按固定相的外形及性质分类 .....	190
8.1.3	按分离原理分类 .....	190
8.2	色谱流出曲线和有关术语 .....	191
8.2.1	色谱流出曲线 .....	191
8.2.2	基本术语 .....	191
8.3	色谱分析的基本理论 .....	194
8.3.1	分配平衡 .....	194
8.3.2	塔板理论 .....	196
8.3.3	速率理论 .....	198
8.4	色谱分离方程 .....	202
8.4.1	色谱柱的总分离效能 .....	202
8.4.2	色谱分离方程 .....	202
	思考题与习题 .....	204
<b>9</b>	<b>气相色谱法</b> .....	<b>206</b>
9.1	概述 .....	206
9.1.1	气相色谱分离原理及流程 .....	206
9.1.2	气相色谱法的特点 .....	210
9.2	气相色谱固定相 .....	211
9.2.1	固体固定相 .....	211
9.2.2	液体固定相 .....	211
9.2.3	合成固定相 .....	215
9.3	检测器 .....	215
9.3.1	检测器的主要性能指标 .....	216
9.3.2	热导检测器 .....	218
9.3.3	(氢)火焰离子化检测器 .....	220
9.4	定性和定量分析方法 .....	222
9.4.1	定性分析方法 .....	222

9.4.2 定量分析方法	223
9.5 实验技术	226
9.5.1 载气及其流速的选择	226
9.5.2 担体和固定液含量选择	226
9.5.3 进样条件的选择	228
9.6 气相色谱法的应用	229
9.6.1 在生命科学中的应用	229
9.6.2 在食品卫生检验中的应用	229
9.6.3 在环境分析中的应用	230
思考题与习题	230
<b>10 高效液相色谱法及超临界流体色谱法</b>	<b>231</b>
10.1 概述	231
10.2 高效液相色谱法的基本原理	231
10.2.1 液相色谱的速率方程	232
10.2.2 柱外效应	232
10.3 高效液相色谱法的类型	233
10.3.1 液液分配色谱法	233
10.3.2 液固吸附色谱法	234
10.3.3 离子交换色谱法	234
10.3.4 离子对色谱法	235
10.3.5 离子色谱法	235
10.3.6 空间排阻色谱法	236
10.3.7 亲和色谱法	238
10.4 高效液相色谱仪	238
10.4.1 高压输液系统	239
10.4.2 进样系统	239
10.4.3 色谱柱	239
10.4.4 高效液相色谱检测器	240
10.5 超临界流体色谱法	241
10.5.1 超临界流体的特性	242
10.5.2 仪器	242
10.5.3 固定相和流动相	243
10.5.4 检测器	243
10.5.5 超临界流体色谱法与其他色谱法比较	244
10.5.6 应用	244



10.6	实验技术	244
10.6.1	分离方式的选择	244
10.6.2	衍生化技术	244
10.6.3	梯度洗脱	245
10.6.4	联用技术	246
	思考题与习题	246
<b>11</b>	<b>高效毛细管电泳和毛细管电动色谱分析法</b>	<b>247</b>
11.1	概述	247
11.2	毛细管电泳的基本原理	247
11.2.1	电泳分离基础	247
11.2.2	毛细管区带电泳	249
11.2.3	毛细管凝胶电泳	249
11.2.4	毛细管等电聚焦	251
11.2.5	亲和毛细管电泳	251
11.3	毛细管电泳装置	252
11.3.1	电泳电压	252
11.3.2	毛细管及其温度控制	253
11.3.3	进样	254
11.3.4	检测器	255
11.4	毛细管电动色谱	256
11.5	实验技术	257
11.5.1	毛细管涂层技术	257
11.5.2	凝胶毛细管制备	258
11.6	应用	258
	思考题与习题	259
<b>12</b>	<b>核磁共振波谱和质谱分析法</b>	<b>261</b>
12.1	核磁共振波谱的基本原理	261
12.1.1	原子核的自旋	261
12.1.2	核磁共振现象	262
12.1.3	核磁共振波谱仪简介	265
12.2	化学位移	266
12.2.1	化学位移的产生	266
12.2.2	化学位移的表示方法	268
12.2.3	影响化学位移的主要因素	269
12.3	实验技术	271

12.3.1	样品的制备	271
12.3.2	标准参考样品	271
12.3.3	谱图解析	271
12.4	质谱分析法的基本原理和仪器	275
12.4.1	概述	275
12.4.2	基本原理	276
12.4.3	质谱仪及性能指标	277
12.4.4	联用技术及应用	281
12.4.5	生物质谱	283
	思考题与习题	288
13	生物传感器分析技术	289
13.1	概述	289
13.2	生物传感器原理	290
13.2.1	分子识别	290
13.2.2	生物敏感物质的固定化	290
13.2.3	信号转换	292
13.3	生物传感器分类	293
13.3.1	酶传感器	293
13.3.2	组织传感器	294
13.3.3	微生物传感器	295
13.3.4	免疫传感器	296
13.4	光导纤维生物传感器	297
13.5	应用现状及前景	297
	思考题与习题	298
14	其他仪器分析方法与技术	300
14.1	伏安分析法简介	300
14.1.1	极谱分析法	300
14.1.2	催化极谱法	304
14.1.3	溶出伏安法	305
14.2	细胞生物电化学分析及其应用简介	306
14.2.1	微生物细胞生长状态的分析	306
14.2.2	细胞聚集状态分析	307
14.3	离子色谱法简介	308
14.3.1	离子色谱法分离原理	309
14.3.2	仪器及实验技术	310

14.3.3 离子色谱法的应用示例 .....	311
14.4 流动注射分析简介 .....	312
14.4.1 概述 .....	312
14.4.2 流动注射分析的基本流路和装置 .....	312
14.4.3 流动注射分析实验技术 .....	315
14.4.4 流动注射分析应用示例 .....	317
思考题与习题 .....	318
主要参考文献 .....	320
附录 .....	321
附录 I 相对原子质量表 .....	321
附录 II 原子吸收光谱法中常用的分析线 .....	322
附录 III 某些组织电极和测定对象 .....	322
附录 IV 酶电极的组成及特性 .....	323
附录 V 298K 时一些与生物有关的标准电位和条件电位 .....	323
附录 VI 用 Luminol 液相化学发光体系能够测定的金属离子 .....	324
附录 VII 用 Luminol 液相化学发光体系能够测定的部分无机物质 .....	325
附录 VIII 用 Luminol 液相化学发光体系能够测定的部分有机物质 .....	326
附录 IX 常用缩略语表 .....	327