

赵国华 主编

食品化学实验 原理与技术

YUANLI YU JISHU



化学工业出版社

赵国华 主编

食品化学实验

原理与技术



化学工业出版社

· 北京 ·

本书针对目前我国本科食品化学教学实验大部分开设食品分析实验的现状,从验证性实验、探索性实验以及综合设计性实验三个层面编写了食品化学的实验原理与技术。内容包括绪论;食品化学实验常用仪器;食品化学验证性实验;食品化学探索性实验;食品化学综合设计性实验;以及与食品化学实验相关的附录与附表。每节或章后均附有参考文献。本书除供高等院校食品科学与技术一级学科相关师生、研究生参考或作为教材使用外,也可供有关研究单位和企业高、中级食品科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

食品化学实验原理与技术/赵国华主编. —北京:化学工业出版社, 2009. 4

ISBN 978-7-122-04895-0

I. 食… II. 赵… III. 食品化学-实验 IV. TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 025663 号

责任编辑:侯玉周

文字编辑:杨欣欣

责任校对:吴 静

装帧设计:关 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张9½ 字数183千字 2009年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:20.00元

版权所有 违者必究

编写人员

主 编：赵国华（西南大学）

副 主 编：刘 娅（石河子大学）

汤务霞（四川农业大学）

编写人员：（按拼音顺序）

谌小立（西南大学）

付晓萍（云南农业大学）

黄文书（新疆农业大学）

刘 娅（石河子大学）

汤务霞（四川农业大学）

王洪伟（西南大学）

杨 冯（西南大学）

赵国华（西南大学）

郑 刚（西南大学）

主 审：陈宗道（西南大学）

前言

食品化学、食品微生物学和食品工程原理并称为食品科学与工程学科三大基础支柱分支学科。实验教学是食品化学教学的重要组成部分，是高等院校培养高素质合格人才的重要实践性环节，是学生巩固和加深理解理论知识，加强学生的动手能力，锻炼在实践中发现问题、分析问题和解决问题的能力，提高教学质量的重要途径。但由于种种原因，其中之一是缺乏相关的针对性教材，我国本科食品化学教学实验基本开展以食品分析为内容的教学，这与食品化学注重食品变化过程、食品成分功能、了解食品生产各环节食品内在物质组成、功能以及形态等的变化相驳。

由于我国各个设有食品相关专业的单位实验条件差异较大，在内容编写上本书力求普遍性与高的适应性，内容上尽量丰富，以便于不同单位选择使用其中的内容。在实验层次设计上，本书按照培养创新人才实验教学体系的要求设计了3个层次的实验，即理论验证性实验（14个）、探索性实验（8个）和综合设计实验（4个）。理论验证性实验就是保持原来食品化学实验课程中与食品化学理论教学联系紧密的一些简单的课堂教学内容验证性实验；探索性实验在理论教学的基础上，深化或拓展对理论教学的理解与认识，要求学生以单一指标为观测点的研究性实验；综合设计实验以提高学生自身能力、加强理论知识融合、培养团队精神、培养创新和主动学习能力为目的。另外，为配合相关实验的开展，本书也详细介绍了相关仪器的原理、操作与维护等知识。

本书的编写者大多都是直接从事本科食品化学教学的一线教师，他们分别是西南大学赵国华、石河子大学刘娅、云南农业大学付晓萍、新疆农业大学黄文书、四川农业大学汤务霞、西南大学王洪伟讲师。西南大学在读研究生郑刚、湛小立和杨冯为本教材编写（附录与附表等）也贡献了力量。全书由赵国华统稿，西南大学的陈宗道教授主审。

西南大学的李洪军院长、阚建全教授以及化学工业出版社的编辑对本书的编写提出过宝贵意见，化学工业出版社为本书的顺利出版给予了极大的支持，在此一并致谢。

尽管我们主观上力求把本书写得圆满，但由于水平有限，书中难免有不当之处，希望读者给予批评、指正。

编者
2009年2月

目 录

第1章 绪论/1

1.1	食品化学实验的目的与要求	1
1.2	现代食品化学教学实验体系	2
1.3	食品化学实验的安全防护	3
1.4	实验测量与误差	4
1.5	实验数据处理与表达	6
1.6	实验报告撰写	7
1.7	课程考试方式建议	8

第2章 食品化学实验常用仪器/9

2.1	紫外-可见分光光度计	9
2.2	旋光仪	17
2.3	扫描电子显微镜	23
2.4	质构仪	27
2.5	黏度计	29
2.6	气相色谱 (GC)	33
2.7	酸度 (pH) 计	39
2.8	自动凯氏定氮仪	42
2.9	水分活度仪	45
2.10	快速黏度仪	47
2.11	差示扫描量热仪	50
2.12	荧光分光光度计	54

第3章 食品化学验证性实验/58

实验 1	食品的水分活度测定 (康维血法和水分活度仪法)	58
实验 2	淀粉颗粒形态的电子显微镜观察	61
实验 3	蔗糖转化度的测定	62
实验 4	淀粉糊化度的测定 (酶法)	64
实验 5	直链淀粉含量的测定	66
实验 6	淀粉的糊化温度测定	70

实验 7	果胶凝胶的形成及性能测定	71
实验 8	气相色谱分析油脂脂肪酸组成	73
实验 9	蛋白质碱溶酸沉提取实验	74
实验 10	蛋白质水解度测定	76
实验 11	蛋白质起泡能力与泡沫稳定性测定	78
实验 12	pH 对花色素苷溶液色泽的影响	81
实验 13	乳状液的制备及性质测定	83
实验 14	蛋白质疏水性测定	86

第 4 章 食品化学探索性实验/88

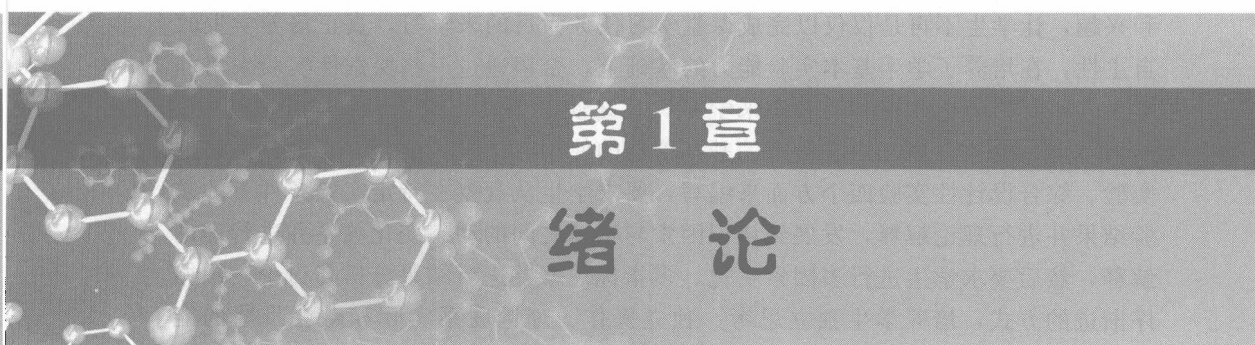
实验 1	糖浓度对柑橘汁水分活度的影响	88
实验 2	不同淀粉的 α -淀粉酶水解适性测定	89
实验 3	pH 对明胶凝胶形成的影响	93
实验 4	玉米淀粉的羧甲基化改性处理及取代度测定	95
实验 5	油炸时间对油脂品质影响的研究	98
实验 6	绿叶蔬菜的酸褪色实验	101
实验 7	氨基类物质及赖氨酸对 Maillard 反应影响的研究	103
实验 8	热处理温度对果汁中维生素 C 的影响	105

第 5 章 食品化学综合设计性实验/109

实验 1	Maillard 反应初始阶段的测定	109
实验 2	常见加工方式对红薯淀粉体外消化率的影响	111
实验 3	提高油炸用油氧化稳定的研究（单一抗氧化剂和复合抗氧化剂的效果）	114
实验 4	大豆分离蛋白的乳化特性研究	117

附录/123

附录一	中华人民共和国法定计量单位	123
附录二	常见标准滴定溶液的配制与标定	125
附录三	数据表	135
1	常用酸碱溶液的相对密度和浓度对照表	135
2	常用缓冲溶液配制	136
3	常用指示剂	144
4	筛子内径	146



第 1 章

绪 论

1.1 食品化学实验的目的与要求

食品化学、食品微生物学和食品工程原理并称为食品科学与工程学科三大基础支柱分支学科。其中，食品化学是从化学角度和分子水平上研究食品的化学组成、结构、理化性质、营养与安全性质，食品中各类物质在食品生产、加工、贮藏与运销过程中发生的变化以及这些变化对食品品质与安全产生的影响的一门基础应用科学；是为改善食品品质、开发食品新资源、革新食品加工工艺和贮运技术、科学调整居民膳食结构、改进食品包装、加强食品质量控制以及提高食品原料加工与综合利用水平奠定理论基础的科学。因此，食品化学是食品专业学生必修的一门非常重要的专业基础课。

一般来说，食品化学的教学分为两个部分，课堂理论教学部分与实验教学部分，两者所占总教学课时的比例大约为 3 : 1。实验教学是食品化学教学的重要组成部分，是高等院校培养高素质合格人才的重要实践性环节，是学生巩固和加深理解理论知识，加强学生的动手能力，锻炼在实践中发现问题、分析问题和解决问题的能力，提高教学质量的重要途径。在培养学生的实践、研究、创新能力和综合素质，实现学校制定的专业培养目标等方面有着其他教学环节所不可替代的独特作用。

本着提高学生的实践、研究、创新能力和综合素质的目标，要求学生在理解基本实验原理的基础上，通过实验来加深理解，同时培养学生的动手能力，掌握仪器的使用和维护。除了掌握一些经典的基本简单仪器（如凯氏定氮器、索氏提取器）的使用外，我们希望学生能够掌握一些更先进仪器（如气相色谱仪、紫外-可见分光光度计、荧光分光光度计、微分热量扫描仪、质构仪、自动凯氏定氮仪、水分活度仪、色差仪、电子万能拉伸仪、薄膜透气测定仪等）的使用和维护，只有这样才能使学生适应科技飞速发展的时代。

掌握仪器的使用和维护是最基本的要求，我们的目的是培养学生的科研能力

和兴趣,让学生不再是仅仅以完成课堂学习任务为目的来学习,真正培养学生的自主性,在培养了学生基本实验能力的基础上,希望通过一些探索性实验来培养学生的科研热情,以探索的心态来学习,最终使学生具有综合设计实验的能力。所以本书主要从食品化学实验室的基本仪器的使用与维护、验证性实验、探索性实验、综合设计性实验四个方面来编写,要求学生从观察在特定实验条件下的实验结果并进行理论解释,发展到认识因素与指标之间的动态变化关系并进行理论解释,然后要求学生进行多因素变化、多指标观察并进行结果分析与讨论。用循序渐进的方式,培养学生独立思考、独立操作、理论联系实际和融会贯通的能力,最终使得学生的创新能力和综合素质提高。

1.2 现代食品化学教学实验体系

为更好地贯彻教育部 2007 年 2 月《关于进一步深化本科教学改革全面提高教学质量的若干意见》,结合食品化学实验教学课程目前的现状,为推进食品化学实验教学内容与实验模式的改革与创新,为培养具有创新能力、动手能力,符合新世纪要求的高素质人才,并结合和参考当前实验课程改革的最新成果,我们提出了现代食品化学教学实验体系,其组成部分和功能如下。

1.2.1 理论验证性实验

理论验证性实验实际就是保持原来食品化学实验课程中与食品化学理论教学紧密的一些简单的课堂教学内容验证性实验。如“淀粉颗粒形态观察”、“淀粉糊化度测定”、“蔗糖转化与转化度测定”等。这部分实验的目的是让学生进一步对课堂理论教学的主要知识点有一个更为直观的认识和理解。在实验过程中,由实验教学教师准备所有实验条件,学生按照规定的实验路线进行操作,观察在特定实验条件下的实验结果并进行理论解释。每个理论验证性实验一般安排 2 学时,各小组进行完全相同的实验内容。

1.2.2 探索性实验

探索性实验是在理论教学的基础上,深化或拓展对理论教学的理解与认识,要求学生进行以单一指标为观测点的研究性实验。如“pH 对明胶凝胶形成的影响”、“油炸时间对油脂品质影响的研究”、“糖浓度对柑橘汁水分活度的影响”等。这部分实验与理论验证性实验最大的区别就是:理论验证性实验只要求学生观测一组特定实验条件下的单一结果;而探索性实验要求学生观测在某一因素连续或阶段性变化时单一特定指标的变化情况,让学生从更深层面了解或认识因素与指标之间的动态变化关系。在实验过程中,实验任务和详细的实验方案由实验教师提出,学生进行实验准备并按照要求完成实验,记录实验结果,对数据进行

分析, 绘制因素-指标变化曲线, 并进行详细的讨论。教师在实验过程中要给学生传授简单的实验设计方法与因素水平设置的一般要求。每个探索性实验一般安排 3 学时, 各实验小组进行的因素变化可以相同也可以不相同。

1.2.3 综合设计实验

综合设计实验以提高学生自身能力、加强理论知识融合、培养团队精神和培养创新和主动学习能力为目的。如“大豆分离蛋白的乳化特性研究”、“提高油炸用油氧化稳定的研究”等。这部分实验要求学生进行多因素变化、多指标观察。综合实验的任务可由指导教师按照实验小组分别提出, 也可以各个实验小组根据自己的兴趣爱好提出实验任务, 经教师认可后进行。实验过程中, 实验教师只起辅助作用, 主要为实验条件提供和设施维护, 实验准备、设计、操作、结果分析与表达、讨论均由学生小组独立完成。必要时, 教师给予一定的帮助, 尤其是实验设计。每个综合设计实验一般安排 8~10 学时, 学生可以在课余时间进行, 形式类似开放实验。

1.3 食品化学实验的安全防护

食品化学实验室的安全防护主要体现在防火、防爆炸、防灼伤及防毒 4 个方面, 掌握一些常识是必备的。

1.3.1 防火

① 由于实验室存在许多易挥发、易燃药品(如乙醚、酒精、丙酮等), 实验室应禁止吸烟并尽量避免使用明火。同时实验室应当配备多种灭火器材, 万一着火, 应采取适当措施灭火。根据不同情况, 可选用水、沙, 泡沫、 CO_2 或 CCl_4 灭火器灭火。

② 金属钠、钾、铝粉、电石及金属氢化物要注意使用和存放, 尤其不宜与水直接接触。

③ 对必须使用明火的实验室, 给酒精灯或酒精喷灯添加酒精时, 必须先盖灭酒精灯或酒精喷灯后才能添加。

④ 同时使用较多大功率仪器时, 应该注意避免引起电线的起火, 如遇此情况, 应马上关闭实验室电源总闸。

1.3.2 防爆炸

① 挥发性易燃易爆药品应该放在通风良好、阴暗低温、远离火源的地方。

② 使用易爆类药品(如高氯酸及其盐、 H_2O_2 、叠氮铅、乙炔铜、三硝基甲苯等)时, 应该防止剧烈振动或受热。使用完后小心放回低温通风处。

③ 强氧化剂和强还原剂必须分开存放，使用时轻拿轻放，远离热源。

④ 防止 H_2 、 CO 、乙烯、乙炔、苯、乙醇、乙醚、丙酮、乙酸乙酯和氨气等可燃性蒸气或气体与空气混合至爆炸极限而引起爆炸。

1.3.3 防灼伤

① 防止酒精灯及电炉等高温热源引起的灼伤。

② 强酸、强碱、强氧化剂、溴、磷、钠、钾、苯酚、醋酸等药品都会灼伤皮肤。应注意不要让皮肤与之接触，尤其防止溅入眼中。当皮肤受到灼伤时，应立即用蒸馏水或自来水冲洗，然后用 50g/L 的碳酸氢钠溶液洗涤，再用蒸馏水或自来水冲洗。如果不慎溅入眼中应该立即用蒸馏水或自来水冲洗眼部。也可采取酸碱中和的原理，如用 50g/L 碳酸氢钠来中和酸类物质、2% 硼酸来中和碱类物质来清洗，然后滴 1~2 滴油性物质滋润保护。严重时，必须冲洗后立即送医院就医。

1.3.4 防毒

① 应该尽量在通风橱内使用有毒有害药品，并防止药品与皮肤接触。实验中应该戴上口罩，实验完成后应该及时洗手。

② 教师应该在学生进行实验前，提醒学生注意有毒药品的使用。

1.4 实验测量与误差

1.4.1 测量的定义及分类

测量就是借助仪器用某一计量单位把待测量的大小表示出来。根据获得测量结果方法的不同，测量可分为直接测量和间接测量：由仪器或量具可以直接读出测量值的测量称为直接测量；不能用直接测量的方法得到，而是利用若干个直接测量值通过一定的函数关系计算出被测量的数值的测量称为间接测量。

1.4.2 误差的定义及分类

测量值与真值之间的差异称为测量误差，又称为绝对误差，简称误差。记为：

$$\Delta N = N - N_0$$

其中测量值为 N ，相应的真值为 N_0 。绝对误差与真值之比的百分数叫做相对误差，记为：

$$E = \frac{\Delta N}{N_0} \times 100\%$$

根据误差来源的不同,分为系统误差和随机误差。在相同条件下多次测量同一物理量时,误差的大小恒定,符号总偏向一方,或误差按照某一确定的规律变化,称为系统误差。系统误差产生的原因主要有以下几个方面:仪器误差、理论和实验方法误差、实验人员的误差。产生系统误差的原因通常是可以被发现的,原则上可以通过修正、改进加以排除或减小,但要求测量者有丰富的实践经验才能达到。随机(偶然)误差是指测量中出现的大小和方向都难以预料,且变化方式不可预知的测量误差。但当测量次数足够多时,随机误差的出现和分布总是服从一定的统计规律。因此可以通过增加实验次数来减小随机误差,但不能完全消除。

1.4.3 测量结果的评价

测量的精密度、准确度和精确度都是评价测量结果的术语,但目前使用时其涵义并不尽一致,以下介绍较为普遍采用的说法。

精密度是指对同一被测量作多次重复测量时,各次测量值之间彼此接近或分散的程度,它表现了测量结果的再现性。它是对随机误差的描述,它反映随机误差对测量的影响程度。随机误差小,测量的精密度就高。精密度用偏差来表示:

绝对偏差 = 个别测量值 - 测量平均值

$$\text{相对偏差} = \frac{\text{绝对偏差}}{\text{测量平均值}} \times 100\%$$

实际做实验时,都是有限次测量,因此实际应用中经常用到单次测得值的标准偏差 S , 其公式如下:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

式中, n 为测量次数; X_i 为每次测定结果; $\bar{X}$ 为测量平均值。

准确度是指被测量的总体平均值与其真值接近或偏离的程度。它是对系统误差的描述,它反映系统误差对测量的影响程度。系统误差小,测量的准确度就高。

精确度是精密度和准确度的合称,是对测量的随机误差及系统误差的综合评定。它反映随机误差和系统误差对测量的综合影响程度。只有随机误差和系统误差都非常小,才能说测量的精确度高。

1.4.4 误差的消除

- ① 减小绝对误差,使得原始数据更接近真值。
- ② 通过增加平行测定次数来减小随机误差,提高精密度。但平行次数过多

在实际实验操作中不切实际、得不偿失，一般 3~5 次平行测定即可。

③ 减小系统误差。用组成与试样相近的标准试样来测定，将标准值与测定结果比较，用统计学检验方法来确定有无系统误差；用标准方法与所选方法同时测定试样，对两种方法的测定结果进行比较，用统计学检验方法来确定有无系统误差。可通过空白实验、回收率测定（回收率 = $\frac{\text{测出的标样量}}{\text{标样加入量}} \times 100\%$ ）及仪器校正和方法来减小系统误差。

1.5 实验数据处理与表达

1.5.1 数据的记录

在定量分析中，除了要选择准确度和精密度符合要求的实验方法外，要求数据的记录也要准确，根据实验要求、实验方法与所用仪器的精确度进行正确的有效数字记录是必须的。有效数字定义为可靠数字加上可疑数字。可靠数字是测量中能够准确读出的数字，可疑数字是通过估计读出的数字。测量误差对应有效数字的可疑位上。测量结果应表示成 $X \pm \Delta X$ 的形式，而且测量不确定度的数字与有效数字的可疑位应该具有相同的数量级。

1.5.2 数据的整理

把原始数据按照一定的计算式计算出各种实验结果，并把它们列入数据整理表中，以便在误差分析和其他数据处理时使用。原始数据的处理就涉及有效数字的运算。有效数字进行运算总的规则是：可靠数字与可靠数字运算后仍为可靠数字，可疑数字与可疑数字运算后仍为可疑数字，可靠数字与可疑数字运算后为可疑数字，进位数可视为可靠数字。

对于已经给出了不确定度的有效数字，根据不确定度来决定结果的有效数字位数。具体规则如下：

(1) 加减运算规则 几个数值相加或减时，计算结果只能保留一位可疑数。在弃去过多的可疑数时，按四舍五入的规则进行取舍。即计算结果的有效数字的保留应与小数点后位数最少那个分量的位数相同。

(2) 乘除运算规则 若干个有效数字相乘除时，计算结果的相对误差接近于所有数值中误差最大的，其有效数字位数在大多数情况下与参与运算的有效数字位数最少的那个分量的有效位数相同。

(3) 乘方、开方运算规则 有效数字在乘方或开方时，若乘方或开方的次数不太高，其结果的有效数字位数与原底数的有效数字位数相同。

(4) 对数运算规则 有效数字在取对数时，其有效数字的位数与真数的有效

数字位数相同或多取 1 位。

1.5.3 数据的表达

1.5.3.1 列表法

在实验数据的表达上，经常是制成一份适当的表格，把被测量及测得的数据一一对应地排列在表中，称为列表法。

列表的要求：表格设计要尽量简明、合理；在各项目栏中标明所列量的名称和单位；填写测量数据应按有效数字的要求；数据书写应整齐清楚。

1.5.3.2 作图法

为了更清楚直观地观察到实验所得一系列数据间的关系及其变化规律，通常把测得的一系列相互对应的数据及变化的情况用曲线表示出来，称为作图法。

作图的要求：

① 标明坐标轴代表的量名称和单位及写明图表名称。一般用 x 轴代表自变量，用 y 轴代表因变量。

② 标明坐标轴单位长度所代表的量的值及坐标原点数值。

③ 标出数据点。在坐标图上用“ $\triangle$ ”或“ $\times$ ”等符号标出数据点的位置；用不同的符号区别开不同的量。

④ 连线。若在坐标纸上作图，则连线时应使用直尺或曲线板把点连成直线或光滑曲线，并且应使曲线尽量通过大多数点，其他点应靠近曲线两侧均匀分布，对个别偏离大的点应进行分析；若在计算机上用 Excel、SPSS 等软件作图，则由计算机自动完成。

1.6 实验报告撰写

验证性实验的实验报告的撰写主要包括实验名称、实验目的、实验原理、操作步骤和实验结果记录几个部分。探索性实验和综合设计性实验的实验报告的撰写主要包括实验名称、实验目的、实验设计、操作步骤、实验结果记录和实验现象的分析几个部分。探索性实验和综合设计性实验的实验报告撰写比验证性实验的实验报告撰写要求稍高，这主要是培养学生的科研能力，学会去分析实验结果，充分发挥学生的主观能动性、提高学生的兴趣和能力。

实验报告的撰写要求简明扼要、通俗易懂，尽量根据自己的实验操作体会来简化语言并深化理解。其中实验报告的重点是结果与讨论部分，包括对实验观察到的现象和实验结果与数据的记录、对实验数据的处理和计算、对实验现象和结果的分析讨论和对实验中所遇到问题的探讨等。另外每个实验所列的思考题应结合自己的实验体会在实验报告中认真作出书面回答。

1.7 课程考试方式建议

本课程主要考察两个方面的能力：一是食品化学实验精度的能力；二是针对食品化学问题的实验设计和构思能力。特此采用以下两个考核方式相结合的考核方式。

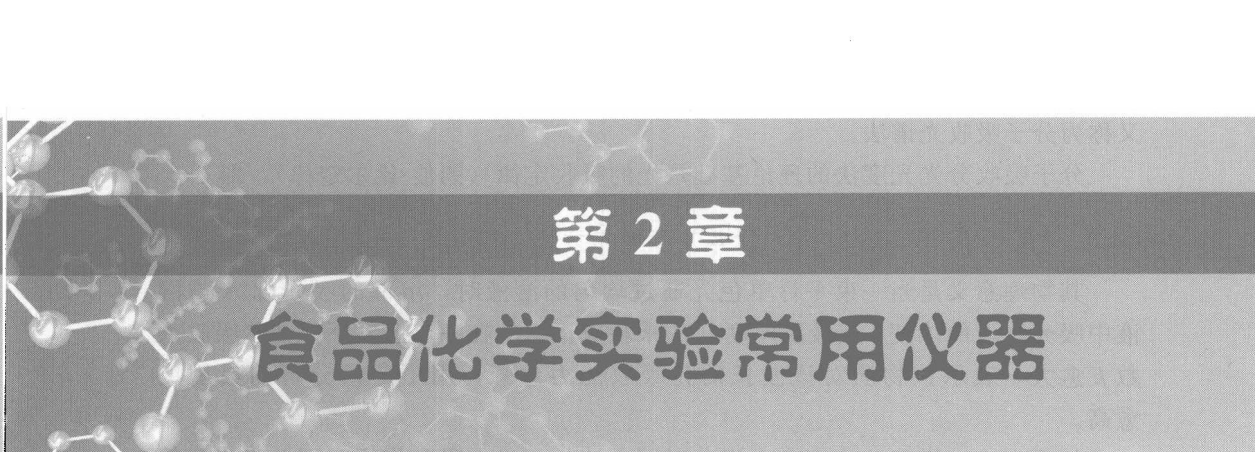
(1) 食品化学实验能力考核 本考核方式采取教师制订实验内容与实验路线和方法，学生进行实验。成绩的评定采用单个同学的测定结果与全班同学测定结果平均值的相对偏差（RDS%）来确定。一般相对偏差在 $\pm 3\%$ 以内为优，相对偏差在 $\pm 3\% \sim \pm 8\%$ 以内为良，相对偏差在 $\pm 8\% \sim \pm 12\%$ 以内为中，相对偏差在 $\pm 12\% \sim \pm 15\%$ 以内为合格，相对偏差在 $\pm 15\%$ 以外为不合格。

(2) 食品化学问题实验设计能力考核 教师给出一个研究课题，如“红薯淀粉的理化特性的研究”，让学生写出一个实验设计计划书。计划书应该包括研究背景、研究内容、研究路线和设计、实施方案、预期结果等。

参考文献

- [1] 汪东风. 食品科学实验技术 [M]. 北京：中国轻工业出版社，2006.
- [2] 韩雅珊. 食品化学实验指导 [M]. 北京：北京农业大学出版社，1992.

（赵国华编写）



第2章

食品化学实验常用仪器

2.1 紫外-可见分光光度计

利用紫外-可见分光光度计测量物质对紫外-可见光(200~1000nm)的吸收程度(吸光度)和紫外-可见吸收光谱来确定物质的组成、含量,推测物质结构的分析方法,称为紫外-可见吸收光谱法或紫外-可见分光光度法(ultraviolet and visible spectrophotometry, UV-VIS)。它属于分子吸光分析法。

2.1.1 原理与结构

2.1.1.1 分子吸光分析法原理

基于物质对光的选择性吸收而建立的分析方法,称为分子吸光分析法。它包括比色法和分子吸收分光光度法。

基于比较待测溶液颜色的分子吸光分析法称为比色法,分为目视比色法和光电比色法。对于有色溶液,在一定条件下,其颜色的深浅与溶液的浓度有关。浓度越高,对光的吸收越多,溶液颜色越深。反之,浓度越低,对光的吸收越少,溶液颜色越浅。因此通过显色反应,然后比较待测溶液与标准溶液颜色的深浅来确定待测物质含量,这就是比色法。如果通过日光照射待测溶液,用肉眼比较溶液颜色深浅,称为目视比色法;如果用稳定的白炽灯光代替目视比色法中的日光,让光源发出的光经过合适的滤光片(以获得待测溶液吸收较多的波段范围较窄的光)后,通过待测试液,再用光电池(将光信号转换为电信号)代替肉眼来检测试液对光的吸收程度(吸光度),以此确定物质含量,这种方法便称为光电比色法。

如果采用分光能力更强的棱镜或光栅代替光电比色法中的滤片,以获得纯度更高的单色光,就会大大提高测定的灵敏度和准确度。这种使用了棱镜和光栅分光系统的分子吸光分析法,称为分子吸收分光光度法。由于这种吸收方法同时可以测定物质的吸光度随入射光波长变化的关系曲线(吸收光谱或吸收曲线),故

又称为分子吸收光谱法。

分子吸收分光光度法的理论基础是光的吸收定律（朗伯-比尔定律），即

$$A = \lg \frac{I_0}{I} = \lg \frac{1}{T} = k c L$$

其物理意义是当一束平行单色光通过均匀的溶液时，溶液的吸光度 A 与溶液中吸光物质的浓度 c 及液层厚度 L 的乘积成正比。在一定温度下，摩尔吸收系数 k 愈大，表示该物质对该波长的光吸收能力愈强，用于定量分析的灵敏度愈高。

如果在一试样溶液中有多个组分对同一波长的光有吸收作用，则总吸光度等于各组分的吸光度之和。即 $A = A_1 + A_2 + \cdots + A_n$ （条件是各组分的吸光质点不发生作用），这就是物质对光吸收的加和性。

分子吸收分光光度法主要包括可见吸收分光光度法、紫外吸收分光光度法（由于仪器结构相似，两种方法常合并在一起，称为紫外-可见吸收分光光度法）和红外吸收分光光度法（又称为红外吸收光谱法）。

2.1.1.2 紫外-可见吸收光谱法的基本原理

(1) 电子跃迁的类型 紫外-可见吸收光谱属分子吸收光谱，是由分子的外层价电子跃迁产生的，也称电子光谱。每种电子能级的跃迁会伴随若干振动和转动能级的跃迁，使分子光谱呈现出宽带吸收。

当分子吸收紫外-可见区的辐射后，产生价电子跃迁。这种跃迁有三种形式：形成单键的 σ 电子，形成双键或叁键的 π 电子和分子中未成键的孤对电子（称为 n 电子）。分子内的电子能级图见图 2-1。由图 2-1 可见，电子跃迁有 $n \rightarrow \pi^*$ 、 $n \rightarrow \sigma^*$ 、 $\sigma \rightarrow \sigma^*$ 和 $\pi \rightarrow \pi^*$ 四类。各种跃迁所需能量是不同的，其大小顺序为： $\sigma \rightarrow \sigma^* > n \rightarrow \sigma^* > \pi \rightarrow \pi^* > n \rightarrow \pi^*$ 。

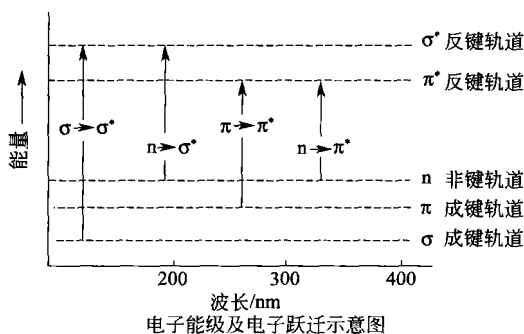


图 2-1 分子电子能级图

① $\sigma \rightarrow \sigma^*$ 跃迁 成键 σ 电子由基态跃迁到 σ^* 轨道。在有机化合物中，由单键构成的化合物，如饱和烃类能产生 $\sigma \rightarrow \sigma^*$ 跃迁。引起 $\sigma \rightarrow \sigma^*$ 跃迁所需的能量很大，因此所产生的吸收峰出现在远紫外区，在近紫外区、可见光区不产生吸收，