



食品化学

简明教程及实验指导

SHIPIN HUAXUE
JIANMING JIAOCHENG JI SHIYAN ZHIDAO

李秋菊 主编

 中国农业出版社

化学简明教程及实验指导

主 编 李秋菊
副主编 赵 宇 韩红艳
王慧阳 常凤滨

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品化学简明教程及实验指导/李秋菊主编. —北京:
中国农业出版社, 2005. 7
ISBN 7-109-09945-8

I. 食... II. 李... III. 食品化学—教材
IV. TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 064306 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)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 张国庆

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 21

字数 471 千字 印数 1~1 200 册

定价: 29.80 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

序

随着我国食品工业的快速发展，社会对食品专业技术人员的需求越来越多。特别是近年来食品工业大量乡镇及民营企业的迅速崛起，造成食品工业的人才尤为短缺。为了满足社会发展需要，食品类高职高专教育应运而生。

《食品化学简明教程及实验指导》是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》和《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》的精神编写而成的。在编写过程中，他们力求体现我国高职教育特点，以应用为目的，在突出基本理论、基本概念的同时，更注重理论与实验分析的有机结合，这样既拓宽了学生的知识面，又培养了学生的实践应用能力。此外，每章都有基本要求和思考练习题，便于教学使用和学生掌握知识重点。

本书主要介绍了食品基本的成分、结构和性质以及在加工和贮藏中发生的化学变化。内容包括：水、矿物质、糖类、蛋白质、脂类、维生素、酶、食品色泽、食品风味物质、食品添加剂、食品中各种成分与人体健康及食品加工和贮藏方法。

本书由多年从事食品化学教学和科研的李秋菊、赵宇、韩红艳、王慧阳、常凤滨同志共同编写，他们参阅了国内外大量文献，汲取了全国同类教材和著作的精华并倾注了大量心血而完成。该书语言精炼，内容翔实，图文并茂，通俗易懂，较为全面系统地介绍了食品化学的基础理论和基本实验技能，实为我国食品化学高职高专教材中少见的优秀教材。

本书不仅是师范、农林、轻工、高职高专等院校的食品类、生物技术类、生物化学类专业学生的适用教材，而且对食品相关科研技术人员和生产经营者都具有重要的参考价值。

山西农业大学食品科学与工程学院

常明昌 教授

2005年3月

前 言

食品化学是用化学的理论和研究方法研究食品本质的科学，是应用化学的一个重要分支，也是食品科学中发展很快的一个领域。尤其是近年来，人们对饮食科学和人体健康的关注，使得食品科学成为当今最热门的科学，并且必定是未来最有生命力的科学，这将大大加快食品化学的发展步伐。

随着食品工业的快速发展，各地食品行业的专业人才十分短缺。为了培养更多既有一定理论知识又有一定实践操作能力的专业技术人员，食品类教育专业应运而生。目前适用的食品化学教材还不多，在此情况下，编写了《食品化学简明教程及实验指导》一书，来满足师范、农林、轻工、高职高专等院校的食品类、生物技术类、生物化学类专业的学生使用，而且对食品相关科研技术人员和生产经营者也具有一定参考价值。

在编写过程中，作者根据职业教育特点，力求语言精炼、内容翔实、图文并茂、理论联系实际、通俗易懂，使读者达到学以致用效果。

本书由多年从事食品化学教学和科研的李秋菊、赵宇、韩红艳、王慧阳、常凤滨共同编写，虽然作者尽了最大努力，但由于水平有限，肯定还有很多不足之处，希望读者批评指正。

编 者

2005.3

目 录

序
前言

绪论	1
第一章 食品中的水	6
第一节 概述	6
一、水和冰的物理常数	6
二、水和冰的结构	7
第二节 水的存在及其对食品品质的影响	9
一、水在食品中的含量及存在形式	9
二、水对食品品质的影响	11
第三节 水分活度及其实践意义	13
一、水分活度	13
二、水分活度的实践意义	16
第四节 水与食品的加工和贮藏	19
一、水在食品加工中的作用	19
二、水与食品的贮藏	21
第二章 矿物质	25
第一节 概述	25
一、基本概念	25
二、食品中矿物质的分类	25
三、食品中矿物质的存在形式	26
第二节 矿物质的性质和食品加工对矿物质的影响	29
一、矿物质的性质	29
二、食品加工对矿物质的影响	32
第三节 重要的矿物质元素及其生理功能	33
一、常量元素及其生理功能	33
二、微量元素及其生理功能	35
第三章 糖类	39
第一节 概述	39
一、糖类的定义和来源	39

二、糖的分类	39
三、食品中的糖类化合物	40
第二节 食品中重要的单糖和低聚糖	41
一、单糖	41
二、糖苷	44
三、低聚糖	46
第三节 糖类化合物的性质及其应用	48
一、糖类化合物的物理性质及其应用	48
二、糖类化合物的化学性质及其应用	51
第四节 食品中重要的多糖	55
一、淀粉	55
二、糖原	60
三、纤维素	60
四、半纤维素	62
五、果胶	62
六、瓜尔豆胶和角豆胶	64
七、阿拉伯树胶	64
八、黄蓍胶和琼脂	65
九、鹿角藻胶	65
十、褐藻胶	66
十一、微生物多糖	66
十二、魔芋葡甘露聚糖	67
十三、膳食纤维	67
第四章 蛋白质	69
第一节 概述	69
一、蛋白质的作用及在食品中的含量	69
二、蛋白质的化学元素成分	69
三、组成蛋白质的基本单位—氨基酸	70
四、蛋白质的分类	73
第二节 氨基酸的理化性质	75
一、氨基酸的物理性质	75
二、氨基酸的酸碱性质	75
三、氨基酸的化学反应	77
第三节 蛋白质的结构层次	79
一、蛋白质的一级结构	79
二、蛋白质的二级结构	80
三、蛋白质的三级结构	81
四、蛋白质的四级结构	82

第四节 蛋白质分子的变性	83
一、蛋白质的变性	83
二、变性因素与变性	83
第五节 蛋白质在食品中的理化性质	87
一、蛋白质的两性电离	87
二、蛋白质的胶体性质	88
三、蛋白质的沉淀作用	88
四、蛋白质的水解和分解	89
五、蛋白质的颜色反应	90
第六节 蛋白质在食品中的功能性质	90
一、蛋白质的功能性质	90
二、蛋白质主要功能性质及其变化	92
第七节 食品蛋白质	97
一、肌肉蛋白	97
二、乳蛋白质	97
三、胶原和明胶	98
四、卵蛋白质	98
五、植物蛋白质	98
第八节 食品蛋白质在加工和贮藏中的变化	99
一、热加工	100
二、碱处理	100
三、冷冻	100
四、干燥	101
五、氧化	101
第五章 脂类	103
第一节 概述	103
一、脂类的概念	103
二、脂类的命名	103
第二节 脂类的分类	105
一、单脂	106
二、类脂	109
第三节 油脂的物理特性及应用	110
一、食用油脂的色泽特征	110
二、食用油脂的气味特征	111
三、脂肪的结晶特性	111
四、油脂的融化膨胀与塑性	112
五、油性和黏度	113
六、熔点、凝固点、发烟点、闪点和燃点	113

七、液晶和油水乳化	114
第四节 食用油脂的化学性质及应用	115
一、脂类水解	116
二、脂质氧化	116
三、油脂的热分解	119
四、油炸化学	121
五、食用油脂在食品加工中的作用	123
第五节 油脂的特征值及品质检验	124
一、油脂的重要的化学特征值	124
二、油脂氧化性的测定	124
第六节 油脂加工化学	126
一、油脂精炼	126
二、油脂氢化	127
三、酯交换	127
第六章 维生素	130
第一节 概述	130
一、维生素的定义	130
二、分类和命名	130
三、维生素的国际单位	131
第二节 脂溶性维生素	131
一、维生素 A	131
二、维生素 D	134
三、维生素 E	135
四、维生素 K	136
第三节 水溶性维生素	137
一、维生素 C	137
二、维生素 B ₁	139
三、维生素 B ₂	141
四、维生素 B ₅	142
五、维生素 B ₆	143
六、维生素 B ₁₁	143
七、维生素 B ₁₂	144
八、其他 B 族维生素	145
第四节 生物碱	145
第五节 食品中维生素的损失、摄入及生物利用率	147
一、食品中维生素损失常见原因	147
二、维生素的摄入情况	149
三、维生素的生物利用率	150

四、维生素在强化食品中的应用	150
第七章 酶	152
第一节 概述	152
一、酶 (enzyme) 的概念	152
二、酶的分类	152
三、酶的结构	154
四、食品原料中酶的含量	154
第二节 酶的特征	155
一、酶的催化特点	155
二、酶的催化理论	156
三、酶的催化作用	157
第三节 影响酶活力的因素	157
一、温度对酶变性和失活的影响	158
二、pH 对酶的影响	158
三、水分活度和酶的活力	159
四、电解质对酶的影响	160
五、激活剂和抑制剂对酶的影响	161
第四节 酶的作用对食品质量的影响	162
一、颜色	162
二、质地	163
三、风味	166
四、营养质量	167
第五节 食品加工中的固定化酶	167
一、酶的固定化方法	168
二、固定化酶的性质	169
三、固定化酶在食品中的应用	170
第六节 食品加工中的酶制剂	170
一、在甜味剂生产使用中的酶制剂	171
二、各种酶在食品加工中的应用	171
三、蛋白质食品加工中使用的酶制剂	172
第七节 酶在食品分析中的应用	173
第八章 食品的色素物质	175
第一节 概述	175
一、人们对食品色泽的感觉	175
二、食品色素的发色原理	176
三、食品的护色	177
第二节 食品中的天然色素	177
一、四吡咯衍生物	178

二、异戊二烯衍生物	181
三、多酚类衍生物	183
四、酮类衍生物	186
五、醌类衍生物	187
第三节 食品中的合成色素	188
一、合成色素的使用概况	188
二、我国允许使用的食品合成色素	188
第四节 食品的褐变作用	190
一、酶促褐变	190
二、非酶褐变	192
第五节 常见食品的调色	194
一、常见食品的色泽与调色	194
二、使用合成色素的注意事项	197
第九章 食品风味	199
第一节 概述	199
一、食品风味的定义	199
二、味觉	199
三、嗅觉	202
第二节 甜味及甜味物质	203
一、甜味理论	203
二、影响甜度的因素	204
三、甜味物质	205
第三节 酸味及酸味物质	208
一、酸味机理	208
二、常见的几种酸味物质	208
第四节 苦味及苦味物质	210
第五节 咸味及咸味物质	213
第六节 其他味感	213
一、辣味及辣味物质	213
二、鲜味及鲜味物质	215
三、涩味及涩味物质	217
第七节 食品的香味和香味物质	217
一、植物性食品的香气成分	218
二、动物性食品的香味物质	220
三、发酵食品的香气成分	223
四、焙烤食品的香气	225
第八节 风味的感官评价及风味化学的发展前景	225
一、风味的感官评价	225

二、风味化学的发展前景	226
第十章 食品添加剂	228
第一节 概述	228
一、食品添加剂的定义	228
二、食品添加剂的作用	228
三、食品添加剂的分类	229
四、食品添加剂的安全要求及卫生管理	229
五、食品添加剂在食品中的应用	230
第二节 食品防腐剂	231
一、概述	231
二、常见的几种食品防腐剂	231
第三节 护色剂	233
一、护色剂的护色机理	233
二、常用的护色剂及护色助剂	234
三、亚硝酸盐的安全性问题	235
第四节 漂白剂	235
一、氧化漂白剂	235
二、还原漂白剂	236
第五节 抗氧化剂	238
一、常用的几种油溶性抗氧化剂	238
二、水溶性抗氧化剂	239
第六节 乳化剂	240
一、概述	240
二、常用乳化剂简介	241
第七节 增稠剂和凝固剂	242
一、增稠剂	242
二、凝固剂	246
第八节 其他食品添加剂	247
一、膨松剂、抗结剂、水分保持剂	247
二、食品加工助剂	247
第十一章 食品的成分与人体健康	250
第一节 食品的营养平衡	250
一、总氮平衡	250
二、热能平衡	251
三、酸碱平衡	252
四、电解质平衡	253
五、钙、磷平衡	254
第二节 各类食品中营养成分含量	254

一、谷类	254
二、薯芋类	255
三、油脂类	256
四、畜禽肉类	256
五、水产类	257
六、蛋类	259
七、乳类	259
八、豆类	260
九、水果类	260
十、硬果类	261
十一、蔬菜类	262
十二、食用菌类	263
第三节 食品中的有毒成分	264
一、食品及其原料中的天然毒物	264
二、微生物毒素	269
三、化学毒素	272
四、食品加工过程中形成的有毒成分	275
第十二章 食品的贮藏与保鲜	278
第一节 概述	278
第二节 干燥处理	278
一、干燥原理	278
二、原料处理	279
三、干燥的方法	279
四、干燥食品吸湿后的变化	280
第三节 加热处理	280
一、加热原理	280
二、加热杀菌的影响因素	281
第四节 速冻保藏	282
一、冷冻原理	282
二、食品的冷藏和冷冻处理	285
三、冷冻产品的解冻和使用	286
第五节 贮藏与保鲜中其他方法	287
一、化学药物法	287
二、真空冷冻干燥	287
三、气调保鲜	287
四、减压贮藏保鲜	288
五、辐射保鲜	288
六、生物技术保鲜	289

实验部分	290
实验一 水分活度的测定 (A_w 测定仪法)	290
实验二 灼烧质量法测定食品中总灰分	291
实验三 食品总酸度的测定	292
实验四 食用植物油过氧化值测定	294
实验五 凯氏定氮法测定食品中蛋白质含量	295
实验六 快速比色法测定食品中淀粉含量	299
实验七 三氯化锑比色法测定食品中维生素 A 含量	300
实验八 紫外法快速测定维生素 C 含量	302
实验九 肉制品中苯并 (a) 芘含量的测定方法	303
实验十 原子吸收光谱法测定食品中锌的含量	307
实验十一 食品中合成色素的测定	309
A. 定性分析——纸上色谱法	309
B. 定量分析——分光光度法	311
实验十二 果汁中防腐剂山梨酸和苯甲酸的测定	312
实验十三 气相色谱法测定蔬菜中乙酰甲胺磷农药残留量	314
实验十四 啤酒色度的测定	315
实验十五 食品中单宁的测定	316
参考文献	318

绪 论

民以食为天，食品是人类赖以生存的主要物质条件之一。从现代生活的实际情况看，人们一般把维持正常生理功能而食用的含有各种营养素的物质统称为食品。人类的绝大多数食品都是由相应的原料加工而成的。严格来讲，原料、食品、食物是有明显区分的。其中，原料是指未经过加工或只经过粗加工的含有营养素的物质；食品是指对原料进行科学的再加工后形成的成品；食物包括原料及食品。为了叙述方便，同时也为了适应人们的习惯，本书统一使用食品这一概念，只在个别相关内容中使用原料或食物的说法。

食品科学是一门日益受到普遍重视的新兴的实用科学，它涵盖营养学、食品卫生学、烹饪学、食品生产工艺学、生物学、生物化学、生理学、医学等多门学科的综合性科学。食品化学是用化学的理论和研究方法研究食品本质的科学，是食品科学，也可以说是应用化学的一个重要分支。了解食品化学原理和掌握食品化学技术是从事食品科技工作必不可少的条件之一，也是保证人体健康和提高人体素质的一门综合性学科。食品化学已成为食品科学专业或相关专业的必修课程。

一、食品化学研究的内容

食品化学与生物化学、生物学、植物学、动物学和分子生物学有着密切的联系，也有明显的区分。食品化学是通过对食品的营养价值、质量、安全性和风味特征的研究，阐明食品的组成、性质、特征和功能，以及食品成分在贮藏加工过程中的化学和生物化学变化，乃至食品成分与人体健康和疾病的相关性，以上这些构成了这门学科的主要内容。

食品的基本成分包括人体营养所需要的糖类、蛋白质、脂类、维生素、矿物质、膳食纤维和水等，它们提供人体正常代谢所需要的物质和能量。此外，食品除了应具有足够的营养素外，还必须具有刺激人食欲的风味特征和期望的质地，同时又是安全的。

食品从原料生产，经过贮藏、运输、加工到产品销售，每一过程无不涉及到一系列的化学和生物化学变化。例如水果、蔬菜采后和动物宰后的生理变化；食品中各种物质成分的稳定性随环境条件的变化；贮藏加工过程食品成分相互作用而引起的化学和生物化学变化，以及引起这些变化的原因和机制，这些都是食品化学和食品贮藏加工中人们共同关注的问题。

分析食品成分之间的化学反应历程、中间产物和最终产物的化学结构，及其对食品的营养价值、感官质量和安全性的影响，控制食物中各种生物物质的组成、性质、结构、功能和作用机制，研究食品贮藏加工的新技术，开发新产品和新的食品资源等，构成了食品化学的重要研究内容。食品化学和化学、生物化学、生理化学、植物学、动物学、预防医学、临床医学、食品营养学、食品安全、高分子化学、环境化学、毒理学和分子生物学等

学科有着密切和广泛的联系,其中很多学科是食品化学的基础。

二、食品化学的发展历程

人类对食品化学的研究可以追溯到远古时代,然而与食品化学有关的最主要的发现始于18世纪末期,直到20世纪才成为一门独立的学科。

在1780—1850年间,一些著名的化学家获得了重大的发现,其中不少是与食品化学有着直接和间接的关系。瑞典药学家Karl Wilhelm Scheele(1742—1786年)首先分离和研究了乳酸的性质(1780年),从柠檬汁(1784年)和醋栗(1785年)中分离出柠檬酸,从苹果中分离出苹果酸(1784年),并且检验了20种普通水果中的柠檬酸和酒石酸。他从植物和动物原料中分离各种新的化合物的工作被认为是农业和食品化学方面精密分析研究的开端。

法国化学家Antoine Laurent Lavoisier(1743—1794年)第一个测定了乙醇的元素组成(1784年),并发表了第一篇关于水果中有机酸的论文。

法国化学家(Nicolas)Theodore de Saussure(1767—1845年)用灰化的方法测定植物中矿物质的含量,并首先精确地完成了乙醇的化学分析。

Joseph Louis Gay-Lussac和Louis-Jacques Thenard于1811年发明了定量测定干燥植物中碳、氢和氮的质量分数的第一个方法。

英国化学家Humphrey Davy在1813年出版了第一本《农业化学原理》。

法国化学家Michel Eugene Chevreul(1786—1889年)是有机物质分析的先驱,他在动物脂肪成分上所作的经典研究导致了硬脂酸和油酸的发现和命名。

在19世纪早期,农业化学的发展,导致食品掺假的现象发现较多,这种现象也促进了化学家们花费更多的精力来研究食品的天然特性。因此,在1820—1850年期间化学和食品化学开始在欧洲占据重要地位。在许多大学中建立了化学研究实验室和创立了新的化学研究杂志,这也推动了化学和食品化学的发展。从此,食品化学发展的步伐更快。

人们对自身营养状况、健康状况的关注,也进一步推动了食品化学的发展。1906年英国生物化学家霍普金斯开展了一系列动物实验,证明牛奶中含有数量微少的能促进大鼠生长的物质,他当时称之为“辅因子”。1911年美国化学家芬克从米糠和酵母中提取了抗脚气病的物质,并鉴定为胺类物质,命名为“Vitamine”,从此开始了维生素的研究。到20世纪前半期,化学家们已发现了各种对人体有益的维生素、矿物质、脂肪酸和一些氨基酸,并对它们的性质作了深入的分析。

早期经典化学虽然为食品化学的起源和发展奠定了基础,但还不能解决复杂的多组分食品体系的许多问题,特别是对食品中单一成分和微量成分的反应本质和分离鉴定。自20世纪60年代以来,随着现代实验技术的发展,特别是分离技术、色谱技术以及光谱分析技术等先进实验手段的不断发展和完善,以及分子生物学在食品科学领域的应用,不仅实现了对食品中生物活性成分、微量和超微量物质的分离、鉴定、结构分析和微观作用本质的研究,而且推动了现代食品化学的迅速发展。

美国学者Owen R. Fennema先生对当今食品化学的发展做出了极大的贡献,他三次

编写“食品化学”一书，把该书的内容充实和系统化，其内容体系已被各国学者接受，特别是 1985 年版本广泛被世界各国的高等院校作为教材使用。

三、食品化学的研究方法

食品化学研究的目的是保证食品的品质特性和安全性能，提高食品在生产、贮藏和加工过程中的质量。因此，确定关键的化学和生物化学反应是如何影响食品的质量和安

(一) 影响食品品质特性的主要化学反应

食品在生产、贮藏和加工过程中会发生很多化学反应和生物化学反应，这些反应都不同程度地影响食品的品质特性、损害食品质量和安全，但是各种反应中较重要的仅 10 余种反应类型，它们是：非酶促褐变、酶促褐变、脂类水解、脂类氧化、蛋白质变性、蛋白质水解、低聚糖和多糖的水解、多糖的合成、糖醇解和天然色素的降解等。分析和了解以上反应的机理、反应的条件，是分析食品质量劣变原因的理论基础。

大多数食品都是一个复杂的体系。脂肪、蛋白质、糖类物质都同时存在并且可能发生上述反应中的一种或多种反应。氧化是食品变质的最重要原因之一，当食品中天然存在的物质发生氧化时，产生大量自由基和有害化合物，不仅造成营养损失，而且使食品产生异味、变色、质地变坏或其他损害。胆固醇氧化产物中的胆固醇环氧化物和氢过氧化物，均可引起致癌和致突变。脂类氧化是食品中最重要的一种氧化反应，食品的货架期与这种反应有着重要的联系。脂类不饱和脂肪酸含量越高的食品越容易氧化，脂类经自动氧化生成的自由基，与其他化合物化合，生成过氧化物，或交联过氧化物与环氧化物，并向食品体系中释放出氧，不仅引起必需脂肪酸的破坏，而且造成维生素和色素的破坏，进一步分解时产生的醛、醇、酮、酸等小分子化合物。此外，过氧化物和糖、食品蛋白质或酶作用可产生不良的影响。因而掌握食品中几种重要成分相互作用及反应的难易程度，可为寻找食品劣变原因提供一些思路，下图是食品中三类化合物简单的反应关系。

下图中 L、C、P 分别代表脂肪、糖类物质、蛋白质。该图说明食品三大类物质中，

