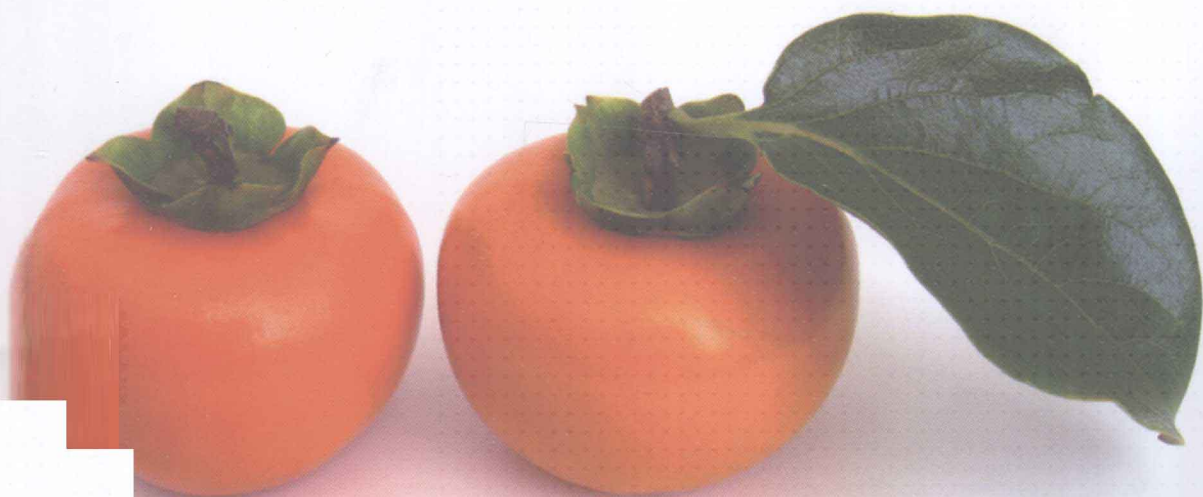


普通高等教育“十二五”规划教材

Food Chemistry

食品化学

迟玉杰 主编 赵国华 王喜波 安辛欣 副主编



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

Food Chemistry

| 食品化学 |

迟玉杰 主编 赵国华 王喜波 安辛欣 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材是化学工业出版社组织的面向全国高等院校“十二五”规划教材，重点介绍食品化学的基础理论。全书共分为11章，包括绪论、水、糖类、脂类、蛋白质、维生素、矿物质、酶、色素、风味物质、食品添加剂。本书系统阐明了食品的化学组成、结构、性质及在食品加工和贮藏中发生的化学变化，以及这些变化对食品品质和安全性的影响及其控制措施。本书对近年来食品化学中的热点问题做了介绍，力求反映最新的研究成果。为了便于读者更好地理解 and 把握本书的知识体系，每章都有内容摘要，包括基本知识、知识重点、知识难点，每章后都有思考题和参考文献。

本书可作为高等院校食品科学与工程、食品质量与安全、乳品工程、粮食工程等专业的本科生基础教材，也可供食品相近专业的管理、科研和技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

食品化学/迟玉杰主编. —北京: 化学工业出版社,
2012. 2

普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-13167-6

I. 食… II. 迟… III. 食品化学-高等学校-教材
IV. TS201. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 280554 号

责任编辑: 赵玉清
责任校对: 宋 玮

装帧设计: 尹琳琳

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: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 23½ 字数 600 千字 2012 年 3 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: 40.00 元

版权所有 违者必究

编写人员

主 编：迟玉杰（东北农业大学）

副主编：赵国华（西南大学）

王喜波（东北农业大学）

安辛欣（南京农业大学）

参 编：宋莲军（河南农业大学）

王文君（江西农业大学）

郑明珠（吉林农业大学）

周爱梅（华南农业大学）

付 莉（锦州医学院）

前 言

食品化学是一门多学科交叉、互相渗透的新兴学科，是食品类相关专业的重要专业基础课，在食品类学科中处于重要的基础地位。食品化学的内容主要包括食品化学成分组成、结构和性质，这些成分在食品加工和贮藏过程中发生的物理、化学变化，食品成分的结构、性质、变化对食品质量和加工性能的影响等。近年来，食品工业科技发展迅速，食品加工的范围和深度不断扩展，对先进的食品科学技术的需求和依赖与日俱增。食品化学是食品工业快速、健康发展的基础，因此，必须掌握食品化学的基本知识和研究方法，才能在食品加工和贮藏领域中较好地从事教学、研究、开发、生产和管理方面的工作。

本书重点介绍食品化学的基础理论及相关知识，对近年来食品化学中的热点问题做了介绍，力求反映最新的研究成果，主要内容包括绪论、水、糖类、脂类、蛋白质、维生素、矿物质、酶、色素、风味物质、食品添加剂等。本书编写时为避免与食品专业其他课程（如食品工艺学、生物化学、保藏学等）内容重复，有些内容没有详细论述，读者可参阅相关书籍。

本书是根据我国高等院校食品化学课程教学和研究的实际需要，结合国内外食品化学研究现状和发展趋势，吸收本领域新的理论和研究成果，由东北农业大学迟玉杰教授主编，组织国内八所高等院校多年从事食品化学教学与科研工作、具有丰富教学经验和学术水平的教师编写。全书共分十一章，第一章绪论由东北农业大学迟玉杰编写，第二章水由锦州医学院付莉编写，第三章糖类由江西农业大学王文君编写，第四章脂类由西南大学赵国华编写，第五章蛋白质和第十章风味物质由东北农业大学王喜波编写，第六章维生素和第七章矿物质由华南农业大学周爱梅编写，第八章酶由河南农业大学宋莲军编写，第九章色素由吉林农业大学郑明珠编写，第十一章食品添加剂由南京农业大学安辛欣编写，全书由迟玉杰统稿。

本书可作为高等院校食品类专业的本科生基础教材，也可供食品相关专业的管理、科研和技术人员参考。在本教材的编写过程中得到了编写教师及其所在单位的大力支持和积极配合，也得到了化学工业出版社对本教材给予的高度关注。

本书编写力求做到新颖、系统、先进，但限于作者水平，书中内容可能会有疏漏和不妥之处，敬请各位老师和同学批评指正。

迟玉杰

2011年11月

目 录

第一章 绪论	1	一、基本概念	29
第一节 食品化学的概念和发展历程	1	二、状态图	30
一、食品化学的概念	1	三、分子流动性对食品稳定性的影响	31
二、食品化学的发展历程	1	四、水分活度、分子移动性和玻璃化 转变温度预测食品稳定性的比较	32
第二节 食品化学的研究内容	2	思考题	33
第三节 食品中主要的化学变化	3	参考文献	33
第四节 食品化学的研究方法	4	第三章 糖类	34
思考题	5	第一节 概述	34
参考文献	5	第二节 单糖	36
第二章 水	6	一、单糖的结构和构象	36
第一节 概述	6	二、单糖的物理性质	36
一、水在食品中的作用	6	三、单糖的化学性质	39
二、水和冰的物理性质	7	四、食品中的单糖及其衍生物	43
第二节 水的结构和性质	8	第三节 低聚糖	46
一、水的结构	8	一、低聚糖的结构和构象	46
二、水分子的缔合作用	9	二、低聚糖的性质	47
三、冰的结构	9	三、食品中重要的低聚糖	49
第三节 水与溶质的相互作用	11	四、功能性低聚糖	53
一、水与离子和离子基团的相互作用	12	第四节 多糖	56
二、水与极性基团的相互作用	12	一、概述	56
三、水与非极性基团的相互作用	13	二、多糖的构象	56
第四节 食品中水的存在状态	14	三、多糖的性质	56
一、水的存在状态	14	四、常见的食品多糖	57
二、水分活度	16	第五节 糖类在食品加工和贮藏中的 变化	71
三、水分活度与温度的关系	16	一、美拉德反应	71
四、水分活度的测定	18	二、焦糖化反应	75
五、水分吸附等温线	19	三、多糖的水解	76
第五节 水与食品稳定性的关系	22	四、食品中糖类化合物的功能与作用	78
一、水分活度与食品保存性的关系	22	五、膳食纤维	80
二、水分活度与食品化学反应的关系	23	第六节 食品多糖加工化学	81
三、冰对食品稳定性的影响	26	一、变性淀粉	81
第六节 食品中水分的转移	27	二、改性纤维素	82
一、水分的位转移	27	思考题	84
二、水分的相转移	27		
第七节 分子流动性与食品稳定性	29		

参考文献	84	一、氨基酸的结构和分类	115
第四章 脂类	85	二、氨基酸的性质	117
第一节 概述	85	第二节 蛋白质的结构和分类	120
一、脂类的分类	85	一、蛋白质的结构	120
二、脂类的结构和命名	85	二、蛋白质的分类	122
第二节 脂类的理化性质	88	第三节 蛋白质的物理和化学性质	125
一、油脂的熔点和沸点	88	一、蛋白质的酸碱性	125
二、油脂的烟点、闪点、着火点	89	二、蛋白质的水解	125
三、油脂的晶体性质	89	三、蛋白质的颜色反应	125
四、油脂的熔融	92	四、蛋白质的疏水性	126
五、油脂的介晶相(液晶)	93	第四节 蛋白质的功能性质	126
六、油脂的乳化特性	94	一、水合性质	127
第三节 油脂在加工和贮藏过程中 的变化	95	二、溶解性	130
一、水解反应	95	三、黏度	132
二、氧化反应	96	四、胶凝作用	132
三、热分解	103	五、质构化	134
四、辐照对油脂的影响	105	六、面团的形成	135
第四节 油脂的质量评鉴	106	七、乳化特性	136
一、过氧化值	106	八、起泡特性	138
二、硫代巴比妥酸法	106	九、与风味物质的结合	140
三、活性氧法	106	十、与其他物质的结合	141
四、史卡尔温箱实验法	106	第五节 蛋白质的变性	141
五、仪器分析法	106	一、蛋白质变性概述	142
六、碘值	106	二、物理变性	142
七、酸价	107	三、化学变性	145
八、皂化值	107	第六节 蛋白质在食品加工和贮藏中 的变化	147
九、酯值	107	一、热处理对蛋白质的影响	148
十、二烯值	107	二、低温处理对蛋白质的影响	149
十一、丙二醛值	107	三、碱处理对蛋白质的影响	149
第五节 油脂加工化学	107	四、脱水处理对蛋白质的影响	150
一、油脂的精炼	107	五、氧化处理对蛋白质的影响	151
二、油脂的氢化	108	六、辐照处理对蛋白质的影响	153
三、油脂的改性	110	七、机械处理对蛋白质的影响	153
第六节 脂肪替代物	112	第七节 蛋白质的改性	153
一、脂肪替代品	112	一、化学改性	153
二、脂肪模拟品	112	二、酶法改性	155
思考题	113	第八节 食品蛋白质资源	156
参考文献	113	一、肉类蛋白	157
第五章 蛋白质	115	二、乳蛋白	157
第一节 概述	115	三、禽蛋蛋白	158

四、鱼肉蛋白	160	的变化	193
五、大豆蛋白	160	一、食品原料的影响	193
六、谷物蛋白	162	二、食品加工前的预处理	194
七、单细胞蛋白	163	三、热加工处理的影响	194
八、油料蛋白	164	四、发酵与发芽的影响	195
九、叶蛋白	164	五、辐照的影响	195
十、昆虫蛋白	164	六、食品添加剂的影响	196
思考题	165	思考题	196
参考文献	165	参考文献	197
第六章 维生素	166	附表 6-1 脂溶性和水溶性维生素的 RNI 或 AI	198
第一节 概述	166	附表 6-2 某些维生素的 UL	198
第二节 脂溶性维生素	168	第七章 矿物质	199
一、维生素 A	168	第一节 概述	199
二、维生素 D	170	一、矿物质的分类	199
三、维生素 E	172	二、矿物质的功能	200
四、维生素 K	175	第二节 食品中矿物质的基本性质	200
第三节 水溶性维生素	176	一、矿物质的溶解性	200
一、维生素 C	176	二、矿物质的酸碱性	200
二、维生素 B ₁	178	三、矿物质的氧化还原性	201
三、维生素 B ₂	180	四、矿物质的浓度与活度	201
四、维生素 PP	182	五、矿物质的螯合效应	201
五、维生素 B ₆	182	六、食品中矿物质的利用率	202
六、维生素 B ₁₁	184	七、成酸与成碱食物	202
七、维生素 B ₁₂	186	第三节 常见矿物质元素	203
八、维生素 B ₃	187	一、常见的常量元素	203
九、维生素 H	188	二、常见的微量元素及超微量元素	205
第四节 维生素类似物	188	第四节 矿物质在食品加工和贮藏中的 作用及变化	208
一、胆碱	188	一、矿物质在食品加工和贮藏中 的作用	208
二、肌醇	189	二、矿物质在食品加工和贮藏中 的变化	209
三、肉碱	190	第五节 矿物质的营养强化	211
四、吡咯喹啉醌	190	一、食品强化	212
第五节 维生素的生物利用性	191	二、生物强化	216
一、维生素 A	191	思考题	218
二、维生素 C	191	参考文献	218
三、维生素 E	192	附表 7-1 常量和微量元素 的 RNI 或 AI	219
四、叶酸	192	附表 7-2 某些微量营养素的 UL	220
五、维生素 B ₆	192		
六、维生素 B ₁₂	193		
七、生物素	193		
第六节 维生素在食品加工和贮藏中			

第八章 酶	221	第二节 色素的发色机理	252
第一节 概述	221	第三节 食品中的天然色素	252
一、酶的化学本质	221	一、四吡咯类色素	252
二、酶的命名和分类	221	二、类胡萝卜素	260
三、酶在食品科学中的重要性	224	三、多酚类色素	263
第二节 酶的性质和结构	225	第四节 天然食品着色剂	272
一、酶的催化特性	225	一、焦糖色素	272
二、酶的辅助因子	226	二、红曲色素	273
三、酶的纯化和活力	228	三、甜菜红色素	273
第三节 酶催化反应动力学	228	四、姜黄素	275
一、酶催化作用机制	228	五、虫胶色素	276
二、酶催化反应动力学	229	六、其他天然着色剂	276
三、影响酶催化反应的因素	231	第五节 人工合成色素	277
四、酶的抑制作用和抑制剂	232	一、苋菜红	277
第四节 固定化酶	233	二、胭脂红	277
一、固定化酶的特点	233	三、赤藓红	277
二、酶固定化的方法	235	四、新红	278
三、固定化酶在食品中的应用	237	五、柠檬黄	278
第五节 酶对食品品质的影响	238	六、日落黄	278
一、酶对食品颜色的影响	239	七、靛蓝	278
二、酶对食品风味的影响	240	八、亮蓝	279
三、酶对食品质地的影响	240	思考题	279
四、对营养价值的影响	242	参考文献	279
第六节 酶促褐变	242	第十章 风味物质	280
一、酶促褐变的机理	242	第一节 概述	280
二、酶促褐变的控制	243	一、基本的概念	280
第七节 酶在食品工业中的应用	244	二、风味物质的特点	280
一、制糖工业	244	三、风味物质的研究意义	281
二、啤酒酿造	247	第二节 食品味感	281
三、水果蔬菜加工	247	一、味感生理	281
四、乳品加工	248	二、影响味感的主要因素	282
五、肉类和鱼类加工	248	三、呈味物质的相互作用	283
六、蛋品加工	248	第三节 呈味物质	283
七、烘焙加工	248	一、甜味和甜味物质	283
思考题	249	二、苦味和苦味物质	289
参考文献	249	三、酸味和酸味物质	294
第九章 色素	250	四、咸味和咸味物质	297
第一节 概述	250	五、鲜味和鲜味物质	298
一、食品色素的概念及作用	250	六、辣味和辣味物质	300
二、食品色素的分类	251	七、其他味感	303

第四节 食品香气	304	六、抗氧化剂的使用和注意事项	339
一、嗅觉生理	304	第四节 食用合成色素	340
二、嗅觉理论	305	一、食用合成色素概述	340
三、嗅感信息分类	310	二、常用食用合成色素	341
四、功能团的风味特征	310	三、食用合成色素使用注意事项	343
第五节 呈香物质	313	第五节 护色剂	343
一、植物性食品的风味	313	一、护色剂和护色助剂	343
二、肉类香气	318	二、发色机理	343
三、焙烤食品香气	319	三、发色剂在肉制品加工中的作用	344
四、水产品香气	319	四、关于致癌问题	344
第六节 风味物质的形成途径	320	第六节 漂白剂	344
一、酶催化反应	320	一、漂白剂概述	344
二、热分解	323	二、几种还原型漂白剂	344
第七节 风味物质与其他成分的作用	324	三、漂白剂使用注意事项	345
一、风味物质的稳定性	324	第七节 调味剂	345
二、油质与风味物质的作用	325	一、增味剂	345
三、糖类化合物与风味物质的作用	325	二、酸味剂	347
四、蛋白质与风味物质的作用	325	三、甜味剂	348
五、包装材料与食品风味物质	326	第八节 增稠剂	352
思考题	327	一、增稠剂概述	352
参考文献	327	二、常用增稠剂	353
第十一章 食品添加剂	328	三、增稠剂使用注意事项	356
第一节 概述	328	第九节 乳化剂	357
一、基本概念	328	一、乳化剂的定义和分类	357
二、食品添加剂的分类和作用	328	二、乳化剂的结构和 HLB 值	357
三、食品添加剂在食品中的应用 及趋势	329	三、乳化剂-水体系中的液晶介晶相	358
第二节 防腐剂	330	四、乳化剂的作用机理	359
一、常用防腐剂	330	五、常用乳化剂	361
二、防腐剂的使用	334	第十节 食品添加剂安全管理	364
第三节 抗氧化剂	334	一、食品添加剂安全性问题	364
一、抗氧化剂概述	334	二、食品添加剂安全管理	364
二、常用油溶性抗氧化剂	335	三、对食品添加剂安全性的 正确认识	365
三、常用水溶性抗氧化剂	337	思考题	365
四、天然抗氧化剂	338	参考文献	365
五、抗氧化剂的作用机理	338		

第一章 绪 论

基本知识	食品化学的概念、发展简史及其研究内容。
知识重点	食品中的各个成分在食品加工和储运过程中的化学变化的主要类型以及对食品品质和安全性的影响。
知识难点	食品化学的研究方法、未来发展方向。

第一节 食品化学的概念和发展历程

一、食品化学的概念

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、营养和安全性质以及它们在生产、加工、贮存和运销过程中的变化及其对食品品质和食品安全性的影响的科学，是为改善食品品质、开发食品新资源、改进食品加工工艺和贮运技术、科学调整膳食结构、改进食品包装、加强食品质量控制及提高食品原料加工和综合利用水平奠定理论基础的学科。

食品从原料到产品的每个过程中，会涉及到一系列复杂的化学和生物化学变化，例如果蔬采摘后的生理变化。食品中的各种成分（图 1-1）的稳定性会因环境条件的变化而受到影响，或者食品成分之间发生相互作用而发生化学反应，这些变化都会影响食品产品的品质、营养性和安全性。

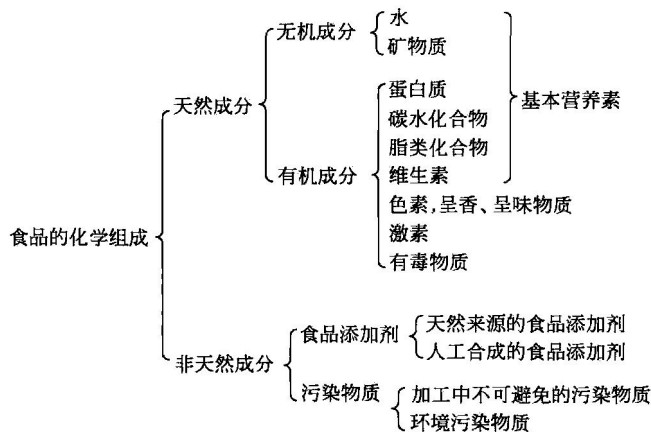


图 1-1 食品的组成成分

二、食品化学的发展历程

18 世纪末是食品化学发展的萌芽阶段，20 世纪初食品化学成为一门独立的学科开始发展起来。主要可分为四个发展阶段。

第一阶段，天然动植物化学成分的分离与分析阶段。这一时期食品化学知识的积累完全是依赖于基础化学学科的发展。瑞典药学家 Carl Wilhelm Scheele (1742~1786 年) 分离和研究了乳酸的性质并把乳酸氧化制成了黏酸 (1780 年)，又从柠檬汁 (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)，还检测了 20 种水果中的柠檬酸和酒石酸 (1785 年) 等有机酸。他从植物和动物原料中分离各种化合物的工作被认为是在农业和食品化学方面研究的开端。法国化学家 Antoine Laurent Lavoisier (1743~1794 年) 首次测定了乙醇的元素组成 (1784 年)，发表了第一篇关于水果中有机酸的论文 (1786 年)，同时阐明了燃烧有机分析的原理，并首先提出用化学方程式表达发酵过程。法国化学家 Nicolas Theodore de Saussure (1767~1845 年) 为阐明和规范农业和食品化学的基本理论做了大量工作，他用干法灰化方法测定了植物中矿物质的含量，并首先完成了对乙醇元素组成的精确分析 (1807 年)。法国化学家 Joseph Louis Gay-Lussac (1778~1850 年) 和 Louis-Jacques Thenard (1777~1857 年) 于 1811 年设计了定量测定干燥植物中碳、氢、氧、氮四种元素的方法。

第二阶段，英国化学家 Davy (1778~1829 年) 在 1813 年出版了第一本《农业化学原理》，论述了一些关于食品化学的内容。法国化学家 Michel Eugene Chevreul (1786~1889 年) 发现并命名了硬脂酸和油酸。德国的 W. Hanneberg 和 F. Stohman (1860 年) 发明了测定食品中主要成分的常规方法。

第三阶段，生物化学的发展推动了食品化学的发展。Jean Baptiste Duman (1800~1884 年) 提出了仅由蛋白质、碳水化合物和脂肪组成的膳食不足以维持人类生命活动的论断。Justus Von Liebig (1803~1873 年) 将食品成分分为含氮 (植物蛋白、酪蛋白等) 和不含氮 (脂肪、碳水化合物等) 两类 (1842 年)，并于 1847 年出版了《食品化学的研究》。1906 年英国生物化学家 Frederick Gowland Hopkins 开展了一系列动物实验，证明牛奶中含有微量的能促进大鼠生长的物质，他当时称之为“辅因子”；他还从食品中分离出色氨酸并明确其结构。1911 年英国化学家 Casimir Funk 从米糠和酵母中提取了抗脚气病的物质，并鉴别为胺类物质，命名为“Vitamine”，开始了维生素的研究。到 20 世纪前半期，化学家们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，并对它们的性质和作用做了深入的分析。美国学者 Owen R. Fennema 对食品化学的发展做出了重要贡献，他编写三版的《食品化学》一书内容系统、充实，已被各国学者接受，特别是 1985、1996 年版本，作为经典教材被世界各国的高校广泛使用。

第四阶段，20 世纪初食品工业已成为发达国家和一些发展中国家的重要工业，大部分食品的组成已被化学家、生物学家和营养医学家探明，同时在 20 世纪 30~50 年代相继创立了具有世界影响的“Journal of Agricultural and Food Chemistry”和“Food Chemistry”等杂志，标志着食品化学作为一门学科正式建立。近年来，食品化学的研究领域逐渐拓宽，食品化学在新产品、新工艺、新技术和基础理论研究等方面都取得了很大的成就。目前食品化学的研究正向反应机理、风味物质的结构和性质的研究、特殊营养成分的结构和功能性质研究、食品材料的改性研究、食品现代和快速的分析方法研究、高新分离技术的研究、未来食品包装技术的化学研究、现代化储藏保鲜技术和生理生化研究等方向发展。

第二节 食品化学的研究内容

食品化学的概念清晰地说明了本学科领域的研究方向。食品体系的组成及其成分之间的

相互作用极为复杂, 食品的加工、贮运、销售过程都可能影响食品的品质、安全、营养等, 如食品的色香味等品质变化、有害成分的产生、组织状态、质构等方面的变化。因此, 食品从原料生产到成品销售过程中可能发生的化学变化都成为本学科的研究内容。根据研究范围分类, 主要包括食品营养成分、食品色香味化学、食品工艺化学、食品物理化学、食品有害成分化学。根据研究的对象分类, 主要包括碳水化合物化学、油脂化学、蛋白质化学、辐照食品化学、食品酶学、转基因食品化学、添加剂化学、维生素化学、葡萄酒化学、矿物质元素化学、调味品化学、风味化学、色素化学、有毒有害物化学、功能成分化学等。食品化学的基本研究内容主要有: ①食品原料、产品的化学组成、营养价值、功能特性、感官品质、有毒有害物质和食品的质量与安全; ②研究食品原料生产、加工、贮藏、运输和销售等过程中发生的化学变化以及这些变化给食品带来的质量和安全性方面的影响, 阐明影响这些化学变化的环境因素、机理与控制措施; ③分析和评价食品加工新技术、新方法、新工艺、新包装、新产品等的质量和安全性。

第三节 食品中主要的化学变化

食品从原料生产、加工到销售的每个过程都会发生一些化学变化, 表 1-1 列出了食品的加工过程可能发生的化学反应。这些反应有些是食品加工所需要的, 有些是在食品加工中必须避免的。无论何种化学反应都将对食品品质产生重要影响, 如脂类水解和氧化产生的不良风味, 热加工等激烈加工条件引起的油脂或碳水化合物的分解、聚合, 光照引起的光化学变化、包装材料的某些成分迁移到食品中引起的变化等。这些变化中较重要的是脂类水解和氧化、蛋白质变性和交联、酶促和非酶促褐变、蛋白质水解、低聚糖和多糖水解、多糖合成、糖酵解和天然色素降解等。这些反应的发生将导致食品品质的改变或损害食品的安全(表 1-2)。

表 1-1 改变食品品质或安全性的一些化学反应和生物化学反应

反应种类	实 例
非酶促褐变	焙烤食物的色、香、味的形成
酶促褐变	切开的水果迅速变色
氧化反应	脂肪产生异味、维生素降解、色素褪色、蛋白质营养价值降低
水解反应	脂类、蛋白质、维生素、碳水化合物、色素的水解
与金属反应	与花青素作用改变颜色、叶绿素脱镁变色、催化自动氧化
脂类的异构化反应	顺式不饱和脂肪酸→反式不饱和脂肪酸、非共轭脂肪酸→共轭脂肪酸
脂类的环化反应	产生单环脂肪酸
脂类的聚合反应	油炸中油泡沫的产生和黏稠度的增加
蛋白质的变性反应	卵清凝固、酶失活
蛋白质的交联反应	在碱性条件下加工蛋白质使其营养价值降低
糖的酵解反应	宰后动物组织和采后植物组织的无氧呼吸

表 1-2 食品贮藏或加工中发生变化的因果关系

初期变化	二次变化	对食品的影响
脂类发生水解	游离脂肪酸与蛋白质发生变化	质构、风味、营养价值
多糖发生水解	糖与蛋白质发生反应	质构、风味、色泽、营养价值
脂类发生氧化	氧化产物与食品中其他成分反应	质构、风味、色泽、营养价值、产生有毒物质
水果被破碎	细胞破碎, 酶释放, 氧气进入	质构、风味、色泽、营养价值

续表

初期变化	二次变化	对食品的影响
绿色蔬菜被加热	细胞壁和膜被完全破坏,酶释放,酶失活	质构、风味、色泽、营养价值
肌肉组织被加热	蛋白质变性和聚集,酶失活	质构、风味、色泽、营养价值
脂类中不饱和脂肪酸发生顺-反异构化	在深度油炸中提高聚合反应速度	在深度油炸中过分起泡作用,降低脂类的生物利用率

食品中发生的化学反应对食品质量与安全影响很大,表 1-3 列出了化学反应引起的食品质量变化。

表 1-3 食品在加工贮藏中可能发生的变化

属性	变化
质构	溶解性丧失、持水力丧失、质地变坚硬、质地软化、分散性丧失
风味	产生酸败味、出现焦味、出现美味和芳香、其他异味
颜色	褐变、漂白、出现异常颜色、出现宜人色彩
营养价值	蛋白质、脂类、维生素、矿物质的降解或损失及生物利用性改变
安全性	产生毒物、钝化毒物、产生具有调节生理机能作用的物质

脂类、蛋白质和碳水化合物之间的相互作用不仅影响食品的营养价值,而且它们在食品加工和贮藏过程中对食品质量有重要影响(图 1-2),其他成分对图 1-2 中的化学反应也有很大影响。这些反应的发生对食品的影响有两个方面:一是导致营养价值的破坏、不良色泽和不良风味的产生;二是能产生人们期望的风味和色泽。因此,需要在实际加工过程中合理控制加工条件,避免增加食品的安全性和营养性隐患。

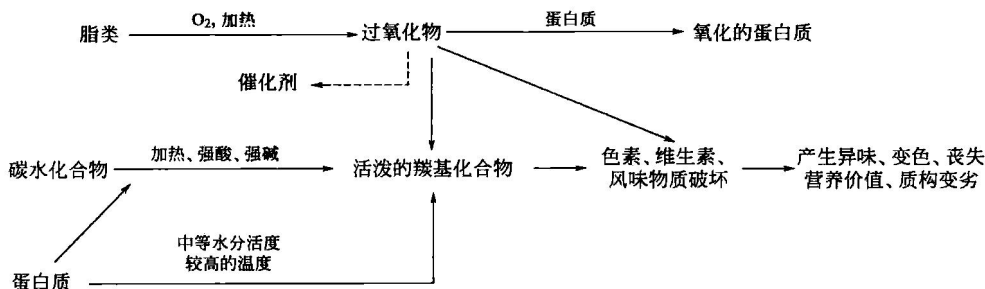


图 1-2 食品主要成分的化学变化和相互关系

第四节 食品化学的研究方法

食品化学的研究方法与一般化学研究方法的共同点是通过试验和理论从分子水平上分析、探讨和研究物质的变化。食品化学的研究方法与一般化学研究方法的的不同之处是食品化学把食品的化学组成、理化性质及变化同食品的品质和安全性研究联系起来,其研究的主要目的是阐明食品加工过程品质或安全性变化及如何防止或促进这些变化的发生,为食品实际生产加工提供依据。

食品是一个非常复杂的体系,食品加工和贮藏过程中将发生许多复杂的变化,因此实际研究中通常采用一个简化的、模拟的食品体系,再将所得的试验结果应用于真实的食品体系并评价研究方法是否得当和修正。食品化学研究包括试验研究和理论研究。试验研究包括理

化试验和感官试验。理化试验主要是对食品进行成分分析和结构分析,包括营养成分、有害成分、色素、风味物质等;感官试验是通过人的直观检评分析食品的质构、风味和颜色的变化等。根据研究结果和资料分析建立预测这些反应对食品品质和食品安全性影响的模型,再通过实际加工验证。在这些研究的基础上再进行反应动力学研究,可以更加深入地了解反应机理和探索影响反应的各种因素,以便为控制这种反应奠定理论依据和寻求控制方法。

上述的食品化学研究成果将为食品产品的生产和贮运提供配方、生产工艺、加工参数、贮存参数等理论和技术依据(图 1-3),进而实现食品的科学合理生产,为人们提供安全、营养的食品产品。

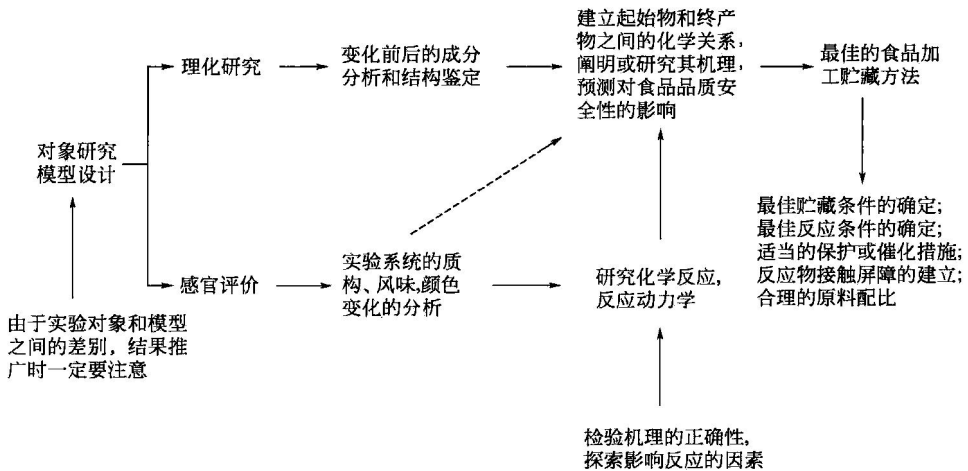


图 1-3 食品化学的研究方法

思考题

1. 食品化学的基本概念是什么?
2. 食品化学的研究内容主要有哪些?
3. 食品中主要的化学变化以及对食品品质和安全性影响有哪些?
4. 食品化学研究方法的特点是什么?
5. 食品中发生的化学反应主要类型有哪些?
6. 食品中的化学反应主要影响因素有哪些?

参考文献

- [1] Fennema O R. Food Chemistry. 3rd ed. New York: Marcel Dekker Inc, 1996.
- [2] Belitz H D, Grosch W, Schieberle P. Food Chemistry. 4th ed. Berlin · Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- [3] 阚建全. 食品化学. 第 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
- [4] 谢笔钧. 食品化学. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 赵新淮. 食品化学. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [6] 汪东风. 食品化学. 北京: 化学工业出版社, 2007.

第二章 水

基本知识 水对食品的作用；水在食品中的分布；水与冰的结构和性质。
知识重点 食品中水的存在状态；水分活度和水分等温吸湿线；水分活度与食品稳定性的关系。
知识难点 含水食品的水分转移规律；分子移动性与食品稳定性的关系。

第一节 概 述

一、水在食品中的作用

水在地球上是一种平常的物质，广泛分布于江、河、湖、泊、地下、大气和海洋等周围环境和生物体中。水是食品中的重要组分（表 2-1），在食品中起着不寻常的作用，水在食品中的含量、分布、状态决定了食品的色、香、味、形、营养性、安全性等特性。

表 2-1 一些食品中的水分含量

食 品		水分含量/%	食 品		水分含量/%
水果、蔬菜	番茄	95	乳制品	液体奶制品	87~91
	柑橘	87		冰淇淋等	65
	香蕉	75		鲜奶油	60~70
	苹果汁	87	畜、水产品	牛奶	87
	干水果	<25		鸡肉	70
	青豆类	67		鲜蛋	74
	黄瓜	96		猪肉	65
	马铃薯	78	谷物及其制品	面粉	10~13
	芹菜	79		饼干	5~8
	小萝卜	78		面包	35~45
果酱	<35	燕麦等早餐食品		<4	
糖类	白糖及其制品	<1	高脂肪食品	馅饼	43~59
	蜂蜜及其制品	20~40		人造奶油	15
乳制品	奶油	15		蛋黄酱	15
	奶酪	40		食品用油	0
	奶粉	4		沙拉酱	40

水是一种溶剂，能够溶解和分散各种不同分子量的物质，使食品呈现出溶液或凝胶状态，同时也决定了食品的溶解度、硬度、流动性等性质。

水作为食品的重要组成，也对食品的新鲜度、呈味、耐储性和加工适应性具有重要影响。在食品加工过程中，水起着膨润、浸透、均匀化等功能。从食品贮藏性来看，水分对食品微生物的活动产生很大影响，较高的水分含量有利于微生物的生长繁殖，易造成食品的腐败变质；水分还与食品中营养成分的变化、风味物质的变化以及外观形态的变化有密切关系。蛋白质的变性、脂肪的氧化酸败、淀粉的老化、维生素的损失、香气物质的挥发、色素

的分解、褐变反应、黏度的改变等都与水分相关。因此水分是影响食品质量的重要因素，研究水的结构和性质、水分存在状态对食品的储藏有很重要的意义。

二、水和冰的物理性质

1. 水的沸点、冰的熔点高

水分子具有形成三维氢键的能力，而和其分子量及原子组成相近及近似的分子（HF，CH₄，H₂Se，H₂S，NH₃等）相比，这些分子间形成的多是二维氢键，其键能小于三维氢键的键能，所以要改变水的状态，破坏分子间的氢键所需额外的热能较高，因此水具有高的熔点、高的沸点和高相变热、高热容。例如，水在常温下为液态，而 HF 和 NH₃ 为气态。

2. 水的黏度低

常温下，液态水以 (H₂O)_n 缔合体的形式存在，其中 n 值是在不断变化之中的，主要是因为存在于缔合体中水分子间的静电力和氢键作用力不等，最后导致缔合体结构不稳定，缔合体中的水分子与邻近水分子之间发生氢键的转换，水分子氢键网络是动态的，但最后 n 值的改变会处于一个动态平衡状态。当水分子在纳秒甚至皮秒这样短暂的时间内改变它们与邻近分子之间的氢键键合关系时，会增大分子的流动性。因此水的流动性很大，导致它的黏度很小。

3. 密度

液态水的密度与水分子间的氢键键合程度及水分子之间的距离有关，而这两个因素又与温度密切相关。当温度为 0℃ 时，水分子的配位数是 4。随着温度的升高，水分子的配位数增多，水的密度增加，例如水在 0℃、1.5℃、8.3℃ 时配位数分别为 4、4.4、4.9。同时，由于温度升高，布朗运动加剧，此时水分子之间的距离增加，体积膨胀，水的密度减小，例如水在 0℃、1.5℃、8.3℃ 时邻近水分子之间的距离分别为 0.276nm、0.290nm、0.305nm。所以，综合两种影响因素的最终结果，0~4℃ 时配位数的影响占主导，水的密度增加；温度继续上升，布朗运动起主要作用，水的密度减小。因此水的密度在 3.98℃ 时最高。

4. 水的介电常数

水的介电常数大，溶解力强。主要是由于水的氢键缔合而生成庞大的水分子簇，产生了多分子偶极子，从而使水的介电常数显著增加。

5. 溶剂性

水的介电常数大，溶解离子型化合物的能力强。非离子型的极性化合物可与水形成氢键而溶解于水中，如糖、醇、醛、酸、酮类等。水可以分散两亲物质和非极性化合物，在适当条件下形成乳浊液或胶体溶液。例如牛奶中乳脂经均质后形成稳定的乳浊液，不易离析且容易被人体吸收；冰淇淋就是以脂分散于水中形成的乳化态为主体的食品。

6. 导热性

导热性通常用热导率和热扩散系数表示。冰的热导率是水的 4 倍，冰的热扩散系数是水的 10 倍，因此冰的导热性优于水。这也是食品冻结比食品解冻速度快的原因。水和冰的物理常数见表 2-2。

表 2-2 水和冰的物理常数

物理量名称	物理常数数值
相对分子质量	18.0153
相变性质	
熔点(101.3kPa)/℃	0
沸点(101.3kPa)/℃	100.000