

图书在版编目 (CIP) 数据

食品化学/赵新淮编著. —北京: 化学工业出版社,

2005. 11

ISBN 7-5025-7958-3

I. 食… II. 赵… III. 食品化学 IV. TS201. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 142299 号

---

## 食 品 化 学

赵新淮 编著

责任编辑: 杨立新

文字编辑: 彭爱铭

责任校对: 郑捷

封面设计: 郑小红

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 26¼ 字数 654 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7958-3

定 价: 49.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

食品，无论是天然的还是加工过的，是一类由许多化学物质组成的复杂集合体，具有不同的营养、色彩、风味与质地，为食用者提供必需的营养物质和不同的享受。所以，食品科学是一门与人民生活时刻相关的应用科学。作为食品科学中的重要部分，食品化学通过对食品的组成、成分的性质、贮藏加工过程中所发生的变化等诸方面进行探讨，对现代食品科学技术的发展和理论的建立，做出了不可替代的重要贡献。为了使食品科技工作者系统了解食品化学的相关内容和问题，欧美的一些食品科学家奉献出了多本经典的食品化学专著，例如 O. R. Fennema 等的“Food Chemistry”、H. D. Belitz 等的“Food Chemistry”和 J. M. DeMan 的“Principles of Food Chemistry”，这些专著在其内容的编排和撰写方面，有着不同的侧重点和特色，基本覆盖了食品化学的方方面面。不可否认，上述专著对我国食品科学的发展、食品化学人才的培养产生了积极的作用。

伴随我国食品工业的发展和食品科学的进步，作为支撑食品科学的一个支柱学科，食品化学的研究工作在我国得到了快速的发展。食品化学对食品科学的重要性，不仅得到食品科技工作者的认可，同时在食品科学的高等教育工作中得到有效的体现。近年来，国内的一些食品科学家也在此方面做出了自己的努力，有多本食品化学专著相继出版。但是应该看到，当前我国食品化学专著的编写体系和内容，受到了国外食品化学专著明显的影响，存在一些不足之处。例如，大多强调了各种食品成分的一些功能性质和在食品加工中的应用，而对一些重要反应和变化的机理问题介绍不够深入，或者是对一些食品化学热点问题介绍内容较少，滞后于当今食品化学研究工作的进展，此外，一些专业术语和概念表达不够严谨。作者个人认为，食品化学作为应用化学的一个分支，应该在其内容上充分体现化学学科的特征，即对食品中所发生的各种反应的机理、条件以及调控问题进行充分的介绍与阐述，这样不仅有利于读者对相关问题的理解和深入了解，并且能在今后的实际工作中具体应用相关理论和技术手段，作者对这一点的体会是非常深刻的。

为此，在近二十年食品化学科研、教学活动中，作者利用各种手段查阅一些重要问题的最新文献，了解相关问题的研究进展，阅读了一些食品科学的英文书籍，尤其是注意收集有关的图表，并且亲手绘制各个结构式，力争将食品化学的新进展和新问题充实到食品化学课程的教学内容和活动中。经过十几年的积累和文稿的不断充实和修改，最后得以形成了终稿。在整体内容上，在传统的食品化学编写体系大框架内，作者希望通过对食品中各种成分性质的系统介绍、重要

反应机制的阐述以及几类重要成分的功能性质介绍，能够使读者对食品化学的基本问题有系统地了解，同时结合对一些功能成分等的介绍，能够了解食品化学的一些热点问题和新进展；另外，也希望通过大量图表的辅助说明以及所提供的一部分重要文献资料，能够帮助阅读者更好、更深入地理解相应的内容。

需要说明的是，由于作者本身的学识、水平有限以及篇幅所限，难免存在纰漏和错误，一些比较重要的食品化学热点问题、一些重要变化的机理等在本书中没有很好地体现和阐述，个别术语表达可能不准确。故此，敬请大家的批评指正，以便本人在今后工作中得以充分改正或强化有关内容。其次，感谢刘宏芳女士负责编写“维生素与矿物质”一章。

最后，首先要感谢化学工业出版社的大力支持，这是本书得以出版的前提条件；同时还要感谢在我这里攻读食品化学研究方面的2002~2005级研究生张娜、吴鹏、王丽丽、李丹、邵士凤、侯瑶、郑晓婷、林杨等，他们在书稿的编写、资料搜集、校对工作中给了我很多的支持。

赵新准

2005年夏季于哈尔滨

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1	3.3.4 半纤维素.....	52
1.1 食品的化学本质与化学组成.....	1	3.3.5 果胶物质.....	52
1.2 食品化学的基本概念和研究内容.....	2	3.3.6 植物多糖.....	55
1.2.1 食品化学的基本概念.....	2	3.3.7 种子胶.....	56
1.2.2 食品化学的研究内容和热点问题...	3	3.3.8 海藻胶.....	56
1.3 食品化学发展历史和食品科学中的地位.....	5	3.3.9 微生物多糖.....	58
1.3.1 食品化学的发展历史.....	5	3.3.10 甲壳素.....	60
1.3.2 食品化学在食品科学中的地位.....	6	3.3.11 改性多糖.....	60
1.4 食品化学的研究方法.....	8	<b>3.4 碳水化合物在食品加工贮存中的变化</b> ...	62
<b>2 水</b> .....	11	3.4.1 美拉德反应.....	62
2.1 水的结构和性质.....	11	3.4.2 焦糖化反应.....	70
2.1.1 水的结构.....	11	3.4.3 碳-碳键不发生断裂的反应.....	71
2.1.2 冰的结构.....	12	3.4.4 碳水化合物的裂解反应.....	72
2.1.3 水的物理性质特点.....	13	<b>3.5 碳水化合物的功能作用</b> .....	73
2.2 水的吸着等温曲线.....	14	3.5.1 亲水作用.....	73
2.2.1 水的存在状态.....	14	3.5.2 风味结合.....	74
2.2.2 水与溶质的相互作用.....	15	3.5.3 风味前体.....	74
2.2.3 水的活度.....	17	3.5.4 增稠、胶凝和稳定作用.....	74
2.2.4 水的吸着等温线.....	18	3.5.5 膳食纤维.....	75
2.2.5 吸着等温线的数学描述.....	19	3.5.6 对有益微生物生长的促进作用.....	75
2.3 水与食品保存性.....	20	<b>3.6 膳食纤维和益生菌</b> .....	76
2.3.1 水活度与食品保存性.....	20	3.6.1 膳食纤维概述.....	76
2.3.2 冷冻与食品保存性.....	22	3.6.2 膳食纤维概念的由来.....	77
2.3.3 玻璃态、分子移动性与食品稳定性...	23	3.6.3 膳食纤维的化学组成与作用.....	78
2.3.4 水分转移与食品保存性.....	28	<b>4 蛋白质</b> .....	84
<b>3 碳水化合物</b> .....	30	4.1 氨基酸.....	84
3.1 单糖.....	30	4.1.1 结构与分类.....	84
3.1.1 结构与构象.....	31	4.1.2 氨基酸的性质.....	86
3.1.2 物理性质.....	32	4.1.3 氨基酸的化学性质.....	89
3.1.3 化学性质.....	33	4.1.4 氨基酸的制备.....	91
3.2 低聚糖.....	37	4.2 蛋白质和肽.....	91
3.2.1 结构与构象.....	38	4.2.1 蛋白质的结构.....	91
3.2.2 化学性质.....	39	4.2.2 蛋白质的分类.....	94
3.2.3 人工合成的低聚糖.....	39	4.2.3 蛋白质的性质.....	94
3.3 食品多糖.....	40	4.2.4 肽.....	98
3.3.1 食品多糖概述.....	40	4.3 蛋白质的变性.....	99
3.3.2 淀粉.....	42	4.3.1 蛋白质的物理变性.....	100
3.3.3 纤维素.....	51	4.3.2 蛋白质的化学变性.....	103
		4.3.3 蛋白质变性的热力学和动力学...	104

4.4	蛋白质的功能性质	105	5.2.4	影响自动氧化的因素	164
4.4.1	水合	107	5.2.5	油脂的光敏氧化和酶促氧化	167
4.4.2	溶解度	108	5.2.6	油脂的热氧化	169
4.4.3	黏度	110	5.2.7	氧化油脂的安全性	172
4.4.4	胶凝作用	111	5.2.8	油脂氧化酸败的分析评价	172
4.4.5	组织化	113	5.2.9	油脂的抗氧化和抗氧化剂	174
4.4.6	面团的形成	115	5.3	油脂加工化学	177
4.4.7	乳化性质	116	5.3.1	精炼	177
4.4.8	发泡性质	117	5.3.2	油脂的氢化与安全性	180
4.4.9	风味物质结合	120	5.3.3	酯交换反应	183
4.4.10	与其他物质的结合	121	5.4	脂肪替代品	184
4.4.11	蛋白质功能性质与其他指标间的关系	121	5.4.1	脂肪替代物	185
4.5	常见食品蛋白	122	5.4.2	模拟脂肪	187
4.5.1	油籽蛋白	122	5.5	功能性脂质化合物	188
4.5.2	乳蛋白	126	5.5.1	磷脂	188
4.5.3	肉类蛋白	129	5.5.2	不饱和脂肪酸	191
4.5.4	卵蛋白	131	5.5.3	共轭亚油酸	193
4.5.5	谷物蛋白	133	5.5.4	固醇化合物	195
4.6	食品加工贮藏对蛋白质品质的影响	134	6	维生素和矿物质	199
4.6.1	热处理的影响	135	6.1	维生素和矿物质	199
4.6.2	低温处理	136	6.1.1	脂溶性维生素	200
4.6.3	脱水的影响	136	6.1.2	水溶性维生素	205
4.6.4	辐射	136	6.1.3	矿物质	217
4.6.5	碱处理的影响	137	6.2	维生素和矿物质在食品加工贮存中的变化	218
4.6.6	蛋白质与其他物质的反应	138	6.2.1	维生素的变化	219
4.6.7	蛋白质的化学改性	141	6.2.2	矿物质在食品加工中的变化	222
4.6.8	蛋白质的酶改性	142	7	酶	225
4.7	蛋白质的酶水解	144	7.1	概论	225
4.7.1	基本概念与反应机理	144	7.1.1	酶的本质	225
4.7.2	蛋白质的水解度	144	7.1.2	酶的专一性	226
4.7.3	蛋白酶	146	7.1.3	酶的命名	226
4.7.4	苦味肽及水解物脱苦	146	7.1.4	酶的辅助因子	227
4.7.5	蛋白质水解物的生产与应用	147	7.1.5	酶活力	228
4.7.6			7.1.6	酶的稳定性与失活	228
5	脂类	149	7.2	酶的催化机制与影响因素	229
5.1	油脂的组成、结构及性质	150	7.2.1	活性部位	229
5.1.1	油脂的组成	150	7.2.2	酶-底物的结合	229
5.1.2	油脂的结构、命名和脂肪酸分布	152	7.2.3	酶催化作用机制	232
5.1.3	油脂的分类	154	7.2.4	酶催化反应动力学	238
5.1.4	油脂的性质	154	7.2.5	影响酶催化反应的因素	242
5.2	油脂的氧化和抗氧化	161	7.3	固定化酶	248
5.2.1	自动氧化的机理	161	7.3.1	固定化酶及反应器	248
5.2.2	氢过氧化物的结构	162	7.3.2	酶的固定化方法	249
5.2.3	氢过氧化物的裂解	162			

7.3.3	固定化酶的性质变化	250	9.1.4	咸味	321
7.3.4	固定化酶的动力学、热力学	251	9.1.5	鲜味	321
7.3.5	固定化酶在食品中的应用	251	9.1.6	辛辣味	322
7.4	内源性酶对食品品质的影响	252	9.1.7	涩味	324
7.4.1	色泽	252	9.1.8	清凉感	324
7.4.2	质构	258	9.1.9	阈值和影响味觉的因素	324
7.4.3	风味	262	9.2	气味	325
7.4.4	营养价值	264	9.2.1	阈值	326
7.5	食品加工中使用的外源性酶	264	9.2.2	挥发性化合物的分类	327
7.5.1	甜味剂生产中使用的酶	265	9.2.3	特征效应化合物和风味前体	327
7.5.2	油脂加工中使用的脂酶	266	9.3	食品中的风味化合物	328
7.5.3	食品加工中使用的蛋白酶	267	9.3.1	水果的香气成分	328
7.5.4	果汁加工中使用的果胶酶	269	9.3.2	蔬菜的香气成分	329
7.5.5	食品中使用的其他酶	269	9.3.3	茶叶的香气成分	332
8	天然色素和人工合成色素	271	9.3.4	动物性食品的风味物质	332
8.1	概述	271	9.3.5	乳酸-乙醇发酵中的风味物质	338
8.1.1	光、眼睛与色泽	271	9.3.6	风味物质的其他生物合成途径	339
8.1.2	色泽产生的机制	272	9.3.7	化学反应产生的风味化合物	342
8.1.3	色素的分类	273	9.4	香料	354
8.2	四吡咯色素	274	9.4.1	分类和来源	354
8.2.1	血红素	274	9.4.2	风味增效剂 (flavor enhancers)	355
8.2.2	叶绿素	277	9.4.3	香精	356
8.3	类胡萝卜素	282	10	有害物质	357
8.3.1	胡萝卜素类	282	10.1	食品中的有害物质	357
8.3.2	叶黄素类	283	10.1.1	食品中的有害物质	357
8.3.3	食品中的类胡萝卜素	283	10.1.2	食品中有害物质的分类和来源	357
8.3.4	类胡萝卜素的稳定性与降解反应	284	10.1.3	有害物质的危害性	358
8.3.5	类胡萝卜素的其他健康有益作用	287	10.2	食品中国有的有害物质	358
8.4	花青苷和类黄酮	288	10.2.1	植物毒素	358
8.4.1	花青苷	288	10.2.2	动物性毒素	365
8.4.2	类黄酮	295	10.3	微生物毒素	368
8.4.3	单宁	301	10.3.1	真菌毒素	368
8.5	其他天然色素	301	10.3.2	蕈类毒素	373
8.5.1	甜菜红	301	10.3.3	细菌毒素	373
8.5.2	其他常用的天然色素	304	10.4	化学污染物和食品加工中产生的有害物质	376
8.6	食用合成色素	306	10.4.1	化学污染物	376
8.6.1	合成色素的一般性质	307	10.4.2	食品在加工贮藏中生成的有害物质	386
8.6.2	色淀	308	10.5	食品安全性控制	400
8.6.3	合成色素的安全性	308	10.5.1	亚硝胺化合物危害的预防	400
9	食品风味化学	309	10.5.2	微生物污染危害的预防	401
9.1	滋味	309	10.5.3	抗生素、农药残留控制	405
9.1.1	甜味	311	参考文献	407	
9.1.2	苦味	318			
9.1.3	酸味	320			

# 1 绪 论

## 1.1 食品的化学本质与化学组成

在谈及人类的生存条件时，我们通常会讲到“衣、食、住、行”四个要素。实际上，人类要在自然环境中生存下去，对于这四个要素来讲，“食”才是最主要的因素，因为“食”在这里是指食物（Foodstuff），它是能够提供营养素、维持人类代谢活动的可食性物料，是人类维持生存的最基本条件。由于人类的大部分食物是经过一定的加工处理后才被食用的，所以这些经过加工处理的食物一般被称为食品（Food）。食品只是食物中的一部分，不过，现在通常用“食品”一词来泛指一切可以被人类利用的食物，而对二者含义之间的差别并不加以严格的区分。

食品的营养性、可食用性（安全性）作为食品的第一性质已经被人们所广泛注意，但是，食品的第二性质也应该为食品科技工作者所重视，这就是食品的享乐性。与食品的营养价值相比，食品在此方面的性质似乎很难给予一个准确的定义，因为食品的享乐性一般需要将食品的许多性质考虑进去，例如食品外观、滋味、香味、质地等，而这些方面的性质又受到一些未知成分的影响作用。除此之外，食品的方便性越来越受到消费者的关注，随着消费模式的变化，食品的方便性已经成为现代食品需要具备的第三性。

正如人类生存的自然环境的组成一样，食品作为自然界中物质的一部分，无论来自于植物界、动物界还是微生物，也是由存在形态不同、元素组成不同、化学结构不同的各种化学物质组成，是各种化学物质有机组合而成的客观实体。虽然自然界中的食品种类繁多，形态、色泽、风味等各异，但是在任何一个化学家眼里，所有的食品不过是由不同的有机物、无机物按照一定比例形成的一个个混合物（集合体），食品的营养价值、安全性、感官质量等众多确定食品品质的因素，则取决于这些物质的存在与否以及它们所存在的水平。在食品的加工贮藏过程中，食品整体上所表现出的各种特征与变化，则是这些集合体变化的集中表现，或是某一物质、某一类物质或一些物质变化的具体体现。所以，从食品的本质上看，食品的本质是物质的，更是化学的。在这一点上，可以充分体现从化学的角度研究食品的必要性，这也是食品化学成为食品科学重要组成部分和支柱学科的必然性。而从化学的角度对各种食品进行研究，则是从分子水平对食品的微观-宏观本质、组成、变化等方面的探讨，如此我们就可以从本质上对食品的诸方面表现，以及所发生的各种变化进行合理的解释和深入的探讨。所以，一个训练有素的食物科学家具有相当的食品化学知识是非常必要的。

食品中所含的各种化学物质（也被称为成分，components），具有不同的功能作用。根据目前已有的研究结果，一些成分是机体所必需的（即营养素，nutrients），一些成分则是机体非必需、但是为食品的品质所需要，一些成分是目前为止尚未发现它们具有何种作用，还有一些成分可能是对机体有害的。食品中所含的营养素是指能够维持人体的正常生长、发育，维持机体正常的代谢活动所必需的有机、无机物质，营养素是食品中最重要的组成部分。没有营养素，食品则不成为食品；如果是营养素缺乏或比例失调，则食品的营养价值不高。



根据长期的研究结果，如果从化学结构、生理功能等方面进行系统分类，可以将食品中的各种营养素分为六大类，即水（water）、矿物质（minerals）、蛋白质（proteins）、碳水化合物（carbohydrates）、脂类（lipids）、维生素（vitamins）。另外，基于近来的一些重要研究发现，还有人提议将膳食纤维（dietary fiber）增列为第七类营养素，以显示其对人体健康的重要性。这些营养素不仅能够提供人类生存必需的营养物质（当然这是它们的最主要作用），还能够在食品中产生一些有用的生理-物理化学特性，例如一些低分子碳水化合物具有甜的滋味，一些维生素（或其前体）能够赋予食品以适宜的色泽，而蛋白质和大分子碳水化合物等由于它们之间的相互作用、或者是与水的作用等，对食品的质地、口感等方面具有重要的作用，这些物质对食品的感官质量（organoleptic quality）是重要的。

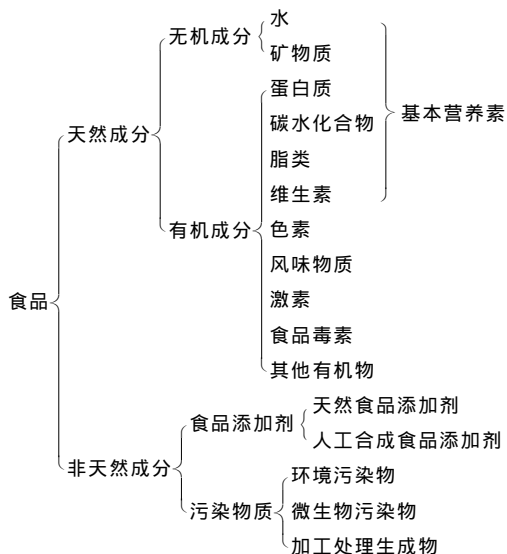


图 1.1 食品的化学组成分类方法

但是食品中不光是含有营养素，还有许多其他物质伴随着营养素存在而存在，这些物质可能是天然存在于食品原料中，也可能是人为添加的，或者是由于微生物繁殖而污染产生的，或者是在加工处理过程中由于一些食品成分发生化学反应而生成的。这些物质中的一些对机体是有益的，一些可能不产生作用，一些则可能对机体具有不利的作用，例如食品中天然存在的一些有机酸、挥发性有机化合物等由于具有滋味、香味，是影响食品感官质量的重要因素，所以习惯上将它们看作为风味化合物（food flavors）。一些物质由于可以吸收可见光区内一些波长的电磁波（380~700nm），所以使得食品呈现出不同的色彩，这就是所谓的食品色素（food colorants），其中一些食品色素

还可以通过生物转化而具有营养素的作用。而现代食品加工实践中为了提高、改善食品品质，延长食品的保存时间等，按照法规规定人为的向食品中加入一些化学物质，就是所谓的食品添加剂（food additives）。至于天然食品中不存在的，但是由于其他因素而被引入的化学物质，则被看成是污染物质（contaminants），例如食品中存在的农药残留、“三废”造成的重金属污染以及食品加工贮藏过程中形成的有害物质，包括霉菌毒素、亚硝胺、苯并[a]芘等。

所以，依据食品中各种物质的化学结构特征和主要作用，将组成食品的各种成分分类为图 1.1 所示的各个部分，这是目前食品组成分类的最常用分类方法。

## 1.2 食品化学的基本概念和研究内容

### 1.2.1 食品化学的基本概念

食品化学是利用化学理论和方法研究食品本质的一门科学，属于应用化学的一个分支，它也是食品科学的一个重要部分，它同食品微生物学、食品工程一起构成了食品科学中的三大支柱学科。1996年 O. R. Fennema 等在所著的“Food chemistry”一书中，将食品科学和食品化学分别定义如下。

Food science: A science that deals with the physical, chemical, and biological properties of foods as they relate to stability, cost, quality, processing, safety, nutritive value, wholesomeness, and convenience.

Food chemistry: A major aspect of food science, deals with the composition and properties of food and the chemical changes it undergoes during handling, processing, and storage.

即食品化学家通过对食品原料、加工食品的营养价值、安全性和风味特征、感官质量等各个方面的研究工作,在分子水平阐明食品的组成、各成分的结构、性质和功能,食品各成分在加工、贮藏、流通等环节中可能发生的各种化学变化、生物化学变化,以及这些变化对食品品质、安全性所产生的影响,这些均构成了食品化学家的基本工作内容。食品化学家所研究的这些问题对于食品品质改良、新食品开发、食品原材料的综合利用、食品加工工艺改进以及食品质量和安全性的监控,提供了必要的理论基础。

### 1.2.2 食品化学的研究内容和热点问题

由于食品是人类赖以生存的基本条件之一,所以组成食品的基本成分除包括了人体所必需的水、碳水化合物、蛋白质、脂类、矿物质、维生素,同时还需要食品具有适宜的风味特征和良好的质地等感官质量,并且在食用上是安全、无害的,如此才能受到消费者的欢迎,而食品化学就是在这些问题上对食品的本质从分子水平进行相关的探讨。

作为应用化学的一个组成部分,在早期食品化学的发展过程中,经典化学的研究成果和理论为食品化学的发展奠定了基础。但由于天然食品在化学组成上的复杂性以及不同时期人们所拥有的分析技术局限性,使得食品化学的发展在过去较为缓慢。从20世纪60年代以来,随着现代化分析技术的发展,如色谱技术、光谱技术等的发展和完善,对食品中微量成分的分离和分析已不再是困难的事情,对食品中微量、超微量成分的分离、分析及其研究结果,大大地推进了食品化学的发展,使得人类对食品成分在贮藏、加工过程中发生的各种化学变化、生物化学变化有了更加深入的了解。目前研究食品各成分之间的化学反应历程、中间产物和最后产物的化学结构,以及它们对食品的营养价值、感官质量和卫生安全性的影响,控制各种食品中的生物物质的组成、性质、结构和功能,研究食品的贮藏加工新技术、新工艺,开发新产品和新资源等已成为现代食品化学的重要内容。与此同时食品化学还与其他相关学科如化学、生物化学、营养学、医学、动植物生理学、工艺学、卫生学等有着密切和广泛的联系,它们相互依赖,其中一些是食品化学的基础,食品化学同时也为其中一些学科提供相应的理论依据。食品化学通过依赖这些学科的有关知识,从而有效地研究和控制作为人类主要食品来源的生物物质,掌握它们的内在特性。然而食品化学也有不同的研究目标或兴趣,其欲解决问题具有显著的特点。食品化学主要关心死的或将要死的生物物质,以及它们暴露在变化很大的各种环境条件下经历的各种变化。例如对一种水果的研究工作,食品化学主要关心贮藏、运销过程中维持残有生命过程的适宜条件,如用低温、包装等方法来维持水果的新鲜度,使之具有较长的货架寿命;或者为了达到长期保存食品,一般要进行的热加工、冷冻、浓缩、脱水、辐照、添加化学防腐剂等各种处理,此时主要关心这些不适宜生命存活的条件,以及在加工和保藏条件下食品中各种组分可能发生的变化、这些变化对食品的品质和安全性的影响等问题。

食品从原料生产,经过运输、贮藏、加工直到最后的销售,每一个过程无不涉及到一系列的化学变化或生物化学变化,表1.1列出了一些可以导致食品质量或安全性变化的化学、



表 1.1 导致食品质量或安全性变化的一些化学、生物化学变化

变化种类	实 例
非酶褐变(Maillard 反应)	焙烤食品(面包)
酶促褐变	切开的水果
氧化反应	含脂类食品(异味), 维生素(降解), 色素(脱色), 蛋白质(交联并降低营养价值)等
水解	脂类、蛋白质、碳水化合物、维生素、色素等
有关金属的相互作用	螯合(花青苷), 脱镁(叶绿素), 氧化反应催化
不饱和脂肪酸的异构化	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
脂肪的环化	单环脂肪酸
脂肪的多聚	高温油炸食品
蛋白质变性	酶的失活, 蛋清的加热凝固
蛋白质交联	碱处理蛋白质
低聚糖的合成	植物采后
糖酵解	动物组织宰后, 植物组织采后

食品在加工贮藏等过程中发生的化学变化, 其涉及面非常广泛, 一般包括有: 食品的酶促褐变和非酶褐变; 脂类的水解、氧化、热降解和化学加工变化; 蛋白质的变性、交联及水解反应; 碳水化合物的水解、化学改性和其他的反应(如糊化、老化、胶凝等); 水活度对各种变化的影响; 食品中大分子化合物的结构和功能性质之间的变化; 食品中呈味物质的呈味机理; 香气化合物的产生及其反应机理; 食品中有害化合物的来源及产生途径等; 另外对包装材料的变化及可能的毒副作用也有研究。例如, 在诸多化学变化当中, 氧化是造成食品变质的主要原因之一, 因为它造成了食品的哈败、异味、变色和其他的损害等不良结果。食品中的天然物质发生氧化时可能还生成有害物质, 如胆固醇的氧化产物可产生致癌和致突变作用就是证明之一; 而食品中的一些天然物质如维生素 E、维生素 C、 $\beta$ -胡萝卜素等是很强的抗氧化剂, 它们均可抑制氧化反应的发生, 阻止过氧化物、各种游离基(自由基)等活泼物质对机体造成损害。所以食品化学研究各种活泼物质的反应机理, 从而可以达到控制它们的目的。现在对食品成分的光敏氧化、自动氧化反应研究已取得重要进展, 这将为应用新的食品加工贮藏技术提供理论基础。又如, 褐变反应是食品中发生的另一类重要反应, 特别是美拉德(Maillard)褐变反应, 在食品的热加工和长期贮藏中会发生这个反应, 由于它涉及到醛(一般是还原糖)和胺(蛋白质和氨基酸), 所以褐变反应的发生会对食品的营养价值产生不利影响, 但反应中所生成的风味化合物及所形成的色泽, 通常又是一些食品在提高感官质量和产生风味所需要的。虽然对美拉德反应的研究进行了几十年, 由于反应过程复杂, 反应所生成的产物结构复杂, 所以目前对它的反应全过程, 特别是反应的后期情况仍然不完全了解。再如由于食品的风味品质在食品的质量中有着重要作用, 但食品的风味除了新鲜的水果和蔬菜等外, 其他的食品大都是在其加工过程中通过各成分之间的相互反应而生成, 因此控制食品的加工条件, 使之产生我们所需要的风味, 防止不需要的风味物质生成是十分重要的, 而对风味化合物的分离、结构和形成途径的研究将为食品的风味化学研究提供新的领域。对食品中游离基(自由基)化学的研究, 不仅能使我们了解食品的光氧化、自动氧化的相应机理, 同时也可以帮助了解食品成分在延缓机体衰老方面可能发挥的作用。可见, 由于食品各成分之间的相互作用不仅涉及营养价值、功能性质、风味方面等问题, 还涉及到食品的安全性问题, 因而食品成分在加工、贮藏中的变化成为食品化学的重点研究内容。

近二十年来, 特别是 20 世纪 80 年代以来, 由于世界经济的发展和水平的提高, 人们

普遍注重健康，对食品的要求不再仅仅是强调营养、风味及卫生等方面，而在食品的功能作用方面开始提出了一些新的要求，即要求食品还具有调节机体机能的新作用，因而出现了“功能食品（functional food）”或“保健食品”或“健康食品（health food）”的概念，其目的就是要求食品在满足人体营养要求的同时，能够利用其中的保健成分（nutraceuticals）在加强人体免疫机能、调整人体生物节律、防止疾病发生、恢复健康等方面发挥作用。不少人认为 21 世纪将是功能食品飞速发展的时期，而对功能食品中能够发挥相应功能作用的功能因子的化学结构、性质及功能作用的研究将成为食品化学的又一重点研究课题。目前在食品化学领域的一个热点研究问题是对植物组织中天然成分的研究，即对所谓的植物化学成分（或称植物化学物质，phytochemicals）的结构、性质、生理作用的综合研究。通过多年的工作，食品科学家们已经发现一些植物化学成分虽然不是传统意义上人体必需的营养素，但对人体的健康、生理功能的正常发挥有益的作用，例如纤维素（包括水溶性纤维素）可以维持肠道功能的正常外，对一些癌症发生风险可以降低；从大豆组织中分离出的异黄酮已被证实对降低西方妇女的更年期综合症有帮助；而通过医学临床调查结果，大豆蛋白这种特殊的植物蛋白被认为是对冠心病的预防有意义。对植物化学成分的研究结果可为功能食品的开发、发展具有重要意义，目前美国食品及药品管理局（FDA）已经正式允许在食品标签上可以声称多种植物成分对人体健康的益处。

人们在解决温饱问题以后对食品的安全性格外关注，这也是一个世界性的问题。不可否认，随着现代科学技术的发展，人类的生存环境被破坏，食品原料在生产过程中不仅受到废水、废气、废物的污染，同时还存在化学物质残留（农药残留、兽药残留、激素残留、食品毒素等）问题；食品原料在贮藏、运输、加工等环节也存在有害物质和微生物的污染、有害化学物质生成问题。这些问题均给食品带来不安全的可能性。

进一步根据食品化学具体研究领域不同，可将食品化学划分为更加细致的不同方向，主要方向有：食品成分化学、食品风味化学、食品工艺化学、食品物理化学和食品有害成分化学（此为食品安全性最重要内容）。也可以根据所研究的具体对象分类，将食品化学分为几个主要方向，包括：碳水化合物化学、油脂化学、蛋白质化学、应用酶学、食品添加剂、维生素化学、矿物质元素化学、风味化学、食品色素化学、食品毒物化学、功能食品（保健食品）。另外，在饮用水、食品生产环境保护、活性成分的提取与分离、农产品资源的综合利用和深加工、应用生物技术、绿色食品和有机食品，以及保健食品的开发、食品加工、包装、贮藏和运销等领域中也有食品化学的研究内容。

## 1.3 食品化学发展历史和食品科学中的地位

### 1.3.1 食品化学的发展历史

一般的看法是，食品化学是 20 世纪随着化学、生物化学的发展和食品工业的兴起而形成的一门独立科学，它与人类的生活和食物生产实践紧密相关。食品化学的起源可以向上追溯至远古时期，因为早期人类的食物生产也涉及到食品化学的一些内容，例如我国的劳动人民在 4 千多年前就已经掌握发酵制酒技术，并在肉的腌制保鲜、海藻治疗瘰病、动物肝脏治疗夜盲症等方面有许多宝贵经验，从现代科学的角度来看，这些实践均包含有食品化学的相应内容。食品化学作为一门学科首次出现还是在 18~19 世纪的西方，这时的一些化学家们已开始对食品的化学本质进行研究，已认识到糖类、蛋白质和脂类和一些微量成分是人体所



必需的营养素，这种认识为食品化学的今后发展打下了基础。如瑞典化学家舍雷（Schele）在分离出乳酸后研究了其性质，法国化学家拉瓦锡（Lavoisier）首先提出了用化学方程式表达发酵过程，还有其他的一些科学家对食品成分如乙酸、矿物质等的研究、测定做出了不少贡献。又如，德国的 Hanneberg 和 Stohman 在 1860 年发展了一种用来测定食品中主要成分的常规分析方法，即先将某一样品分为几个部分，以便测定其中的水分、粗脂肪、灰分和氮含量，将含氮量乘以 6.25 即得蛋白质含量，然后相继用稀酸和稀碱消化样品，得到的残渣被称为粗纤维，除去蛋白质、脂肪、灰分和粗纤维后的剩余部分称为“无氮提取物”。英国化学家戴维（Davy）在 1813 年出版了《农业化学原理》一书，在其中论述了食品化学的一些有关内容。Justus von Liebig（1882 年）将食品分为含氮的（植物蛋白、酪蛋白等）和不含氮的（脂肪、碳水化合物等），并于 1847 年出版了第一本有关食品化学方面的书《食品化学的研究》。但是，此时仍未建立食品化学学科。在经济发展过程中，广大的消费者对食品掺假现象要求控制的强烈愿望，对现代的食品分析和检验、监测方法起着极大的促进作用，化学家们为此花费了大量的精力来了解天然食品的特性，直至发展出系统的分析测试方法。化学家们努力的结果就是加快了食品化学研究工作的发展步伐，在 20 世纪的上半叶科学家们已经研究了大部分的食品基本成分（包括许多微量成分），并对它们的性质进行了鉴定。

在 20 世纪的 50~60 年代，西方国家的食品工业处于一个快速发展的时期，为了食品质量和品质的提高、改善，大幅度地提高农产品的产量，食品添加剂、饲料添加剂和农药等开始大量使用并产生显著的效果，由此而带来的对食品安全性的关心，不仅推动了食品化学分析的发展，而且也给食品化学的研究内容提供新的课题。与此同时，一些具有重要影响的杂志如“Journal of Food Science”、“Journal of Agricultural and Food Chemistry”和“Food Chemistry”等杂志的相继创刊，标志着食品化学作为一个学科的正式建立。在 20 世纪的后期，由于现代食品工业加工技术的新发展，例如膜技术、超临界萃取技术、微胶囊技术、超微粉碎技术、微波技术和静高压灭菌技术、电磁波技术等，开始在食品工业的开始应用和深入研究，不仅是对于食品质量、品质、安全性等方面提出的新要求，而且对食品化学领域的一些相关研究也提出新问题。现代分析技术（例如色谱、质谱、色质联机等）的广泛应用则进一步为现代食品化学的研究和发展创造了新的条件，这些技术可以帮助我们确定食品组分在加工、贮藏过程中发生的化学变化和反应机理和动力学，寻找新的加工、贮藏技术和方法。而功能食品、植物化学成分研究的兴起，以及人工合成食品的设想，给食品化学的研究和发展开拓了新的研究领域。在此环境下，有关天然食品成分的功能性质开发、应用研究取得长足的进展，一些重要的食品成分被确认具有健康有益作用。例如在美国，FDA 在多年以后终于认可了食品成分与健康之间的关系，并且许可可以将有关健康声明（health claims）用于食品的标签，一些许可的健康声明见表 1.2。

与此同时，不同的食品化学著作、教科书相继问世，基本反映了食品化学发展水平，其中 Fennema 的“Food Chemistry”和 Belitz 的“Food Chemistry”已经发行了多版，在我国有较大的影响力。

### 1.3.2 食品化学在食品科学中的地位

食品科学作为一门独立的学科具有自己的基础理论和研究目标，其基础理论包括了数学、物理学、化学和生物学等的有关基本原理。由于食品工业的发展、新技术的应用、相关学科的渗透与交叉，现代食品科学已经从过去的食品工艺或食品技术，延伸成为一门更加注

重体系科学理论、更多地研究食品加工保藏中的机理问题的全新科学。

表 1.2 现在已经被 FDA 认可的一些健康声明

经审定的声明			
钙与骨质疏松	钠与高血压	膳食脂肪与癌症	水果、蔬菜与癌症
含纤维的谷物、水果、蔬菜与癌症 膳食饱和脂肪和胆固醇与冠心病风险	非致癌性膳食甜味剂与龋齿 大豆蛋白与冠心病风险	一些食品的水溶性纤维与癌症 叶酸与中枢神经缺陷	含纤维,尤其是水溶性纤维的谷物、水果、蔬菜与癌症 固醇/固醇与冠心病风险
有条件的声明			
声明	声明相适应条件	声明	声明相适应条件
硒与癌症	含硒的膳食补充剂	B 族维生素与血管疾病	含有维生素 B6、维生素 B12 和(或)叶酸的膳食补充剂
抗氧化维生素与癌症	含有维生素 C 和(或)维生素 E 的膳食补充剂	$\omega$ -3 脂肪酸与冠心病	含 $\omega$ -3 长链多不饱和脂肪酸 EPA、DHA 的膳食补充剂
坚果类与心脏疾病	整坚果或碎坚果及含坚果食品	磷脂酰丝氨酸与认识功能障碍和痴呆	含有来自大豆的磷脂酰丝氨酸的膳食补充剂
胡桃与心脏疾病	整胡桃或碎胡桃	叶酸与中枢神经缺陷	含有叶酸的膳食补充剂

从目前总体情况来看,食品科学一般被划分为几个专门化的研究领域。

(1) 食品化学 食品组分的化学以及物理化学性质,组分在食品加工和保藏过程中的变化,以及对食品成分的分析;对有害成分的分析与检测是目前食品安全性重要内容之一。

(2) 物理食品学 食品体系的流变学和物理学性质。

(3) 结构食品学 食品体系的微观和宏观结构。

(4) 环境食品学 微生物的侵入和食品体现的腐败(食品微生物学),食品的保护(包括卫生和包装)。

(5) 食品加工学 通过物理、化学和微生物等各种方法实现食品转化、制造和保藏的原理。

(6) 食品管理学 食品企业生产管理、食品营销、物流管理等。

在上述的这些专门领域中,食品化学的研究内容是涉及范围最广的一个,因为它的目标内容除涉及对天然食品成分性质进行分析、研究外,还包括对食品毒理学、食品营养化学、食品风味化学、食品安全性等方面的研究内容。了解食品化学原理、掌握相关技术,是从事食品科学的人所必需的条件之一。食品化学的基础理论和应用研究成果,可以指导人们依靠科技进步、健康而持续地发展食品生产业。

食品化学在食品科学中的重要性,也可以通过美国的 IFT (Institute of Food Technologists) 对食品科学人才的基本要求中看出。在 1966 年 IFT 首次制订了一套关于食品科学高等教育(4 年制,学士学位)课程要求的最低标准(Minimum Standards for Food Science Programs),意在为教育部门制订教学计划时发挥相应的指导作用,为学习者提供各种基本技能,使他们能够在毕业后被聘用。随之这个最低标准被正式化,各院、系向 IFT 提供他们的课程计划,并且在制订各种计划时均经过 IFT 认同,以证明他们的学生有资格获得 IFT 的奖学金。实践证明此标准实施取得非常好的效果,大部分的毕业生进入工作后,均具有工作岗位所需要的知识和技能。随着科学技术的发展,IFT 的教育标准随之变化,20 世纪的 90 年代初期它被修订过,在 2001 年又一次公布了新标准。在这个新的标准中,有关的



食品科学的核心能力 (core competencies) 被分为 5 大块, 它们分别是食品化学与分析、食品安全与微生物学、食品加工与工程、应用食品科学、成功技能, 制订者认为这些均是所有食品科学毕业生的必备能力。食品化学的重要性表现在其对食品成分的结构与性质了解、对食品成分在各种条件下所发生的各种变化的了解与相关控制技术的应用。IFT 提出的食品科学核心能力要求——食品科学原理部分见表 1.3。

表 1.3 IFT 提出的食品科学核心能力要求——食品科学原理部分

核心能力	内 容	学习完成后学生具备的能力
食品化学与分析	<p>食品成分的结构与性质, 包括水、碳水化合物、蛋白质、脂肪、其他营养素、食品添加剂等</p> <p>食品成分在加工、贮藏、利用中发生的化学变化</p> <p>食品、食品成分的物理、化学、生物学定性分析、定量分析的原理、方法和技术</p>	<p>从化学方面了解各种食品成分的性质和所发生的反应</p> <p>(1) 有足够的食品化学知识来控制食品中的化学反应;</p> <p>(2) 了解影响食品货架寿命的主要化学反应;</p> <p>(3) 能运用基础食品化学、应用食品化学实验室技术</p> <p>(1) 了解与食品相关的分析技术原理</p> <p>(2) 在实际问题出现时能够选择出适当的分析方法</p> <p>(3) 在食品分析实验室中示范实际操作熟练程度</p>
食品安全与微生物学	<p>食品中的病原微生物和腐败微生物</p> <p>食品体系中的有益微生物</p> <p>食品体系对微生物繁殖、存活的影响</p> <p>微生物控制</p>	<p>(1) 鉴别食品中重要的病原、腐败微生物及繁殖条件</p> <p>(2) 确定重要病原微生物灭活、杀死、或无害化条件</p> <p>(3) 利用实验技术鉴别食品中的微生物</p> <p>了解涉及食品发酵、保藏过程中的原理</p> <p>了解微生物灭活、适应、环境因素对微生物繁殖的作用和显著性, 以及微生物在不同环境中的响应</p> <p>能够确定相应条件, 包括卫生惯例, 使食品中重要的微生物被杀死、灭活或被无害化</p>
食品加工与工程	<p>食品原料的特征</p> <p>食品保藏原理, 包括高温、低温、水活度等</p> <p>工程原理, 包括质量和能量平衡、热和质量传递、流体流动、热力学</p> <p>食品加工工艺原理, 包括冷冻、高压、挤压、无菌加工</p> <p>食品包装材料与方法</p> <p>清洗与卫生</p> <p>水与废物处理</p>	<p>了解食品原料的来源和变化, 以及对加工条件的影响</p> <p>(1) 了解食品腐败机理, 以及控制腐败的方法</p> <p>(2) 了解使食品消费安全的原理</p> <p>(1) 在概念上或实验室装置中了解传递过程与单元加工</p> <p>(2) 对给定的加工过程能够应用质量、能量平衡</p> <p>(3) 了解生产给定产品时所需要的单元加工</p> <p>了解加工技术的原理和现行实践, 以及加工参数对食品质量的影响</p> <p>了解不同包装材料的性质与应用</p> <p>了解在食品加工操作中清洗与卫生的基本原理和实践</p> <p>了解食品与加工中水利用与废物处理的需要</p>

与 IFT 在 1992 年的标准相比, 新标准中增加了一些新的内容, 包括食品法规、质量保证、感官分析、食品科学进展等, 更为重要的是, 个人成功技能被确定, 在这其中包括有个人修养 (如道德规范等)、终生学习能力、协调能力 (如团队工作等)、信息获得能力、组织能力, 重点强调了个人能力的培养, 以保证学习者在今后具有更大的发展、成功机会。但是 IFT 并没有降低对食品科学专业知识的严格要求, 尤其是食品化学方面, 因为增加了食品法规、质量控制和感官分析方面的新要求, 其中一些也涉及到食品化学的有关问题, 所以具有深厚的食品化学知识对于每一个食品科学工作者的重要性是不言而喻的。

## 1.4 食品化学的研究方法

由于食品是多种组分构成的复杂体系, 在加工贮藏中可发生许多复杂的化学变化, 因而

给食品化学的研究工作带来许多困难，因此食品化学的常用研究方法是从模拟体系或简单体系入手，即从简化的研究体系中得出实验结果并应用于食品体系，以确定各组成成分之间的相互作用和可能对营养、品质和安全性造成的影响。例如通过分析研究对象的组成，来研究单一组分所发生的变化、多组分发生的变化。由于这种简化的体系与真实体系有着一定的差别，故其研究结果与最后的实际结果并非完全吻合，需要进行必要的校正后方能更好地符合实际情况。

在具体研究工作中，一般可将研究内容大致划分为四个不同的方面：①确定食品的组成、营养价值、安全性和品质等重要的基本性质；②食品贮藏加工中可能发生各种化学、生物化学变化，并研究化学反应的动力学和环境因素对变化的影响情况；③确定上述变化中影响食品品质和其安全性的主要因素；④应用研究结果于食品的加工、贮藏过程中的各种情况。

食品化学最基本的任务就是利用现代分析技术，研究食品的组成情况、对食品的营养价值进行评定，同时对食品安全性进行评定，这是由于安全性与营养、风味品质一样，也是食品的重要属性。供人类消费的食品不应含有微生物毒素（如黄曲霉毒素 B<sub>1</sub>）、亚硝胺、苯并[a]芘、激素、农药、有害金属元素等有害物质。而食品在生产、加工、贮藏中，一些成分发生的化学反应、物理变化或微生物污染，有可能对食品的品质、安全性产生各种不良的影响，例如蛋白质、脂肪和碳水化合物等三大营养成分在食品的贮藏、加工过程中就有可能发生一些不需要的反应。目前公众对食品安全性问题如此敏感，所以在未来的几年内，食品安全性问题将是农业、食品工业所面临的最重要问题之一。食品生产、加工贮藏中可能发生的不良变化见表 1.4。

表 1.4 食品生产、加工贮藏中可能发生的不良变化

特 性	不 良 变 化	特 性	不 良 变 化
营养价值	维生素损失或降解,矿物质损失或降解,蛋白质损失或降解,脂类损失或降解,其他物质的损失或降解	质构	溶解性丧失,分散性丧失,持水力降低,硬化,软化
安全性	微生物污染产生内(外)毒素,有害化学物质污染,有害化学物质生成,食品毒素灭活或清除不完全,农药、兽药污染或残留量超出标准,食品添加剂使用量超出标准	风味色泽	产生恶臭,产生酸败味,产生其他异味 变黑,褪色,产生其他不正常色泽

食品的变质通常包括一系列变化，每种变化又产生一组结果，所有的结果最终作为食品品质的一个或多个宏观变化而表现出来。变化的早期可能是食品成分的化学结构发生一系列改变，然后导致一系列肉眼可观察或其他感觉器官可察觉的变化。其中应该注意的是，特定的质量特性的变化可以是不同的基本变化的结果，而一种变化可以导致多种结果产生，体现出变化的复杂性。食品变质的原因和结果见表 1.5。

表 1.5 食品变质的原因和结果

基本变化	结 果	基本变化	结 果
脂类的水解	游离脂肪酸与蛋白质反应	蔬菜的加热	细胞壁和膜受损,酶和有机酸释放
多糖的水解	糖与蛋白质反应	肌肉组织的加热	蛋白质变性和聚集,酶失活
水果皮的破损	细胞破裂,酶释放与氧接触	脂类的顺反结构变化	高温时聚合反应速率增加

食品中各成分的相互作用可影响食品品质 and 安全性，因此简化食品体系或采用模拟体系



进行研究是食品化学研究的一个显著特点；但在实际体系中，这些反应一般与食品的种类、贮藏加工条件、各反应之间的相互影响和竞争等因素有关。食品成分之间的相互作用、反应以及所造成的结果可以用图 1.2 来表示。一些变化有利于食品品质的改善，例如色泽形成和风味化合物产生，因此可以根据实际情况加以控制，利用其提高食品的质量；一些变化是不利的，甚至可以产生有害物质，如油脂的氧化反应，需要在食品的加工贮藏过程中重点解决。

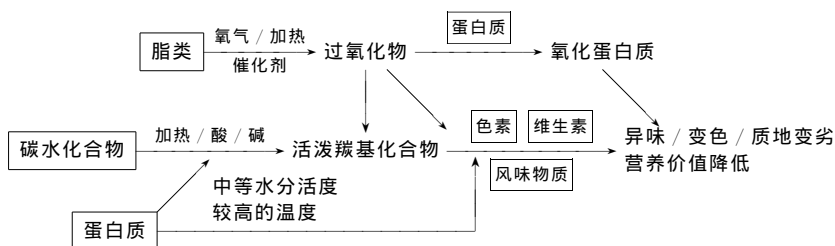


图 1.2 食品成分之间的相互作用、反应与结果

食品化学的研究特点之一是要利用化学原理来研究食品中发生的变化，并从中寻找内在规律（反应的热力学与动力学）。食品在加工贮藏中，各种化学变化与温度、时间、pH 值、水活度等环境因素、食品组成等各种因素有关（见表 1.6）。一般来讲，在中等温度时，化学反应速度常数随温度的变化，符合经典化学中的 Arrhenius 方程

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

式中， $k$  为速率常数； $T$  为绝对温度； $E_a$  为反应活化能； $R$  及  $A$  均为常数。

表 1.6 决定食品贮藏加工稳定性的重要因素

产品自身的因素	各组成成分(包括催化剂)的化学性质、氧气含量、pH、水活度( $a_w$ )、玻璃化温度( $T_g$ )、玻璃化温度时的水含量( $W_g$ )
环境因素	温度( $T$ )、处理时间( $t$ )、大气成分、所经受的化学、物理和生物处理、见光、污染、极端的物理环境

温度是一个非常重要的因素，随着温度的升高，一般来讲反应速度随之增加。但对于酶促反应来讲，由于在较高的温度下存在酶的失活问题，所以酶促反应的速度与温度之间的关系并不完全如此。此外，在实际应用中应用 Arrhenius 方程可能会出现一些偏差，产生偏差的原因是反应途径的改变，存在竞争反应，体系的状态改变，或者是反应物的消耗增加，这些变化都可以导致偏差的产生。但从动力学方面来研究食品中发生的这些变化，对食品的贮藏性质来讲十分重要，它能决定食品的具体贮藏时间，也就是它的货架寿命，具有重要的应用价值。

## 2 水

水是最简单的无机化合物之一，是食品体系普遍存在的一个组成成分，在天然食品中，水含量范围一般在 50%~92%，许多食品实际上是一个水合体系。各种食品都有其特定的水含量，并显示出各自的色、香、味、形等特征。从食品的物理化学方面来看，水在食品中起着分散蛋白质、淀粉等大分子和其他小分子物质的作用，使它们形成溶胶或溶液。水也是微生物繁殖的重要因素，影响食品的贮藏性。从食品化学、食品加工学考虑，水对食品的新鲜度、硬度、流动性、呈味性、保藏性和加工性等方面都具有重要的影响，食品加工过程中，水还能发挥膨润、浸透等作用。在许多法定的食品质量标准中，水分是一个主要的质量指标。

食品加工过程进行的单元操作，就有一些涉及对水的处理，如采用一定的方式从食品中除去水分（加热干燥、蒸发浓缩、超滤、反渗透等），将水分转化为非活性成分（冷冻），或将水分物理固定（凝胶）。因此，研究水的结构和物理化学特性、水分的分布及存在状态，对食品保藏技术有重要意义。

### 2.1 水的结构和性质

#### 2.1.1 水的结构

水分子中，氢原子的 s 轨道与氧原子的  $sp^3$  杂化轨道形成两个  $\sigma$  共价键，具有 40% 离子性质。氧原子位于四面体中心，四面体的四个顶点中有两个被氢原子占据，其余两个为氧原子的孤对电子占有。气态水分子两个 O—H 键的夹角即 H—O—H 的键角为  $104.5^\circ$ ，与典型四面体夹角  $109^\circ 28'$  很接近，O—H 核间距为 0.096nm，氢和氧的范德华（van der Waals）半径分别为 0.12nm 和 0.14nm。由于自然界中 H、O 两种元素存在着同位素，所以纯水中除常见的  $H_2O$  外，实际上还存在一些同位素的微量成分，但在自然界的水中所占比例极小。

在常温下水是一种有结构的液体，若干个水分子缔合成  $(H_2O)_n$  的水分子簇。这是由于水分子是偶极分子（在气态时为 1.84D），它们之间的作用是通过静电吸引力及氢键形成，如图 2.1 所示的四面体结构。每个水分子在三维空间的氢键给体数目和受体数目相等，因此，水分子间的吸引力比同样靠氢键结合成分子簇的其他小分子（如  $NH_3$  和 HF）要大得多。例如氨分子是由三个氢给体和一个氢受体构成的四面体，氟化氢的四面体只有一个氢给体和三个氢受体，它们只能在二维空间形成氢键网络结构，包含的氢键数目要少。水分子形成三维氢键的能力可以解释水的一些物理化学性质，例如它的高熔点、高沸点、高比热容和相变焓，这些都与破坏水分子氢键所需要的额外能量有关；水的高介电常数则是由于氢键所产生的水分子簇，导致多分子偶极，从而有效地提高了水分子的介电常数。

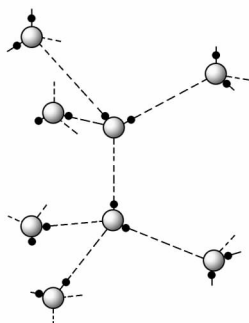


图 2.1 水分子的四面体构型下的氢键模式  
(以虚线表示)