



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



教育部普通高等教育精品教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 食品化学

第三版

汪东风 徐莹 主编



化学工业出版社

SHIPIN HUAXUE



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

1009824



教育部普通高等教育精品教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

中国海洋大学教材建设基金资助

# 食品化学

第三版

汪东风 徐莹 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

食品化学是食品科学与工程学科的专业基础课。本书系统地阐述了食品化学的基础理论, 主要内容包括水分、碳水化合物、脂类、蛋白质、维生素、矿物质、酶、色素和着色剂、风味成分、食品添加剂及食品中有害成分。本书的编写力求系统性和科学性的统一, 并紧密联系实际应用和食品化学最新的研究成果与前沿技术, 精简了与基础生物化学重复的部分, 相应增加了食品中有害成分化学内容, 同时, 配有实验教材、例题习题参考书和多媒体课件, 方便教学使用。

本书可作为食品科学的专业基础课教材, 也可供相关专业科研及工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

食品化学/汪东风, 徐莹主编. —3版. —北京: 化学工业出版社, 2019. 8

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 教育  
部普通高等教育精品教材 普通高等教育“十一五”国家  
级规划教材

ISBN 978-7-122-34695-7

I. ①食… II. ①汪…②徐… III. ①食品化学-高等  
学校-教材 IV. ①TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 118890 号

---

责任编辑: 赵玉清 周 侗  
责任校对: 王素芹

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 刷: 三河市航远印刷有限公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 22 字数 560 千字 2019 年 9 月北京第 3 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888

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: 49.00 元

版权所有 违者必究

## 编写人员

主    编  汪东风（中国海洋大学）  
          徐  莹（中国海洋大学）  
参编人员  林  洪（中国海洋大学）  
          王明林（山东农业大学）  
          史雅凝（南京农业大学）  
          李宏军（山东理工大学）  
          张朝辉（中国海洋大学）  
          张  宾（浙江海洋大学）  
          吴  昊（青岛农业大学）  
          孙  逊（中国海洋大学）

# 前言

《食品化学》自出版发行以来,累计印刷了18次,受到了食品科学与工程等专业师生的欢迎,这是对我们工作的肯定和鼓励,也是对该教材第三版修订提出了更高的希望。

为满足食品科技的发展、新工科建设的要求和互联网+教育的需要,本着知识的继承和创新,体现教材的先进性、可读性和实用性。《食品化学》第三版在第二版基础上,重点在以下方面进行修订提高:①根据食品学科的发展和新工科建设的要求,更新及补充一些新的内容,体现出先进性。②根据国家最近颁布的食品相关规定或法规,完善其食品名词及定义,更改词不达意的句子、别字及错字,达到可读性。③随着新工科建设、现代教育技术普及应用和互联网+教育形式的实施,各高校都加强了基础课程的教学和电子图书及资料的建设,本教材第三版尽量减少能被电脑、智能手机等外部智能辅助设备方便获取的“文献资料式”的知识,同时删除前后相关课程中的相似或重复的内容,使其更简明,更实用。④与本教材的数字资源(内容已纳入《工程师宝典APP》)、在线自测试题库、中国大学MOOC及智慧树平台的多媒体等配套统一,形成立体化,以满足线上线下教学相结合的新需要。

第二版各章编写教授、河北科技大学李兴峰教授、昆明理工大学孙丽平教授、青岛农业大学肖军霞教授、齐鲁大学李海燕博士等对本教材的修订提出了宝贵建议;中国海洋大学、山东农业大学、青岛农业大学等高校的食品科学与工程专业历届用过第二版的曾羲言、张晓月等同学,在使用过程中认真钻研,对第二版的内容提出不少中肯的修订意见;食品化学与营养研究室的范明昊、刘成珍等博士,陈鹏、刘珠珠、张帅中、蓝祥、袁永凯、宋寒铮等硕士协助了资料收集和拓展材料的编译整理。全书由汪东风教授和徐莹副教授根据《食品化学》“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材立项建设标准、上述师生们的建议和意见以及第三版编写的要求,进行修订和最后定稿;教材中化学式和结构式由孙逊博士协助修订。

本教材尤其是其数字资源(内容已纳入《工程师宝典APP》)、在线自测试题库等,在编写和审稿过程中得到化学工业出版社、中国海洋大学及许多高等院校同行及广大读者的热情鼓励和支持,在此一并致以最真挚的谢意。

希望《食品化学》第三版的出版,既有利于食品类专业师生们教与学,又有利于学生线上线下学习,但由于食品化学发展很快,作者水平有限,难免存在疏漏及不足之处,敬请老师和同学们批评指正。

汪东风 徐莹  
2019年2月18日

# 目 录

## 第 1 章 绪 论 / 1

|                              |   |
|------------------------------|---|
| 1.1 食品化学的概念及发展简史 .....       | 1 |
| 1.2 食品化学在食品科学与工程学科中的地位 ..... | 4 |
| 1.3 食品化学的研究方法 .....          | 6 |

## 第 2 章 水 分 / 8

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 2.1 水和冰的物理特性 .....    | 9  |
| 2.2 食品中水的存在状态 .....   | 11 |
| 2.3 水分活度 .....        | 16 |
| 2.4 水分吸着等温线 .....     | 18 |
| 2.5 水分活度与食品稳定性 .....  | 21 |
| 2.6 冰在食品稳定性中的作用 ..... | 24 |
| 2.7 分子流动性与食品稳定性 ..... | 25 |
| 参考文献 .....            | 30 |

## 第 3 章 碳水化合物 / 31

|                        |    |
|------------------------|----|
| 3.1 概述 .....           | 31 |
| 3.2 碳水化合物的理化性质 .....   | 33 |
| 3.3 碳水化合物的食品功能性 .....  | 44 |
| 3.4 非酶褐变反应 .....       | 48 |
| 3.5 食品中重要的低聚糖和多糖 ..... | 62 |
| 3.6 膳食纤维 .....         | 84 |
| 参考文献 .....             | 88 |

## 第 4 章 脂 类 / 89

|              |    |
|--------------|----|
| 4.1 概述 ..... | 89 |
|--------------|----|

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 4.2 脂类的物理特性 ..... | 95  |
| 4.3 脂类的化学性质 ..... | 98  |
| 参考文献 .....        | 108 |

第5章 蛋白质 / 109

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 5.1 食品中常见的蛋白质 .....         | 109 |
| 5.2 蛋白质的结构 .....            | 110 |
| 5.3 蛋白质的功能性 .....           | 113 |
| 5.4 蛋白质的营养及安全性 .....        | 120 |
| 5.5 蛋白质在食品加工与贮藏过程中的变化 ..... | 122 |
| 5.6 新型蛋白质资源开发与利用 .....      | 128 |
| 参考文献 .....                  | 130 |

第6章 维生素 / 132

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 6.1 概述 .....            | 132 |
| 6.2 影响食品中维生素含量的因素 ..... | 133 |
| 6.3 食品中的维生素 .....       | 136 |
| 参考文献 .....              | 155 |

第7章 矿物质 / 156

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 7.1 概述 .....             | 156 |
| 7.2 矿物质在食品中的存在状态 .....   | 158 |
| 7.3 食品中矿物质的理化性质 .....    | 164 |
| 7.4 食品中矿物质的营养性及有害性 ..... | 166 |
| 7.5 影响食品中矿物质含量的因素 .....  | 171 |
| 参考文献 .....               | 174 |

第8章 酶 / 175

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 8.1 概述 .....            | 175 |
| 8.2 影响酶催化反应的因素 .....    | 177 |
| 8.3 酶与食品质量的关系 .....     | 183 |
| 8.4 酶在食品加工及保鲜中的应用 ..... | 191 |
| 参考文献 .....              | 198 |

第 9 章 色素和着色剂 / 199

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 9.1 概述 .....        | 199 |
| 9.2 食品中原有的色素 .....  | 201 |
| 9.3 食品中添加的着色剂 ..... | 223 |
| 参考文献 .....          | 230 |

第 10 章 风味成分 / 231

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 10.1 滋味及呈味物质 .....   | 231 |
| 10.2 气味及呈味物质 .....   | 241 |
| 10.3 风味成分的形成途径 ..... | 250 |
| 参考文献 .....           | 255 |

第 11 章 食品添加剂 / 256

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 11.1 概述 .....           | 256 |
| 11.2 常用人工合成的食品添加剂 ..... | 257 |
| 11.3 常用天然的食品添加剂 .....   | 271 |
| 11.4 一些功能性食品添加物 .....   | 281 |
| 参考文献 .....              | 287 |

第 12 章 食品中有害成分 / 288

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 12.1 内源性有害成分 .....          | 289 |
| 12.2 外源性有害成分 .....          | 300 |
| 12.3 微生物毒素 .....            | 309 |
| 12.4 抗营养素 .....             | 315 |
| 12.5 加工及贮藏中产生的有毒、有害成分 ..... | 322 |
| 参考文献 .....                  | 332 |

附录 主要英文期刊及主要网站介绍 / 335



# 第1章 绪 论

**本章要点：**食品的营养性、享受性和安全性是食品的三大基本属性。食品中成分相当复杂，食品化学就是从化学的角度和分子水平上研究食品中成分的结构、理化性质、营养作用、安全性及享受性，以及各种成分在食品生产、食品加工和贮藏期间的变化及其对食品属性影响的科学。食品化学在食品工业中有着重要的作用和特殊地位，发展迅速，是本专业重要的主干课程。

## 1.1 食品化学的概念及发展简史

### 1.1.1 食品化学的概念

营养素 (nutrients) 是指那些能维持人体正常生长发育和新陈代谢所必需的物质。人体所需要的营养物质较多，从化学性质及对人体营养的作用可将人体所需要的营养物质分为 6 类：水、碳水化合物、蛋白质、脂类、矿质元素和维生素。

食物、食料或食材 (foodstuff) 是指含有营养素的食用安全的物料。将上述物料进行加工 (包括从简单的清洗到现代化的加工) 以满足人们的营养及感官需要和保障其安全的产品称为食品 (food)。也就是说营养性、享受性和安全性是食品的三大基本属性。食品的营养性主要与食品中一些营养成分有关，其数量有限，研究也较清楚。食品的享受性涉及内容较多，除与食品的色泽、质构、风味和形状等内容有关外，还涉及人们的文化背景、喜好及年龄等方面，可见与食品享受性相关的化学成分更为复杂。食品的安全性主要与食物中内源性、外源性以及在加工或贮藏过程中产生的有害成分有关。

食品中的化学成分可分为：



食品中成分相当复杂，有些成分是动、植物及微生物体内原有的；有些是在加工过程、贮藏期间新产生的；有些是人为添加的；也有些是原料生产、加工或贮藏期间所污染的；还有的是包装材料所带来的。很明显，食品化学（food chemistry）就是从化学的角度和分子水平上研究食品（包括食物）中上述成分的结构、理化性质、营养作用、安全性及可享受性，以及各种成分在食品生产、食品加工和贮藏期间的变化及其对食品营养性、享受性和安全性影响的科学；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、科学指导膳食结构、改进食品包装、加强食品质量与安全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科学。

由此可见，食品化学研究的内涵和要素较为广泛，涉及化学、生物化学、物理化学、植物学、动物学、食品营养学、食品安全、高分子化学、环境化学、毒理学、分子生物学及包装材料等诸多学科与领域，是一门交叉性明显的应用学科。其中食品化学与化学及生物化学尤为紧密，是化学及生物化学在食品方面的应用，但食品化学与化学及生物化学研究的内容又有明显的不同，化学侧重于研究分子的构成、性质及反应，生物化学侧重于研究生命体内各种成分在生命的适宜条件或较适宜条件下的变化，而食品化学侧重于研究动、植物及微生物中各成分在生命的不适宜条件下，如冰藏、加热、干燥等条件下各种成分的变化，在复杂的食品体系中不同成分之间的相互作用，各种成分的变化和相互作用与食品的营养、安全及感官享受（色、香、味、形）之间的关系。

### 1.1.2 食品化学发展简史

食品化学成为一门独立学科的时间不长，它的起源虽然可追溯到远古时代，但与食品化学相关的研究和报道则始于18世纪末期。在这个时期，一些化学家、植物学家等开始以食物为对象，从中分离某些成分。如 Carl Wilhelm Scheele 1785 年从苹果中分离出了苹果酸。Sir Humphry Davy 1813 年出版了《农业化学原理》，这是农业及食品化学方面的第一本书。1847 年出版的《食品化学的研究》是本学科第一本有关食品化学方面的书籍。

随着食品交易的进行，人们对检测食品中水分、非食品成分的要求越来越强烈，并随着分析手段的进步，人们对食品中天然特性了解的欲望也日益增强。因此，在 1820~1850 年期间，化学及食品化学研究开始在欧洲有重要地位，极大地推动着食品化学的发展。1860 年，德国学者 W. Hanneberg 和 F. Stohman 介绍了一种综合测定食品中不同成分的方法：先

将某一样品分成几部分,测其水分含量、粗脂肪、灰分和氮,将氮乘以 6.25 得蛋白质含量。1874 年成立的“Society of Public Analysts”,为社会提供分析方法,分析面包、牛奶及葡萄酒质量。其后不久,人们发现仅食用蛋白质、脂肪和碳水化合物的膳食不足以维持人类生命,促进了对其他营养素的研究。

到了 20 世纪,随着分析技术的进步及生物化学等学科的发展,特别是食品工业的快速发展,面临着食品加工新工艺的出现、贮藏期的延长等需要,食品化学得到了较快发展。这期间美国农业部研究员 Harvey W. Wiley 发挥着重要作用,正是他的努力,于 1906 年成立美国食品药品管理局,1908 年美国化学会成立了农业与食品化学分会。有关食品化学方面的研究及论文日渐增多,刊载食品化学方面论文的期刊也日益增多,主要有“Agricultural and Biological Chemistry”(1923 年创刊)、“Journal of Food Nutrition”(1928 年创刊)、“Archives of Biochemistry and Biophysics”(1942 年创刊)、“Journal of Food Science and Agricultural”(1950 年创刊)、“Journal of Agricultural and Food Chemistry”(1953 年创刊)及“Food Chemistry”(1966 年创刊)等刊物。随着食品化学文献的日益增多和有关食品化学方面研究的深入及系统性增加,逐渐形成了食品化学较为完整的体系。

夏延斌、杨瑞金等学者根据国内外文献将食品化学的发展归纳成四个阶段:第一阶段,天然动植物特征成分的分离与分析阶段。该时期是在化学学科发展的基础上,化学家应用有关分离与分析植物的理论与手段,对很多食物特征成分如乳糖、柠檬酸、苹果酸和酒石酸等进行了大量研究,积累了许多零散的有关食物成分的分析资料。第二阶段,19 世纪早期(1820~1850 年),食品化学在农业化学发展的过程中得到不断充实,开始在欧洲占据重要地位,体现在建立了专门的化学研究实验室,创立了新的化学研究杂志。与此同时,食品中的掺假日益严重,检测食品中杂质的要求成为食品化学发展的一个主要推动力。在此期间,Justus von Liebig 优化了定量分析有机物质的方法,并于 1847 年出版了《食品化学研究》。第三阶段,19 世纪中期英国的 Arthur Hill Hassall 绘制了显示纯净食品材料和掺杂食品材料的微观形象的示意图,将食品的微观分析提高至一个重要地位。1871 年 Jean Baptis M. D. M. 提出一种观点: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的生命。人类对自身营养状况及食品摄入的关注,进一步推动食品化学的发展。20 世纪前半期,食品中多数成分被逐渐揭示,食品化学的文献也日益增多,到了 20 世纪中期,食品化学就逐渐成为一门独立的学科。目前食品化学的发展处于第四阶段。随着世界范围的社会、经济和科学技术的快速发展和各国人民生活水平的明显提高,为更好地满足人们对食品安全、营养、美味、方便食品的越来越高的需求,以及传统的食品加工快速向规模化、标准化、工程化及现代化方向发展,新工艺、新材料、新装备不断应用,极大地推动了食品化学的快速发展。另外,基础化学、生物化学、仪器分析等相关科学的快速发展也为食品化学的发展提供了条件和保证。食品化学已成为食品科学的一个重要方面。

### 1.1.3 “食品化学”体系的形成与现状

#### 1.1.3.1 国外“食品化学”体系的形成与现状

食品化学的教学体系是随着食品科学的教学和发展而逐步完善起来的,至 20 世纪 60 年代末才形成比较完整的体系。1976 年到 1985 年间,美国、日本、德国等国出版了一些较权威的食品化学著作,其中有林淳三编写的《最新食品化学》(日本)、楼井芳人编写的《食品化学》(日本)、Owen R. Fennema 主编的《食品化学》(美国)及 H.-D. Belitz 主编的《食品化学》(德国)等教材。随着食品行业对食品工作者提出更高的要求,国外高校的食品化

学课程也随之更新。美国学者 Fennema 对当今食品化学教材体系的形成和发展做出了极大的贡献,他三次主持编写《食品化学》一书,并不断进行内容的充实和系统化,现已被多国学者所接受。1995 年发行的 Fennema 的第三版《食品化学》已被世界多国的高等院校作为教学参考书。为满足日益发展的食品科学的需要,目前 Fennema 的《食品化学》和 H.-D. Belitz 的《食品化学》均已修订,Fennema 的第四版及第五版《食品化学》已成为当前及今后的主要参考教材。在欧美、日本等国,食品化学都是食品科学与工程专业专业的专业基础课,其教学目的是为学生今后从事食品加工、保藏、安全、检测和开发新产品提供宽广的理论基础和基本技术技能。

### 1.1.3.2 国内“食品化学”体系的形成与现状

我国最早开设的食品化学课程是食品生物化学,这与当时在本专业尚未开设生物化学有关。到了二十世纪八十年代,随着生物化学的开设,食品化学就取代了食品生物化学,并逐渐成为食品科学与工程各专业的主干课程。在国内原无锡轻工业大学率先开设“食品化学”课程,该课程采用由 Fennema 主编的《食品化学》(第二版)英文版作为参考教材。1991 年 Fennema 主编的《食品化学》(第二版)中译本出版后,成为各高校教学的参考书。随后该校王璋教授等根据 Fennema 主编的《食品化学》教材和国内外食品化学的最新发展,编写出版了《食品化学》教材。经过多年的实践证实,该教材在我国食品类专业高等教育中发挥着重要的作用。随着我国食品工业在国民经济中发展成为支柱性产业,其后许多高校也相继在食品科学、食品工程等专业开设了食品化学课程。食品化学的教学基本上有理论教学和实验教学两部分,而且理论部分的教学内容都差异不大。为适应我国食品教学、科研和食品加工生产的需要,在引进教材的同时,国内近十年来陆续出版了多本食品化学教材并投入教学。目前国内食品化学的教材已呈百花齐放的状态。如王璋等编写的《食品化学》、谢笔钧主编的《食品化学》(国家“十一五”规划教材)、汪东风主编的《食品化学》(国家“十一五”和“十二五”规划教材)等。食品化学教学学分一般为 2~3,并配有 1 个学分的食品化学实验课程。

## 1.2 食品化学在食品科学与工程学科中的地位

食品科学与工程是建立在食品工业基础上的对食品原料、加工、包装、物流、技术装备、生产过程自动控制、食品安全与质量控制、饮食与人类健康、法规与标准,以及食品企业管理与可持续发展等有关的基础理论和工程研究体系。食品从原料生产,经过储藏、运输、加工到产品销售,每一个过程无不涉及一系列的化学和生物化学变化。有些变化会产生各种有营养性和享受性成分,也有些变化会产生不需宜的甚至是有害的成分。食品化学就是要阐明食品在加工、储运等过程中食品中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性、享受性、安全性的影响,为食品加工及储藏工艺、新技术和新产品的研究与开发、膳食结构的科学调理和食品包装改进等,提供理论依据和基础。近年来,控制食品中各种物质的组成、性质、结构、功能和相互作用机制,复杂的食品体系的营养性和享受性的化学本质,食品组分间的相互作用,寻找新的食品资源和食品原料中可再生资源利用的化学基础,食品贮运与加工过程营养与品质变化规律,分子营养学、膳食结构与人体健康等领域的研究构成了食品化学的重要内容。随着科技的进步和基础学科在食品科学

方面的应用，食品中有毒、有害成分化学的研究，已成为保障食品质量与安全的理论基础。食品化学在揭示食品与营养方面有了较快发展，如分子营养学、比较营养学等内容不断涌现。食品胶体化学、食品聚合物化学、玻璃态及非结晶固体研究、多成分主副反应动力学、感官及生物传感器品质鉴定科学、核酸食品、食品营养组学及矿质元素组学等方面已成为食品科学研究新分支，也必将给食品界带来新的理论基础和技术支撑。

由此可见，食品化学在食品科学和工程中有着重要的作用和特殊地位，而且是发展迅速的应用学科之一。

1.2.1 食品化学对食品工业技术发展的作用

现代食品向加强营养、保健、安全和享受性方向发展，食品化学的基础理论和应用研究成果，正在并继续指导人们依靠科技进步，健康而持续地发展食品工业（表 1-1）。现代实践证明，没有食品化学的理论指导就不可能有日益发展的现代食品工业。

表 1-1 食品化学对各食品行业技术进步的影响

| 食品工业   | 影响方面                                                                                                                   |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基础食品工业 | 面粉改良,改性淀粉及新型可食用材料,高果糖浆,食品酶制剂,食品营养的分子基础,开发新型甜味料及其他天然食品添加剂,生产新型低聚糖,改性油脂,分离植物蛋白质,生产功能性肽,开发微生物多糖和单细胞蛋白质,野生、海洋和药食两用资源的开发利用等 |
| 果蔬加工贮藏 | 化学去皮,护色,质构控制,维生素保留,脱涩脱苦,打蜡涂膜,化学保鲜,气调贮藏,活性包装,酶促榨汁,过滤和澄清及化学防腐等                                                           |
| 肉品加工贮藏 | 宰后处理,保汁和嫩化,护色和发色,提高肉糜乳化力、凝胶性和黏弹性,蛋白质的冷冻变性,超市鲜肉包装,烟熏剂的生产和应用,人造肉的生产,内脏的综合利用(制药)等                                         |
| 饮料工业   | 速溶,克服上浮下沉,稳定蛋白饮料,水质处理,稳定带肉果汁,果汁护色,控制澄清度,提高风味,白酒降度,啤酒澄清,啤酒泡沫和苦味改善,啤酒的非生物稳定性的化学本质及防范,啤酒异味,果汁脱涩,大豆饮料脱腥等                   |
| 乳品工业   | 稳定酸乳和果汁乳,开发凝乳酶代用品及再制乳酪,乳清的利用,乳品的营养强化等                                                                                  |
| 焙烤工业   | 生产高效蓬松剂,增加酥脆性,改善面包呈色和质构,防止产品老化和霉变等                                                                                     |
| 食用油脂工业 | 精炼,油脂改性,二十二碳六烯酸(DHA)、二十碳五烯酸(EPA)及中链甘油三酸酯(MCT)的开发利用,食用乳化剂生产,抗氧化剂,减少油炸食品吸油量等                                             |
| 调味品工业  | 生产肉味汤料、核苷酸鲜味剂、海鲜等风味调味品、碘盐和有机硒盐等                                                                                        |
| 发酵食品工业 | 发酵产品的后处理,后发酵期间的风味变化,水解蛋白质、菌体和残渣的综合利用等                                                                                  |
| 食品安全   | 食品中外源性有害成分来源、防范及脱除,食品中内源性有害成分来源、防范及消减等,成分之间的协同效应或拮抗作用                                                                  |
| 食品检验   | 检验标准的制定,快速分析,生物传感器的研制,不同产品的指纹图谱等                                                                                       |
| 保健食品   | 功能成分的活性研究及分离,功能成分的理化性质,多成分的协同作用等                                                                                       |

由于食品化学的发展，有了对美拉德（Millard）反应、焦糖化反应、自动氧化反应、淀粉的糊化与老化、多糖的水解与改性、蛋白质水解及变性、色素变色与退色、维生素降解、金属催化、酶催化、脂肪水解与酶交换、脂肪热氧化分解与聚合、风味物质的变化、食品添加剂的作用机理、玻璃态转变与食品稳定性、有害成分的化学性质及产生和食品原料采后生理生化反应等有了更深入的认识，为食品工业的发展注入了巨大活力。

1.2.2 食品化学对保障人类营养和健康的作用

自发现蛋白质、糖类和脂肪三大营养素以来，距今已有 2 个多世纪。食品的最基本属性是为人们提供营养和感官享受，而食品化学的主要要素之一就是研究食品原料和最终产品中的营养成分和色、香、味、形的构成成分，以及加工和储藏过程中它们的相互反应、对营养价值及享受性的影响。现代食品化学的责任不仅是要保证食品中的成分有益健康和具有享受

性，而且要帮助和指导社会及消费者正确选择和认识食品的营养价值，以达到合理饮食。现今营养的概念已随着社会的发展和人类健康状况的变化发生了显著变化。从解决温饱问题转变为有效降低和控制主要疾病（如心脑血管疾病、癌症和糖尿病等）的风险、减少亚健康人群的比例，做到精准营养，这就给食品化学在新的历史时期提出了新的任务，从天然资源或食物中寻找具有重要生物活性的物质，研究和开发在一定时期内能有效降低主要疾病的健康食品；随着生活水平的快速提高和电商的兴起，营养、速食、复热食品化学研究对现代饮食和厨房革命有重要作用。社会的进步对健康食品的要求也有别于过去，除了有益健康和预防疾病，还需具有食品的“享乐”要素，达到营养、保健和风味的一体化。解决上述问题，同过去的食品化学在人类社会文明和科技进步的作用一样，也将有益于人类和谐社会的建设和国家经济的繁荣。反过来，社会文明和科技进步也将推动食品化学的发展。随着生物技术和食品加工新技术的出现，更需要了解产品和加工过程中的化学与安全问题，保证食品的质量与安全，提供公众需要的多样化具有营养、享乐及安全的食品。

关于危害人类健康的污染物质，是当今世界上共同关注的重要问题。微量和超微量化合物的分析与鉴定，对食品营养价值和享乐价值及有毒物质的控制、高质量食品的大量生产都是十分重要的。由此可见，食品化学不同于其他分支化学，需要考虑特别的化合物及分析方法，以建立完整的特殊研究体系。食品化学的发展不仅与人类健康和文明息息相关，同时还指导消费者对食物的认知和选择，实现精准营养和饮食健康，这对于人类健康和社会和谐是十分重要和有益的。

### 1.3 食品化学的研究方法

由于食品中存在多种成分，是一个复杂的成分体系，因此食品化学的研究方法也与一般化学研究方法有很大的不同，它应将对食品的化学组成、理化性质及其变化的研究同食品的营养性、享受性和安全性联系起来。这就要求在食品化学研究的试验设计开始时，就应以揭示食品复杂体系及该食品体系在加工和贮藏条件下的营养性、享受性及安全性为目的进行。由于食品是一个非常复杂的体系，食品中各成分之间的相互作用、加工和贮藏过程中不同条件（如超高压、高温、冷冻、有氧或无氧等）下发生的变化十分复杂，因此，食品化学研究时，通常采用一个简化的、模拟的食品体系来进行试验，再将所得的试验结果应用于真实的食品体系，进而进一步解释真实的食品体系中的情况。

食品化学的试验除包括理化试验和仪器分析外，还应有感官试验。理化试验和仪器分析主要是对食品进行成分分析和结构分析，即分析试验系统中的营养成分、有害成分、色素和风味物的存在、分解、生成量和性质及其化学结构；感官试验是通过人的直观检评来分析试验系统的质构、风味和颜色的变化。

食品从原料生产，经过贮藏、运输、加工到产品销售，每一过程无不涉及一系列的变化。如生鲜原料的酶促变化和化学反应；水分活度的改变所引起的变化；激烈加工条件（高热、高压、机械作用等）引起的各类化学成分及成分之间的分解、聚合及变性；氧气或其他氧化剂所引起的氧化；光照所引起的光化学变化及包装材料的某些成分向食品迁移引起的变化等。这些变化中较重要的是非酶褐变、脂类水解及氧化、蛋白质的水解及变性、蛋白质交联、低聚糖和多糖的水解、天然色素存在状态的改变及降解等。这些反应的发生，有些对提



高食品的营养性、享受性和安全性是必要的，而另一些则需要采取一定的工艺加以控制或防范（表 1-2）。了解这些变化的机理和控制原理就构成了食品化学研究的核心内容，其研究成果最终将转化为：合理的原料配比、适当的保护或催化措施的应用、最佳反应时间和温度的设定、光照、氧含量、水分活度和 pH 值等的确定，从而得出最佳的食物加工和贮藏的方法。

表 1-2 食品加工或贮藏中常见的反应及对食品的影响

| 常见的反应 | 实例                   | 对食品的主要影响                                |
|-------|----------------------|-----------------------------------------|
| 非酶褐变  | 烘烤食品表皮成色,贮藏时色泽变深等    | 产生需宜的色、香、味,营养损失,产生不需宜的色、香、味和有害成分等       |
| 氧化    | 维生素类的氧化,脂肪的氧化,酚类的氧化等 | 变色,产生需宜的风味,营养损失,产生异味和有害成分等              |
| 水解    | 脂类、蛋白质、碳水化合物等水解      | 增加可溶物,质地变化,产生需宜的色、香、味,增加营养,某些有害成分的毒性消失等 |
| 异构化   | 顺-反异构化、非共轭脂-共轭脂      | 变色,产生或消失某些功能等                           |
| 聚合    | 油炸中油起泡沫,水不溶性褐色成分     | 变色,营养损失,产生异味和有害成分等                      |
| 蛋白质变性 | 卵清凝固、酶失活             | 增加营养,某些有害成分的毒性消失等                       |

食品化学是食品科学学科中发展较快的一个领域，食品化学的研究成果和方法已不断被食品界所接收和应用，为食品工业的发展注入了巨大活力。近十多年来，在食品科学的研究和食品工业的应用中发展了结构化学、游离基化学和膜分离、可食包装、微胶囊、挤压、膨化、超微碎化、活性包装、超临界提取、分子蒸馏、膜催化、生化反应器、食品胶体、食品中有害成分化学、食品分子营养及营养基因组学、非热加工及复热技术与食品保鲜、功能成分、感官品质变化等多种新技术和新学科。这些新技术和新学科的发展和应用必将促进食品工业的发展，反过来与食品化学的完善、提高又有着密切关系。

## 第2章 水分

**本章要点：**食品中水分与非水分之间发生着多种理化作用，从而赋予水分有着多种存在状态，使其活度也不同；水分活度不同食品的稳定性的不同，因此影响水分活度的因素也就影响了食品的稳定性的不同；温度、食品组成等对水分结构、玻璃态相转变及分子流动性等有重要影响，对此的了解可预测食品贮藏期间的质量变化。

食品中水分是食品的重要组成成分之一（表 2-1）。在食品体系中的水除直接参与水解反应外，还作为许多反应的介质，对许多反应都有重要的作用。水分通过与蛋白质、多糖、脂类、盐类等作用，对食品的结构、外观、质地、风味、新鲜程度等有重要的影响。因此，改变食品中水分含量或活度的工艺，都可改变食品的质量或货架期。

表 2-1 部分食品的含水量

| 食 品            | 含水量/% | 食 品             | 含水量/% |
|----------------|-------|-----------------|-------|
| 猪肉             | 53~60 | 全粒谷物            | 10~12 |
| 牛肉(碎块)         | 50~70 | 面粉、粗燕麦粉、粗面粉     | 10~13 |
| 鸡(无皮肉)         | 74    | 馅饼              | 43~59 |
| 鱼(肌肉蛋白)        | 65~81 | 蜂蜜              | 20    |
| 香蕉             | 75    | 青豌豆、甜玉米         | 74~80 |
| 樱桃、梨、葡萄、猕猴桃、菠萝 | 80~85 | 甜菜、硬花甘蓝、胡萝卜、马铃薯 | 80~85 |
| 苹果、桃、橘、甜橙、李子   | 85~90 | 大白菜、莴苣、西红柿、西瓜   | 90~95 |
| 草莓、杏、椰子        | 90~95 | 面包              | 35~45 |
| 奶油             | 15    | 饼干              | 3~8   |
| 山羊奶            | 87    | 茶叶              | 3~7   |
| 奶粉             | 4     | 果冻、果酱           | 15    |
| 冰淇淋            | 65    | 食用油             | 0     |

在食品贮藏加工过程中的诸多技术，在很大程度上都是针对食品中水分。如大多数新鲜食品和液态食品，其水分含量都较高，若希望长期贮藏这类食品，只要采取有效的贮藏方法限制水分所参与的各类反应或降低其活度就能够延长保藏期；新鲜蔬菜的脱水和水果加糖制成蜜饯等工艺就是降低水分活度以提高贮藏期；面包加工过程中加水是利用水作为介质，通过水与其他成分的作用，生产出可口的产品。

另外，水是人体的主要成分，是维持生命活动、调节代谢过程不可缺少的重要物质。人



体所需要的水，除直接通过饮水补充外，主要还是通过日常饮食获取。

由上可见，水不仅是食品的主要营养素之一，它的存在还对食品的加工、贮藏及品质等方面有重要影响。

## 2.1 水和冰的物理特性

### 2.1.1 水分子

#### 2.1.1.1 水分子

从水分子结构来看，水分子中氧的6个价电子参与杂化，形成4个 $sp^3$ 杂化轨道，有近似四面体的结构（图2-1），其中2个杂化轨道与2个氢原子结合成两个 $\sigma$ 共价键，另2个杂化轨道呈未键合电子对。

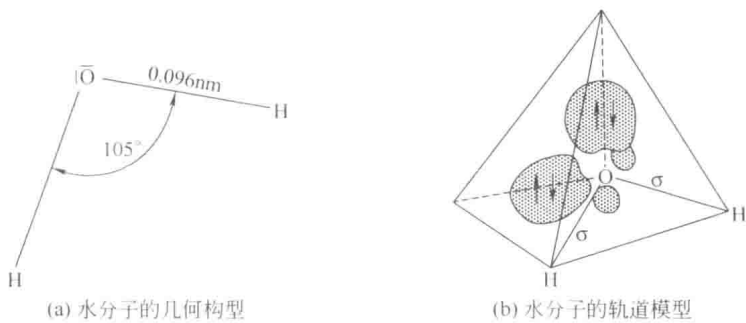


图 2-1 水分子结构示意图

#### 2.1.1.2 水分子的缔合作用

水分子通过氢键作用与另4个水分子配位结合形成正四面体结构。水分子氧原子上2个未键合电子与其他2分子水上的氢形成氢键，水分子上2个氢与另外2个水分子上的氧形成氢键（图2-2）。氢键的离解能约为25kJ/mol。

在水分子形成配位结构中，由于同时存在2个氢键的给体和受体，可形成四个氢键，能够在三维空间形成较稳定的氢键网络结构。这种结构表现出水与其他小分子不同的物理特性，如乙醇及一些与水分子等电位偶极相似的 $NH_3$ 和 $HF$ 。 $NH_3$ 由3个氢键给体和1个氢键受体形成四面体排列， $HF$ 的四面体排列只有1个氢键给体和3个氢键受体，它们没有相同数目的氢给体和受体。因此，它们只能在二维空间形成氢键网络结构。

水分子中 $H-O$ 键的极化作用可通过氢键使电子产生位移。因此，含有较多水分子复合物的瞬时偶极较高，使其稳定性提高。由于质子可通过氢键“桥”的转移，水分子中的质子可转移到另一个水分子上 [图2-3(a)]。通过这一途径形成的氢化 $H_3O^+$ ，其氢键的离解能增大，约为100kJ/mol。同样的机理也形成 $OH^-$  [图2-3(b)]。

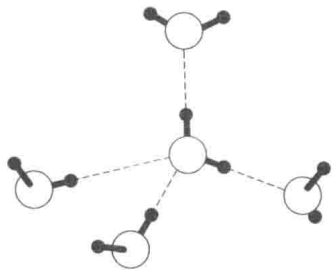


图 2-2 水分子配位结合形成的正四面体结构示意图

○ 氧原子；● 氢原子；  
—  $\sigma$  键；--- 氢键