

本书是《中等职业学校食品类专业“十一五”规划教材》中的一个分册。全书主要从食品加工和安全的角度,介绍食品成分的化学组成、性质及其与加工、储藏等有关的化学问题,全书分为:水分、碳水化合物、脂类、蛋白质、酶、色素、维生素、矿物质、食品风味物质和食品添加剂十大类别。本书在编写过程中力求能体现我国中职教育特点,在突出基本理论、基本概念和方法的同时,以应用为目的,将基本知识和各种新技术有机结合在一起。此外,每章安排有复习题,书末还配有相关章节的实验指导,以求理论联系实际和便于教学使用。

本书可供中等职业学校食品类专业及农业学校农产品加工专业学生使用,也可供食品生产企业有关科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

食品化学/祝美云主编. —北京:化学工业出版社,

2007.6

中等职业学校食品类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-00477-2

I. 食… II. 祝… III. 食品化学-专业学校-教材

IV. TS201.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第078981号

---

责任编辑:侯玉周

文字编辑:向东

责任校对:陈静

装帧设计:郑小红

---

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:北京云浩印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张11½ 字数220千字 2007年6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:18.00元

版权所有 违者必究

## 《中等职业学校食品类专业“十一五”规划教材》编委会

顾 问 李元瑞 詹耀勇

主 任 高愿军

副主任 吴 坤 张文正 张中义 赵 良 吴祖兴 张春晖

委 员 高愿军 吴 坤 张文正 张中义 赵 良 吴祖兴

张春晖 刘延奇 申晓琳 孟宏昌 严佩峰 祝美云

刘新有 高 晗 魏新军 张 露 隋继学 张军合

崔惠玲 路建峰 南海娟 司俊玲 赵秋波 樊振江

## 《食品化学》编写人员

主 编 祝美云

副主编 张平安 张 芳

参编人员 (按姓氏笔画排序)

皮付伟 许照丽 陈万龙 范亚萍 庞凌云 郑亚鹏

赵文献 秦冬丽

# 前 言

为了落实《关于全面推进素质教育，深化中等职业教育教学改革的意见》中提出的“积极推进课程和教材改革，开发和编写反映新知识、新技术、新工艺、新方法，具有中等职业教育特色的课程和教材”的要求，由河南省漯河市食品工业学校组织编写了《食品化学》教材。本教材从中等职业教育教学改革的实际出发，注意并加强了基础理论，反映了当代食品化学水平，完善了中等职业学校食品类专业所需的一些食品化学知识。

本教材主要介绍了食品中六大营养成分和食品色香味成分的化学组成、结构、性质，在食品加工和储藏过程中的化学变化及其对食品品质和安全性的影响，还包括酶和食品添加剂在食品中的应用等。本教材还对近年来食品化学中的热点问题作了介绍和探讨，如功能性低聚糖、甜味剂等，并注重反映食品化学的最新研究成果。每章后有复习题，且在书末安排了相关的实验内容，以便帮助学生更好地理解和掌握每章的重点和难点。本教材力求反映与食品化学相关的食品生产中推广应用的新技术、新工艺、新方法、新标准和新动态，以体现教材的新颖性。本教材既可作为中等职业学校食品类专业学生的教科书，又可作为食品生产和农产品加工企业从业人员的参考书。

本教材由祝美云（河南农业大学）主编，张平安（河南农业大学）、张芳（河南省漯河市食品工业学校）副主编，第一章、第二章、第三章、第四章、第七章由张平安编写，第五章由祝美云、秦冬丽（河南省漯河市食品工业学校）、许照丽（河南省漯河市食品工业学校）、陈万龙（河南省漯河市食品工业学校）编写，第六章由祝美云、皮付伟（中国农业大学）、庞凌云（河南农业大学）编写，第八章由赵文献（河南省漯河市食品工业学校）、范亚萍（河南省漯河市食品工业学校）编写，第九章由庞凌云、张芳、郑亚鹏（河南省漯河市食品工业学校）编写，第十章和实验指导由张平安编写。全书由高愿军（郑州轻工业学院）审稿。

在本教材的编写过程中，得到了化学工业出版社、河南省漯河市食品工业学校领导及工作人员的大力支持和热情帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，加上编写时间仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2007年4月

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
一、食品化学的基本概念 .....	1
二、食品化学的发展简史 .....	1
三、食品化学研究的内容和领域 .....	2
四、食品化学的研究方法与技术 .....	3
五、食品化学在食品工业中的作用 .....	4
复习题 .....	4
第二章 水和冰 .....	5
第一节 概述 .....	5
第二节 食品中水与冰的结构和性质 .....	6
一、食品中水的结构 .....	6
二、食品中冰的结构 .....	6
三、食品中水与冰的性质 .....	6
第三节 食品中水的类型 .....	7
第四节 水分活度 .....	8
一、水分活度定义 .....	8
二、水分活度与食品含水量的关系 .....	9
三、等温吸湿曲线 .....	9
第五节 水分活度与食品的稳定性的影响 .....	11
一、水分活度对微生物生长繁殖的影响 .....	11
二、水分活度对食品化学变化的影响 .....	12
复习题 .....	14
第三章 碳水化合物 .....	16
第一节 概述 .....	16
一、碳水化合物的概念 .....	16
二、碳水化合物的分类 .....	16
三、食品中碳水化合物的含量 .....	17
第二节 单糖 .....	18
一、单糖的结构 .....	18
二、单糖的性质 .....	19
第三节 低聚糖 .....	22
一、食品中重要的低聚糖 .....	22
二、低聚糖的性质 .....	24

第四节 多糖	25
一、概述	25
二、食品中常见的多糖	25
第五节 食品加工与储藏中碳水化合物的变化	34
一、美拉德反应	34
二、焦糖化反应	34
复习题	35
第四章 脂类	36
第一节 概述	36
一、脂的定义与分类	36
二、脂的结构和组成	36
第二节 油脂的物理性质	37
第三节 油脂的化学性质	40
一、油脂水解	40
二、油脂氧化	40
第四节 油脂在高温下的化学变化	43
一、油脂在油炸过程中产生的化合物	43
二、油脂在油炸过程中的化学变化	44
第五节 油脂加工化学	45
一、油脂的制取精炼	45
二、油脂的改性	46
第六节 油脂的质量评价	48
复习题	49
第五章 蛋白质和酶	50
第一节 概述	50
第二节 氨基酸与蛋白质的结构及分类	51
一、氨基酸的结构	51
二、蛋白质的结构	51
三、蛋白质的分类	53
第三节 蛋白质的物理化学性质	54
一、蛋白质的两性解离及等电点	54
二、蛋白质的胶体性质	55
三、蛋白质的沉淀作用	55
四、蛋白质的显色反应	56
第四节 食品加工中蛋白质的变化	56
一、蛋白质的物理变性	56
二、蛋白质的化学变性	57

第五节 食品加工对蛋白质功能和营养价值的影响	58
第六节 酶	59
一、概述	59
二、食品加工中的重要酶	60
第七节 蛋白质新资源	65
复习题	66
第六章 维生素	68
第一节 概述	68
第二节 脂溶性维生素	69
一、维生素 A	69
二、维生素 D	71
三、维生素 E	72
四、维生素 K	73
第三节 水溶性维生素	74
一、抗坏血酸	74
二、硫胺素	77
三、核黄素	79
四、吡哆醇	80
五、钴胺素	80
六、烟酸	82
七、叶酸	83
八、泛酸	84
九、生物素	85
第四节 维生素在食品储藏加工中的损失	86
复习题	89
第七章 矿物质	90
第一节 概述	90
一、食品中矿物质的分类	90
二、矿物质的基本性质	91
三、矿物质的基本作用	92
第二节 食品中重要的矿物质	93
一、钙	93
二、磷	93
三、铁	94
四、锌	94
五、碘	95
六、氟	96

七、硒 .....	96
第三节 矿物质在食品加工中的损失和强化 .....	96
一、矿物质在食品加工中的损失 .....	96
二、食品中矿物质的强化 .....	98
复习题 .....	98
第八章 色素 .....	99
第一节 概述 .....	99
第二节 食品中的天然色素 .....	99
一、四吡咯衍生物 .....	100
二、多烯类衍生物 .....	101
三、多酚类衍生物 .....	102
四、酮类衍生物 .....	104
第三节 食品中的合成色素 .....	106
复习题 .....	108
第九章 食品风味化合物 .....	110
第一节 概述 .....	110
第二节 风味物质的生理基础 .....	111
一、味觉 .....	111
二、嗅觉 .....	113
第三节 食品中的基本风味 .....	114
一、甜味与甜味物质 .....	114
二、苦味与苦味物质 .....	117
三、酸味与酸味物质 .....	118
四、咸味与咸味物质 .....	119
五、鲜味与鲜味物质 .....	120
六、辣味 .....	122
七、其他味 .....	122
第四节 各类食品中的风味化合物 .....	123
一、果蔬的香气成分 .....	123
二、肉及其制品的香气成分 .....	124
三、焙烤食品的香气成分 .....	125
四、发酵食品的香气成分 .....	126
五、水产品的香气成分 .....	127
第五节 食品中香气形成的途径 .....	127
第六节 食品加工中香气的调控 .....	129
一、香气的生成及损失 .....	129
二、香气的控制 .....	129

三、香气的增强 .....	130
复习题 .....	130
第十章 食品添加剂 .....	132
第一节 概述 .....	132
一、食品添加剂的定义 .....	132
二、食品添加剂的分类及选用原则 .....	132
三、食品添加剂在食品工业上的应用 .....	134
四、食品添加剂的安全性 .....	135
第二节 食品中常用的添加剂 .....	136
一、防腐剂（抗微生物剂） .....	136
二、抗氧化剂 .....	142
三、乳化剂 .....	148
四、增稠剂 .....	149
五、漂白剂 .....	151
复习题 .....	152
第十一章 实验指导 .....	153
实验一 水分含量的测定（重量法） .....	153
实验二 食品水分活度的测定——直接测定法 .....	154
实验三 淀粉的显色和水解 .....	156
实验四 果胶的提取和果酱的制备 .....	158
实验五 油脂酸价的测定 .....	159
实验六 氨基酸的纸色谱 .....	160
实验七 蛋白质的等电点测定 .....	162
实验八 蛋白质的沉淀及变性作用 .....	164
实验九 维生素 C 含量的测定（紫外快速测定法） .....	166
实验十 绿色果蔬分离叶绿素及其含量测定 .....	168
参考文献 .....	170

# 第一章 绪 论

## 一、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，属于应用化学的分支，它也是食品科学的一个重要组成部分，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科学。它从化学角度和分子水平研究食品的组成、结构、理化性质、生理和生化性质、营养与功能性质以及它们在食品储藏、加工和运销过程中的变化，是为改善食品品质、开发食品新资源、改进食品加工工艺和储运技术、科学调整膳食结构、加强食品质量安全控制及提高食品原材料深加工和综合利用水平奠定理论基础的发展性学科。

## 二、食品化学的发展简史

食品化学是 20 世纪随着化学、生物化学的发展以及现代食品工业的兴起而形成的一门独立的、年轻的学科。食品化学的起源从某种意义上可以追溯到远古时代，但是食品化学作为一门学科的出现还是在 18~19 世纪，这期间许多化学家对食品的本质进行了大量的研究，并认识到食品中的糖类、蛋白质和脂类物质是人体必需的营养元素。

法国化学家拉瓦锡在食品化学方面确立了燃烧有机分析的基本原理，首先测定了乙醇的元素成分；瑞典药物学家舍勒分离和研究了乳酸的性质，从柠檬汁和醋栗中分离出柠檬酸，从苹果中分离出苹果酸，同时对 20 种普通水果中的柠檬酸和酒石酸等进行了检测，因此他被认为是在农业和食品化学方面精确分析研究的先驱。法国化学家谢弗勒尔在动物来源脂肪成分上的深入研究，使得硬脂酸和油酸得以发现并将其命名。利比希将食品分为含氮的（植物纤维蛋白、清蛋白和酪蛋白等）和不含氮的（脂肪、碳水化合物等），并于 1847 年出版了《食品化学研究》，这是第一本有关食品化学方面的著作，但此时仍未建立食品化学学科。

与此同时，食品掺假事件在欧洲时有发生，这就迫切要求相关部门必须建立快速可靠的食品检验方法，在很大程度上推动了普通分析化学和食品检验方法的发展。直到 1920 年，世界各国相继颁布了关于禁止在食品中掺假的法律法规，并建立了完善的检验机构和制定了系统严格的检验方法，从而使食品中掺假的行为得到

有效的控制。

20 世纪 50~60 年代, 食品工业在发达国家和一些发展中国家得到飞速发展, 大部分的食品物质组成已为化学家、生物学家和营养医学家的研究所探明, 食品化学学科建立的时机成熟。为了改善食品的感官品质和质量以及提高食品的货架期, 食品添加剂、饲料添加剂和农药等开始大量使用并得到认可。由此, 带来许多食品安全方面的问题, 从而推动了食品化学分析的发展, 同时也给食品化学的研究内容和方法提出了新的课题。此间, 具有世界影响的“J. Food Agriculture”, “J. Food Science”和“Food Chemistry”等杂志的相继创办, 标志着食品化学作为一个独立的学科正式建立。在 20 世纪后期, 随着现代食品加工技术的快速发展, 许多新型高效的现代化技术在食品行业中深入研究和应用, 例如膜技术、超临界萃取技术、超微粉碎技术和电磁波等技术, 这不仅改善了食品的品质和安全状况, 同时也给食品化学研究的某些相关领域提出了新的课题和研究方向。

近年来, 色谱和色质联用等现代化分析技术的出现, 分子生物学研究的迅猛发展, 使食品化学的研究领域更加拓宽, 研究手段日趋现代化, 研究成果的应用周期愈来愈短。现在食品化学的研究正向反应机理、风味物的结构和性质研究、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、食品现代和快速分析方法的研究、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, 新食源、新工艺和新添加剂的研究等方向发展。

我国食品化学虽然起步较晚, 但是许多高校和科研单位都把它作为研究和教学的重点之一, 而且将食品化学定为食品科学与工程等相关专业的专业基础课, 这必将对我国食品工业的发展产生重要而深远的影响。

### 三、食品化学研究的内容和领域

食品原料的基本成分包括水分、糖类、蛋白质、脂类、维生素与矿物质等, 它们提供生物体正常代谢所必需的物质和能量。因为食品是人类赖以生存的基本物质条件, 所以对食品的营养价值、质量、安全性和风味特征的研究, 阐明食品的化学组成、结构理化性质和功能特性, 以及它们在生产、加工、储存和运销过程中的化学和生物化学变化, 以及食品成分与人体健康和疾病之间的关系就显得非常重要。食品化学的研究内容主要为:

- ① 研究食品中营养成分, 呈色、香、味成分和有害成分的化学组成、性质、结构和功能;
- ② 阐明食品成分之间在生产、加工、储存、运输中的各类化学变化, 即化学反应历程、中间产物和最终产物的结构及其对食品的品质和卫生安全性的影响;
- ③ 研究食品储藏和加工的新技术, 开发新的产品和新的食品资源以及新的食品添加剂等;

#### ④ 研究食品中化学反应的动力学及其环境因素的影响。

根据研究内容的主要范围，食品化学主要包括食品营养成分化学、食品色香味化学、食品工艺化学、食品物理化学和食品有害成分化学。根据研究的物质分类，食品化学主要包括：食品碳水化合物化学、食品油脂化学、食品蛋白质化学、食品酶学、食品添加剂化学、维生素化学、食品矿物质元素化学、调味品化学、食品风味化学、食品色素化学、食品毒物化学、食品保健成分化学。另外，在生活饮用水处理、食品生产环境保护、活性成分的分离提取、农产品资源的深加工和综合利用、生物技术的应用、绿色食品和有机食品以及保健食品的开发、食品加工、包装、储藏和运销等领域中还包含着丰富的其他食品化学内容。

### 四、食品化学的研究方法与技术

食品化学的研究方法主要是通过实验和理论探讨从分子水平上分析和综合认识食品物质变化的方法。食品化学的研究方法区别于一般化学的研究方法，是把食品的化学组成、理化性质及变化的研究同食品的品质和安全性研究联系起来。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全的，并将这种知识应用于食品配制、加工和储藏过程中可能遇到的各种情况是食品化学的基本研究方法。

食品化学的试验应包括理化试验和感观试验。理化试验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、色素和风味物质的存在、分解、生成量和性质及其化学结构；感观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。

由于食品是一个非常复杂的体系，在食品的配制、加工和储藏过程中将发生许多复杂的变化，因此为了给分析和综合提供一个清晰的背景，通常采用一个简化的、模拟的食品体系来进行实验，再将所得的实验结果应用于真实的食品体系。可是这种研究方法由于使研究的对象过于简单化，由此得到的结果有时很难解释真实的食品体系中的情况，因此在应用该研究方法时，应清楚该研究方法的不足。

食品化学是食品科学学科中发展很快的一个领域。近几十年来，在食品加工和储藏过程中引入了大量的高新技术，如微胶囊技术、膜分离技术、超临界萃取技术、新灭菌技术、复合包装材料、微波技术、超微粉碎技术、可食用膜技术等。这些技术推动了食品化学的发展，也对食品化学的研究方法提出了更高的要求。例如，在微胶囊技术中，壁材中各个组分的结构和性质，各组分之间的相互作用以及它们对微胶囊产品超微结构的影响，都是食品化学研究的课题。这就需要应用更先进的分析和测试手段，从宏观、分子水平和超微结构 3 个方面着手将这项高新技术正确地应用于食品工业。

## 五、食品化学在食品工业中的作用

食品化学或许是食品科学学科中涉及范围最宽的一门课程，它的内容还包括食品毒理学、食品营养化学以及食品营养价值和毒物的生物检验技术；食品化学还涉及味觉和嗅觉原理。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。食品化学已成为食品科学专业或相关专业必修的课程。

农业和食品工业是生物工程最广阔的应用领域之一，生物工程的发展为食用农产品的品质改造、新食品 and 食品添加剂以及酶制剂的开发拓宽了道路，但生物工程在食品中应用的成功与否依赖于食品化学：首先，必须通过食品化学的研究来指明原有生物原料的物性有哪些需要改造和改造的关键在哪里，指明何种食品添加剂和酶制剂是急需的以及它们的结构和性质如何；其次，生物工程产品的结构和性质有时并不和食品中的应用要求完全相同，需要进一步分离、纯化、复配、化学改性和修饰，在这些工作中，食品化学具有最直接的指导意义；最后，生物工程可能生产出传统食品中没有用过的材料，需由食品化学研究其在食品中利用的可能性、安全性和有效性。

近 20 年来，食品科学与工程领域发展了许多高新技术，并正在逐步把它们推向食品工业的应用。例如可降解食品包装材料、生物技术、微波食品加工技术、辐照保鲜技术，超临界萃取和分子蒸馏技术、膜分离技术、活性包装技术、微胶囊技术等，这些新技术实际应用的成功关键依然是对物质结构、物性和变化的把握，因此它们的发展速度也紧紧依赖于食品化学在这一新领域内的发展速度。总之，食品工业中的技术进步，大都是由于食品化学发展的结果，因此食品化学的继续发展必将继续推动食品工业以及与之密切相关的农、牧、渔、副等各行各业的发展。

### 复 习 题

1. 什么是食品 and 食品化学？
2. 食品化学的研究内容和领域是什么？
3. 食品化学在食品科学中的地位如何？
4. 食品化学的基本研究方法是什么？
5. 试述食品中主要的化学变化及对食品品质 and 食品安全性的影响。
6. 食品化学在食品工业中有何作用？

## 第二章 水和冰

### 第一节 概 述

水是食品的主要组成成分（表 2-1），是生物体内含量最高的成分，一般占总重的 70%~90%。水的含量、分布和取向不仅对食品的结构、外观、质地、风味、新鲜程度和腐败变质的敏感性产生极大的影响，而且对生物组织的生命过程也起着至关重要的作用。水在食品储藏加工过程中作为化学和生物化学反应的介质，又是水解过程的反应物。水与蛋白质、多糖和脂类通过物理相互作用影响食品的质构。

表 2-1 常见食品中水分含量 单位：%

食 品		含水量	食 品		含水量
肉 类	猪肉	53~60	水 果	香蕉	75
	牛肉(碎块)	50~70		樱桃、梨、葡萄、柿子、菠萝	80~85
	鸡(无皮肉)	74		苹果、桃、橘、葡萄柚、甜橙	85~90
	鱼(肌肉蛋白)	65~81		草莓、杏、椰子	90~95
粮 谷 焙 烤 类	全粒谷物	10~12	乳 制 品	奶油	15
	面粉、粗燕麦粉、粗面粉	10~13		奶酪(含水量与品种有关)	40~75
	面包	35~45		奶粉	4
	饼干	5~8		冰激凌	65
	馅饼	43~59		人造奶油	15

水在生物体内的功能可概括为：①稳定生物大分子的构象，使之表现出特异的生物活性；②作为体内通用的介质，使各类生物化学反应得以顺利进行，在许多反应中，水又是反应物或生成物，参与了反应；③用作营养物质或代谢废物的载体，把它们输送到生物体的各有关部位；④由于水的热容量大，故可用来调节温度、平衡温度；⑤对体内各运动部位起润滑作用。

水对食品的色泽、风味及对食品营养的消化、吸收与利用都有十分重要的作用。食品中的水分是引起食品化学性质及微生物繁殖的重要原因之一，因而直接关系到食品的储藏特性。食品加工用水的水质直接影响到食品的品质和加工工艺。相反，水的存在也为微生物的生长繁殖，为一些促使食品腐败变质的反应创造了适宜环境，在食品的加工储运过程中，都是值得重视的问题。因此，全面了解食品中水的特性及其对食品品质和保藏性的影响，则对食品加工具有重要意义。

## 第二节 食品中水与冰的结构和性质

### 一、食品中水的结构

水分子是由两个氢原子和一个氧原子的单键结合成的非线性极性共价化合物。两个 O—H 极性键组成的键角为  $104^\circ$ ，氧原子在分子的一端，两个氢原子在分子的另一端，见图 2-1(a)。因为氧原子对共用电子对具有强烈的吸引力，使氧原子这一端带有部分负电荷，氢原子带有部分正电荷，由于结构的不对称，所以水分子是极性分子。于是水分子之间便形成氢键，使 2 个、3 个、4 个……水分子缔合成较大的分子，见图 2-1(b)，用  $n\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{H}_2\text{O})_n$  表示。缔合过程是放热过程，所以温度升高时缔合程度下降，达到水的沸点时，水蒸气中的水分子以单个分子存在。温度低时缔合程度高，当水结成冰时，每个水分子被其他 4 个水分子包围，形成不紧凑的结构，所以水结冰后体积增大。

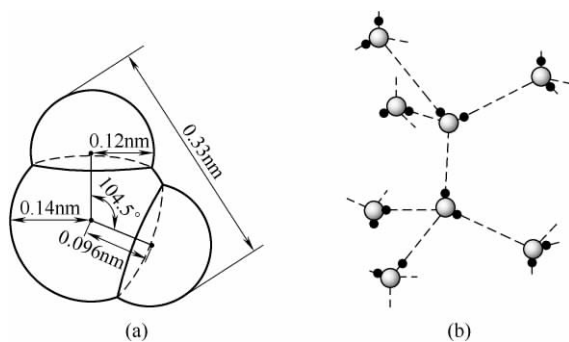


图 2-1 水分子的结构示意

### 二、食品中冰的结构

冰是水分子有序排列形成的晶体结构。水在低温下转变成冰时分子之间依靠氢键连接在一起形成密度很低的稀疏刚性结构。此时，每个水分子通过氢键与相邻的 4 个水分子结合，形成了具有稳定的四面体结构的冰，普通冰属于六方晶系的六方形双锥体结构，如图 2-2 所示。

### 三、食品中水与冰的性质

水与元素周期表中邻近氧的某些元素的氢化物，例如  $\text{CH}_4$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$

等的物理性质比较,除了黏度外,其他性质均有显著差异。水的熔点、沸点比这些氢化物要高得多,介电常数、表面张力、热容和相变热(熔融热、蒸发热和升华热)等物理常数也都异常高,但密度较低。

水的这些热学性质对于食品加工中冷冻和干燥过程有重大影响,水的密度较低,水结冰时体积增加,表现出异常的膨胀特性,这会导致食品冻结时组织结构的破坏。与其他液体相比,水的热导率也是较大的,而冰与其他非金属固体相比,热导性属中等程度。 $0^{\circ}\text{C}$ 时冰的热导值约为同一温度下水的4

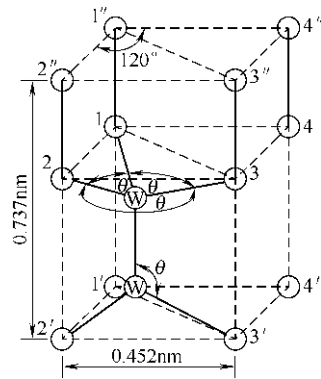


图 2-2  $0^{\circ}\text{C}$ 时普通冰的晶胞结构

倍,这说明冰的热传导速度比非流动的水(如生物组织中的水)快得多。从水和冰的热扩散值可看出冰的热扩散速度约为水的9倍,这表明在一定的环境条件下,冰的温度变化速度比水大得多。因而可以解释在温差相等的情况下,为什么冷冻速度比解冻速度更快,现代冻藏工艺提倡速冻,因为该工艺下形成的冰晶体呈针状,比较细小,冻结时间缩短且微生物活动受到更大限制,因而食品品质好。

### 第三节 食品中水的类型

食品中含有大量的水分,水与食品中各种不同成分以不同方式结合,如:水与离子或离子基团可以形成双电层结构、水与具有氢键结合能力的中性基团之间可以形成氢键、水分子在其他大分子之间可以形成“水桥”,所以新鲜的动、植物组织和一些固态食物中虽含有大量水分,但在切开时一般都不会大量流失,这是因为水分子被其他成分截留的缘故。

根据食品中水分与其他成分结合强弱程度不同,可将食品中的水分分为自由水和结合水。

#### 1. 结合水

结合水又称为束缚水、固定水,通常是指存在于溶质或其他非水组分附近的,与溶质分子之间通过化学键结合的那部分水。根据结合水被结合的牢固程度的不同,结合水也有几种不同的形式。

(1) 化合水 是结合得最牢固的,构成非水物质组成的那些水,例如,作为化学水合物中的水。

(2) 邻近水 它是处在非水组分亲水性最强的基团周围的第一层位置,与离子或离子基团缔合的水是结合最紧密的邻近水。主要的结合力是水-离子和水-偶极缔合作用,其次是一些具有呈电离或离子状态的基团的中性分子与水形成的水-溶质

氢键力。

(3) 多层水 是指位于以上所说的第一层的剩余位置的水和在邻近水的外层形成的几个水层，主要是靠水-水和水-溶质间氢键而形成。尽管多层水不像邻近水那样牢固地结合，但仍然与非水组分结合得紧密，且性质与纯水的性质也不相同。因此，这里所指的结合水包括化合水和邻近水以及几乎全部多层水。食品中大部分的结合水是和蛋白质、碳水化合物等相结合的。

## 2. 自由水

自由水又称体相水，是指没有被非水物质化学结合的水。是存在于组织、细胞和细胞间隙中容易结冰的水。食品中通常含有动、植物体内天然形成的毛细管，因为毛细管是由亲水物质构成的，并且毛细管的内径很细，毛细管有较强的束缚水的能力，把保留在毛细管的水称为毛细管水，它属于自由水。动物的血浆、淋巴和尿液、植物的导管和细胞内液泡中的水，可以自由流动，又叫自由流动水，也属于自由水。自由水具有水的全部性质。自由水在 $-40^{\circ}\text{C}$ 以下可以结冰；在食品内可以作为溶剂；自由水可以以液体形式移动，在气候干燥时也可以以蒸汽形式逸出，使食品中含水量降低；在潮湿的环境中食品容易吸收一定量的水分，使含水量增加。所以食品中的含水量随着周围环境湿度的变化而改变。微生物可以利用自由水生长繁殖，各种化学反应也可以在其中进行，因此，自由水的含量直接关系着食品的储藏和腐败。

食品中两类水的特征见表 2-2。

表 2-2 食品中水的特征比较

项 目	结 合 水	自 由 水
一般描述	存在于溶质或其他非水组分附近的那部分水。 包括化合水和邻近水以及几乎全部多层水	位置上远离非水组分，以水-水 氢键存在
冰点(与纯水比较)	冰点大为降低，甚至在 $-40^{\circ}\text{C}$ 不结冰	能结冰，冰点略微降低
溶剂能力	无	大
食品中比例	0.03%~3%	约 96%

## 第四节 水分活度

### 一、水分活度定义

早在 1957 年斯考特对大量研究进行系统的归纳后提出，决定微生物是否能对某种食品进行作用并使其破坏的主要因素，是该食品所具有的水分活度，而不仅仅是水分含量。也就是说，食品水分活度与食品含水量是两个不同的概念。通常食品的含水量是指在一定温度、湿度等外界条件下，处于平衡状态时的食品水分含量。

然而，已经发现不同类型食品虽然水分含量相同，但它们的耐储藏性和腐败情况有较大差异。为了定量说明食品水分含量和腐败之间的关系，引入水分活度概念。

根据平衡热力学定律，食品体系水分活度 ( $A_w$ ) 定义为：水分活度是指食品中水的蒸气压和该温度下纯水的饱和蒸气压的比值。即

$$A_w = \frac{p}{p_0}$$

式中  $A_w$ ——水分活度；

$p$ ——一定温度下食品中水蒸气分压；

$p_0$ ——同温度下纯水的饱和水蒸气分压。

水分活度是 0~1 之间的数值。纯水的  $A_w=1$ 。因溶液的蒸气压降低，所以溶液的  $A_w$  小于 1。如前所述，食品中的水总有一部分是以结合水的形式存在的，而结合水的蒸气压远比纯水的蒸气压低得多，故此，食品的水分活度总是小于 1。食品中结合水的含量越高，水分活度越低。水分活度反映了食品中的水分存在形式和被微生物利用的程度。

## 二、水分活度与食品含水量的关系

食品水分活度与食品含水量是两个不同的概念，食品的含水量是指在一定温度、湿度等外界条件下，处于平衡状态时的食品水分含量；而水分活度主要决定自由水的含量，两者之间并没有明确的定量关系。一般来说：食品的水分活度越大，水分含量也越多，但具有相同水分活度的不同食品，水分含量可能差距很大，如表 2-3 所示。这主要是在不同的食品中，化学组成不同，可溶性物质或其他成分与水的作用力各不相同的缘故。

表 2-3 某些食品的含水量 ( $A_w=0.7$ ) 单位：g 水/g 干物质

食 品	含水量	食 品	含水量	食 品	含水量
凤梨	0.28	大豆	0.10	鸡肉	0.18
苹果	0.34	干淀粉	0.13	卵白	0.15
香蕉	0.25	干马铃薯	0.15	鱼肉	0.21

## 三、等温吸湿曲线

### 1. 等温吸湿曲线的定义

在恒定的温度下，以食品的水分含量（用每单位质量干物质中水的质量来表示）为纵坐标，以  $A_w$  为横坐标作图得到水分等温吸湿曲线（图 2-3）。

水分等温吸湿曲线在食品加工过程中主要作用有：①由于水的转移难易程度与