

食品化学

理论与应用研究

李彦萍 许 彬 李 斌 编著

SHIPIN HUAXUE LILUN
YU YINGYONG YANJIU



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

食品化学

理论与应用研究

李彦萍 许 彬 李 斌 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了食品化学的基础理论及相关应用。全书共分 10 章,主要内容有:食品化学综述、食品中的水分、食品中的碳水化合物、食品中的脂质、食品中的蛋白质、酶、食品中的维生素与矿物质、食品色素与着色剂、食品风味和食品添加剂。本书编撰过程中力求系统性和科学性相统一,紧密联系实际应用和食品化学的最新研究成果与技术前沿。

本书内容丰富,逻辑严谨,图文并茂,深入浅出,便于读者理解。本书可供食品科学的相关科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

食品化学理论与应用研究 / 李彦萍, 许彬, 李斌编
著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2015. 7
ISBN 978-7-5170-3170-3

I. ①食… II. ①李… ②许… ③李… III. ①食品化学 IV. ①TS201. 2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第101674号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:陈 洁 封面设计:崔 蕾

书 名	食品化学理论与应用研究
作 者	李彦萍 许 彬 李 斌 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址:www. waterpub. com. cn E-mail:mchannel@263. net(万水) sales@waterpub. com. cn
经 售	电话:(010)68367658(发行部)、82562819(万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京厚诚则铭印刷科技有限公司
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 17. 75 印张 432 千字
版 次	2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	62. 00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

食品中成分相当复杂,有些是在加工过程、储藏期间新产生的;有些是人为添加的;有些是动、植物体内原有的;也有些是原料生产、加工或储藏期间因污染造成的;还有的是包装材料所带来的。很明显,为了提高食品的营养性、享受性和安全性,有必要了解食物生产、食品加工和储藏期间上述成分的变化及其所受的影响。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、储藏和运销过程中发生的变化和这些变化对食品品质 and 安全性影响的一门基础应用科学。

食品化学是多学科互相渗透的一门新兴学科,食品、化学、生物学、农业、医药和材料科学都在不断地向食品化学输入新鲜血液,也都在利用食品化学的研究成果,它是“食品科学与工程”和“食品质量与安全”各个学科中发展很快的一个领域。随着经济的空前发展和人民生活水平的不断提高,人们对食品安全的关注度日益增强,食品行业已成为支撑国民经济的重要产业和社会的敏感领域。因此,每一位食品科技工作者都应掌握食品化学的有关知识。

本书系统地介绍了食品化学的基础理论及相关应用。全书共分 10 章,主要内容有:食品化学综述、食品中的水分、食品中的碳水化合物、食品中的脂质、食品中的蛋白质、酶、食品中的维生素与矿物质、食品色素与着色剂、食品风味和食品添加剂。本书以求精、求实、求易学为原则,在编撰过程中力求系统性和科学性相统一,紧密联系实际应用和食品化学的最新研究成果与技术前沿,使读者可以深入把握食品行业发展的全貌,掌握最先进的知识和技能,这对我国新世纪应用型人才的培养大有裨益。

本书在编撰过程中参考了许多国内外食品化学及相关学科的最新专著和文献,在此向有关作者表示敬意。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请广大读者和专家批评指正。

作者

2015 年 1 月

目 录

前言

第1章 食品化学综述	1
1.1 什么是食品 and 食品化学	1
1.2 食品化学的发展历史	2
1.3 食品化学理论研究的内容和方法	3
1.4 食品中主要的化学变化	4
1.5 食品化学在食品工业技术发展中的作用及应用	6
第2章 食品中的水分	8
2.1 概述	8
2.2 食品中水与冰的结构和性质	10
2.3 食品中水的存在状态	14
2.4 水分活度	18
2.5 水分吸附等温线	22
2.6 水分活度与食品稳定性的关系	27
第3章 食品中的碳水化合物	33
3.1 概述	33
3.2 单糖	34
3.3 低聚糖	46
3.4 多糖	50
3.5 糖类在食品加工和贮藏中的变化	56
3.6 食品多糖加工化学	61
第4章 食品中的脂质	65
4.1 概述	65
4.2 脂类的理化性质	69
4.3 油脂在储藏加工过程中的化学变化及评价	78
4.4 油脂加工化学	88
第5章 食品中的蛋白质	93
5.1 概述	93
5.2 食品中常见的蛋白质	97
5.3 蛋白质的理化性质	100
5.4 蛋白质的功能特性及应用	102

5.5	蛋白质在食品加工和贮藏中的变化	107
5.6	蛋白质的变性和改性	110
5.7	新型蛋白质资源的开发与利用	119
第6章	酶	122
6.1	概述	122
6.2	食品中的酶促褐变	124
6.3	酶的分离纯化、改造修饰及固定化	126
6.4	酶与食品质量的关系	131
6.5	食品加工中常用的酶	139
6.6	酶在食品工业中的应用	143
第7章	食品中的维生素与矿物质	163
7.1	概述	163
7.2	食品中的维生素	165
7.3	维生素在食品加工和贮藏中的变化	182
7.4	食品中重要的矿物质	184
7.5	食品中矿物质元素的利用率	188
7.6	矿物质在食品加工和贮藏中的变化	190
第8章	食品色素与着色剂	195
8.1	概述	195
8.2	食品中的天然色素	197
8.3	天然食品着色剂	215
8.4	食品中的合成色素	218
第9章	食品风味	222
9.1	概述	222
9.2	食品味感及呈味物质	223
9.3	食品香味及呈香物质	235
9.4	食品中风味物质形成的途径	244
9.5	食品加工过程中的香气控制	255
第10章	食品添加剂	257
10.1	概述	257
10.2	食品中常用的添加剂	260
参考文献		278

第 1 章 食品化学综述

1.1 什么是食品 and 食品化学

1.1.1 食品

1. 食物与食品

食物(foodstuff)是维持人类生存和健康的物质基础,指含有营养素的可食性物料。人类的食物绝大多数都是经过加工后才食用的,经过加工的食物称为食品(food),但通常也泛指一切食物为食品。

营养素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,目前已知的有 40~45 种人体必需的营养素。

作为食品必需具备以下的基本要求。

(1) 具备营养功能

任何一种食品中必须至少含有六大营养素蛋白质、糖类、脂类、矿物质、维生素、水分中的一种以上,满足人们营养代谢需求。

(2) 良好的感官特征

食品应具有符合人们嗜好的风味特征,满足人们的需要。

(3) 对人体安全无害

“民以食为天,食以安为要”,所有食品都必须对人体绝对安全无害。

2. 食品的化学组成

食品的化学组成成分可概括表示为:天然成分,包括水分、碳水化合物、蛋白质、脂类、矿物质、维生素、色素、激素、风味成分、有害成分;非天然成分,包括食品添加剂(天然食品添加剂、人工合成食品添加剂)、污染物(加工过程污染物、环境污染物),如图 1-1 所示。

3. 食品的分类

食品的种类很多,分类的方法也很多。按照保藏方法的不同可以将食品分为罐藏食品、干藏食品、腌渍食品、烟熏食品、发酵食品、辐射食品等;按照原料种类的不同可以分为果蔬制品、谷物制品、乳制品、水产制品、肉禽制品等;按照原料和加工方法的不同可以分为焙烤食品、饮料、挤压食品、糖果、速冻食品等;按照产品性质的不同又可以分为方便食品、婴儿食品、休闲食品、快餐食品、功能食品等。

根据研究对象的不同,可以将食品化学进行如表 1-1 所示的分类。

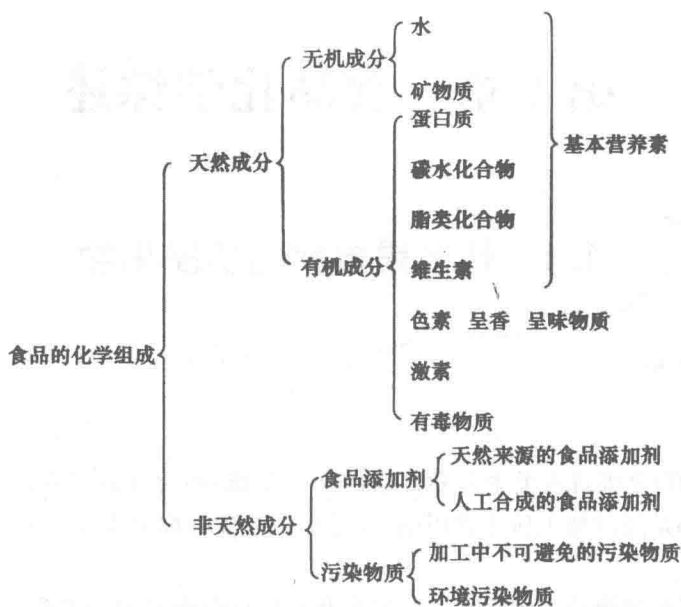


图 1-1 食品的来源和组成

表 1-1 食品化学的分类

分类	研究对象
食品成分化学	研究食品中各种化学成分的含量和理化性质等
食品分析化学	研究食品成分分析和食品分析方法
食品生物化学	研究食品的生理变化
食品工艺化学	研究食品在加工和贮藏过程中的化学变化
食品功能化学	研究食物成分对人体的作用
食品风味化学	研究食品风味的形成、消失及食品风味成分

1.1.2 食品化学

食品化学(food chemistry)是利用化学的理论和研究方法研究食品本质的一门科学,即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、储藏和运销过程中的变化及其对食品品质和安全性的影响。它属于应用化学的一个分支,是“食品科学与工程”和“食品质量与安全”专业的一门基础学科。

1.2 食品化学的发展历程

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。1847 年出版的《食品化学研究》是本学科第一本有关食品化学方面的书籍。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。

1860年,德国学者 Hanneberg W. 和 Stohman F. 介绍了一种综合测定食品中不同成分的方法。

到了20世纪,随着分析技术的进步及生物化学等学科发展,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、储藏期的延长等需要,食品化学得到了较快发展,有关食品化学方面的研究及论文也日渐增多,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 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。随着食品化学的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。

近20年来,一些食品化学著作与世人见面,例如,英文版的《食品科学》、《食品化学》、《食品加工过程中的化学变化》、《水产食品化学》、《食品中的碳水化合物》、《食品蛋白质化学》、《蛋白质在食品中的功能性质》等反映了当代食品化学的水平。权威性的食品化学教科书应首推美国 Owen R. Fennema 主编的 Food Chemistry(已出版第四版)和德国 H. D. Belitz 主编的 Food chemistry,它们已广泛流传世界。

近年来,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越来越短。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、现代化贮藏保鲜技术和生理生化研究,新食源、新工艺和新添加剂等方向发展。

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。

我国食品化学研究和教育多集中在高等院校,都把它作为研究和教学的重点之一,已成为“食品科学与工程”和“食品质量与安全”专业的专业基础课,对我国食品工业的发展产生了重要影响。

1.3 食品化学理论研究的内容和方法

1.3.1 食品化学理论研究的内容

食品化学的研究内容大致可划分为4个方面:

- 1) 确定食品的化学组成、营养价值、功能性质、安全性和品质等重要性质。
- 2) 确定上述变化中影响食品品质和安全性的主要因素。
- 3) 食品在加工和贮藏过程中可能发生的各种化学和生物化学变化及其反应动力学。
- 4) 将研究结果应用于食品的加工和贮藏。因此,食品化学的实验应包括理化实验和感官

实验。

理化实验主要是对食品进行成分分析和结构分析,即分析实验的物质系统中的营养成分、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;感官实验是通过人的感官鉴评来分析实验系统的质构、风味和颜色的变化。

1.3.2 食品化学理论研究的方法

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的研究方法有很大的不同,它应将食品的化学组成、理化性质及其变化的研究与食品的营养性和安全性联系起来。因此,研究食品化学时,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。

食品化学的试验应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,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。

根据实验结果和资料查证,可在变化的起始物和终产物间建立化学反应方程,也可能得出比较合理的假设机理,并预测这种反应对食品品质和安全性的影响,然后再用加工研究实验来验证。在以上研究的基础上再研究这种反应的反应动力学,这一方面是为了深入了解反应机理,另一方面是为了探索影响反应速度的因素,以便为控制这种反应奠定理论依据和寻求控制方法。

食品化学研究成果最终要转化为:合理的原料配比,有效反应接触屏障的建立,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、pH、水分活度等的确定,从而得出最佳的食物加工贮藏方法。

1.4 食品中主要的化学变化

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(表1-2、表1-3和表1-4)。其中,表1-2列出了此类变化顺序的实例。

表 1-2 在加工或储藏中食品可能发生的变化分类

属性	变化
质地	失去溶解性、失去持水力、质地软化
风味	出现酸败味、出现焦糊味、出现异味、出现美味和芳香
颜色	褐变(暗色)、漂白(褪色)、出现异常颜色、出现诱人色彩
营养价值	蛋白质、脂类、维生素和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

这个变化顺序具有很大的实用价值,因为这个变化顺序把导致食品品质 and 安全性变化的原因和结果联系起来了,便于培养人们用分析的方法来处理食品中发生变化的问题。对这些变化的研究和控制就构成了食品化学研究的核心内容。

表 1-3 改变食品品质或安全性的一些化学反应和生物化学变化

反应种类	实例
非酶褐变(Maillard 反应)	焙烤食品色、香、味的形成
酶促褐变	切开的水果迅速变褐
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、色素等的水解
与金属的反应	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→共轭脂肪酸产生单环脂肪酸
脂类的环化反应	产生单环脂肪酸
脂类的聚合反应	油炸中油的泡沫产生和粘稠度的增加
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 1-4 食品在储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反应	质地、风味、营养价值发生改变
多糖发生水解	糖与蛋白质发生反应	质地、风味、颜色、营养价值改变
脂类发生氧化	氧化产物与食品中其他成分的反应	质地、风味、颜色、营养价值、毒物产生
水果被破碎	细胞打破、酶释放、氧气进入	质地、风味、颜色、营养价值改变
绿色蔬菜被加钙	细胞壁和膜完整性破坏、酸释放、酶失活	质地、风味、颜色、营养价值
肌肉组织被加热	蛋白质变性和凝聚、酶失活	质地、风味、颜色、营养价值
脂类中不饱和脂肪酸发生的顺-反异构化	在油炸中油发生热聚合	油炸过度时产生泡沫、降低油脂的营养价值,油的粘稠度增加

食品在加工和贮藏过程中发生的化学变化,一般包括生理成熟和衰老过程中的酶促变化;热加工等激烈加工条件下引起的分解、聚合及变性。

在食品加工和保藏过程中,食品主要成分之间的相互作用对于食品的品质也有重要的影响(见图 1-2)。

从图 1-2 可见,活泼的羰基化合物和过氧化物是极重要的反应中间产物,它们来自脂类、碳水化合物和蛋白质的化学变化,自身又引起色素、维生素和风味物的变化,结果导致了食品

品质的多种变化。

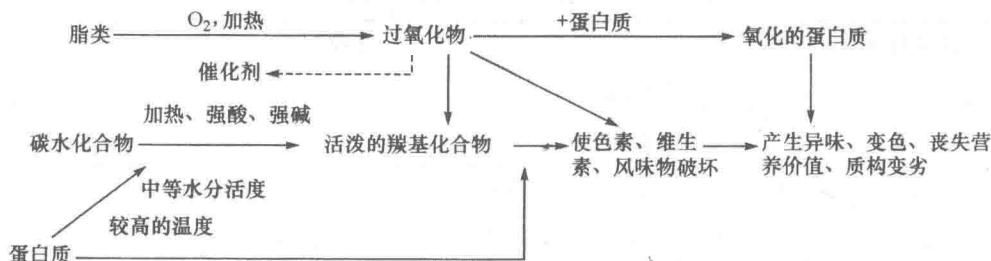


图 1-2 主要食品成分的化学变化和相互联系

1.5 食品化学在食品工业技术发展中的作用及应用

食品化学为食品加工和保藏提供理论基础,食品化学为研发食品新产品和新工艺提供途径和方法,体现在食品科学中的作用:是食品科学的内涵。食品科学是食品体系的化学、结构、营养、微生物、毒理、感官性质以及食品体系在处理、转化、制作、储藏中发生变化两方面科学知识的综合,具体如表 1-5 所示。

表 1-5 食品化学对食品行业技术进步的影响

食品工业各领域	食品化学研究成果对食品加工储藏技术的影响
果蔬加工储藏	化学去皮,护色,质构控制,维生素保留,脱涩脱苦,化学保鲜,气调储藏,活性包装,酶法榨汁,过滤澄清及化学防腐等
肉类加工储藏	宰后处理,保汁及嫩化,护色和发色,提高肉糜乳化力,凝胶性和黏弹性,烟熏肉的生产 and 应用,人造肉生产,综合利用等
饮料工业	速溶,克服上浮下沉,稳定蛋白质饮料,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止,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	生产高效膨松剂,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,DHA、EPA 和 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	肉味汤料,核苷酸鲜味剂,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,综合利用等
基础食品工业	面粉改良,谷制品营养强化,水解纤维素和半纤维素,高果糖浆,改性淀粉,氢化植物油,新型甜味料,新型低聚糖,改性油脂,植物蛋白,功能性肽,功能性多糖,添加剂,新资源等
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
食品安全	食品中外源性有害成分来源及防范,食品中内源性有害成分消除等

现代食品正向着加强营养、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,如表 1-6 所示。

表 1-6 食品化学研究成果在推动食品工业发展中的作用

食品研究领域	过去的状况	现在的状况
食品配方	依靠经验确定	依据原料组成、性质分析的理性设计
食品加工工艺	依据传统、经验和粗放小试	依据原料及同类产品组成、特性分析,利用优化理论设计
开发食品	依靠传统和感觉盲目开发	依据科学研究资料目的明确的开发,并已开始大力发展功能食品
控制加工和储藏变化	依据经验,尝试性简单控制	依据变化机理,科学地控制
开发食品资源	盲目甚至破坏性的开发	科学地、综合地开发食品新资源
食品深加工	规模小、浪费大、效益低	规模增大,范围拓宽、浪费小、效益提高

食品科学和工程领域的许多新技术,如可降解包装材料、生物技术、微波加工技术、辐射保鲜技术、超临界萃取和分子蒸馏技术、膜分离技术、微胶囊技术等建立和应用依然有赖于对物质结构、物性和变化的把握。

由上面分析可以看出,食品化学研究的领域已经延伸到食品工业的各个方面,其影响的范围及程度也愈日剧增。可以这样说,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。

第2章 食品中的水分

2.1 概述

水是生命的源泉,人类生存离不开水。所有的动植物性食品都含有水,特别是天然食品。但是食品的种类不同,其水分含量也不同;即使是同一个体,不同生长阶段、不同组织器官,含水量也是不同的。如植物,其根、茎、叶等营养器官含水量较高,为鲜重的70%~90%,甚至更高;而植物的种子含水量通常只有12%~15%。

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的水分。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,加工出可口的产品。

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。

水是食物各种组分中数量最多的组分。部分食品的含水量如表2-1所示。

表 2-1 部分食品的含水量

食品种类		含水量(%)
蔬菜	甜玉米、青豌豆	74~80
	胡萝卜、硬花甘蓝、甜菜、马铃薯	80~90
	青大豆、芦笋、花菜、茼蒿、西红柿、大白菜	90~95
水果	香蕉	75
	葡萄、梨、柿子、猕猴桃、菠萝、樱桃	80~85
	桃、苹果、李子、橘、甜橙、葡萄柚、无花果	85~90
	草莓、杏、椰子、西瓜	90~95
谷物	全粒谷物	10~12
	粗燕麦粉、粗面粉	10~13
肉类	猪肉	53~60
	牛肉(碎块)	50~70
	鸡(无皮肉)	74

续表

食品种类		含水量(%)
乳制品	奶油	15
	山羊奶	87
	奶酪(含水量与品种有关)	40~75
	奶粉	4
	冰淇淋	65
	人造奶油	15
焙烤食品	饼干	5~8
	面包	35~45
	馅饼	43~59
糖及其制品	蜂蜜	20
	果冻、果酱	≤35
	蔗糖、硬糖、纯巧克力	≤1

食品的含水量与其风味及腐败和发霉等现象有极大关系,如香肠口味就与其吸水、持水情况关系很大,而含水多的食物都容易发霉、腐败。此外,食品中水分含量的变化也常引起食品的物理性质变化,如面包和饼类烘烤后变硬就不仅是失水干燥,而且也是水分含量的变化使得淀粉结构发生变化的结果。控制食品水分的含量,可防止食品的腐败变质和营养成分的水解。部分食品的水分含量的国家标准如表 2-2 所示。

表 2-2 部分食品的水分含量的国家标准

食品名称	水分含量(%)	引用标准
肉松(福建式)	≤8	GB 2729—94
肉松(太仓式)	≤20	GB 2729—94
广式腊肉	≤25	GB 2730—81
蛋制品(巴氏消毒冰鸡全蛋)	≤76	GB 2749—1996
蛋制品(冰鸡蛋黄)	≤55	GB 2749—1996
蛋制品(冰鸡蛋白)	≤88.50	GB 2749—1996
蛋制品(巴氏消毒鸡全蛋粉)	≤4.50	GB 2749—1996
蛋制品(鸡蛋黄粉)	≤4	GB 2749—1996
蛋制品(鸡蛋白片)	≤16	GB 2749—1996

续表

食品名称	水分含量(%)			引用标准
全脂乳粉	特级	一级	二级	—
	≤ 2.50	≤ 2.75	≤ 3.00	GB 5410—85
脱脂乳粉	≤ 4.00	≤ 4.50	≤ 5.00	GB 5411—85
全脂加糖乳粉	≤ 2.50	≤ 2.75	≤ 3.00	GB 5412—85
奶油	无盐奶油	加盐奶油	重制奶油	GB 5415—85
	≤ 16.00	≤ 16.00	≤ 1.00	
全脂加糖炼乳(甜炼乳)	≤ 26.50			GB 5417—85
硬质干酪	≤ 42			GB 5420—85
麦乳精(含乳固体饮料)	≤ 2.50			GB 7101—85
香肠(腊肠)、香肚	≤ 25			GB 10147—88
食品工业用甜炼乳	≤ 27			GB 13102—91
人造奶油	A 级	≤ 16		—
	B 级	≤ 20		—

2.2 食品中水与冰的结构和性质

2.2.1 水分子及其缔合作用

1. 水分子

从水分子结构来看,水分子中氧的 6 个电子参与杂化,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 σ 共价键,另 2 个杂化轨道呈未键合电子对。

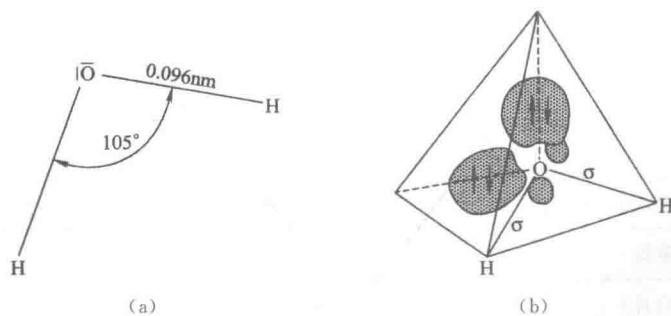


图 2-1 水分子结构示意图

(a) 水分子的集合构型; (b) 水分子的轨道模型

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个未配对的电子与其他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。

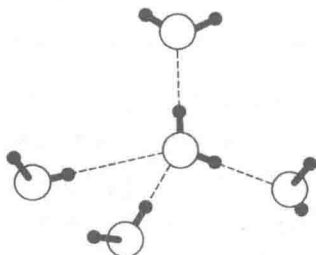


图2-2 水分子配位结合形成的正四面体结构示意图

○ 氧原子; ● 氢原子; — σ 键; --- 氢键

在水分子形成的配位结构中,由于同时存在2个氢键的给体和受体,可形成4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 $\text{H}-\text{O}$ 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”移,水分子中的质子可转移到另一个水分子上(图2-3中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中B)。

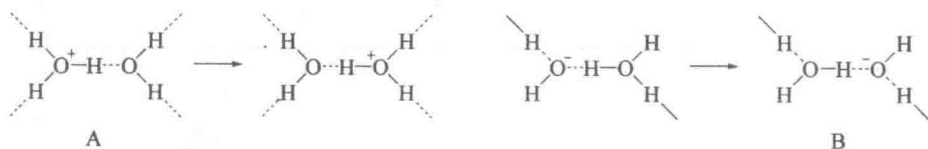


图2-3 水分子中的质子转移示意图

2.2.2 水和冰的结构

1. 水的结构

纯水是具有一定结构的液体。液体水的结构与冰的结构的区别在于它们的配位数和两个水分子之间的距离(表2-3)。温度对氢键的键合程度影响较大,在 0°C 时冰中水分子的配位数为4,最邻近的水分子间的距离为 $2.76\text{\AA}$,当温度上升,冰熔化成水时,邻近的原子距离增大。但随着温度上升,水的配位数增多。配位数的增多可提高水的密度。综合原子距离和配位数对水的密度的影响,冰在转变成水时,净密度增大,当继续升温至 3.98°C 时密度可达到最大值,但随着温度继续上升密度开始逐渐下降。显然,温度在 0°C 和 3.98°C 之间水分子的配位数相对增大较多,而 $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}$ 距离又相对增加不多,所以在 3.98°C 时,水的密度增大。