

# 食品营养化学

主编 王玉芬



中原农民出版社

# 食品营养化学

主 编 王玉芬

中原农民出版社

## 《食品营养化学》编委会

主 编 王玉芬

副主编 王 杨 李红伟

参 编 何 红 谢 华 尤文辉

张志伟 付 鸿 赵永奇

### 图书在版编目(CIP)数据

食品营养化学/王玉芬主编. —郑州:中原农民出版社,2006.12  
ISBN 978 - 7 - 80739 - 115 - 9

I. 食... II. 王... III. 食物营养:食品化学  
IV. ① R151.3② TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 149330 号

---

出版社:中原农民出版社

(地址:郑州市经五路 66 号 电话:0371— 65751257

邮政编码:450002)

发行单位:河南省新华书店

承印单位:郑州市工商行政管理局印刷厂

开本:787mm × 1092mm 1/16

印张:16.5

字数:450 千字

版次:2006 年 12 月第 1 版 印次:2006 年 12 月第 1 次印刷

---

书号:ISBN 978 - 7 - 80739 - 115 - 9 定价:25.00 元

本书如有印装质量问题,由承印厂负责调换

# 前 言

本书是为贯彻落实《2003~2007 年教育振兴行动计划》精神而编写的。主要内容包括食品 6 大营养素和食品风味物质的结构、性质,在食品加工和贮藏中的变化及其对食品品质和安全性的影响,以及它们对人体的营养作用,还包括酶和食品添加剂在食品工业中的应用等。由于参编人员都是来自长期从事与食品相关的生产或教学第一线的工作者,具有扎实的理论知识和丰富的实践经验,因此本书体现了“内容结构新颖,理论联系实际”的特点。

全书共分 10 章,其中赵永奇(金星啤酒集团)编写第一章;何红(金星啤酒集团)编写第二章和第十章;张志伟(双汇集团)、尤文辉(双汇集团)共同编写第三章和第六章;谢华(双汇集团)编写第四章;王玉芬(双汇集团)编写第五章;付鸿(中州大学)编写第七章;王杨(河南省食品工业科学研究所)编写第八章;李红伟(双汇集团)编写第九章。全书由双汇集团总工程师、硕士生导师王玉芬统筹策划并统稿。本书在编写过程中熊卫东、刘晨光、王素梅、王岁楼、赵良、赵金海、吴祖兴等同志提供了大量素材,张平之、张鑫、付庚昌三位教授对书稿进行了审阅,在此一并表示感谢。

本书可作为食品生物专业本科用教材,也可作为食品加工企业及科研院所工程技术人员读本。由于编者水平有限,难免有谬误之处,敬请读者指正。

编 者

2006 年 10 月

# 目 录

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 第一章 水分               | (1)   |
| 1. 1 概述              | (1)   |
| 1. 2 水对食品品质的影响       | (4)   |
| 1. 3 水分活度及其对食品品质的影响  | (7)   |
| 1. 4 水与食品的加工和贮藏      | (10)  |
| 第二章 矿物质              | (14)  |
| 2. 1 矿物质的分类、存在形式与性质  | (14)  |
| 2. 2 矿物质的生理功能与重要的矿物质 | (20)  |
| 第三章 碳水化合物            | (27)  |
| 3. 1 概述              | (27)  |
| 3. 2 单糖              | (27)  |
| 3. 3 低聚糖             | (38)  |
| 3. 4 多糖              | (44)  |
| 第四章 脂质               | (66)  |
| 4. 1 概述              | (66)  |
| 4. 2 油脂的结构和组成        | (67)  |
| 4. 3 油脂的物理性质         | (70)  |
| 4. 4 油脂的氧化           | (77)  |
| 4. 5 油脂的其他化学变化       | (90)  |
| 4. 6 油脂的质量评价         | (93)  |
| 4. 7 油脂加工化学          | (94)  |
| 4. 8 复合脂及衍生脂         | (99)  |
| 第五章 蛋白质              | (102) |
| 5. 1 概述              | (102) |
| 5. 2 氨基酸的理化性质        | (104) |
| 5. 3 蛋白质的结构          | (107) |
| 5. 4 蛋白质的变性作用        | (110) |
| 5. 5 蛋白质的功能性质        | (115) |
| 5. 6 食品加工过程中蛋白质的变化   | (131) |
| 5. 7 食品中的常见蛋白质       | (137) |
| 第六章 维生素              | (143) |
| 6. 1 概述              | (143) |
| 6. 2 水溶性维生素          | (145) |

|             |                |              |
|-------------|----------------|--------------|
| 6. 3        | 脂溶性维生素         | (149)        |
| 6. 4        | 维生素在食品加工中的变化   | (153)        |
| <b>第七章</b>  | <b>酶</b>       | <b>(157)</b> |
| 7. 1        | 概述             | (157)        |
| 7. 2        | 酶的作用特点与机理      | (160)        |
| 7. 3        | 影响酶作用的因素       | (161)        |
| 7. 4        | 酶的固定化          | (164)        |
| 7. 5        | 酶促褐变           | (165)        |
| 7. 6        | 酶在食品加工中的应用     | (170)        |
| <b>第八章</b>  | <b>色素</b>      | <b>(186)</b> |
| 8. 1        | 概述             | (186)        |
| 8. 2        | 吡咯色素           | (187)        |
| 8. 3        | 多酚色素           | (194)        |
| 8. 4        | 类胡萝卜素          | (204)        |
| 8. 5        | 几种天然色素         | (207)        |
| 8. 6        | 人工合成色素         | (208)        |
| <b>第九章</b>  | <b>风味物质</b>    | <b>(211)</b> |
| 9. 1        | 概述             | (211)        |
| 9. 2        | 食品的味感          | (212)        |
| 9. 3        | 食品的基本味感        | (214)        |
| 9. 4        | 常见味感物质         | (222)        |
| 9. 5        | 嗅感物质           | (225)        |
| 9. 6        | 各类食品的香气及其香气物   | (231)        |
| 9. 7        | 食品中香气形成的途径     | (238)        |
| 9. 8        | 食品加热时形成的香气成分   | (239)        |
| 9. 9        | 食品加工与香气控制      | (242)        |
| <b>第十章</b>  | <b>食品添加剂概述</b> | <b>(246)</b> |
| 10. 1       | 概述             | (246)        |
| 10. 2       | 食品添加剂的分类及使用原则  | (249)        |
| 10. 3       | 食品添加剂使用标准和管理办法 | (250)        |
| <b>参考文献</b> |                | <b>(256)</b> |

# 第一章 水 分

## 教学目的和要求

1. 了解水在食品中的重要作用,水和冰的结构及性质,含水食品的水分转移规律,分子流动性和食品稳定性的关系。

2. 掌握水在食品中的存在状态,水分活度的概念及意义,水分活度与食品的稳定性之间的关系。

## 1.1 概 述

水是一切生物所必需的物质。从食品化学的角度考虑,水为许多化学反应提供必需的物理环境,并作为代谢过程中输送营养成分和废物的介质;它在各种食品中都有特定的含量,并且对食品的品质、加工、贮藏具有重要的影响。本章从水和冰的结构特点和特性入手,按照食品生物化学的范畴,讨论水的存在、水的活性及其对食品品质的影响、水与食品加工和贮藏的关系。

### 1.1.1 水和冰的结构特点

#### 1.1.1.1 水分子

在单一水分子中,由于氧的电负性(原子吸引共用电子对的能力)比氢大,所以 O—H 属于极性共价键(具有部分离子键的特性)。

单个水分子的结构示意图如图 1-1 所示。

由水分子的结构可以看出水是典型的极性分子。应当指出,纯水中不仅含有普通的水分子,而且还含有其他的微量成分。例如靠水分子自身的极性,水分子可以发生微弱的电离,所以,水中含有微量的氢离子(以  $\text{H}_3\text{O}^+$  存在)和羟基离子( $\text{OH}^-$ )。

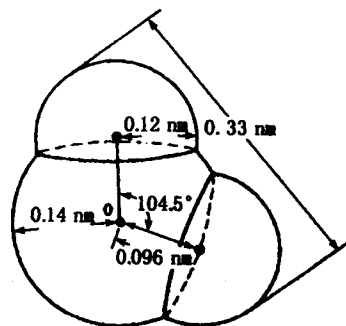


图 1-1 单个水分子的结构示意图

#### 1.1.1.2 水分子间的缔合

水分子具有强烈的缔合作用,这种强缔合作用的具体解释主要是由于 O—H 的强极性,共用电子对强烈地偏向氧原子一端,氢原子几乎成为裸露的带正电荷的质子,这个半径很小且带正电荷的质子,能够和带相对负电荷的另一水分子中的氧原子之间产生静电引力,这种作用力产生的能量一般在  $2 \times 10^3 \sim 4 \times 10^4 \text{ J/mol}$ ,比化学键弱,但比纯分子间力强,称之为氢键。

由于水分子呈 V 字形,且水分子中的氧原子最外层有两对未成键电子,所以,每个水分子最多能与另外 4 个水分子形成氢键,即它们可以形成三维氢键,得到四面体结构,水分子通过氢键形成的四面体构型如图 1-2 所示。

在液态水中,水分子通过氢键而缔合,在温度恒定的条件下,整个体系的氢键和结构形式保持不变。在实际情况下,由于1个水分子可以和几个水分子相互靠近形成各种不同结构和大小的“水分子团”,当有其他物质存在时,水分子团要受到各种各样的影响,这就直接影响到水的口感和作用。研究表明,作为饮用水,较理想的为5~6个水分子组成的小分子团。靠这种小分子团形成的水不仅口感好,而且有一定的生物活性,所以有人把它称为活化水。要得到活化水,就需要用电场、磁场、压力场进行处理。目前,已有此类活化水商品面世。

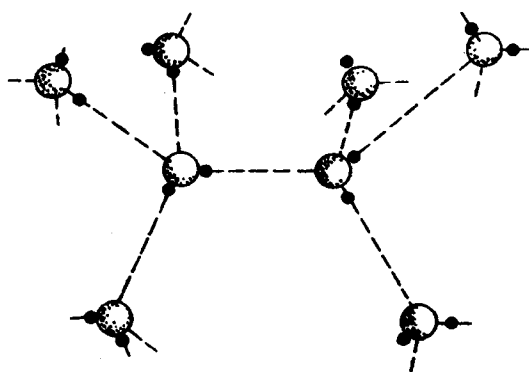


图 1-2 水分子通过氢键形成的四面体构型

### 1.1.1.3 冰的结构

冰的结构是由水分子按一定的排列方式靠氢键连接在一起的开放结构(低密度)。普通冰的结构示意图如图 1-3 所示。

可以看出,冰中的每个水分子都与其相邻的4个水分子形成四面体结构,每个水分子都位于四面体的顶点(晶格结点),这样就构成了水分子的分子晶体。研究发现,只有在 $-183^{\circ}\text{C}$ 或更低的温度时,冰中水分子间全部氢键才能保持原来完整的状态,随着温度的升高,会有部分氢键断裂,冰晶体变得不完整。

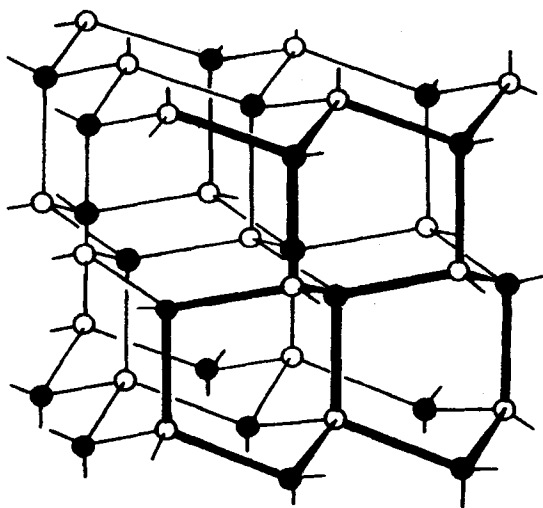


图 1-3 普通冰的结构示意图

冰共有11种结晶类型。普通冰的结晶属于六方晶系中的双六方双锥体,在常压和 $0^{\circ}\text{C}$ 条件下它是最稳定的晶型。除此之外,冰还有9种同质多晶和一种玻璃状的无定形结构。冰晶的晶形、大小、数量受水中溶质的种类、数量、冻结速度的影响。当冻结速度较慢,并且水中溶质(如蔗糖、甘油、蛋白质)的性质与浓度对水分子的流动干扰不大时,就产生六方晶形;随着冷冻速度的加快或亲水胶体(如明胶、琼脂等)浓度的增加,立方型和玻璃态的冰较占优势。冻结温度降低,冻结速度越快,越能限制水分子的活动范围使其不宜形成大的冰晶,甚至完全成为玻璃态结构。

### 1.1.2 水和冰的物理特性

由于水和冰结构上的特殊性,导致它们具有许多物理特性。由于破坏分子间氢键需要额外能量,决定了水具有高的熔沸点,高的热容值和高表面张力及高相转化热。

水分子间的氢键保持程度取决于温度。在 $0^{\circ}\text{C}$ 时冰的配位数为4,最邻近的水分子间的距离为 $0.276\text{ nm}$ 。当输入熔化潜热时冰出现熔化,一些氢键断裂,而其余的却被拉紧,所以,虽

然此时水分子表现为流体状态,但水分子间的缔合却比冰更为紧密。例如,当温度由 0℃ 升高到 1.5℃ 时,最邻近的水分子间的距离从 0.276 nm 增加至 0.29 nm,水分子的配位数由 4 增加至 4.4。因此,冰转变成水时,伴随着最邻近的水分子之间的距离增大(降低密度),最邻近的水分子平均数目也在增加(增加密度)。由于后一个因素占优势,导致密度的增加,水的密度在 3.98℃ 达到最大值后逐渐下降。显然配位数增加的效应在 0~3.98℃ 后占优势,而最邻近的水分子之间的距离增加的效应在超过 3.98℃ 后占优势。这就是为什么水在 4℃ 左右密度最大的原因。

由于各个水分子可以通过快速终止一个氢键代之以形成一个新的氢键的方式,频繁地变更它们的结合排列,所以使水的黏度降低并具有流动性能。

水具有高的介电常数,所以水具有强的溶解能力。不仅离子化合物可以溶于水中,而且许多非离子的极性化合物也可溶于水中。此外,水分子能与某些适宜基团如羟基、氨基、羰基、酰胺基等形成氢键,使含有这些基团的淀粉、蛋白质、脂肪等也能在适当的条件下,分散到水中形成浮浊液或胶体。

水和冰的某些物理常数见表 1-1。

表 1-1 水和冰的某些物理常数

| 性 质                     | 数 值                    |                        |                       |                       |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 相对分子质量                  | 18.015 3               |                        |                       |                       |
| 熔点(0.1 MPa)/℃           | 0.000                  |                        |                       |                       |
| 沸点(0.1 MPa)/℃           | 100.00                 |                        |                       |                       |
| 临界温度/℃                  | 373.99                 |                        |                       |                       |
| 临界压力/MPa                | 32.064                 |                        |                       |                       |
| 三相点                     | 0.01℃ 和 611.73 Pa      |                        |                       |                       |
| 熔化热(0℃)/(kJ/mol)        | 6.012                  |                        |                       |                       |
| 蒸发热(100℃)/(kJ/mol)      | 40.657                 |                        |                       |                       |
| 升华热(0℃)/(kJ/mol)        | 50.91                  |                        |                       |                       |
| 其他性质                    | —                      |                        |                       |                       |
| 常 数                     | 20℃                    | 0℃                     | 0℃(冰)                 | -20℃(冰)               |
| 密度/(g/ml)               | 0.998 21               | 0.999 84               | 0.916 8               | 0.919 3               |
| 黏度/(Pa·s)               | $1.002 \times 10^{-3}$ | $1.793 \times 10^{-3}$ |                       |                       |
| 表面张力(空气—水界面)/(N/m)      | $72.75 \times 10^{-3}$ | $75.64 \times 10^{-3}$ |                       |                       |
| 蒸汽压/kPa                 | 2.338 8                | 0.611 3                | 0.611 3               | 0.103                 |
| 比热容/[J/(g·K)]           | 4.181 8                | 4.217 6                | 2.100 9               | 1.954 4               |
| 热导率(液体)/[W/(m·K)]       | 0.598 4                | 0.561 0                | 20.240                | 2.433                 |
| 热扩散/(m <sup>2</sup> /s) | $1.4 \times 10^{-3}$   | $1.3 \times 10^{-3}$   | $11.7 \times 10^{-3}$ | $11.8 \times 10^{-3}$ |
| 介电常数                    | 80.20                  | 87.90                  | 约 90                  | 约 98                  |

## 1.2 水对食品品质的影响

### 1.2.1 水在食品中的存在形式

#### 1.2.1.1 水在食品中的含量

不同种类的食品含水量是不同的。主要食品及食品原料的含水量见表 1-2。

表 1-2 主要食品及食品原料的含水量

| 食 品                   | 水分含量/% | 食 品                     | 水分含量/% |
|-----------------------|--------|-------------------------|--------|
| 乳制品                   |        | 高脂食品                    |        |
| 奶油                    | 15     | 人造奶油                    | 15     |
| 乳酪(广泛范围的水分含量取决于品种)    | 40~75  | 蛋黄酱                     | 15     |
| 切达乳酪                  | 40     | 纯油和脂肪                   | 0      |
| 酪农乳酪                  | 75     | 沙拉酱                     | 40     |
| 鲜奶油                   | 60~70  | 谷物和谷物产品                 |        |
| 乳粉                    | 4      | 早餐谷物                    | <4     |
| 液体乳制品(全脂乳、脱脂乳,添加奶油的乳) | 87~91  | 通心粉                     | 9      |
| 冰淇淋和冰糕                | 65     | 磨成粉的谷物产品                |        |
| 水果和蔬菜                 |        | 面粉、粗燕麦粉、粗面粉             | 10~13  |
| 鳄梨                    | 65     | 全粒谷物                    | 10~12  |
| 豆(青刀豆、利马豆)            | 67     | 焙烤谷物产品                  |        |
| 浆果                    | 81~90  | 面包                      | 35~45  |
| 柑橘                    | 86~89  | 饼干和椒盐卷饼                 | 5~8    |
| 黄瓜                    | 96     | 馅饼                      | 43~59  |
| 干水果                   | ≤25    | 面包卷                     | 28     |
| 新鲜水果(可食部分)            | 90     | 坚果肉                     |        |
| 新鲜水果、果汁和果蜜            | 85~93  | 成熟生坚果                   | 3~5    |
| 番石榴                   | 81     | 新鲜栗子                    | 53     |
| 豆类(干)                 | 10~12  | 肉、水产和家禽产品               |        |
| 甜瓜                    | 92~94  | 动物肉和水产(广泛范围,取决于脂肪含量和年龄) | 50~85  |
| 成熟橄榄                  | 72~75  | 蛋                       |        |
| 马铃薯                   |        | 鲜蛋                      | 75     |
| 白皮马铃薯                 | 78     | 干蛋                      | 5      |
| 红薯                    | 69     | 家禽肉                     |        |
| 主根                    |        | 鹅                       | 50     |
| 小萝卜                   | 93     | 鸡                       | 75     |
| 萝卜                    | 79     | 糖和以糖为基本原料的产品            |        |
|                       |        | 蜂蜜和其他糖浆                 | 20~40  |
|                       |        | 果冻、果酱和柑皮果冻              | ≤35    |
|                       |        | 白糖(蔗糖和甜菜糖)、硬糖、纯巧克力      | ≤1     |

应当注意,水在生物体中的分布是不均匀的。对动物来说,肌肉、脏器、血液中的含水量最高(70%~80%),皮肤次之(60%~70%),骨骼的含水量最低(12%~15%);对植物来说,不同品种之间,同种植物的不同组织之间、不同的成熟度之间,水分含量也不相同。一般来说,叶菜类较根茎类含水量要高得多,营养器官含水量较高(70%~90%),而繁殖器官含水量较低(12%~15%)。

#### 1.2.1.2 水在食品中的存在形式

食品中的水分,根据联结水分子的作用力形式和水分子与非水成分的远近不同,可分为

两类。

1. 体相水 这类水也称自由水,主要是指组织、细胞中容易结冰也能溶解溶质的水。它们主要靠毛细管维系着,大致可以分为三类:不可移动水或滞化水、毛细管水、自由流动水。

(1)滞化水 例如一块重 100 g 的肉,总含水量为 70 ~ 75 g,含蛋白质 20 g,在总含水量中有 60 ~ 65 g 被组织中的显微和亚显微结构与膜所阻留住的水,不能自由流动,所以称为不可移动水或滞化水。

(2)毛细管水 在生物组织的细胞间隙和制成食品的结构组织中,还存在着一种由毛细管所系留的水分,称为毛细管水,在生物组织中又称为细胞间水。它在物理和化学性质上与滞化水是一样的。

(3)自由流动水 动物的血浆、淋巴和尿液,植物导管和细胞内液泡中的水分都是可以自由流动的水分,也称游离水。

2. 结合水 也称束缚水,在理论上,可以将结合水看做是存在于溶质和其他非水成分相邻处,并与同一体系中的体相水具有显著不同性质的那部分水。它与溶质和其他非水成分主要靠氢键结合力维系。

结合水主要以构成水、邻近水、多层水三种状态存在。

(1)构成水 构成水是指与食品中其他亲水物质(或亲水基因)结合最紧密的那部分水,它与非水物质构成一个整体。

(2)邻近水 邻近水是指亲水物质的强亲水基团周围缔合的单层水分子膜。它与非水成分主要依靠水—离子、水—偶极强氢键缔合作用结合在一起。

(3)多层水 单分子水化膜外围绕亲水基团形成的另外几层水,主要依靠水—水氢键缔合在一起。虽然多层水中亲水基团强度不如邻近水,但由于水与亲水物质靠得足够近,以至于性质也和纯水大不相同。

除了上述化学结合水外,存在于一些细胞中的微毛细管水(毛细管半径小于  $0.1\ \mu\text{m}$ ),由于受微毛细管的物理限制作用,被强烈束缚,也属于结合水的范畴。大部分的结合水是和蛋白质、糖等相结合。据测定,每 100 g 蛋白质可系着的水分平均达 50 g 之多。在动物的器官组织中,蛋白质约占 20%,所以在 100 g 组织中由蛋白质系着的水可达 10 g。植物材料的情况也与此相类似,每 100 g 淀粉的持水力在 30 ~ 40 g。

虽然在体相水和结合水之间难以做定量的划分,但是可以根据其物理、化学性质作定性的区分。结合水有两个特点:不易结冰(冰点  $-40^\circ\text{C}$ ),不能作为溶剂。结合水不易结冰这一点有很重要的生物学意义:由于这种性质,使植物的种子和微生物的孢子(都是几乎没有自由水的材料)得以在很低的温度下保持其生命力,而多汁的组织(新鲜水果、蔬菜、肉等)在冰冻后细胞结构被冰晶所破坏,解冻后组织立即崩溃。此外,与体相水相比较,应考虑结合水虽然具有“被严重阻碍的流动性”,但却不是“被彻底固定化的”。在典型的高水分含量食品中,结合水仅占总水量的很小比例。

## 1.2.2 水对食品品质的影响

### 1.2.2.1 水与“嫩”

食品的品质除了与它本身的组织结构和成分有关外,水是影响其品质的最主要因素之一。水分含量是食品及其原料鲜嫩程度的重要标志。例如一般的蔬菜、水果,组织结构松脆、含水

量多,就显得鲜嫩多汁,一旦失去一部分水分,组织细胞内的压力降低,蔬菜就会枯萎、皱缩和失重,水果表面干瘪,其食用价值就会大大下降。又如鲜肉,由于蛋白质呈胶凝状,有很高的持水力和弹性,肉的胴体较柔软。

加工中为了保持原料中的水分,需要根据不同的原料选择合适的方法。一般来说老龄动物的含水量少,肌肉结构紧密,肉质硬实,结缔组织较多,宜用小火较长时间加热。但不适当的加热会使肌肉纤维组织彻底被破坏,使本来可以保持住的自由水、营养成分和风味物质丧失。年幼的禽畜肉含水量高,结构较疏松,肌肉显得细嫩,如仔鸭、小牛肉等,宜采用急火短时间加热方法,使原料内部的水分少受损失,达到鲜嫩的效果。

综上所述,水对原料的质量和成品的品质有很大影响,要使成品“嫩”,首先应该设法保持原料的水分,并在可能的情况下使原料吃水,这就需要根据不同原料的质地,采用不同的加工方法,使成品达到既鲜嫩又美味的要求。

#### 1.2.2.2 水与食品的颜色和风味

食品加工中常利用高温烘烤、油炸、微波加热等方法使食品成熟、脱水上色。下面以油炸为例来说明食品在成熟过程中水分的主要变化。

1. 自然水挥发阶段 当原料或加工过的生坯投入油中加热时,由于原料的投入致使油温下降,原料表面的温度在  $100^{\circ}\text{C}$  以下,这时表面的水分开始向空中蒸发,制品内部的水分向表面渗透,原料表面的高分子化合物完成吸水膨润阶段。继续加热,油温升高,由于原料中水分较多,原料表面的油温保持在  $100^{\circ}\text{C}$  左右,这时可见油面泛着含有水分的大气泡。原料表面的水分继续挥发,内部的水分仍向外渗透,外面的油向里扩散、渗透。当原料表面的体相水基本失去后,原料表面的高分子化合物的结构变化阶段基本完成,如淀粉的糊化、蛋白质变性凝固等,这时原料基本定型,随即淀粉和蛋白质开始水解成低分子物质。

2. 脱水分解阶段 原料表面的自由水基本失去后,再继续加热。油温升高,这时原料表面的温度在  $100^{\circ}\text{C}$  以上,原料表面的高分子化合物中的结合水也开始失去,进入脱水分解阶段。分解产生的低分子物质有的挥发,有的相互间发生各种反应,这时处于初级和高级阶段,生成很多风味物质和中间产物,使食品发出香气。随着脱水过程的进行,原料表面形成干燥的外壳。与此同时,脱水过程逐渐向原料内部延伸。

3. 脱水缩合、聚合生色阶段 原料表面形成干燥的硬壳后,继续升高油温,当原料表面的温度升高至  $170^{\circ}\text{C}$  以上时,脱水反应继续进行,聚合、缩合发生深度的羰氨反应及焦糖化反应,使食品表面形成悦目的黄色色泽和硬壳。同时,由于油的导热与渗透,前面两个阶段的反应向原料内部深入,并使原料失水产生一定的风味。

以上三个失水阶段的反应与温度的高低和加热时间成正比,所以如果加热时控制好油温和时间,使失水反应和聚合反应控制得恰到好处,就可以得到既香又脆,原料内部失水不太多,仍能保持香嫩的成品。

应当说明的是:在用水作为传热介质的加工方法中,虽然食物中的液汁均为水溶液,沸点比纯水的沸点( $100^{\circ}\text{C}$ )略有上升,但上升的温度很小。在这些加工方法中最高温度在  $100^{\circ}\text{C}$  左右,原料周围有大量的水,所以在原料表面不能发生失水反应,更不能发生生色反应,产生的香气也没有油炸制品和烘烤制品浓郁,但却保持有另一种特有的风味。

## 1.3 水分活度及其对食品品质的影响

### 1.3.1 水分活度

水的活性用水分活度  $A_w$  表示,它反映的是水与各种非水成分缔合的强度。

水分活度的定义:溶液中溶剂水的逸度  $f$  与纯水逸度  $f_0$  之比。

$$A_w = f/f_0 \quad (1-1)$$

从式(1-1)可以看出,溶液中作为溶剂的水越多, $f$  就越大, $A_w$  就越大。

在室温低压下, $f/f_0$  与溶液或食品中的水蒸气分压  $P$  和纯水的蒸汽压  $P_0$  之比(相对蒸汽压 RVP)很近似,所以有:

$$A_w = P/P_0 \quad (1-2)$$

对于纯水来说,因  $P = P_0$ ,故  $A_w = 1$ 。由于食品中还溶有小分子盐类及有机物,因此其饱和蒸汽压要下降,所以  $A_w$  总是小于 1。由上可见,食品的水分活度与其组成有关。食品中的含水量越大,体相水越多,水分活度越大;反之,非水物质(亲水物质)越多,结合水越多,其水分活度越小。

食品与它的环境达到平衡时(既不吸湿也不散湿), $A_w$  与食品环境的百分平衡相对湿度 ERH 在数值上相等。

$$A_w = \text{ERH} \quad (1-3)$$

对于式(1-3)应当注意: $A_w$  是食品的内在品质,而 ERH 是与食品平衡的大气的性质;平衡的建立是要有时间的,对于大的食品试样,尤其是温度低于 50℃ 时,平衡几乎是不可能的。

小的食品试样,其  $A_w$  可这样测定:将试样置于一个密闭的容器内,待达到平衡(试样恒重)后测定容器内的压力或相对湿度。目前  $A_w$  测定的精确度约为  $\pm 0.02$ 。

应当说明的是: $A_w$  还与温度有关,且温度对  $A_w$  的影响在冰点以下远大于冰点以上。在冰点以上温度, $A_w$  是试样成分和温度的函数,随着温度的升高,水分活度也要升高。一般来说,温度每变化 10℃, $A_w$  变化 0.03~0.2;温度在冰点以下, $A_w$  与试样成分无关,仅取决于温度,即冰相存在时  $A_w$  不受溶质的种类或比例的影响。

### 1.3.2 水分活度与含水量

一般情况下,食品中的含水量越高,水分活度越大。 $A_w$  与含水量的关系图如图 1-4 所示。

但是,从图中可以看出两者之间并不存在正比关系。要确切地研究水分活度与含水量的关系,可以在恒定温度下,用食品水分含量(单位质量的干食品中水的质量)对  $A_w$  作图,这样得到的曲线称水分吸着等温线。

水分吸着等温线一般是 S 形曲线,如图 1-5 所示。为了更好地理解其意义和用途,通常把它分成三个部分。可以看出区域 I 曲线较陡,这部分区域中的水就是结合水中的构成水。对高水分含量的食品而言,区域 I 的水仅占总水分含量的极小部分。由于水分子被束缚,所以这部分水很难发生物理、化学变化,含此水分的食品的劣变速度也很慢。因此,构成水可作为干

干燥食品品质稳定所必需的水分含量的最高标准。区域Ⅱ这段曲线比较平缓,这部分水属于结合水中的多层水,对食品固形物有增塑作用,并促使固体骨架开始膨胀,引起溶解过程的发生,使大多数反应速度加快。区域Ⅰ和区域Ⅱ的水都属于结合水,在高水分含量食品中这部分水最多占5%左右。区域Ⅲ部分的曲线,说明水分活度的微小变化会导致食品含水量很大的变化。这部分水是食品中结合最弱、流动性最大、运动能力最强的水,即体相水。由于区域Ⅲ这部分水是食品中结合最弱的水,所以在这个区域,绝大多数的化学、生物化学反应速度及微生物的生长繁殖速度都达到最大,这部分水决定了食品的稳定性。(在高水分含量食品中,这部分水水分活度与温度的关系的测量或报告样品的水分活度时,必须标明温度,因为温度是水分活度的函数。)

### 1.3.3 水分活度与食品的稳定性

从上述的分析可以看出:虽然食品水分含量相同,但如果体相水与结合水所占比例不同,那么水与各种非水组分的缔合程度也就不同,从而导致水分活度  $A_w$  不同,食品的稳定性也就不同。在此从以下几个方面讨论这个问题。

#### 1.3.3.1 水分活度与微生物的关系

就水与微生物的关系而言,食品中各种微生物的生长发育,是由其水分活度而不是由其含水量所决定,即食品的水分活度决定了微生物在食品中萌发的时间、生长速率及死亡率。不同的微生物在食品中繁殖时对水分活度的要求不同。一般来说,细菌对低水分活度最敏感,酵母菌次之,霉菌的敏感性最差。各类微生物生长所需的最低水分活度见表1-3。当水分活度低于某种微生物生长所需的最低水分活度时,这种微生物就不能生长。

表1-3 各种微生物生长所需的最低水分活度

| 微 生 物 | 水 分 活 度 | 微 生 物   | 水 分 活 度 |
|-------|---------|---------|---------|
| 多数细菌  | 0.91    | 多数嗜盐细菌  | 0.75    |
| 多数酵母菌 | 0.88    | 干性霉菌    | 0.61    |
| 多数霉菌  | 0.80    | 耐渗透压酵母菌 | 0.62    |

水分活度在0.91以上时,微生物变质以细菌为主。水分活度降至0.91以下时,就可以抑制一般细菌的生长。当在食品原料中加入食盐、糖后,水分活度下降,一般细菌不能生长,嗜盐菌却能生长,也会造成食品的腐败。有效的抑制方法是在10℃以下的低温中贮藏,以抑制这种嗜盐菌的生长。水分活度在0.91以下时,食品的腐败主要是由酵母菌和霉菌所引起的,其中水分活度0.80以下的糖浆、蜂蜜和浓缩果汁的败坏主要是由酵母菌引起的。

在研究微生物变质与水分活度的关系时,了解食品中毒菌生长的最低水分活度也很重要。

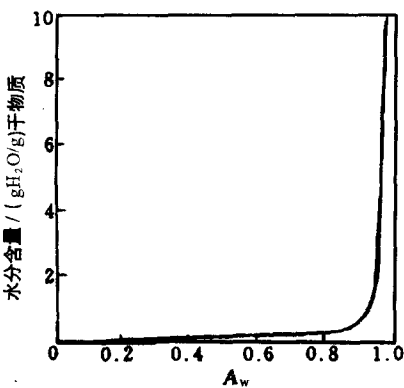


图1-4  $A_w$ 与含水量的关系图

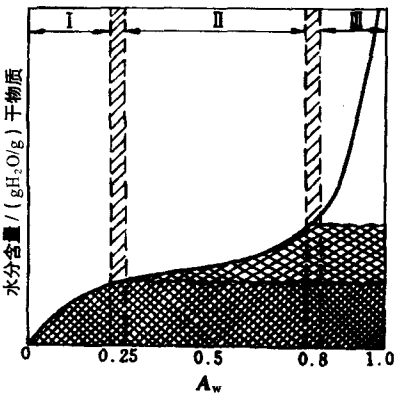


图1-5 水分吸着等温线图

研究表明,重要的食品中毒菌生长的最低水分活度在 0.86 ~ 0.97,所以,真空包装的水产和畜产加工制品,流通标准规定其水分活度要在 0.94 以下。

#### 1.3.3.2 水分活度与酶活性

当水分活度小于 0.85 时,导致食品原料腐败的大部分酶失活,如酚氧化酶、过氧化物酶、维生素 C 氧化酶、淀粉酶等。然而,即使在 0.1 ~ 0.3 这样的低水分活度下,脂肪氧化酶仍能保持较强活力。如  $A_w = 0.15$ ,脂肪氧化酶就能分解油脂。水解酶也有此现象。

需要说明的是:同一种微生物在不同溶质的水溶液中生长所需的  $A_w$  是不同的,如金黄色葡萄球菌生长的最低  $A_w$  在乳粉中是 0.861,在酒精中则是 0.973。

#### 1.3.3.3 水分活度与化学反应

在食品及原料中还存在着氧化、褐变等化学反应。即使是在高水分活度的食品中,采用漂烫、蒸煮等热处理可避免微生物腐败的危险,而化学腐败仍是不可忽视的问题。

需要注意的是:化学反应速率与水分活度的关系是随着样品的组成、物理状态及其结构而改变的,也随大气组成(特别是氧的浓度)、温度等因素的改变而改变。事实上,在相等的  $A_w$  时,生物的生长也随温度的不同而不同,如:一种食品在  $-15^{\circ}\text{C}$ 、 $A_w = 0.86$  时微生物不能生长而化学反应能缓慢进行,但在  $20^{\circ}\text{C}$ 、 $A_w = 0.86$  时一些化学反应能快速进行,而一些微生物以中等速率生长。需要指出的是:在 0.7 ~ 0.9 这个水分活度范围内,食品的一些重要化学反应,如脂类的氧化、羰氨反应、维生素的分解等的反应速率都达到最大,这时,食品变质受化学变化的影响增大。当食品的含水量进一步增大到  $A_w$  大于 0.9 时,食品中的各种化学速率大都呈下降趋势。这可能是由于水是这些反应的产物,增加水分含量将造成产物的抑制作用;也可能是由于水产生的稀释效应减慢了反应速率。这时,食品变质主要受微生物和酶作用的影响。

#### 1.3.3.4 水分活度与食品的质构

水分活度对干燥和半干燥食品的质构有较大的影响。当水分活度从 0.2 ~ 0.3 增加到 0.65 时,大多数半干燥或干燥食品的硬度及黏着性增加。研究表明,肉制品韧性的增加可能与交联作用及高水分活度下发生的化学反应有关,如胶凝及吸水基团水合能力的改变。水分活度为 0.4 ~ 0.5 时,肉干的硬度及耐嚼性最大。增加水分含量,肉干的硬度及耐嚼性都降低。另外,要想保持脆饼干、爆玉米花及油炸土豆片的脆性,避免糖粉、奶粉以及速溶咖啡结块、变硬发黏,都需要使产品具有相当低的水分活度。要保持干燥食品的理想性质,水分活度不能超过 0.3 ~ 0.5。对含水量较高的食品(蛋糕、面包等),为避免失水变硬,需要保持有相当高的水分活度。有些研究认为,将一些食品(如火腿、牛肉、蛋奶冻、豌豆)的水分活度从 0.70 提高到 0.99 时,能获得更令人满意的食物品质。

#### 1.3.3.5 水的硬度对人体健康与食品加工的影响

软水淡而无味,长期饮用,由于缺乏矿物质而对人体健康不利。极硬的水,会影响肠胃消化功能。一般情况下,饮用较硬的水比较爽口,口感清凉,所以饮用水需要有一定的硬度,但又不能太高。我国现行饮水标准为水的总硬度不超过 25。

使用硬水烹制豆类和肉类时很难煮熟,这是由于水中硬度成分与豆类和肉类中表面的蛋白质反应生成导热性很差的化合物,使烹制时间加长。用硬水沏茶、冲可可粉,能使茶水和可可粉的风味变差。但用硬水腌制瓜果,由于瓜果中果胶与水中钙盐形成不溶性果胶酸钙,会使腌制品脆嫩,如腌制黄瓜和梨瓜时加一些石灰水,增加水的硬度,可起到保脆保嫩的作用。

食品工业所用的水是符合卫生要求,而且清凉透明、无色无味、硬度不超过 25 的水。

## 1.4 水与食品的加工和贮藏

### 1.4.1 水与食品加工

#### 1.4.1.1 水作为溶剂

1. 综合风味 水是有极性的,作为溶剂可以溶解很多物质,这些物质的分子也往往具有一定的极性,溶于水后成为水溶液。这些物质包括营养物质和风味物质,还有异味和有害物质等,统称为水溶性物质。它们有的含在食品的细胞内或结构组织中间;有的在加工贮藏过程中产生。例如畜肉中含有低肽、氨基酸、低分子含氮有机物、单糖、双糖、低级有机酸、维生素、无机盐等水溶性物质。烹制肉时,其细胞破裂,结构松散,水溶性成分溶出,与加热过程中产生的水溶性风味物质和调味品中的水溶性物质混在一起,构成特有的肉香味。水在这里主要作为溶剂,起着综合风味的作用。

2. 作为反应物或反应介质参与反应 食品加工过程中,原料的各种成分发生的大部分物理化学变化,都是在水溶液中进行或者在水的参与下发生,这时水作为介质能加快反应速率。同时,水作为反应物质参加反应的进行,如水解反应、羰氨反应,须在有水参与下才能完成。又如发酵面团中的酵母等微生物,需要适宜的水和温度才能使分泌的酶很好地发挥作用,将面团中的糖类很快氧化,产生大量的二氧化碳,从而使面团变得膨松。

3. 去除有害物质 有些苦味物质和有害物质可在水中溶解除去或者被水解破坏。利用这个原理,常用浸泡、焯水等方法去除异味和有害物质。例如,核桃中单宁物质是含苦涩味的主要成分,必须用热水浸泡并去皮除去大部分单宁,才尝不到苦味,并且色白。又如鲜黄花菜中含有对人体有害的秋水仙碱,它可溶于水,如将鲜黄花浸泡两小时以上或用热水烫后,挤去水分,漂洗干净,即可去除秋水仙碱供食用。

应当说明的是:水在食品加工中除具有上述积极作用外,还具有某些消极作用。

4. 使有益物质流失 一些水溶性的营养物质和风味物质,如单糖和某些低聚糖、水溶性维生素、水溶性含氮化合物、某些醇类、氨基酸等被水溶解后,如加工方法不当,会造成流失,食品加工中应充分注意这个问题。

#### 1.4.1.2 水作为浸胀剂

食品中干货制品中的高分子物质,例如淀粉、蛋白质、果胶、琼脂、藻酸等干凝胶都可以吸水发生浸胀。浸胀是高分子化合物干凝胶在水中浸泡引起体积增大的现象。

被高分子物质吸收的水,贮存于它们的凝胶结构网络中,使其体积膨大;由于分子体积大,不能形成水溶液,而是以凝胶状态存在。

浸胀后的物质比其在浸胀前更易受热、酸、碱和酶的作用,所以容易被人体消化吸收,但也容易被细菌或其他不正常环境因素破坏而腐败变质,故干货原料应随发随用。

#### 1.4.1.3 水作为传热介质

水是液体,具有较强的流动性,传热比原料快得多,同时水的黏性小,沸点相对较低,渗透力强,又是反应介质,因此是食品理想的传热介质。水主要以对流的形式进行热传导。在加热时,水分子的运动是很剧烈的,由于上下的水温不同,形成了对流。通过水分子的运动和对原

料的撞击传递热量。

当然,在各种加工方法中,水的多种作用不是截然分开的,不论是以溶剂作用为主,还是以传热为主。总的来说传热和综合风味的作用、反应介质的作用等都是同时存在的。

#### 1.4.1.4 原料中的水与其他成分间的相互作用

原料中的非水物质对水分子团的结构有很大影响:当非水物质为食盐这类小分子离子化合物时,由于水在离子周围强烈极化,使水的正常结构(氢键四面体结构)被破坏,加入的盐越多,盐与水的相互作用越强烈,导致水越不易结冰。当非水物质为亲水性胶体时,由于极化作用,对胶体的稳定性产生影响,会发生盐溶或盐析。当非水物质为糖、醋、酒精、淀粉、蛋白质这类可形成氢键的非离子型的极性化合物时,它们虽然不如离子型化合物与水的相互作用那么强烈,但与水的相互作用也较水之间的相互作用要大,所以它们在食品中一般易溶于水,并对水有一定的束缚能力,使水的流动性降低。由于这类物质与水的几何结构不同,因此对水的正常结构也有显著的破坏作用,所以它们的存在也会阻碍水结冰。当非水物质是疏水性的非极性分子时,由于水是极性物质,这些非极性分子要优先选择非水环境,这样就导致相邻的水结构化程度更大,疏水基团则会尽可能地相互聚集在一起,这就是所谓的“疏水相互作用”。疏水相互作用对于蛋白质的立体构造、生物膜的稳定性、酶活性的表达、机体的生理功能等都有重要的意义。

### 1.4.2 水与食品贮藏

#### 1.4.2.1 食品贮藏中水分活度的控制与应用

大多数食品腐败变质是由微生物的作用引起的。微生物的生长与繁殖必须有充足的水分。因此,为了防止食品的腐败变质,常采用控制水分的方法。具体的操作依据就是水分活度。

由于低水分活度条件下食品的贮藏性较好,所以对那些季节性强、不宜存放的食品常采用降低水分活度的方法进行贮藏,如利用浓缩或脱水干燥法除去食品中的水分。常用的干燥方法有喷雾干燥、流化床干燥、泡沫干燥、冷冻干燥、日晒、烟熏等,以真空冷冻干燥效果最优。常用的浓缩方法有蒸发、冷冻浓缩、膜渗透等,或利用盐、糖等添加剂来调节食品的水分活度,如糖腌、盐渍。

对那些要求保持一定的水分活度的食品,也可采用适当的包装材料来进行控制。吸附等温线在选择包装材料时起关键作用。高吸湿食品(吸附等温线较陡)吸湿速度快,夺取水分能力大,常常在与环境大气相对湿度相平衡前水分含量已超过了临界点,这类食品必须用玻璃瓶密封包装或用阻水塑料包装,如糖粉、速溶咖啡等。低吸湿食品(吸附等温线较平缓)吸湿性差,且在正常贮藏条件下不易变质,可以用聚乙烯来包装。

对于高水分活度的食品(它的水分活度数值一般高于大气相对湿度的数值),包装可防止水分散失,所以也应选择不透水密封的包装,且由于这类食品容易因微生物活动而败坏,所以应配合低温贮藏或罐藏。

当一个容器中同时存放几种不同食品时,还应注意由于各种食品间水分活度不同导致水分迁移而使某些食品劣变。要提醒的是,水分的迁移是从高水分活度一方向低水分活度(而非含水量)一方进行,平衡时的水分活度是食品各部分水分活度的平均值。