

上海普通高校“九五”重点教材

食品冷冻冷藏 原理与设备

上海市教育委员会 组编
华泽钊 李云飞 刘宝林 编著



 机械工业出版社

上海普通高校“九五”重点教材

食品冷冻冷藏原理与设备

上海市教育委员会 组编
华泽钊 李云飞 刘宝林 编著

ND-29/03



机械工业出版社

本书分为三大部分。在第一部分中叙述了食品冷冻冷藏的生物化学基础、食品冷冻过程的物理化学性质以及食品材料的热物理性质；在第二部分中强调了食品冷冻的制冷技术、食品冷却与冷藏、食品冻结与冻藏、食品冷冻干燥贮藏及冷冻食品的玻璃化贮藏；在第三部分中包括了冷冻设备与冷藏链。

本书除可作为食品科学与工程、制冷低温技术、农产品加工等专业的教材或教学参考书外，也可供相关专业的工程技术人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

食品冷冻冷藏原理与设备/华泽钊等编著. —北京: 机械工业出版社, 1999.10 重印

上海普通高校“九五”重点教材

ISBN 7-111-07153-0

I. 食… II. 华 III. 食品冷藏: 冻结贮藏 IV. TS205.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 62959 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 钱飒飒 版式设计: 张世琴 责任校对: 韩 晶

封面设计: 姚学峰 责任印制: 何全君

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 10 月第 1 版第 2 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·14 印张·340 千字

2 001—5 000 册

定价: 22.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

随着我国经济的快速发展,冷冻食品在市场上的销售比例越来越大,相应的冷冻新方法、新理论及配套设备也在不断地更新,这就要求从事食品冷冻冷藏工程专业的人员掌握最新的知识。为此,我们深感有编著一本此方面书之必要。经申请此书列入上海市高校“九五”重点教材的编写出版计划,在上海市教委领导和组织下编著此书。

本教材是根据第二届全国高等学校“制冷与低温技术”教学指导小组会议提出的大纲进行编写的,并提请1997年5月第二次会议讨论同意。其特色是从机电类制冷专业课程设置出发,重点论述冷冻冷藏新理论、新设备。编著者希望此书既讲清食品冷冻冷藏的基本原理,又能较充分地反映国际发展的新技术、新动向。希望本书的编写能将食品科学与工程、与制冷及低温技术很好地结合,能适合食品和制冷两方面师生使用。希望通过本书的学习培养出一批既懂食品加工工艺又有很强机电设计能力的工程技术人员。

本书中的主要内容包括食品冷冻冷藏的生物化学基础、物理化学基础、食品及其原料的热物理性质和水分的扩散、食品冷冻的制冷技术、冷却与冷藏、冻结与冻藏、食品材料的玻璃化、真空冷冻干燥、冷却与冻结装置、冷藏库和冷藏链。全书共十一章。本书的第二、三、四章由华泽钊编著,第一、五、六、八章由李云飞编著,第七、九、十、十一章由刘宝林编著。书稿特邀无锡轻工大学食品科学系许时婴教授、上海交通大学制冷与低温研究所顾安忠教授和上海水产大学食品冷冻与制冷系徐世琼教授审稿。

由于本书涉及的领域很广,编著者水平有限,想必有许多欠妥或错误之处,真诚地希望各界读者批评指正。

华泽钊 李云飞 刘宝林

1999年1月

目 录

前 言

第一章 食品冷冻冷藏的生物化学

基础 1

第一节 食品材料的基本构成 1

第二节 食品材料的主要化学成分 2

第三节 食品冷冻冷藏保鲜原理 12

参考文献 14

第二章 食品冷冻过程的物理化学

基础 15

第一节 食品的物理化学特点 15

第二节 水的相图 and 水的冻结特性 16

第三节 水溶液的冻结和特性 17

第四节 食品材料中水的特性 21

第五节 食品材料的冻结特性和冻结率 26

第六节 水和溶液的结晶理论 29

第七节 食品材料的玻璃化 32

参考文献 35

第三章 食品材料的热物理性质和水分

的扩散系数 36

第一节 水和冰的热物理性质 36

第二节 食品材料热物理性质的测量 38

第三节 食品材料的热物理数据 39

第四节 食品材料热物理性质的估算

方法 47

第五节 包装材料的性质 51

第六节 食品材料中水分的扩散系数 52

参考文献 54

第四章 食品冷冻的制冷技术 55

第一节 食品冷冻的主要方法 55

第二节 制冷的的基本方法和基本循环 55

第三节 制冷工质的发展与 CFCs 的

替代 57

第四节 制冷工质的命名法 58

第五节 常用制冷工质的热力学性质 60

第六节 氨 61

第七节 CO₂ 和液氮 64

第八节 湿空气性质的表征 67

第九节 载冷剂的性质 70

第十节 冷冻干燥技术 74

参考文献 76

第五章 食品冷却与冷藏 77

第一节 食品冷却中的传热方式 77

第二节 毕渥数小于 0.1 时的冷却问题 80

第三节 大平板状、长圆柱状和球状食品的

冷却过程 81

第四节 短方柱和短圆柱状食品的冷却 92

第五节 冷却食品的冷藏工艺 94

参考文献 103

第六章 食品冻结与冻藏 104

第一节 冻结速率的表示法 104

第二节 食品冻结时间 105

第三节 食品冻藏与解冻 112

第四节 食品冻结与冻藏工艺 119

参考文献 122

第七章 冷冻食品的玻璃化加工和

贮藏 123

第一节 冻结食品质量下降的原因 123

第二节 食品的玻璃化贮藏理论 125

第三节 T_g 的测定方法 129

第四节 低温断裂 133

第五节 玻璃化在冰淇淋中的应用 135

参考文献 138

第八章 食品冷冻干燥贮藏 139

第一节 冷冻干燥中的传热与传质 139

第二节 食品冷冻干燥设备 146

第三节 食品冷冻干燥工艺 156

参考文献 160

第九章 冷却装置和冻结装置 162

第一节 冷却方法和装置 162

第二节 冻结方法和装置 164

第三节 空气冻结法 165

第四节 间接接触冻结法 173

第五节 直接接触冻结法 178

参考文献	182	第八节 装配式冷藏库	201
第十章 食品冷藏库	183	参考文献	204
第一节 概述	183	第十一章 食品冷藏链	205
第二节 冷藏库的组成与布置	184	第一节 食品冷藏链的组成	205
第三节 冷藏库的隔热和防潮	186	第二节 冷藏运输	206
第四节 冷藏库容量的计算	188	第三节 冷藏柜和冰箱	214
第五节 冷藏库冷负荷的计算	190	第四节 我国食品冷藏链概况	216
第六节 冷负荷的估算方法	194	参考文献	218
第七节 冷藏库库房的制冷工艺设计	196		

第一章 食品冷冻冷藏的生物化学基础

食品的营养成分可分为有机物质和无机物质。无机物质直接来自于自然界中的水和盐等物质，而有机物质主要来自于两个方面：一个是植物，另一个是动物。植物性食品主要包括各种谷物、果品和蔬菜；动物性食品主要指家畜肉、禽肉、鱼类、蛋类和乳品等。植物性食品在冷藏过程中是有生命的活的物体，靠自身的物质消耗来维持生命的代谢活动，可继续完成成熟、衰老、死亡等过程。动物性食品除鲜蛋为有生命外，其他均为无生命食品。无论是有生命食品还是无生命食品，食品自身均进行着一系列的生物化学反应，同时微生物也不断地对其进行侵染，使食品最终腐烂变质。

第一节 食品材料的基本构成

一切生物都是由细胞构成的，而且不论是单细胞生物或多细胞生物，生物体的物质代谢、能量代谢、信息传递、形态建成等都是细胞为基础的，因此，细胞是生物体结构与功能的基本单位。人类的食物几乎均来源于生物。在冷冻冷藏中，食物的物理变化和生物化学变化均发生在细胞内外，因此，了解细胞的结构与功能显得尤为重要。

一、植物细胞(plant cell)

植物细胞是由细胞壁(cell wall)、细胞膜(cell membrane)、细胞溶液(cytosol)、细胞核(nucleus)、液泡(vacuoles)、质体(plastid)等构成(图 1-1)^[1]。

其中细胞壁、液泡和质体是植物细胞特有的组成部分，是植物细胞与动物细胞的主要区别之一。细胞壁是细胞的外壳，略带弹性，是由纤维素、半纤维素、果胶质、木质素等组成。细胞壁具有稳定细胞形态；减少水分散失；防止微生物侵染和机械损伤等保护作用。细胞壁通过果胶质与相邻的细胞壁连成整体。细胞膜是紧挨细胞壁内侧的一层生物膜，主要由脂类、蛋白质和水组成，是细胞生命活动的重要场所与组成部分。植物细胞可以脱离细胞壁而生活，却不能脱离细胞膜而生存。细胞膜在不同的温度下热机械性质也不同。当细胞膜出现破裂时，细胞内大量的离子将外溢，造成食品质量下降。细胞溶液主要由水、蛋白质、盐、糖类、脂类组成。其中水占 80% 以上，其他物质如蛋白质等悬浮于水中，使细胞溶液表现为一种生物胶。在冻结与冻藏中，细胞溶液中的水可能形成冰晶，从而破坏了细胞内高度精细的结构，使代谢失调。液泡是细胞内原生质的组成之一，液泡内的物质靠液泡膜有选择地进出，液泡内的物质主要是水、糖、盐、氨基酸、色素、维

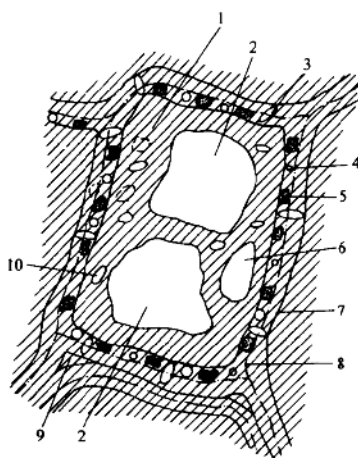


图 1-1 植物细胞结构

- 1—细胞溶液 2—液泡
- 3—碳水化合物颗粒 4—胡萝卜素
- 5—叶绿素 6—细胞核 7—细胞壁
- 8—中胶层 9—细胞间隙 10—线粒体

生素等。在正常的代谢过程中,液泡不但起调节细胞内水溶液的化学势和 pH 值的作用,同时也起分解大分子化合物的作用。当细胞衰老或液泡受机械损伤时,液泡内的酶外溢,使细胞发生自溶。在冻结与冻藏中,其中的水也形成冰晶。质体包括白色体、杂色体和叶绿体。白色体不含色素,存在于胚细胞及根部和表皮组织中。杂色体含有胡萝卜素(carotenes)和叶黄素(xanthophyll),分布于花瓣和果实的外表皮内。叶绿体含有叶绿素,存在于一切进行光合作用的植物细胞中,是光合作用的主要场所。叶绿素(chlorophylls)是使果蔬呈绿的物质,在加工中易被氧化破坏。

二、动物肌纤维(Muscle fibre)

在形态上,畜禽肉主要由肌肉组织、脂肪组织、结缔组织和骨骼组织等组成,其所占比例分别约为:肌肉组织 50%~60%、脂肪组织 20%~30%、骨骼组织 13%~20%、结缔组织 7%~11%。此外,还有比例较少的神经组织和淋巴及血管等。

肌肉组织是肉的主要组成部分,可分为横纹肌、平滑肌和心肌三种。其中横纹肌是肉的主体,也是加工的主要对象。横纹肌由肌纤维构成,一个肌纤维相当于一个细胞,故也称为肌纤维细胞。肌纤维细胞内有许多微细的肌原纤维(myofibril)、细胞核、线粒体(mitochondria)和汁液等物质,外面被一层富有弹性的肌纤维膜(sarcolemma)所包裹,如图 1-2 所示^[2]。许多肌纤维细胞集合起来形成肌束,肌束的周围被结缔组织的膜所包围。肌束再集合而形成肌肉,肌肉再被外面的结缔组织所包裹,而血管、淋巴和神经组织就分布于这些结缔组织中。

平滑肌是构成血管壁和胃肠壁的物质;心肌是构成心脏的物质。它们在肌肉组织中所占的比例很小,但也都是由肌纤维细胞构成的。这些肌纤维与横纹肌的肌纤维比较,仅在细胞和细胞核的形状方面略有不同。

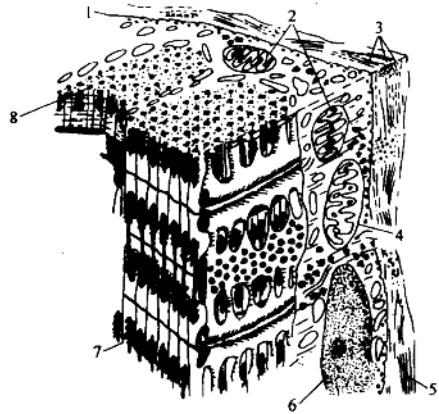


图 1-2 横纹肌肌纤维细胞结构

- 1—细胞膜 2—线粒体 3—胶原纤维
4—糖原 5—肌纤维膜 6—细胞核
7—肌纤维 8—肌原纤维

第二节 食品材料的主要化学成分

食品的主要化学成分有:蛋白质、脂肪、糖类、维生素、酶、水分和矿物质。由于它们的生物化学性质不同,对人体的营养价值也不同。在冷冻冷藏中应尽量减少或避免营养成分的破坏与损失,保持新鲜食品原有的营养价值与风味。

一、蛋白质(proteins)

1. 蛋白质的组成

蛋白质是构成一切生命体的重要物质,也是食品冷冻冷藏加工中保存的主要对象。构成蛋白质的基本元素是:碳、氢、氮、氧、硫、磷等物质,有些蛋白质还含有铁、铜、锌等元素。蛋白质是由氨基酸(amino acids)组成的高分子化合物,分子量差别很大,结构也很复杂。在酸、碱、酶等物质作用下蛋白质可发生下列水解反应,最终将大分子的蛋白质水解为较小

分子的氨基酸：

蛋白质→多肽(polypeptide)→二肽(dipeptide)→氨基酸

氨基酸是蛋白质的基本单位，目前从各种生物体内发现的氨基酸已有 180 多种，但是参与蛋白质构成的氨基酸主要是 20 种(表 1-1)，这 20 种氨基酸被称为构成蛋白质的氨基酸，其中除脯氨酸和羟脯氨酸外，均为 α-氨基酸，即一个氨基(-NH₂)、一个羧基(-COOH)、一个氢原子(-H)和一个 R 基团(-R)，连结在一个碳原子上。在不同的氨基酸分子中，其侧链彼此不同，但其余部分均相同，结构通式如下：

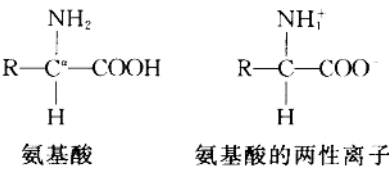
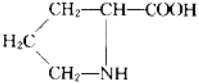


表 1-1 构成蛋白质的氨基酸

名 称	化 学 式	
1. 一羧基-氨基氨基酸		
甘氨酸(Glycine, Gly)	H-CH(NH ₂)COOH	
丙氨酸(Alanine, Ala)	CH ₃ -CH(NH ₂)COOH	
缬氨酸(Valine, Val)	(CH ₃) ₂ CH-CH(NH ₂)COOH	必需氨基酸
亮氨酸(Leucine, Leu)	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ -CH(NH ₂)COOH	必需氨基酸
异亮氨酸(Isoleucine, Ile)	CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)-CH(NH ₂)COOH	必需氨基酸
2. 羟基-氨基-羧基氨基酸		
丝氨酸(Serine, Ser)	CH ₂ (OH)-CH(NH ₂)COOH	
苏氨酸(Threonine, Thr)	CH ₃ CH(OH)-CH(NH ₂)COOH	必需氨基酸
3. 一氨基二羧基氨基酸		
天门冬氨酸(Aspartic acid, Asp)	HOOCCH ₂ -CH(NH ₂)COOH	
谷氨酸(Glutamic acid, Glu)	HOOCCH ₂ CH ₂ -CH(NH ₂)COOH	
4. 二氨基-羧基氨基酸		
精氨酸(Arginine, Arg)	H ₂ NC(NH)NHCH ₂ CH ₂ CH ₂ -CH(NH ₂)COOH	
赖氨酸(Lysine, Lys)	H ₂ NCH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ -CH(NH ₂)COOH	必需氨基酸
5. 含硫氨基酸		
半胱氨酸(Cysteine, Cys)	HSCH ₂ -CH(NH ₂)COOH	
胱氨酸(Cystine, (Cys)) ₂	$\begin{array}{c} \text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH} \\ \\ \text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH} \end{array}$	
蛋氨酸(Methionine, Met)	CH ₃ SCH ₂ CH ₂ -CH(NH ₂)COOH	必需氨基酸
6. 含环氨基酸		
苯丙氨酸(Phenylalanine, Phe)	 -CH ₂ -CH(NH ₂)COOH	必需氨基酸
酪氨酸(Tyrosine, Tyr)	HO-  -CH ₂ -CH(NH ₂)COOH	
脯氨酸(Proline, Pro)		

名 称	化 学 式	
羟脯氨酸 (Hydroxyproline, Hpr)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{HOHC} \quad \text{CH}_2-\text{NH} \end{array} $	
色氨酸 (Tryptophan, Try)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH} \\ \\ \text{Indole ring} \end{array} $	必需氨基酸
组氨酸 (Histidine, His)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH} \\ \\ \text{Imidazole ring} \end{array} $	婴儿必需氨基酸

由于氨基酸在肽链(peptide chains)中的排序和空间排布不同,使蛋白质呈现1~4级结构,每一种蛋白质都有其特定的结构,从而在生物体内形成其特定的功能。图1-3是不同食品

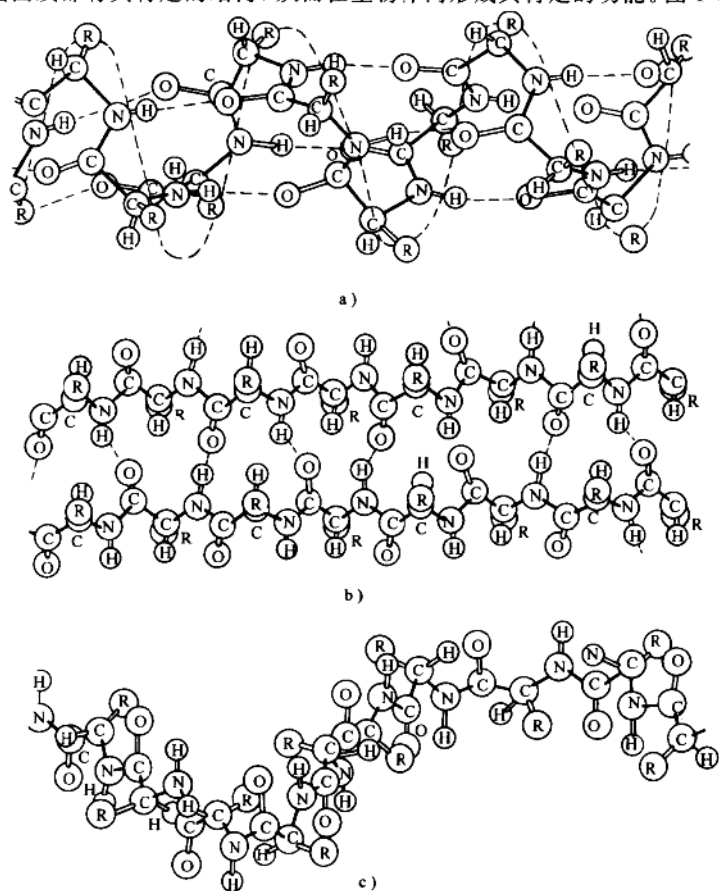


图1-3 几种食品材料的蛋白质结构

a)牛乳中 α 螺旋结构 b)肌肉中 β 结构 c)蛋白溶液中排列结构

材料中的蛋白质结构^[3]。在冷冻冷藏中，只要结构发生变化，食品的质量即发生了变化。

根据氨基酸是否能在人体内合成，氨基酸可分为必需氨基酸(essential amino acids)和非必需氨基酸(non-essential amino acids)。必需氨基酸在人体内不能合成，只能通过水解食品中的蛋白质获得。而非必需氨基酸在人体内能够合成。若蛋白质中含有各种必需氨基酸，且比例合理，则称此蛋白质为完全蛋白质或高级蛋白质；若缺少一种或几种必需氨基酸，或必需氨基酸间比例失调，则为不完全蛋白质或低级蛋白质。因此，蛋白质营养价值的高低取决于所含必需氨基酸的数量和比例(表 1-2)。

表 1-2 常见食物蛋白质生物价值(Biological Value)(被利用的氮/被吸收的氮)

动 物 性 食 品						植 物 性 食 品				
牛乳	鸡蛋	猪肉	鲑鱼	牛肉	平均	稻米	白面粉	豆腐	大豆(生)	平均
0.85	0.94	0.74	0.72	0.69	0.79	0.77	0.52	0.65	0.57	0.63

2. 食物中的蛋白质

蛋白质可分为单纯蛋白质(simple proteins)和结合蛋白质(conjugated proteins)。单纯蛋白质水解时只能产生氨基酸；而结合蛋白质水解时除产生氨基酸外，还有其他化合物，如糖、磷酸、金属有机化合物、核酸等。

单纯蛋白质包括清蛋白(albumins)、球蛋白(globulins)、谷蛋白(glutelins)、醇溶谷蛋白(prolamines)、组蛋白(histones)、精蛋白(spermatines)、硬蛋白(scleroproteins)等；结合蛋白质包括核蛋白(nucleoproteins)、磷蛋白(phosphoproteins)、脂蛋白(lipoproteins)、糖蛋白(glycoproteins)、色蛋白(chromoproteins)等。

动物肌肉中的蛋白质主要是肌球蛋白(myosin)和肌动蛋白(actin)。动物皮、骨、结缔组织中的蛋白质主要是胶原(collagen)。它也是一种蛋白质，主要由脯氨酸、羟脯氨酸、甘氨酸等组成，胶原受热分解后产生明胶。动物乳中的蛋白质主要是酪蛋白(casein)、乳球蛋白(lactoglobulins)和脂肪球蛋白等组成。

在谷类、豆类等植物性食品中，面粉含有的蛋白质主要是构成面筋的醇溶谷蛋白和谷蛋白以及可溶性的清蛋白和球蛋白等。豆类等油料作物中的蛋白质主要是球蛋白，如大豆球蛋白、豌豆球蛋白等。

3. 蛋白质的主要性质

(1) 两性电解质(amphoteric electrolyte) 蛋白质既能和酸作用，又能和碱作用。在酸性环境中，各碱性基团与 H^+ 结合，使蛋白质带正电荷；在碱性环境中，酸性基团解离出 H^+ ，与环境中的 OH^- 结合成水，使蛋白质带负电荷。当溶液在某一特定的 pH 值时，蛋白质所带的正电荷与负电荷恰好相等，蛋白质不显电性，这时溶液的 pH 值称为该蛋白质的等电点(isoelectric point, IEP)。蛋白质处于等电点时，将失去胶体的稳定性而发生沉淀现象。

(2) 蛋白质的胶凝性质(gelling property) 蛋白质的直径约为 $1\sim 100nm$ ，其颗粒尺寸在胶体粒子范围内，是亲水化合物。在水溶液中，由于其表面带有很多极性基团，被具有极性的水分子所包围(图 1-4)，使蛋白质颗粒分散在水溶液中呈溶胶状态。从图中可以看出，包围蛋白质颗粒的水分子是从有序排列到无序排列逐渐变化的，越靠近蛋白质颗粒的水分子，与其结合力越强，其溶解度、蒸汽压、冰点等均显著下降，而粘度却显著上升。

蛋白质在食品中的另一种存在状态是凝胶态，它与蛋白质溶液的温度有关。当温度下降

时,可由溶胶态转变为凝胶态。溶胶态可看作是蛋白质颗粒分散在水中的分散体系;而凝胶态则可看作是水分散在蛋白质中的一种胶体状态。

(3) 蛋白质的热变性(heat denaturation) 当蛋白质受不同温度(加热或冷冻)和其他因素作用时,蛋白质的构象可发生变化,使其物理和生物化学性质也随之变化,这种蛋白质称为变性蛋白质。变性蛋白质在溶液中溶解度下降,同时也失去了其生理活性功能。在日常生活中,蛋清受热凝固、毛发受热卷曲、肉类解冻后汁液流失等都是蛋白质变性的表现。

二、脂肪(fats)

1. 脂肪的成分

脂肪在食品中的作用主要是提供热量,1g 脂肪的发热量平均可达 38kJ,约为同等重量的糖和蛋白质发热量的 2.2 倍以上,是食品中热量最高的营养素。

脂肪主要由甘油(glycerol)和脂肪酸(fatty acids)组成,其中也常有少量的色素、脂溶性维生素和抗氧化物质。脂肪的性质与脂肪酸关系很大,脂肪酸可分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。脂肪中含有的饱和脂肪酸成分越多,其流动性越差。习惯上称常温下呈固态的脂肪为脂,如多数动物性脂肪。反之则称为油,如豆油、花生油、芝麻油、菜油等各种植物油。

在天然脂肪中,脂肪酸多以偶数碳原子直链形式存在(图 1-5)。其中链越长,沸点就越高,熔点也有不规则的增高;双键越多,不饱和程度越高,氧化也越快。陆上动、植物脂肪中以 C_{18} 脂肪酸居多, C_{16} 脂肪酸次之;水产动物脂肪中以 C_{20} 和 C_{22} 脂肪酸居多;两栖类、爬行类、鸟类及啮齿类脂肪中的脂肪酸组成介于水产动物和陆生高等动物之间。

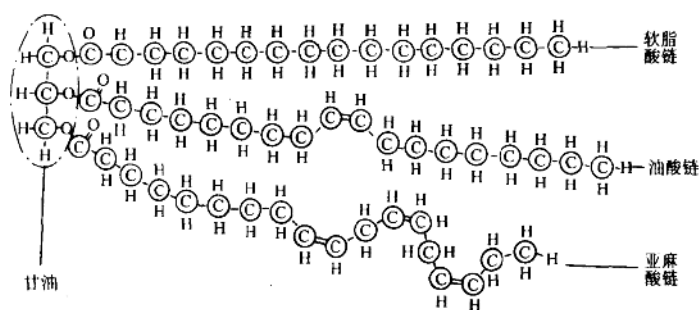


图 1-5 脂肪结构

在高等陆生动物脂肪中,脂肪酸主要是软脂酸(palmitic acid, C_{16})、油酸(oleic acid)和少量的硬脂酸(stearic acid, C_{18})。哺乳动物乳汁中除软脂酸和油酸外,往往还有相当比例的短链脂肪酸($C_4 \sim C_{10}$)。植物脂肪中的脂肪酸主要是软脂酸、油酸,视品种不同往往还含有亚油酸(linoleic acid)及(或)亚麻酸(linolenic acid)。水产动物脂肪中,不饱和脂肪酸的含量不但占绝大部分,而且种类也很多。淡水鱼类脂肪中以 C_{18} 不饱和脂肪酸的比例高,而海水鱼类脂肪中则以 C_{20} 及 C_{22} 不饱和脂肪酸居多。

2. 脂肪的性质

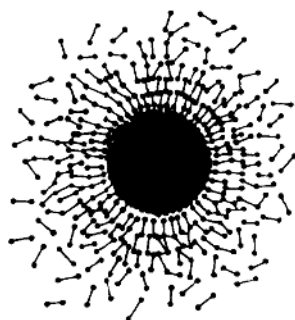


图 1-4 极性水分子在蛋白质颗粒表面的排列状态

在脂肪性质中,与冷冻冷藏关系较为密切的是脂肪的水解和氧化性质。脂肪在酸、碱溶液中或在微生物作用下可迅速水解为甘油和脂肪酸,使甘油分离出来。脂肪酸在酶的一系列催化作用下可生成 β 酮酸,脱羧后成为具有苦味及臭味的酮类。脂肪变质的另一原因是脂肪酸链中不饱和键被空气中的氧所氧化,生成过氧化物(Peroxide)。过氧化物继续分解产生具有刺激性气味的醛、酮或酸等物质^[3]。脂肪氧化也称为脂肪酸败(rancidity),脂肪酸败不但使脂肪失去营养,而且也产生毒性。

可以从两个方面减少或避免脂肪酸败:一是向食品中添加天然抗氧化剂(antioxidant)或合成抗氧化剂,如单宁(tannin)、棉酚、生育酚(tocopherols)以及特丁基对苯二酚等;另一个是控制合理的加工贮藏条件。例如,在加工中尽量使脂肪保持合理的水分,研究表明,水分过高或过低都将加速脂肪的氧化酸败过程,而单分子层水分稳定脂肪效果最好。此外,在贮藏中应该尽量创造干燥、低温、缺氧和避光的环境。

三、糖(sugar)

糖的主要组成元素是碳、氢、氧,而且其中氢和氧的比例总是2:1,恰好与水中的氢和氧比例相同,所以,糖也被称为碳水化合物(carbohydrate)。糖主要存在于植物性食品中,占植物干重的50%~80%。糖是人体热量的重要来源,1g葡萄糖在体内完全氧化可以产生16kJ的热量。糖也是参与人体重要代谢过程的主要物质成分。

糖一般可分为单糖、低聚糖和多糖三类。单糖是糖类中不能再水解的化合物,是最小分子的糖,如葡萄糖、果糖、半乳糖、核糖等;低聚糖是指能被水解成2~10个单糖分子的糖,在食品中主要有蔗糖、麦芽糖、乳糖、棉籽糖等;多糖是指能被水解生成更多的单糖和低聚糖的糖,食品中主要有淀粉、纤维素、果胶等。

与蛋白质分子一样,低聚糖和多糖也与其构成中的单糖种类和结构有关,只是比蛋白质分子简单许多。如淀粉和纤维素均由葡萄糖组成,但由于二者在空间结构上存在微小差别,使二者的理化性质和营养价值差别悬殊(图1-6)^[3]。

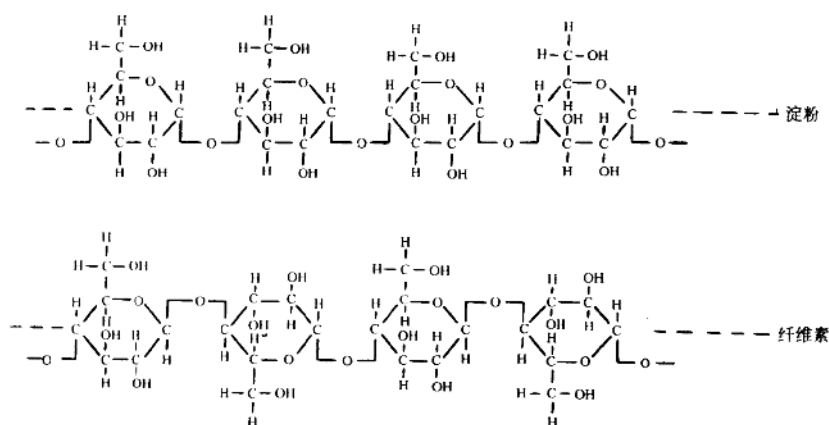


图 1-6 淀粉与纤维素结构图

1. 单糖(monosaccharide)

单糖易溶于水,具有甜味。

(1) 葡萄糖($C_6H_{12}O_6$)(glucose) 葡萄糖广泛存在于植物体内,但在葡萄汁中的含量最

多。葡萄糖是生物细胞所能直接利用的唯一糖类，也是食品中其他重要糖类(如蔗糖、淀粉、纤维素等)的主要组成部分。

(2) 果糖(fructose) 果糖与葡萄糖的分子式相同，仅结构式不同而已，也是食品成分中的重要单糖。果糖几乎总是和葡萄糖共存于植物体内，甜度是葡萄糖的2~5倍，风味好，易被人体所吸收。

2. 双糖($C_{12}H_{22}O_{11}$)(disaccharide)

双糖是由两个单糖分子通过糖苷键连接起来的糖。双糖易溶于水，有甜味，能形成结晶，食品中主要的双糖有蔗糖、麦芽糖和乳糖。

(1) 蔗糖(sucrose) 蔗糖是由葡萄糖和果糖组成的，它大量存在于甘蔗和甜菜中，甘蔗中约含蔗糖12%~18%，而甜菜中约含蔗糖16%~18%。此外，在其他果实和蔬菜中也含有蔗糖。蔗糖在酸或酶的作用下极易水解而生成单糖的混合物，即葡萄糖和果糖的混合物，这种混合物也称为转化糖(invert sugar)。

(2) 麦芽糖(maltose) 麦芽糖由两分子葡萄糖组成，它大量地存在于各类种子的胚芽中，其中大麦麦芽含量最多。麦芽糖在淀粉酶的催化下能水解成葡萄糖。

(3) 乳糖(lactose) 乳糖是由半乳糖和葡萄糖组成，主要存在于动物的乳汁中，在植物性食品中很少发现。

3. 多糖(polysaccharide)

多糖一般不溶于水，无甜味，在酸或酶的作用下可水解为数百至数千个单糖。

(1) 淀粉(starch) 淀粉在谷物和薯类中含量最多，是人类的主要食物。淀粉呈颗粒状，在一定的温度下，吸水后体积膨胀约50~100倍，由淀粉大颗粒分解为细小淀粉分子而形成胶体溶液，此过程称为淀粉糊化(gelatinization)。糊化后的淀粉称为 α -淀粉，在适宜的温度下长期存放， α -淀粉会发生老化(retrogradation)，老化是胶体溶液中淀粉分子重新聚集与结晶的过程。与生淀粉(β -淀粉)比较，老化后的淀粉不易被人体所吸收，因此，在工业上常采用-20℃速冻来避免淀粉老化。

(2) 纤维素(cellulose) 纤维素是植物细胞壁的主要结构物质，它不溶于水，而且水解也比淀粉困难得多，因此，它在食品中的作用不是其中的营养成分——葡萄糖，而是刺激胃肠道的蠕动和消化腺的分泌。

(3) 果胶(pectin) 果胶主要存在于细胞壁和细胞壁之间，起细胞间的粘接作用。果胶一般有三种状态，即原果胶、果胶和果胶酸。未成熟的果实中主要是原果胶，其组织坚硬，随着果实的成熟，由原果胶变为果胶，最终转化为果胶酸，使果实组织柔软。果胶物质只能被人体部分吸收。

四、维生素(vitamin)

维生素虽是食品中的微量有机物质，但其营养价值却不可低估。维生素是人体生理过程以及蛋白质、脂肪、糖等代谢过程中不可缺少的成分，除了极少数几种维生素外，人体是不能合成维生素的，只能从食品中获取。维生素一般可分为两大类：脂溶性维生素和水溶性维生素。脂溶性维生素中有维生素A(抗干眼病)、维生素D(抗佝偻病)、维生素E(促进生长发育)、维生素K(帮助凝血)；水溶性维生素可分为B族和C族，它们包括维生素B₁、B₂、B₆、B₁₂等和维生素C、维生素P。冷冻冷藏对维生素的破坏较小。

五、酶(enzyme)

酶是活细胞产生的一种具有催化作用的特殊蛋白质，是极为重要的活性物质。没有酶的存在，生物体内的化学反应将非常缓慢，或者需要在高温高压等特殊条件下才能进行。有酶的存在，生物物质能在常温常压下以极高的速度和很强的专一性进行。食品加工与贮藏中，酶可来自食品本身和微生物两方面，酶的催化作用通常使食品营养质量和感官质量下降，因此，抑制酶的活性是食品加工贮藏中的重要内容之一。

由于酶是一种特殊的蛋白质，在不同的 pH 值环境下，其活性也不同，大多数酶的最适宜 pH 值在 4.5~8.0 范围内，即在中性、弱酸、弱碱环境中能够保持活性。

六、矿物质(mineral)

食品中除了构成水分和有机物质的 C、H、O、N 四种元素以外，其他元素统称为矿物质。根据人体对矿物质的需求量，可将矿物质分为常量元素和微量元素。含量在 0.01% 以上的元素称为常量元素；其他的为微量元素。钙、镁、磷、钠、钾、氯、硫为常量元素，铁、锌、铜、碘、锰、钼、钴、硒、铬、镍、锡、硅、氟、钒等为微量元素。人体对矿物质的需求量是不同的，过多或过少均会影响健康，如缺钙会导致人体骨质疏松；缺碘会使人体甲状腺肿大；钾过多会使人体血管收缩，造成四肢苍白无力、嗜睡甚至突然死亡等。人体所需要的矿物质主要从食品中获得，它们以无机盐形式存在于食品中^[4]。

七、水分(water)

水是组成一切生命体的重要物质，也是食品的主要成分之一。水分存在的状态直接影响着食品自身的生化过程和周围微生物的繁殖状况，如图 1-7 和图 1-8 所示^[5]，是食品加工和贮藏中主要考虑的成分。

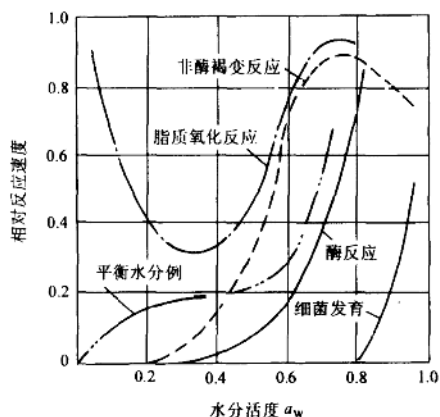


图 1-7 水分活度与食品生化反应速率的关系

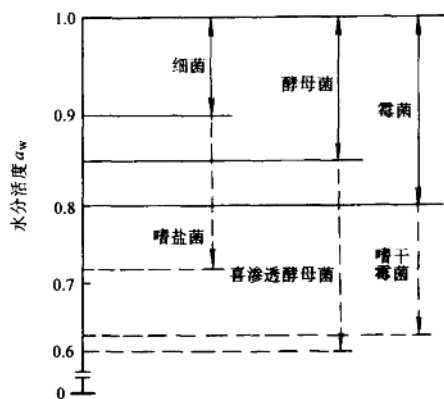


图 1-8 水分活度与微生物生长繁殖的关系

食品中的水分可分为自由水和结合水。自由水也称为游离水，主要包括食品组织毛细孔内或远离极性基团能够自由移动、容易结冰、能溶解溶质的水。自由水在动物细胞中含量较少，而在某些植物细胞中含量却较高。结合水包围在蛋白质和糖分子周围，形成稳定的水化层。结合水不易流动，不易结冰，也不能作为溶质的溶剂。结合水对蛋白质等物质具有很强的保护作用，对食品的色、香、味及口感影响很大。近年来研究表明，加热干燥或冷冻干燥可除去部分结合水，而冷冻冷藏对结合水影响却较小^[6]。

食品中水的状态可用水分活度 a_w 表示(见第二章), 纯水的活度 a_w 值为 1, 绝对干燥食品的 a_w 值为 0, 而绝大多数新鲜食品的 a_w 值在 0.95 以上。有些食品虽然水分含量较高, 但自由水相对含量却较少, 如冻藏、干燥、腌制(浸糖或浸盐)的各种食品, 其水分活度较低。冻藏是将食品中的自由水冻结成冰, 使各种微生物生长繁殖以及食品自身的生化反应失去传递介质而受到抑制的一种冷冻冷藏方法。

八、常见冷藏食品的营养成分

食品的营养成分与种类、产地和加工方法等多因素有关, 表 1-3 是主要食品的营养成分。

表 1-3 主要食品营养成分(每 31.103g)^[3]

食品名称	热量/J	蛋白质/g	脂肪/g	糖/g	钙/mg	铁/mg	维生素 A/I. U	维生素 B ₁ /mg	维生素 B ₂ /mg	维生素 C/mg
1. 畜禽肉										
猪肉	487.2	3.4	11.4	0	3	0.3	0	0.20	0.06	0
牛肉	373.8	4.2	8.0	0	3	1.1	14	0.02	0.07	0
羊肉	394.8	3.7	8.8	0	3	0.6	14	0.04	0.05	0
咸牛肉	289.8	7.1	4.5	0	3	3.1	0	0	0.04	0
牛肉(炖熟)	252	4.8	4.5	0	3	1.1	14	0.02	0.07	0
小牛肉	151.2	5.1	1.7	0	3	0.6	15	0.02	0.04	0
腌熏五花肉	537.6	3.1	12.8	0	3	0.3	0	0.17	0.06	0
兔肉	159.6	5.7	1.6	0	3	0.6	0	0.01	0.14	0
鸡	159.6	5.1	2.0	0	3	1.0	0	0.04	0.03	0
2. 水产品										
鲑鱼	88.2	4.5	0.3	0	7	0.3	0	0.02	0.04	0
油炸鲑鱼	239.4	5.3	3.4	1.4	24	0.3	0	0.01	0.03	0
黑线鲈(熏)	92.4	5.1	0.2	0	8	0.3	0	0.02	0.04	0
鲱鱼	197.4	4.5	3.3	0	28	0.4	40	0	0.08	0
鲑鱼	260.4	5.4	4.5	0	34	0.6	50	0	0.09	0
大麻哈鱼(罐)	201.6	5.7	2.8	0	85	0.4	70	0.01	0.06	0
沙丁鱼(罐)	352.8	5.7	6.8	0	114	1.1	80	0.01	0.08	0
龙虾	142.8	5.7	1.1	0.3	13	0.3	0	0.03	0.07	0
3. 乳、蛋										
鲜乳	71.4	0.9	1.0	1.2	34	0	30	0.01	0.04	0.3
浓缩乳(未加糖)	193.2	2.4	2.6	3.3	83	0.1	100	0.02	0.10	0
浓缩乳(加糖)	361.2	2.3	2.6	14.1	82	0.1	100	0.03	0.10	1
全脂乳粉	579.6	7.3	7.6	10.1	250	0.2	300	0.08	0.33	0
脱脂乳粉	407.4	10.2	0.2	13.6	350	0.3	10	0.11	0.45	0
奶油	886.2	0.1	23.4	0	4	0	1200 ^①	0	0	0
切达干酪	491.4	7.1	9.8	0	230	0.2	400	0.01	0.14	0

(续)

食品名称	热量/J	蛋白质/g	脂肪/g	糖/g	钙/mg	铁/mg	维生素 A/I.U	维生素 B ₁ /mg	维生素 B ₂ /mg	维生素 C/mg
蛋	189	3.5	3.3	0.3	17	0.8	300	0.04	0.11	0
1. 水果										
葡萄	71.4	0.2	0	4.1	5	0.1	5	0.01	0.01	1
柑橘	42	0.2	0	2.2	12	0.1	30	0.02	0.01	16
苹果	50.4	0.1	0	3.0	1	0.1	0	0.01	0.01	1
葡萄柚	25.2	0.2	0	1.4	5	0.1	0	0.02	0.01	14
柠檬	21	0.2	0	0.8	20	0.1	0	0.01	0.01	12
干杏	210	1.4	0	11.1	26	1.2	500	0	0.12	0
李子	29.4	0.2	0	1.6	4	0.1	40	0.02	0.01	1
枣	285.6	0.6	0	16.3	19	0.4	10	0	0.01	0
干无花果	243.6	1.0	0	13.5	81	1.2	10	0	0.08	0
香蕉	88.2	0.3	0	4.9	2	0.1	10	0.01	0.01	3
罐装菠萝	84	0.1	0	4.9	3	0.2	5	0.01	0.01	3
干李脯	184.8	0.7	0	10.3	11	0.8	250	0	0.04	0
葡萄干	281.4	0.3	0	1.4	12	0.3	10	0.01	0.01	9
草莓	29.4	0.2	0	1.6	6	0.2	0	0	0.01	17
5. 蔬菜										
干豌豆	357	7.0	0	14.2	7	1.3	20	0.13	0.08	0
绿豌豆	71.4	1.6	0	2.7	14	0.5	50	0.12	0.03	8
胡萝卜	25.2	0.2	0	1.4	14	0.2	1700	0.02	0.01	3
马铃薯	88.2	0.6	0	4.6	2	0.2	0	0.03	0.02	2~8 ^②
元葱	25.2	0.3	0	1.3	9	0.1	0	0.01	0.01	3
萝卜	21	0.2	0	1.0	17	0.1	0	0.01	0.01	7
花椰菜	25.2	0.7	0	0.8	14	0.2	0	0.03	0.02	20
菠菜	25.2	0.8	0	0.7	20	0.9	1200	0.03	0.06	18
茼蒿	12.6	0.3	0	0.5	7	0.2	400	0.02	0.02	4
大白菜	29.4	0.4	0	1.4	18	0.3	90	0.02	0.02	20
芦笋	42	1.2	0	1.1	8	0.3	40	0.03	0.02	28
韭菜	29.4	0.7	0	1.1	14	0.4	70	0.03	0.02	6
宽菜豆	80.2	2.0	0.1	2.7	8	0.3	0	0.05	0.04	8
西红柿	16.8	0.3	0	0.7	4	0.1	300	0.02	0.01	7
小扁豆	344.4	6.8	0	13.6	11	2.2	0	0.13	0.02	0
水芹菜	16.8	0.8	0	0.2	63	0.4	500	0.03	0.02	17
刀豆	298.2	6.1	0	11.6	51	1.9	0	0.13	0.08	0

① 维生素 A 含量与季节及奶牛饲养方式有关。

② 维生素 C 含量随贮藏月份增加而减少。