

内 容 提 要

本书是国内普通高等学校本科食品物性教材。全书分绪论和八个章节,对食品的基本物理特性、食品流变、质地、散粒体特性、光学、热学以及电学特性分别进行了阐述。教材对物理特性的检测和应用情况做了较为全面的介绍,因此具有很强的理论性和实践指导性。

通过本教材和课程的学习,学生可对食品物理特性及其检测、应用有较为全面的理解和掌握。本书可作为食品科学与工程专业和食品质量与安全专业的教材,各院校可以根据先修课程对教学内容加以选择和调整。本书也可供从事上述相关领域生产、科研和管理的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

食品物性学/屠康等主编. —南京:东南大学出版社,
2006.9
(高等学校食品专业系列教材)
ISBN 7-5641-0510-0

I. 食... II. 屠... III. 食品—物性学—高等
学校—教材 IV. TS201.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 089602 号

食 品 物 性 学

出版发行 东南大学出版社
出 版 人 宋增民
责任编辑 顾金亮
地 址 南京市四牌楼 2 号(210096)
电 话 025-83795801(发行科)/025-83362442(传真)
经 销 江苏省新华书店
印 刷 兴化印刷有限责任公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 418 千字 16.75 印张
版 次 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷
印 数 1—4000 册
定 价 26.80 元

* 若有印装质量问题,请直接向读者服务部调换,电话:025-83792328。

绪 论

食品物性学是以食品及其原料为研究对象,研究其物理性质的一门科学。它在名称上与食品化学相对应,主要研究内容是食品 and 食品原料的力学、光学、热学、电学特性等。其中,力学部分是十分重要的内容,主要包括食品在力的作用下产生变形、振动、流动、破裂等的规律。由于食品力学特性与食品加工关系密切,在食品加工与品质检测中要经常用到流变学、质地学和散粒体特性等内容。光学、热学和电学性质也是食品物理特性的重要内容,但是相关的在食品方面的系统研究还比较缺乏。随着食品工业的迅速发展,光、热、电的相关加工和品质检测技术正日益广泛地应用在食品工业中,学习和掌握这方面的内容,对于研究开发食品贮藏加工的新技术、新工艺,提高食品的品质都是非常重要的。

食品的概念比较广泛。从食品原料分,食品可以分为植物性原料(谷类、水果、蔬菜、海带等)、动物性原料(畜类、禽类、蛋类、奶类、鱼、虾等)和矿物性食品原料(矿泉水、食盐等);从加工角度,食品包括初级产品(粮食、水果、肉等)、一次加工的食品原料(食用油、面粉等)、半成品和成品(面团、面条、果汁等)。食品的组成大部分属于混合物,有无机物、有机物甚至包括有细胞结构的生物体。

食品的形态复杂多样。为了便于研究,一般把它分为液态(包括可流动的溶液、胶体、泡沫和气泡)、固态和半固态食品(组织细胞、半固体等)。液态和固态是食品的主要形态,也是食品物性学研究的主要食品形态。但是,在实际中大量食品的形态很难划分,某些食品在一定条件下显示固态特性,而某些固态食品在一定条件下却显示液态特性。所以,在本教材中没有严格按形态划分和讨论。

现代食品加工对原料的加工方法多种多样,包括力学方法、热学方法、电学方法、光学方法甚至声学技术和装置。

本教材第一章主要介绍食品物理特性的理论基础,为后续章节的学习打下基础;第二章介绍了食品的基本物理尺寸;第三章是力学部分的重点部分,介绍食品的流变特性;第四章介绍食品质地及其检测方法;第五章说明散粒食品的力学特性;第六章对食品的色彩与光学性质进行学习;第七章介绍食品传热特性、测定和应用;第八章对食品的电物性及其测定和应用作了具体说明。

这门课程的内容安排,主要致力于解决以下几个问题:

1. 了解食品与加工有关的物理特性。例如食品厂在设计输送管路时,必须了解食品物料的流动特性;果汁加工时,需要对果汁的流变特性加以控制;甚至在食品烹饪、做菜烧饭中都需要掌握加工食品的物理特性。

2. 对食品的感官评定和客观评定建立相关方法。食品作为消费品,人的感官评价是最终的,也具有仪器评价无法替代的优点,但它运用起来受到条件限制,往往缺乏重复性和客

观性。食品物性学通过对食品感官评价的模拟,建立相应得客观(仪器)检测方法,并与感官评价具有较好的相关性。

3. 通过食品的物性研究,可以了解食品组织结构变化、生理生化变化的微观与宏观反映。食品在贮藏加工中发生的组织结构、生理生化变化非常复杂,微观检测比较困难。但是,这些微观变化往往反映在物性变化上,可以通过试验检测物理特性,分析内部的变化,往往有效可行,可以建立微观变化与品质变化的联系。例如,对水果成熟过程中发生的一系列生理生化变化,可以通过检测水果硬度、颜色等加以判别,建立相关性;面包制作中,面筋形成情况较难观察,而用测定其黏弹性的方法,可以简便地了解面筋的网络形成程度。

4. 为快速无损检测食品品质提供理论基础。对于食品,特别是生鲜食品的无损检测和分级需要相关的力学、光学和电磁学知识。比如在线检测和分级鸡蛋品质,需要利用敲击或振动来判断表面裂纹;用光学和电磁学知识来进行表面和内部缺陷(污斑、血斑、受精等)的检测。

5. 为改善食品风味、质地、嗜好性提供科学依据。通过对食品质地、色泽特性的学习,掌握仪器测定和感官评定在食品品质改进中的作用,改变以往模糊定义的情况,以科学的方法提供数据,满足现代食品工业的要求。

6. 为研究食品分子水平的变化提供试验依据。近年来对水分子团结构的研究、功能性肽的研究、加压或加热条件下蛋白、淀粉变性等的研究,日益引起关注。但是,这些研究中分子水平的结构变化很难测定,而用物性测定的方法可以提供参考。例如,有研究用测定黏度的方法判断电磁处理后水分子团大小改变和水的活化程度。

食品物性学最早起源于对食品黏弹性的研究,近30多年来取得了很大发展。光、热、电等理论逐渐渗入,形成一门学科。它是一门涉及多学科和领域的课程,学习时应具备一定物理学、食品工程原理、物理化学等基础知识。通过本课程学习,学生应该掌握食品基本物理特性,食品流变特性与品质的关系;掌握影响食品物性的机理和物性的常用检测和评估方法;能够根据质地要求和消费者的嗜好开发相应的新产品;了解食品的热学、光学和电学特性,为利用这些特性进行食品品质检测、加工控制、减少其不利影响打下理论基础。

1

食品物理特性的基础

1.1 食品的微观形态结构

食品实际上包括了从自然资源及后期加工产品中分离出来的作为人类食物的形态各异的一大类物质。从组成来看,食品的大部分都属于复杂的混合物,不仅有无机物、有机物,甚至还包括有细胞结构的生物体。

从原料来源上有植物性食品原料(包括谷物、豆类、果品、蔬菜、部分油料等)、动物性食品原料(包括家禽、畜产品、鱼贝海产品、蛋类、奶类等)。

从种类上有软饮料(包括纯净水、碳酸饮料、果蔬汁饮料、乳饮料、植物蛋白饮料、茶饮料、固体饮料、功能性饮料等)、乳制品(包括纯牛奶、酸乳、乳粉、冰淇淋等)、肉制品(包括西式肉制品、中式肉制品等)、大豆制品(包括大豆粉、大豆蛋白、豆腐等)、果蔬制品(包括速冻果蔬、干制果蔬、腌制果蔬、果蔬汁、果酱和果冻等)、方便食品(包括方便主食、速冻食品等)、焙烤食品(包括面包、饼干、糕点等)、糖果和巧克力(包括各种糖果和巧克力制品)、调味品(食用香料、发酵类调味品、复合调味品、西式调味品等)、酒类(白酒、啤酒、黄酒、米酒、葡萄酒等)。

从食品的形态上可以把食品分为液状食品、凝胶状食品、凝脂状食品、细胞状食品、纤维状食品和多孔质食品。也有人把它分为液状食品(包括可流动的溶液、胶体、泡沫和气泡)和固体半固体状食品(组织细胞、固体泡、半固体、粉体等)。

尽管食品形态多样,结构复杂,但在分子层面上由一定量的大分子和小分子组成。在食品加工过程中,表现在宏观上的形态与结构的变化,往往是由于其组成和微观结构形态不断变化引起的。

1.1.1 聚集态结构与特性

高分子是由许多($10^3 \sim 10^5$ 数量级)小分子单元键合而成的长链状分子。量变引起质变,分子量足够大的长链高分子结构远比小分子复杂得多。高聚物结构研究的内容概括在表1-1中。其中高分子链的近程结构和远程结构分别又称一级结构和二级结构,高分子的聚集态结构也称三级或更高级结构。

表 1-1 高聚物结构的研究内容

高分子链的结构	近程结构	结构单元的化学组成 结构单元的键接方式与序列 结构单元的立体构型和空间排列 支化与交联 端 基
	远程结构	高分子的大小(分子量和分子量分布) 高分子形态(高分子链的柔性)
高分子聚集态结构		晶态结构 非晶态结构 取向结构 织态结构

1.1.1.1 高聚物分子内原子间与分子间的相互作用

分子内原子之间有相互作用,分子之间也有相互作用力,这种相互作用包括吸引力和推拒力。键合原子之间的吸引力有键合力,非键合原子间、基团间和分子间的吸引力有范德华力和氢键。当原子间或分子间的距离很小时,由于内层电子的相互作用,呈现推拒力。分子内原子之间和分子与分子之间的吸引力和推拒力随原子间和分子间距离而改变。当吸引力和推拒力达到平衡时,就形成平衡态结构。

1) 键合力

键合力包括共价键、离子键和金属键,在食品中主要是共价键和离子键。几种主要共价键的键长和键能如表 1-2 所示。其中 C—N 之间的共价键即是连接氨基酸的肽键,其键能是维持蛋白质的一级结构形态,与维持蛋白质空间构象的其他次级键相比,其键能较高,因此蛋白质构象容易发生变化,但是氨基酸不易断开;S—S 键是维持蛋白质三级结构的键合力,称为二硫键,其值略低于肽键。

表 1-2 食品材料中主要共价键的键长和键能

共价键	键长/nm	键能/(kJ · mol ⁻¹)
C—C	0.154	348
C=C	0.134	611
C—H	0.110	415
C—N	0.147	306
C≡N	0.115	892
C—O	0.146	360
C=O	0.121	745
N—H	0.101	389
O—H	0.096	465
O—O	0.132	147
S—S		264

离子键又称盐键或盐桥,它是正电荷与负电荷之间的一种静电相互作用。吸引力与电荷电量的乘积成正比,与电荷质点间的距离平方成反比,在溶液中此吸引力随周围介质的介电常数增大而降低。在近中性环境中,蛋白质分子中的酸性氨基酸残基侧链电离后带负电荷,而碱性氨基酸残基侧链电离后带正电荷,二者之间可形成离子键。离子键平均键能为20 kJ/mol,而且几乎没有方向性。

2) 范德华力和其他次级键

非键合原子间和分子间的相互吸引力包括范德华力和氢键,其中范德华力包括静电力、诱导力和色散力。

(1) 静电力

静电力是极性分子间的相互作用力,由极性分子的永久偶极之间的静电相互作用所引起。作用能为12~20 kJ/mol,与分子偶极矩的大小、分子间的距离和热力学温度之间的关系如下:

$$E_K = -\frac{2}{3} \frac{\mu_1^2 \mu_2^2}{R^6 kT} \quad (1-1)$$

式中, E_K 表示分子间静电相互作用能; μ_1, μ_2 表示两种极性分子的偶极矩; R 表示分子间的距离; T 表示热力学温度; k 表示玻耳兹曼常数。

从上式可以看出,静电力受分子间的距离影响最大。

(2) 诱导力

当极性分子与其他分子(包括极性分子和非极性分子)相互作用时,其他分子产生的诱导偶极、极性分子的永久偶极与其他分子的诱导偶极之间的作用力称为诱导力。其作用能的大小为

$$E_D = \frac{\alpha_1 \mu_1^2 + \alpha_2 \mu_2^2}{R^6} \quad (1-2)$$

式中, α_1, α_2 表示两种分子的极化率,也就是单位电场强度作用下诱导的偶极矩。

诱导作用能一般为6~12 kJ/mol。

(3) 色散力

在一切分子中,原子内的电子不停地旋转,原子核也不停地振动,因而在任何一瞬间,一些电子与原子核之间必然会发生相对位移,使分子具有瞬间偶极。瞬间偶极之间的相互作用力称为色散力。色散力存在于一切极性和非极性分子中,其作用能的大小可表示为

$$E_L = -\frac{3}{2} \left(\frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} \right) \frac{\alpha_1 \alpha_2}{R^5} \quad (1-3)$$

式中, I_1, I_2 表示两种分子的电离能。

色散力的作用能一般为0.8~8 kJ/mol。

范德华力是永远存在于一切分子间的吸引力,没有方向性和饱和性,作用距离0.26 nm,作用能比化学键能小1~2个数量级。

(4) 氢键

它是极性很强的X—H键上的氢原子与另一个键上电负性很大的Y原子之间相互吸引而形成的(X—H·····Y)。氢键既有饱和性又有方向性:X—H只能与一个Y原子形成氢

键,而且(X—H·····Y)要在同一直线上,氢键的作用能比化学键小得多,但比范德华力大一些,为12~30 kJ/mol。X,Y的电负性愈大,Y的半径愈小,则所形成的氢键愈强,氢键作用半径一般为0.17~0.20 nm。氢键也可以在分子内形成,聚酰胺、纤维素和蛋白质都有分子间的氢键。

(5) 疏水键

当疏水化合物或基团进入水中时,体系界面自由能增加,熵减小,这是一个热力学不稳定问题。为此,体系将力图趋向稳定,尽量减小疏水混合物与水接触面积,在熵驱动下,疏水化合物自发地相互靠近。因此,疏水键并不是疏水基团之间存在引力,而是体系为了稳定自发地调整。疏水键的键能在5~30 kJ/mol范围内,主要与疏水基团的大小和形状有关。疏水键在稳定蛋白质的三维结构方面占有突出地位。

上述各种分子间力可统称为次级力。对高聚物来说,分子链之间的次级力具有加和性,可以按照链节作为分子链间的作用单位进行加和。所以分子链间次级力随分子量的增加而增大。一般高分子的分子量是小分子的分子量的千百倍,其分子链间次级力的总和可以超过主价力(键和力)。图1-1是维持高分子蛋白质结构的各种键,主链是肽键合,侧链是各种次级键和二硫键。

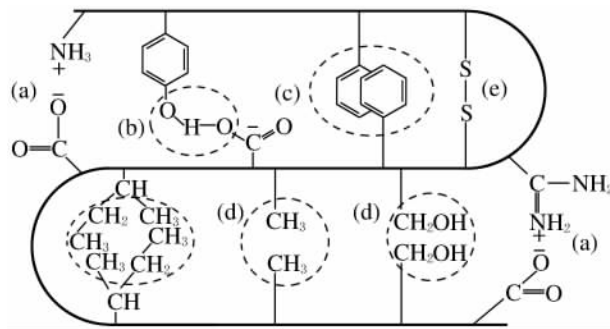


图 1-1 维持蛋白质结构的各种键

(a) 盐键;(b) 氢键;(c) 疏水作用;(d) 范德华力;(e) 二硫键

1.1.1.2 内聚能

分子间相互作用能的大小通常用内聚能或内聚能密度来表示。内聚能定义为1 mol的凝聚物汽化时所吸收的能量,其大小可表示为

$$\Delta E = L_v - RT \tag{1-4}$$

式中,ΔE表示内聚能;L_v表示摩尔汽化热;RT表示汽化时做的膨胀功。

对于低分子化合物,其内聚能近似等于恒容发热或升华热,可以利用热力学数据直接计算出来。对于高聚物来说,由于分子链很长,分子之间的相互作用力很大,甚至超过化学键的能量,因此,在高聚物加热过程中,有可能在吸收的能量还不足以使分子汽化时,已足以破坏高分子链上的化学键。事实上,分子量足够大的高聚物确实不存在气态。因此,各种高聚物的内聚能便不可能直接通过测定它们的汽化热来计算,而只能通过其他方法,如测定溶度参数、平衡溶胀比等来估计。显然,高分子链上的极性基团的极性愈小,单位摩尔体积中的内聚能就愈低,高分子的柔软性就愈好。

1.1.1.3 高分子链结构与柔性

许多天然和合成高分子都是线形长链分子。长链分子可以卷曲成团,也可以伸展开来,这取决于分子本身的柔顺性及外部条件。高分子也可能通过各种键能形成支化的或交联的高分子,也可能联系起来形成一个分子量很大的三维空间网。对于支化、交联和三维结构的高分子,其柔软性和溶解性都受到影响,甚至失去柔软性和溶解性。

高分子链直径约为零点几纳米,长度可达几百、几千甚至几万纳米,如肌球蛋白丝直径约10 nm,而长约1 500 nm,肌动蛋白丝直径6~8 nm,而长约1 000 nm。由蛋白质组成的纳豆,直径约几微米,而长度可达几十米。这样的分子链犹如一根直径仅1 mm而长度为几十米的钢丝。经验告诉我们,这样的钢丝如果不用拉力把它拉直,那是很容易卷曲的。而高分子链由于单键的内旋转,比钢丝还要柔软,可以在空间呈现各种形态,并随条件和环境的变化而变化。长链高分子的这种柔性是高分子材料具有一系列宏观特性的根本原因。

线形高分子链中含有成千上万个 σ 键。如果主链上每个单键的内旋转都是完全自由的,则这种高分子链称为自由联结链。它可采取的构象数将无穷多,且瞬息万变。这是柔性高分子链的理想状态。

实际高分子链中,键角是固定的。就碳链而言,键角为 $109^{\circ}28'$ 。所以即使单键可能自由旋转,每一个键只能出现在以前一个键为轴,以 $2\theta(\theta=\pi-109^{\circ}28')$ 为顶角的圆锥面上(见图1-2)。而且,由于分子上非键合原子之间的相互作用,内旋转一般是受阻的,因此每个键只能处于圆锥面上若干个有限的位置上。不过,即使每个单键在空间可取的位置数很少,一个含有许多个单键的高分子链所能实现的构象数仍然十分可观。假设每个单键在内旋转中可取的位置数为 m ,那么一个包含 n 个单键的高分子链可能的构象数就为 m^{n-1} 。当 n 足够大时,无疑是一个庞大的数字。这其中绝大部分的构象所对应的分子形态都是卷曲的。

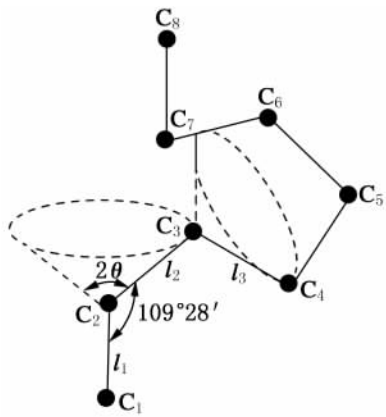


图1-2 键角固定的高分子链的内旋转

可见,高分子链之所以具有柔性的根本原因在于它含有许多可以旋转的 σ 单键。如果高分子主链没有单键,则分子中所有原子在空间的排布是确定的,即只存在一种构象,这种分子就是刚性分子。如果高分子主链是虽有单键,但数目不多,则这种分子所能采取的构象数也很有限,柔性不大。

从统计热力学的角度来说,熵是量度体系无序程度的热力学函数。体系的熵值(s)与构象数(W)之间的关系服从玻耳兹曼公式:

$$s = k \ln W \quad (1-5)$$

式中, k 表示玻耳兹曼常数。

当高分子链取伸直形态时,构象数为1,因而构象熵为零;当高分子链取可变的卷曲形态时,构象数很大,相应的构象熵很高。根据热力学熵增原理,自然界中一切过程都自发地朝熵值增大的方向发展。不难理解,高分子链在无外力作用下总是自发地取卷曲的形态。这就是高分子链柔性的实质。

柔性高分子链的外形呈椭球状,随着分子的热运动,高分子链的构象不停地变化,椭球状的高分子链的长轴与短轴之比也不停地改变。通常把无规则地改变着构象的椭球状的高分子称为无规线团。实验表明,除少数蛋白质分子以外,线形高分子在溶液中的构象是无规线团;非晶相本体高聚物中的高分子链也是无规线团。但无规线团之间互相贯穿,其模型如图 1-3 所示。

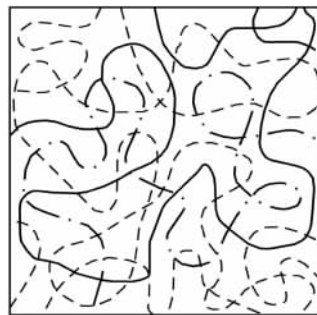


图 1-3 无规线团示意图
(不同线形代表不同的高分子链)

有试验表明,蚕液中的丝蛋白是线团状态的链状分子。当慢慢拉伸时,圆球分子之间只有滑动,没有其他变化,所以整个液体只是流动;当快速拉伸时,各个分子还没来得及流动就被拉开了。被拉开的丝蛋白链状分子有了新的排列,产生了变异,相互靠近的分子之间产生了很强的结合力。这种丝蛋白分子之间的结合力虽然比共价键的作用力弱,但是长链的各链节之间却有很强的结合,所以形成了整体很结实的蚕丝。蛋清和纳豆也具有同样的性质,当慢速拉动时,不成丝,过快拉动时,丝断裂,只有合适的拉丝速度,才能形成很好的丝线。

表征高分子链平衡态柔性的参数是链段长度和均方末端距等。链段是指高分子链中划分出来的可以任意取向的最小链单元。这是一个统计的概念,可以这样来理解它:如果高分子链中每个单键相对于前一个键在空间取向的位置数为 m ,那么当每一个键的位置一旦固定后,第 2 个键相对于第 1 个键的空间取向的位置数就是 m ;同样,第 3 个键相对于第 2 个键取向的位置数也是 m ,因此第 3 个键相对于第 1 个键取向的位置就是 m^2 ;依此类推,第 $i+1$ 个键相对于第 1 个键取向的位置数就是 m^i 。显然,只要 i 足够大,第 $i+1$ 个键在空间取向的位置数就很多,实际上已与第 1 个键的位置不相关了。我们把第 1 个键到第 i 个键组成的这一部分可以独立运动的单元称为链段,其长度用链段中所包含的链结构单元数或分子量来表示。尽管高分子链中单键的内旋转是受阻的,但可以把高分子看作由若干个链段组成,链段与链段之间为自由连接。不难理解,高分子链是单键愈容易内旋转,相邻键的空间位置愈不确定,链段就愈短。在极端的情况下,如果高分子链上每个键都能完全自由地内旋转,即所有键之间都是自由连接的,那么链段的长度就等于键长,这种高分子是理想的柔性链;相反,如果高分子链是所有键都不允许内旋转,则这种高分子便是绝对的刚性分子,其链段的长度就等于整个分子链的长度。

1.1.2 食品微观形态结构

1.1.2.1 食品微观形态结构

食品形态结构在微观上按分子的聚集排列方式主要有三种类型:

- 晶态:分子(或原子、离子)间的几何排列具有三维远程有序;
- 液态:分子间的几何排列近程有序(即在 1~2 分子层内排列有序),但远程无序;
- 气态:分子间的几何排列不但近程无序,远程也无序。

此外,还有两种过渡态,它们是热力学不稳定态。

(1) 玻璃态(无定形)

分子间的几何排列只有近程有序,而无远程有序,即与液态分子排列相同。它与液态主要区别在于黏度,玻璃态黏度非常高,以至于阻碍了分子间的相对流动,在宏观上近于固态,

蛋白质的结构形态主要有纤维状和球状。纤维蛋白质分子呈细长形,排列成纤维状,一般不溶于水,该蛋白是动物组织的主要结构材料,如蚕丝、羊毛、头发、羽毛、指甲、皮肤等;球蛋白分子折叠,卷曲成球形,一般能溶于水,该蛋白质主要起着维护和调节生命过程中的有关功能作用,如酶、激素、蛋清蛋白等。

蛋白质的微观结构主要分一级结构、二级结构、三级结构和四级结构。

一级结构是指蛋白质分子链中各种氨基酸结合的顺序;二级结构是由肽键之间的氢键形成,如在一个肽键的 C=O 与另一个肽键的 -NH₂ 之间存在氢键;三级结构是在二级结构的基础上进一步卷曲折叠,构成具有特定构象的紧凑结构。维持三级结构的力来自氨基酸侧链之间的相互作用,主要有二硫键、氢键、正负离子间的静电引力(离子键)、疏水基团间的亲和力(疏水键)(如图 1-5 所示)。由多条肽链(三级结构)聚合而形成特定构象的分子叫做蛋白质的四级结构,其中每条肽链称为一个亚基。维护四级结构的力主要是静电引力。

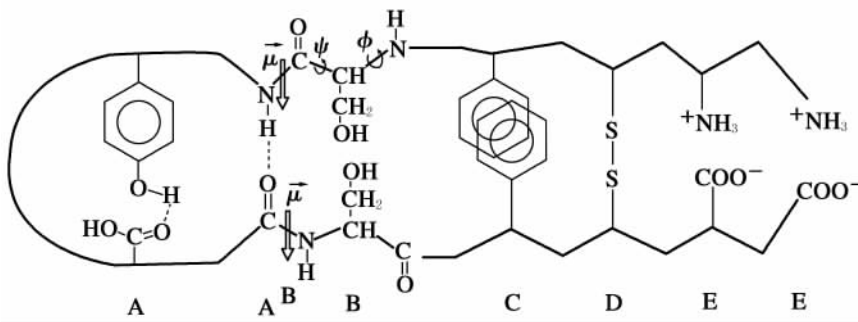


图 1-5 维持蛋白质结构的键和相互作用

A—氢键;B—偶极相互作用;C—疏水相互作用;D—二硫键;E—离子相互作用

在许多食品体系中,蛋白质是构成食品结构的基础,无论是对生物组织(鱼和肉的肌原纤维蛋白),还是对配制食品(如面团、香肠、肉糜等)。

可以通过织构化加工植物蛋白使其具有良好的咀嚼性及持水性的纤维状产品。一般蛋白质织构化的方法有:

(1) 热凝固和薄膜形成 豆浆在 95℃ 保持几小时,表面会形成一层薄膜,如腐竹的生产。一般工业化蛋白质织构化是在光滑的金属表面进行的。

(2) 纤维形成 大豆蛋白纺丝的制造过程为:在 pH 10 时制备高浓度(10%~40%)的纺丝溶液→脱气→澄清→通过孔板(每平方米 1 000 孔,孔径为 50~150 μm)→酸性氯化钠溶液(等电沉淀或盐析)→压缩→成品。

(3) 热塑挤压 使蛋白质中的含水量为 10%~30%,在高压 10 000~20 000 kPa 下,使其在 20~150 s 内温度升高到 150~200℃。挤压通过孔板,一般在蛋白质中加入淀粉可改善其质地。

蛋白质结构和空间构象与其生物功能密切相关,因此在食品工业中,加热、冷冻、辐射、腌渍、挤压、拉丝、搅拌、乳化等都与蛋白质的结构变化有关。具体可分为三个方面:① 改变蛋白质结构,使其产品的营养价值和感官物性更利于人类需求,如面包制作;② 加工与贮藏中,蛋白质结构向着不利方面发展,如杀菌对蛋白质结构的破坏;③ 引进化学方法、酶法和转基因方法,设计制作出新的蛋白质结构,使蛋白质功能达到最优化水平。

蛋白质结构变化主要是链段的断开和重新调整,或发生扭转。一般认为,当能量达到1~3个氢键或2~5个疏水键时,蛋白质构象即会发生变化,也就是说维持蛋白质特定结构的某些次级键在不同程度上开始断开。

驱动这种蛋白质折叠发生的主要动力是:(1)使暴露在溶剂中的疏水基团降低至最少程度;(2)要保持处于伸展状态的多肽链和周围水分子间形成的氢键相互作用的有利能量状态。

2) 脂肪的结构形态

一般说来单纯性酰基甘油酯容易形成稳定的 β 型结晶,而且为 $\beta-2$ 型,而混合酰基甘油酯由于侧链长度不同,容易形成 β' 型,并以TCL排列。结晶按熔点增加的顺序,依次为玻璃质固体(亚 α 型或 γ 型)、 α 型、 β' 型和 β 型,其中 α 型、 β' 型和 β 型为真正的晶体。 α 型:熔点最低,密度最小,不稳定,为六方堆砌型; β' 型和 β 型熔点高,密度大,稳定性好, β' 型为正交排列, β 型为三斜型排列。X衍射发现 α 型的脂肪酸侧链无序排列, β' 型和 β 型脂肪酸侧链有序排列,特别是 β 型油脂的脂肪酸侧链均朝一个方向倾斜,有两种方式排列:DCL-二位碳链长, $\beta-2$ 型;TCL-三位碳链长, $\beta-3$ 型。

如果将油脂冷却,会产生多种类型的脂肪晶体,其结构不同,物性也不同,这主要取决于脂肪组分、脂肪纯度、冷却速度、晶核和溶剂性质等。晶体之间能通过范德华力形成凝胶,在形成凝胶过程中,固态晶体可能会聚集于一定区域,从而形成刚性不均的体系。当温度接近脂肪晶体熔融点时,晶体首先在弱键处断开,表现出液晶态的物性,即具有一定的流动性。

3) 糖类结构形态

糖类化合物常按其组成为单糖、寡糖和多糖。单糖是一类结构最简单的糖,是不能再被水解的糖单位,根据其所含碳原子的数目分为丙糖、丁糖、戊糖和己糖等;根据官能团的特点又分为醛糖和酮糖。寡糖一般是由2~20个单糖分子缩合而成,水解后产生单糖。多糖是由多个单糖分子缩合而成,其聚合度很大,这些高分子聚合物的性质不同于单糖和低聚糖,在大多数情况下多糖不溶于水,也没有甜味,其物理化学性质与它们的分子质量大小、结构和形状相关。常见的多糖有淀粉、纤维素和果胶。

淀粉根据其分子形状可分为直链淀粉和支链淀粉,直链淀粉是由 $\alpha-1,4$ 葡萄糖苷键连接的线性葡聚糖,支链淀粉是由 $\alpha-1,4$ 和 $\alpha-1,6$ 糖苷键连接的具有分支结构的葡聚糖。支链淀粉在淀粉中的含量为70%~90%,在热水中即膨胀而糊化,黏性很大。直链淀粉也是由D-葡萄糖组成的,但葡萄糖的连接方式与支链淀粉有所不同,葡萄糖分子之间除以 $\alpha-1,4$ 糖苷键相连外,还有以 $\alpha-1,6$ 糖苷键相连的;分子量为10~100万,由600~6000个葡萄糖单元组成。直链淀粉在水溶液中并不是线性分子,而在分子内氢键的作用下分子链卷曲成螺旋状,每个螺旋含有6个葡萄糖残基。在显微镜下,淀粉是形状和大小不同的透明颗粒,其形状有圆形、卵形(椭圆形)、多角形等。

不同来源的淀粉粒的形状不同。如图1-6所示,马铃薯淀粉粒的形状为卵形,玉米淀粉粒的形状为圆形和多角形,稻米淀粉粒的形状为多角形。不同淀粉粒不仅颗粒形状不一样,其大小也不相同,如马铃薯淀粉平均颗粒大小为65 μm ,小麦淀粉平均颗粒大小为20 μm ,甘薯淀粉平均颗粒大小为15 μm ,玉米淀粉平均颗粒大小为16 μm ,稻米淀粉平均颗粒大小为5 μm 。就同一种淀粉而言,淀粉粒的大小也不均匀,如玉米淀粉粒中最大的为26 μm ,最小的为5 μm 。在常见的淀粉中马铃薯淀粉的颗粒最大,稻米淀粉的颗粒最小。

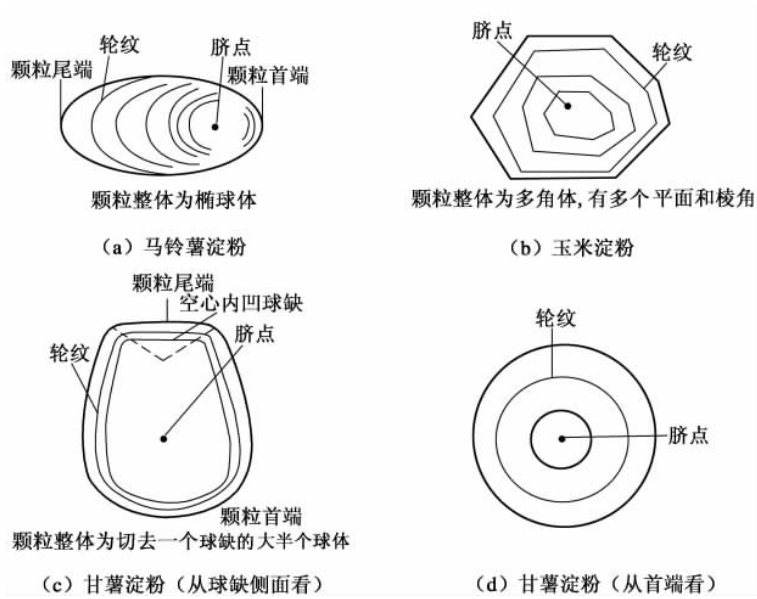


图 1-6 不同淀粉颗粒的结构示意图

支链淀粉易分散在冰水中，而直链淀粉不易分散在冰水中，天然淀粉粒完全不溶于冷水。在 68~80℃时，直链淀粉在水中溶胀而形成胶体，支链淀粉则仍为颗粒，但是一旦支链淀粉溶解后冷却则不易析出。

1.1.3 细胞的基本形态结构

1.1.3.1 细胞的基本形态

所有的生物都是由细胞组成的，只是不同的生物体细胞的大小和形状有所不同。有的细胞人的眼睛可以看得见；有的细胞直径只有 0.1 μm，要用高倍显微镜才能看到；而大多数细胞的直径是 10~100 μm，用低倍显微镜就能看到。细胞的大小，即使在同一生物体的相同组织中也不一样；同一个细胞处在不同发育阶段，它的大小也是会改变的。

细胞形状是多样的，有球形、多面体、纺锤体、柱状体等(见图 1-7)。多细胞生物体，依照细胞在各种组织和器官中所承担的不同功能，分化形成了各种不同的形状。这些不同的形状一方面取决于对功能的适应，另一方面亦受细胞的表面张力、胞质的黏滞性、细胞膜的坚韧程度以及微管和微丝骨架等因素的影响。

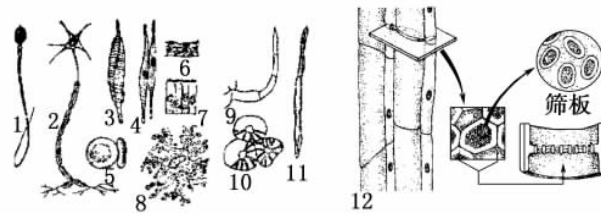


图 1-7 各种不同形状的细胞

- 1—人的精子；2—神经细胞；3—横纹肌细胞；4—平滑肌细胞；5—红血球的正面和侧面；
6—皮肤细胞；7—小肠上皮细胞；8—色素细胞；9—番茄叶上的毛细胞；10—梨果肉中的石细胞；
11—葡萄的分隔纤维；12—筛管和伴胞

1.1.3.2 细胞的基本结构

细胞有原核细胞和真核细胞之分。细菌是原核细胞,蓝藻(蓝细菌)也是原核细胞,其他生物都是由真核细胞构成的。原核细胞比真核细胞小,结构也简单得多,它除了表面的细胞膜以外,没有成形的细胞核,也没有其他细胞器,只有一个被称为染色体的环状 DNA 分子。此外,细胞质中还可含有一些小分子 DNA,称为质粒。真核细胞比原核细胞大,有细胞核和多种细胞器。下面讲的主要是真核细胞的结构(见图 1-8)。

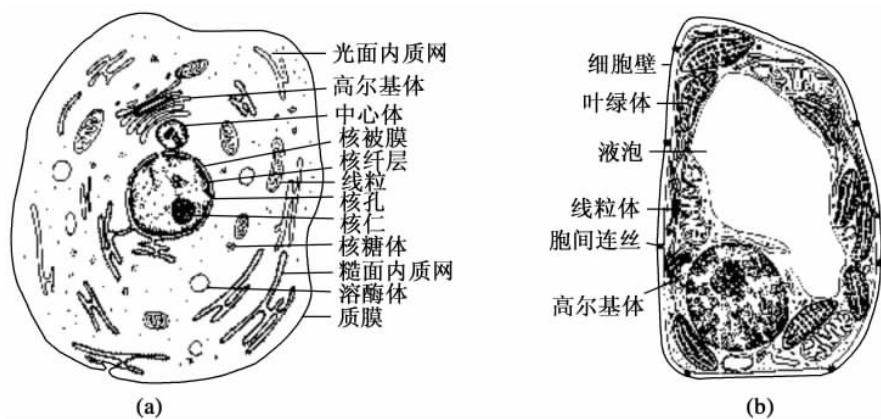


图 1-8 细胞结构模型图

(a) 动物细胞;(b) 植物细胞

1) 细胞膜和细胞壁

细胞膜又称质膜,是细胞表面的膜,厚度通常为 7~8 nm。细胞膜最重要的特性之一是半透性或选择性透性,即有选择地允许物质通过扩散、渗透和主动运输等方式出入细胞,从而保证细胞正常代谢的进行。

真核细胞有一个复杂的膜系统,除表面的质膜外,还有多种膜结构。

植物细胞在细胞膜之外还有细胞壁(见图 1-9)。它是无生命的结构,其组成成分主要为纤维素,是细胞分泌的产物。细胞壁的功能是支持和保护,同时还能防止细胞吸涨而破裂,保持细胞正常形态。植物细胞最初生成的细胞壁都是很薄的,称为初生细胞壁,是由纤维素的纤维埋在由多糖和蛋白质构成的基质中而形成的。两个相邻细胞的初生细胞壁之间有胞间层,把两个细胞胶黏在一起。胞间层的主要成分是一种多糖,即果胶。初生细胞壁薄而有弹性,能随着细胞的生长而延伸。待到细胞长大,在初生细胞壁的内侧长出另一层细胞壁,即次生细胞壁。次生细胞壁或厚或薄,其硬度与色泽随不同植物、不同组织而不同。

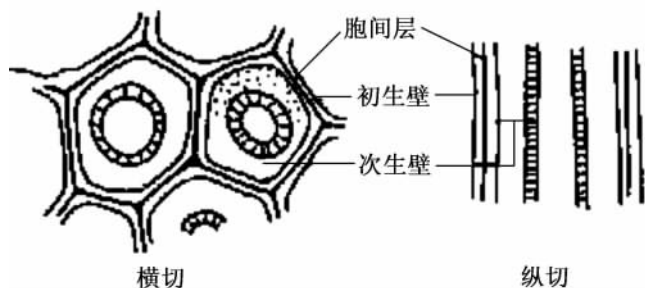


图 1-9 植物细胞壁

2) 细胞核

一切真核细胞都有完整的细胞核。哺乳动物血液中的成熟红细胞和被子植物的成熟筛管分子中没有细胞核,但它们最初也是有细胞核的,只是后来在发育过程中消失了。有些细胞是多核的,大多数细胞则是单核的。在细胞的生活周期中,细胞核存在着两个不同的时期:间期和分裂期。

细胞核包括核被膜、核质、染色质和核仁等部分。

3) 细胞质和细胞器

除细胞核外,细胞的其余部分均属细胞。细胞质的外围是质膜,即细胞的外表面。在质膜与细胞核之间是透明、黏稠并且时刻流动着的物质,即胞质溶胶,各种细胞器均溶于其中。主要的细胞器有内质网、高尔基体(高尔基复合体)、溶酶体、质体、微体、液泡、细胞骨架、中心体。

1.1.3.3 细胞之间的连接

多细胞生物体细胞间有特化的连接装置,使之形成组织,同时在功能上处于高度的协调状态。动物和植物的细胞连接迥然不同,脊椎动物的细胞连接主要有3种类型(见图1-10),即桥粒连接、紧密连接和间隙连接。

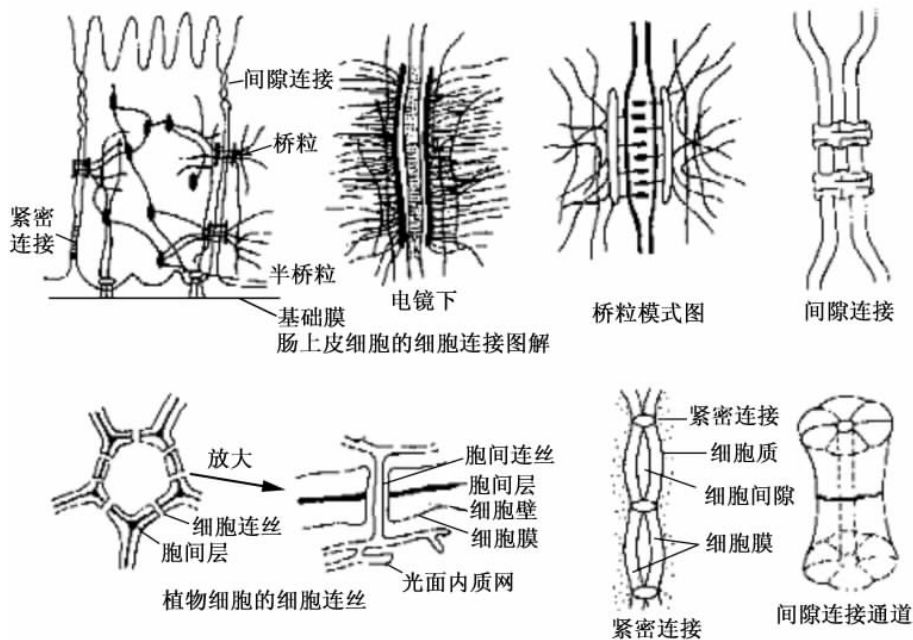


图 1-10 细胞连接

1) 桥粒连接

上皮细胞,特别是皮肤、子宫颈等处上皮细胞之间有一种非常牢固的连接,在电镜下成钮扣状的斑块结构,即是桥粒。桥粒与胞质溶胶中的中间纤维相连,使相邻细胞的细胞骨架间接地连成骨架网,所以桥粒的功能纯粹是机械性的,很像机械工程使用的铆钉或焊接点(见图1-10)。

2) 紧密连接

两个相邻细胞之间细胞膜紧密靠拢,两膜之间不留空隙,使胞外物质不能通过,这种坚固的结构即是紧密连接。在上皮组织中,紧密连接环绕各个细胞一周成腰带状。在这一腰带区中各紧密连接组合成网,完全封闭了细胞之间的通道,使细胞层成为一个完整的膜系

统,从而防止了物质从细胞之间通过。例如,脑血管的内壁就有这样的屏障,血液中的物质只能通过细胞而不能从细胞之间直接进入脑中;肠壁上皮细胞间也有紧密连接,使肠内无用的杂质不能从细胞之间穿过,而肠内的消化产物也只能穿过上皮细胞绒毛膜进入细胞。肠上皮细胞膜上有载体蛋白,肠内的消化产物通过载体蛋白的主动运输而穿过膜进入细胞,再经细胞侧面和底面的另一种载体蛋白的扩散而进入血液。紧密连接的存在使这些产物只能从外入内而不能从血液返回肠腔(见图 1-10)。

3) 间隙连接

这是最多的一种细胞连接,两细胞之间有很窄的间隙,其宽度不过 2~4 nm。贯穿于间隙之间有一系列通道,使两细胞的细胞质相通。这些通道的宽度只有 1.5 nm 左右,所以能够通过物质主要是离子和相对分子质量不大于 1 000 的小分子物质,如蔗糖以及 AMP、ADP、ATP 等。cAMP 可通过间隙连接而迅速从一个细胞进入周围多个细胞。cAMP 是多种激素信息的传递分子(第二信使),极少量激素能引起大片细胞发生反应,显然是和 cAMP 的迅速传播密切有关的。

植物细胞有坚固的细胞壁,没有上述的各种胞间连接,但是植物细胞都有一种沟通相邻细胞的管道,即胞间连丝(见图 1-10)。细胞壁上有孔,相邻细胞的细胞膜伸入孔中,彼此相连,两细胞的光面内质网也彼此相通,即成胞间连丝。所以植物细胞虽有细胞壁,实际上它们是彼此连成一片的,称共质体,水分子以及小分子物质都可从这里穿行。一些植物病毒也是通过胞间连丝而扩大感染的,病毒颗粒甚至能刺激胞间连丝,使其孔径加大,便于它们通过。细胞壁也彼此连成一片,称为质外体,水分子以及小分子物质也可沿质外体运输。

1.2 植物性食品的典型组织结构

1.2.1 植物组织的种类

植物细胞在形成后,经过不断成长、分化,形成不同的能行使共同机能的各种细胞群,这些细胞群即称组织。

1) 分生组织

分生组织存在于植物根、茎的顶部,为几层薄壁细胞组成,细胞充满原生质,核大,液泡小。它的主要功能是不断分裂新的细胞,从而使植物体不断成长。部分蔬菜的食用部分也包括分生组织,其加工特性与一般的薄壁组织类似。

2) 薄壁组织

薄壁组织又称营养组织,在植物体内分布最广,常存在于其他组织之间,特征为细胞壁较薄,成熟细胞有很大的液泡,细胞间隙大,结合疏松,有利于物质的贮藏和交换。果蔬的绝大部分食用器官系由薄壁组织构成,其食用价值和营养价值均高,是果蔬加工中应利用的主要部位。

3) 保护组织

由植物体表面一层或数层扁平、排列紧密的细胞组成,起保护作用,防止体内水分过度蒸发和外界风雨、病虫的侵蚀。此种组织的细胞常角质化、木栓化,食用品质低下,加工时应予以去除。

4) 机械组织

由一类细胞壁增厚的细胞组成,起支撑作用。根据细胞壁的增厚方式,可有厚角组织和厚壁组织两种。

(1) 厚角组织 细胞壁通常在彼此接触的角部分增厚,细胞为活体,有原生质和质体活动。

(2) 厚壁组织 细胞壁全面平均加厚,由纤维素和木质素组成,含水量低,原生质全部消失,只留下狭小的胞腔。其典型的为纤维组织和石细胞。纤维组织的细胞狭长,两端尖锐,有韧性,如蔬菜发生纤维化是因为组织老化所致,大量纤维化有损于品质。石细胞是一类壁特别增厚的木质化的细胞,如砂梨果肉中的石细胞及核果类的核为此类细胞,在加工时应剔除,含石细胞多的梨品种不宜于加工。

5) 输导组织

细胞呈长形,主要有导管和维管束。蔬菜的茎中分布着很多导管,叶及仁果类果实的果肉中广泛分布着维管束,它们起输送养分的作用。此类组织一般能食用,但品质不及薄壁组织。

1.2.2 各种果蔬的组织特性

植物的可食部分来自其根、茎、叶、花和果实等器官,这些器官在形态结构上有很大差异,也各有其特性和功能。通常可食部分多属于由薄壁细胞等组织构成的不同的器官以及它们的衍生转变物。

果蔬细胞的个体很小,一般直径为 10~100 μm ,多汁的水果(如成熟的西瓜、番茄)果肉细胞直径可达 1 mm。细胞一般由细胞壁、原生质体和液泡等构成。

多细胞植物的各个细胞,因功能上的分工而发生形态、构造上的分化,形成不同的细胞群。生理功能相同,形态结构相似的细胞群称为组织,不同的组织构成植物体的各种器官,如根、茎、叶、花、果和种子等。通常根据它们功能和结构的不同分为分生组织和后熟组织。分生组织有细胞分裂的能力;后熟组织为已经分化成熟的细胞,一般无分裂能力。

除了果蔬的种子外,其可食用部分绝大多数是后熟组织,其中包括在植物内广泛存在的,细胞壁较薄,有大液泡和细胞间隙,具有同化、贮藏、通气和吸收等功能,与植物的营养关系密切相关的薄壁组织;细胞呈长管形,通常上下相连接,在整个植物体的各个器官内成为一个连续的系统,用来运输水分和各种物质的输导组织;细胞多为细长形,具有加厚的细胞壁,在植物体内起着支持作用的机械组织等。而果蔬的食用价值直接取决于其薄壁组织所占的比例。

1.2.2.1 果实的组织结构

把桃、杏、李等果实切开,可以看到果皮由三个部分构成(见图 1-11),最外层的薄皮是外果皮,肥厚的肉质部分是中果皮,核的硬壳是内果皮,这三层果皮是由子房壁发育而成的。大多数植物的果实为真果,是由子房发育而来的。有些植物的果实,除了子房以外,还有其他部分加入,例如梨和苹果的果实是由子房和花托形成,这种果实为假果(见图 1-11)。



图 1-11 果实的结构