

SHPIN HUAXUE

食品化学

黄梅丽 江小梅 编著

食品化学

黄梅丽 江小梅 编著

中国人民大学出版社

食 品 化 学

黄梅丽 江小梅 编著

中国人民大学出版社出版
(北京西郊海淀路39号)

民族印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

开本: 850×1168 毫米32开 印张, 14.5 插页2

1986年10月第1版 1986年10月第1次印刷

字数: 358,000 册数: 1—8,000

统一书号: 4011·539 定价: 2.95元

编者说明

《食品化学》是中国人民大学贸易经济系商品学教研室组织编写的《商品学教学丛书》中的一个分册。本书根据商品学专业的教学要求编写的专业基础课教材。还可供食品工程、食品科学等专业使用，也可供食品生产部门和科学研究部门的科学技术人员学习参考。

本书是以食品的化学成分及其化学性质和有关的物理性质为主体，论述食品的营养价值、化学成分和性质在加工、贮藏、鉴定中的变化机理；论述食品的色香味和食品的安全性。这部分内容是研究食品工艺、质量管理、贮藏技术所必备的基础理论知识。

本书参考了美国、日本新近出版的《食品化学》内容体系，并结合我国的实际情况和教学实践编写而成。在编写过程中得到我校商品学教研室姜汝燕同志的帮助，由刘程同志进行编辑加工，并邀请中国医学科学院卫生研究所食品营养学专家周启源教授进行审稿。特此致谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请批评指正。

编者

1986年9月

目 录

绪 论.....	1
第一章 水分.....	6
第一节 水在生物体内的含量与功能	6
第二节 水的结构与性质	8
第三节 食品中水分状态	11
第四节 水分活度	13
第五节 食品中水分含量的测定	19
第二章 碳水化合物.....	22
第一节 单糖、双糖在食品应用方面的物理性质	24
第二节 单糖、双糖在食品应用方面的化学性质	31
第三节 多糖类在食品应用方面的特性	40
第四节 食品中碳水化合物含量的测定	62
第三章 脂类化合物.....	65
第一节 油脂的组成与结构	66
第二节 油脂的物理性质与结构的关系	72
第三节 食品的油脂在加工和贮存过程中的变化	74
第四节 油脂特点表示方法	92
第五节 油脂的工艺学特点	94
第六节 食品中油脂含量的测定	100
第七节 类脂的结构、性质及其应用	100
第四章 蛋白质.....	109
第一节 蛋白质的组成与结构	110
第二节 蛋白质的分类	124

第三节	蛋白质的理化性质	127
第四节	食品加工对蛋白质的影响	142
第五节	食品中的蛋白质	146
第六节	食品中蛋白质含量的测定	151
第五章	维生素	153
第一节	维生素的一般概念	153
第二节	脂溶性维生素	156
第三节	水溶性维生素	163
第四节	食品中维生素在贮存和加工过程中的损失	176
第五节	人体缺乏维生素的原因	181
第六节	食品中维生素含量的测定	183
第六章	矿物质	187
第一节	食品中矿物质分类及其存在形式	188
第二节	食品中的矿物质及其对食品性状的影响	190
第三节	引起矿物质不足的因素	198
第四节	酸性食品与碱性食品	202
第五节	食品中矿物质(灰分)的定量	204
第七章	食品的营养功能	206
第一节	食品三大营养成分的功能	207
第二节	食品的热能	221
第三节	营养与健康	233
第八章	食品中色素及其化学变化	240
第一节	物质颜色与结构	240
第二节	食品中天然色素	244
第三节	褐变作用	276
第四节	食品中合成色素	299
第九章	食品滋味和呈味物质	303
第一节	食品味的形成	304
第二节	酸味与酸味物质	308
第三节	甜味和甜味物质	312

第四节	苦味和苦味物质	330
第五节	咸味和咸味物质	333
第六节	辣味和辣味物质	334
第七节	涩味	339
第八节	鲜味和鲜味物质	340
第十章	食品的香气和呈香物质	347
第一节	嗅觉的生理学	348
第二节	化合物的气味与分子结构	349
第三节	食品中气味形成的途径	356
第四节	植物性食品的气味成分	358
第五节	动物性食品的气味成分	371
第六节	食品在加热时形成的香气成分	376
第七节	香味的增强剂	381
第十一章	食品添加剂	385
第一节	食品添加剂的毒性管理	386
第二节	防腐剂	391
第三节	抗氧化剂	397
第四节	乳化剂	407
第五节	疏松剂	410
第六节	发色剂与发色助剂	412
第七节	漂白剂	413
第十二章	食品中有毒物质	417
第一节	化学物质结构与毒性的关系	417
第二节	食品中的天然毒素	421
第三节	微生物毒素	434
第四节	化学毒素	445
主要参考书		455

绪 论

一、学习食品化学的目的与任务

人类为了维持生命和健康，保证生长发育和能够从事各种劳动，每天必须从食物中摄取各种营养成分和热量。因此，食品必须符合三项基本要求：具有一定的营养价值，人们所喜好的色、香、味和对人体无害。而对食品的这三项基本要求，却受着食品的化学组成及其理化性质的制约。

食品化学是研究食品的化学组成及其理化性质的科学。研究的主要内容是食品的营养成分，食品色、香、味的成分，食品中有害成分的化学组成，食品中有关成分的理化性质以及它们在生产、加工、贮存、鉴定过程中的变化和应用。因此，食品化学为开发食品的资源、提高和保证食品的质量提供了必要的基础理论知识。随着我国社会主义建设的不断发展，人民需要更多更好的食品，食品化学将为食品生产的不断发展作出贡献。

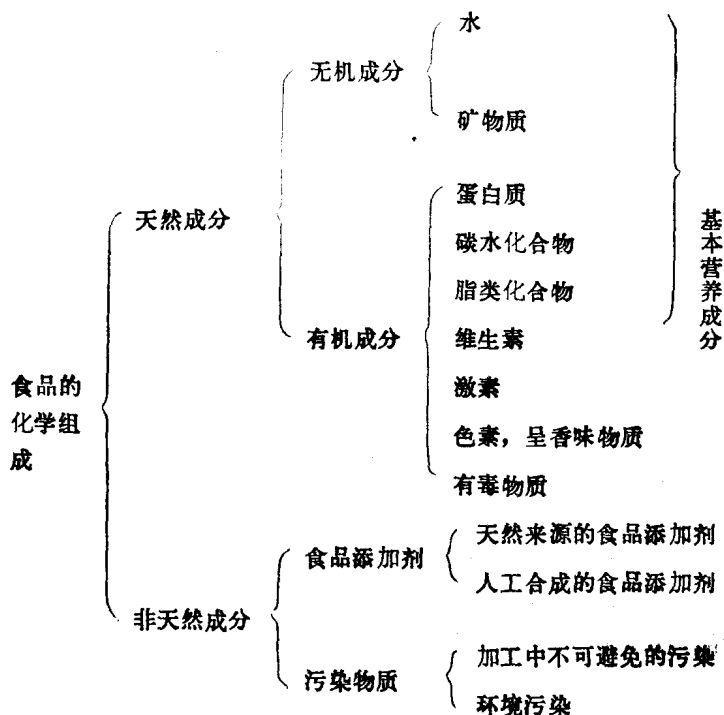
二、食品的化学组成

食物中供人体正常生理功能所必需的成分和能量的物质称为营养成分，例如碳水化合物、蛋白质、脂类化合物、矿物质、维生素等。含有营养成分的物料统称为食物。

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。但通常也泛指一切食物为食品。

人类食物主要来源于其它生物，但人类食物在化学组成上又与自然生物不完全相同。这是因为，在食品的生产，加工，运输

过程中不可避免地要引入一些非天然的成分。这些成分在不同程度上也要参与或干预人体的代谢与生理机能活动。从以上概念出发，食品的化学组成可用下列图解表示。



按我国的饮食习惯，食品基本上可分为两类，一类为主食（主要是粮食制品如米、面及其加工制品），它的主要营养成分是碳水化合物；另一类为副食，副食大致可分为三类，植物性食品、动物性食品、加工制造的食品。前两者皆称为天然食品，植物性食品主要是菜、果。其营养成分主要是碳水化合物、维生素（主要是维生素C）、矿物质（Ca、Mg、K、Na）。动物性食品包括肉、禽、蛋、水产、乳品等，营养成分以蛋白质、脂肪为

主，还有脂溶性维生素（A、D、E）。加工制造的食品种类繁多，如食糖，茶叶，糕点，糖果，豆制品，食用植物油、肉、蛋、水产、乳和菜果等加工制品以及各种调味品（包括酱油、醋、酱、味精和香辛料），等等。另外，按食品营养功能，又可将食品分为两类，一类为热能食品（谷类、糖、油脂），另一类为保护食品（蔬菜、鱼、肉、蛋、奶、豆制品、水果等）。

三、食品质量鉴定

食品质量是食品商品学研究的一项重要内容。食品质量的鉴定，可以通过化学、物理、微生物等各种方法来检验食品的营养价值和卫生要求，采用化学和物理手段检验的方法称为理化鉴定法；采用微生物检验的方法称为微生物鉴定法。涉及食品的色、香、味、形的质量评价以及消费者喜爱程度的嗜好评价等则需要利用人的感觉器官来进行检查，这种检验方法称为感官鉴定法。

（一）理化鉴定法

每一种物质都有其一定的物理性质，可以利用物质的物理常数，如比重、折光率、旋光度等来确定食品各种成分的含量和食品品质的好坏。例如食品中蔗糖的含量，可以通过测定旋光度来确定；油脂可以通过测定折光率、比重等来决定其新鲜程度和酸败程度。

利用食品中各成分特有的化学性质来鉴定食品质量的方法，在食品的常规定量分析中，主要有容量法（滴定法）、重量法和比色法三种。

利用理化方法能获得准确可靠的数据，且客观性高，能定量表示质量指标。但随着食品化学成分的不断复杂，以及人们对食品质量要求的不断提高，采用一般常规的定量分析方法不能得出食品中微量成分和一些有毒物质的含量，因而就需要采用更加灵敏、快速、准确的仪器分析方法。目前应用于食品质量鉴定的仪

器分析方法有：电化学方法，色谱法，分光光度法，核磁共振法、电子顺磁共振法，质谱法等等。

目前，近代检测技术促使理化鉴定方法向快速、少损（或无损）以及自动化方向发展。七十年代以来，电子计算机用于理化鉴定，不仅进行数据处理，而且愈来愈多地被利用来监督仪器的性能以及控制它的运行和各项操作参数。

（二）微生物鉴定法

通过微生物鉴定，可以了解食品被微生物污染的情况。微生物鉴定项目较多，但评价食品卫生质量的重要鉴定指标为致病菌类（沙门氏菌、志贺氏菌、肉毒杆菌和大肠杆菌等）和菌数（通常是指以每克每毫升中或每平方厘米面积食品上的细菌数）。通过菌数的测定，可以确定食品被污染的程度。食品中细菌数目较多时，将加速食品腐败变质，甚至可引起食用者不良的反应；一般认为菌数达到 $100 \sim 1,000$ 万/克的食物可能引起食物中毒。另一方面，通过菌数测定，也可预测食品耐存放的程度或期限，如菌数为 10^5 /平方厘米的鱼肉在 0°C 时可保存六天，而菌数为 10^6 /平方厘米时，在同样条件下则可保存十二天。

（三）感官鉴定法

感官鉴定法是用视觉、嗅觉、听觉、触觉等来鉴定食品质量的方法。

感官鉴定的某些项目，虽然目前已能够用物理或化学的客观方法来代替，但是感官鉴定仍是十分必要的，因为感官鉴定简单易行，不需要复杂的仪器设备，并且人的许多感觉功能现在还不能用其它方法代替，如风味的评定，食品接受性的评价等。一种食品，如果它的接受性差，即使其它质量评价很高，也不能算作好的食品。因此随着科学的发展，并不预示着感官鉴定法将失去作用，而是需要把感官鉴定的结果加以科学分析和归纳，使之具有更高的科学性。

感官鉴定法主要应用于鉴定食品的外观，如色泽、硬度、弹性、虫蚀、萎缩、霉烂等，风味和气味、滋味等，以及包装等方面的质量情况。通常是取一定数量的样品，观察各种缺点，计算出缺点的百分率。因此感官鉴定的结果只能用专业术语或记分法来表示质量的高低，而得不出具体的数值。为了提高感官鉴定结果的准确性，通常还可组织审评小组来进行鉴定。

第一章 水 分

各种食品都有其特定的水分含量，因此才能显示出它们各自的色、香、味，形特征。从物理化学方面来看，水在食品中起着分散蛋白质和淀粉等的作用，使它们形成溶胶。从食品化学方面考虑，水对食品的鲜度、硬度、流动性、呈味性、保藏性和加工等方面都具有重要的影响。水分是微生物繁殖的重要因素。在食品加工过程中，水起着膨润、浸透、呈味物质等方面的作用。因此，研究水的结构和物理化学特性，水分分布及其状态，对食品科学和食品保藏技术有重要意义。

第一节 水在生物体内的含量与功能

一、水在生物体内的含量

大多数生物体内的水分含量通常为70~80%，超过任何其它成分的含量。水在动物体内分布是不均匀的。脊椎动物体内各器官组织的水分含量为：肌肉、肝、肾、脑、血液等约为70~80%；皮肤中约为60~70%；骨骼中约为12~15%。水在植物体内的含量与分布也因种类、部位、发育状况而异，变动较大。一般说来，植物营养器官组织（叶、茎、根的薄壁组织）的水含量特别高，约占器官总重量的70~90%，而繁殖器官（高等植物的种子、微生物的孢子等）中的水分含量则较低，约占总重量的12~15%。

水是所有新鲜食品的主要成分，一些食品的水分含量，列于

表1-1。

表1-1 主要食品的水分含量

食 品	水分含量 (%)	食 品	水分含量 (%)
蔬 菜	85~97	鱼 类	67~81
可食野草	87~94	贝 类	72~86
果 实	80~90	乌贼、章鱼	80~83
蘑 菇 类	88~95	卵 类	73~75
薯 类	60~80	乳 类	87~89
豆 类	12~16	鸡 肉	73
谷 类	12~16	猪 肉	43~59
油性种子	3~4	牛 肉	46~76

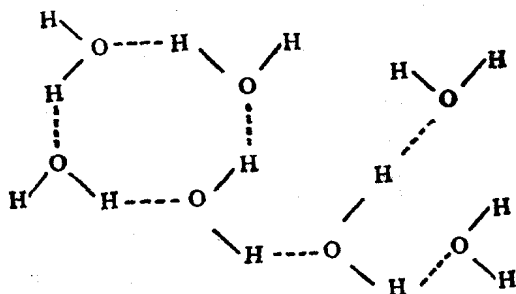
二、水的生理功用

水虽无直接的营养价值，但具有某些特殊性能，如溶解力强，介电常数大，比热高，粘度小等，是维持生理活性和进行新陈代谢不可缺少的物质。断水比断食物对人体的危害和影响更为严重。水的重要功能如下：

水是体内化学作用的介质，同时也是生物化学反应的反应物，组织和细胞所需的养分和代谢物在体内运转的载体。水的热容量大，当人体内产热量增多或减少时不致引起体温太大的波动；水的蒸发潜热大，因而蒸发少量汗水可散发大量热能，通过血液流动，可平衡全身体温，因此水又能调节体温。水的粘度小，可使摩擦面滑润，减少损伤，所以还有润滑作用。

第二节 水的结构与性质

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。氧原子的外层电子构型为 $2s^2 2p^4$ ，成键时，先行杂化而形成4个 sp^3 杂化轨道，其中两个轨道各有一个未成对电子，另两个轨道则各有一对已成对电子。两个未成对电子分别与两个氢原子的 $1s$ 电子形成键，氧原子上的两对孤对电子靠近氧原子。由于同性相斥影响了 $O-H$ 共价键，使它们之间的夹角压缩到 104.5° ，键长为 $0.9572 \text{ \AA}$ 。水分子中共用电子对强烈地偏于氧原子一边，使得氢原子带有部分正电荷；另外，氢原子无内层电子，它不会受其它原子的电子云排斥，而只能和另一个水分子的氧原子的孤对电子相吸引。于是，水分子之间便形成氢键，使两个、三个、四个……水分子缔合起来。由于水分子的缔合作用，就造成了水具有低蒸气压、高沸点、高熔化热、高蒸发热的特点。



通常，水分子间氢键 ($H \cdots O$) 的核间距离 ($0.179 \text{ 纳米} < \text{nm} >$)，较 $O-H$ 的核间距离 ($0.097 \text{ 纳米} < \text{nm} >$) 远，所以氢键的键能小。

水结成冰时，冰中每个水分子都被相邻的四个水分子所形成的四面体包围着，每个水分子位于四面体的顶点（晶格结点），

这种晶格结点上排列着分子的晶体，叫做分子晶体。由此可见，冰是由无限个四面体的每个水分子通过氢键互相联结而成的一个庞大的非紧密堆积晶体。这种晶体主要是氢键力起作用的，此外也还有一部分分子间力起作用。所以冰具有低熔点，硬度和密度较小的特点。

水在食品中的重要性质：

1. 水在 4°C 时密度最大，为1， 0°C 时冰的密度为0.917。水冻结为冰时，体积膨胀是1.62毫升/升。

2. 水的沸点和熔点相当高，在一大气压下， 100°C 时沸腾汽化，但在减压下，沸点则降低，因此，在浓缩牛奶，肉汤、果汁等食品时，加高温容易变质，故必须采用减压低温方法进行浓缩，因为水的沸点是随着压力增大而升高的，所以在 100°C 下不易煮熟的食品，如动物的筋和骨，豆类等，可以使用压力锅，便能迅速煮熟。如果再增加一个大气压，水的沸点就可升到 $121\sim 123^{\circ}\text{C}$ 。

3. 水的比热较大。水的比热之所以较大，因为当温度升高时，除了分子动能增大需要吸入热量外，同时缔合分子转化为简单分子还要吸入热量。由于水的比热大，使得水温不易随气温的变化而变化。

4. 水的介电常数高。在 20°C 时水的介电常数是80.36，而大多数生物体的干物质的介电常数为 $2.2\sim 4.0$ 。在理论上，任何物质，其水分含量增加1%，介电常数将增加近0.8。由于水的介电常数大，故能促进电解质的电离。

5. 水的溶解能力强。由于水的介电常数大，因此水溶解离子型化合物的能力较强；至于非离子极性化合物如糖类、醇类、醛类、酮类等有机物质亦均可与水形成氢键而溶于水中。即使不溶于水的物质，如脂肪和某些蛋白质，也能在适当的条件下分散在水中形成乳浊液或胶体溶液。关于水和冰的物理常数列于表 1-2。

表1-2 水和冰的一些物理常数

水	温 度						
	0°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C	
蒸气压 (毫米Hg)	4.58	17.53	55.32	149.4	355.2	760.0	
密度 (克/厘米³)	0.9998	0.9982	0.9922	0.9832	0.9718	0.9583	
比热 (卡/克·°C)	1.0074	0.9988	0.9980	0.9992	1.0023	1.0070	
汽化热 (卡/克)	597.2	586.0	574.7	563.3	551.3	538.9	
热传导 (卡/厘米·秒·°C)	0.482	0.515	0.540	0.561	0.576	0.585	
表面张力 (达因/厘米)	76.62	72.75	69.55	66.17	62.60	58.84	
粘度	1.792	1.002	0.653	0.466	0.355	0.282	
折射率	1.3338	1.3330	1.3306	1.3272	1.3230	1.3180	
介电常数	88.0	80.4	73.3	66.7	60.8	55.3	
热膨胀系数 ($\times 10^{-6}$)	—	2.07	3.87	5.38	6.57	—	
冰	温 度						
	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C
蒸气压 (毫米Hg)	4.58	3.01	1.95	1.24	0.77	0.47	0.28
熔化热 (卡/克)	79.8	—	—	—	—	—	—
升华热 (卡/克)	677.8	—	672.3	—	666.7	—	662.3
密度 (克/厘米³)	0.9168	0.9171	0.9175	0.9178	0.9182	0.9185	0.9188
比热 (卡/克·°C)	0.4873	—	0.4770	—	0.4647	—	0.4505
热膨胀系数 $\times 10^{-6}$	9.2	7.1	5.5	4.4	3.9	3.6	3.5
热容量 (焦耳/克)	2.06	—	—	—	1.94	—	—