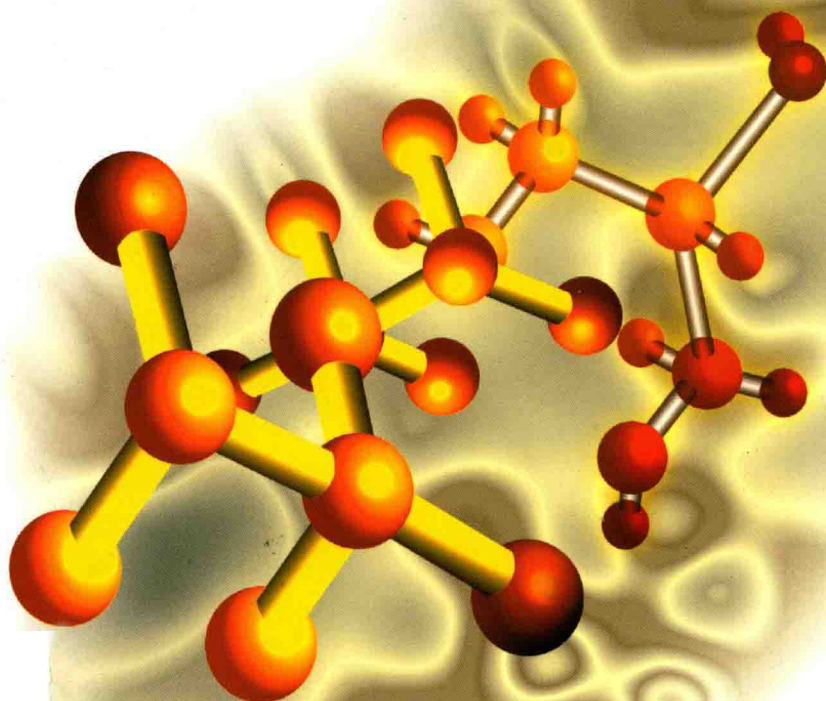


· 高等学校专业教材 ·

全国普通高等学校优秀教材一等奖

食品化学

· 王璋 许时婴 汤坚 编 ·



 中国轻工业出版社

高等学校专业教材

全国普通高等学校优秀教材一等奖

食 品 化 学

王 璋 许时婴 汤 坚 编

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

食品化学/王璋等编. — 北京: 中国轻工业出版社, 2010.1

高等学校专业教材

ISBN 978-7-5019-2554-4

I. 食… II. 王… III. 食品化学 - 高等学校 - 教材

IV. TS 201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 25044 号

责任编辑: 李亦兵 责任终审: 滕炎福 封面设计: 东远先行图文设计公司
版式设计: 赵益东 责任校对: 方 敏 责任监印: 马金路

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2010 年 1 月第 1 版第 14 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23.5

字 数: 558 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-2554-4 定 价: 44.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

91178J1C114ZBW

前 言

食品化学是食品专业的专业基础课程之一。食品化学的内容包括: 食品材料(原料和产品)中主要成分的结构和性质;这些成分在食品加工和保藏过程中产生的物理、化学和生物化学变化;以及食品成分的结构、性质和变化对食品质量和加工性能的影响等。因此, 对于一个食品科学与工程专业的本科生和研究生来说, 必须掌握食品化学的基本知识和研究方法, 才能在食品加工和保藏领域中较好地从事教学、研究、开发、生产和管理方面的工作。

食品化学是食品科学与工程学科中发展很快的一个领域, 在此领域中新的研究方法和成果不断地涌现。因此, 新编的食品化学教科书必须能充分地反映这方面的进展。

鉴于在新的教学计划中专业基础课和专业课程的学时有较大幅度的削减, 同时为了避免与食品工艺课程(或食品加工与保藏课程)在内容上的重复, 本书在编写时没有专设章节讨论各类食品材料的组成和化学, 对这方面内容有兴趣的读者可参阅食品工艺教科书。为了能反映食品化学领域中的最新进展, 本书某些章节的内容在深度和广度上或许稍微超出食品科学与工程专业(本科)食品化学教学大纲的要求, 教师在使用此教材时, 可以指导学生自学这些章节。本书还可以供食品学科和相关学科的教师和研究生, 以及从事食品研究、开发和生产的工程技术人员参考。

参与本书编写的有无锡轻工大学食品学院王璋(第一、二、五、六、十章)、许时婴(第三、四章)和汤坚(第七、八、九章), 全书由王璋主审。无锡轻工大学食品科学专业研究生陈劼、钟芳、吴昊、周红霞、徐良增和曹咏梅协助抄写和绘图, 在此谨表谢意。

由于编者水平有限, 书中难免有错误和不妥之处, 欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 引论	(1)
第一节 食品化学的定义	(1)
第二节 食品化学的历史	(1)
第三节 食品化学在食品科学中的作用和地位	(2)
第四节 食品化学的研究方法	(3)
第二章 水	(7)
第一节 引言	(7)
第二节 水和冰的物理性质	(8)
第三节 水分子	(9)
第四节 水分子的缔合	(9)
第五节 冰的结构	(10)
第六节 水的结构	(12)
第七节 水-溶质相互作用	(13)
第八节 水分活度和相对蒸汽压	(21)
第九节 分子流动性和食品稳定性	(30)
第三章 碳水化合物	(45)
第一节 食品中的碳水化合物	(45)
第二节 单糖	(46)
第三节 低聚糖	(55)
第四节 多糖	(60)
第五节 淀粉	(65)
第六节 纤维素	(71)
第七节 海藻酸盐	(73)
第八节 果胶	(74)
第九节 卡拉胶	(77)
第十节 瓜尔胶与刺槐豆胶	(79)
第十一节 半纤维素	(80)
第十二节 黄原胶	(81)
第十三节 魔芋葡甘露聚糖	(82)
第十四节 阿拉伯胶	(83)
第十五节 膳食纤维	(83)
第四章 脂类	(85)
第一节 引言	(85)

第二节	命名	(85)
第三节	分类与组成	(88)
第四节	结构与物理性质	(89)
第五节	乳状液与乳化剂	(97)
第六节	化学性质	(105)
第五章	蛋白质	(123)
第一节	引言	(123)
第二节	氨基酸的物理化学性质	(124)
第三节	蛋白质的结构	(130)
第四节	蛋白质的变性	(140)
第五节	蛋白质的功能性质	(149)
第六节	蛋白质的营养性质	(173)
第七节	在食品加工中蛋白质的物理、化学和营养变化	(177)
第八节	食品蛋白质	(186)
第六章	酶	(191)
第一节	引言	(191)
第二节	影响酶活力的因素	(200)
第三节	固定化酶	(213)
第四节	食品原料中的内源酶的作用对食品质量的影响	(217)
第五节	作为食品加工的助剂和配料而使用的酶	(226)
第六节	酶在食品分析中的应用	(232)
第七章	维生素与矿物质	(236)
第一节	引言	(236)
第二节	维生素与矿物质推荐允许摄入量与食品中营养素的添加	(236)
第三节	食品中维生素损失的常见原因	(238)
第四节	维生素的生物利用率	(241)
第五节	水溶性维生素	(241)
第六节	油溶性维生素	(260)
第七节	类似维生素的物质	(267)
第八节	矿物质	(268)
第八章	色素与着色剂	(279)
第一节	引言	(279)
第二节	食品中的天然色素	(279)
第三节	我国允许使用的合成食品着色剂	(297)
第四节	国外使用的食品着色剂	(300)
第九章	食品风味	(305)
第一节	引言	(305)
第二节	植物来源食品的风味	(311)

第三节	肉类风味	(321)
第四节	鱼和海产品的风味	(323)
第五节	风味化合物生成途径	(326)
第六节	味觉	(330)
第七节	风味研究的新课题	(339)
第十章	食品添加剂	(340)
第一节	引言	(340)
第二节	酸度调节剂(pH控制剂)	(343)
第三节	防腐剂(抗微生物剂)	(344)
第四节	抗氧化剂	(349)
第五节	无营养甜味剂和低热量甜味剂	(354)
第六节	膨松剂(发酵剂)	(357)
第七节	水分保持剂(保湿剂)	(360)
第八节	螯合剂	(362)
第九节	稳定剂和增稠剂	(364)
第十节	抗结剂	(364)

第一章 引 论

第一节 食品化学的定义

食品化学是食品科学的一个重要部分,它是一门研究食品(包括食品原料)的组成、特性及其产生的化学变化的科学。食品化学与化学、生物化学、生理化学、植物学、动物学和分子生物学有密切的关系。食品化学依赖上述这些学科的知识有效地研究和控制作为人类食品来源的生物物质。有关生物物质所固有的特征和研究它们的方法是食品化学家和生物科学家都感兴趣的。然而,需要指出的是,食品化学家的某些特殊兴趣是不同于生物科学家的。生物科学家的主要兴趣包括在与生命相适应或几乎相适应的环境条件下,生物物质所进行的繁殖、生长和变化。相反,食品化学家关心死的或将要死的生物物质(收获后的植物生理学和宰后的肌肉生理学),而这些生物物质暴露在变化很大的各种环境条件之中。例如,在新鲜水果和蔬菜的保藏、运输和销售过程中,适宜于维持残有的生命过程的条件是食品化学家所关心的问题;而在试图长期保存食品时,也就是在热处理、冷冻、浓缩、脱水、辐照处理和添加化学防腐剂时,食品化学家则主要研究不适宜生命生存的条件和在这些加工和保藏条件下食品(包括食品原料)中各种组分可能发生的物理、化学和生物化学变化,以及这些变化对食品质量的影响。总之,食品化学和生物科学所要研究和解决的问题有一些共同点,然而,食品化学有它自己需要研究和解决的特殊问题,而这些问题对于食品加工和保藏是至关重要的。

第二节 食品化学的历史

食品化学直到20世纪才成为一门独立的学科,它的历史一直是与没有详尽的文献记载的农业化学的历史紧密联系在一起的。因此,完整地介绍食品化学发展的历史是有困难的。

尽管食品化学的起源从某种意义上讲可以追溯到远古时代,然而与食品化学有关的最主要的发现始于18世纪末期。

在1780~1850年期间,一些著名的化学家获得了重要的发现,其中不少是与食品化学有着直接或间接的关系。瑞典人Carl Wilhelmscheeie分离和研究了乳酸的性质(1780年),从柠檬汁(1784年)和醋栗(1785年)中分离出柠檬酸,从苹果中分离出苹果酸(1784年),并且检验了20种普通水果中的柠檬酸和酒石酸。他从植物和动物原料中分离各种新的化合物的工作被认为是在农业和食品化学方面精密分析研究的开端。

法国化学家Antoine Laurent Lavoisier(1743~1794年)首先测定了乙酸的元素成分。法国化学家(Nicolas)Theodore de Saussure(1767~1845年)用灰化的方法测定植物

中矿物质的含量,并首先精确地完成了乙醇的化学分析。

Joseph Louis Gay-Lussac和Louis-Jacques Thenard于1811年发明了干燥植物物质中定量测定碳、氢和氮的百分数的第一个方法。

英国化学家Humphrey Davy在1813年出版了第一本《农业化学原理》。

法国化学家Michel Eugene Chevreul(1786~1889)是有机物质分析的先驱,他在动物脂肪成分上所作的经典研究导致了硬脂酸和油酸的发现和命名。

Justus Vonliebig在1882年将食品分类为含氮的(植物纤维蛋白、白蛋白、酪蛋白以及动物的肉和血)和不含氮的(脂肪、碳水化合物和含酒精饮料)。虽然这种分类现在看来是不完善的,但是它仍然可以区分出各种食品的差别。他于1847年出版了第一本有关食品化学方面的书,书名为《食品化学的研究》。在这本书中叙述了他对肌肉和水溶性成分(肌酸、肌酸酐、肌氨酸、肌苷酸和乳酸等)的研究。

在食品化学发展的过程中出现日益普遍和严重的食品掺杂现象。为了应付这种局面,对检测食品中的杂质提出愈来愈高的要求,这必然大促进分析化学尤其是食品化学的发展。

在19世纪早期,当公众一旦清楚地了解到食品掺假的严重性,要求制止这种状况的呼声就日益增强。除了采取法律措施外,化学家们花费了大量精力来了解食品的天然特性,研究常被当作掺杂物使用的化学制品和检测它们的手段。因此,在1820~1850年期间,化学和食品化学开始在欧洲占据重要地位。在许多大学中建立了化学研究实验室和创立了新的化学研究杂志,这也推动了化学和食品化学的发展。从此,食品化学不断地加快发展的步伐。下面将叙述食品化学的某些进展。

19世纪中期英国的Arthur Hill Hassall将食品的微观分析提高至一个重要地位。他和助手们绘制了一套比较详尽的显示纯净食品材料和掺杂食品材料的微观形象的示意图。

1860年德国的W. Hanneberg和F. Stohman发展了一种用来常规测定食品中主要成分的重要的方法。先将某一样品分为几部分,以便测定其中的水分含量、粗脂肪、灰分和氮,然后将含氮量乘以6.25就得到蛋白质含量。相继地用稀酸和稀碱消化样品,得到的残渣被称为粗纤维。除去蛋白质、脂肪、灰分和粗纤维后的剩余部分称为“无氮提取物”,据信这部分相当于可利用的碳水化合物。

1871年Jean Baptiste Dumas提出一种观点:仅由蛋白质、碳水化合物和脂肪组成的膳食不足以维持人类的生命。

20世纪前半期已发现了大部分基本的食用物质,并对它们的性质作了鉴定,这些物质是维生素、矿物质、脂肪酸和一些氨基酸。

第三节 食品化学在食品科学中的作用和地位

食品科学作为一门学科必须具有明确的基础、目标、所要解决的问题和范围。食品科学的基础是基础科学知识或基本知识,这些基础科学知识是由各个学科的学者搜集和组织。基本知识是由基础和应用两类学科的学者获得和共享的。基本知识包括数学原理、

物理现象的概念和化学结构与反应性。这些基础科学是相互依赖的。

在选择、整理和综合基本知识以解释体系(如组织、单细胞和食品分散体系)的物理、化学和结构性质过程中发展了次级的知识。显然,食品科学是一门次级学科。食品科学利用了有机化学、物理化学、物理和数学等基础知识和生物学、微生物学和生物化学等次级知识。食品科学的目标是获得对食品体系的结构、性质、加工和保藏的综合能力。食品体系当然是没有生命的,然而从植物分离的某些部分和胴体中的肌肉仍然含有酶的活力,它们会损害质量或产生有益的作用。食品科学集中关注食品体系的科学方面。食品体系由无机和有机成分构成,这些成分按特定的结构模式排列并使食品体系具有感官、化学和物理特性,组分排列上的任何改变将导致整个食品体系特征的变化。食品体系可被分为两类:即完整的可食组织(食品植物体系和肌肉体系)和颗粒体系,后者可再分为分散体系和非分散固体(如面粉颗粒和糖结晶)。分散体系可以是简单的单相体系,如糖溶液,或由几相构成,如乳和蛋黄酱。

食品科学可被定义为食品体系的化学、结构、营养、毒理、微生物和感官性质以及食品体系在处理、转化、制作和保藏中发生变化这两方面科学知识的综合。可以这样认为,将食品科学应用于食品加工和保藏的实际就是食品工艺(技术)。从食品学科发展的历史来看,食品科学的前身是食品工艺(食品技术)。由于食品工业的发展,新的技术和设备不断地被应用于食品加工和保藏以及相关学科的渗透,促使食品学科更加注重于食品体系的科学方面,更多地研究食品加工、保藏中的机理问题,从而能更有效地指导食品生产和研制新的食品产品。在这样的背景下,世界主要国家的大学都逐渐建立食品科学系以取代食品工业或食品工艺(技术)系,或采用食品科学与技术 and 食品科学与营养作为食品类系的名称。

食品科学可以被分成几个专门化:

(1) 食品化学 食品组分的化学和物理化学性质,这些组分在食品加工和保藏中的变化,它们的化学分析;

(2) 物理食品学 食品体系的流变和物理性质;

(3) 结构食品学 食品体系的微观和宏观结构;

(4) 环境食品学 微生物的侵入和食品体系的腐败(食品微生物学),食品保护,包括卫生和包装;

(5) 食品加工学 通过物理、化学和微生物方法实现食品转化、制作和保藏的原理。

食品化学或许是食品科学学科中涉及范围最宽的一个专门化,它的内容还包括食品毒理学、食品营养化学以及食品营养价值和毒物的生物检验技术;食品化学还涉及味觉和嗅觉原理。了解食品化学原理和掌握食品化学技术是从事食品科技工作必不可少的条件之一。食品化学已成为大学中食品科学专业或相关专业必修的课程。

第四节 食品化学的研究方法

高质量的食品应具有能代表它们重要特征的性质,在食品配制、加工和贮藏过程中的化学和物理化学变化与这些性质有关;另一方面某些化学和生物化学变化也对食品的

质量和卫生下降有着重要的影响。因此，确定关键的化学和生物化学反应是如何影响食品的质量和安 全，并将这种知识应用于在食品配制、加工和贮藏过程中可能遇到的各种情况是食品化学的基本研究方法。

食品的主要质量特性是颜色、风味、质构和营养价值，表1-1列出了食品的主要质量特性和可能发生的不良变化。

表 1-1 食品中可能发生的不良变化

特 性	不 良 变 化	特 性	不 良 变 化
颜色	变黑 退色 产生其他不正常颜色	质构	溶解性丧失 分散性丧失 持水能力消失 硬化 软化
风味	产生恶臭 产生酸败味 产生烧煮的或焦糖的风味 产生其他异味	营养价值	维生素损失或降解 矿物质损失或降解 蛋白质损失或降解 脂类损失或降解 其他具有生理功能的物质的损失或降解

许多化学反应和生物化学反应会导致食品变质或损害食品的安全，这些反应中较重要的是非酶促褐变、酶促褐变、脂类水解、脂类氧化、蛋白质变性、蛋白质交联、蛋白质水解、低聚糖和多糖的水解、多糖的合成、糖酵解和天然色素的降解。上述各类反应的产物可能直接导致食品质量下降，也可能进一步引起其他反应损害食品质量和安全。例如，脂类经水解产生的游离脂肪酸会形成不良风味，而游离脂肪酸比甘油三酸酯更易发生氧化反应，而产生酸败味。此外，脂类氧化的中间产物会破坏一些重要营养成分，如氨基酸和维生素的结构。

食品变质通常包括一系列基本变化，每种变化产生一组结果，这些结果最终又作为列于表1-1的一个或多个宏观变化显露出来，表1-2列出了这类变化的例子。应注意到，某种质量特性的改变可以是几种不同基本变化的结果。

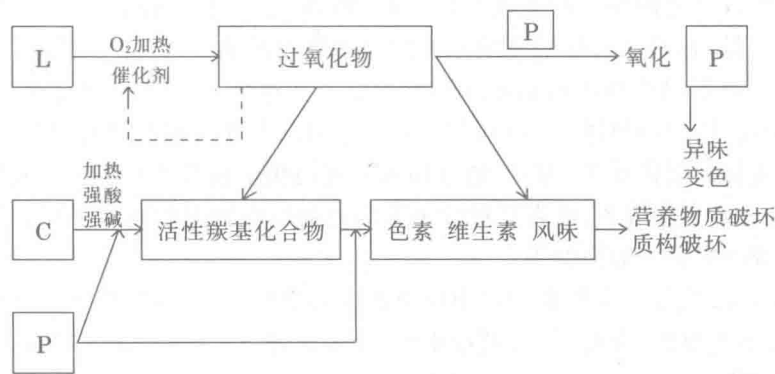
表 1-2 食品变质的原因和结果

一些基本变化	结 果	质量的变化	一些基本变化	结 果	质量的变化
脂类的水解	游离脂肪酸与蛋白质的反应	质构 风味 营养价值	绿色蔬菜的加热	细胞壁和膜的完整性受损，释放酸和酶	质构 风味 色泽 营养价值
多糖的水解	糖与蛋白质反应	质构 风味 色泽 营养价值	肌肉组织的加热	蛋白质变性和聚集、酶失活	质构 风味 色泽 营养价值
水果的破损	细胞破裂、酶被释放与氧接触	质构 风味 色泽 营养价值			

可以从两方面应用表1-2。按照从左到右的方向，我们可以研究某种特定的基本变化及其产生的结果，并能由此预测可能的宏观变化。按照从右向左的方向，我们可以确定

某一种被观察到的质量变化之所以产生的可能的原因。具体的步骤是,首先考虑所有可能涉及的基本变化,然后通过适当的化学试验将导致质量变化的关键的基本变化确定下来。

在食品加工和保藏过程中主要成分之间的相互作用对于食品质量有着重要的影响。下面的流程总结了食品主要成分所能产生的反应及相互作用。



L—脂类库(三酰基甘油、脂肪酸和磷) C—碳水化合物库(多糖、糖和有机酸)
P—蛋白质库(蛋白质、肽、氨基酸和其他含氮化合物)

前面介绍了优质、安全食品的特性,导致食品变质的重要化学反应及它们两者之间的关系,下面将考虑如何应用这些知识解决食品加工和保藏过程中遇到的实际问题。

食品加工和保藏过程中重要的可变因素有温度(T)、时间(t)、温度变化的速度(dT/dt)、pH、产品的成分、气相的成分和水分活度(A_w)。温度也许是这些因素中最重要,这是因为它对食品加工和保藏过程中可能发生的所有类型物理、化学和生物化学反应都有广泛的影响。温度对单个反应的影响可用Arrhenius关系式或 $k=Ae^{-\Delta E/RT}$ 表示,当绘制 $\log k-1/T$ 图时,符合Arrhenius关系式的数据产生一条直线。在某个中间温度范围内,食品中的反应一般符合Arrhenius关系式,但是在温度过高或过低时,会偏离这些关系。因此,只有在一定的经过实验测试的温度范围内,才能将Arrhenius关系式应用于食品体系。下列一些变化可以导致食品体系偏离Arrhenius关系式,其中的大多数是由温度过高或过低引起的:①酶失去活性;②存在的竞争性反应使反应路线改变或受影响;③体系的物理状态可能发生变化;④一个或几个反应物可能短缺。

第二个可变因素是时间,必须将它和温度随时间变化的速度一起考虑。在食品贮藏期间常常需要知道在某一质量水平上食品能保存多久。因此,人们关心的是,在一个指定的贮藏期内各个化学或微生物变化发生的时间,以及这些变化按何种方式结合起来决定了产品的具体贮藏寿命。

时间因素对同时进行的反应的相对重要性也有重要的影响。例如,脂类氧化和非酶促褐变都能引起某一种食品的变质,而褐变反应的产物恰恰是抗氧化剂;如果褐变反应在氧化反应之前或同时发生,那么这两个反应的相互作用对于食品的质量会产生重要的影响。

另外,pH也是一个可变因素,pH会影响许多化学反应和酶催化反应的速度。为了充

分地利用酶的作用实现生物转化生产新的食品产品,需要使酶反应在一个最适宜的pH范围内进行。另一方面,为了有效地抑制微生物生长和酶作用,通常需要采用极高或极低的pH,然而,这些条件能加速酸或碱的催化反应。有时,pH较小的改变可能导致食品质量的极度变化,例如豆腐的凝结和果胶凝胶的形成。

加工产品的组成是很重要的,这是因为它决定了能参与化学变化的反应物。原料的成分和成品的成分之间存在的关系尤其重要。例如:①收获之后处理水果和蔬菜的方式会影响糖的含量,而这又会影响在脱水或深度油炸时的褐变程度;②处理屠宰后动物组织的方法会影响蛋白质的水解和ATP降解的程度和速度,而这些又会影响到贮存寿命、保水性、坚韧度、风味和色泽;③原料的掺和可能引起意外的相互作用。例如,加盐量的不同可以加速或抑制氧化作用。而且,通过加入许可的化学制品能控制加工成品的成分,例如酸化剂、螯合剂或氧化剂;或者通过除去不需要的反应物来控制加工食品的成分,例如从脱水蛋清蛋白中除去葡萄糖等。

水分活度 A_w 也是一个控制食品中反应速度的重要可变因素。许多报道指出,水分活度在酶反应、脂类氧化、非酶褐变、蔗糖水解、叶绿素降解、花色苷降解和许多其他反应中是一个重要因素。在水分活度低于相当于中等水分食品的水分活度 A_w 范围(0.75~0.85)时,多数反应倾向于减慢速度,这主要是由于水相减少后溶剂的容量降低。脂类的氧化以及相关的次级作用,如类胡萝卜素脱色,不符合此规则;这就是说,在水分活度低限,这些反应加快了速度。

食品化学是食品科学学科中发展很快的一个领域。近几十年来,在食品加工和贮藏过程中引入了大量的高新技术,如微胶囊技术、膜分离技术、超临界提取技术、新灭菌技术、复合包装材料、微波技术、超微粉碎技术、可食用膜技术等。这些技术推动了食品化学的发展,也对食品化学的研究方法提出了更高的要求。例如,在微胶囊技术中,壁材(Wall materials)中各个组分的结构和性质,各组分之间的相互作用以及它们对微胶囊产品超微结构的影响,都是食品化学研究的课题;这就需要应用更先进的分析和测试手段,从宏观、分子水平和超微结构3个方面着手将这项高新技术正确地应用于食品工业。

参 考 文 献

1. Martin S. Peterson and Arnold H. Johnson. Encyclopedia of Food Science. AVI Westport, 1978
2. Owen R. Fennema. Food Chemistry. Chapter 1 3rd ed. New York: Marcel Dekker, 1996

第二章 水

第一节 引言

生物体系的基本成分包括蛋白质、碳水化合物、脂质、核酸、维生素、矿物质和水。虽然对于活生物体的生存这些物质都是基本的，然而水是最普遍存在的组分，它往往占植物、动物质量或食品质量的50%~90%(表2-1)。由于水为必需的生物化学反应提供一个物理环境，因此它对所有已知的生命形式是绝对重要的。水能作为代谢所需的营养成分

表 2-1 主要食品的水分含量

食 品	水分含量/%	食 品	水分含量/%
乳制品		蛋黄酱	15
奶油	15	纯油和脂肪	0
乳酪(广宽范围的水分含量取决于品种)		沙拉酱	40
切达乳酪	40	谷物和谷物产品	
酪农乳酪	75	早餐谷物	<4
鲜奶油	60~70	通心粉	9
乳粉	4	磨成粉的谷物产品	
液体乳制品(全脂乳、脱脂乳、添加奶油的乳)	87~91	面粉、粗燕麦粉、粗面粉	10~13
冰淇淋和冰糕	65	全粒谷物	10~12
水果和蔬菜		焙烤谷物产品	
鳄梨	65	面包	35~45
豆(青刀豆、利马豆)	67	饼干和椒盐卷饼	5~8
浆果	81~90	馅饼	43~59
柑橘	86~89	面包卷	28
黄瓜	96	坚果肉	
干水果	≤25	成熟生坚果	3~5
新鲜水果(可食部分)	90	新鲜栗子	53
新鲜水果、果汁和果蜜	85~93	肉、水产和家禽产品	
番石榴	81	动物肉和水产(广宽范围取决于脂肪含量和样本的年龄)	50~85
豆类(干)	10~12	蛋	
甜瓜	92~94	新鲜蛋	74
成熟橄榄	72~75	干蛋	5
马铃薯		家禽肉	
白皮马铃薯	78	鹅	50
红薯	69	鸡	75
主根		糖和以糖为基本原料的产品	
小萝卜	93	蜂蜜和其他糖浆	20~40
芹菜、萝卜	79	果冻、果酱和柑果果冻	<35
高脂食品		白糖(蔗糖或甜菜糖)、硬糖、	<1
人造奶油	15	纯巧克力	

和产生的废物的输送介质,它促进了呼吸气体氧和二氧化碳的输送。

可以这样认为,在维持活生物体所需的单个因子中水是最重要的;而了解水在食品中存在的形式是掌握食品加工和保藏技术原理的基础。天然、加工或制造食品的水分含量决定着市场上食品的特性、质构、可口程度、消费者可接受性、品质管理水平和保藏期,因而它是许多食品的法定标准。

水在食品中的存在形式取决于天然食品组织或加工食品中的化学成分和这些成分的物理状态。水能广泛地分布在整个食品中形成胶体体系。它可以作为糖、盐、有机酸、酚和亲水性大分子碳水化合物、胶或蛋白质的溶剂。

在食品加工过程中采用的大多数单元操作都有一个目标,即以某种方式或者从食品材料中除去水(干燥和浓缩),或者将水转变成非活性成分(冷冻),或者将水固定在凝胶、结构食品和低(或中等)水分食品中,于是提高了食品材料的稳定性。然而,将水回复到它的原来状态的所有尝试(复水、解冻)都没有取得完全的成功。因此,有足够的理由对水和冰作仔细的研究。

第二节 水和冰的物理性质

表2-2列出了水的物理性质。同那些与水具有相似的相对分子质量和原子成分的分
子(CH_4 、 NH_3 、 HF 、 H_2S 、 H_2Se 、 H_2Te)比较,可以判断水是否具有正常的物理性质。从此比较中可以看出:水在异常高的温度下熔化和沸腾;水具有异常高的表面张力、介电常数、热容和相转变热(熔化热、蒸发热和升华热);水具有较低的密度;水在结晶时显示异常的膨胀特性;与上述那些奇特的性质形成对照,水具有正常的粘度。

表 2-2 水和冰的物理性质

性 质	数 值			
相对分子质量	18.0153			
相转变性质				
熔点(0.1MPa)	0.000℃			
沸点(0.1MPa)	100.000℃			
临界温度	373.99℃			
临界压力	22.064MPa(218.6atm)			
三相点	0.01℃和611.73Pa(4.589mmHg)			
熔化焓(0℃)	6.012kJ(1.436kcal)/mol			
蒸发焓(100℃)	40.657kJ(9.711kcal)/mol			
升华焓(0℃)	50.91kJ(12.16kcal)/mol			
其 他 性 质	温 度			
	20℃	0℃	0℃(冰)	-20℃(冰)
密度/(g/cm ³)	0.99821	0.99984	0.9168	0.9193
粘度/(Pa·s)	1.002×10 ⁻³	1.793×10 ⁻³	—	—
表面张力(空气-水界面)/(N/m)	72.75×10 ⁻³	75.64×10 ⁻³	—	—
蒸汽压/kPa	2.3388	0.6113	0.6113	0.103
比热容/[J/(g·K)]	4.1818	4.2176	2.1009	1.9544
热导率(液体)/[W/(m·K)]	0.5984	0.5610	2.240	2.433
热扩散/(m ² /s)	1.4×10 ⁻⁷	1.3×10 ⁻⁷	11.7×10 ⁻⁷	11.8×10 ⁻⁷
介电常数	80.20	87.90	~90	~98

第三节 水分子

水分子中氧原子具有4个杂化的 sp^3 轨道,两个氢原子靠近氧原子的两个 sp^3 成键轨道形成了两个共价 σ 键,每一个具有离解能 460kJ/mol 。由于氧具有高电负性,因此, O—H 共价键具有部分(40%)离子特征。水分子的形状、键角和原子半径可见图2-1。分离的水分子(蒸汽状态)的键角为 104.5° ,此值接近于完美四面体角 $109^\circ28'$ 。 O—H 核间距离为 0.096nm ,氧和氢原子的范德华半径分别为 0.14nm 和 0.12nm 。必须指出,纯水不仅含有普通的 HOH 分子,而且含有许多其他微量成分。除了普通的 ^{16}O 和 ^1H ,还存在着 ^{17}O 、 ^{18}O 、 ^2H (氘)和 ^3H (氚),形成了18种 HOH 分子的同位素变异体。水中也含有离子,像氢离子(以 H_3O^+ 存在)和羟基离子等其他同位素变异体。因此,水含有33种以上的 HOH 的化学变异体,而这些变异体仅占极微小的数量。

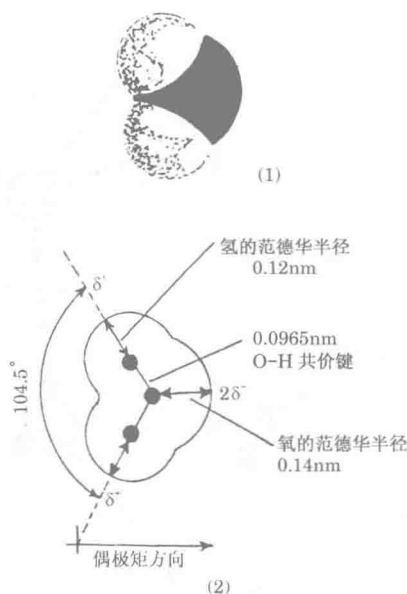


图 2-1 水的分子结构
(1) 分子形状 (2) 键角和原子半径

第四节 水分子的缔合

HOH 分子呈V字样的形状,同时 O—H 键具有极性,这就造成不对称的电荷分布和纯水在蒸汽状态时具有 1.84D 的偶极矩。水分子的极性产生了分子间吸引力,因而水分子具有强烈的缔合倾向。然而,水的异常大的分子间吸引力不完全是由于它具有大的偶极矩,这是因为偶极矩并没有指出水分子中电荷的暴露程度和水分子的几何形状,显然这对于水分子的缔合强度具有重要的影响。根据水分子参与三维空间多重氢键的能力可以充分地解释存在于分子间的大吸引力。与共价键(平均键能约 335kJ/mol)相比,氢键是微弱的($2\sim40\text{kJ/mol}$),并且具有较大和变动的长度。氢键的离解能约为 $13\sim25\text{kJ/mol}$ 。由于每个水分子具有相等数目的氢键供体和受体部位,它们可以形成三维氢键,因此,每个水分子最多能与其他4个水分子形成氢键,形成四面体结构(图2-2)。与同样能形成氢键的分子(例如 NH_3 、 HF)相比较,存在于水分子中的吸引力是异乎寻常地高。

水形成三维氢键的能力可以用来解释它的一些不寻常的性质。这些性质是大热容值、高熔点、高沸点、高表面张力和高相转变热焓,它们都关系到打破分子间氢键所需的额外能量。水的介电常数也受氢键影响。虽然水分子是一个偶极,然而远远不足以解释水的高介电常数。通过氢键结合的水分子簇产生多分子偶极,有效地提高了水的介电常数。

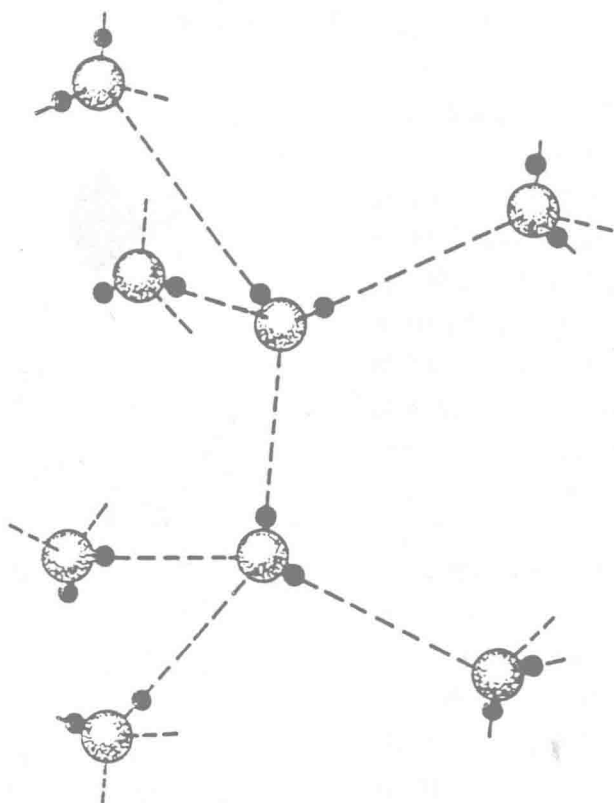


图 2-2 水分子通过氢键形成四面体构型
大圈和小圈分别代表氧原子和氢原子,虚线代表氢键

第五节 冰 的 结 构

由于对冰的结构的了解远远超过对水的结构的了解,因此先讨论冰的结构。

水分子通过四面体之间的作用力结晶,形成一种低密度的结构,这种结构已被准确地阐明。在冰中O—O核间最相邻的距离是0.276nm, O—O—O键角约为 109° ,它非常接近完美的四面体角 $109^\circ 28'$ (图2-3)。在此结构中每一个水分子能同其他4个水分子缔合(配位数4)。在图2-3的晶格单元中,可以清楚地看到水分子W和与它最接近的4个水分子1、2、3和W'。

当几种晶格单元结合在一起并从顶部(沿着C轴向下)观察时,冰的六面体对称就很清楚(图2-4)。分子W和与它最相邻的4个分子(其中1、2和3是可见的,而第四个分子位于纸平面下和正好处在分子W下面)形成了明显的四面体结构。当从三维观察图2-4(1)时就得到图2-4(2),可以明显地看到两平面的分子(由空心 and 实心的圆组成)。这两个平面是平行和非常接近的,冰在压力下滑动或流动时它们作为一个单元运动,类似于冰川。此类平面对构成了冰的“基本平面”。数个基本平面堆积起来就形成扩大的冰结构(图2-5)。图2-5是3个基本平面结合形成的结构。沿着C轴向下观察到如图2-c5所示的式样,这表明基