



华夏英才基金学术文库

赵新淮 徐红华 姜毓君 编著

食品蛋白质

——结构、性质与功能



科学出版社

www.sciencep.com



华夏英才基金学术文库

食品蛋白质

——结构、性质与功能

赵新淮 徐红华 姜毓君 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书分为三个部分共 15 章,系统地介绍了食品蛋白质的基本理论知识。第一部分通过对蛋白质化学基础知识的介绍,阐述了蛋白质性质的基本方面以及相关的分离、分析等技术,同时简要介绍蛋白质工程技术。第二部分介绍常见的动植物源食品蛋白质的一般组成、结构与性质,及其在食品加工中的可利用性,同时简要介绍生物活性蛋白与活性肽。第三部分重点介绍蛋白质的功能性质、食品加工中的化学变化和蛋白质结构的化学-生物修饰技术,总结主要变化对食品品质与安全性方面的影响作用,以及对蛋白质功能性质、蛋白质化学变化的调控与应用。

本书内容完整、理论性强、适用性好、图表数据丰富,可供硕士研究生、博士研究生学习参考,以及从事食品科学研究(尤其是从事食品蛋白质研究)的科研工作者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

食品蛋白质:结构、性质与功能/赵新淮等编著. —北京:科学出版社, 2009

(华夏英才基金学术文库)

ISBN 978-7-03-023234-2

I. 食… II. 赵… III. 食品化学-蛋白质-研究 IV. TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 163228 号

责任编辑:李秀伟 李晶晶/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 4 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 4 月第一次印刷 印张:32 插页:1

印数:1—2 000 字数:734 000

定价:85.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<长虹>)

序

蛋白质是与生命以及各种形式的生命活动紧密联系在一起的有机物质，机体中每一个细胞和所有重要组成部分都含有蛋白质。蛋白质与生物体的结构和性状有关，参与基因表达的调节，以及细胞中氧化还原、电子传递、神经传递乃至学习、记忆等多种生命活动过程。在细胞和生物体内的各种生物化学反应中，发挥催化作用的酶类主要也是蛋白质。许多重要的激素如胰岛素、胸腺激素等也都是蛋白质。随着人类基因组计划的实施和推进，生命科学研究进入后基因组时代，其主要研究内容包括结构基因组学和蛋白质组学。蛋白质是生理功能的执行者，也是生命现象的直接体现者，对蛋白质结构和功能的深入研究，将能够更直接地阐明生命的本质。

蛋白质也是食品的主要组成成分。食品蛋白质通过为生物体提供必需的氨基酸，为生物的成长、生命的维持提供物质基础。食品蛋白质还是决定食品品质的要素，蛋白质的结构、排列、组装或与其他成分的相互作用，影响食品的存在形式与质地特征。食品蛋白质在食品科学中的重要性是有目共睹的。早在 20 世纪 80 年代初期，东北农业大学在国内率先设立动物性食品科学硕士授权点，并继而设立博士授权点，这一举动已经充分凸显作为动物性食品主要成分的蛋白质在食品科学中的重要性。三十年春华秋实，该专业培养出一大批专业人才，教学、科研积淀丰富，学术成就斐然。目前，食品蛋白质领域的研究人员已经在东北农业大学形成优势研究群体，他们承担了多项国家级、省级重大科研任务，一批硕士、博士研究生的研究工作与食品蛋白质紧密相连。

赵新淮教授深知蛋白质研究在食品科学发展以及人才培养中的重要性，于 20 世纪 90 年代初在东北农业大学为硕士研究生首次开设了专业课程“食品蛋白质”，为食品蛋白质方向硕士研究生的培养工作提供了有力的支持。同时，他在多年的教学活动中博观而约取、厚积而薄发，有志于编写《食品蛋白质——结构、性质与功能》一书。赵新淮教授的这一意愿得到学校以及徐红华教授、姜毓君教授两位同仁的支持与协作，并得到华夏英才基金、科学出版社的大力支持，使得这本《食品蛋白质——结构、性质与功能》最终得以成稿。

该书内容完整、思路清晰、论据充分、文献齐全，首先概述了食品蛋白质的基础知识，进而详细介绍常见食品蛋白质及其性质，最后重点介绍食品蛋白质在食品加工过程中的变化、修饰等问题。全书充分体现了蛋白质在食品科学中的重要性，很好地反映了当代食品蛋白质研究的现状与趋势。愿读者通过自己的阅读、理解、思考，从中获得服务社会、造福人类的有用知识和信息，共同推动我国食品蛋白质和食品科学研究的发展，也祝愿编著者的科学研究工作百尺竿头，更进一步。

是为序。

东北农业大学校长

李庆章教授

2009 年初春于哈尔滨市静斋

前 言

蛋白质在生命活动中发挥重要作用，是生命活动不可能缺少的物质。食品蛋白质通过提供必需的氨基酸，为生命的成长和生命的维持提供必要的物质基础。同时，食品蛋白质还是食品的重要构成部分，蛋白质分子的结构、排列、组装或者与其他成分的相互作用，影响着食品的存在形式与质地特征，成为食品品质最重要的影响因素之一。

食品蛋白质来源丰富。自然界的动物、植物为人类提供了各种各样的蛋白质以满足人类的营养需求，同时，还赋予加工食品以重要的品质特征。食品蛋白质的重要性，是其他食品成分无法替代的。食品蛋白质对食品的重要性，及其性质和变化上的多样性和复杂性，更是引起了国外科学家的兴趣和高度重视。食品蛋白质作为食品化学的重要分支，对其进行的科研超过了其他的任何一种食品成分。同时，基于以前的研究成果，有不少的专著相继出版，进一步促进了后来者对食品蛋白质的关注。本书撰写过程中采用的研究论文、专著，就是这些前辈、同行们辛勤工作的最好证明。由于书稿的篇幅限制，还有许多论著未能在参考文献中一一列出。在此，特向这些前辈、同行致以崇高的敬意。

20 世纪 90 年代初，我在就职单位首次开设硕士研究生专业课程“食品蛋白质”，深知蛋白质作为一类食品成分的特殊性及其在食品科学中的重要性；更有感于国内少有一相关论著，其后萌发收集相关资料、自己编著《食品蛋白质——结构、性质与功能》一书的念头，并得到两位同仁徐红华教授、姜毓君教授的热心支持和参与。经过十多年的精心准备、筹划，在较系统地制订了目录计划后，三人承担了相应的编写任务，将原来的课程讲义进行扩充、丰富，然后进行汇总与修改，最终形成《食品蛋白质——结构、性质与功能》样稿，并在科学出版社的大力支持下计划出版。

作者的意图是从化学的角度出发，编写一本理论性强、适用性好、有特色的著作。因此，本书由内容相对独立的三大部分组成。在第一部分中，通过对蛋白质化学基础知识的铺垫性介绍，展示蛋白质性质以及相关的一些重要的分离、分析、评价技术等基本内容，同时简要介绍蛋白质工程技术的有关内容。在第二部分中，通过逐一介绍常见的各种食品蛋白质，使读者能够系统地了解食品蛋白质的一般性质，更好地理解食品蛋白质的加工应用性。最后，作为本书的重点，第三部分系统地介绍蛋白质的功能性质、食品加工中的化学变化和蛋白质结构的修饰技术，总结主要变化对食品品质与安全性方面的影响，有意强化功能性质和变化的调控与应用。在内容撰写过程中，强化与其他学科的联系，适当地涉及食品营养学、毒理学等内容，介绍一些重要的新学科、新技术、新手段（如生物技术、微观结构、质地等）。此外，为了便于读者的理解和分析，作者收集了相当数量的图表数据，为相关内容提供最直接的科学证据。

在本书的编写过程中，赵新淮承担本书的第 1 章、第 3 章中的一部分（3.3.5 和 3.4）、第 5 章的大部分、第 14 章和第 15 章的编写工作。徐红华教授承担第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章的一部分（11.2）、第 12 章和第 13 章的编写工作。姜毓君教授

承担了第2章、第3章中的大部分、第4章、第5章的一部分(5.2)、第6章和第7章的编写工作。全书最后由赵新淮进行统稿、修订。

在“十一五”期间的科学研究中,我国科技界强化了在食品蛋白质方面的基础性研究。国家高技术发展计划(“863”)中,现代食品生物技术专题已经立题的科研项目就是最好的证明。基于过去对食品蛋白质的研究基础,我们有幸承担其中的两个项目(2006AA10Z324、2008AA10Z311)的研究工作,一些研究工作结果已体现于本书的相关内容当中。在此,特以本书的出版来衷心感谢同行们对我们工作的认可与支持,衷心感谢国家科技部对我们科研工作的支持,我们将以更勤奋的工作来回报这些关心与帮助。

感谢就职单位的领导、同仁为本书出版提供的支持与鼓励。感谢两位同仁的热心参与和辛勤的工作。最后,衷心感谢华夏英才基金对本书出版给予的资助。

赵新淮

2009年春于哈尔滨

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 蛋白质——生命的基础	1
1.2 食品体系的蛋白质	2
1.2.1 来源、分类与性质	2
1.2.2 在食品体系中的作用与功能性质	3

第一部分 食品蛋白质基础

第 2 章 氨基酸	11
2.1 氨基酸的结构与构型	11
2.1.1 氨基酸的结构	11
2.1.2 氨基酸的构型	13
2.2 氨基酸的理化性质	14
2.2.1 氨基酸的物理性质	14
2.2.2 氨基酸的化学性质	15
2.3 氨基酸的分离与制备	23
2.3.1 氨基酸的分离	23
2.3.2 氨基酸的制备	25
第 3 章 蛋白质	27
3.1 蛋白质的组成与分类	27
3.1.1 组成	27
3.1.2 分类	28
3.2 蛋白质的结构	29
3.2.1 一级结构	30
3.2.2 二级结构	34
3.2.3 超二级结构和结构域	40
3.2.4 球形蛋白质与三级结构	43
3.2.5 亚基缔合和四级结构	48
3.2.6 稳定蛋白质结构的作用力	51
3.2.7 几种重要的食品蛋白质的结构特征	51
3.3 蛋白质的性质	52
3.3.1 水合作用和透析	52
3.3.2 两性性质和等电点	52

3.3.3 变性与复性	53
3.3.4 沉淀作用	53
3.3.5 蛋白质的疏水性	54
3.4 蛋白质的生理功能与营养	61
3.4.1 蛋白质的生理功能	61
3.4.2 蛋白质的消化与吸收	62
3.4.3 必需氨基酸和限制氨基酸	63
3.4.4 蛋白质营养价值	65
第4章 蛋白质分离纯化技术	70
4.1 沉淀分离	70
4.1.1 沉淀的概念	70
4.1.2 盐析沉淀法	71
4.1.3 有机溶剂沉淀法	74
4.1.4 等电点沉淀法	75
4.1.5 其他沉淀法	76
4.2 蛋白质的膜分离技术	76
4.2.1 透析	77
4.2.2 超滤	79
4.2.3 电渗析	81
4.3 电泳	83
4.3.1 聚丙烯酰胺凝胶电泳	83
4.3.2 SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳	84
4.3.3 非变性聚丙烯酰胺凝胶电泳	85
4.3.4 蛋白质等电聚焦	86
4.3.5 双向凝胶电泳	87
4.3.6 毛细管电泳	87
4.3.7 电泳后的蛋白质检测	89
4.4 蛋白质的色谱分离技术	89
4.4.1 凝胶柱色谱	91
4.4.2 离子交换柱色谱	93
第5章 蛋白质分析	97
5.1 蛋白质及氨基酸的定性分析和定量分析	97
5.1.1 氨基酸的定性分析与定量分析	97
5.1.2 蛋白质的定性分析	102
5.1.3 蛋白质的定量分析	105
5.1.4 蛋白质生物活性评价及免疫学评价	113
5.1.5 放射性核素标记	118
5.2 氨基酸序列分析	118
5.2.1 N端序列分析	119

5.2.2 C端序列分析	121
5.3 个别氨基酸和化学键的分析	122
5.3.1 活性赖氨酸测定	122
5.3.2 单一氨基酸的分析	123
5.3.3 二硫键分析	124
5.3.4 蛋白质水解度测定	126
第6章 蛋白质的构象与功能	129
6.1 蛋白质构象分析技术	129
6.1.1 X射线衍射分析法	129
6.1.2 小角中子衍射法	131
6.1.3 荧光光谱法	131
6.1.4 核磁共振波谱法	134
6.1.5 圆二色性光谱法	136
6.1.6 紫外差吸收法	139
6.1.7 氢放射性核素交换法	142
6.1.8 激光拉曼光谱法	144
6.2 蛋白质构象与功能性	148
6.2.1 免疫球蛋白的结构与功能	148
6.2.2 肌红蛋白的结构与功能	150
第7章 蛋白质工程	156
7.1 蛋白质合成与表达	156
7.1.1 蛋白质的生物合成	156
7.1.2 蛋白质的定位与导向	166
7.1.3 重组蛋白质的表达	172
7.2 蛋白质工程概述	174
7.2.1 研究的主要内容	175
7.2.2 蛋白质工程基本步骤	176
7.2.3 蛋白质改造应用	176
7.2.4 蛋白质工程的进展和前景	178
 第二部分 重要的食品蛋白质	
第8章 动物源蛋白	183
8.1 乳蛋白	183
8.1.1 酪蛋白	184
8.1.2 酪蛋白胶束	191
8.1.3 乳清蛋白	194
8.1.4 乳蛋白的分离及应用	200
8.2 卵蛋白	203
8.2.1 卵的化学组成	203

8.2.2 卵白的蛋白质组成及特性·····	203
8.2.3 卵黄蛋白·····	208
8.2.4 过敏原蛋白·····	212
8.3 肉类蛋白·····	212
8.3.1 肌肉蛋白的主要组成及结构特性·····	214
8.3.2 肉的嫩化·····	216
8.3.3 凝胶性·····	218
8.3.4 肉的保水性·····	220
第9章 植物源蛋白 ·····	222
9.1 大豆蛋白·····	222
9.1.1 大豆蛋白的组成·····	222
9.1.2 7S蛋白和11S蛋白·····	224
9.1.3 蛋白酶抑制物·····	228
9.1.4 大豆蛋白的加工及应用·····	228
9.1.5 大豆蛋白的分级提取·····	233
9.2 谷物蛋白·····	234
9.2.1 谷物及谷物蛋白的化学组成·····	234
9.2.2 小麦蛋白·····	235
9.2.3 玉米蛋白·····	239
9.2.4 大米蛋白·····	240
9.3 其他油籽蛋白·····	242
9.3.1 花生蛋白·····	243
9.3.2 菜籽蛋白·····	244
9.3.3 芝麻蛋白·····	245
第10章 其他食品蛋白 ·····	247
10.1 单细胞蛋白·····	247
10.1.1 单细胞蛋白的种类·····	248
10.1.2 单细胞蛋白的特点·····	250
10.1.3 单细胞蛋白的提取·····	250
10.2 螺旋藻蛋白·····	251
10.3 叶蛋白·····	253
10.3.1 叶蛋白的组成及其营养特性·····	253
10.3.2 叶蛋白的功能特性·····	254
10.4 食用菌蛋白·····	255
第11章 生物活性蛋白与活性肽 ·····	257
11.1 生物活性蛋白·····	257
11.1.1 溶菌酶·····	257
11.1.2 乳过氧化物酶·····	259
11.1.3 免疫球蛋白·····	261

11.1.4 乳铁蛋白	265
11.2 生物活性肽	270
11.2.1 ACE 抑制肽	270
11.2.2 抗氧化肽	279
11.2.3 抗菌肽	280
11.2.4 酪蛋白磷酸肽	284
11.2.5 其他活性肽	286
11.2.6 肽的自组装与生物活性	288
11.3 食品工业用酶	291
11.3.1 蛋白酶	294
11.3.2 糖酶	298
11.3.3 其他食品工业用酶	301
第三部分 蛋白质的功能性质与蛋白质加工化学	
第 12 章 蛋白质的功能性质	307
12.1 蛋白质的结构-功能相关性	308
12.1.1 氨基酸组成与构-效关系	308
12.1.2 二级结构与功能的关系	309
12.1.3 空间构象与功能特性	310
12.1.4 功能性质与其他物化指标之间的关系	310
12.2 蛋白质的水合与溶解	311
12.2.1 水合	311
12.2.2 溶解性	313
12.3 蛋白质的胶凝与组织化	316
12.3.1 胶凝作用	316
12.3.2 组织化	319
12.4 蛋白质的表面性质	322
12.4.1 界面上蛋白质的构象变化	322
12.4.2 乳化性质	325
12.4.3 发泡性质	329
12.5 蛋白质-风味物质相互作用	336
12.6 蛋白质-多糖相互作用	338
12.6.1 热力学不相容性	339
12.6.2 静电复合物	340
12.6.3 共价接合物	341
第 13 章 重要蛋白质的功能特性	343
13.1 乳蛋白的功能特性	343
13.1.1 乳蛋白构象的稳定性	344
13.1.2 乳蛋白的胶凝性	349

13.1.3 酪蛋白的乳化性	354
13.2 胶原蛋白的特性	355
13.2.1 胶原的化学组成及分类	356
13.2.2 胶原蛋白的结构特性	358
13.2.3 胶原蛋白的功能作用	362
13.3 卵蛋白的特性	365
13.3.1 卵蛋白的胶凝性	365
13.3.2 卵蛋白的发泡性	366
13.4 大豆蛋白的特性	368
13.4.1 溶解性	369
13.4.2 水合性	370
13.4.3 乳化性	371
13.4.4 发泡性	371
13.4.5 胶凝性和黏度	373
13.4.6 7S 球蛋白-11S 球蛋白比例与功能性	375
13.5 谷蛋白的特性	377
13.5.1 面团的结构特性	377
13.5.2 麦谷蛋白组成与功能特性	379
13.5.3 面筋蛋白组成比例与谷蛋白聚合体	380
第 14 章 食品加工中蛋白质的变化	381
14.1 蛋白质的变性	381
14.1.1 蛋白质变性的化学机制	381
14.1.2 变性的热力学与动力学	383
14.1.3 蛋白质变性的一般方法	385
14.2 美拉德反应	393
14.2.1 美拉德其人与美拉德反应	393
14.2.2 美拉德反应机制与动力学	395
14.2.3 美拉德反应对食品品质影响与热加工强度标识物	404
14.2.4 美拉德褐变反应的控制与应用	409
14.3 交联反应	412
14.3.1 赖氨酸-丙氨酸残基化合物的形成	413
14.3.2 蛋白质的酶促交联	418
14.3.3 其他的交联反应	421
14.4 蛋白质水解反应与食品的品质	423
14.4.1 蛋白质的水解概述	423
14.4.2 蛋白质水解与发酵食品风味	426
14.4.3 蛋白质水解与食品质地	427
14.4.4 蛋白质水解与生物胺形成	433
14.5 其他反应	435

14.5.1	侧链上的氧化反应	435
14.5.2	亚硝化反应	436
14.5.3	与脂质游离基的反应	439
14.5.4	与亚硫酸盐的反应	440
14.5.5	ϵ -氨基与 <i>N</i> -羧化脱水酸酐的反应	440
14.5.6	碱处理时的氨基酸异构化	440
第 15 章	蛋白质的结构修饰和功能性	442
15.1	侧链基团的化学修饰	443
15.1.1	蛋白质的酰化修饰	444
15.1.2	蛋白质的烷基化修饰	447
15.1.3	蛋白质的磷酸化修饰	449
15.1.4	其他的修饰技术	449
15.2	限制性水解修饰	450
15.2.1	侧链的限制性水解	451
15.2.2	肽链的限制性水解	452
15.2.3	转蛋白反应	462
15.2.4	蛋白质水解与生物活性肽	466
15.3	酶促交联修饰	472
15.3.1	转谷氨酰胺酶催化交联	473
15.3.2	多酚氧化酶或酪氨酸酶催化交联	481
15.3.3	过氧化物酶催化的交联	485
参考文献		487

第 1 章 绪 论

1.1 蛋白质——生命的基础

蛋白质 (protein) 一词来源于希腊语, 意味“第一”或“基本的”, 显示其在生命生长或维持中的作用。美国 1992 年版的 *Academic Press Dictionary of Science and Technology* 中, 蛋白质被定义为“本质上由氨基酸以肽键连接的一系列复杂有机化合物中的任何一个, 包含有碳、氢、氧、氮, 通常还有硫。广泛存在于动物与植物体内。蛋白质是所有细胞原生的主要组成, 为生命所必需” (Aguilera, 2008)。

蛋白质是复杂的生物大分子, 由于其独特的化学构成而呈现各种特性, 在生物体系中, 蛋白质是细胞或机体的组成部分 (细胞骨架、肌肉), 是生命活动的催化剂 (酶), 是生命体的卫士 (抗体), 是重要的信使 (激素), 并发挥一些其他的重要作用。所以, 蛋白质是构成生命的重要物质基础。

蛋白质是生命活动的基础。恩格斯在论述蛋白质的作用时曾指出: “第一, 蛋白质是生命的物质基础; 第二, 生命是物质的运动形式, 是蛋白质的存在形式; 第三, 这种存在形式的本质就是蛋白质与外部自然界不断地进行新陈代谢。”这一论断高度、精确地阐述了蛋白质在生命活动中的重要作用。生命的最基本的活动就是进行新陈代谢与自我复制。新陈代谢是生物体与外界环境所进行的物质交换与能量交换, 涉及营养物质的吸收、代谢和代谢产品的排泄, 在这个过程中离不开酶的催化活动, 而酶的本质就是一类具有生物活性的蛋白质。生物体的自我复制过程也离不开酶的作用。所以, 蛋白质是生命活动中绝不可能缺少的物质。

蛋白质是生命活动所必需的物质基础。在生物体的新陈代谢过程中, 机体需要营养物质与能量物质, 蛋白质通过为生物体提供必需的氨基酸成分, 通过氨基酸的氧化代谢为机体提供能量, 保证了机体的正常生长和生命的维持。

在化学本质上, 蛋白质是一类复杂的有机化合物, 它们的相对分子质量常见为 $10^4 \sim 10^5$, 一些蛋白质的相对分子质量甚至可以达到 10^6 。蛋白质由氨基酸 (amino acid) 通过肽键 (本质上属于酰胺键) 的连接而形成, 每一个氨基酸单元为一个残基, 这样形成了数目众多的有机大分子。与其他生物大分子相比, 蛋白质最重要的特征元素是氮元素。生物体中常见的氨基酸为 20 种, 也有人认为只有 18 种。氨基酸数目的众多导致了蛋白质数量的众多、结构的复杂。如果蛋白质的组成中包含有 100 个氨基酸, 则在每一位置上均可以由 20 个氨基酸中的任何一个来连接, 所以从数学统计上来看, 蛋白质可能的结构应该有 $20^{100} \approx 10^{130}$ 个之多, 即理论上蛋白质的可能结构非常多。显然, 现实的生物界并没有这么多的蛋白质存在。在生物体中大约只有非常少的一部分蛋白质被生物合成出来 ($10^4 \sim 10^5$ 个)。目前, 已经被分离、鉴定出的蛋白质已经有几千种。许多蛋白质是由两条以上的肽链组成, 每一个肽链就是一个亚基。

蛋白质分子中氨基酸的相互连接的排列顺序为蛋白质的一级结构, 但每一种蛋白质

还有它的空间多维结构；蛋白质的二级结构和三级结构就与它的三维结构有关，而蛋白质的四级结构则表示多肽链的几何排列情况。存在于蛋白质分子内、分子间的不同作用力和因素，影响着蛋白质的二、三、四级结构，这些结构的变化将导致蛋白质物理化学性质、生物学性质的相应改变。

蛋白质在生命活动中发挥重要的作用，所以生命科学研究，尤其是分子生物学的研究，就力图从分子水平认识生命，确定蛋白质分子的结构与功能关系。蛋白质对于研究生命的起源、进化以及调控等具有重大意义。为此，蛋白质工程技术应运而生。

蛋白质工程技术是生物技术的一部分，它是利用蛋白质结构与功能关系的知识，按照人类的需要通过基因工程途径定向地改造和创造蛋白质。其目的就是利用基因手段，对现有的蛋白质进行定向改造、设计、构建，生产出性能更加优异的新型蛋白质（如具有生物活性的酶、医用蛋白质），以满足人类的社会需求。

1.2 食品体系的蛋白质

在现代社会，消费者对食品的品质要求发生了明显的变化。食品除了提供其营养学、感官质量等传统品质外，还需要提供安全性保证，以及满足消费者在便利性和享受性方面的要求。

在食品体系中，蛋白质通过提供必需的氨基酸，为生命的成长和生命维持提供物质基础。此外，由于蛋白质化学结构的多样性，蛋白质还为各类食品提供结构基础，决定了食品的感官质量。在这一方面，蛋白质发挥着尤为重要的功能性质，是其他食品成分无法完全替代的。

1.2.1 来源、分类与性质

食品蛋白质主要来源于动植物。来源于动物的蛋白质食品，主要是陆地动物、水生动物的肌肉组织（肉类）、卵（蛋）和一些哺乳动物的分泌物（乳）；由于其氨基酸组成的平衡，对人类的营养价值较高，它们是膳食中优质蛋白质的主要供给来源。来自于植物的蛋白质食品，主要是谷物中存在的谷蛋白和其他的植物组织储藏蛋白，其中，大豆、花生等油籽作物中含量最高，但谷物蛋白仍然是人类重要的植物蛋白质来源；油籽蛋白的营养价值高于谷蛋白，不过仍然比动物蛋白质的营养价值要差一些。这些食品蛋白质具有不同的性质（化学的、物理学的、营养学的），更为重要的是，它们分别具有独特的功能性质与生物活性，这些在随后的各章节中有详细的介绍或阐述。

按照传统的分类方法，根据蛋白质的化学结构特征而将食品蛋白质分类为单纯蛋白、结合蛋白和衍生蛋白三大类。而根据食品蛋白质的溶解性，也可以将其分类为清蛋白、球蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白、硬蛋白、精蛋白、核蛋白、糖蛋白、磷蛋白、色素蛋白等。蛋白质的分类情况，充分地表现了蛋白质组成的复杂性。

蛋白质的性质既表现在内在因素（本身的化学结构）变化会导致其性质的变化（如等电点等），同时外在因素（环境因素、所经历的加工处理）也会导致其一些重要性质变化，更表现在人为进行的修饰作用可以有目的地改变蛋白质的某些性质。表 1.1 列出了影响蛋白质的结构、化学性质的各种因素，以及其重要的功能性质（Damodaran and

Paraf, 1997)。

表 1.1 蛋白质的结构、化学性质的影响因素和功能性质

结构或化学性质			功能性质		
内禀性质	外在因素	加工处理	界面或表面	流体力学	生物活性
氨基酸组成	pH	加热	溶解性	黏度	酶
一级结构到四级结构	氧化还原状态	冷却与冷冻	润湿性	增稠	激素
亚基	温度	干燥	分散性	胶凝	抗菌
共轭连接物	离子	浓缩	发泡性	凝 结	降血压
	溶剂	储藏	乳化性	膜形成	免疫调节
	其他组分	剪切	脂肪结合		抗氧化
		高压	风味结合		阿片肽
		化学修饰与酶修饰			其他

作为化学组成复杂的生物大分子物质，食品蛋白质在食品的加工过程中要经历相应的环境条件变化，包括热处理、提取、溶解、脱水、干燥、水解、化学修饰、微生物发酵等，至少要经历热处理。这些处理可能导致蛋白质产生所希望的变化或反应，也有可能产生所不希望的变化与反应，包括营养学上的、毒理学上的或工艺学上的。食品蛋白质重要的变化包括了蛋白质的变性、蛋白质发生的侧链修饰反应、交联反应、氧化反应和肽链的反应，其中，美拉德反应是食品蛋白质热加工时的重要反应。美拉德反应在感官质量、营养学、毒理学等诸多方面均能对蛋白质产生不同的影响，并且是食品科学家重点研究、控制的食物体系反应。蛋白质在食品加工处理中的其他反应，通过对其反应机制的系统研究，也得到很好的控制或利用。从化学、物理学、营养学和毒理学的角度，系统了解食品加工和处理中蛋白质可能发生的各种变化，有利于全面了解蛋白质在食品体系中的行为，确定不同食品加工处理时的关键技术问题，更好地开发利用蛋白质的某些变化。

1.2.2 在食品体系中的作用与功能性质

食品材料学 (food material science) 是近来形成的一门新兴科学，它所提出的一些重要科学概念已经被食品科学领域所应用，并引起了人们的广泛注意。食品中存在的大分子物质 (蛋白质、碳水化合物、脂类) 和水，是重要的食品材料物质，影响食品状态和物理化学性质，是食品材料学的主要研究对象，其中，食品大分子是食品科学研究中最为关注的对象。人类肉眼可见的食品形式，可以是液态分散系，也可以是固体，还可以是半固体，而食品中的这些重要的成分，可以是以溶解态 (极少，多为低分子质量的糖类、盐类)、胶体态 (常见)、乳化态 (常见)、固态 (结晶态、玻璃态、橡胶态) 或半固态等形式存在，见图 1.1。蛋白质是食品材料学研究中最重要对象，不是因为这种特殊的材料可以通过机体的消化、吸收与利用，最终成为机体的一部分，而是由于蛋白质存在状态的多样性、功能性质的多样性而影响食品的最终品质。可以毫不夸张地说，蛋白质是决定食品结构的最重要成分之一。蛋白质与多糖 (polysaccharide)、水一起，影响了食品的质地 (texture)，通过与这些成分之间的各种作用，蛋白质分子与它们一起产生特殊的组装 (assembly)、排列 (arrangement) 而导致食品质地的产生。食

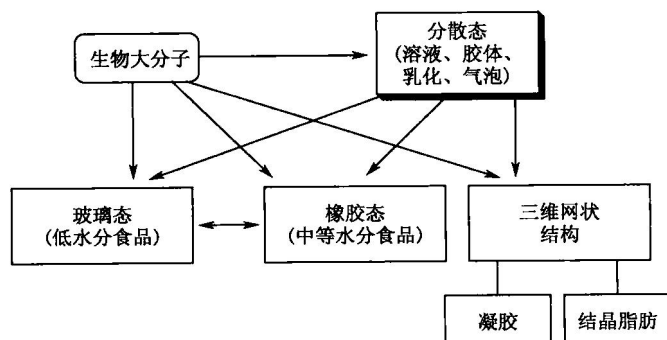


图 1.1 生物大分子在食品中的物理存在形式

品的加工过程，就是食品成分（包括蛋白质，并且是主要的）通过分子的排列和组装，形成特定的结构（structure）的过程，例如，图 1.2（Aguilera, 1999）所示的就是原料乳通过相应的加工处理形成几种典型乳制品的相应过程，它表明了重要的生物大分子蛋白质、脂肪形成食品微观结构的方式。从图 1.2 中也可以看出蛋白质、乳脂肪这两个成分对相应食品质地的重要性。

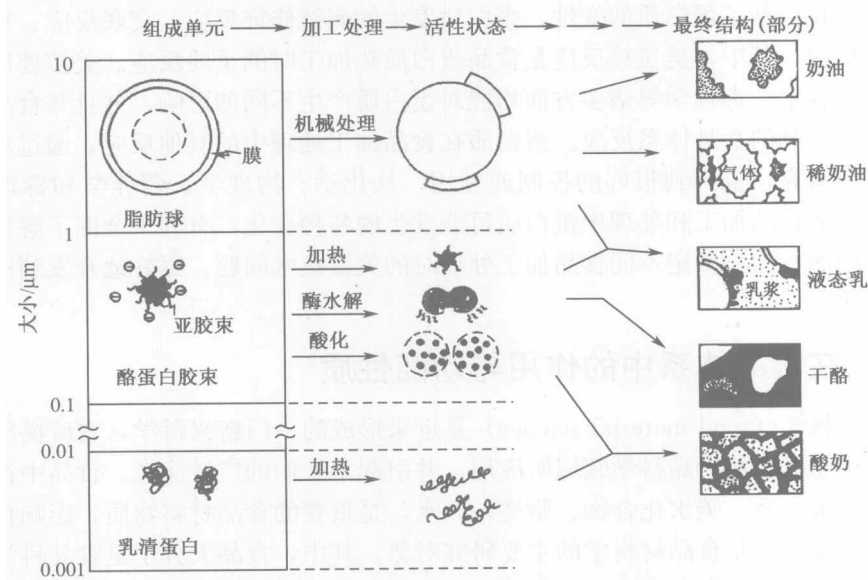


图 1.2 乳制品加工过程中的成分变化与产品的微观结构特征

蛋白质的功能性质（functional property）是指除营养价值外的那些对食品需宜特性有利的蛋白质的物理化学性质，食品蛋白质的功能性质包括了它在食品体系中产生的增稠作用、胶凝作用、乳化作用、发泡、组织化作用、水结合、黏合与黏附、脂肪与风味物质的结合与保留等诸多方面，均受到蛋白质的结构与存在状态，以及环境因素、食品加工处理过程等的影响。它直接影响到加工后食品的质地特征，也对食品或成分的生产制备、加工或储存过程产生影响。所以，利用物理-化学-生物技术手段来改进蛋白质的化学结构与存在状态，揭示蛋白质功能性质与结构之间的关系（构-效关系），了解食