

SHIPIN DANBAIZHI
KEXUE YU JISHU

食品蛋白质 科学与技术

李述刚 邱 宁 耿 放 / 主编



科学出版社

食品蛋白质科学与技术

李述刚 邱 宁 耿 放 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍了氨基酸与蛋白质的结构、分类、功能,蛋白质分离纯化和分析的基本原理、研究方法和技术,典型食品蛋白质的功能与应用特性。本书共分十一章,分别为绪论、氨基酸基础、蛋白质基础、食品蛋白质纯化与制备技术、食品蛋白质理化分析技术、食品蛋白质结构分析技术、食品蛋白质组学技术、动物源食品蛋白质、植物源蛋白质、微生物源食品蛋白质、食品生物活性蛋白质与活性肽。

本书可作为食品科学与工程、生物工程、营养学以及生物化学等专业的食品蛋白质课程教材,也可作为从事食品工业、营养研究以及蛋白质化学研究等专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

食品蛋白质科学与技术 / 李述刚, 邱宁, 耿放主编. — 北京: 科学出版社, 2019.7

ISBN 978-7-03-061666-1

I. ①食… II. ①李… ②邱… ③耿 III. ①食品蛋白—研究
IV. ①TS201.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 117510 号

责任编辑: 冯 铂 刘 琳 / 责任校对: 彭 映

责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

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>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 7 月第一次印刷 印张: 23 1/4

字数: 560 000

定价: 76.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

编审人员

- 主 编 李述刚 (湖北工业大学)
邱 宁 (华中农业大学)
耿 放 (成都大学)
- 副 主 编 易华西 (中国海洋大学)
黄 群 (福建农林大学)
高志明 (湖北工业大学)
李学鹏 (渤海大学)
孙术国 (中国林业科技大学)
- 编 者 (按姓氏拼音排序)
褚 上 (湖北工业大学)
单媛媛 (西北农林科技大学)
韩 雪 (哈尔滨工业大学)
韩玲钰 (湖北工业大学)
胡 冰 (湖北工业大学)
梁宏闪 (华中农业大学)
刘纯友 (广西科技大学)
孙为正 (华南理工大学)
王金秋 (成都大学)
王 萍 (塔里木大学)
胥 伟 (武汉轻工大学)
禹 晓 (郑州轻工业学院)
张 婷 (吉林大学)
张晓维 (天津科技大学)
周 彬 (湖北工业大学)
- 主 审 马美湖 (华中农业大学)

前 言

本书从生物科学与食品工程角度出发,系统地描述了蛋白质的结构与功能、组成与营养以及蛋白质加工与食品品质的关系,把蛋白质研究方法、检测手段、理论研究成果以及蛋白质加工技术有机地融合在一起。在编写过程中,反映了蛋白质研究领域最新进展和研究技术,力求为广大读者提供一本较系统的食品蛋白质化学教材。本书主要介绍氨基酸与蛋白质的结构、分类、功能,蛋白质分离纯化和分析的基本原理、研究方法和技术,典型食品蛋白质的功能与应用特性。本书共分 11 章,主要有绪论、氨基酸、蛋白质基础、食品蛋白质纯化与制备技术、食品蛋白质理化分析技术、蛋白质结构分析技术、食品蛋白质组学技术、动物源食品蛋白质、植物源食品蛋白质、微生物源食品蛋白质和食品生物活性蛋白质与活性肽等。

本书在参考文献中仅列出了所参阅资料的主要部分,更多的资料没能一一列举,在此谨向原作者表示感谢!在资料收集、整理方面得到湖北工业大学庄虎、李志豪、王炜清和王康平等研究生同学的帮助,在此表示感谢。

本书可作为食品科学与工程、生物工程、营养学以及生物化学等专业的食品蛋白质课程教材,也可作为从事食品工业、营养研究以及蛋白质化学研究等专业人员的参考书。

本书的出版,得到了湖北省教育厅“2016 年食品科学与工程——荆楚卓越农林人才协同育人计划”项目和湖北工业大学教学改革课题“基于新工科与工程教育认证背景下的食品科学与工程专业人才培养方案优化及课程群建设研究”以及国家重点研发计划“方便营养型蛋制品绿色加工关键技术研究及开发”等项目的支持。

承蒙华中农业大学马美湖教授审阅全书并提出宝贵的修改意见,在此致以衷心的感谢。

由于编者的水平有限和时间仓促,书中错漏及不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2019.03

目 录

第1章 绪论	1
1.1 蛋白质的概念及其分类	1
1.1.1 概念	1
1.1.2 分类	1
1.2 食品蛋白质及其特性	6
1.2.1 食品蛋白质的营养特性	7
1.2.2 食品蛋白质的功能特性	7
1.2.3 食品蛋白质在贮藏和加工中的变化	8
1.3 食品蛋白质的研究、开发和利用	8
参考文献	11
第2章 氨基酸基础	12
2.1 氨基酸的结构与分类	12
2.1.1 氨基酸的结构	12
2.1.2 氨基酸的分类	15
2.1.3 氨基酸的命名	17
2.2 氨基酸的理化特性及制备	17
2.2.1 氨基酸的物理性质	17
2.2.2 氨基酸的化学性质	19
2.2.3 氨基酸的制备与分析分离	26
参考文献	30
第3章 蛋白质基础	31
3.1 蛋白质的结构	31
3.1.1 蛋白质的一级结构	31
3.1.2 蛋白质的二级结构	33
3.1.3 蛋白质的三级结构	36
3.1.4 蛋白质的四级结构	37
3.2 蛋白质的理化性质	38
3.2.1 蛋白质分子的大小和形状	38
3.2.2 胶体性质	38
3.2.3 沉淀作用	39
3.3 蛋白质的功能性质	41
3.3.1 水合性质	42

3.3.2 溶解性	44
3.3.3 黏度	46
3.3.4 蛋白质的胶凝与组织化	47
3.3.5 面团的形成	50
3.3.6 界面性质	50
3.3.7 蛋白质—风味物质相互作用	59
3.3.8 蛋白质与其他物质的结合	60
参考文献	60
第4章 食品蛋白质纯化与制备技术	61
4.1 沉淀分离技术	61
4.1.1 盐析法	62
4.1.2 有机溶剂沉淀法	64
4.1.3 等电点沉淀法	66
4.1.4 水溶性非离子型聚合物沉淀法	66
4.1.5 选择性沉淀法	67
4.2 色谱分离技术	67
4.2.1 凝胶色谱	68
4.2.2 离子交换色谱	75
4.2.3 亲和色谱	84
4.3 新型分离技术	87
4.3.1 膜分离技术	87
4.3.2 电泳分离技术	92
参考文献	97
第5章 食品蛋白质理化分析技术	98
5.1 蛋白质的质量标准	98
5.2 蛋白质及氨基酸的定性和定量分析	100
5.2.1 氨基酸的定性与定量分析	100
5.2.2 蛋白质的定性和定量分析	105
5.3 蛋白质理化特性分析技术	122
5.3.1 蛋白质纯度鉴定	122
5.3.2 蛋白质分子量的测定	124
5.3.3 蛋白质等电点的测定	128
5.3.4 二硫键分析	129
5.3.5 蛋白质水解度的测定	131
5.3.6 蛋白质疏水性的测定	132
5.3.7 基于实验经验值的计算机分析方法	134
5.4 蛋白质功能特性评估技术	134
5.4.1 蛋白质起泡特性的测定	134

5.4.2 蛋白质乳化性的评价方法	136
参考文献	137
第6章 蛋白质结构分析技术	138
6.1 蛋白质的序列分析	138
6.1.1 蛋白质序列分析的内容	138
6.1.2 蛋白质序列分析方法	139
6.2 蛋白质二级结构的分析	141
6.2.1 二级结构	141
6.2.2 二级结构预测	143
6.3 蛋白质高级结构的分析	145
6.3.1 三级结构	145
6.3.2 四级结构	149
6.4 蛋白质的翻译后修饰	150
6.4.1 蛋白质翻译后修饰概述	151
6.4.2 常见的蛋白质翻译后修饰类型	152
6.4.3 蛋白质翻译后修饰常用的研究方法	159
参考文献	161
第7章 食品蛋白质组学技术	162
7.1 蛋白质组学简介	162
7.2 蛋白质组学研究技术	163
7.2.1 蛋白质分离技术	163
7.2.2 蛋白质鉴定技术	164
7.2.3 基于氨基酸序列的数据库搜索匹配	164
7.2.4 蛋白组学技术联合应用	164
7.2.5 其他蛋白组学研究技术	166
7.3 蛋白质组学在食品科学研究中的应用	167
7.3.1 在食品蛋白质组成及功能活性成分研究中的应用	167
7.3.2 粮油作物类植物	168
7.3.3 肉类及肉制品	170
7.3.4 蛋类及蛋制品	172
7.3.5 乳及乳制品	177
7.4 营养蛋白质组学	181
7.4.1 食品安全与鉴伪	181
7.4.2 食品贮藏	182
7.4.3 食品加工与品质改良	184
参考文献	184
第8章 动物源食品蛋白质	187
8.1 乳蛋白质	187

8.1.1 乳蛋白质的组成及特性	187
8.1.2 酪蛋白	190
8.1.3 乳清蛋白	195
* 8.1.4 乳蛋白的科学研究及发展趋势	199
8.2 禽蛋蛋白质	203
8.2.1 卵白蛋白	204
8.2.2 卵转铁蛋白	206
8.2.3 卵类黏蛋白	208
8.2.4 溶菌酶	209
8.2.5 卵黏蛋白	211
8.2.6 卵巨球蛋白	212
8.2.7 卵黄免疫球蛋白	214
8.2.8 低密度脂蛋白	216
8.2.9 高密度脂蛋白	218
8.2.10 卵黄高磷蛋白	219
8.2.11 蛋壳和蛋膜蛋白质	222
8.3 肉类蛋白质	223
8.3.1 肌肉蛋白质的主要组成及特性	223
8.3.2 肌原纤维蛋白质	224
8.3.3 肌浆蛋白质	232
8.3.4 结缔组织蛋白质	235
8.4 水产品蛋白质	237
8.4.1 水产品肌肉蛋白质的组成及特性	237
8.4.2 水产品肌肉蛋白质在贮藏加工过程中的变化	241
8.4.3 水产品过敏原	252
参考文献	255
第9章 植物源食品蛋白质	261
9.1 谷物蛋白质	261
9.1.1 小麦蛋白质	261
9.1.2 水稻蛋白质	273
9.1.3 玉米蛋白	283
9.2 油料蛋白质	288
9.2.1 大豆蛋白质	288
9.2.2 花生蛋白质	292
9.2.3 菜籽蛋白	296
9.2.4 棉籽蛋白	303
9.2.5 亚麻籽蛋白	309
9.3 薯类蛋白质	316

9.3.1 薯类蛋白的营养价值	316
9.3.2 薯类蛋白的特殊生物活性及其作用机制	317
9.3.3 薯类蛋白制备方法	318
参考文献	320
第 10 章 微生物源食品蛋白质	323
10.1 单细胞蛋白质	323
10.1.1 酵母单细胞蛋白	324
10.1.2 藻类单细胞蛋白质	326
10.2 食用菌蛋白质	329
10.2.1 食用菌蛋白质的含量	329
10.2.2 食用菌蛋白质的营养价值	330
10.2.3 食用菌蛋白质营养品质的影响因素	332
10.2.4 食用菌风味物质来源蛋白质	335
10.2.5 食用菌生物活性蛋白质	336
10.2.6 食用菌蛋白质组学	338
参考文献	340
第 11 章 生物活性蛋白与活性肽	343
11.1 生物活性蛋白质	343
11.1.1 免疫球蛋白	343
11.1.2 溶菌酶	345
11.1.3 乳铁蛋白	346
11.1.4 胶原蛋白	348
11.1.5 其他生物活性蛋白	349
11.2 生物活性肽	351
11.2.1 ACE 抑制肽	351
11.2.2 抗氧化肽	353
11.2.3 其他生物活性肽	355
参考文献	356

第1章 绪 论

1.1 蛋白质的概念及其分类

1.1.1 概念

蛋白质是一类重要的生物大分子，其英文为 Protein，源自希腊文“ $\pi\rho\omicron\tau\omicron$ ”，为“最原初的”“第一重要的”意思。有些学者曾根据 Protein 的原意翻译为“朐”，但因蛋白质一词沿用已久，“朐”未被广泛采用。蛋白质在人体中担负着各种各样的功能，各种生命功能、生命现象、生命活动都和蛋白质有关，没有蛋白质就没有生命。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一种复杂的有机化合物，机体中每一个细胞和所有重要组成部分都含有蛋白质。

蛋白质是由一系列氨基酸通过肽键结合而成的高分子化合物，主要组成元素是 C、H、O、N。美国将蛋白质定义为“本质上由氨基酸以肽链连接的一系列复杂有机化合物中的任何一个，包含 C、H、O、N，通常还有 S；广泛存在于动植物体内；蛋白质是所有细胞原物质的主要组成，为生命所必需”。在我国，全国科学技术名词审定委员会将蛋白质定义为“生物体中广泛存在的一类生物大分子，由核酸编码的 α -氨基酸之间通过 α -氨基和 α -羧基形成的肽键连接而成的肽链，并经翻译后加工而生成的具有特定立体结构的、有活性的大分子”。

1.1.2 分类

蛋白质的种类繁多，分布广泛，所担负的任务也各不相同。因此，为了对蛋白质有一个全面和系统的认识，就须有一个分类系统，以蛋白质的化学组成、空间结构及其性质为依据，对数量庞大的蛋白质进行分类。目前，蛋白质的分类方法主要有：根据溶解特性分类、根据化学组成分类、根据结构形状分类、根据生理功能分类、根据氨基酸组成和营养特性分类等。

1. 根据蛋白质的溶解性分类

谷物中的蛋白质是人类最早发现和研究的一类蛋白质。在早期的研究中，根据谷物蛋白质溶解特性的不同，通过不同的溶剂，按顺序使用蒸馏水、稀盐、乙醇、稀碱依次从谷物中分离得到了四个类型的蛋白质组分：清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白（图 1-1）。

清蛋白（albumins）又称白蛋白，可溶于水、稀酸、稀碱和稀中性盐溶液，在 50%饱和度以上的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液中开始析出，盐或其他变性试剂可使清蛋白变性并凝集，等电点为 4.4~4.5，含甘氨酸很少（如血清蛋白几乎不含、乳清蛋白含 0.4%、卵白蛋白含 1.9%）。

清蛋白的分布很广，在血液、淋巴、肌肉蛋白、乳以及植物种子中，特别是豆类和谷类种子中，都含有大量的清蛋白。如小麦籽中的麦清蛋白、血液中的血清蛋白和鸡蛋清中的卵白蛋白等都属于清蛋白。目前，研究比较详细的清蛋白主要有卵白蛋白、乳清蛋白和血清蛋白等。

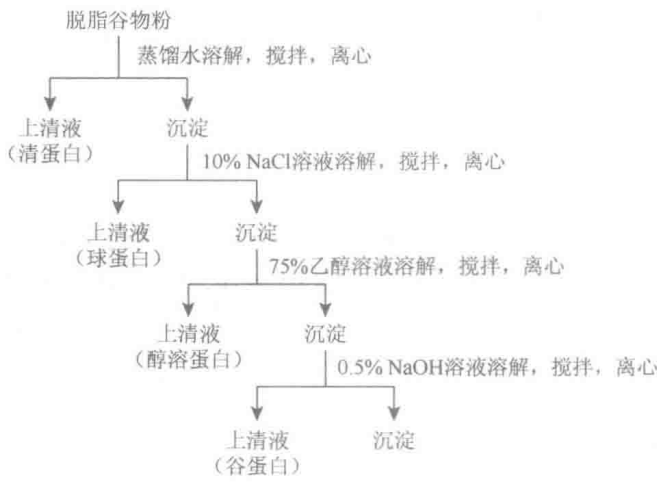


图 1-1 谷物蛋白质的分离

球蛋白 (globulins) 又可分为优球蛋白 (euglobulins) 和拟球蛋白 (pseudoglobulins)。优球蛋白不溶于水，溶于稀酸、稀碱和稀盐溶液，可在 50%饱和度的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液中析出，等电点为 5.5~6.5。拟球蛋白溶于水，其他性质与优球蛋白相同，如血球蛋白、植物种子球蛋白。球蛋白是一类重要的蛋白质，广泛分布于动植物体内，并具有重要的生物功能。大豆种子中的大豆球蛋白、血液中的血清球蛋白、肌肉中的肌球蛋白以及免疫球蛋白都属于这一类。目前，不少球蛋白已制成结晶，有许多球蛋白的结构和功能已经得到了系统和详细的研究，如肌红蛋白、溶菌酶、 β -乳球蛋白、免疫球蛋白、血纤维蛋白原，以及血浆、淋巴中的其他球蛋白等。

醇溶蛋白 (prolamines) 含有大量的谷氨酸、脯氨酸、谷氨酰胺和天冬酰胺以及少量的精氨酸，易溶解于低脂肪族醇类的水溶液中，特别是乙醇水溶液，不溶于水和无水乙醇。这类蛋白存在于禾本科植物的种子中，如玉米醇溶蛋白、小麦醇溶蛋白。

谷蛋白 (glutelins) 多存在于谷物 (如小麦、玉米) 中，不溶于水、中性盐溶液，溶于稀酸、稀碱溶液。加热凝固，是非均一的蛋白质，是多种相似蛋白质的混合物，特点是谷氨酸含量高。谷蛋白存在于植物种子中，有代表性的是米谷蛋白和麦谷蛋白。

硬蛋白 (scleroproteins) 不溶于水、盐溶液、稀酸溶液和稀碱溶液，很难被蛋白酶水解，主要包括角蛋白、胶原蛋白和丝心蛋白等。硬蛋白主要存在于动物组织的中层和外层细胞组织中，如皮肤、头发、角、蹄、爪、羽毛、韧带、腱等部位，起支持和保护作用。硬蛋白一般具有较为特殊的组成或结构，如角蛋白含有大量的半胱氨酸，可形成丰富的二硫键，从而保证其分子结构的不溶性和物理特性；而胶原蛋白含有其特有的羟脯氨酸，且高级结构为特殊的三股螺旋结构，特殊的组成和结构使其具有特殊的理化特性和功能。

2. 根据蛋白质的化学组成分类

按照化学组成的不同，可将蛋白质分为简单蛋白质（单纯蛋白质）和结合蛋白质（复合蛋白质）两大类。

1) 简单蛋白质

简单蛋白质（simple protein）是仅由氨基酸组成的多肽链。按照理化性质，特别是溶解性、稳定性等方面的差别，可以把简单蛋白质分为清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白、硬蛋白等。这种分类方法早已开始使用，成为食品加工或进行食品源蛋白质分离时的主要依据。大部分植物源食用蛋白质是由球蛋白、清蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白所组成。这些简单蛋白的分离及特性在 1.1.2 节第 1 点已有介绍。

2) 结合蛋白质

结合蛋白质（conjugated protein）除含有氨基酸组成的多肽链以外，还含有非氨基酸成分，这些非氨基酸成分或为辅基（prosthetic group）；或为配基（ligand），如核酸、脂肪、糖、色素等；或为翻译后修饰结构，如糖链、磷酸根基团等。按照非蛋白部分（或辅基）的不同，结合蛋白质可分为糖蛋白、磷蛋白、核蛋白、脂蛋白、色蛋白和金属蛋白等（表 1-1）。

表 1-1 结合蛋白的分类与代表性蛋白质

种类	非蛋白成分	代表
糖蛋白	寡糖链	种类多，高度糖基化的糖蛋白，如血清卵黏蛋白
磷蛋白	磷酸根	酪蛋白、卵黄磷蛋白
脂蛋白	脂质	卵黄低密度脂蛋白、高密度脂蛋白
色蛋白	血红素、叶绿素、类胡萝卜素、核黄素	血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素、核黄素结合蛋白等
核蛋白	核酸	细胞核组蛋白、精蛋白等
金属蛋白	Fe、Cu、Zn、Mg	铁蛋白（Fe）、血蓝蛋白（Cu）等

(1) 糖蛋白（glycoproteins）广泛存在于生物体中，据推测约占蛋白质总数量的一半。一般情况下，糖链部分占比较少，但也有少部分糖蛋白的糖基化程度高、糖链长，如禽蛋清中的卵黏蛋白，糖链部分超过了蛋白质部分。糖蛋白的糖基化修饰往往存在一定的随机性，发生修饰的位点和其上连接的糖链具有较大的变化范围，糖基化修饰的这种可变性，丰富了糖蛋白的结构和功能，增强了蛋白质的多样性和适应性。

(2) 食品源磷蛋白（phosphoproteins）主要来自乳和禽蛋中，如酪蛋白和卵黄磷蛋白。磷酸化发生在丝氨酸或苏氨酸上，共价结合一个磷酸根基团，因磷酸基团的存在，磷蛋白分子表面具有较多的负电荷，等电点一般为低酸性。

(3) 脂蛋白（lipoproteins）是一类由富含甘油三酯的疏水性内核和由蛋白质、磷脂等组成的外壳构成的蛋白质-脂质复合体。脂蛋白对动物体内脂质的装载、储存、运输和代谢起着重要作用。食品源脂蛋白主要来自畜禽血液、蛋黄、动物内脏、某些动植物的线粒体等。

(4) 色蛋白（chromoproteins）是由简单蛋白与色素相结合而成的，广泛存在于生物

体中,如血红蛋白、肌红蛋白、核黄素结合蛋白等,以及一些分子中具有铁卟啉辅基的酶类,如细胞色素氧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶等。

(5) 金属蛋白(metalloproteins)是由蛋白质与金属元素相结合而成的,广泛存在于酶、激素及其他蛋白质中。金属在辅基中一般呈特殊的色调,所以一些金属蛋白也属于色蛋白。如铁蛋白、乙醇脱氢酶、黄嘌呤氧化酶、含 Zn 和 Cu 的超氧化物歧化酶等。

(6) 核蛋白(nucleoproteins)是由核酸与蛋白质组成的复合物。核蛋白存在于细胞核中,无论是原核细胞还是真核细胞,均含有核蛋白。核蛋白是染色体的主要成分。对于病毒和噬菌体来说,其整体可以被看作是一个核蛋白。主要的核蛋白包括组蛋白(histones)和精蛋白(protamines)。组蛋白是染色体的结构蛋白,含有丰富的精氨酸和赖氨酸,所以是一类碱性蛋白质,其溶于水、稀酸,但不溶于稀氨水,也不溶于 NH_4Cl 、 NaCl 和 MgSO_4 的饱和溶液。组蛋白大多数存在于体细胞的细胞核中,在基因表达和调控中起重要作用。分子生物学研究发现,组蛋白的乙酰化和甲基化修饰在其执行功能的过程中发挥着重要作用。精蛋白存在于成熟的精子细胞核中,是天然蛋白质中较简单的一类,相对分子质量为 5kDa 左右。精蛋白溶于水和稀酸溶液,不溶于稀氨水。精蛋白的氨基酸种类较少,碱性氨基酸的含量较多(占 80%以上),特别是精氨酸含量最高,等电点为 12.0~12.4,是一种碱性蛋白,但缺少色氨酸和酪氨酸。精蛋白因其碱性特性,与核酸形成核酸-精蛋白复合物。精蛋白具有一定的抗菌性,可作为一种天然的食品防腐剂。

3. 根据蛋白质的分子形状分类

按照蛋白质在三维空间中的结构和分子形状,可分为球状蛋白质(globular proteins)和纤维状蛋白质(fibrous proteins)两大类。

球状蛋白质分子比较对称,接近球形或椭球形。大多数蛋白质属于球蛋白质,如血红蛋白、肌红蛋白、大多数酶类、免疫球蛋白等。在天然的球状蛋白质中,多肽链盘绕成紧密的球状结构,内部几乎无空穴可容纳水分子,小球的直径为数纳米到数十纳米(图 1-2)。球蛋白在折叠的过程中,其氨基酸残基上的非极性疏水基团在疏水作用诱导下,几乎全部折叠于球体内部,而极性亲水基团一般都位于球体表面,与水结合即“水合作用”,是球蛋白较易溶于水的原因。球状蛋白在较为剧烈的环境条件或溶液条件下发生变性,分子高级结构被破坏,发生去折叠,肽链伸展转变为线状结构,并进一步相互聚集,成为不溶于水溶液的“变性蛋白”。

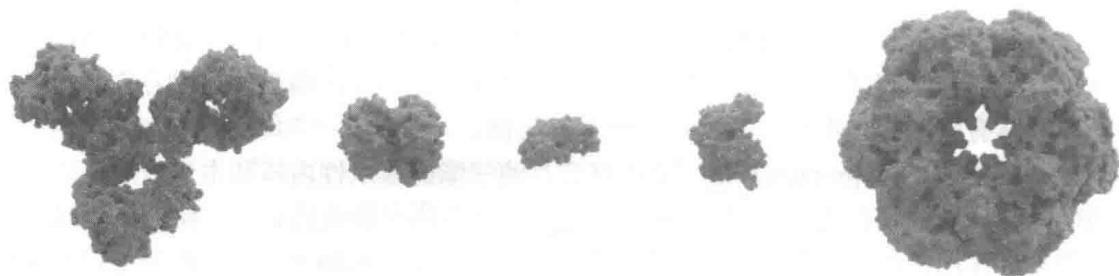


图 1-2 几种常见球蛋白的形状(从左到右):免疫球蛋白 G(IgG)、血红蛋白、胰岛素(激素)、腺苷酸激酶和谷氨酰胺合成酶(酶)

纤维状蛋白质的分子对称性差，呈细棒状或纤维状。溶解性质差异较大，大多数不溶于水，如胶原蛋白、角蛋白等；有些则溶于水，如肌球蛋白、血纤维蛋白原等。根据对纤维状蛋白质结构的研究，基于肽链构象的不同，可将其分成三个类别： α -螺旋型（如角蛋白）、折叠片层型（如丝心蛋白）和三股螺旋型（如胶原蛋白）。纤维状蛋白质在生物的体内和体表主要起支架和保护作用，故又称之为结构蛋白。胶原蛋白、角蛋白和丝心蛋白是纤维状蛋白质的最典型代表。

胶原蛋白是最为典型和重要的一类纤维蛋白，其广泛存在于各种动物体中，占机体总蛋白的 25%~30%，是皮肤、软骨、动静脉管壁及结缔组织的主要成分。胶原蛋白中，甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸含量较高。其中羟脯氨酸是胶原蛋白特有的一种氨基酸，含量为胶原蛋白的 10%~12%。胶原的基本结构是由分子质量约为 300kDa 的原胶原蛋白（tropocollagen）分子所组成的。原胶原蛋白分子直径为 1.5nm，长 280~300nm，由三条多肽链组成，每一条多肽链约含有 1000 个氨基酸残基。每条多肽链呈左手螺旋，三条多肽链相互绞合成右手大螺旋，称为三股螺旋或超螺旋（superhelix）。在此螺旋中，链之间靠氢键联系，氢键垂直于纤维轴。原胶原蛋白分子能聚合成胶原纤维（图 1-3）。

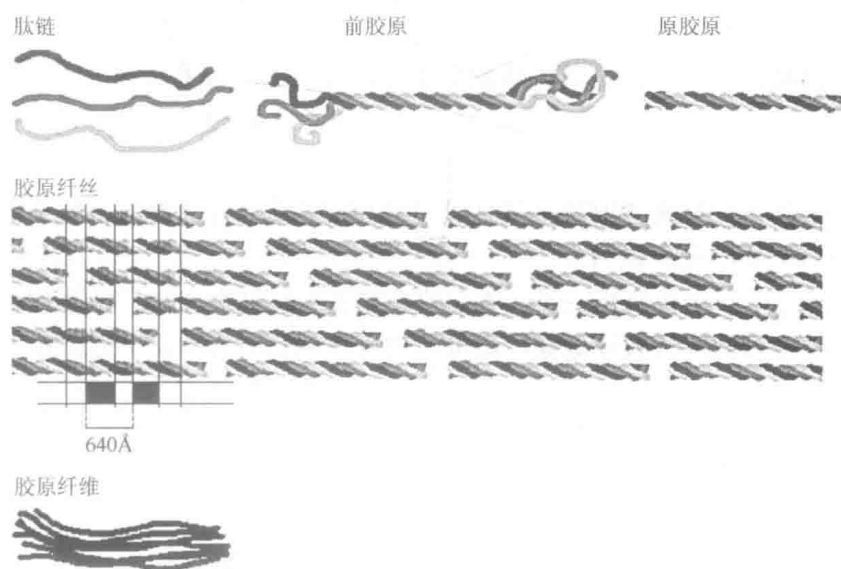


图 1-3 胶原蛋白和胶原纤维的结构示意图

其他常见的纤维蛋白还有 α -角蛋白、肌球蛋白、纤维蛋白原等，其共同特点是具有 α -螺旋结构，故又称 α -螺旋型。在所有的脊椎动物中都发现了 α -角蛋白，它们形成毛发、角质层、角、指甲、爪和蹄等组织和结构。 α -角蛋白的显著特征是含有大量的半胱氨酸，从而形成大量的二硫键，因此难溶解且对热稳定，同时也赋予较强的强度和刚性。

β -角蛋白仅在爬行动物和鸟类中被发现，分布于爬行动物的鳞片、爪、壳，以及鸟类的羽毛、喙等组织和部位中。 β -角蛋白的主要结构为 β -折叠片，经堆叠和捻合，并通过折叠片之间的二硫键稳定和强化，最终形成爬行动物和鸟类的角质。

丝心蛋白主要由节肢动物产生,如蜘蛛丝、蚕茧等。丝心蛋白由反平行 β -折叠结构构成。其一级结构主要由循环氨基酸序列组成:甘氨酸—丝氨酸—甘氨酸—丙氨酸—甘氨酸—丙氨酸。高甘氨酸含量使折叠片可以紧密堆积,这些结构特点使纤维丝具有一定的刚性结构和较强的韧性。

4. 根据蛋白质的生理功能分类

根据蛋白质在生物体生命活动过程中所起的作用不同,可将蛋白质分为多种类别。

养料和原料类蛋白质:即储藏蛋白质,如卵白蛋白、酪蛋白、醇溶蛋白等,作为生长或发育时使用的营养成分。

结构类蛋白质:如胶原蛋白、肌纤维蛋白、角蛋白等,构成生物体组织结构的基础单元。

催化类蛋白质:如蛋白酶、脂肪酶等,能催化生物体内的一切化学反应。

转运类蛋白质:输送营养成分或特定物质,如脊椎动物的血红蛋白、无脊椎动物的血蓝蛋白等,在呼吸过程中起着运输氧气的作用。

保护类蛋白质:如免疫球蛋白、凝血酶、血纤维蛋白原等,高等动物主要通过免疫球蛋白与外来物抗原结合的方式,清除入侵物对机体的潜在危害。

调节类蛋白质:对生物体内的新陈代谢起着调节作用,如胰岛素、受体、阻抑物等。

运动类蛋白质:如肌动蛋白和肌球蛋白等,为肌肉的收缩提供动力。

5. 根据蛋白质的营养分类

营养学上根据蛋白质所含的氨基酸种类及其相对含量,将食物蛋白质分为:完全蛋白质、半完全蛋白质和不完全蛋白质。

完全蛋白质:是一类优质蛋白质,所含的必需氨基酸种类齐全,数量充足,相对含量和比例适当,不但可以维持人体健康,还可促进人体生长发育;奶、蛋、鱼、肉中的蛋白质都属于完全蛋白质。

半完全蛋白质:所含氨基酸虽然种类齐全,但其中某些氨基酸的数量不能满足人体所需;可以维持生命,但不能促进生长发育;例如,小麦中的麦胶蛋白便是半完全蛋白质,赖氨酸含量很少。

不完全蛋白质:不能提供人体所需的全部必需氨基酸,单纯靠它们既不能促进生长发育,也不能维持生命;如胶原蛋白便是不完全蛋白质。

1.2 食品蛋白质及其特性

理论上,所有由生物产生的蛋白质都可作为食品蛋白质而加以利用。然而实际上,食品蛋白质具有一些共同的特性:安全无毒、易于消化、氨基酸组成符合人体需求,且在食品体系中发挥一定的功能特性或具有一定的健康保健功能。经过人类漫长的选择和驯化,目前,食品蛋白质主要来源于少数动植物,如谷物、豆类、乳、畜禽、水产、禽蛋等。

动物源食品蛋白质主要来自陆地动物和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）。这些蛋白质氨基酸组成平衡且符合人体需求，多为完全蛋白质，对人体的营养价值较高，是膳食中优质蛋白质的主要供给来源。

植物源蛋白质主要为谷物和豆类种子中的蛋白质，这些蛋白质本来是作为储藏蛋白用于种子发芽所需，其氨基酸组成往往不能满足人体需求，多为不完全蛋白质。在植物源蛋白质中，豆类蛋白质的营养效价往往高于谷物蛋白质。

食品中的蛋白质通过提供必需氨基酸，为人体生命的维持和生长发育提供物质基础。同时，由于蛋白质化学结构的多样性，其还为各类食品的形貌提供结构基础，赋予食品多种多样的质地，决定了食品的口感。此外，在贮藏和加工过程中，蛋白质参与各种生理过程和化学反应，改变食品的色泽和香气。因此，蛋白质在食品中扮演着多重、极为重要的角色。

由于来源、结构和组成的多样性，食品蛋白质的性质也多种多样，其物理特性、化学特性、功能特性、营养特性、生物活性等差异较大，这些在随后的各章节中有详细介绍或阐述，此处仅做概括性介绍。

1.2.1 食品蛋白质的营养特性

食品蛋白质的首要作用是为人提供维持生命所需的成分，因此，其氨基酸组成是食品蛋白质营养特性最重要的方面。目前，基于食品蛋白质中氨基酸的相对百分比和消化吸收率，已经建立了多种食品蛋白质的评价体系，包括生物价（biological value, BV）、蛋白质净利用率（net protein utilization, NPU）、氨基酸评分（amino acids score, AAS）和蛋白质消化率校正的氨基酸评分（protein digestibility corrected amino acids score, PDCAAS）。PDCAAS 是联合国粮农组织（FAO）和世界卫生组织（WHO）联合专家评估小组在 1989 年提出的蛋白质质量评估方法，其以儿童的必需氨基酸需求量为基准，将食物中可被消化利用的必需氨基酸含量与之相比较，满分为 1，即 100%。PDCAAS 目前被美国食品和药物管理局（FDA）和 FAO、WHO 等权威组织采纳为“确定蛋白质质量的首选最佳方法”。

1.2.2 食品蛋白质的功能特性

蛋白质作为食品中大量存在的一类生物大分子，对食品的状态和性质具有重要影响。食品蛋白质与多糖、水一起影响着食品的质地，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、排列而导致食品质地的产生。食品蛋白质的功能性质（functional property）即指除营养价值外的那些对食品品质具有重要影响的物理和化学性质，包括其在食品体系中产生的增稠作用、胶凝作用、乳化作用、发泡作用、组织化作用、水结合、风味物质的结合与保留等诸多方面。其中，食品蛋白质的凝胶特性、乳化特性和起泡特性是目前研究较多的功能特性。

随着食品工业的发展和消费需求的多样性和个性化，食品蛋白质的功能特性并不能充