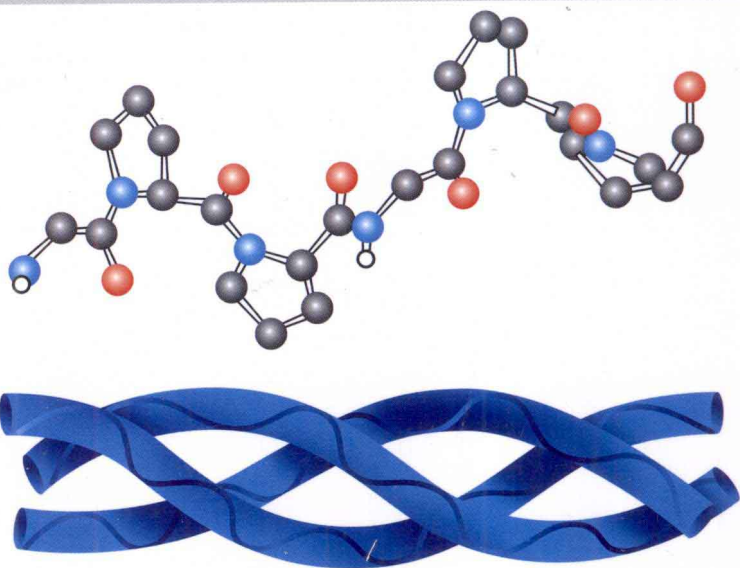


“十一五”国家重点图书出版规划项目

现代化学基础丛书 **26**

胶原物理与化学

汤克勇 主编



科学出版社

“十一五”国家重点图书出版规划项目
现代化学基础丛书 26

胶原物理与化学

汤克勇 主编

科学出版社

北京

《现代化学基础丛书》编委会

主 编 朱清时

副主编 (以姓氏拼音为序)

江元生 林国强 佟振合 汪尔康

编 委 (以姓氏拼音为序)

包信和 陈凯先 冯守华 郭庆祥

韩布兴 黄乃正 黎乐民 吴新涛

习 复 杨芑原 赵新生 郑兰荪

卓仁禧

《胶原物理与化学》编委会

主 编 汤克勇

编 委 郑学晶 刘 捷 秦树法 王 芳 冯文坡

《现代化学基础丛书》序

如果把牛顿发表“自然哲学的数学原理”的 1687 年作为近代科学的誕生日,仅 300 多年中,知识以正反馈效应快速增长;知识产生更多的知识,力量导致更大的力量。特别是 20 世纪的科学技术对自然界的改造特别强劲,发展空前迅速。

在科学技术的各个领域,化学与人类的日常生活关系最为密切,对人类社会的发展产生的影响也特别巨大。从合成 DDT 开始的化学农药和从合成氨开始的化学肥料,把农业生产推到了前所未有的高度,以致人们把 20 世纪称为“化学农业时代”。不断发明出的种类繁多的化学材料极大地改善了人类的生活,使材料科学成为了 20 世纪的一个主流科技领域。化学家们对在分子层次上的物质结构和“态-态化学”、单分子化学等基元化学过程的认识也随着可利用的技术工具的迅速增多而快速深入。

也应看到,化学虽然创造了大量人类需要的新物质,但是在许多场合中却未有效地利用资源,而且产生了大量排放物造成严重的环境污染,以至于目前有不少人把化学化工与环境污染联系在一起。

在 21 世纪开始之时,化学正在两个方向上迅速发展:一是在 20 世纪迅速发展的惯性驱动下继续沿各个有强大生命力的方向发展;二是全方位的“绿色化”,即使整个化学从“粗放型”向“集约型”转变,既满足人们的需求,又维持生态平衡和保护环境。

为了在一定程度上帮助读者熟悉现代化学一些重要领域的现状,科学出版社组织编辑出版了这套《现代化学基础丛书》。丛书以无机化学、分析化学、物理化学、有机化学和高分子化学五个二级学科为主,介绍这些学科领域目前发展的重点和热点,并兼顾学科覆盖的全面性。丛书计划为有关的科技人员、教育工作者和高等院校研究生、高年级学生提供一套较高水平的读物,希望能为化学在新世纪的发展起积极的推动作用。

生活

序

胶原是一种细胞外基质,是存在于动物体内的含量最大的蛋白质,约占动物体内总蛋白质含量的 1/3。胶原大量存在并广泛分布在所有多细胞动物的结缔组织,如皮肤、骨、腱、软骨和角膜等器官中。有关胶原的研究与应用历史悠久。5000 多年前,当如毛发之类的材料首次作为医用缝合线时,胶原“肠线”便得到了相应的发展,并用于伤口的缝合。人们最初是通过鞣制胶原将皮革和皮毛进行防腐处理,以便得到易于保存、干燥后仍能机械助软的皮革。但是,由于胶原来源、结构与性能的复杂性,加上测试与研究设备的局限性,尽管人们已经广泛使用了胶原,但对其结构与性能的研究仍然不足。近年来,随着现代科学与技术的发展,相关领域的研究不断深入;同时分析与测试设备的日臻完善,也为进行胶原的深入研究创造了条件。另外,在资源、环境及可持续发展面临的问题日益严峻的今天,作为一种可再生资源的胶原,备受人们的关注,表现在人们对胶原所进行的应用开发研究工作逐渐增多,在许多方面均有不少突破。除应用于皮革及其制品领域外,胶原已广泛应用于可食性包装材料、可降解日用品材料、胶原蛋白合成纤维、人体组织工程材料等领域,也有将胶原与药物配伍增效或有医用疗效的活性胶原出现,在药用胶囊、止血材料、烧伤敷料、营养品、保健品、食品、饮料添加剂等领域都具有广泛的应用前景。在文献方面,有关胶原的资料逐年增多,但迄今为止,系统地论述胶原的基础性质及应用原理的学术专著还很少。

《胶原物理与化学》一书的主编者汤克勇教授具有高分子材料与工程、皮革化学与工程等领域的学习、研究与教学工作背景。多年来,他在高分子材料、皮革化学与工程和生物工程等学科的交叉领域,长期从事胶原的提取、改性、结构、性能与应用等方面的研究工作,取得了具有一定学术影响和特色的研究成果,已具有较多的该领域的研究与知识积累。尤其是在皮胶原的结构与性能的研究方面,他的成果具有明显的特色与独到之处。该书编委会成员在各自的分支领域均具有较好的科研积累与研究经验。整体来看,该书具有以下特色:

(1) 内容系统、全面。该书内容涵盖胶原蛋白的各个领域,包括蛋白质基础,胶原的分布、存在形态、生物学合成、功能及生理学意义,胶原的提取与结构研究,胶原的物理性质,胶原的化学性质,胶原改性的意义、方法与助剂,胶原、明胶及胶原水解蛋白的应用等,较系统、全面地介绍了国内外有关胶原方面的主要研究成果。

(2) 深入浅出,通俗易懂。该书从蛋白质基础知识入手,能够使读者在系统了

解并具有蛋白质基础知识的基础上,了解胶原的相关知识。

(3) 该书既有一定的理论深度和广度,又有可操作性的技术介绍,能使读者在掌握胶原的基础知识之后,进一步了解胶原的改性原理、改性方法与应用之间的关系。

(4) 信息量大。全书引用了大量该领域的最新研究文献,内容涵盖胶原研究与应用的新方法和新领域。

(5) 结合实际。该书结合作者所在研究组多年来的研究成果,注重理论联系实际,并有较多的实例。因此,该书既具有一定的学术意义,又具有较大的实用和参考价值。

该书可作为与胶原相关领域的大专院校、科研机构的本科生、硕士生和博士生以及从事有关专业研究和生产方面的专家、学者和工程技术人员的参考书,也适合于对胶原感兴趣的读者阅读。相信通过对该书的阅读与学习,读者能对胶原具有较清晰和全面的认识与了解,并在以后的工作、生活中得到不同程度的受益!

中国工程院院士

石 碧

2011年2月于四川大学

前 言

近几十年来,高分子材料领域的科学研究工作得到了极大的发展,新的品种层出不穷,各种高分子材料产品都在不同的领域得到了广泛的应用。然而,以石油资源为原料来源的合成高分子材料却面临着原料不可再生的问题。预计在未来 70 年后,随着世界石油资源的逐渐枯竭,合成高分子材料领域将面临日益严峻的资源短缺与价格问题。同时,合成高分子材料的不可降解性也对环境造成了严重的“白色污染”。此外,胶原、纤维素、甲壳素、淀粉、天然橡胶等天然资源是很好的可再生资源,还可进行生物降解。如果能够合理地对其进行处理使其得到充分的利用,不仅可以缓解石油资源短缺的压力,而且能使所得到的材料具有很好的生物相容性和安全性。由此可见,合理地开发和利用这些天然资源,对充分利用资源、减轻对环境的污染、实现可持续发展,都具有重要的理论意义与应用价值。目前,已有众多的科学工作者逐渐将其研究兴趣转移到天然资源的开发与研究上。

人们利用天然材料的历史悠久,在皮革制造、丝绸纺织、食品加工等领域,都早已在自觉或不自觉地利用这些优良的自然资源。随着人们对其认识的逐步深入,这些天然资源得到利用的深度和广度也逐渐被扩展。其中,胶原(或称胶原蛋白)是由动物细胞合成的一种生物高分子,是生物体内的一种具有生物功能的纤维蛋白,是主要的结构蛋白质。胶原广泛地存在于人与动物的皮肤、骨、腱、软骨及其他结缔组织等中,约占哺乳动物体内蛋白质总量的 1/3。腱和骨骼的细胞外蛋白质中胶原蛋白占 90% 以上,皮肤中胶原蛋白含量也超过 50%。皮革的加工过程实质上就是对原料皮中胶原的纯化与改性以满足人们的各种需要的过程。

作为一种优良的自然资源,胶原具有资源丰富、可再生和可生物降解的优点,与人体之间也有着无与伦比的生物亲和性和生物相容性,使其在许多领域都具有广阔的应用前景,已逐渐为人们所关注,并被人们高度重视。近年来,随着生物化学、分子生物学、生物医学工程、高分子材料和复合材料等学科的发展、交叉和相互渗透,不断有新的含胶原材料出现,并在生物医学工程等领域得到应用。同时,胶原在食品、日化领域的研究与应用也逐渐增多。由此可见,胶原在国民经济和人民生活中,已起到了相当重要的作用,系统地研究与了解胶原的来源、物理与化学性质、结构与性能,对合理、有效地利用胶原蛋白资源以及人体的保健都具有重要的意义。

要更加有效地研究、开发与利用胶原蛋白资源,有必要对胶原蛋白的相关知识进行必要的认识与了解。但是,目前国内有关全面、系统地介绍胶原及其相关知识

的学术专著还很少。因此,有必要结合国内外相关的研究结果,出版一部有关胶原的系统专著,以满足社会和读者的需求。为此,在科学出版社的大力支持下,我们组织编写了《胶原物理与化学》一书。

本书结合国内外该领域的研究进展,尽可能系统地介绍与胶原相关的知识。全书共引用参考文献 1000 余篇,内容涵盖蛋白质基础、胶原的分布与生物学功能、胶原的提取与结构研究、胶原的物理性质、胶原的化学性质、胶原的改性与应用等。本书从蛋白质的基础知识入手,深入浅出且系统地介绍胶原的有关知识,力图使读者通过阅读本书,对胶原具有比较全面和系统的认识,能够在相关领域的学习、科学研究、产品开发和日常生活保健等中合理地利用这些知识。

本书涉及多个学科的交叉,所涉及的知识也来自于不同的学科领域。但是,科学是相通的,每个学科的知识都可以为其他学科所利用。“他山之石,可以攻玉”,希望本书的内容,能使不同学科、不同背景的读者都有启发和收获,能够加强其在胶原及其相关材料方面的交流、沟通与合作。

参加本书编写工作的有郑学晶博士、刘捷博士、秦树法老师和王芳老师等,部分博士、硕士研究生冯文坡、杨明、尚勇、潘洪波、聂磊、孟凡荣、李杰、裴莹、王堃、吕诚业等也参与并负责了相关资料的收集、整理与校对工作,在此一并致谢!

在本书即将成稿之际,感谢中国工程院院士、四川大学博士生导师、教育部长江学者特聘教授石碧先生在百忙之中给予的关心与支持,并为本书作序!石先生认真、负责的工作态度以及极高的工作效率给我们留下了深刻的印象,令人钦佩!感谢中国工程院院士、中国皮革和制鞋工业研究院的段镇基先生和四川大学博士生导师吴大诚教授推荐本书,并提出了许多宝贵的意见!感谢国家自然科学基金委员会、中国科学院科学出版基金的支持!感谢科学出版社周巧龙编辑为本书的成稿和出版给予的大力支持!

本书的知识内容来源于多个学科,胶原的应用领域也涉及多个行业。不同学科、不同应用领域都有其特色与专业术语,我们力求统一与规范,但在有些方面也难免有不足之处。同时,由于作者水平有限及专业背景的局限性,本书的编写难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正!

汤克勇

2011年10月18日于郑州大学

目 录

《现代化学基础丛书》序

序

前言

第 1 章 蛋白质基础	1
1.1 蛋白质概述与生理学意义	1
1.1.1 蛋白质概述	1
1.1.2 蛋白质的生理意义	1
1.2 蛋白质的元素组成	2
1.3 蛋白质的氨基酸组成	3
1.3.1 氨基酸的结构	3
1.3.2 氨基酸的分类	5
1.3.3 氨基酸的理化性质	14
1.3.4 氨基酸的测定与分离	23
1.4 蛋白质的分类、性质与测定	29
1.4.1 蛋白质的分类	29
1.4.2 蛋白质的理化性质	34
1.4.3 蛋白质的测定	39
1.5 蛋白质的分离纯化及其方法.....	47
1.5.1 蛋白质分离纯化的意义	47
1.5.2 蛋白质分离纯化的方法	48
1.5.3 蛋白质分离纯化的设计	56
1.6 蛋白质的结构.....	57
1.6.1 蛋白质的一级结构	59
1.6.2 蛋白质的二级结构	60
1.6.3 蛋白质的超二级结构	67
1.6.4 蛋白质的结构域	69
1.6.5 蛋白质的三级结构	73
1.6.6 蛋白质的四级结构	76
1.7 蛋白质的分子结构与功能的关系.....	76
1.7.1 蛋白质一级结构与其功能的关系	76

1.7.2	蛋白质的空间构象与功能活性的关系	78
1.7.3	纤维状蛋白质与二级结构	80
1.7.4	酶的结构与催化功能的关系	81
1.8	蛋白质的合成	83
1.8.1	蛋白质合成的物质基础	84
1.8.2	蛋白质的合成过程	87
	参考文献	93
第2章	胶原的分布、存在形态、生物学合成、功能及生理学意义	97
2.1	胶原概述	97
2.2	胶原的分布、分类及存在形态	102
2.2.1	胶原在生物体内的分布	102
2.2.2	胶原的分类与存在形态	105
2.2.3	胶原蛋白的编码基因	120
2.3	胶原的生物学合成	127
2.3.1	胶原中氨基酸的基本特征	127
2.3.2	胶原的生物合成过程	129
2.3.3	胶原分子的键接方式	136
2.4	胶原的生理学意义及生物学功能	140
2.4.1	胶原的生理学意义	140
2.4.2	胶原的生物学功能	149
	参考文献	154
第3章	胶原的提取与结构研究	158
3.1	胶原的提取	158
3.1.1	胶原的一般提取方法	158
3.1.2	各种类型胶原的提取	161
3.1.3	从不同物质中提取胶原	177
3.1.4	胶原的分离纯化	181
3.2	胶原的四级结构与聚集态结构	185
3.2.1	胶原的四级结构	185
3.2.2	稳定胶原结构的作用力	190
3.2.3	胶原的聚集态结构	194
3.2.4	研究胶原结构的手段与方法	197
3.3	测定胶原的相对分子质量及其分布的方法	199
3.3.1	影响胶原相对分子质量及其分布的因素	199
3.3.2	胶原相对分子质量及其分布的主要测定方法	201

参考文献	205
第4章 胶原的物理性质	211
4.1 胶原的两性	211
4.1.1 等电点的测定	212
4.1.2 胶原在等电点时的物化性质	215
4.2 胶原的变性	217
4.2.1 影响胶原变性的因素	217
4.2.2 表征胶原变性的方法	231
4.3 胶原的胶体性质	236
4.4 胶原的热性质	238
4.4.1 胶原热稳定性的表征方法	238
4.4.2 影响胶原热稳定性的因素	242
4.4.3 胶原的热降解	249
4.4.4 胶原/明胶的玻璃化转变	250
4.5 胶原的力学性能	251
4.5.1 单根胶原纤维的力学性能	251
4.5.2 胶原纤维束的力学性能	254
4.5.3 皮革的力学性能	255
4.5.4 胶原蛋白和明胶基复合材料的力学性能	266
4.6 胶原的光学性能	268
4.6.1 胶原和明胶的荧光特性	268
4.6.2 明胶在感光材料中的应用	270
4.6.3 明胶在微光学元件的化学裂解刻蚀方法上的应用	274
4.6.4 明胶的浊度	275
参考文献	277
第5章 胶原的化学性质	284
5.1 胶原的酸碱性质	284
5.1.1 两性电解质	284
5.1.2 胶原在酸碱介质中的膨胀	285
5.1.3 胶原及其衍生物在盐中的行为	287
5.2 胶原的基本反应	289
5.2.1 氨基的反应	289
5.2.2 羧基的反应	297
5.2.3 甲硫基的反应	301
5.2.4 胍基的反应	301

5.2.5	羟基的反应	304
5.3	胶原的复杂反应	304
5.3.1	胶原与金属离子的作用	304
5.3.2	胶原的显色反应	309
5.3.3	胶原与表面活性剂的作用	311
5.3.4	胶原水解产物明胶的氧化和还原性	313
5.3.5	胶原的交联反应	316
5.3.6	胶原的水解和热降解	337
	参考文献	342
第6章	胶原改性的意义、方法与助剂	348
6.1	胶原改性的意义	348
6.2	胶原的改性方法	349
6.2.1	胶原改性的化学方法	349
6.2.2	胶原改性的物理方法	377
6.2.3	胶原与其他高分子共混改性	378
6.3	胶原的改性助剂	383
6.3.1	有机改性助剂	383
6.3.2	无机改性剂	388
6.3.3	其他改性助剂	393
	参考文献	395
第7章	胶原、明胶及胶原水解蛋白的应用	405
7.1	胶原在生物医学及临床方面的应用	406
7.1.1	胶原用于生物医学的形态	406
7.1.2	胶原在生物医学方面的应用	406
7.1.3	胶原在临床诊断上的应用	434
7.2	胶原在美容化妆品中的应用	436
7.2.1	胶原蛋白用于化妆品中的特殊性质	436
7.2.2	胶原在美容矫形方面的应用	437
7.2.3	胶原蛋白化妆品的保养功用	438
7.3	胶原在食品工业中的应用	439
7.3.1	肉制品添加剂	440
7.3.2	胶原类食品	441
7.3.3	糖果添加剂	442
7.3.4	冷冻食品改良剂	443
7.3.5	饮料澄清剂	443

7.3.6 乳制品添加剂	444
7.3.7 食品涂层材料	444
7.4 胶原在包装中的应用	445
7.5 胶原在饲料中的应用	446
7.6 胶原在造纸中的应用	447
7.7 胶原在皮革化学品上的应用	452
7.7.1 阳离子蛋白填充剂	452
7.7.2 胶原蛋白鞣剂、复鞣剂	453
7.7.3 胶原蛋白改性皮革涂饰剂	455
7.8 胶原纤维在污水处理中的应用	456
7.8.1 胶原纤维固载吸附剂对重金属离子的吸附	456
7.8.2 胶原纤维固载吸附剂对非金属离子的吸附	458
7.8.3 胶原纤维固载吸附剂对细菌的吸附	459
7.9 明胶在高吸水性树脂中的应用	460
7.10 胶原在照相工业中的应用	462
参考文献	471

第 1 章 蛋白质基础

1.1 蛋白质概述与生理学意义

1.1.1 蛋白质概述

蛋白质是一类重要的大分子,英文名称为 protein,源出自希腊文 Πρωτο,是“最原初的”、“第一重要的”意思。中文译为蛋白质,有些学者曾根据 protein 的原意建议设新字“阮”表示,但因蛋白质一词沿用已久,“阮”字未得到广泛采用。

蛋白质在生物体内占有特殊地位,是生命的物质基础,与生命及各种形式的生命活动紧密联系在一起;机体中的每一个细胞和所有重要组成部分都有蛋白质参与,占人体质量的 16.3%,一个体重为 60kg 的成年人体内约有 9.8kg 蛋白质。没有蛋白质就没有生命。

蛋白质的基本组成单位是氨基酸,氨基酸通过脱水缩合形成肽链。蛋白质是由一条或多条多肽链组成的生物大分子,每条多肽链有 20 到数百个氨基酸残基,各种氨基酸残基按一定的顺序排列。仅由一条多肽链构成的蛋白质,如溶菌酶和肌红蛋白,被称为单体蛋白质。由两条或多条肽链通过非共价结合而成的蛋白质称为寡聚蛋白质,如血红蛋白有 4 条肽链(两条 α 链和两条 β 链),每条肽链称为亚基或亚单位。许多蛋白质还包含非肽链结构的其他组成成分,这种成分称为配基或辅基。不同的蛋白质具有各种不同的生理功能。

组成蛋白质的氨基酸有 20 种,氨基酸组成的种类、数量、排列顺序和空间结构不同,使蛋白质的结构、功能千差万别,从而形成了生命的多样性和复杂性。

1.1.2 蛋白质的生理意义

生物界中蛋白质的种类在 $10^{10} \sim 10^{12}$ 数量级。造成种类如此众多的原因主要是参与蛋白质组成的 20 种氨基酸在肽链中的排列顺序不同。根据排列理论,由 20 种氨基酸组成的二十肽,其序列异构体将有: $A_{20}^{20} = 2.4 \times 10^{18}$ 。蛋白质的这种序列异构体现象是蛋白质生物功能多样性和物种特异性的结构基础。

蛋白质是生物功能的载体,归纳起来,蛋白质的生物学功能主要有以下几个方面^[1,2]:

(1) 构成人体。人体的每个组织,包括毛发、皮肤、肌肉、骨骼、内脏、大脑、血液、神经、内分泌等都是由蛋白质组成的。

(2) 修补人体组织。人体由百兆亿个细胞组成。细胞是生命的最小单位,它们处于永不停息的衰老、死亡、新生的新陈代谢过程中。

(3) 维持肌体正常的新陈代谢和各类物质在体内的输送。载体蛋白可以在体内运载各种物质,对维持人体的正常生命活动至关重要。例如,血红蛋白输送氧(红细胞更新速率 250 万个/s);脂蛋白输送脂肪、细胞膜上的受体等。

(4) 维持机体内的渗透压平衡及体液平衡。

(5) 维持体液的酸碱平衡。

(6) 构成免疫细胞和免疫蛋白。白细胞、淋巴细胞、巨噬细胞、抗体(免疫球蛋白)、补体、干扰素等 7 天更新一次。当蛋白质充足时,这个部队就很强,在需要时,数小时内可以增加 100 倍。

(7) 构成人体必需的、具有催化和调节功能的各种酶。

(8) 激素的主要原料。具有调节体内各器官的生理活性的作用,如胰岛素、生长素等。

(9) 构成神经递质。例如,乙酰胆碱、五羟色氨等能够维持神经系统的正常功能,即味觉、视觉和记忆。

(10) 胶原蛋白。占人体蛋白质的 1/3,构成结缔组织;构成身体骨架,如骨骼、血管、韧带等;决定了皮肤的弹性;保护大脑(在大脑的脑细胞中,很大一部分是胶原细胞,并且形成血脑屏障保护大脑)。

(11) 提供热能。

1.2 蛋白质的元素组成

人们已获得许多蛋白质晶体。对蛋白质进行元素分析发现,它们的元素组成与糖和脂质不同,除含有碳、氢、氧外,还含有氮和少量的硫。有些蛋白质还含有一些其他元素,如磷、铁、铜、碘、锌和钼等。这些元素在蛋白质中的质量分数如表 1.1 所示。

表 1.1 蛋白质中各元素含量

元素	质量分数/%
碳	50
氢	7
氧	23
氮	16
硫	0~3
其他	微量

蛋白质的平均含氮量为 16%，这是蛋白质元素组成的一个特点，也是凯氏定氮法测定蛋白质含量的计算基础：

$$\text{蛋白质含量} = \text{蛋白氮} \times 6.25$$

式中，6.25 是 16% 的倒数，为 1 g 氮所代表的蛋白质的质量(克数)^[1,2]。

1.3 蛋白质的氨基酸组成

蛋白质是生物功能的主要载体，可以被酸、碱或蛋白酶催化水解。在水解过程中，逐渐降解成分子质量越来越小的肽段，直到最后成为氨基酸的混合物。

氨基酸是组成蛋白质的基本结构单位。通常情况下，氨基酸通过肽键彼此相连，并以氢键、静电相互作用和其他分子间作用力形成蛋白质分子，存在于各种生物体中。把参与肽键形成的氨基酸称为蛋白质氨基酸或多肽氨基酸；相应地，未参与肽键形成而单独存在的氨基酸则称为游离氨基酸。生物体及食物中，游离氨基酸所占的比例非常小，只占整个体系所含氨基酸的 1%~2%，但在蔬菜、果品、酱油和腐乳中，游离氨基酸的比例比较大，有的甚至占有所有氨基酸的 20%~30%，并对各种食品的风味产生影响。

作为蛋白质氨基酸和游离氨基酸的中间形态，把 2~10 个氨基酸相连的多肽称为低聚肽或寡肽。从数量上说，低聚肽比游离肽还要少，但在生物体中往往起着重要的生理作用。蛋白质可以通过水解得到二肽或三肽，它们在人体内比自由氨基酸易于吸收，比没有水解的蛋白质更易于吸收^[3]。

1.3.1 氨基酸的结构

从分子组成上看，氨基酸是分子中含有一个以上氨基(—NH₂) 和一个以上羧基(—COOH)的化合物的总称。天然蛋白质经水解得到的氨基酸有 20 种，它们的共同特点是羧基邻位 α -C 原子上结合一个氨基，所以称为 α -氨基酸(α -AA)，连接在 α -C 上的还有一个氢原子和一个可变的侧链(R 基)，各种氨基酸的区别就在于