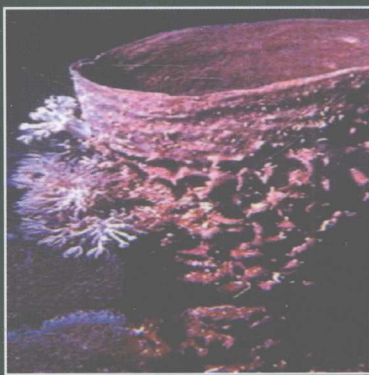


Peptide Nutrition

肽营养学

主编 © 李 勇 蔡木易



北京大学医学出版社

肽营养学

Peptide Nutrition

主编：李 勇

蔡木易

秘书：许雅君（兼）

编委：（以姓氏笔画为序）

马 勇

中国食品发酵工业研究院

王军波

北京大学医学部

王 佳

北京大学医学部

王琳琳

北京大学医学部

许雅君

北京大学医学部

李 勇

北京大学医学部

肖 颖

北京大学医学部

宋晓明

北京大学医学部

杨则宜

国家体育总局运动医学研究所

杨睿悦

北京大学医学部

易维学

中国食品发酵工业研究院

赵海峰

北京大学医学部

韩 静

北京大学医学部

崔风霞

中国食品发酵工业研究院

蔡木易

中国食品发酵工业研究院

裴新荣

北京大学医学部

魏 源

国家体育总局运动医学研究所

北京大学医学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

肽营养学/李勇, 蔡木易主编. —北京: 北京大学医学出版社,
2007

ISBN 978-7-81116-359-9

I. 肽… II. ①李…②蔡… III. 肽—营养学 IV. Q516 R151.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 162953 号

肽营养学

主 编: 李 勇 蔡木易

出版发行: 北京大学医学出版社 (电话: 010-82802230)

地 址: (100083) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京佳信达艺术印刷有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 靳新强 责任校对: 杜 悦 责任印制: 郭桂兰

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 26.25 字数: 645 千字

版 次: 2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷 印数: 1-2500 册

书 号: ISBN 978-7-81116-359-9

定 价: 78.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

本书由

北京大学医学部科学出版基金

资助出版

并由

帝斯曼（中国）有限公司食品配料部

北京中食海氏生物技术有限公司

大道安康（北京）科技发展有限公司

赞助出版

前言

随着现代营养学研究的不断深入,越来越多的既成理论被重新修订,氨基酸曾被认为是人体对蛋白质类食物吸收的最小单位,然而近年的研究发现,蛋白质消化分解后很多以含2~3个氨基酸的小肽被吸收,且其吸收效率较单个氨基酸更高!

随着对肽类研究的不断深入,越来越多的具有生物活性的肽类被不断发现,其中包括人体内源性的生理活性肽以及通过人工方法制备提取的外源性活性肽。这些肽类显示出各种各样的生物活性,如激素样活性、生长因子样活性、抗氧化活性、抗菌活性、抗病毒活性、抗衰老活性、调节免疫活性等等。国际上对于肽营养学的研究兴趣越来越浓厚,并且不断有新的研究成果出现,肽营养学已经成为营养学界一个新的研究领域!然而,目前国际上缺乏对于肽营养学的系统总结,更没有肽营养学的专著问世,这给肽营养学研究交流和知识更新造成诸多不便。针对这种情况和专业需求,我们率先编撰了国内外第一本《肽营养学》专著,旨在系统介绍肽营养学领域的相关基础理论和功能研究等方面的成果,为肽营养知识交流提供基础平台。

本著作由浅入深、由易到难,从历史沿革到研究前沿,从基本概念到机制描述、从基础研究到开发应用,多层次和系统地阐述了肽的基本知识,以及生物活性肽的发现、发展和研究开发前景。本著作主要包括以下几方面内容:肽营养学的概念及其在现代营养学中的地位;肽的定义、组成和命名;肽的结构及结构分析方法;肽的代谢及主要生理功能;生物活性肽的概念、分类及功能;内源性生物活性肽的分类及功能;外源性生物活性肽的分离提取方法及主要生理功能;生物活性肽在预防保健、疾病防治、运动等方面的应用;肽营养学的研究前景和面临的挑战等。本著作内容全面,涵盖国内外肽类研究的主要成果,并对其面临的挑战进行分析,为《肽营养学》这一新的学科的建立和发展提供了很好的平台,同时为相关人才培养提供基础教材。

由于本著作涉及面广且具有多学科交叉的特点,加之编者的水平有限,书中肯定会存在错误/失误和片面性,衷心地欢迎广大读者批评指正。同时,我们也衷心地希望本著作能推动全球肽营养学研究的进程;还希望本著作再版时会有更多的同行专家参与进来,进一步更新、完善和提高本著作质量,使之成为一本更有效和完整的工具书/参考书,成为您科研工作的有力帮手。

本著作的编者们在编写过程中付出了大量的心血和时间,在此我向他们表示衷心的感谢!本著作得到北京大学医学部科学出版基金、帝斯曼(中国)有限公司食品配料部(DSM FOOD SPECIALTIES.)、北京中食海氏生物技术有限公司和大道安康(北京)科技

发展有限公司的资助，北京大学医学出版社还为本著作的出版做了大量工作，为本著作的顺利出版起了很重要的作用，在此我向他们表示崇高的敬意和衷心的感谢！

李 勇

北京大学公共卫生学院营养与食品卫生学系

2007年6月于北京

目 录

Contents

1 概 论 Introduction	1
第一节 肽营养学的概念	
The conception of peptide nutrition	1
第二节 肽营养学的地位	
The role of peptide nutrition	2
第三节 肽营养学的发展趋势	
The development of peptide nutrition	4
小 结	4
2 肽的基本概念 Basic concepts of peptides	5
第一节 肽的定义、组成、命名和分类	
Definition, composition, nomination, and classification of peptides	5
第二节 肽的结构及其分析	
Structure and determination of peptides	9
第三节 肽在体内的代谢	
Metabolism of peptides <i>in vivo</i>	23
第四节 肽的生理功能	
Physiological functions of peptides	33
小 结	34
3 生理活性肽 Physiological functions of bioactive peptides	36
第一节 抗菌肽	
Antibacterial peptides	36
第二节 多肽生长因子	
Polypeptide growth factors, PGFs	52
第三节 免疫调节肽	
Immunomodulating peptides	62
第四节 抗凝肽	
Anticoagulant peptides	80
第五节 阿片活性肽	
Opioid peptides	89

第六节	抗高血压肽	
	Antihypertensive peptides	103
第七节	血糖调节肽	
	Blood sugar regulation peptides	115
第八节	金属元素载体肽	
	Metal carrier peptides	134
第九节	肿瘤抑制肽	
	Tumor suppressing peptides	141
第十节	胃肠肽	
	Gastrointestinal peptides	148
第十一节	利钠肽	
	Natriuretic peptides	157
小 结		166
4	食品感官肽 Peptides with sensory properties	168
第一节	食品感官肽的定义及发展概况	
	Definition and study status	168
第二节	食品感官肽的分类及应用	
	Classification and application	171
小 结		181
5	内源性生物活性肽 Endogenous origin bioactive peptides	184
第一节	重要的内源性生物活性肽	
	Important endogenous origin bioactive peptides	184
第二节	内源性生物活性肽的合成	
	Synthesis of endogenous origin bioactive peptides	211
第三节	内源性生物活性肽的应用	
	Utilization of endogenous origin bioactive peptides	218
小 结		224
6	外源性生物活性肽 Ectogenous origin bioactive peptides	226
第一节	外源性生物活性肽发展概况	
	Investigation status of ectogenous origin bioactive peptides	226
第二节	外源性生物活性肽的制备方法	
	Preparation of ectogenous origin bioactive peptides	233
小 结		244

7 海洋生物活性肽 Marine active peptides	247
第一节 鱼类肽	
Fish peptides	248
第二节 藻类肽	
Algae peptides	253
第三节 扇贝肽	
Scallop peptides	256
第四节 海绵肽	
Sponge peptides	259
第五节 海鞘肽	
Sea squirt peptides	266
第六节 其他海洋生物肽	
Peptides from other marine organism	270
小 结	272
8 陆地生物活性肽 Terrestrial bioactive peptides	275
第一节 植物肽类	
Vegetable peptides	275
第二节 动物肽	
Animal peptides	292
第三节 谷胱甘肽	
Glutathione	302
小 结	306
9 生物活性肽在保健食品/功能食品中的应用	
Application of bioactive peptides in health food and/or functional food	309
第一节 生物活性肽在抗氧化类保健食品中的应用	
Application of bioactive peptide in functional food with anti-oxidation activity	312
第二节 生物活性肽在增强免疫力类保健食品中的应用	
Application of bioactive peptide in functional food with immunity enhancement activity	319
第三节 生物活性肽在辅助降血脂类保健食品中的应用	
Application of bioactive peptide in functional food with blood lipids regulation activity	328
第四节 生物活性肽在辅助降血糖类保健食品中的应用	
Application of bioactive peptide in functional food with blood sugar regulation activity	331

第五节	生物活性肽在辅助降血压类保健食品中的应用 Application of bioactive peptide in functional food with blood pressure reduction activity	333
第六节	生物活性肽在增加骨密度保健食品中的应用 Application of bioactive peptide in functional food with bone density improvement activity	339
第七节	生物活性肽在缓解体力疲劳保健食品中的应用 Application of bioactive peptide in functional food with physical fatigue relief activity	343
第八节	生物活性肽在美容产品中的应用 Application of bioactive peptide in cosmetology	349
第九节	生物活性肽在减肥食品中的应用 Application of bioactive peptide in functional food with banting activity	353
第十节	生物活性肽在抗肿瘤产品中的应用 Application of bioactive peptide in functional food with anti-tumor activity	356
小 结		357
10	生物活性肽在运动中的应用 Application of bioactive peptide in sports	360
第一节	蛋白质的运动营养功能 The nutritional function of protein in sports	360
第二节	蛋白质营养发展的未来——活性肽的运动营养功能 The future of protein nutrition—peptide nutrition in sports	364
第三节	活性肽在运动中应用的前景与展望 Future of the utilization of bioactive peptide in sports	369
小 结		370
11	肽营养学的研究前景和面临的挑战 Future of peptide nutrition and the challenges	374
小 结		377
专业词汇中英文对照		378

肽 (peptide) 是指分子结构介于氨基酸和蛋白质之间的一类化合物, 是由 20 种天然氨基酸以不同组成和排列方式构成的, 从二肽到复杂的线性或环形结构的多肽的总称。每一种肽都具有独特的组成结构, 不同肽的组成结构决定了其功能。肽在生物体内的含量是很微量的, 但却具有显著的生理活性。据研究, 有些肽在 10^{-7} mol/L 的浓度时仍具有生理活性, 生物体会依据生理状态来合成和降解肽, 因此, 具有调节功能的肽的半衰期均很短。其中可调节生物体生理功能的肽称为功能肽 (functional peptide) 或生物活性肽 (biologically active peptide 或 biopeptide)。20 世纪初, 化学合成二肽的成功, 标志着肽科学的诞生。

第一节 肽营养学的概念 The conception of peptide nutrition

所谓肽营养学 (peptide nutrition) 就是研究来自食物中的肽类成分对人体健康状况影响的科学。具体来说, 肽营养学的研究内容包括来自食物中的肽的种类、肽的消化、吸收、代谢和对食物本身及对人体健康状况的影响。主要研究具有生物活性的肽类的来源、种类及对人体健康的各种作用及作用机制。并介绍各种肽的制备方法等内容。

Peptide nutrition is a scientific subject studying the effects of peptides in food on human health. It includes the category, digestion and absorption of the food original peptides, and the effects of these peptides on food characters and on human health. It especially focuses on the origin, category, effects on health, and preparation of biopeptides.

生物活性肽在自然界中广泛存在, 在生物的生命活动中起着非常重要的调节作用, 涉及分子识别、信号转导、细胞分化及个体发育等诸多领域。自从 1975 年, Hughes 等首先报道从动物组织中发现了具有类吗啡活性的小肽以来, 已经从动植物和微生物中分离出多种多样的生物活性肽。生物活性肽的结构可以从简单的二肽到较大分子的多肽。它们具有多种多样的生物学功能, 如激素作用, 免疫调节、抗血栓、抗高血压、调节血糖、降胆固醇、抑制细菌、病毒和抗癌作用、抗氧化作用、改善元素吸收和矿物质运输、促进生长、调节食品风味、口味和硬度等等。因此, 生物活性肽是筛选药物、制备疫苗、保健食品以及食品添加剂的天然资源宝库。生物活性肽可作为药物、保健或功能食品、疫苗、导向药物、诊断试剂、酶抑制剂及食品添加剂的原料, 因此在生物医药以及保健食品等领域具有广阔的应用前景。

蛋白质是具有高度种属特异性的大分子, 它不易吸收, 必须经过消化过程分解为氨基酸才能吸收。这种传统的观点束缚了肽在消化道吸收的机制研究, 完整肽进入上皮细胞而在细胞内水解、吸收通路的存在被忽视了相当长的时间。大量的事实证明, 蛋白质不是仅以氨基

酸形式吸收,而更多以肽的形式吸收。早在100多年前就有人提到了肽转运的可能性。1953年Agar证实了完整双甘肽在大鼠肠道跨上皮的转运;20世纪60年代Newey和Smyth第一次提供了肽被完整吸收的资料,他们发现蛋白质在小肠中的消化产物不仅有氨基酸,还有大量的寡肽,而且肽可完整地进入肠粘膜细胞,并在粘膜细胞中进一步水解生成氨基酸进入血液循环;70年代Mathews等用甘氨酸肌肽及肌肽在离体的肠运转实验中表明,肽的吸收多以二肽、三肽的形式吸收;1979年Steffen证明了被标记的酶可以穿过小肠壁的事实,使人们联想到了较大分子的多肽是否能通过消化道吸收;80年代初Werk等用放射免疫的方法,以豚鼠为实验对象进行胸腺肽在胃肠道的吸收研究,结果表明,小肠吸收30min后,各组织细胞就有大量放射活性物质,2h达高峰;目前已积累了越来越多关于完整短肽肠道转运的证据。肠粘膜对氨基酸和肽的吸收过程是复杂的,一般认为二肽、三肽被吸收摄入肠细胞后,被肽酶水解以游离氨基酸的形式进入血液循环,但近年的生理和药理试验证实,在某些情况下完整的肽能够通过肠粘膜的肽载体进入循环。

进一步研究发现,人体摄入的蛋白质经消化道中的酶作用后,大多是以寡肽的形式被消化吸收的,以游离氨基酸形式吸收的比例很小。而且,机体对寡肽的吸收和代谢速度比对游离氨基酸快。这主要是因为寡肽与游离氨基酸在体内有不同的输送体系。其中,转运寡肽的是 H^+ 依赖性载体,这与氨基酸通过 Na^+ 依赖性载体介导在小肠粘膜吸收是不同的,二者并不存在竞争机制。寡肽类物质在肠道有多种吸收途径,部分寡肽在小肠吸收后,经胞浆肽酶水解为氨基酸并经侧基底膜载体的介导进入细胞间质及血液循环,一些寡肽被吸收后可直接进入血液。部分分子量较大的多肽也能以完整的形式经跨细胞膜途径、旁细胞途径、M细胞途径、肽载体等被肠道吸收并在体内产生生物学效应。此外,肽在机体肠道细胞中还存在于许多独立的肽酶反应,加上肽的渗透压力比氨基酸的小,这就使得一些寡肽能以完整的形式被机体吸收进入血液循环系统,并被组织利用。蛋白质以肽的形式被吸收,既避免了氨基酸之间的吸收竞争,又能减少高渗透压对人体产生的不良影响。因此,以肽的形式为机体提供营养物质,有利于尽快发挥肽的功能效应。肽的生物效价和营养价值比游离氨基酸要高。因此,肽营养已成为蛋白质营养研究的新热点。

第二节 肽营养学的地位 The role of peptide nutrition

蛋白质是生命的物质基础,没有蛋白质就没有生命。组成蛋白质的结构单元是氨基酸,以往人们多关注氨基酸对人体的营养价值,特别是关注必需氨基酸在营养上的作用,但却一直忽视了一点,那就是蛋白质的生理作用不仅与组成的氨基酸种类和数量有关,更与氨基酸的连接顺序、空间结构等有关。组成有机生物体的20种氨基酸从空间结构上来说比较简单,但以不同数目、不同种类的氨基酸结合形成肽就会产生空间结构上较大的差异,这也是肽具有多种生物活性的结构基础。因此,肽营养学就跳出蛋白质营养学及蛋白质营养、氨基酸营养的狭隘界限,发展空间更为广阔。

(一) 肽营养学开启了研究食物营养的新篇章

我们知道,人体主要由20种氨基酸组成,但在自然界中存在成百上千种的氨基酸,由

于肽营养学是研究来自于可食动植物的肽对人体健康的影响,因此我们面对的肽的世界也和蛋白质一样,是组成不同、排列不同、空间结构不同、组成纷繁的群体,引导人们的探索欲望。同时,肽类成分对营养学、食品加工利用,疾病防治等所起到的作用,渐渐地使人大开眼界,也逐渐令人叹为观止。可以说,肽营养学开启了食物营养研究的新篇章。

(二) 肽营养学研究肽类的营养生化作用

肽影响着生物体内许多重要的生理生化功能。他们在体内作为神经递质、神经调节因子和激素等参与受体介导的信号转导。已知有 100 多种活性肽在中枢和外周神经系统、心血管系统、免疫系统和消化系统等中发挥作用。肽还通过与受体的相互作用影响细胞间的信息交流,并参与许多生化过程,如代谢、疼痛、再生和免疫应答等。

随着人们对生物活性肽作用模式的了解日益增多,人们对其在医学、营养学、食品学、药学等领域的应用越来越感兴趣。目前研究发现,来自于普通食物如牛奶、玉米、鱼、大豆的肽具有多种生理活性,可用于改善人们的健康状况,用于疾病的预防及治疗,特别是对人体内源性的活性肽的研究如对谷胱甘肽、神经肽等的研究,让人们可以利用动/植物性食物,提取、分离、酶解生物活性肽,使人们对疑难疾病的治疗及康复产生了新的希望,而肽在其中起着关键性的作用。

(三) 肽营养学有助于人们科学、合理的食物摄入、有利于食物资源的再生及利用

以往人们对肽的研究,多集中在药物的研究上,随着人类疾病谱的改变,预防胜于治疗已经被广泛接受及认同。了解来源于食物的肽类成分的结构、提取加工方法、对人体的保健作用及其机制非常重要,肽营养学有助于人们更充分地认识食物,对食物采用科学、合理的加工及使用方法,如牛奶中含有镇静作用的安神肽,可在临睡前少量饮用,帮助睡眠。

在传统食品的加工过程中,含量较低的肽类成分经常被当成无用的废弃物弃去。由于其含氮,常易造成环境污染。如绿豆的蛋白质在加工粉丝时常随废水一起丢弃,如果将其吸附、酶解则可以获得有助于心血管健康的绿豆肽。

(四) 肽营养学有助于疾病的预防

肽营养学将在生命科学及营养学中占有特殊的位置。肽营养学是一门新兴的科学,因为传统的肽的研究多集中在化学、药学领域,而从营养学的角度,诠释食物中的肽类成分的生物学功效,对人体健康的作用,对疾病的预防,有助于人们选择具有生物活性的肽类营养品或者食品,用于疾病的预防。

(五) 肽类在营养学上的其他作用

1. 提高食物氨基酸的利用率,促进蛋白质的合成

研究发现,大鼠肌细胞、牛乳腺表皮细胞以及羊肌源性卫星细胞均能有效地利用含蛋氨酸的寡肽,作为氨基酸的来源,用于合成蛋白质和细胞增殖。肝脏、肾脏、皮肤和其他组织也能完整地利用寡肽,当以寡肽形式作为氮源时,生物利用率高于单纯氨基酸或完整的蛋白质。

2. 提高矿物质的利用率

据研究报道,在蛋鸡饲料中添加寡肽后,鸡血浆铁离子、锌离子的含量显著高于对照组,同时蛋壳强度提高。铁可以和寡肽形成配合物,促进铁的吸收及利用,非血红素铁与寡肽结合后能到达特定的靶组织/靶器官,又能自由地通过成熟的胎盘,相当于血红素铁的

作用。

3. 促进生长发育

有研究发现,婴幼儿期膳食中合理添加寡肽类成分,不仅有助于婴幼儿的生长发育,而且还有助于预防成年期慢性病的发生。

4. 阻碍脂肪吸收

有研究发现,膳食中的某些寡肽类成分能够有效地阻止脂肪的吸收,并且能促进脂肪的代谢。

5. 降低肠道疾病的发生率

还有研究报道,某些寡肽能促进消化酶的分泌,促进胃肠道蠕动,降低肠道疾病的发生率。

第三节 肽营养学的发展趋势

The development of peptide nutrition

肽营养学起源于肽化学,肽化学对生命科学领域贡献很大。在生物化学研究领域,合成的肽类化合物可作为抗原产生抗体,也可作为酶的底物研究酶的活性部位,或作为酶抑制剂影响信号传递。合成的寡肽可调控蛋白-蛋白分子间的相互作用。

我国在生物活性肽的研究和开发上,从事活性肽的研究单位也多从医药角度出发,研究力量及经费投入相对较少,限制了活性肽药食两用功能的发挥,市场上国产的活性肽药品和保健食品/食品寥寥无几。但近几年研究逐步活跃起来,报道渐多,前景看好。当前生物活性肽研究开发的方向是:肽的定向酶解技术开发,包括高效、专一性强的酶种选育、复合酶系共同作用机制,脱苦微生物的分离、纯化和机制研究,酶解工艺改进技术等;功能性肽的分离、分析技术开发,包括新型高效分离设备和分离工艺,灵敏度高、简单易行的目标肽活性分析检测体系和分析技术及下游精制技术;肽的功能性生物学评价研究;生物活性肽功能食品开发等。

小 结

肽营养学就是研究来自于食物中的肽类成分对人体健康状况影响的科学。肽具有多种生物活性,但有待于进一步的开发利用。

Peptide nutrition is a scientific subject studying the effects of food original peptides on human health. Peptides have various biological activities that need to be further explored and utilized.

(李 勇)

在 20 世纪之前, 肽基本上是以蛋白质的次级分解产物被认识的。随着对生命科学研究的不深化, 人们逐渐认识到肽是重要的生命物质基础之一, 其作用涉及生命过程的各个环节。肽和蛋白质一起, 构成了肽-蛋白质连续谱, 展现出结构的连续变化和功能范围的延展。

第一节 肽的定义、组成、命名和分类 Definition, composition, nomination, and classification of peptides

一、肽的定义和构象特征

肽 (peptide) 是氨基酸的聚合物, 从另一角度讲, 也可认为是蛋白质的不完全分解产物。机体内很多活性物质, 如激素、酶类等本质上都是肽, 由于其具有生物活性, 因此又称为生物活性肽 (biologically active peptide/bioactive peptide/biopeptide, BAP)。有关生物活性肽的内容将在第三章中详细介绍。

Peptides are polymers formed by the linkage of amino acids. They can also be obtained from incomplete breakdown of proteins. Many substances with physiological activities in the organism, such as hormones and most enzymes, are essentially peptides. Since they are physiologically active, they are also known as biopeptides.

生物体内的内源性肽由 DNA 编码, 通常由 20 种 α -氨基酸中的 2 种或 2 种以上按照不同的排列组合方式以酰胺键连接而成, 酰胺键习惯被称为肽键 (peptide bond) (图 2-1)。一条肽链中的氨基酸可以重复。氨基酸的不同排列顺序就构成了肽的一级结构。常见的肽多为线性, 但除了各种线性肽, 还有环形肽, 即由氨基酸通过肽键连接而成的大小不同的环 (图 2-2)。通常情况下, 不同氨基酸组成的肽, 在机体内的活性也不同。氨基酸的不同侧链 (图 2-1 和 2-2 中以 R 表示) 对氨基酸的生化作用模式起重要作用。

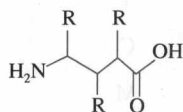


图 2-1 肽键

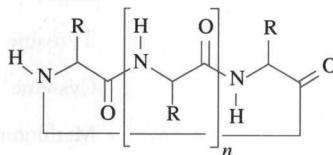


图 2-2 环肽

组成体内活性肽的 20 种氨基酸, 根据其侧链的结构和理化性质可分成三类, 分别为非极性疏水氨基酸、不解离的极性氨基酸和解离的极性氨基酸。各氨基酸名称、缩写形式和等电点见表 2-1。非极性疏水氨基酸的 R 侧链是脂肪烃或芳香烃, 烃链越长疏水性越大。疏水氨基酸常因相互疏水作用而处于球状蛋白质内部或生物膜的跨膜双层脂层中; 不解离的极性氨基酸的 R 侧链带有极性羧基、巯基或酰胺基团, 故有亲水性, 但不解离; 解离的极性氨基酸又有酸性氨基酸和碱性氨基酸之分, 天冬氨酸和谷氨酸的侧链 R 有羧基, 可解离而带负电荷, 称为酸性氨基酸; 赖氨酸的 ϵ -氨基、精氨酸的胍基和组氨酸的咪唑基都可解离而带正电荷, 又称为碱性氨基酸。这些极性强的氨基酸常出现在肽分子的表面, 与环境中水分子形成氢键。除了 20 种由基因编码的氨基酸外, 有的肽分子中还含有非编码氨基酸, 是在蛋白质生物合成后经乙酰化、磷酸化、羟化或甲基化等修饰形成的。

编码氨基酸中有 3 个氨基酸的性质比较特殊。一是脯氨酸, 属于亚氨基酸, 它的氨基和其他氨基酸的羧基形成的肽键有明显的特点, 较易变成顺式的肽键; 二是甘氨酸, 它是唯一在 α 碳原子上含有两个氢原子而没有侧链的氨基酸, 它既不能和其他氨基酸残基的侧链相互作用, 也不产生任何位阻现象, 进而在肽的立体结构形成中有特定的作用; 三是半胱氨酸, 其侧链有一定的大小并具有高度的化学反应活性, 两个半胱氨酸能形成稳定的带有二硫键的胱氨酸。二硫键不仅可以在肽链内, 也可以在肽链间存在, 且可以有不同的空间取向。

表 2-1 人体氨基酸分类

中文名	英文名	三字母缩写	单字母缩写	等电点 (pI)
非极性疏水氨基酸				
甘氨酸	Glycine	Gly	G	5.97
丙氨酸	Alanine	Ala	A	6.00
缬氨酸	Valine	Val	V	5.96
亮氨酸	Leucine	Leu	L	5.98
异亮氨酸	Isoleucine	Ile	I	6.02
苯丙氨酸	Phenylalanine	Phe	F	5.48
脯氨酸	Proline	Pro	P	6.30
不解离的极性氨基酸				
色氨酸	Tryptophan	Trp	W	5.89
丝氨酸	Serine	Ser	S	5.68
酪氨酸	Tyrosine	Tyr	Y	5.66
半胱氨酸	Cysteine	Cys	C	5.07
蛋氨酸	Methionine	Met	M	5.74
天冬酰胺	Asparagines	Asn	N	5.41
谷氨酰胺	Glutamine	Gln	Q	5.65

续表

中文名	英文名	三字母缩写	单字母缩写	等电点 (pI)
苏氨酸	Threonine	Thr	T	5.60
解离的极性氨基酸				
天冬氨酸	Aspartic acid	Asp	D	2.97
谷氨酸	Glutamic acid	Glu	E	3.22
赖氨酸	Lysine	Lys	K	9.74
精氨酸	Arginine	Arg	R	10.76
组氨酸	Histidine	His	H	7.59

1951年, Pauling 和 Corey 通过对氨基酸、氨基酸酰胺及简单的线性肽的 X 射线衍射谱研究证实: 肽骨架构象以三个扭角 φ [$\text{C}(=\text{O})-\text{N}-\text{C}^\alpha-\text{C}(=\text{O})$], ψ [$\text{N}-\text{C}^\alpha-\text{C}(=\text{O})-\text{N}$], ω [$\text{C}^\alpha-\text{C}(=\text{O})-\text{N}-\text{C}$] 为特征, 如图 2-3 所示。

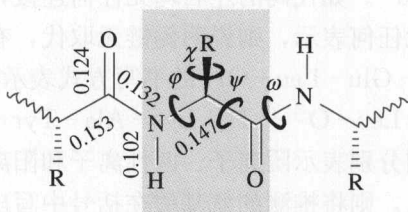


图 2-3 肽链中氨基酸的扭角 φ , ψ , ω , χ^1 和键长

引自: N·休厄德等著, 刘克良等译. 肽: 化学与生物学. 北京: 科学出版社, 2005

肽键的 C-N 键长比普通单键短, 离域共振作用使 C-N 键表现出部分双键特性。由于这个特点, C-N 键的自由转动大大受限, 旋转能垒约为 105 kJ/mol。因而, 肽键存在两个旋转异构体, 反式肽键 ($\omega=180^\circ$) 和顺式肽键 ($\omega=0^\circ$) (图 2-4)。反式肽键能量比顺式肽键低 8 kJ/mol, 存在于多数不含脯氨酸的肽中。

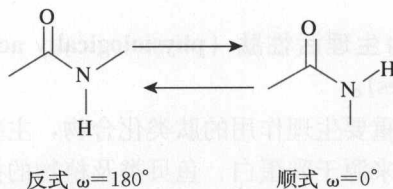


图 2-4 肽键的顺式/反式异构化

二、肽的组成和命名

如前文所述, 肽是由氨基酸按照一定的排列顺序通过肽键连接而成的。根据现今接受的命名法则, 组成中少于 10 个氨基酸的肽称为“寡肽 (oligopeptide)”, 含 10~50 个氨基酸