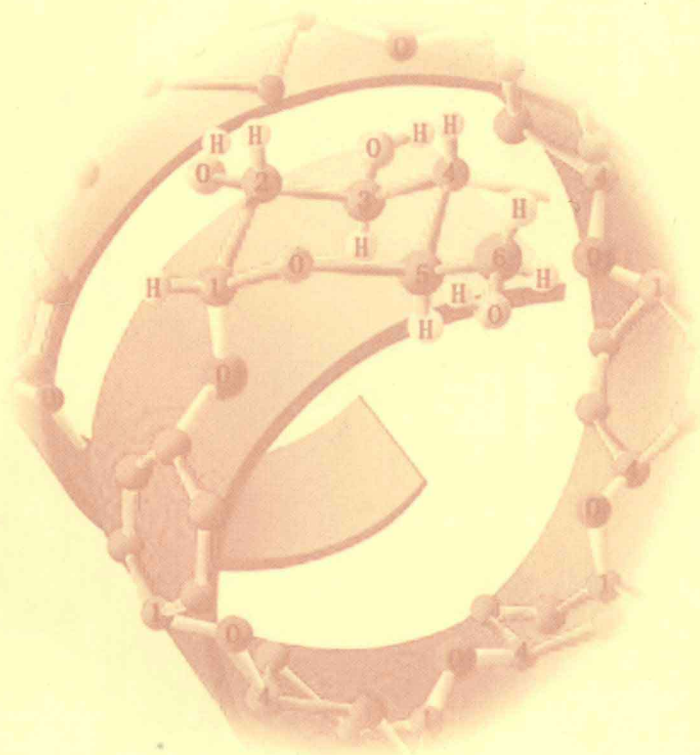




新世纪高职高专教改项目成果教材
Xinshiji Gaozhi Gaozhuang Jiaogai Xiangmu Chengguo Jiaocai

食品生物化学

李丽娅 主 编
梁方君 副主编



新世纪高职高专教学改革项目成果教材

Xinshiji Gaozhi Gaozhuan Jiaogai Xiangmu Chengguo Jiaocai

食品生物化学

李丽娅 主 编

梁方君 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书是教育部新世纪高职高专教改项目成果教材。

本教材主要内容包括:蛋白质、酶、核酸、糖类、脂质等生物大分子的化学结构、性质及代谢过程和生物氧化,同时介绍了食品色素和风味物质的相关知识,并附有16个实验,内容安排合理,实用性强,通俗易懂,深入浅出。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高等院校、本科院校高职教育相关专业学生的学习用书,也可供五年制高职院校学生及其他有关人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

食品生物化学/李丽娅主编. —北京:高等教育出版社,2005.4

ISBN 7-04-016491-4

I.食... II.李... III.食品-生物化学-高等学校:技术学校-教材 IV.TS201.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第018033号

策划编辑 张庆波 责任编辑 应丽贞 封面设计 刘晓翔 责任绘图 朱 静
版式设计 张 岚 责任校对 胡晓琪 责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 中国青年出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 15
字 数 360 000

版 次 2005年4月第1版
印 次 2005年4月第1次印刷
定 价 27.10元(附光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 16491-00

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高[2000]3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高[2000]2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一批较为成熟的成果，组织编写了一批新世纪高职高专教改项目成果教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2002 年 11 月 30 日

前 言

本教材是教育部新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目成果,是有关教育部高职高专教育专业教学改革试点院校组织编写的。

本教材主要供食品类专业学生使用,所以本书取材以突出专业的实际需要为特点,在扼要阐述生物化学的基本知识与理论同时,又介绍了食品的营养物质在加工过程中的变化及其对营养质量和感官质量的影响,体现了教材的针对性。

本教材是供高职高专学生使用的,所以教材内容做到“必需,够用,实用”。主要突出实用性。在内容上增加了很多实例,做到了理论与实践紧密结合。每章开始都预先说明了本章的学习目标,以便使学生了解本章的有关内容和概念,同时又增加了对学生能力点的要求,从而更好地指导学生学习。

为使教材编写具有系统性,2003年8月在北京召开了食品专业教材编写研讨会。由高等教育出版社高职高专分社主持,对教材的内容作了统一规定,防止内容重复。本教材增加了色素和食品风味物质两章,同时增加了实验内容。为了更好地辅助教师教学,本教材配备了光盘,做到生动性、科学性和实用性相统一。

本教材是集体智慧的结晶,由五位教师执笔,主编统稿,专家审稿,最后主编修改定稿。全书共分11章,编写分工是:概述、蛋白质化学、色素由黑龙江大学职业技术学院李丽娅编写;物质代谢由黑龙江大学生命科学学院李盛贤编写;酶与核酸化学由哈尔滨医科大学周宏博编写;糖类化合物与食品风味物质由黑龙江大学职业技术学院梁方君编写;维生素与脂质化合物、实验部分由吉林粮食高等专科学校杨柳编写。本教材由北京大学王重庆教授主审,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中问题和错误之处,敬请读者批评指正。

李丽娅

2004年10月18日

目 录

第一章 概述	(1)	第一节 概述	(21)
一、食品生物化学研究的内容	(1)	一、酶是生物催化剂	(21)
二、食品生物化学在食品科学中的 地位	(1)	二、酶促反应的特点	(22)
第二章 蛋白质化学	(2)	三、酶的分类和命名	(23)
第一节 蛋白质的化学组成	(2)	第二节 酶的分子结构和酶促 反应的机制	(24)
一、蛋白质的元素组成	(2)	一、酶的分子组成	(24)
二、蛋白质的基本结构单位—— 氨基酸	(2)	二、酶的活性中心	(24)
三、肽	(5)	三、酶促反应的机制	(25)
第二节 蛋白质的分子结构与 功能	(5)	四、酶原的激活	(25)
一、蛋白质的一级结构	(5)	五、同工酶	(26)
二、蛋白质的空间结构	(6)	第三节 酶促反应动力学	(26)
三、蛋白质结构与功能的关系	(10)	一、底物浓度对酶促反应速率的 影响	(26)
第三节 蛋白质的理化性质	(13)	二、酶浓度对酶促反应速率 的影响	(27)
一、蛋白质的两性解离和等电点	(13)	三、温度对酶促反应速率 的影响	(27)
二、蛋白质的胶体性质	(14)	四、pH 对酶促反应速率 的影响	(28)
三、蛋白质的变性作用	(14)	五、抑制剂对酶促反应速率的 影响	(28)
四、蛋白质的紫外吸收	(14)	六、激活剂对酶促反应速率的 影响	(29)
五、蛋白质的呈色反应	(14)	第四节 酶活力测定与酶活力 单位	(30)
第四节 蛋白质的分类	(15)	第五节 食品加工中重要 的酶	(30)
一、单纯蛋白质	(15)	一、淀粉酶	(30)
二、结合蛋白质	(16)	二、果胶酶	(31)
第五节 食物体系中的蛋白质	(16)	三、蛋白酶	(31)
一、肌肉蛋白质	(16)	四、酯酶	(32)
二、胶元和明胶	(17)	五、葡萄糖氧化酶	(33)
三、乳蛋白质	(17)		
四、种子蛋白质	(18)		
五、单细胞蛋白质	(19)		
六、叶蛋白	(20)		
习题	(20)		
第三章 酶	(21)		

第六节 固定化酶	(33)	九、维生素 C	(56)
习题	(33)	第四节 食品中维生素变化/损失的常见原因	(56)
第四章 核酸化学	(35)	一、维生素含量的内在变化	(56)
第一节 核酸的化学组成	(35)	二、采后(宰后)食品中维生素的含量变化	(57)
一、戊糖	(35)	三、预处理:整理、清洗与制粉	(57)
二、碱基	(36)	四、热烫与热处理的影响	(58)
三、核苷、核苷酸与多核苷酸	(36)	五、加工后维生素的损失	(58)
第二节 核酸的结构	(37)	六、加工用化学品及其他食品组分的影响	(58)
一、核酸的一级结构	(37)	习题	(59)
二、DNA 的二级结构	(38)	第六章 糖类化合物	(60)
三、DNA 的超螺旋结构	(40)	第一节 糖类的概念与分类	(60)
四、RNA 的结构与功能	(40)	一、糖类化合物概念	(60)
第三节 核酸的理化性质	(43)	二、糖的种类	(60)
一、核酸的一般理化性质	(43)	第二节 单糖的结构和性质	(61)
二、DNA 的变性	(43)	一、单糖的分子结构	(61)
三、DNA 的复性	(43)	二、单糖的理化性质	(61)
第四节 核酸的营养保健功能	(44)	三、自然界存在的重要单糖及其衍生物	(64)
习题	(44)	第三节 寡糖和多糖	(65)
第五章 维生素	(45)	一、双糖	(66)
第一节 概述	(45)	二、三糖	(67)
一、维生素的特点	(45)	三、多糖	(67)
二、维生素的命名与分类	(45)	第四节 几种重要多糖简要介绍	(68)
三、维生素的稳定性	(46)	一、淀粉与糖原	(68)
四、维生素的生物利用率	(47)	二、纤维素与半纤维素	(70)
第二节 脂溶性维生素	(48)	三、壳多糖(几丁质)	(71)
一、维生素 A	(48)	四、果胶质	(71)
二、维生素 D	(49)	五、海藻胶类	(72)
三、维生素 E	(50)	六、葡聚糖	(73)
四、维生素 K	(50)	七、黄原胶	(74)
第三节 水溶性维生素	(51)	八、茁霉多糖	(74)
一、维生素 B ₁	(51)	九、透明质酸	(75)
二、维生素 B ₂	(52)	十、环糊精	(75)
三、维生素 PP	(53)	习题	(76)
四、维生素 B ₆	(53)		
五、泛酸	(54)		
六、叶酸	(54)		
七、维生素 B ₁₂	(54)		
八、生物素	(55)		

第七章 脂质化合物	(77)	六、氨基酸的一般代谢	(119)
第一节 脂肪	(77)	第三节 合成代谢	(126)
一、脂肪的化学结构与种类	(77)	一、糖的合成	(126)
二、甘油	(78)	二、脂肪酸及脂肪的生物合成	(131)
三、脂肪酸	(79)	三、氨基酸和蛋白质的生物合成	(134)
四、脂肪及脂肪酸的性质	(80)	第四节 物质代谢的相互联系和	
五、食品热加工过程中油脂的		调节控制	(140)
变化	(83)	一、代谢途径之间的联系	(140)
第二节 类脂	(84)	二、代谢调节的控制机制	(141)
一、磷脂	(84)	第五节 新鲜天然食物组织中代谢	
二、固醇	(88)	活动的特点	(154)
三、蜡	(89)	一、新鲜水果、蔬菜组织中的代谢	
第三节 油脂加工的化学	(90)	活动	(154)
一、精炼	(90)	二、动物屠宰后组织中的代谢	
二、氢化	(90)	活动	(157)
三、酯交换	(91)	习题	(159)
第四节 食品脂质在风味中的		第九章 食品风味物质	(162)
作用	(91)	第一节 风味的概念	(162)
一、物理作用	(91)	第二节 味感及味感物质	(162)
二、脂质作为风味的前身	(91)	一、味感的概念	(162)
习题	(92)	二、物质的化学结构与味感的	
第八章 物质代谢	(93)	关系	(163)
第一节 生物氧化	(94)	三、甜味与甜味物质	(163)
一、生物体系中能量的最初来源	(94)	四、苦味与苦味物质	(168)
二、生物氧化的方式和特点	(94)	五、酸味与酸味物质	(170)
三、参与生物氧化的酶类	(96)	六、咸味与咸味物质	(172)
四、呼吸链	(97)	七、其他味感与呈味物质	(172)
五、能的释放与转移和利用	(99)	八、味感的增强、抑制与改变	(175)
六、氧化磷酸化的解偶联作用和		第三节 嗅感及嗅感物质	(176)
抑制作用	(100)	一、嗅感的概念	(176)
七、ATP 在生物能量体系中的		二、植物性食物的香气	(176)
作用	(101)	三、动物性食物的香气与臭气	(178)
第二节 分解代谢	(102)	四、食物焙烤香气的形成	(180)
一、糖的无氧分解	(103)	五、发酵食品的香气	(181)
二、糖的需氧分解	(107)	习题	(182)
三、磷酸己糖旁路	(111)	第十章 色素	(184)
四、发酵生产柠檬酸的生化机理	(114)	第一节 吡咯色素	(184)
五、甘油及脂肪酸的降解	(115)	一、血红素	(184)

二、叶绿素	(187)	实验二 寡糖和多糖的水解	(206)
第二节 多烯色素	(189)	实验三 酸价的测定	(207)
一、类胡萝卜素的化学结构	(189)	实验四 脂肪的不饱和脂肪酸	(208)
二、类胡萝卜素色素的食品工艺学 性质	(190)	实验五 蛋白质等电点的测定	(209)
三、类胡萝卜素色素的应用	(191)	实验六 双缩脲法测定蛋白质 含量	(210)
第三节 酚类色素	(191)	实验七 酪蛋白的制备	(211)
一、花色苷类	(191)	实验八 荧光法测定维生素 B ₂ 含量	(212)
二、花黄素类	(193)	实验九 维生素 C 的性质与食物中维 生素 C 含量的测定	(213)
三、植物鞣质	(195)	实验十 醋酸纤维薄膜电泳分离核 苷酸	(216)
第四节 其他天然食用色素	(196)	实验十一 影响酶作用的因素	(217)
一、甜菜色素	(197)	实验十二 发酵过程中无机磷的 利用	(221)
二、紫草色素	(198)	实验十三 氨基转移作用和氨基酸的 纸上层析	(222)
三、胭脂虫及紫胶虫色素	(199)	实验十四 琥珀酸脱氢酶的作用及其 竞争性抑制	(224)
四、红曲色素	(200)	实验十五 大蒜细胞 SOD 的提取与 分离	(225)
五、姜黄色素	(201)	实验十六 设计性实验	(226)
第五节 合成色素	(202)	参考文献	(228)
一、胭脂红	(202)		
二、苋菜红	(202)		
三、柠檬黄	(202)		
四、靛蓝	(203)		
习题	(203)		
第十一章 实验	(205)		
化学实验须知	(205)		
实验一 蒽酮比色定糖法	(206)		

第一章 概 述

一、食品生物化学研究的内容

生物化学是应用化学的理论和方法研究生物体的化学组成、化学变化以及化学变化与生理机能之间关系的一门科学。它是在分子的水平上探讨生命现象的本质。

食品生物化学可以说是生物化学的一个分支。随着生产的发展和人类生活水平的提高,我们对食物的需要已有本质的变化,不仅要求饱腹,而且对食物的营养质量提出更高的要求。而这些要求大部分必须从生物化学中求得解决。例如,水果、蔬菜在采摘后其营养成分的变化及其对食用质量的影响;动物屠宰后体内的生物化学变化与食用质量的关系;新鲜食物加工过程中酶活性的控制与利用等问题。人是生物,人类的食物基本来自生物界,食品生物化学研究的对象与范围就是人及其食物体系的化学组成及化学变化过程。

食品生物化学不仅研究食物中天然存在的营养物质,而且研究食物中的营养物质在食品加工过程中的变化,从而最大限度地满足人体营养需要和适应人的生理特点,这就是食品生物化学不同于普通生物化学的特点。

食品生物化学研究的主要内容是

1. 食品所含的蛋白质、糖类、脂质、维生素类、酶类、核酸类等营养素的化学组成、性质、结构与功能的关系、代谢与功能的关系。
2. 生物体内的物质代谢。通过合成代谢生物体不断摄取外界环境中的营养物质,进而转化为自身的结构成分,使生物体得以生长、发育、繁殖、修补、更新;而分解代谢又将自身的结构成分不断分解并伴随能量释放,释放的能量供生物体生命活动的需要,同时将其代谢物排出体外。
3. 食品的营养物质在加工过程中的变化及其对营养质量和感官质量的影响。

二、食品生物化学在食品科学中的地位

食品科学是一门综合性科学,主要以生物学、化学和工程学为基础。食品资源的开发、加工方法的研究等,都必须建立在对人及其食物的化学组成、性质及在生物体系内外种种条件下的化学变化规律的了解基础上,只有这样才能最大限度地满足人体的营养需要和适应人体的生理特点。因此,生物化学在食品科学中占有举足轻重的地位。

第二章 蛋白质化学



- 知识点: 1. 了解蛋白质的化学组成, 掌握蛋白质常见氨基酸的种类、名称、符号、结构和性质, 掌握肽键的概念。
2. 了解蛋白质的分类方法、主要类别及有关术语。
3. 掌握有关蛋白质分子结构的概念, 各级空间结构的构象特点及结构与功能的关系。

能力点: 1. 掌握蛋白质的重要理化性质, 并能够在实践中应用。

2. 了解食物体系中主要蛋白质的性质, 能够在生产中充分利用其性质从而使其更好地发挥生物学功能。

蛋白质(protein)是构成生物体最重要的高分子有机含氮化合物, 是生命的物质基础。它存在于所有动物及植物的原生质内, 是构成组织和细胞的重要组成部分, 蛋白质含量丰富, 约占人体固体成分的45%, 不同组织蛋白质的含量不同, 肌肉、内脏及皮肤的含量较多, 骨骼、牙齿及脂肪组织含量较少。它们在人体生长、发育繁殖、遗传等生命活动中起着极其重要作用。生物体结构越复杂其蛋白质的种类和功能也越繁多。生命最基本的特征就是蛋白质的不断自我更新。

随着食品科学的发展, 蛋白质的营养价值已被充分认证。因此, 了解蛋白质的结构和性质, 了解其在食品加工过程中发生的变化, 具有极其重要的实际意义。

第一节 蛋白质的化学组成

一、蛋白质的元素组成

不同来源的蛋白质, 它们的元素组成却很相似, 都含有碳、氢、氧、氮及硫。此外, 有些蛋白质还含有少量的磷、铁、铜、锌、锰、钴及钼等。元素分析证实干燥蛋白质含碳约为50%~55%、氢6%~7%、氧19%~24%、氮13%~19%、硫0~4%, 各种蛋白质的含氮量很接近, 平均为16% ($100/16 = 6.25$)。由于蛋白质是体内的主要含氮物, 因此生物样品蛋白质的大致含量可计算为每克样品含氮克数 $\times 6.25 \times 100 = 100$ g 样品中蛋白质含量

二、蛋白质的基本结构单位——氨基酸

(一) 氨基酸的结构通式

组成蛋白质的基本单位是氨基酸(amino acid)。蛋白质在不同条件水解的产物都是游离氨

氨基酸。虽然自然界中的氨基酸有 300 余种,但参与人体蛋白质组成的氨基酸仅有 20 种,且其化学结构均属 L- α -氨基酸(甘氨酸除外),氨基酸的通式如下:

由氨基酸的通式可见,连有 COO^- 基的 α -碳原子,分别连接 4 个不同原子或基团,为不对称碳原子(甘氨酸除外),都呈 L 构型。不同的氨基酸侧链(R)结构及官能团差异导致其性质各异。D-氨基酸大多存在于某些细胞产生的抗生素及个别植物的生物碱中,个别存在于哺乳动物脑与神经组织中。

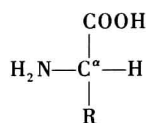
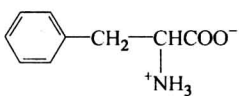
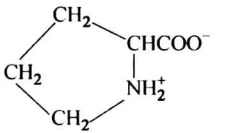
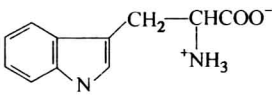


图 2-1 氨基酸结构通式

(二) 氨基酸的分类

组成体内蛋白质的 20 种氨基酸,根据其侧链的结构和理化性质可进行分类,如分成:①非极性疏水性氨基酸;②极性中性氨基酸;③酸性氨基酸;④碱性氨基酸(表 2-1)。

表 2-1 氨基酸分类

结构式	中文名	英文名	三字符号	一字符号	等电点 (pI)
1. 非极性疏水性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	甘氨酸	glycine	Gly	G	5.97
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	丙氨酸	alanine	Ala	A	6.00
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	缬氨酸	valine	Val	V	5.96
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	亮氨酸	leucine	Leu	L	5.98
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	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
2. 极性中性氨基酸					
	色氨酸	tryptophan	Trp	W	5.89
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	丝氨酸	serine	Ser	S	5.68

续表

结构式	中文名	英文名	三字符号	一字符号	等电点(pI)
$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-}$	酪氨酸	tyrosine	Tyr	Y	5.66
$\text{HS}-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-}$	半胱氨酸	cysteine	Cys	C	5.07
$\text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-}$	蛋氨酸	methionine	Met	M	5.74
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-} \end{array}$	天冬酰胺	asparagine	Asn	N	5.41
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-} \end{array}$	谷氨酰胺	glutamine	Gln	Q	5.65
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{HO}-\text{CH}-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-} \end{array}$	苏氨酸	threonine	Thr	T	5.60
3. 酸性氨基酸					
$\text{HOOCCH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-}$	天冬氨酸	aspartic acid	Asp	D	2.97
$\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-}$	谷氨酸	glutamic acid	Glu	E	3.22
4. 碱性氨基酸					
$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-}$	赖氨酸	lysine	Lys	K	9.74
$\begin{array}{c} \text{NH} \\ \parallel \\ \text{NH}_2\text{CNHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-} \end{array}$	精氨酸	arginine	Arg	R	10.76
$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\text{CHCOO}^-} \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{NH} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$	组氨酸	histidine	His	H	7.59

(三) 氨基酸的重要理化性质

氨基酸的分子中既有碱性的 α -氨基, 又有酸性的 α -羧基, 它们可分别解离形成带正电荷的阳离子 ($-\text{NH}_3^+$) 及带负电荷的阴离子 ($-\text{COO}^-$)。因此氨基酸是两性电解质。氨基酸的解离

方式及带电状态取决于其所处溶液的酸碱度。在某一 pH 条件下,使氨基酸解离成阳离子和阴离子的数量相等,分子呈电中性,此时溶液的 pH 称为该氨基酸的等电点(isoelectric point, pI)。氨基酸在等电点时主要以两性离子形式存在,由于静电作用,氨基酸在等电点时溶解度最小。利用这一性质,可以在工业上提取氨基酸产品。例如谷氨酸的生产,就是将发酵液的 pH 调节到 3.22(谷氨酸的等电点)而使大量谷氨酸沉淀析出。

芳香族氨基酸(色氨酸、酪氨酸)有吸收紫外光的特性,它们在波长为 280 nm 附近有最大吸收峰。不同蛋白质含有一定量的酪氨酸和色氨酸残基,在一定条件下,280 nm 的紫外光吸收与蛋白质溶液浓度成正比,利用该性质可以测定样品中蛋白质的含量。

某些氨基酸如精氨酸、色氨酸及酪氨酸等由于具有特殊的 R 基团,能与某种试剂作用产生一种独特的颜色反应。利用这些反应,不仅可以作为这些氨基酸各自的定性试验,也可以利用它作为蛋白质定量分析的基础。

三、肽

一分子氨基酸的 α -羧基与另一分子氨基酸的 α -氨基脱水缩合形成的酰胺键($-\text{CO}-\text{NH}-$)称为肽键,反应产物称为肽(peptide)。肽键是蛋白质结构中的主要化学键。此共价键较稳定,不易受破坏。

例如谷氨酸和甘氨酸脱水后以肽键相连缩合形成谷氨酰甘氨酸,这是两个氨基酸形成最简单的肽,即二肽。二肽再以肽键与另一分子氨基酸缩合生成三肽。如此反应可继续进行,少数氨基酸相连而成的肽称为寡肽(oligopeptide),多个氨基酸相连而成的肽称为多肽(polypeptide)。肽链中的氨基酸分子因失去部分基团得以形成肽键,故被称为氨基酸残基(residue)。多肽链有两端,有自由氨基的一端称氨基末端(amino terminal)或 N-端,有自由羧基的一端称为羧基末端(carboxyl terminal)或 C-端。

第二节 蛋白质的分子结构与功能

蛋白质是由数量很大的 20 种氨基酸连接成的生物大分子,结构十分复杂。蛋白质的分子结构分为蛋白质的一级结构和蛋白质的空间结构或三维结构,空间结构包括蛋白质的二级、三级、四级结构。蛋白质的一级结构指在多肽链中氨基酸的排列顺序,空间结构指多肽链局部及整体的空间排布和三维构象。在生理条件下,蛋白质的空间结构取决于它的氨基酸序列。蛋白质特定的完整结构是其独特生理功能的基础。

一、蛋白质的一级结构

蛋白质分子多肽链中氨基酸的排列顺序称为蛋白质的一级结构(primary structure)。氨基酸排列顺序是由遗传信息决定的,一级结构是蛋白质分子的基本结构,它是决定蛋白质空间结构的基础,而蛋白质的空间结构则是实现其生物学功能的基础。

一级结构中的主要化学键是肽键。胰岛素(insulin)是世界上第一个被测定一级结构的蛋白质,它是由 A、B 两条多肽链通过两个二硫键相连,A 链含 21 个氨基酸残基,B 链含 30 个氨基酸残基,A 链本身第 6 及 11 位两个半胱氨酸形成一个链内的二硫键(图 2-2)。

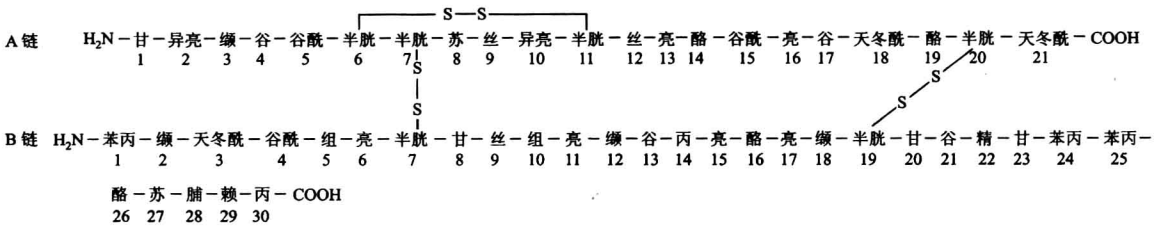


图 2-2 牛胰岛素的一级结构

二、蛋白质的空间结构

各种天然蛋白质分子的多肽链并非以完全伸展的线状形式存在,而是在蛋白质一级结构的基础上通过分子中若干单键的旋转而盘曲、折叠形成特定的空间三维结构。这种空间结构称为蛋白质的构象(conformation)。各种蛋白质的理化性质和生物学活性主要取决于它的某种特定的空间构象。

蛋白质的构象包括主链构象和侧链构象。蛋白质的各个肽键两侧通过 α -碳原子相连形成长链骨架,主链构象指这些长链骨架上的原子的排布及相互关系;侧链构象指各组成氨基酸侧链基团(R基)中原子的排布及彼此关系。下面将蛋白质空间构象分为几个层次加以描述。

(一) 蛋白质的二级结构

蛋白质的二级结构(secondary structure)是指多肽链中主链原子在各局部区段空间的排列分布状况,而不涉及各R侧链的空间排布。

1. 肽平面的概念 20世纪30年代末L. Pauling和R. B. Corey应用X射线衍射分析法分析了某些肽及氨基酸的酰胺,研究肽的构象,研究证实,肽键的键长在单键、双键键长之间。因肽键不能自由旋转而使参与肽键的6个原子共处于同一平面,称为肽键平面,又称肽单元(peptide unit)(图2-3)。而每个 α -C与两侧肽平面中的N原子和羰基C原子以普通单键连接可以自由旋转,使每相邻的肽平面形成双面角,多肽链实际构象是各个肽单元间通过 α -C连接成规

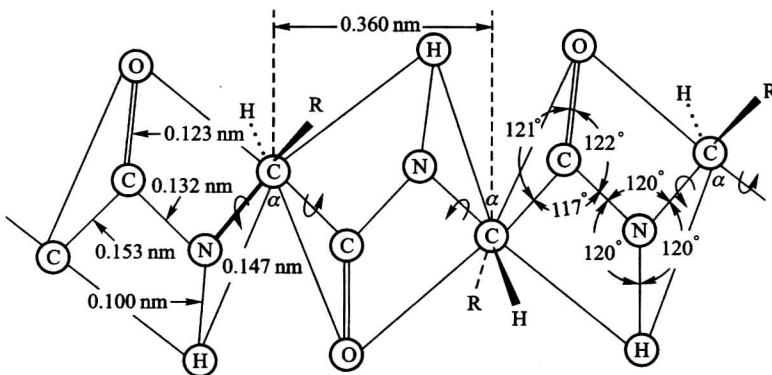


图 2-3 肽键平面

律性结构,在此基础上盘曲折叠产生蛋白质的空间构象。相邻两个肽单元间的相互位置关系就

取决于 α -C 两侧单键旋转的角度,此种以肽单元为基本单位的旋转就是肽链折叠、盘旋的基础。

2. 蛋白质二级结构的主要构象形式 α -螺旋(α -helix)和 β -折叠(β -pleat sheet),是蛋白质二级结构的主要形式。除 α -螺旋和 β -折叠外,蛋白质二级结构还包括 β -转角(β -turn)和无规卷曲(randomcoil)等。

(1) α -螺旋。多肽链中一般在 12 个氨基酸左右区段中,各肽单元相互紧密盘曲成稳定的 α -螺旋结构。其特点如下:①肽单元围绕中心轴呈有规律右手螺旋,每 3.6 个氨基酸残基螺旋上升一圈,螺距为 0.54 nm;②氨基酸侧链伸向螺旋外侧,其形状、大小及电荷量的多少均影响 α -螺旋的形成;③ α -螺旋的每个肽键的亚氨基氢与第四个肽键的羰基氧形成氢键(hydrogen bond),氢键的方向与螺旋长轴基本平行,肽链中的全部肽键都可形成氢键,氢键是维持 α -螺旋结构稳定的主要次级键(图 2-4)。

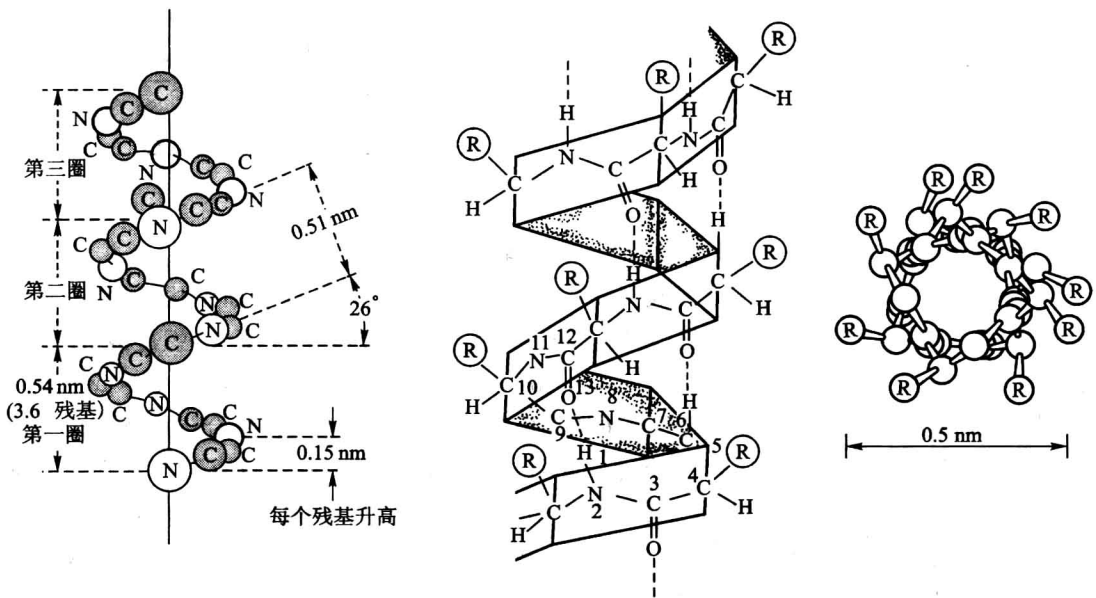


图 2-4 α -螺旋结构

(2) β -折叠。两个以上肽段平行排布并以氢键相连所形成的结构称为 β -折叠。其特点如下:①肽链近于充分伸展的结构,各个肽单元以 α -C 为旋转点,依次折叠,侧面看成锯齿状结构,各氨基酸残基侧链交替地位于锯齿状结构的上下方;②涉及肽段一般比较短,只含 5~10 个氨基酸残基;③两条以上肽链或一条肽链内的若干肽段可平行排列,肽链的走向可相同,也可相反。其近全部肽单元可通过肽链间的肽键羰基氧和亚氨基氢形成氢键,从而稳固 β -折叠结构(图 2-5)。

(3) β -转角。此结构出现于肽链 180° 的转角部位。 β -转角通常由 4 个氨基酸残基构成,由第一个残基的羰基氧(O)与第四个残基的亚氨基氢(H)可形成氢键,以维持转折结构的稳定。 β -转角的结构较特殊,常出现于球蛋白的表面,多含脯氨酸和甘氨酸。脯氨酸为亚氨基酸,形成肽键使肽链反折。甘氨酸侧链最小,易变形。

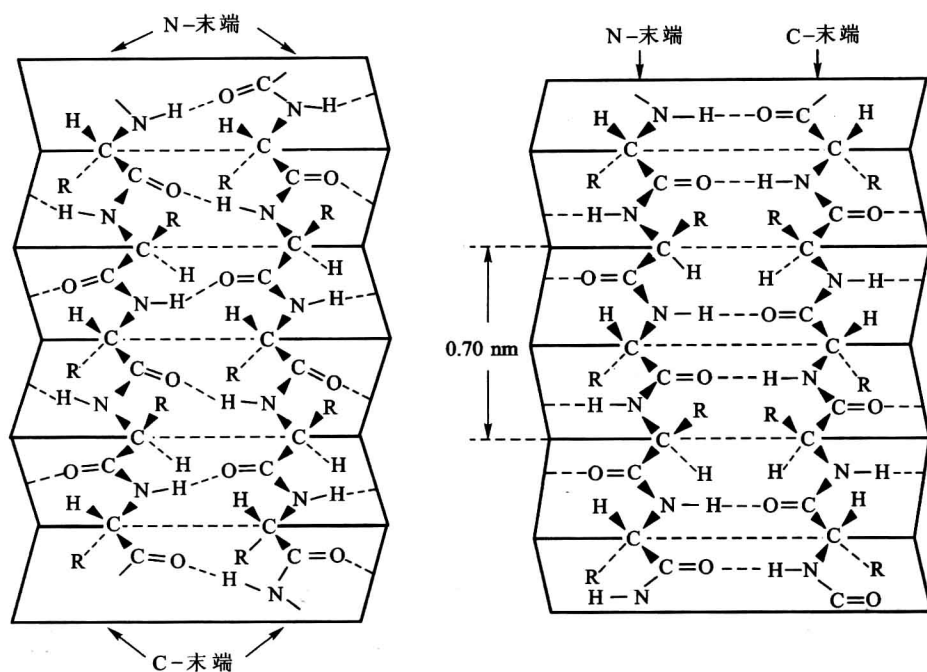


图 2-5 β -折叠结构示意图

(4) 环或卷曲结构。指除上述结构外,肽链其余部分表现为环或卷曲结构,虽相对没有规律性排布,但是其同样表现重要生物学功用。很多球蛋白中由 2 个或 3 个 α -螺旋或 β -折叠二级结构再组合形成超二级结构(super secondary structure),也称为模序(motif)。如 $\beta\alpha\beta$ 、 β -环- β 等。超二级结构模序具有特征性氨基酸序列并相关于特定功能。如钙结合蛋白含有的结合钙离子的模序具有螺旋-环-螺旋(helix-loop-helix)结构,其中环中确定位点有亲水性氨基酸残基与钙离子非共价结合。而 DNA 结合蛋白中含有锌指结构模序,此模序包含 α -螺旋和 2 个反平行 β -折叠,还包括序列两端存在的 2 个 Cys 残基和 2 个 His 残基与 Zn^{2+} ,其 α -螺旋区为 DNA 结合部位,该模序有结合 DNA 的功能。模序也可指特定功能的氨基酸序列。

(二) 蛋白质的三级结构

蛋白质的三级结构(tertiary structure)是指整条肽链中全部氨基酸残基的相对空间排布,即整条肽链包括形成主链构象和侧链构象的所有原子在三维空间的相互关系。稳定三级结构的因素是侧链基团的相互作用生成的各种次级键,有氢键、离子键(盐键)、疏水作用、范德华力等非共价键和由两个半胱氨酸巯基共价结合而形成的二硫键(表 2-2)。其中以疏水键数量最多。

表 2-2 维持蛋白质三级结构的化学键

维系力名称	结构示意图	参与形成的侧基
共价键		
二硫键	—S—S—	半(—SH)