

普通医药院校创新型系列教材

医学生物化学与分子生物学

Medical Biochemistry
and Molecular Biology

· 周晓霞 主编



科学出版社

普通医药院校创新型系列教材

医学生物化学与分子生物学

周晓霞 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本教材按照成人医学生物化学与分子生物学教学大纲的要求而编写,全书共 13 章。主要包括生物大分子的结构与功能、物质代谢与调节、基因信息的传递和调控、基因工程、细胞信息传递等相关内容。教材充分体现医学生物化学与分子生物学的基本理论、基本知识和基本技能及其实用性;每章开篇均有以掌握、熟悉、了解为要求的学习要点;每章后附有小结和思考题,以便同学对各章的基本知识和重点内容的掌握。本教材的学习将为医学成教学生进一步学习相关医学专业课程奠定必要的医学生物化学与分子生物学基础。

本教材可供高等医药院技术、专科学生,成人高考学员,以及从事各层次医学相关专业教学、管理的工作者参考、学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

医学生物化学与分子生物学 / 周晓霞主编. —北京:
科学出版社, 2015. 9

普通医药院校创新型系列教材

ISBN 978 - 7 - 03 - 045437 - 9

I. ①医… II. ①周… III. ①医用化学—生物化学—
医学院校—教材②医药学—分子生物学—医学院校—教材
IV. ①Q5②Q7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 195381 号

责任编辑: 潘志坚 叶成杰
责任印制: 谭宏宇 / 封面设计: 殷 靓

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>

南京展望文化发展有限公司排版

上海叶大印务发展有限公司印刷

科学出版社出版 各地新华书店经销

*

2015 年 9 月第 一 版 开本: 889×1 194 1/16

2015 年 9 月第一次印刷 印张: 11 1/2

字数: 350 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

普通医药院校创新型系列教材

专家指导委员会

主任委员：阮长耿(中国工程院院士)

副主任委员：史宏灿 鞠永熙

委员：(按姓氏笔画排序)

王加凤	王 炜	王建军	王 艳	王静成
孔 祥	史宏灿	刘永兵	刘歆农	许爱华
严 华	李国利	李湘鸣	杨维平	沈维干
张 育	张振刚	张培建	郁多男	季明春
周晓霞	郑 英	胡 艺	顾 晓	高利增
黄 谦	龚卫娟	梁景岩	葛晓群	鞠永熙

普通医药院校创新型系列教材

《医学生物化学与分子生物学》编辑委员会

主 编：周晓霞

副主编：傅 奕 程 宏

编 委：(按姓氏笔画排序)

王树强 李华玲 陈欣虹 周晓霞 程 宏

傅 奕

总序

高等教育改革的关键是提高教育质量,医学教育尤其如此。医药卫生体制改革是一项重大的民生工程,对医学人才培养的结构、质量也提出了更加迫切的要求;同时世界医学也正在发生深刻变化,医学的社会性、公平性、整合性,健康需求的广泛性、医学的国际化都在加速发展,医学发展新趋势对医学教育提出了新挑战。要解决这些问题,关键要改革创新,要通过综合改革,提高质量,提高水平,满足医药卫生事业和人民群众的健康需求。

2014年6月,中华人民共和国教育部等六部门出台“关于医教协同,深化临床医学人才培养改革的意见”,意见指出:到2020年,基本建成院校教育、毕业后教育、继续教育三阶段有机衔接的具有中国特色的标准化、规范化临床医学人才培养体系。院校教育质量显著提高,毕业后教育得到普及,继续教育实现全覆盖。

继续医学教育与全日制本科教育相比,具有其自身的规律与特点。继续医学教育在课程设置、教学内容、教学时数、授课方式上都有相应变化,体现了成人教育的成人性、自主性和实践性。扬州大学医学院基于自身学科优势和办学经验,根据国家医学本科专业培养要求,以“优化资源、重视素质、强调创新”为理念,坚持“本科水平、成人特色、重在实用、便于自学”的原则,精心策划和编写了这套教材,体现了科学性、实用性和启发性。使用对象主要是继续医学教育、医药类本科专业学生等,对基层医务工作者、各类专业培训也有适用性。同时也可作为专业教师的参考用书。

全套教材涉及基础医学、临床医学、护理学、预防医学等相关核心课程,内容丰富翔实、信息量大;理论联系实际、实用性强;语言简洁练达、图文并茂。相信这套教材的出版,必将对临床医学、护理学等专业教育质量的不断提升起到重要的推动作用。



阮长耿

中国工程院院士

2015年4月

前 言

医学生物化学与分子生物学是医学院校一门非常重要的基础医学课程。针对医学高等教育培养目标和培养对象,教材以医学生物化学与分子生物学基本内容为中心,围绕继续医学高等教育各专业所需的医学生物化学与分子生物学知识点,充分体现医学生物化学与分子生物学的基本理论、基本知识和基本技能;在叙述医学生物化学与分子生物学基础理论知识的同时,注重理论联系实际,核心内容力求全面、系统,并适当反映本学科领域的新进展,为医学生进一步学习相关医学专业课程奠定必要的医学生物化学与分子生物学基础。

本教材由十三章组成,主要内容包括蛋白质、核酸和酶等生物大分子的结构和功能;体内糖类、脂类、氨基酸、核苷酸的代谢与调节以及物质分解代谢过程中能量的产生方式和过程;基因信息传递及其调控;基因工程和细胞信号转导的分子通路;与临床医学密切相关的血液生化、肝胆生化等。每章后都附有小结和思考题,以便同学对各章的基本知识和重点内容的掌握。

就组织管理而言扬州大学医学院各级领导都很重视此书的出版工作,多次就编写的形式、内容等组织相关专家讨论、论证。本教材由扬州大学出版基金资助。

本教材在编写过程中,虽然经过反复修改与审阅,但由于编者学识水平有限,错误之处在所难免,敬请使用本教材的广大师生提出宝贵意见。

主 编

2015年4月6日

目 录

总序
前言

绪 论 1

- | | | | |
|---------------------|---|--------------------|---|
| 一、生物化学与分子生物学的研究简史 | 1 | 三、生物化学与分子生物学和医学的关系 | 2 |
| 二、生物化学与分子生物学的主要研究内容 | 1 | | |

第一章 蛋白质的结构和功能 3

- | | | | |
|-------------------|----|------------------|----|
| 第一节 蛋白质的分子组成 | 3 | 第四节 蛋白质的重要理化性质 | 12 |
| 一、蛋白质的元素组成 | 3 | 一、蛋白质的胶体性质 | 12 |
| 二、蛋白质的基本组成单位——氨基酸 | 3 | 二、两性解离与等电点 | 12 |
| 三、肽键和肽 | 6 | 三、紫外吸收特征与蛋白质定量分析 | 12 |
| 第二节 蛋白质的分子结构 | 7 | 四、蛋白质的变性、沉淀与凝固 | 13 |
| 一、蛋白质的一级结构 | 7 | 第五节 蛋白质的分离纯化 | 13 |
| 二、蛋白质的空间结构 | 8 | 一、有机溶剂沉淀和盐析 | 13 |
| 三、蛋白质的分类 | 10 | 二、层析 | 13 |
| 第三节 蛋白质分子结构和功能的关系 | 10 | 三、透析与超滤 | 14 |
| 一、蛋白质分子一级结构和功能的关系 | 10 | 四、电泳法 | 14 |
| 二、蛋白质分子空间结构和功能的关系 | 11 | | |

第二章 核酸的结构与功能 15

- | | | | |
|------------------|----|-----------------|----|
| 第一节 核酸的化学组成及一级结构 | 15 | 一、信使 RNA(mRNA) | 20 |
| 一、元素组成 | 15 | 二、转运 RNA(tRNA) | 21 |
| 二、基本组成单位 | 15 | 三、核糖体 RNA(rRNA) | 22 |
| 三、核酸的一级结构 | 17 | 四、细胞内其他 RNA 分子 | 22 |
| 第二节 DNA 的空间结构与功能 | 18 | 五、核酶 | 23 |
| 一、DNA 的二级结构 | 18 | 第四节 核酸的理化性质 | 23 |
| 二、DNA 的三级结构 | 19 | 一、核酸的一般理化性质 | 23 |
| 第三节 RNA 的空间结构与功能 | 20 | 二、DNA 的变性与复性 | 23 |

第五节 核酸酶	24	二、核酸内切酶	24
一、核酸外切酶	24		

第三章 酶与维生素 26

第一节 酶的结构与功能	26	四、pH 对酶促反应速度的影响	33
一、酶的分子组成	26	五、抑制剂对反应速度的影响	33
二、酶的活性中心	27	六、激活剂对反应速度的影响	35
第二节 辅酶与维生素	27	第五节 酶活性的调节	35
第三节 酶作用的特点及催化机制	30	一、细胞内酶活性的调节	35
一、酶促反应的特点	30	二、酶原与酶原的激活	36
二、酶促反应的机制	31	三、同工酶及其临床意义	37
第四节 酶促反应动力学	31	第六节 酶的命名与分类及其与医学的关系	37
一、酶浓度对酶促反应速度的影响	31	一、酶的命名、分类	37
二、底物浓度对酶促反应速度的影响	31	二、酶与疾病的关系	38
三、温度对酶促反应速度的影响	32	三、酶在医学研究领域中的应用	38

第四章 糖代谢 40

第一节 概述	40	一、糖原的合成代谢	47
一、糖的生理功能	40	二、糖原的分解代谢	48
二、糖的消化	40	第四节 糖异生	48
三、糖的吸收	41	一、反应途径	48
第二节 糖的分解代谢	41	二、生理意义	50
一、糖酵解	41	第五节 血糖	50
二、糖的有氧氧化	43	一、血糖的来源和去路	51
三、磷酸戊糖途径	46	二、血糖浓度的调节	51
第三节 糖原的合成与分解	47	三、高血糖与低血糖	51

第五章 脂类代谢 53

第一节 脂类概述	53	二、甘油磷脂的合成	61
一、脂类的一般概念	53	三、甘油磷脂的分解	62
二、脂类的消化和吸收	53	第四节 胆固醇代谢	63
第二节 脂肪的代谢	54	一、胆固醇的化学结构	63
一、脂肪的分解代谢	54	二、胆固醇的生物合成	63
二、脂肪的合成代谢	57	三、胆固醇在体内的转化	65
三、多不饱和脂肪酸的重要衍生物—— 前列腺素、血栓素及白三烯	60	第五节 血浆脂蛋白代谢	65
第三节 甘油磷脂的代谢	60	一、血浆脂蛋白的组成	65
一、甘油磷脂的结构	60	二、血浆脂蛋白的代谢	66
		三、血浆脂蛋白代谢异常	69

第六章 生物氧化 71

第一节 呼吸链	71	一、呼吸链	71
---------	----	-------	----

二、呼吸链组分的排列顺序	73	四、ATP 合酶	76
三、胞液中 NADH 的氧化	74	五、影响氧化磷酸化的因素	76
第二节 氧化磷酸化和 ATP 的生成	74	第三节 其他氧化体系	77
一、ATP 的生成方式	75	一、超氧化物歧化酶	77
二、氧化磷酸化偶联部位	75	二、微粒体氧化酶系	78
三、氧化磷酸化偶联机制	76		

第七章 氨基酸代谢 79

第一节 蛋白质的营养作用	79	第四节 氨的代谢	85
一、蛋白质的生理功能	79	一、血氨的来源和去路	85
二、蛋白质的需要量	79	二、氨在体内的运输	85
三、蛋白质的营养价值	80	三、尿素的代谢	85
第二节 食物蛋白质的消化、吸收与腐败	80	第五节 个别氨基酸的代谢	87
一、食物蛋白质的消化、吸收	80	一、氨基酸的脱羧基作用	87
二、蛋白质在肠中的腐败作用	81	二、一碳单位的代谢	87
第三节 氨基酸的一般代谢	82	三、含硫氨基酸的代谢	87
一、氨基酸代谢的概况	82	四、肌酸的代谢	88
二、氨基酸的脱氨基作用	82	五、芳香族氨基酸的代谢	88
三、 α -酮酸的代谢	84		

第八章 核苷酸代谢 91

第一节 嘌呤核苷酸的合成代谢	91	二、嘧啶核苷酸的补救合成	97
一、嘌呤核苷酸的从头合成途径	92	三、嘧啶核苷酸的抗代谢物	97
二、嘌呤核苷酸的补救合成途径	94	第三节 脱氧核苷酸的合成代谢	97
三、嘌呤核苷酸的抗代谢物	95	第四节 核苷酸的分解代谢	98
第二节 嘧啶核苷酸的合成代谢	95	一、嘌呤核苷酸的分解代谢	98
一、嘧啶核苷酸的从头合成	95	二、嘧啶核苷酸的分解代谢	99

第九章 血液生化 100

第一节 血液的组成成分	100	二、血浆蛋白质的主要生理功能	101
一、血液的成分概述	100	第三节 血细胞代谢	102
二、血液非蛋白含氮化合物	100	一、红细胞的代谢	102
第二节 血浆蛋白质	101	二、白细胞的代谢	105
一、血浆蛋白质的来源及分类	101		

第十章 肝的生物化学 107

第一节 肝脏在物质代谢中的作用	107	五、肝脏在激素代谢中的作用	108
一、肝脏在糖代谢中的作用	107	第二节 肝脏的生物转化作用	108
二、肝脏在脂代谢中的作用	107	一、生物转化的概念	108
三、肝脏在蛋白质代谢中的作用	108	二、生物转化的反应类型	109
四、肝脏在维生素代谢中的作用	108	三、生物转化作用的特点与意义	110

四、影响生物转化的因素	110	一、胆红素的生成与转运	114
第三节 胆汁酸盐的代谢	111	二、胆红素在肝细胞内的代谢	115
一、胆汁	111	三、胆红素在肠道中的转变	116
二、胆汁酸的代谢与功能	111	四、胆素原族的肠肝循环及尿中胆素原的排泄	116
三、胆汁酸的肠肝循环及其意义	113	五、血清胆红素与黄疸	116
第四节 胆色素代谢与黄疸	114		

第十一章 遗传信息的传递与调控 118

第一节 DNA 的生物合成(复制)	118	五、RNA 的复制	134
一、复制的基本规律	118	第三节 蛋白质的生物合成——翻译	134
二、DNA 复制的酶学	120	一、蛋白质生物合成体系	134
三、DNA 复制的过程	122	二、蛋白质生物合成过程	136
四、RNA 指导的 DNA 合成——反转录	124	三、蛋白质生物合成后加工与输送	138
五、DNA 损伤与修复	124	四、蛋白质生物合成的干扰和抑制	139
第二节 RNA 的生物合成(转录)	127	第四节 基因的表达调控	141
一、转录模板与启动子	127	一、基因表达的相关概念	141
二、RNA 聚合酶	128	二、原核生物的操纵子调控模式	141
三、转录过程	128	三、真核基因的表达调控	143
四、RNA 的转录后加工	131		

第十二章 基因工程 146

第一节 基因工程的基本工具酶	146	二、载体的选择和构建	150
一、限制性核酸内切酶	146	三、目的基因和载体的连接	151
二、DNA 连接酶	147	四、重组 DNA 转入受体细胞	151
第二节 基因工程的载体	148	五、重组子的筛选和鉴定	151
一、载体的种类	148	六、目的基因的扩增(表达)	153
二、理想载体应具备的基本条件	148	第四节 基因工程在医学中的应用	154
第三节 基因工程的基本操作步骤	148	一、基因工程技术用于生产生物药品和疫苗	154
一、目的基因的获取	149	二、基因工程技术用于基因治疗	154

第十三章 细胞信号转导 156

第一节 生物信号分子	156	一、细胞膜受体介导的信号传递途径	161
一、信号分子的概念、化学特点与分类	156	二、细胞内受体介导的信号传递途径	165
二、信号分子的作用特点	157	第四节 细胞信息传递途径异常与疾病	166
第二节 受体	157	一、G 蛋白异常与疾病	166
一、受体的分类、结构与功能	158	二、信号转导障碍与疾病	167
二、受体与配体的结合特点	160	三、受体异常与疾病	167
第三节 细胞信息传递途径	161	四、细胞信号转导异常性疾病的防治	167

推荐书目 169

主要参考资料 170

绪 论

生物化学与分子生物学是一门在分子水平上研究生命现象的科学,其主要任务是从分子水平研究、阐述生物体的分子结构与功能、物质代谢与调节以及遗传信息传递的分子基础与调控规律。

生物化学与分子生物学的研究对象是所有的生命形式,包括动物、植物、昆虫、微生物等,人体是生物化学研究的重要对象。生物化学对医药学的发展起着重要的促进作用。生物化学作为一门医药院校十分重要的专业基础理论课程,对后续基础与专业课程的学习具有重要的影响。

一、生物化学与分子生物学的研究简史

人类对生物体化学现象的研究历史悠久。生物化学形成于 20 世纪之初,1903 年 Neuberg 首次使用“生物化学”这个名词。1920 年以前,称为静态生物化学时期,其研究内容以分析生物体内物质的化学组成、性质和含量为主。1920~1950 年之间,称为动态生物化学时期,这是生物化学飞速发展的时期,随着放射性核素示踪技术、色谱技术等物理学手段的广泛应用,生物化学从单纯的组成分析深入物质代谢途径及动态平衡、能量转化、蛋白质、核酸等生物大分子的高级结构及遗传信息流向等研究内容。1950 年以后进入机能生物化学时期,蛋白质和核酸的结构与功能成为研究的重点。20 世纪 50 年代,生物化学的发展进入了分子生物学时期。通常将研究核酸、蛋白质等生物大分子的结构、功能及基因结构、表达与调控的内容称为分子生物学。分子生物学的发展揭示了生命本质的高度有序性和一致性,是人类在认识论上的巨大飞跃。从广义上理解,分子生物学是生物化学的重要组成部分,被视为生物化学的发展和延续,因此,生物化学与分子生物学密不可分,在我国教委和科委颁布的二级学科中,称为“生物化学与分子生物学”。

二、生物化学与分子生物学的主要研究内容

(一) 生物体的化学组成、分子结构及功能

除了水和无机盐之外,生物体的有机物主要由碳原子与氢、氧、氮、磷、硫等结合组成,分为大分子和小分子两大类。前者包括蛋白质、核酸、多糖和以结合状态存在的脂质;后者有维生素、激素、各种代谢中间物以及合成生物大分子所需的氨基酸、核苷酸、糖、脂肪酸和甘油等。体内的生物大分子种类繁多,结构复杂,功能各异,但其结构均有一定的规律性,都是由各自的基本构件分子按一定顺序和方式连接而成的多聚体。构件分子在生物体内,按一定的组织规律,互相连接,依次逐步形成生物分子、亚细胞结构、细胞组织或器官,最后在神经及体液的沟通和联系下,形成一个有生命的整体。组成生物体的每一部分都具有其特殊的生理功能,欲知细胞的功能,必先了解其亚细胞结构;同理,要知道一种亚细胞结构的功能,也必先弄清构成它的生物分子。因此,研究生物体首先要对其分子组成与结构,特别是其结构与功能的关系有所了解。在生物化学中,有关结构与功能关系的研究,还有许多尚需大力关注的问题。生物化学学科已积累的体内各种化学成分的结构、性质和功能的研究方法和成果,为深入研究生物大分子并阐明复杂的生命现象提供了坚实的分子基础。

(二) 物质代谢及其调控

生命的基本特征是新陈代谢。生物体通过与外环境不断地进行物质交换,以维持体内环境的相对稳定,使生命得以延续。生物体的新陈代谢包括合成代谢和分解代谢,其过程都由一系列化学反应步骤组成不同的代谢途径。通过各种化学反应,生物体将环境中的营养物质及能量加以转变、吸收和利用,从而维持机体组织细胞的生长、发育与繁殖。在分解代谢中,糖、脂肪、蛋白质等能源物质被氧化时,所释出的

能量供各种生命活动所需,同时产生废物,经过各排泄途径排出体外,这就是生物体与其外环境的物质交换过程。在物质代谢的过程中还伴随有能量的变化。生物体内机械能、化学能、热能以及光、电等能量的相互转化和变化称为能量代谢,此过程中 ATP 起着中心的作用。体内的各种物质代谢途径之间不仅互相协调,而且受到内外环境各种因素的影响,随时进行调节以达到动态平衡,从而适应内外环境的变化。各种物质代谢都能按一定规律有条不紊地进行,这与体内神经、激素等全身性精细准确地调节作用密切相关。物质代谢的调节控制是生物体维持生命的一个重要方面。物质代谢中绝大部分化学反应在细胞内由酶催化完成,而且具有高度自动调节控制能力,这是生物的重要特点之一。一个小小的活细胞内,有近两千种酶,在同一时间内,催化各种不同代谢中各自特有的化学反应。这些化学反应互不干扰,各自有条不紊地以惊人的速度进行着,而且还互相配合。而物质代谢一旦发生紊乱即可导致疾病发生。随着生物化学的发展,各种物质代谢的过程已基本清楚。而代谢调节的种类、方式、过程又十分复杂,特别是调节信号分子间的相互作用和信号转导过程,尽管其研究成绩斐然,但尚有许多细节有待进一步研究探讨。

(三) 遗传信息的储存、传递与表达

生物体在繁衍个体的过程中,其遗传信息代代相传,这是生命现象的又一重要特征。遗传信息的传递涉及遗传、变异、生长、分化等诸多生命过程。受精卵增殖、胚胎发育、个体成熟等都伴随着无数次细胞分裂增殖过程。每一次细胞分裂增殖都包含着细胞核内遗传物质的复制、遗传信息的传递和表达。体内一刻不停地进行的物质代谢及其所发挥的功能也是细胞核内遗传信息最终表达的结果。这涉及核酸、蛋白质的生物合成及其调控。

个体的遗传信息以基因为基本单位储存于 DNA 分子中。随着人类基因组计划的最终完成,将阐明体内约 3.5 万个基因在染色体上的定位及其核苷酸序列,并进一步研究 DNA 复制、基因转录、蛋白质生物合成等基因信息传递过程的机制及基因表达的时空规律。基因工程的理论和技术,是在对核酸进行深入研究的基础上,多学科相互渗透发展起来的,加之新基因克隆、转基因、基因剔除和 RNA 干扰等研究方兴未艾,已广泛地应用于正常人体机能及疾病发生机制、诊断、治疗等医学各个领域的研究,并已取得令世人瞩目的成就。

三、生物化学与分子生物学和医学的关系

生物化学与分子生物学是一门必修的基础医学课程,也是生命科学中进展迅速的基础学科。近年来生物化学与分子生物学已渗透到基础医学各学科。生理学、药理学、微生物学、免疫学、遗传学及病理学等基础医学的研究均已深入分子水平,并应用生物化学与分子生物学的理论与技术解决各学科的问题,由此产生了生化药理学、分子药理学、药物基因组学、分子免疫学、分子病毒学、分子遗传学、分子病理学、病理生化学等新学科。同样生物化学与分子生物学与临床医学各学科的关系也很密不可分,近代医学的发展经常需要运用生物化学与分子生物学的理论和技术来诊断、治疗和预防疾病,而且许多疾病的发生、发展机制也需要从分子水平加以探讨。例如,近年来由于生物化学与分子生物学的进展,大大加深了人们对恶性肿瘤、心血管疾病、神经系统疾病、免疫性疾病等重大疾病的认识,并出现了很多新的诊断、治疗方法。

因此,掌握生物化学的基本知识,可为深入学习其他基础医学课程、临床医学课程、预防医学课程、药学课程乃至毕业后的继续教育,奠定坚实的理论基础。

(周晓霞)

第一章 蛋白质的结构和功能

学习要点

- **掌握:** ① 蛋白质分子的元素组成及其特点;② 氨基酸的分类及其相互连接方式;③ 蛋白质一、二、三、四级结构的定义及作用力;④ 蛋白质变性及其紫外吸收特性。
- **熟悉:** ① 蛋白质两性电离及等电点;② 蛋白质结构和功能的关系
- **了解:** ① 蛋白质的分离纯化;② 医学上的重要多肽——谷胱甘肽

蛋白质(protein)是生物体内含量最丰富的生物大分子,机体内蛋白质约占细胞干重的70%以上。蛋白质也是功能最多、最复杂的生物大分子,几乎参与了生命活动的全部过程。要了解蛋白质的功能及其在生命活动中的重要性,首先必须了解蛋白质的化学组成与结构。本章主要介绍蛋白质的基本组成和结构特征并进一步阐述蛋白质的结构与功能的关系。

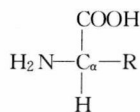
第一节 蛋白质的分子组成

一、蛋白质的元素组成

蛋白质是大分子化合物,相对分子质量一般上万,结构十分复杂,但都是由碳(50%~55%)、氢(6%~7%)、氧(19%~24%)、氮(13%~19%)、硫(0~4%)等基本元素组成,有些蛋白质分子中还含有少量铁、磷、锌、锰、铜、碘等元素,其中各蛋白质中氮的含量相对恒定,平均为16%,因此通过样品中含氮量的测定,乘以6.25,即可推算出其中蛋白质的含量。

二、蛋白质的基本组成单位——氨基酸

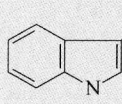
蛋白质在酸、碱或酶的作用下可水解为各种氨基酸(amino acid, AA),因此氨基酸是蛋白质的基本组成单位。虽然自然界中存在着300多种氨基酸,但合成蛋白质的只有20种,这20种氨基酸在基因中有着特异的遗传密码,因此又称为编码氨基酸。20种氨基酸中,除甘氨酸不具有不对称碳原子和脯氨酸是亚氨基酸外,其余均为L,α-氨基酸。氨基酸分子的结构通式为:



(一) 氨基酸的分类

20种氨基酸按其侧链R基团在中性溶液中的极性和解离状态不同,可分为四类(表1-1)。

表 1-1 20 种氨基酸的结构和分类

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
$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	苯丙氨酸	phenylalanine	Phe	F	5.48
$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \end{array}$	脯氨酸	proline	Pro	P	6.30
2. 极性、中性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$ 	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
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	酪氨酸	tyrosine	Tyr	Y	5.66
$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	半胱氨酸	cysteine	Cys	C	5.07
$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	甲硫氨酸	methionine	Met	M	5.74
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	天冬酰胺	asparagine	Asn	N	5.41
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	谷氨酰胺	glutamine	Gln	Q	5.65
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{HO}-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	苏氨酸	threonine	Thr	T	5.60

2. 紫外吸收特征 在 20 种氨基酸中,三种芳香族氨基酸——酪氨酸、苯丙氨酸和色氨酸因为侧链基团含有苯环共轭双键,所以在紫外区(220~300 nm)有特征吸收,最大吸收峰为 280 nm,并以色氨酸吸收最强。

3. 茚三酮反应 茚三酮在弱酸性溶液中与 α -氨基酸共热,引起氨基酸氧化脱氨、脱羧反应,茚三酮水合物被还原并与氨基酸加热分解产生的氨结合,再与另一分子茚三酮缩合产生蓝紫色化合物,利用此性质可以测定氨基酸的含量和蛋白质的降解程度。

三、肽键和肽

(一) 肽键

蛋白质分子中的氨基酸通过肽键相连。肽键是一分子氨基酸的 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($-\text{CO}-\text{NH}-$)(图 1-1)。肽键是蛋白质分子中的主要共价键,性质比较稳定。它虽是单键,但键长比大多数其他化合物的 C-N 单键短,比 C=N 双键又长些,因而具有部分双键的性质,不能自由旋转,使得包括连接肽键两端的 C=O、N-H 和 2 个 C_α 共 6 个原子的空间位置处在同一平面上,称为肽平面(图 1-2)。

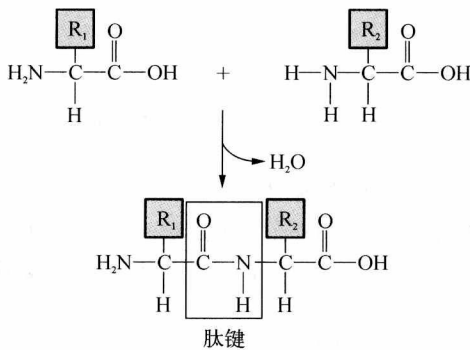


图 1-1 肽键的形成

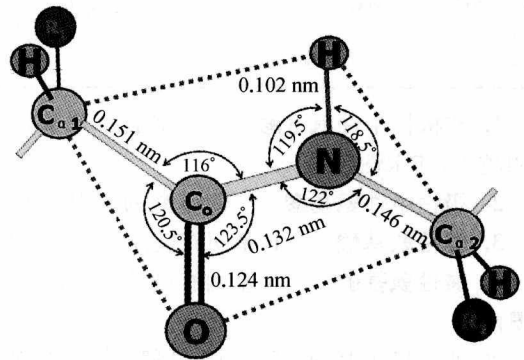


图 1-2 肽平面

(二) 肽

肽是氨基酸通过肽键相连而成的化合物。肽按其组成的氨基酸数目分别称为二肽、三肽和四肽等。一般由 10 个以下氨基酸组成的称寡肽,由 10 个以上氨基酸组成的称多肽,它们都简称为肽。肽链中的氨基酸因脱水缩合生成肽键,已不是完整的氨基酸,因此被称为氨基酸残基。

蛋白质和多肽没有明确界限,通常把由 39 个氨基酸残基组成的促肾上腺皮质激素称为多肽,而把含 51 个氨基酸残基的胰岛素称为蛋白质。多肽链中由肽平面重复排列而成的肽链骨架称为主链,各氨基酸残基的侧链 R 基统称为侧链。多肽链有两端,游离氨基所在的一端称为氨基末端(N 端),游离羧基所在的一端称为羧基末端(C 端)。肽链有方向性,书写时将 N 端写在左侧,C 端写在右侧(图 1-3)。

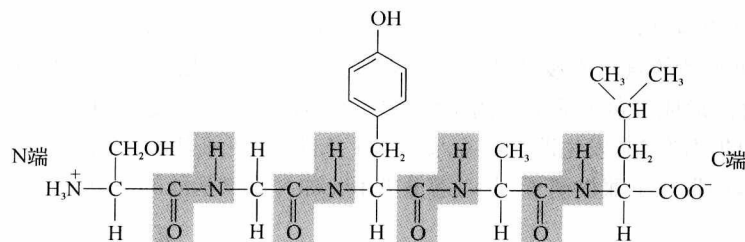


图 1-3 多肽链的结构

(三) 生物活性肽

人体内有许多具有重要生理功能的寡肽和多肽,称为生物活性肽。

1. 谷胱甘肽(GSH) GSH 是由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸组成的三肽(图 1-4)。分子中谷氨酸