

● 精品课程配套教材

培养“十三五”规划教材
养优秀教材

生物化学

主审 / 欧阳乐军

主编 / 凌烈锋 周玮玮 苏小丽



SHENGWU
HUAXUE



四川大学出版社

精品课程配套教材
21世纪应用型人才培养“十三五”规划教材
“双创”型人才培养优秀教材

主 审 欧阳乐军
主 编 凌烈锋 周玮玮 苏小丽
副主编 张泽英 孙玲玲 戚之琳 成蕴秀
杜新胜 汪作琳 汪妤平 王李卓
徐 蕾 王 婧 陈辉芳 颜 亮
吴明彩 陈祥攀

生物 化学

双色版



四川大学出版社

责任编辑：徐丹红
责任校对：周颖
封面设计：尤岛设计
责任印制：王伟

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学/凌烈锋, 周玮玮, 苏小丽主编. —成都:
四川大学出版社, 2018. 6
ISBN 978-7-5690-1927-8

I. ①生… II. ①凌…②周…③苏… III. ①生物化学 IV. ①Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 116850 号

书名 生物化学

主 编	凌烈锋 周玮玮 苏小丽
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5690-1927-8
印 刷	北京玥实印刷有限公司
成 品 尺 寸	185 mm×260 mm
印 张	20
字 数	506 千字
版 次	2018 年 6 月第 1 版
印 次	2018 年 6 月第 1 次印刷
定 价	46.00 元



版权所有◆侵权必究

- ◆读者邮购本书, 请与本社发行科联系。
电话: (028) 85408408/ (028) 85401670/
(028) 85408023 邮政编码: 610065
- ◆本社图书如有印装质量问题, 请
寄回出版社调换。
- ◆网址: <http://www.scupress.net>

精品课程配套教材

“双创”型人才培养优秀教材

编审委员会

主任：王汝志

副主任：张俊竹 鲁春燕 倪元相 黄 电 姜 庆 郝德鸿 徐顺志 黄群瑛 刘仁芬
 杜海玲 黄 芸 崔 芸 刘 晖 胡 建 张敏杰 陈柏明 宋国顺 唐 靖
 孙新国 李奇志 寇朝辉 李 奇 陈 娟 李 晓青 田 莉 毕春晖 隋 兵
 杜春雷 田富阳 田 华 魏晓娅 钱晓芳 舒 安 唐克岩 曾华林 何春梅

委员：(名次不分先后顺序)

马超平	胡廷华	唐志刚	伍建海	冯光明	曾庆良	吴倍贝	杨 希	曾昭江
兰长明	赵蓓蕾	姜炳春	杨云兰	邱州鹏	谭洪溢	刘平胜	王金良	刘妙玲
周 冲	王德礼	陈 明	朱超才	汪洪斌	钱黎春	陈起凤	张 璐	汪 丽
张治俊	张春来	李璐陈	王国体	夏 松	王 强	张 娜	杨世河	丁 辰
周 宇	杨智良	高立峰	凌烈锋	申永刚	汪作琳	邓光明	阳玉秀	杨勇军
黎利辉	文 竹	曾利明	黄汝广	梁满朝	蒙 敏	温任平	秦 艳	李 杰
庞江峰	孙永震	高启明	王建立	吴剑锋	王久霞	王志新	赵 静	潘 军
林秀芝	王永芳	殷永生	江 毅	陈 芳	陈金山	周金羊	孔 丽	黄爱科
郑小平	姜 楠	高明华	宛 燕	陈淑萍	刘德华	郭明德	萨其尔	方 煜
刘 军	程宝鑫	王艳丽	运乃通	朱卫娟	李占仓	格 桑	苏迅帆	吴丽娜
杨丽君	田荣燕	秦国华	刘 云	王子国	魏洪超	刘兆军	魏玉芝	达娃次仁
李 阳	杨 亮	李 伟	李丽艳	于善波	付广敏	常 虹	吴彦文	徐 军
郑 玲	姜 健	王 钧	毛用春	马 毅	席俊生	陈 微	王志强	蔡玉云
曹其英	林金澜	杨 迪	毛爱云	彭佑元	宁晓青	孙润霞	高文伟	梁双升
苏少虹	张艳英	李建清	林俊卿	陈俊峰	贾 檀	汪 琴	王玉林	马妙娟
何阳英	陈晓川	马春晓	吕镇洋	司丽娟	张惠芳	江 彬	张建春	陈 科
吴章土	熊 林	吉玲峰	王红记	何 伟	谢晓杰	王 军	李元杰	任 丽
魏 宁	熊晓亮	范学谦	毛洪涛	许立强	黄孝斌	罗 勇	胡郑重	高双喜
徐斌华	徐晓晗	周 军	董 惠	刘婷婷	蔡改成	汪 峰	汪中华	徐兰生
余红珍	梁月飞	李春侠	田正佳	吴小伟	张 薇	仲崇高	包耀东	高国生
王湘蓉	蒋秀莲	徐明川	郑道东	张元越	朱 力	芦书荣	袁 鸿	包佃清
陈存英	赵彩虹	胡海婧	王金国	张 晶	周 蓓	徐 舫	李 宁	顾海华
谢鑫建	陈丽佳	罗 杰	涂春莲	欧蔓丽	刘蔚倩	谭德喜	王继良	唐启涛
邓 杰	刘怡然	刘坤城	于肖飞	康永平	郑明望	彭 杰	李凯贤	石梅兰
刘 慧	薛亚卓	李金伟	杨春旺	刘卫东	张 涛	王艳芹	靖麦玲	岳士凯
王 玲	刘玉国	张秀芳	耿禧则	王永照	王长青	付坤伟	孙宁宁	常 苏
刘 峰	黎维红	田海生	李付忠	宋珊珊	丛 颖	封 岚	安永红	杜 焱
张 华	李 奇	潘宏斌	王 磊	袁 新	陈劲松	林秋实	万 福	蔡昭君
杨 决	李 巨	李 芳	张 曼	姜百瑞	余龙江	郑 峰	韩 勇	卫玉成
千 彦	郑 涛	牛荣建	颜 伟	周 洁	刘建国	向洪玲	张红波	田航周
何朝良	刘 洋	卜长明	吴建荣	蒲 冰	成志平	谭 波	谢晓明	黎付兵

前 言

鉴于生物化学和分子生物学的迅速发展和现代医学理念、技术、方法的不断的更新，为适应医学教育改革的需要，学生培养目标和培养方案的调整，我们根据多年的理论教学经验对其内容进行更新和调整，围绕培养目标，突出护理专业特色，淡化学科意识，注重整体优化，突出科学性和实用性。本教材在保证生物化学知识体系的完整性和系统性的基础上，对基本结构和进展性知识在内的部分内容进行了调整和更新。

1. 结构调整 基于生物化学与分子生物学学科交叉与发展趋势，将生物大分子的内容与遗传信息传递及调控的内容进行整合，分子生物学部分的内容提前到生物大分子的结构功能后进行介绍，既符合知识的连贯性又促进同学们对该部分内容的理解和掌握。

2. 精简内容和字数 根据学科发展和专业培养的需求，精简物质代谢部分对代谢化学过程的描述，强调其生物学与医学意义；分子生物学部分重点突出概念、理论和应用。

3. 补充新知识、新概念，主要在分子生物学领域，如组学、microRNA 等；突出护理专业特点，设置与医学密切相关的章节，包括血液生化、非营养物质代谢和肿瘤的生化基础等内容。

4. 为便于师生的教与学，本书每章后面附有复习题，配有课件光盘。

本书分十七章，主要 3 大篇章，分子生物学相关内容，包括生物大分子的结构功能，遗传信息的传递及调控及常用分子生物学技术基本原理；物质代谢部分主要介绍三大营养物的代谢和调节；医学专题主要介绍血液生化、肿瘤生化、信号转导等内容。我们力求做到基本知识、基本理论和基本概念阐述明确，逻辑通顺，方便学习和讲授。

由于水平有限，本版教材肯定仍存在不少缺点或不当之处，衷心期望各同行专家，特别是直接使用本教材的师生、读者给予批评和指正。

编者
2018 年 6 月

目 录

绪 论	001
第一章 蛋白质的结构与功能	004
第一节 蛋白质的分子组成	004
第二节 蛋白质的分子结构	010
第三节 蛋白质结构与功能的关系	016
第四节 蛋白质的理化性质	020
第二章 酶	023
第一节 酶的分子结构与催化功能	023
第二节 酶的调节	027
第三节 酶促反应的动力学	030
第四节 酶的命名及分类	037
第五节 酶与医学的关系	039
第三章 核酸的结构与功能	041
第一节 核酸的分子组成及一级结构	041
第二节 DNA 的空间结构与功能	045
第三节 RNA 的结构与功能	049
第四节 核酸的理化性质	053
第五节 核苷酸代谢	054
第四章 DNA 的生物合成	064
第一节 DNA 复制的基本特征	064
第二节 DNA 复制的酶学	066
第三节 DNA 复制过程	069
第四节 DNA 损伤与修复	072
第五章 RNA 的生物合成	078
第一节 转录的模板和酶	078
第二节 转录过程	082
第三节 真核生物 RNA 的转录后加工	089
第四节 核酶	093

第六章 蛋白质的生物合成	095
第一节 蛋白质生物合成体系	095
第二节 蛋白质生物合成过程	101
第三节 蛋白质生物合成与医学	113
第七章 基因表达调控	117
第一节 基因的基本结构与功能	117
第二节 基因表达	121
第三节 原核基因表达调控	124
第四节 真核基因表达调控	129
第八章 常用分子生物学技术的基本原理及应用	136
第一节 重组 DNA 技术	136
第二节 分子杂交与印迹技术	142
第三节 聚合酶链式反应技术	144
第四节 DNA 序列分析技术	146
第五节 分子生物学技术进展	148
第九章 糖代谢	155
第一节 概述	155
第二节 糖的无氧氧化	156
第三节 糖的有氧氧化	160
第四节 磷酸戊糖途径	164
第五节 糖原合成与分解	165
第六节 糖异生作用	168
第七节 血糖及其调节	172
第十章 脂类代谢	175
第一节 脂类的消化、吸收及运输	175
第二节 甘油三酯代谢	176
第三节 磷脂代谢	187
第四节 胆固醇代谢	193
第五节 血浆脂蛋白代谢	197
第十一章 氨基酸代谢	205
第一节 蛋白质的生理作用和营养价值	205
第二节 蛋白质的消化、吸收与腐败	206
第三节 氨基酸的一般代谢	209
第四节 个别氨基酸代谢	218

第十二章 生物氧化	227
第一节 生成 ATP 的氧化体系	227
第二节 其他不生成 ATP 的氧化体系	240
第十三章 非营养物质代谢	243
第一节 生物转化作用	243
第二节 胆汁与胆汁酸的代谢	250
第三节 胆色素代谢与黄疸	254
第十四章 物质代谢调节	261
第一节 物质代谢调节特点	261
第二节 肝及肝外重要组织器官的物质代谢特点	262
第三节 物质代谢调节的主要方式	263
第十五章 细胞信号转导	270
第一节 信号转导的相关概念	270
第二节 信号转导分子与受体	271
第三节 信号转导通路	277
第四节 信号转导的基本规律	283
第五节 信号转导异常与疾病	284
第十六章 血液的生物化学	286
第一节 血浆蛋白	286
第二节 血细胞代谢	289
第十七章 肿瘤的生化基础	296
第一节 概述	296
第二节 癌基因	297
第三节 抑癌基因	302
第四节 生长因子与肿瘤	305
参考文献	309

绪 论

生物化学 (biochemistry) 即“生命的化学”，是研究生物体内化学分子与化学反应的基础生命科学，是从分子水平探讨生命现象的本质。生物化学采用化学的原理和方法，探讨生命体的分子结构与功能、物质代谢与调节及遗传信息传递与调控，在分子水平上揭示或阐明生命现象。随着研究的发展，近年来生物化学也融入了生物物理学、生理学、细胞生物学、遗传学和免疫学等的理论和技术，加之生物信息学的介入，使之与众多生命科学领域的学科有着广泛的交叉与联系。

20 世纪 50 年代，生物化学进入分子生物学 (molecular biology) 时期。人们通常将研究核酸、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重大飞跃。从广义上理解，分子生物学是生物化学的重要组成部分，其迅猛发展和研究成果为生物化学的发展注入了无限生机和活力，也促进了相关学科和交叉学科的发展，特别是医学的发展，分子生物学已成为生命科学的共同语言。

一、生物化学的发展简史

生物化学是一门较年轻的学科，1877 年德国科学家 Felix Hoppe Seyler 首次提出“生物化学”这个名词，直到 20 世纪初期，生物化学才成为一门独立的学科而蓬勃发展起来。在我国，其发展可追溯至远古。公元前 21 世纪，我国人民已能造酒，作酒必用曲，曲是促进谷物中淀粉转化为酒的媒介物。从《周礼》的记载来推测，公元前 12 世纪，已能制饴，饴即今之麦芽糖，是谷物中淀粉水解的产物。可见我国在远古时期，已能将生物体内的酶作为饮食加工的一种工具。自 20 世纪 50 年代以来，生物化学与分子生物学的发展迅猛，许多重大的进展和突破，生物化学已成为生命科学领域重要的前沿学科之一。

生物化学的发展可分为三个阶段：叙述生物化学阶段、动态生物化学阶段和分子生物学阶段。

1. 叙述生物化学阶段

18 世纪中叶至 19 世纪末是生物化学发展的初级阶段，主要分析和研究生物体的化学组成，对生物体各组成成分进行分离、纯化、结构测定、合成及理化性质的研究。这个时期主要成果有：对糖类、脂类及氨基酸的性质进行了较为系统的研究；发现了核酸；化学合成了多肽；发现了酵母发酵过程中存在“可溶性催化剂”，奠定了酶学的基础等。中国生物化学家吴宪在 1931 年首次提出蛋白质变性的概念。

2. 动态生物化学阶段

从 20 世纪初期开始，生物化学作为一门独立学科蓬勃发展，进入了动态生物化学阶段。主要特点是研究生物体内物质的变化（代谢途径），取得许多重大成就，如三羧酸循环等物质代谢途径的确定；认识了酶的化学本质是蛋白质；提出了生物能代谢中 ATP 循环等。

3. 分子生物学阶段

20 世纪 50 年代以来,生物化学发展的显著特征是分子生物学的崛起,主要研究生物大分子的结构与功能。以蛋白质、核酸为焦点的研究硕果累累。如 DNA 双螺旋结构模型的提出,为揭示遗传信息传递规律奠定了基础,阐明了复制、转录和翻译的机制,提出了中心法则并破译出遗传密码;70 年代重组 DNA 技术的建立使人们主动改造生物体成为可能,大大推动了医药工业和农业的发展;人类基因组计划的实施,为人类的健康和疾病的研究带来了根本性变革。基因组学及其他组学的研究将阐明人类基因组功能,正吸引着生物、医学、化学、物理、数学、计算机等领域的学者共同参与,生命本质的阐明任重而道远。

二、生物化学研究的主要内容

生物化学的研究内容十分广泛,主要研究生命体中各物质的化学组成、化学变化、功能与调节,从分子水平阐明生物体生命活动的本质和规律。当代生物化学的研究主要集中在以下几个方面。

1. 生物大分子的结构与功能

生物个体是由千万种化学成分所组成,包括无机物、有机小分子和生物大分子。核酸、蛋白质、多糖、蛋白聚糖和复合脂类等是体内的重要生物大分子,它们都是由各自基本组成单位构成的多聚体。分子结构是功能的基础,而功能则是结构的体现。对生物大分子的研究,除了确定其一级结构(基本组成单位的种类、排列顺序和方式)外,更重要的是研究其空间结构及其与功能的关系。生物大分子的功能还通过分子之间的相互识别和相互作用而实现。

2. 物质代谢及其调节

生物的基本特征之一是新陈代谢,生物个体通过与外环境进行物质交换,摄入养料排出废物,以维持体内环境的相对稳定,从而延续生命。正常的物质代谢是正常生命过程的必要条件,物质代谢发生紊乱则可引起疾病。目前对正常生物体内的主要物质代谢途径已基本清楚,但仍有许多问题有待探讨,如物质代谢有序性调节的分子机制、疾病状态下的代谢变化和特征、细胞信号转导的机制及网络等尚需进一步阐明,这些也是近代生物化学研究的重要课题。

3. 基因信息传递及其调控

基因信息传递与遗传、变异、生长、分化等诸多生命过程有关,也与遗传病、恶性肿瘤、心血管病等多种疾病的发病机制密切相关。因此,基因信息的研究在生命科学中的作用越显重要。20 世纪 50 年代 Watson 和 Crick 提出 DNA 双螺旋结构模型,成为生物化学进入分子生物学时代的重要里程碑。现已确定,绝大多数生物体的遗传物质是 DNA,基因即 DNA 分子的功能片段。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规律是当今分子生物学研究的重要课题。DNA 重组、转基因、基因剔除、新基因克隆、人类基因组及功能基因组研究等的发展,将大大推动这一领域的研究进程。

三、生物化学与医学的关系

以生命体为研究对象,探讨生命现象与本质的生物化学,与医学有着紧密的联系,是基础医学的必修课程之一。生物化学也是生命科学中进展迅速的基础学科之一,它的理论和技术已渗透至基础医学和临床医学的各个领域,使之成为生物学、医学各学科之间的共同语言。

随着生物化学研究成果对人体各种代谢过程、代谢调控机制、细胞间信号转导及遗传信息传递规律的深入阐明,人们有可能准确了解各种代谢障碍相关疾病、遗传性疾病的发病机制,开发治疗药物,研究诊断和治疗的新方法。目前,临床上癌症、心血管疾病等重大疾病的最后攻克,还有待于在生物化学和分子生物学领域中取得突破。从临床实际看,生物化学检测技术经常性应用于临床诊断,多种酶和蛋白及基因工程药物,已直接用于疾病的治疗。

现代分子生物学新理论、新技术正迅速在临床医学研究和实践中得到运用。如用探针技术、聚合酶链式反应技术等检测致病基因的基因诊断技术,可在基因水平确定导致遗传病的变异基因的存在。基因治疗研究有希望能向机体导入有功能的基因,补偿或替代致病的缺陷基因。

因此,学习和掌握生物化学知识,一方面可以深入理解生命现象和疾病的本质,另一方面是为进一步学习基础医学和临床医学打下扎实的基础。生物化学与分子生物学已成为生命和医学领域类似于外语和计算机的工具学科,成为当代医护专业人员的必要知识储备。

第一章 蛋白质的结构与功能

蛋白质 (protein) 是生物体内最重要的生物大分子之一, 是由许多氨基酸 (amino acids) 通过肽键 (peptide bond) 相连形成的高分子含氮化合物。蛋白质普遍存在于生物界, 不仅是生命活动的主要载体, 更是生命活动的功能执行者。生物体结构越复杂, 其蛋白质的种类和功能也越繁多。一个真核细胞中可有数万种蛋白质, 其各自有特殊的结构与功能。蛋白质分布广泛, 几乎所有的器官组织都含有蛋白质。蛋白质也是生物体内含量最丰富的生物大分子, 约占人体干重 45%, 在一些细胞中可达细胞干重 70% 以上。

具有复杂空间结构的蛋白质, 在体内具有多方面的重要功能: ①蛋白质是生物体的基本组成成分之一, 参与构成各种组织细胞是蛋白质最重要的功能; ②蛋白质是生命活动的物质基础, 承担着各种生物学功能, 如酶的催化作用、运输及储存作用、协调运动作用、机械支撑作用、免疫保护作用、血液凝固作用、代谢调控作用等; ③蛋白质可作为能源物质氧化供能, 成人每天所消耗的能量有 18% 左右是来自于蛋白质的分解。

第一节 蛋白质的分子组成

尽管蛋白质的种类繁多, 结构各异, 但元素组成相似。主要含有碳 (50% ~ 55%)、氢 (6% ~ 7%)、氧 (19% ~ 24%)、氮 (13% ~ 19%) 及硫 (0% ~ 4%), 有些蛋白质还含有磷、铁、铜、锌、锰、钴、钼等金属元素, 个别蛋白质还含有碘。各种蛋白质的含氮量很接近, 平均含量为 16%。由于蛋白质是生物体内的主要含氮化合物, 因此测定生物样品的含氮量就可按下式推算出蛋白质的含量:

$$100 \text{ 克样品中蛋白质的含量 (g)} = \text{每克样品含氮克数} \times 6.25 \times 100$$

一、蛋白质的基本组成单位—氨基酸

生物体内蛋白质都是以常见的 20 种氨基酸为原料合成的多聚体, 因此氨基酸是蛋白质的基本组成单位。不同蛋白质的氨基酸组成与排列顺序是不同的。自然界存在 300 余种氨基酸, 但被生物体作为原料直接用于合成蛋白质的氨基酸目前发现仅有 20 种, 且均为 L- α -氨基酸 (甘氨酸、脯氨酸除外), 氨基酸的结构通式如下:



由氨基酸的结构通式可见, α -碳原子分别连接 4 个不同原子或基团, 为不对称碳原子

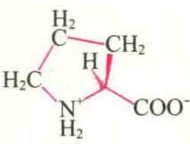
(甘氨酸除外)，不同的氨基酸其侧链（R）各异。

体内也存在若干不参与蛋白质合成的氨基酸，如鸟氨酸、瓜氨酸等，具有其它重要生理功能。

(一) 氨基酸的结构与分类

体内作为蛋白质合成原料的 20 种氨基酸，根据其侧链的结构和理化性质的差异可分成五类：①非极性脂肪族氨基酸；②极性中性氨基酸；③芳香族氨基酸；④酸性氨基酸；⑤碱性氨基酸（表 1-1）。

表 1-1 氨基酸的分类

结构式	中文名	英文名	三字符号	一字符号	等电点 (pI)
1. 非极性脂肪族氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	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
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \quad \\ \quad \quad \text{CH}_3 \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	异亮氨酸	isoleucine	Ile	I	6.02
	脯氨酸	proline	Pro	P	6.30
2. 极性中性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	丝氨酸	serine	Ser	S	5.68
$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	半胱氨酸	cysteine	Cys	C	5.07
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	蛋氨酸	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

续表

结构式	中文名	英文名	三字 符号	一字 符号	等电点 (pI)
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	谷胺酰胺	glutamine	Cln	Q	5.65
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	苏氨酸	threonine	Thr	T	5.60
3. 芳香族氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	苯丙氨酸	phenylalanine	Phe	F	5.48
$\begin{array}{c} \text{C}_8\text{H}_6\text{N} \\ \\ \text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	色氨酸	tryptophan	Trp	W	5.89
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	酪氨酸	tyrosine	Tyr	Y	5.66
4. 酸性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	天冬氨酸	aspartic acid	Asp	D	2.97
$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	谷氨酸	glutamic acid	Glu	E	3.22
5. 碱性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{N}_2\text{H}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	赖氨酸	lysine	Lys	K	9.74
$\begin{array}{c} \text{NH} \\ \parallel \\ \text{N}_2\text{H}-\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	精氨酸	arginine	Arg	R	10.76
$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{NH} \\ \backslash \quad / \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array} \quad ^+\text{NH}_3$	组氨酸	histidine	His	H	7.59

蛋白质分子中某些氨基酸残基在蛋白质合成后往往还要经过加工修饰,如羟基化、甲基化、乙酰化、磷酸化等,这些翻译后的修饰,可改变蛋白质的稳定性、亚细胞定位、与其他

蛋白相互作用等性质，体现了蛋白质的多样性。在蛋白质分子中有不少半胱氨酸以胱氨酸形式存在（两个半胱氨酸残基上的巯基脱氢，以二硫键相连，形成胱氨酸）（如图 1-1 所示）。



图 1-1 胱氨酸的形成

(二) 氨基酸的理化性质

1. 两性解离及等电点

氨基酸分子中有碱性的 α -氨基，具有解离成正离子的趋势，又有酸性的 α -羧基，具有解离成负离子的趋势，因此氨基酸是两性电解质，具有两性解离特性。氨基酸的解离方式及带电状态与其所处溶液的 pH 值有关（如图 1-2 所示）。在某一 pH 值条件下，氨基酸解离成阳离子和阴离子的趋势及程度相等，呈电中性，此时溶液的 pH 值称为该氨基酸的等电点（isoelectric point, pI）。

2. 氨基酸的紫外吸收性质

芳香族氨基酸（酪氨酸、色氨酸）分子中含有共轭双键，具有吸收紫外光的特性，其最大吸收峰在 280 nm 波长附近（如图 1-3 所示）。由于大多数蛋白质都含有酪氨酸和色氨酸残基，因此该特性可用于蛋白质的定量分析。

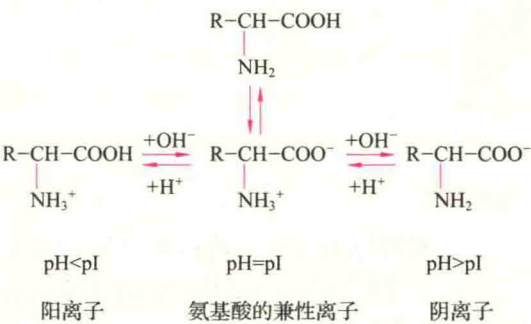


图 1-2 氨基酸的解离方程

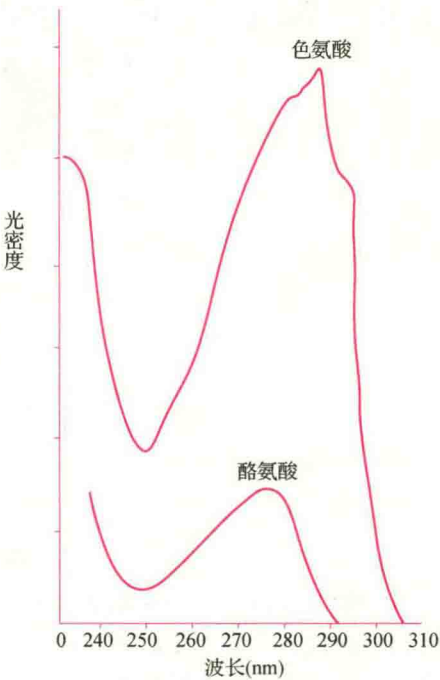


图 1-3 氨基酸的紫外吸收

3. 呈色反应

氨基酸还能与某些试剂发生特异的颜色反应，如与茚三酮水合物的呈色反应（如图 1-4 所示），可用于氨基酸的定量分析。

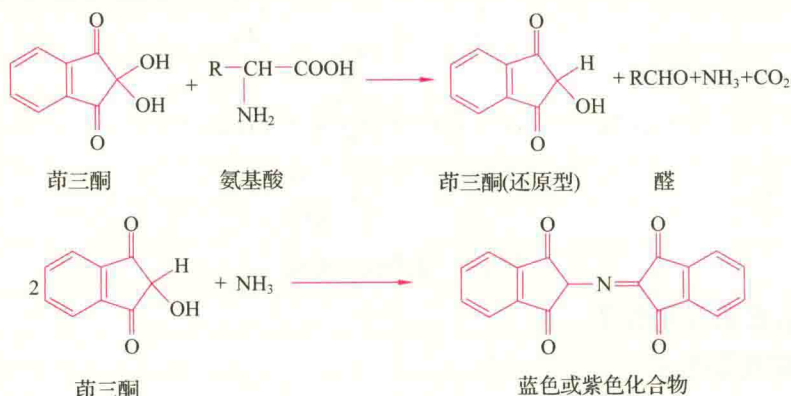


图 1-4 与茚三酮的显色反应

二、氨基酸与多肽

19 世纪末，德国化学家 E. Fischer 证明，蛋白质分子是氨基酸通过肽键连接形成的大分子化合物。两个或多个以肽键连接氨基酸形成的化合物称为肽（peptide）。由 2 个氨基酸残基组成的肽称为二肽；由 3 个氨基酸残基组成的肽称为三肽，以此类推。通常将 10 个以内氨基酸相连而成的肽称为寡肽，10 个以上的氨基酸相连而成的肽称为多肽。如图 1-5 所示，一分子氨基酸的 α -羧基与另一分子氨基酸的 α -氨基脱水缩合形成最简单的肽，即二肽，连接两个氨基酸的酰胺键（ $-CO-NH-$ ）称为肽键。

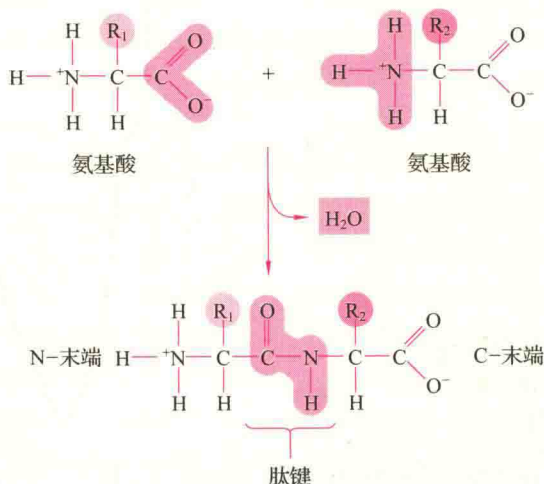


图 1-5 肽的形成

肽链中的氨基酸分子因脱水缩合形成肽键，氨基和羧基不完整，被称为氨基酸残基。多肽链具有方向性，含有 2 个游离末端，一端是未参与形成肽键的 α -氨基，称为氨基末端或 N 端；另一端是未参与形成肽键的 α -羧基，称为羧基末端或 C 端（如图 1-5 所示）。书写肽链时，人们习惯上将 N 端写于左侧，用 H_2N- 表示；C 端写在右侧，用 $-COOH$ 表示。蛋白质就

是由许多氨基酸通过肽键连接而成的具有特定空间结构和生物学功能的多肽。

人体内含有一些具有重要生物活性的小分子肽类（氨基酸残基数通常在 50 个以下），它们在神经传导、代谢调节等方面起着重要的作用。近年来，肽类药物的研究进展迅猛，许多化学合成或重组 DNA 技术制备的肽类药物和疫苗在一些疾病的预防和治疗方面取得显著成效。

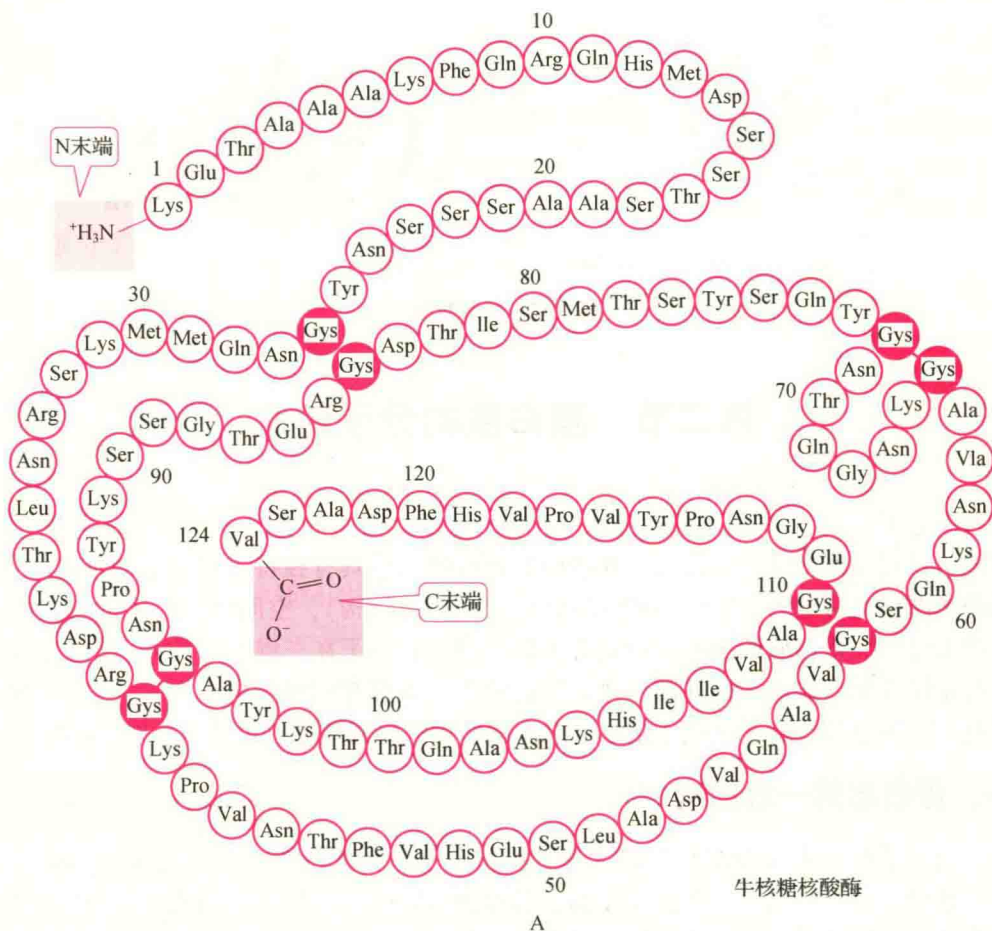


图 1-6 多肽结构示意图

1. 谷胱甘肽 (glutathione, GSH)

由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸组成的三肽，简称为谷胱甘肽。其中谷氨酸的 γ -羧基与半胱氨酸的 α -氨基形成肽键。谷胱甘肽分子中的巯基是主要官能团（如图1-7所示），其具有还原性，可保护其他蛋白质或酶分子中的巯基不被氧化，防止蛋白质或酶失去生物学活性。在谷胱甘肽过氧化物酶的催化下，GSH作为抗氧化剂可还原细胞内代谢产生的 H_2O_2 ，使其转变成 H_2O 。此反应生成的氧化型谷胱甘肽（GSSG）需重新转化为还原型的GSH，才能维持其抗氧化作用。

2. 多肽类激素

体内有许多激素本质是寡肽或多肽，主要是下丘脑和垂体分泌的激素，如缩宫素（9肽）、加压素（9肽）、促肾上腺皮质激素（39肽）、促甲状腺素释放激素（3肽）等。