

# 生物化学

——全国高等农林专科统编教材

● 戴玉锦 主编

● 渔业类专业

● 高等教育出版社



全国高等农林专科统编教材

# 生 物 化 学

戴玉锦 主编

渔业类专业

高等教育出版社

(京)112号

主 编 戴玉锦(副教授,苏州蚕桑专科学校)

副主编 郑木思(讲师,厦门水产学院)

参 编 毛玉英(副教授,上海水产大学)

崔绍荣(副教授,浙江水产学院)

林北堃(讲师,湛江水产学院)

姜淑梅(讲师,大连水产学院)

主 审 袁玉荪(教授,南京大学)

参 审 孙崇荣(副教授,复旦大学)

朱 江(副教授,苏州蚕桑专科学校)

全国高等农林专科统编教材

生物化学

戴玉锦 主编

\*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

北京顺新印刷厂印装

\*

开本 787×1092 1/16 印张 24 字数 549,000

1992年10月第1版 1993年10月第2次印刷

印数 1 920-4 211

ISBN 7-04-003928-1/Q·198

定价: 7.40 元

# 出版说明

高等农林专科教育是高等农林教育体系中一个相对独立、不可缺少的层次。

我国高等农林专科教育,自进入 80 年代以来,有了长足发展,在校人数迅速增加,为适应发展的需要,改变教学多年来一直借用本科教材的局面,建设具有农林专科教育特色的教材体系,经国家教委批准,于 1986 年 7 月成立全国高等农林专科基础课程教材委员会,并在全国高等农林专科教育研究协作组制定的农林专科生培养基本要求和部分专业教学计划以及课程教学基本要求的基础上,首批组织统编了 51 门教材。

这批教材力求体现农林专科生培养基本要求,突出应用性,加强实践性,强调针对性,注意灵活性;遵循教学规律,具有科学性、系统性,由浅入深,循序渐进,理论联系实际;既具有广泛的适应性,又具有先进性和时代特征。

这批教材在适用农林专科教育的修业年限上,兼顾了二、三年制的需要,同时可供电大、函授等专科教育和中等专业学校教师,以及有关科技人员参考。

这批教材的编审出版是在国家教委高教司直接领导下进行的,并得到农业出版社、高等教育出版社、中国林业出版社、四川科学技术出版社、广西科学技术出版社、东北林业大学出版社的通力合作与大力支持,在此深致谢意。

本教材的编审出版,不仅是为了解决部分课程教学所用教材的有无问题,而更重要的是在新的历史条件下,为建设具有高等农林专科教育特色的教材体系探索路子,试图提供一些有益的尝试,故缺点错误在所难免,愿望各校在使用过程中提出宝贵意见,以便再版时作进一步修改。

全国高等农林专科基础课程

教材委员会

1990 年

# 前 言

本书是根据全国高等农林专科基础课程教材委员会的要求,为淡水渔业养殖专业的三年制或二年制专科编写的教材,也可供其他有关专业师生及水产养殖工作者参考。

全书按 90 学时编写,包括生物化学理论与实验两部分。理论部分除绪论外,共分十一章。可安排 50—60 学时进行理论课教学;实验部分在概述生物化学实验技术的基础上,编写了 31 个实验,可安排 30—40 学时进行实验课教学(选做部分实验,并结合具体实验介绍有关生化技术)。由于各院校具体条件不同,对理论课与实验课的学时比例以及各章节的学时分配可以灵活掌握。

本书第一、五章由厦门水产学院郑木思编写;第三、四章由上海水产大学毛玉英编写;第六、七章由浙江水产学院崔绍荣编写;第八、十一章由湛江水产学院林北堃编写;第二、九、十章和生物化学实验技术概论以及绪论、附录由苏州蚕桑专科学校(含水产系)戴玉锦编写;31 个实验分别由戴玉锦(编写实验 1—6, 9, 11, 15, 17, 20, 22, 25)、毛玉英(编写实验 10, 12, 13, 16, 18, 19, 31)、崔绍荣(编写实验 27)以及大连水产学院姜淑梅(编写实验 7, 8, 14, 21, 23, 24, 26, 28—30)编写。

南京大学袁玉荪教授、复旦大学孙崇荣副教授、苏州蚕桑专科学校朱江副教授以及高教出版社谭丽霞副编审认真负责的审稿工作,对于保证本书质量起了很大作用,在此一并致谢。但由于编者水平有限,错误缺点在所难免,敬请读者批评指正。

淡水渔业课程组

生物化学编写组

1991 年 4 月

# 目 录

结论 .....	1	第二节 血糖 .....	133
<b>第一章 蛋白质化学</b> .....	5	第三节 糖的无氧分解 .....	135
第一节 蛋白质的概念和分类 .....	5	第四节 糖的有氧分解 .....	141
第二节 氨基酸和天然肽类 .....	9	第五节 磷酸戊糖途径 .....	147
第三节 蛋白质的分子结构 .....	21	第六节 糖原的分解和合成 .....	150
第四节 蛋白质结构与功能的关系 .....	29	<b>第七章 脂代谢</b> .....	158
第五节 蛋白质的性质及其应用 .....	34	第一节 脂肪的分解代谢 .....	158
<b>第二章 核酸化学</b> .....	40	第二节 脂肪的合成代谢 .....	166
第一节 核酸的发现和重要性 .....	40	第三节 磷脂的代谢 .....	172
第二节 核酸的化学组成 .....	43	第四节 胆固醇的代谢 .....	176
第三节 核酸的分子结构 .....	47	<b>第八章 蛋白质的降解和氨基酸代谢</b>	
第四节 核酸的理化性质 .....	60	.....	181
第五节 游离核苷酸及其衍生物 .....	63	第一节 鱼类对蛋白质的营养需要 .....	181
<b>第三章 酶化学</b> .....	66	第二节 蛋白质的消化和吸收 .....	188
第一节 酶的概念、特点和组成 .....	66	第三节 氨基酸的一般分解代谢 .....	189
第二节 酶的命名和分类 .....	69	第四节 氨基酸的一般合成代谢 .....	197
第三节 酶的催化机制 .....	71	<b>第九章 核酸的降解和核苷酸代谢</b> .....	200
第四节 酶促反应的动力学 .....	74	第一节 核酸的水解酶类 .....	200
第五节 酶的活力测定和分离制备 .....	83	第二节 核酸的消化与吸收 .....	201
<b>第四章 维生素与辅酶</b> .....	85	第三节 核苷酸的分解代谢 .....	202
第一节 维生素的概念、作用和分类 .....	85	第四节 核苷酸的合成代谢 .....	205
第二节 水溶性维生素与辅酶 .....	85	<b>第十章 核酸和蛋白质的生物合成</b> .....	214
第三节 脂溶性维生素 .....	95	第一节 DNA 复制 .....	214
第四节 鱼类需要的维生素 .....	100	第二节 转录与转录后加工 .....	223
<b>第五章 代谢总论</b> .....	102	第三节 RNA 复制和逆转录 .....	231
第一节 新陈代谢 .....	102	第四节 蛋白质的生物合成 .....	233
第二节 中间代谢 .....	104	<b>第十一章 物质代谢的相互联系和调节</b>	
第三节 生物氧化 .....	113	控制 .....	248
第四节 氧化磷酸化 .....	120	第一节 物质代谢的相互联系 .....	248
第五节 鱼类的能量需要 .....	125	第二节 酶的调节控制 .....	250
<b>第六章 糖代谢</b> .....	131	第三节 激素的调节控制 .....	256
第一节 糖的消化和吸收 .....	132	第四节 神经的调节控制 .....	267

第五节 代谢调控在淡水养殖中的应用 .....	269	.....	335
<b>实验部分</b>			
<b>第一部分 生物化学实验技术概论 .....</b>	<b>272</b>	<b>实验十七 离子交换树脂交换容量的测定 .....</b>	<b>337</b>
第一节 实验样品的制备技术 .....	272	<b>实验十八 离子交换柱层析法分离氨基酸 .....</b>	<b>339</b>
第二节 离心技术 .....	274	<b>实验十九 葡聚糖凝胶柱层析法基本训练 .....</b>	<b>340</b>
第三节 层析技术 .....	281	<b>实验二十 吸附柱层析法分离胡萝卜素 .....</b>	<b>342</b>
第四节 电泳技术 .....	290	<b>实验二十一 醋酸纤维素薄膜电泳法分离血</b>	
第五节 放射性同位素技术 .....	297	清蛋白质 .....	343
第六节 吸收光谱分析技术 .....	303	<b>实验二十二 醋酸纤维素薄膜电泳法分离核</b>	
<b>第二部分 生物化学基本实验 .....</b>	<b>310</b>	苷酸 .....	345
实验一 蛋白质浓度测定——双缩脲法 .....	310	<b>实验二十三 聚丙烯酰胺凝胶电泳法分离血</b>	
实验二 蛋白质浓度测定——Folin-酚法 .....	312	清蛋白质 .....	346
实验三 蛋白质浓度测定——紫外吸收法 .....	313	<b>实验二十四 琼脂糖凝胶电泳法分离鱼肝脏</b>	
实验四 酪蛋白的制备 .....	314	LDH 同工酶 .....	349
实验五 定磷法测定核酸含量 .....	316	<b>实验二十五 维生素C的定量测定 .....</b>	<b>351</b>
实验六 二苯胺法测定 DNA 含量 .....	318	<b>实验二十六 总氮量的测定——微量凯氏定</b>	
实验七 改良苔黑酚法测定 RNA 含量 .....	319	氮法 .....	353
实验八 酵母 RNA 的提取与鉴定 .....	320	<b>实验二十七 还原糖和总糖的测定 .....</b>	<b>356</b>
实验九 鱼肝脏 DNA 的分离制备 .....	322	<b>实验二十八 血糖浓度测定 .....</b>	<b>359</b>
实验十 鱼消化道蛋白酶的活力测定 .....	324	<b>实验二十九 粗纤维的测定 .....</b>	<b>361</b>
实验十一 血清谷丙转氨酶的活力测定 .....	226	<b>实验三十 粗脂肪的索氏提取法测定 .....</b>	<b>363</b>
实验十二 鱼肌肉中谷丙转氨酶活力的观察		<b>实验三十一 粗脂肪的快速测定法 .....</b>	<b>364</b>
.....	328	<b>附录 .....</b>	<b>366</b>
实验十三 甲醛滴定法测定氨基氮 .....	330	一、国产试剂的规格和用途 .....	366
实验十四 纸层析法分离氨基酸 .....	331	二、市售浓酸、浓氨水的比重和浓度 .....	366
实验十五 DNS-氨基酸的聚酰胺薄膜双向		三、常用缓冲溶液的配制 .....	367
层析 .....	333	四、某些酸碱指示剂的配制和变色范围 .....	371
实验十六 叶绿素的提取和薄层层析法分离		五、标准溶液的配制和标定 .....	371
		六、主要参考文献 .....	373

## 绪 论

生物化学(biochemistry) 是研究生命现象化学本质的一门新兴学科。简言之, 生物化学就是生命的化学。

顾名思义, 生物化学与经典生物学以及传统化学都有着密切的关系。一般认为, 生物化学是在本世纪初由生物学(特别是生理学)和化学(特别是有机化学)经过长时期的互相渗透、互相影响而形成的一门边缘学科或交叉学科。作为一门独立的学科, 生物化学诞生的历史并不长, 但在这以前, 生物化学的问题已在生理学和有机化学领域开始了研究, 所以最初曾称为生理化学(physiological chemistry)。如果追溯得更远, 则在数千年人类的生产和生活实践中, 早已积累了大量的生物化学的感性知识。到了 19 世纪, 由于化学、物理学等自然科学取得了巨大的成就, 许多化学的、物理学的先进理论与方法不断渗透到生物学领域中来, 深刻地影响了它的研究深度和广度, 从而为生物化学作为一门独立学科的形成准备了充分的条件。20 世纪初提出了生物化学这一专门名称。经过几十年的迅猛发展, 生物化学已确立了比较完整的基本理论与实验技术体系。

这门学科的任务是通过揭示生命现象的化学本质, 为人类正确地认识生命, 能动地改造生物的宏伟目标服务。

为了揭示生命现象的化学本质, 生物化学首先要研究生物体的化学组成。今天我们已经知道, 生物体由水、无机盐和有机化合物组成。在有机组成中, 主要有蛋白质、核酸、糖类和脂类四大类物质, 前两者都是生物大分子, 后两者中也有不少是高分子聚合物; 其次, 还含有维生素、激素、抗菌素、有机酸和天然肽类等多种物质分子。在人类长期的生产实践和医疗实践中, 对组成生物体的各类物质已有不少发现, 但从 19 世纪到 20 世纪初, 经过科学实验, 对这方面的认识发展较快。可以说, 在生物化学的萌芽时期与发展初期, 侧重于研究生物体的物质组成及其含量、性质等, 所以这一时期的生物化学常被称为“静态生化”。

生物体的组成物质并不是静止不变的, 而是处于不断的动态变化之中。一方面生物体要从外部环境摄取营养物质和能量, 通过体内一系列的化学变化, 转变为自身的组成物质; 另一方面体内原有的物质又经过一系列的化学变化, 最终分解为不能利用的废物和热能排到周围环境中去。通过这种分解与合成过程, 生物体的组成物质得到不断的更新。这就是生物体的新陈代谢。新陈代谢是生命的基本特征, 其他一切生命现象, 如生长、发育、遗传、变异等都是建立在这个基础之上的。因此, 研究生物体的新陈代谢是生物化学的基本内容之一。各类物质在生物体内部都有不同的分解与合成代谢途径。这些代谢途径纵横交错, 极其复杂, 但并非杂乱无章, 而是遵循一定的规律彼此协调地进行着, 这是因为生物体在长期的进化过程中已经形成了一套高度灵敏的代谢调控机制。



从 20 世纪 20 年代至 70 年代, 在研究生物体的新陈代谢及其调控机制方面取得了重大进展。就在这个时期, 各类主要物质的代谢途径均已基本阐明, 并对代谢的调控机制也已有较多的了解, 所以这一时期的生物化学常被称为“动态生化”。

在生物体的物质组成中, 以蛋白质和核酸对于生命最为重要。蛋白质是细胞结构的主要有机成分, 也是细胞功能的主要体现者。核酸是生物遗传信息的携带者和传递者, 它通过控制蛋白质的生物合成决定了细胞的类型和功能。不具细胞结构的细胞内专性寄生物——病毒颗粒仅由蛋白质与核酸组成。迄今所知最简单的生命形式是类病毒(亚病毒), 它只是一个核酸分子。所以, 蛋白质和核酸是生命的主要物质基础。没有蛋白质和核酸, 就不可能有生命。虽然人们很早就注意到蛋白质的重要性, 但是对核酸重要性的认识却较晚。然而, 无论是蛋白质还是核酸, 它们的生物学功能真正被人们深刻地理解, 那还是 20 世纪 50 年代, 当它们的分子结构被科学地阐明之后。蛋白质和核酸这类生物大分子, 不但有复杂的化学结构, 而且还有复杂的空间结构(构象)。结构是功能的基础。生物大分子功能的表达不但需要特有的化学结构, 而且更依赖于天然构象。生物大分子结构上的复杂性决定了它们种类和功能上的多样性。例如, 大肠杆菌含有约 3 000 多种蛋白质和 1 000 多种核酸。高等动、植物含有蛋白质和核酸的种类则更多。据估算, 自然界 150 余万种生物中, 约存在着  $10^{10}$ — $10^{12}$  种蛋白质和  $10^{10}$  种核酸。每一种生物都各有一套结构上特殊的蛋白质和核酸分子, 不同物种之间很少见到结构完全相同的蛋白质和核酸分子。高等生物体内正是含有众多的结构上不同的蛋白质和核酸分子, 承担起多种多样的功能, 因而才能表现出绚丽多彩的生命现象。故欲揭示各种生命现象的化学本质, 就要深入探讨生物大分子结构与功能的关系。这是生物化学研究的一个主要内容。

从 20 世纪 50 年代起, 由于核酸和蛋白质大分子结构的研究取得了突破性进展, 使得人们能够在分子结构的基础上去阐明它们的生物学功能。目前这方面的研究发展极为迅速, 不但已阐明了一部分生物大分子结构与功能的关系, 而且进一步从分子水平去探讨生物体的亚细胞结构(如生物膜、核糖体、染色体等)以及细胞、组织和器官的结构与功能的关系。这标志着生物化学发展到了一个新的时期, 即“机能生化”或“分子生物学”时期。

由以上叙述中, 可以看到生物化学的研究不断深入, 现已侧重于从分子水平去探讨生命现象的化学本质。此外, 在搞清楚某些生物大分子结构与功能关系的基础上, 开展了人工合成的研究。1965 年, 我国首先人工合成了具有生物学活性的蛋白质——结晶牛胰岛素。1981 年, 又首先完成了酵母丙氨酸转移核糖核酸的人工合成。这些成就标志着我国在这方面的研究达到了国际领先水平。生物大分子人工合成的研究具有重要的理论意义和实践意义。与此相关的是, 随着对核酸结构与功能关系的阐明, 不但可以在分子水平上去揭示遗传现象的本质, 而且已开始了从分子水平上去改变生物细胞的遗传特性, 从而产生了一种新兴技术领域——基因工程(genetic engineering), 又称遗传工程。基因这个术语是遗传学家在解释遗传现象时首先提出的, 但当初对基因的化学本质并不了解。现代生物化学科学地阐明了遗传现象是由核酸, 主要是脱氧核糖核酸(DNA)决定的; 基因是 DNA 分子上的一个功能片段。基因工程, 即重组 DNA 技术, 是在体外把特定的基因(人工合成的或者某种生物中提纯的)组合到载体 DNA 分

子中,并使之在适当的受体细胞中增殖和表达的遗传操作。基因工程应用于发酵工业,可以大规模生产出动植物体内含量低微而为人类急需的蛋白质产品。例如,胰岛素、生长激素、干扰素等多种蛋白质现都可以通过基因工程技术,利用大肠杆菌发酵生产。基因工程应用于动植物育种,因不受亲缘关系的限制,可以为改良现有品种,创造新物种开辟广阔的前景。因此,生物大分子的人工合成、基因工程等也是现代生物化学的重点研究课题。但这些领域的研究工作往往是多学科进行的。生物大分子的人工合成常常由生物化学工作者与有机化学工作者合作研究。至于基因工程,则除了生物化学外,遗传学、微生物学、生物物理学等多门学科也在朝这个方向发展。当然,生物化学与这些研究领域关系最为密切。

生物化学的研究方法极为广泛。既有血液样品、细胞匀浆、生物分子结晶等制备技术,又有透析、超滤、离心、层析、电泳等分离技术,还有同位素、发射光谱、吸收光谱、X射线衍射等分析技术。这些方法涉及到生物学、化学和物理学的原理,经过生物化学工作者的不断实践,已经积累了许多成熟的经验,使之适应于生物化学的研究目的。生物化学理论研究所取得的成就是与实验方法的成功应用和不断进步分不开的。例如,由于放射性同位素示踪技术的应用,简便而有效地阐明了体内各类物质的代谢途径。近代发展起来的超离心技术对生物大分子的分离特别适用。在研究生物大分子的空间结构方面,X射线衍射技术作出了突出贡献。通常把这些适用于生物化学研究而涉及生物学、化学和物理学原理的研究方法,统称为生物化学实验技术(简称为生化技术)。生物化学实验技术是揭开生命微观世界一个个奥秘的锐利武器。现在,生物化学实验技术不但已经发展为比较完整的实验方法学,而且根据这些技术原理已经设计制造了一系列自动化生化仪器,如氨基酸自动分析仪、高效液相层析仪、DNA合成仪等等,大大推动了生物化学研究的发展。

今天,生物化学的基本理论和实验技术已经渗透到生命科学的各个研究领域和生产领域。生理学、遗传学、细胞学、生态学、分类学和微生物学等生物学分支学科,既要向分子水平的研究深度发展,就要借助于生物化学的理论与技术。农牧渔业、医药业、食品和发酵工业等的发展,也离不开生物化学的理论与技术。以淡水渔业来说,鱼类的合理饲养、饵料的正确配制、鱼病的有效防治和品种的积极改良等等生产问题的科学解决,无不应用生物化学的知识。因此,生物化学是淡水渔业专业的一门重要基础课。这里特别值得提出的是,自20世纪70年代中期兴起、而今正在蓬勃发展的生物工程技术(biotechnology)对改变目前的生产水平正显示出巨大的潜力,已被我国政府和世界上许多国家的政府列为20世纪末和21世纪重点发展的高技术之一。生物工程是按照人类愿望改建生物或创造新品种的新兴技术领域,包括基因工程、酶工程和细胞工程等,是在生物化学以及其他自然科学所取得的成就基础上发展起来的。80年代以来,我国在发展生物工程方面已取得了一些举世瞩目的成就。例如,1989年我国科技工作者首创了一项快速简便的基因工程新技术,以鲤鱼精子为载体,成功地将人的生长激素基因导入成熟的鱼卵中,在孵出的数千尾幼鱼中有50%以上是能显著表达生长激素的转基因鱼,它们的生长速度比对照组提高了2倍多。这一结果说明,这项新技术无论在外源基因的整合效率还是表达比率方面,均居世界领先地位。运用这项新技术,可同时对成千上万个鱼卵进行

外源基因导入,创造出新的变种鱼群。它不仅为基因工程育种开辟了新的途径,而且使基因工程应用于渔业生产成为可能。毫无疑问,为了学会应用基因工程等生物工程技术为我国渔业生产现代化服务,淡水渔业工作者必须具备坚实的生物化学基础。所以,生物化学与淡水渔业的关系极为密切。作为淡水渔业专业的学生,学习生物化学的基本理论与实验技术,不仅是当前进一步学习专业课的需要,也是今后从事专业工作的需要,更是实现我国渔业生产现代化的需要。

最后需要说明的是,本书以有限的篇幅不可能对生物化学丰富的内容像生化专业的教科书那样作全面的深入的介绍。本书是为淡水渔业专业的三年制或二年制专科学学生编写的,它所表述的生物化学知识,无论理论内容还是实验内容,都是基础性的;而且,为了减少前后课程内容的重复,有些基础知识(如糖类的化学、脂类的化学等)也没有编入。此外,本书在介绍生物化学基础知识时尽量联系我国淡水渔业的实际。因此,这是一本特意为淡水渔业专业的专科学学生提供必要的生物化学基础知识的教科书。但是要真正理解和掌握这些生物化学的基本理论与实验技术,首先必须具备必要的普通生物学、化学和物理学的基础知识,其次还必须在教师指导下,反复研读本书理论内容,并对选做的基本实验进行认真练习。

# 第一章 蛋白质化学

## 第一节 蛋白质的概念和分类

### 一、蛋白质的概念

(一) 蛋白质是含量最丰富的有机氮化合物 蛋白质(protein) 是组成生物体的主要有机成分。在动物体内约占鲜重的 20% 左右, 如以干物计占 50% 或更多。植物体内一般含量较低, 主要因含较高比例的淀粉和纤维素所致。水产动植物中蛋白质含量极丰富(表 1-1, 1-2)。

表 1-1 鱼、贝类的一般成分(新鲜物中%)

鱼、贝名称	水分	蛋白质	脂类	糖类	灰分
鲆鱼	75.0	20.0	3.5	0.3	1.2
鳗鲡	60.7	20.0	18.0	0.3	1.0
竹刀鱼	70.0	20.0	8.4	0.3	1.3
鳕鱼	81.0	16.6	0.6	0.1	1.7
蛤仔	85.4	10.6	1.3	1.5	1.2
乌贼	80.3	17.0	1.0	0.5	1.2
对虾	80.0	16.0	1.1	1.5	1.4

表 1-2 藻类的一般成分(市售品中%)\*

藻类名称	水分	蛋白质	脂类	糖类	粗纤维	灰分
发菜	13.8	20.3	0	56.4	3.9	5.6
葛仙米	8.4	18.5	0.1	58.3	1.0	13.7
海带	12.8	8.2	0.1	56.2	9.8	12.9
紫菜	10.3	28.2	0.2	48.5	4.8	8.0
苔菜	6.9	16.1	1.1	28.9	3.1	33.9
海蒿子	11.3	4.2	0.8	56.9	10.1	16.7

\* 分析数据均取北京地区的藻类。

元素分析表明, 蛋白质由碳(50—55%)、氢(6.0—7.0%)、氧(20—23%)、氮(15—17%)及少量硫(0.3—2.5%)组成。有些蛋白质含有磷。少数蛋白质含有铁、铜、锌、锰、碘等元素。一切蛋白质均含有氮, 这是它区别于糖和脂肪的特征元素; 大多数蛋白质含氮量又相当接近, 一般恒定在 15—17%, 平均 16% 左右, 即每 100 克蛋白质中约含 16 克氮。因此, 在蛋白质分析中, 常通过测定样品的含氮量来推算蛋白质的含量, 即每测得 1 克氮就相当于 6.25 克蛋白质。因一般生物样品中还含少量其他含氮物, 故这样测得的蛋白质量称为粗蛋白量。

蛋白质中的氮来自基本组成单位氨基酸(amino acid)。将蛋白质样品用酸、碱或酶催化水解,最终产生氨基酸。生物界存在的氨基酸虽然已发现有 300 多种,但从各种蛋白质水解后分离得到的常见氨基酸只有 20 种(见表 1-7)。

组成蛋白质的氨基酸除脯氨酸外都是 $\alpha$ -氨基酸。一个氨基酸的 $\alpha$ -羧基与另一个氨基酸的 $\alpha$ -氨基脱水缩合形成的连接键称为酰胺键,又称为肽键;形成的化合物则称为肽(peptide)。结合在肽中的氨基酸称氨基酸残基。含 2 个、3 个氨基酸残基的肽分别称二肽、三肽;如此类推(图 1-1)。由多个氨基酸缩合成的化合物称为多肽。在多肽中氨基酸通过肽键彼此连接成的长链,称为肽链。肽链的主链由各氨基酸的共同结构组成,而侧链由各氨基酸的不同 R 基组成。肽链是不分支的,有方向性。它的一端有一个游离的氨基,称氨基末端或 N-端,另一端有

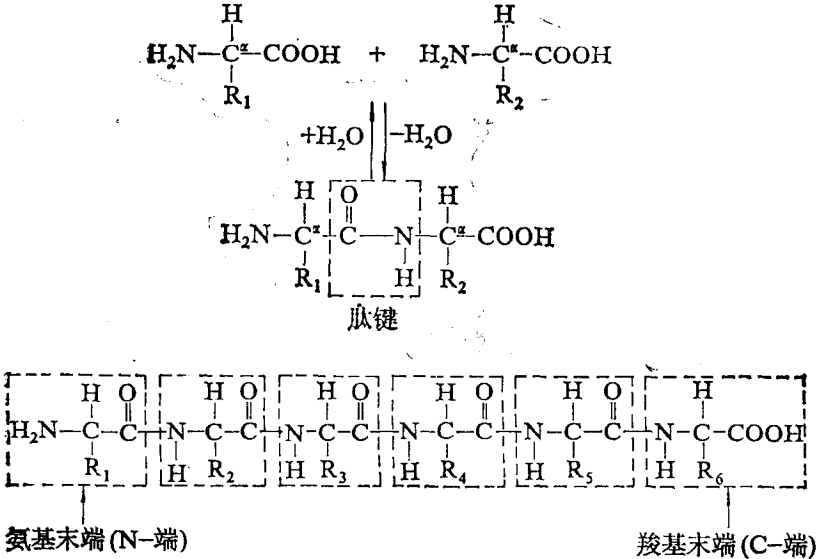


图 1-1 肽键的形成(上)和一个 6 肽化合物(下)

$\text{R}_1, \text{R}_2, \dots, \text{R}_6$ 代表不同的氨基酸侧链,每一虚线方块代表一个氨基酸残基。

一个游离的羧基,称羧基末端或 C-端。书写时一般将肽链的 N-端作为起始端。肽的命名就是从 N-端开始,按氨基酸残基在肽链中出现的次序逐一记载,称某某酰某某酰……某某酸,最后一个以“酸”称呼的是代表 C-端的氨基酸。蛋白质就是高分子量的肽化合物。蛋白质与肽并无本质的区别,仅分子量大小不同。一般把分子量在 5 000 以上的肽化合物称为蛋白质。有些蛋白质分子只含一条肽链,有些蛋白质分子则含有多条肽链,称寡聚蛋白质,其中每一条肽链称为一个亚基。

在生物体的物质组成中,蛋白质是含量最丰富的有机氮化合物,其他含氮有机物,如核酸、游离核苷酸和氨基酸、胆碱、叶啉等所占比例极小。

(二) 蛋白质是功能最多样的生物大分子 蛋白质是生物大分子,其分子量变化范围从  $5 \times 10^3$  至  $1 \times 10^6$  道尔顿,甚至更高,例如烟草花叶病毒外壳蛋白的分子量高达 4 000 万。某些蛋白质的分子量及所含肽链数目如表 1-3 所示。

表 1-3 某些蛋白质的分子量和肽链数目

蛋 白 质	分 子 量	肽 链 数 目
胰岛素(鳕鱼)	5 767	2
核糖核酸酶(牛胰)	12 600	1
肌红蛋白(马心)	16 930	1
糜蛋白酶原(牛胰)	23 200	1
促性腺激素(硬骨鱼类)	30 000	1
血红蛋白(人)	64 500	4
己糖激酶(酵母)	102 000	2
天冬氨酸转氨甲酰酶(大肠杆菌)	310 000	12
谷氨酰胺合成酶(大肠杆菌)	592 000	12
丙酮酸脱氢酶复合体(牛肾)	7 000 000	160
烟草花叶病毒外壳蛋白	40 000 000	2 130

蛋白质种类繁多, 在一个细胞中往往会有成千上万种不同的蛋白质。这是由于组成蛋白质分子的氨基酸种类、数量和排列顺序不同所引起的。例如一个仅含 10 种不同氨基酸但其组成数目为 300 的蛋白质分子, 就可能有  $10^{300}$  个不同的顺序异构体。由于生物进化和自然选择

表 1-4 蛋白质的重要功能

类 别 与 实 例	生 物 学 功 能
酶类	
蛋白酶	催化蛋白质水解
葡萄糖激酶	催化葡萄糖磷酸化
乳酸脱氢酶	催化乳酸脱氢氧化
调节蛋白类	
胰岛素	调节糖代谢
生长激素	促进生长发育
组蛋白	与遗传信息表达有关
防御蛋白类	
抗体、补体和干扰素	参与脊椎动物体内的免疫作用
纤维蛋白原	参与血液凝固, 防止失血
运动蛋白类	
肌动蛋白和肌球蛋白	与肌肉收缩以及各种细胞运动有关
运输蛋白类	
血红蛋白和血蓝蛋白	分别在脊椎动物和虾、蟹、贝类等无脊椎动物血液中输送 $O_2$ 与 $CO_2$
肌红蛋白	在肌肉中输送 $O_2$ 和 $CO_2$
血浆脂蛋白	运输脂类物质
贮存蛋白类	
卵清蛋白	在卵中贮存氨基酸, 供生长发育
酪蛋白	在乳汁中贮存氨基酸, 供生长发育
麦醇溶蛋白	在小麦种子中贮存氨基酸, 供生长发育
结构蛋白类	
膜蛋白	生物膜结构成分
核糖体蛋白质	核糖体结构成分
胶原蛋白	细胞外结构缔结组织的主要成分

的结果,目前存在于所有生物体内的蛋白质总数并没有这么多。据估计,生物界现有的不同结构的蛋白质总数为  $10^{10}$  至  $10^{12}$  数量级。

结构不同的蛋白质,在体内承担着多种多样的生物学功能。按承担的功能不同,蛋白质可分为酶蛋白、调节蛋白、防御蛋白、运动蛋白、运输蛋白、贮存蛋白和结构蛋白等等(表 1-4)。此外,还有些蛋白质具有某种特殊功能。例如,棉子毒性蛋白极少量就可使高等动物产生强烈毒性反应;生活在南极水中的鱼类,血液中含有一种抗冻结蛋白;某些水果中的甜果蛋白具有甜味等等。有人根据生物学功能,将所有蛋白质划分为两大类,一大类称为活性蛋白质,指在体内承担动态功能的蛋白质,包括酶类、调节蛋白类、防御蛋白类、运动蛋白类和运输蛋白类等;另一大类称为非活性蛋白质,指在体内承担非动态功能的蛋白质,如贮存蛋白类和结构蛋白类。然而,这种划分并不是绝对的。事实上,许多蛋白质是多功能蛋白质,例如某些膜蛋白既是膜结构的组分,又是催化生化反应的酶或是与激素调节有关的受体蛋白,还可能与分子或离子转运有关的载体蛋白。又如细胞色素既是催化电子转移的酶类,又是线粒体内膜上的结构组分。可以说,没有一种生命活动是与蛋白质无关的。蛋白质是生命活动的主要体现者,是功能最多样的生物大分子。关于蛋白质与生命的关系,早在 1878 年恩格斯在《反杜林论》中就有精辟的论述:“生命是蛋白体的存在方式,这种存在方式本质上就在于这些蛋白体的化学组成部分的不断的自我更新。”虽然恩格斯这里所说的蛋白体,今天应当理解为蛋白质和核酸组成的复合体,但可以说明人们很早就认识到蛋白质在生物体内占有特殊重要的地位。

## 二、蛋白质的分类

蛋白质按其化学组成为简单蛋白质和结合蛋白质两大类。

表 1-5 简单蛋白质的分类

分 类	溶 解 性	举 例	存 在
清蛋白类	溶于水及稀盐溶液,不溶于饱和硫酸铵溶液,加热凝固	血清清蛋白 卵清蛋白 麦清蛋白	一切动植物
球蛋白类	不溶于水,溶于稀盐溶液,不溶于半饱和硫酸铵溶液	血清球蛋白 免疫球蛋白 大豆球蛋白	一切动植物
组蛋白类	溶于水及稀酸,不溶于稀氨溶液,遇热不凝固	胸腺组蛋白	与核酸结合成核蛋白,存在于动物体中
精蛋白类	溶于水及稀酸,溶于稀氨溶液,遇热不凝固	鱼精蛋白	与核酸结合成核蛋白,存在于动物体中
谷蛋白类	不溶于水,溶于稀酸、稀碱溶液,受热不凝固	米谷蛋白 麦谷蛋白	植物种子
醇溶蛋白类	不溶于水,溶于稀酸、稀碱溶液及 70% 乙醇中	小麦醇溶蛋白 玉米醇溶蛋白	植物种子
硬蛋白类	不溶于水、稀酸、稀碱及盐溶液中	胶原蛋白 角蛋白 弹性蛋白	动物毛、发、角、爪、骨骼及结缔组织中

简单蛋白质仅由氨基酸组成，水解时除产生氨基酸外不产生其他成分。按溶解性等物理性质，简单蛋白质又可分为7类：清蛋白类、球蛋白类、组蛋白类、精蛋白类、谷蛋白类、醇溶蛋白类和硬蛋白类(表 1-5)。

结合蛋白质除了蛋白质成分外，还含非蛋白质成分，即辅基 (prosthetic group)。按辅基的不同，结合蛋白质可分为5类：核蛋白类、糖蛋白类、脂蛋白类、色蛋白类和磷蛋白类(表 1-6)。

表 1-6 结合蛋白质的分类

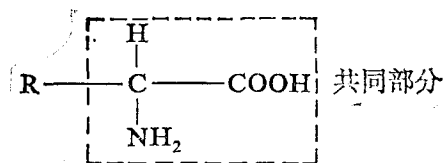
分 类	辅 基 成 分	举 例
核蛋白类	核酸(DNA、RNA)	脱氧核糖核蛋白 核糖体 烟草花叶病毒
糖蛋白类	糖类	$\gamma$ -球蛋白 唾液及各种粘液中的粘蛋白
脂蛋白类	脂类	$\alpha$ -脂蛋白 $\beta$ -脂蛋白 前 $\beta$ -脂蛋白 乳糜微粒
色蛋白类	色素(卟啉类*、核黄素)	血红蛋白(铁卟啉) 叶绿蛋白(镁卟啉) 琥珀酸脱氢酶(FAD) NADH脱氢酶(FMN)
磷蛋白类	磷酸	酪蛋白 胃蛋白酶

\* 卟啉的结构参见第五章图 5-8。

## 第二节 氨基酸和天然肽类

### 一、氨基酸的结构

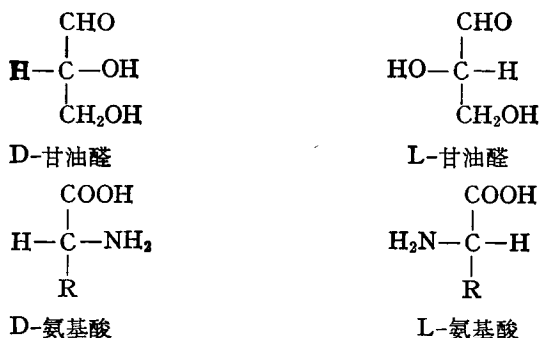
组成蛋白质的 20 种常见氨基酸的结构式列在表 1-7 中，除脯氨酸外，都有下面的结构通式：



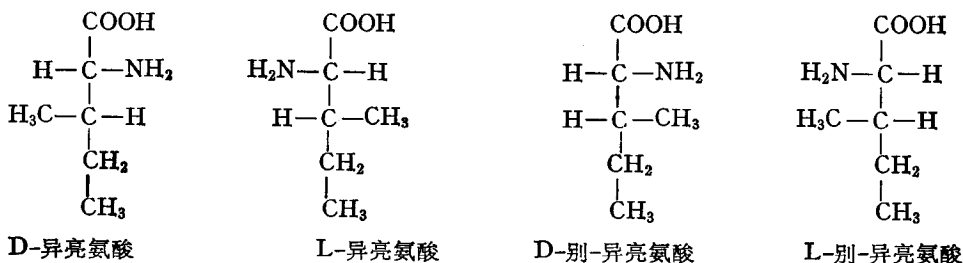
这些 $\alpha$ -氨基酸的区别仅在于侧链R基不同，如R为—H是甘氨酸，R为—CH<sub>2</sub>—SH是半胱氨酸等。除甘氨酸外，组成蛋白质的氨基酸的 $\alpha$ 碳原子都是手性碳原子(过去称不对称碳原子)，因此都有两种不同的对映异构体，以D和L两种构型来表示，它们互为实物和镜影的关系。以甘油醛为参照，将与D-甘油醛构型相同的氨基酸称为D-氨基酸，与L-甘油醛构型相同的氨基酸



称为L-氨基酸。D型和L-型氨基酸的生理功能不同。天然蛋白质中存在的氨基酸都是L-氨基酸。



有些氨基酸,如苏氨酸、异亮氨酸等含有两个手性碳原子,就有两对共4个对映异构体,分别称为D-、L-、D-别-、L-别-氨基酸。其中D-和L-、D-别-和L-别-各为一对对映体。异亮氨酸的4个对映异构体结构如下:



对映异构体都具有旋光性或光学活性,在旋光仪中可使偏振光的振动平面发生旋转,故对映异构体又称旋光异构体或光学异构体。D-型和L-型氨基酸在旋光仪中的旋光角度相同,但方向相反。左旋者用(-)表示,右旋者用(+)表示。必须指出,构型和旋光方向两者并无直接对应的关系。各种L-型氨基酸既有左旋也有右旋。即使同一种L-型氨基酸,用不同溶剂测定时,旋光方向和旋光度也会不同。

除20种常见氨基酸外,从某些蛋白质中还分离出140余种罕见的氨基酸。如胶原中的4-羟基脯氨酸和5-羟基赖氨酸,弹性硬蛋白中的锁链素和异锁链素,某些肌蛋白中的ε-N-甲基赖氨酸和3-甲基组氨酸,甲状腺球蛋白中的二碘酪氨酸和甲状腺素,许多酶蛋白中的磷酸丝氨酸等(图1-2)。这些罕见氨基酸是在蛋白质合成后,在上述常见氨基酸的基础上经过酶促修饰作用形成的,故也称修饰氨基酸。锁链素和异锁链素的奇特结构(可看成由4个赖氨酸通过其侧链R基连接成为一个取代了的吡啶环)容许弹性硬蛋白多向伸展形成网状结构,因而使它不同于其他纤维状蛋白质。磷酸丝氨酸是广泛存在的一种修饰氨基酸。蛋白质分子中特异丝氨酸的磷酸化和去磷酸化是酶活性调节的方式之一。

此外,还发现150多种不存在于蛋白质中而以游离或结合形式存在于生物体内的氨基酸。例如鸟氨酸、瓜氨酸、高丝氨酸、高半胱氨酸、β-丙氨酸、γ-氨基丁酸等(图1-3)。非蛋白质氨基酸中,有的具有L-α-氨基酸的结构,但有的是β-、γ-或δ-氨基酸。此外,还发现有D-氨基酸