



医药卫生类专业“互联网+”精品教材

生物化学

SHENGWU HUAXUE

主 编 周先云 杨家林 陈 卉



扫描二维码
共享立体资源

生物化学

主
编
周先云
杨家林
陈
卉



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

目录

模块一 静态生物化学

单元一 绪论 1

- 任务一 生物化学研究的主要内容 2
- 任务二 生物化学发展简史 3
- 任务三 生物化学与医药学的关系 5

单元二 蛋白质结构与功能 7

- 任务一 蛋白质分子组成 8
- 任务二 蛋白质的分子结构 12
- 任务三 蛋白质的生物学功能 17
- 任务四 蛋白质的理化性质 17

单元三 核酸的结构与功能 23

- 任务一 核酸的化学组成——核苷酸 24
- 任务二 DNA的结构与功能 29
- 任务三 RNA的结构与功能 34
- 任务四 核酸的理化性质和应用 38

单元四 酶 44

- 任务一 概述 45
- 任务二 酶的命名和分类 46
- 任务三 酶的结构与功能 47
- 任务四 体内酶的特殊存在形式 50



任务五 影响酶促反应速度的因素 52

任务六 酶在医学上的应用 57

单元五 维生素 61

任务一 维生素概述 62

任务二 脂溶性维生素 63

任务三 水溶性维生素 67

模块二 动态生物化学

单元六 糖代谢 79

任务一 概述 81

任务二 糖的分解代谢 82

任务三 糖原的合成与分解 93

任务四 糖异生 98

任务五 血糖及其调节 100

单元七 生物氧化 106

任务一 概述 107

任务二 生物氧化过程中水的生成 109

任务三 ATP的生成 114

任务四 其他氧化体系 118

单元八 脂类代谢 122

任务一 概述 123

任务二 血脂与血浆脂蛋白 125

任务三 甘油三酯的代谢 131

任务四 磷脂的代谢 140

任务五 胆固醇的代谢 143

单元九 氨基酸代谢 149

任务一 蛋白质的营养作用 150



任务二 氨基酸的一般代谢 151

任务三 氨基酸的特殊代谢 157

单元十 核苷酸代谢 166

任务一 概述 167

任务二 核苷酸的合成代谢 168

任务三 核苷酸的分解代谢 174

单元十一 DNA 的生物合成 179

任务一 DNA的复制 180

任务二 DNA的损伤与修复 187

单元十二 RNA 的生物合成 195

任务一 不对称转录 195

任务二 转录的过程 199

任务三 真核生物转录后的加工 204

单元十三 蛋白质的生物合成 209

任务一 参与蛋白质生物合成的物质 210

任务二 蛋白质的生物合成过程 213

任务三 蛋白质生物合成后的加工 218

任务四 蛋白质生物合成与医学的关系 220

模块三 机能生物化学

单元十四 肝胆代谢 225

任务一 肝在物质代谢中的作用 227

任务二 肝的生物转化作用 229

任务三 胆汁酸代谢 231

任务四 胆色素代谢与黄疸 235



单元十五 血液的生物化学 245

任务一 血液的化学组成 246

任务二 红细胞代谢 250

单元十六 水和电解质代谢 257

任务一 体液 258

任务二 水代谢 260

任务三 电解质代谢 262

任务四 水和电解质平衡的调节 265

任务五 钙、磷及镁的代谢 267

任务六 微量元素代谢 271

单元十七 酸碱平衡 276

任务一 体内酸性和碱性物质的来源 277

任务二 酸碱平衡的调节 278

任务三 酸碱平衡紊乱 280

参考文献 287

模块一 静态生物化学

单元一

绪论

学习目标

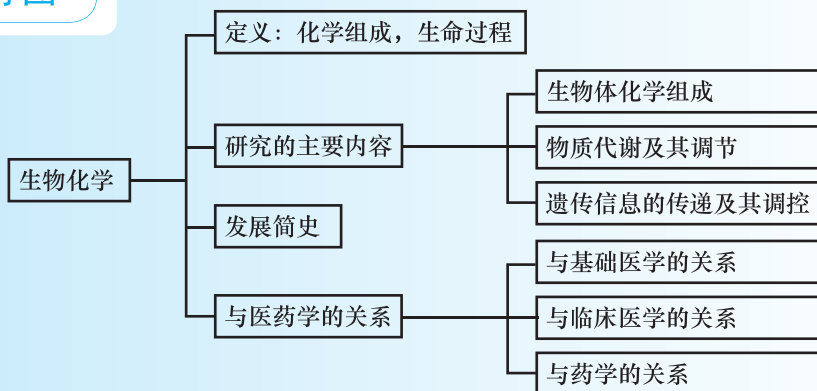
» 知识目标

1. 掌握人体物质的化学组成和生物化学的主要内容。
2. 熟悉生物化学的概念。
3. 了解生物化学与医学的关系。

» 能力目标

1. 能够陈述生物化学的发展过程。
2. 能够简述生物化学与基础医学、药学的关系。

知识导图





生物化学是研究生物体的化学组成和生命过程中化学变化规律的科学。它主要采用化学以及物理、免疫等原理和方法,从分子水平来探讨生命现象的本质,故又称生命化学。通常将生物大分子的结构、功能及其代谢调控等研究内容,称为分子生物学。广义上说,生物化学的研究对象是生物体,即生命。在医学领域,生物化学的研究对象是人体,因此,本课程是研究人体内主要化学物质的化学变化,即代谢的规律。生物化学是重要的基础医学课程,并与其他基础医学课程有着广泛的联系与交叉。

■ 任务一 生物化学研究的主要内容

人体生物化学的研究内容大致分以下几个方面。

一、人体的物质组成

人体是由细胞作为基本构成单位的有机体,细胞是由无数化学物质组成的。构成人体的主要物质成分是按照严格的规律、方式和一定的数量组成的。从化学组成上看,人体是由无机物和有机物组成的。无机物包括水和无机盐,其中,水占体重的 55%~67%,无机盐占体重的 3%~4%。有机物包括糖类、脂类、蛋白质、核酸、激素、维生素和代谢中间产物等。其中,糖类占体重的 1%~2%,脂类占体重的 10%~15%,蛋白质占体重的 15%~18%,核酸占体重的 2%。从分子水平上看,人体组成非常复杂。由于蛋白质、核酸、多糖及复合脂类等都属于人体内的大分子有机物,故简称为生物分子。通常将分子量大于 10⁴ 的生物分子称为生物大分子,它的重要特征之一是具有信息储存和传递功能,所以又称为生命分子。从分子水平上探讨人体的物质组成,是人体生物化学的重要研究内容。

二、生物大分子的结构与功能

生物大分子在人体的生命代谢过程中起着非常重要的作用。所谓生物大分子,是指由一些小分子的基本结构单位按一定顺序和方式连接而形成的多聚体,包括蛋白质、核酸、多糖等。研究生物大分子的重点是研究其空间结构与功能的关系。结构是功能的基础,而功能是结构的体现。生物大分子的功能还可通过分子之间的相互识别和相互作用来实现。分子结构、分子识别和分子间的相互作用是执行生物信息分子功能的基本要素。

三、物质代谢及其调控

生物区别于非生物的最基本特征是新陈代谢,包括物质的合成代谢和分解代谢,同时伴随着能量的储存与释放。正常的物质代谢是生命过程的必要条件,推测人的一生中与外界环境进行交换的水约 60 000 kg、糖类 10 000 kg、蛋白质 1 600 kg、脂类 1 000 kg,其总量高达人体重量的 1 300 多倍。除此之外,其他小分子物质和无机盐类也在不断交换之中,但其数量要少得多。这些物质进入机体后,一方面可作为机体生长、发育、修补、繁殖等需要的原料,进行合成代谢;另一方面又可作为机体生命活动所需的能源,进行



分解代谢。一旦代谢停止，生命则终止。

人体内各种物质代谢途径之间存在着密切而复杂的关系，各种物质代谢途径都能按照一定的规律有条不紊地进行，通过细胞水平、激素水平和神经体液水平的调节来完成。如餐后人体血糖水平会有所上升，但上升到一定程度时，人体内就会通过合成胰岛素来降低血糖水平。物质代谢一旦失去调控，将导致代谢紊乱，引起一系列代谢障碍性疾病。探讨生物体的物质代谢、能量代谢及其调控，对于了解生命活动的规律、探索疾病发生的机制、寻找诊断和防治疾病的途径，具有非常重要的意义。

物质代谢中的绝大部分化学反应是由酶来催化的，酶结构和含量的变化对物质代谢的调节起着重要作用。此外，细胞信息传递参与多种物质代谢的调节。细胞信息传递的机制及网络是近代生物化学研究的重要课题。

四、基因信息的传递及调控

基因信息传递涉及遗传、变异、生长、分化等生命过程，也与遗传性疾病、恶性肿瘤、代谢异常性疾病、免疫缺陷性疾病、心血管病等多种疾病的发病机制有关。遗传的主要物质基础是 DNA，基因是在 DNA 分子上的功能片段。基因控制生物性状的表达，如在细胞增殖、分化过程中 DNA 通过复制将遗传信息传递给下一代，通过转录与翻译表达出 RNA 或蛋白质，才能使子代表现出与亲代相似的生物性状。这一系列过程都可调控，基因结构改变或信息传递错误都可能导致变异，从而引起生物性状的改变或诱发疾病。

随着基因工程技术的发展，许多基因工程产品将应用于人类疾病的诊断和治疗。基因分子生物学除进一步研究 DNA 的结构与功能外，更重要的是研究 DNA 复制、转基因、基因剔除、新基因克隆、人类基因组计划及功能基因组计划等，其发展将大大推动这一领域的研究进程。

■ 任务二 生物化学发展简史

生物化学是一门既古老又年轻的学科。在我国，其发展可追溯到远古；而在欧洲则始于 200 多年前，逐渐发展，一直到 1903 年，才由德国人 C.A.Neuberg 提出“Biochemistry（生物化学）”这个名词而成为一门独立的学科。



生物化学的发展简史

一、生物化学的研究历程

第一阶段是从 19 世纪末到 20 世纪 30 年代，主要是叙述生物化学阶段，对生物体内各种物质组成成分进行分离、纯化、结构测定、合成及理化性质的研究。例如，菲舍尔测定了多种糖和氨基酸的结构，确定了糖的构型，并指出蛋白质是由肽键连接的。诺思罗普等连续结晶了几种水解蛋白质的酶，确立了酶是蛋白质这一概念。通过食物分析和营养研究发现了一系列维生素，并清楚了其分子结构。随后，人们发现了体内含量少



但作用重大的激素：肾上腺素、胰岛素、肾上腺皮质所含的类固醇激素等。中国生物化学家吴宪在 1931 年发现了蛋白质变性现象。中国古代在生物化学的发展上是有一定贡献的。近代生物的发展，欧洲处于领先地位。

第二阶段是动态生物化学阶段，在 20 世纪 30 至 50 年代，生物化学进入了一个蓬勃发展时期。在营养研究上，研究了人体对蛋白质的需求量，发现了必需氨基酸、必需脂肪酸、多种维生素及一些不可缺少的微量元素。在内分泌研究上，发现了各种激素。在酶研究上，分离出尿酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶，并成功结晶出来。同时，主要研究生物体内物质的变化，也就是代谢，研究了糖酵解、三羧酸循环及脂肪代谢等重要分解代谢，对呼吸链、三磷酸腺苷（ATP）在能量代谢和转换中的关键位置有了较深入的研究。

第三阶段是机能生物化学阶段，从 20 世纪 50 年代以后，主要研究生物大分子物质的结构与功能。生物化学在这一阶段的发展是与物理学、微生物学、技术科学、遗传学、细胞胚胎学等学科相互渗透而产生的，并成为生物化学的研究主体。1950 年美国人 L.Pauling 提出的蛋白质二级结构的 α -螺旋形式，J.D.Watson、F.H.Crick 于 1953 年提出的 DNA 双螺旋结构模型，为揭示遗传信息的传递规律奠定了基础，也标志着生物化学的研究进入了崭新的时代——分子生物学时代。该时期除了继续深入研究物质代谢的途径外，重点进入代谢调节及合成代谢的研究，尤其是对两类生物大分子——蛋白质和核酸的研究。20 世纪 60 年代，确立了遗传信息传递的中心法则，破译了遗传密码。20 世纪 70 年代，建立了重组 DNA 技术，发明了 PCR（聚合酶链反应）技术等，不仅促进了对基因表达调控机制的研究，而且使人们主动改造生物体成为可能。20 世纪 80 年代，T.R.Cech 等发现了核酶，使人们对生物催化剂的本质产生了新的认识。20 世纪 90 年代初开始的人类基因组计划（human genome project, HGP），确立了人类基因组的全部序列，以及人类全部基因的一级结构，并公布了人类基因组草图。

近 20 多年来，除早已在研究代谢途径时所使用的放射性核素示踪法外，还建立了很多先进技术和方法。例如，在分离和鉴定各种化合物时，使用电泳法、层析法；在测定物质的化学组成、氨基酸在蛋白质分子中的排列顺序时，使用自动分析仪；测定生物分子的性质和结构时，使用红外线、紫外线、X 射线等仪器。在知道生物分子结构的基础上，才能研究其功能和人工合成。

进入 21 世纪，随着人类基因组计划的完成，生物化学进入了后基因组研究时期。它的研究将为人类深入理解基因组遗传语言的逻辑构架、基因结构与功能的关系，个体发育、生长、衰老和死亡机制，信息传递和作用机理，疾病发生、发展的基因及基因后机制（如发病机制、病理过程），以及各种生命科学问题提供共同的科学基础。该领域的研究成果将进一步加深人们对生命的认识，同时也为人类的健康和疾病的研究带来根本性变革，并大大推动医药学的发展。

二、我国生物化学的发展

我国人民对生物化学的认识早于西方。我国古代医学对某些营养缺乏病的治疗有所认识，如地方性甲状腺肿古称“瘰病”，主要是饮食中缺碘所致，用含碘丰富的海带、海藻、



紫菜等海产品防治。夜盲症古称“雀目”，孙思邈首先用含维生素 A 较丰富的猪肝治疗，等等。

1965 年，我国首先人工合成了结晶牛胰岛素，1981 年合成了酵母丙氨酸 tRNA。近年来，我国在基因工程、蛋白质工程、新基因的克隆与功能、疾病相关基因的克隆及功能研究等方面均已取得重要成果，人类基因组草图的完成也有我国科学家的贡献。



课程思政

中国的酿酒技术史上，最早记录有关酿酒原料和成品比例的出自《汉书·食货志》。当时酿酒用的比例，“一酿用粗米二斛，曲一斛，得成酒六斛六斗”。这是中华五千年文明之一。

■ 任务三 生物化学与医药学的关系

一、生物化学与基础医学的关系

生物化学既是重要的医学基础课程，又与医学的发展密切相关、相互促进。各种疾病发病机制的阐明，诊断手段、治疗方案和预防措施的实施，都是依据生物化学的理论和技術。如糖代谢紊乱导致糖尿病，脂类代谢紊乱导致动脉粥样硬化，氨基酸异常导致肝性脑病，胆色素代谢异常导致黄疸，维生素 A 缺乏导致夜盲症等。体液中各种无机盐类、有机化合物和酶类等检测，早已成为诊断疾病的常规指标。充分了解物质代谢及其调节的规律，能为预防和治疗疾病制定有效方案，也能为疾病诊断和预防提供依据。所以，只有牢固地掌握生物化学基本理论和技能，才有望成为合格的医务工作者。

二、生物化学与临床医学的关系

生物化学的研究为临床医学对疾病的诊治提供了理论依据。不仅许多疑难疾病的发病机制相继被揭示，而且诸多诊断检测技术和方法的不断创建，为许多疾病的预防和治疗提供了全新的手段。如癌基因的发现，证明它在正常情况下并不引起细胞癌变，只有在某些理化因素或病毒以及情感等因素的作用下，才能被激活而导致细胞癌变，这为最终根治恶性肿瘤奠定了基础。对动脉粥样硬化的研究，促进了对胆固醇、脂蛋白、受体及相关基因等的生物化学研究。

分子病通常是指由于基因突变，导致蛋白质一级结构异常而造成功能障碍的疾病。如镰刀形红细胞贫血是因为血红蛋白 β -链第 6 位谷氨酸被缬氨酸取代所造成。蛋白质构象改变而导致的疾病称为蛋白质构象病，常见的有阿尔茨海默病、亨廷顿舞蹈症、牛海绵状脑病（即疯牛病）等。由于基因突变，导致遗传性酶缺陷或酶结构和酶活性异常而造成代谢障碍或紊乱的疾病，称为先天性代谢缺陷病。如糖原贮积症 I 型，就是缺乏葡萄糖-6-磷酸脱氢酶所致；苯丙酮尿症，是因为缺乏苯丙氨酸羟化酶所致；痛风与自



毁容貌症，都是因为缺乏次黄嘌呤鸟嘌呤磷酸核糖转移酶而造成的嘌呤代谢病。先天性代谢缺陷和分子病涉及范围广泛，目前已发现有 2 000 多种，成为种类最多的遗传病。如白化病，近亲结婚的子代要比非近亲结婚的子代的发病率高 6 倍；表兄妹结婚的子代痴呆儿发生率更是比非近亲结婚高 150 倍。这是因为近亲结婚，双方携带有相同基因的可能性要明显大于一般群体，随着生物化学的发展，必将对这类疾病的防治提供重要的研究基础。

基因工程的发展，对临床医学起着极大的促进作用。随着基因芯片、蛋白质芯片、PCR 技术和重组蛋白试剂等应用于临床诊断，疾病的诊断不仅简便快捷，而且达到了前所未有的高特异性、高灵敏度。基因工程疫苗的生产为解决免疫难题提供了新手段。基因治疗目前已成为医学领域的研究热点，随着遗传病基因疗法、肿瘤基因疗法和其他疾病基因疗法的不断完善和广泛应用，基因工程药物的研究开发和大量生产，基因治疗必将对临床医学等领域产生重大影响。

三、生物化学与药学的关系

生物化学与药学的发展关系密切，磺胺类药物的发现开辟了利用抗代谢药物作为化疗药物的新领域，如 5- 氟尿嘧啶用于治疗肿瘤。青霉素的发现开创了抗生素药物的新时代，再加上各种疫苗的普遍应用，使很多严重危害人类健康的传染病得到控制或基本消灭。

近年来，根据生物化学原理，应用生物化学的方法和技术研究、制备、开发的生物药物得到了应用。靶向药物是随着当代分子生物学、细胞生物学的发展产生的高科技药物，是目前最先进的用于治疗癌症的药物。它通过与癌症发生、肿瘤生长所必需的特定分子靶点的作用来阻止癌细胞的生长。基因工程疫苗的生产为解决免疫难题提供了新的手段。基因治疗目前已成为医学领域的研究热点，基因工程药物的研究开发和大量生产，必将对药学领域产生重大影响。



课程思政

习近平总书记在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告中指出：“我们要坚持教育优先发展、科技自立自强、人才引领驱动，加快建设教育强国、科技强国、人才强国，坚持为党育人、为国育才，全面提高人才自主培养质量，着力造就拔尖创新人才，聚天下英才而用之。”作为医护人员，我们要夯实医学基础，掌握生命健康规律，勤学多问，强化为健康中国服务意识，努力成为德才兼备的医学创新人才、人民健康的守护神。

单元二

蛋白质结构与功能

学习目标

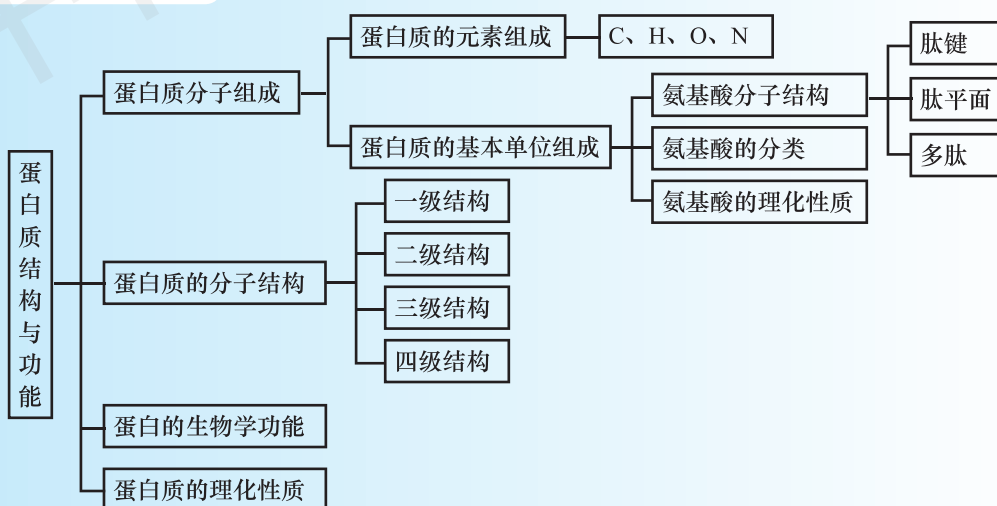
» 知识目标

1. 掌握蛋白质的元素组成及特点、氨基酸的分类。
2. 掌握蛋白质的四级结构类型与作用力。
3. 熟悉蛋白质的理化性质等；氨基酸、小分子肽、蛋白质与药物关系。

» 能力目标

1. 将蛋白质知识熟练应用于有关氨基酸、小分子肽及蛋白质类药物的生产、运输和贮存过程中。
2. 能够应用蛋白质分离的相关技术，为后续内容的学习奠定基础。

知识导图





蛋白质是人体的基本组成成分之一，也是含量最丰富的高分子物质。人体内的蛋白质分布广泛，几乎所有的器官组织都含有，种类达 10 万多种，约占人体固体成分的 45%。蛋白质的主要生理功能是构成细胞的基本成分，维持组织的更新、生长和修复，参与体内多种重要的生理活动。体内每一种蛋白质都有其特有的生理功能，有些蛋白质参与细胞或组织器官的构成，起支持或保护作用，如角蛋白、胶原蛋白、弹性蛋白等。有些蛋白质具有许多特殊功能，如酶的催化功能，多肽类激素、钙调节蛋白、转录因子等调节功能，血红蛋白、白蛋白、脂蛋白的运输和储存功能，肌动蛋白、肌球蛋白的收缩和运动功能，免疫球蛋白、凝血酶原的免疫和保护功能。人体的发育、生长、繁殖和遗传等都与蛋白质的功能有关。所以，蛋白质是人体生命活动的物质基础，没有蛋白质，就没有生命。

■ 任务一 蛋白质分子组成

蛋白质是氨基酸按一定顺序结合形成一条多肽链，再由一条或多条以上的多肽链按照其特定方式结合而成的高分子化合物。

一、蛋白质的元素组成

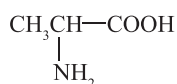
蛋白质分子量虽然大，结构也复杂，但是化学元素分析证明它主要含有几种元素。一般蛋白质都由碳（50%~55%）、氢（6%~8%）、氧（19%~24%）、氮（13%~19%）组成。除此之外，大部分蛋白质还会有硫（0~4%），一些蛋白质还含有少量的磷、铁、锌、铜、硼、锰、碘等元素。各种蛋白质的含氮量十分接近，平均约为 16%，即每含 1 g 氮相当于 6.25 g 蛋白质，6.25 称为蛋白质系数。蛋白质是机体的主要含氮化合物，因此在测定生物样本的蛋白质含量时，只需要测出含氮量，再乘以 6.25 即可得出蛋白质的大致含量，公式如下：

$$\text{每克样品中蛋白质含量 (g)} = \text{每克样品中含氮量 (g)} \times 6.25$$

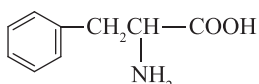
二、蛋白质的基本组成单位——氨基酸

氨基酸是蛋白质的基本组成单位。组成人体蛋白质的氨基酸有 20 种。

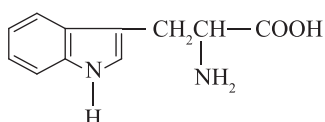
它们在化学结构上的共同特点是氨基连接在 α -碳原子上，故称为 α -氨基酸（脯氨酸为 α -亚氨基酸）。例如：



α -氨基丙酸
(丙氨酸)



α -氨基- β -苯基丙酸
(苯丙氨酸)



α -氨基- β -吲哚丙酸
(色氨酸)

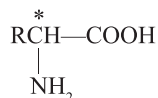


氨基酸的结构



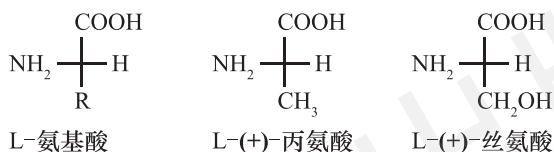
(一) 氨基酸的结构

α -氨基酸是一类取代羧酸，它们在化学结构上的共同点是氨基都连接在 α -碳原子上，其通式为：



式中 R 代表不同的基团，R 不同就形成不同的 α -氨基酸。

除甘氨酸外，各种天然氨基酸的 α -碳原子都是手性碳原子，故具有旋光性。氨基酸的构型取决于 α -碳原子上氨基的空间位置。构成蛋白质的氨基酸构型如果用 D/L 法标记，都是 L 型，故人体的氨基酸都是 L- α -氨基酸；如果用 R/S 法标记，除半胱氨酸外，都是 S 型。 α -氨基酸的构型习惯上用 D/L 法标记。



(二) 氨基酸的分类

根据氨基酸的结构，有以下几种分类方法（表 2-1）。

按氨基酸分子中氨基和羧基的相对位置不同，氨基酸可分为： α -氨基酸、 β -氨基酸、 γ -氨基酸等。

按氨基酸分子中烃基的种类不同，可分为脂肪族氨基酸、芳香族氨基酸和杂环氨基酸。

按氨基酸分子中烃基的极性不同，氨基酸又可分为非极性氨基酸和极性氨基酸。

按氨基酸分子中羧基和氨基的数目不同可分为中性氨基酸、酸性氨基酸和碱性氨基酸。

要注意的是，这种分类的“中性”“碱性”“酸性”并不是指氨基酸水溶液的酸碱性（或 pH），而是指分子中氨基（碱性基团）与羧基（酸性基团）的相对多少。如中性氨基酸溶于纯水时，由于羧基的电离略大于氨基，因此其水溶液的 pH 略小于 7。

有些氨基酸，如亮氨酸等在人体内不能合成或合成量不足但又是人体所必需的，只能依靠食物供给，这种氨基酸叫作必需氨基酸。



表 2-1 20 种 α -氨基酸

分类		名称	结构式	代号	字母 代号	等电点 (pI)
脂 肪 族 氨 基 酸	中 性 氨 基 酸	甘氨酸 (α -氨基乙酸)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{—COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	甘 (Gly)	G	5.97
		丙氨酸 (α -氨基丙酸)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH—COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	丙 (Ala)	A	6.02
		丝氨酸 (α -氨基- β -羟基丙酸)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH—COOH} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	丝 (Ser)	S	5.68
		* 亮氨酸 (α -氨基- γ -甲基戊酸)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CHCOOH} \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	亮 (Leu)	L	5.98
		* 异亮氨酸 (α -氨基- β -甲基戊酸)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH—CHCOOH} \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	异亮 (Ile)	I	6.02
		* 缬氨酸 (α -氨基- β -甲基丁酸)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH—CHCOOH} \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	缬 (Val)	V	5.96
		* 苏氨酸 (α -氨基- β -羟基丁酸)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH—CHCOOH} \\ \quad \quad \\ \text{OH} \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	苏 (Thr)	T	6.53
		* 蛋氨酸 (α -氨基- γ -甲硫基丁酸)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{—S—CH}_2\text{CH}_2\text{CHCOOH} \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	蛋 (Met)	M	5.74
		半胱氨酸 (α -氨基- β -巯基丙酸)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH—COOH} \\ \quad \\ \text{SH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	半胱 (Cys)	C	5.05
	酸 性 氨 基 酸	天冬氨酸 / 天冬酰胺 (α -氨基丁二酸)	$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2\text{CH—COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	天 (Asp)	D	2.77
		谷氨酸 / 谷氨酰胺 (α -氨基戊二酸)	$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{CH—COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	谷 (Glu)	E	3.22
	碱 性 氨 基 酸	* 赖氨酸 (α , ω -二氨基己酸)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHCOOH} \\ \quad \quad \quad \\ \text{NH}_2 \quad \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	赖 (Lys)	K	9.74
		精氨酸 (α -氨基- δ -胍基戊酸)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{NC—NH(CH}_2)_3\text{CHCOOH} \\ \quad \quad \\ \text{NH} \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	精 (Arg)	R	10.76
	芳 香 族 氨 基 酸	* 苯丙氨酸 (α -氨基- β -苯基丙酸)		苯 (Phe)	F	5.48
酪氨酸 (α -氨基- β -对羟基苯基丙酸)			酪 (Tyr)	Y	5.66	



续表

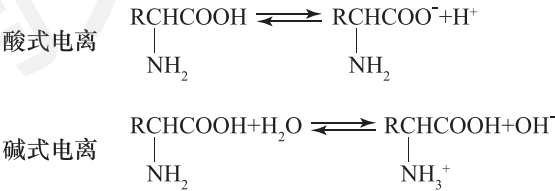
分类	名称	结构式	代号	字母代号	等电点 (pI)
杂环氨基酸	组氨酸 (α-氨基-β-(4-咪唑基)丙酸)		组 (His)	H	7.59
	* 色氨酸 (α-氨基-β-(3-吲哚基)丙酸)		色 (Trp)	W	5.80
	脯氨酸 (α-羧基四氢吡咯)		脯 (Pro)	P	6.30

(三) 氨基酸的理化性质

1. 物理性质 α-氨基酸都是无色晶体，熔点一般都较高，在 230~300℃，熔融时易脱羧分解并放出二氧化碳。α-氨基酸都能溶于强酸或强碱溶液中，结构不同的氨基酸在纯水中的溶解度差异较大，难溶于乙醚、乙醇等有机溶剂。有的氨基酸具有鲜味和甜味，有的有苦味，如谷氨酸的钠盐具有鲜味，是味精的主要成分。

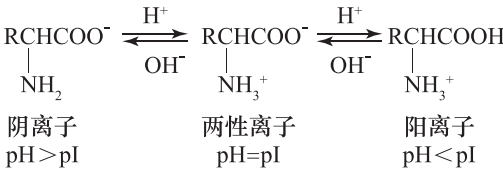
2. 化学性质

(1) 两性电离和等电点：氨基酸分子中同时存在酸性基团羧基和碱性基团氨基，因此它既能与碱反应，又能与酸反应，是两性化合物。在水溶液中，氨基酸分子中的酸性基团羧基发生酸式电离；碱性基团氨基则发生碱式电离。



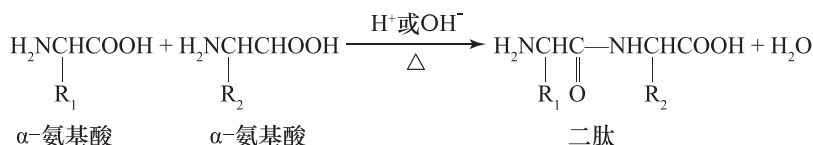
另外，氨基酸分子内的羧基和氨基相互作用也能生成盐，这种盐称为内盐。内盐分子中既有带正电荷的部分，又有带负电荷的部分，故又称为两性离子。

如将氨基酸水溶液的 pH 调到一特定数值时，使氨基酸的酸式电离与碱式电离相等，则氨基酸几乎全部以两性离子的形式存在，整个氨基酸分子是电中性的，在外电场中不向任何一极移动，此时溶液的 pH 称为该氨基酸的等电点，常用 pI 表示。



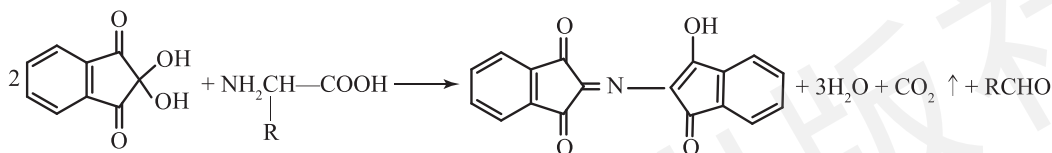


(2) 成肽反应：两分子 α -氨基酸在酸或碱存在下受热，可脱水生成二肽。反应时一个 α -氨基酸分子中的羧基和另一个 α -氨基酸分子中的氨基脱去一分子水缩合成二肽。



二肽分子中含有的酰胺键（—CONH—）也叫作肽键。由于二肽分子中仍含有自由的氨基和羧基，因此还可以继续与其他氨基酸脱水成为三肽、四肽，以至多肽。

(3) 显色反应： α -氨基酸与水合茚三酮在水溶液中共热时，发生一系列反应，最终生成蓝紫色化合物，称为罗曼紫，并放出 CO_2 。



该反应非常简便、灵敏，根据 α -氨基酸与茚三酮反应所生成化合物的颜色深浅程度，以及放出二氧化碳的体积，可以进行定性和定量分析氨基酸。但含亚氨基的氨基酸（如脯氨酸和羟脯氨酸）与水合茚三酮反应呈黄色。

(4) 光谱性质：苯丙氨酸、酪氨酸、色氨酸等芳香族氨基酸在 280 nm 波长处具有特征性吸收峰，因此可以用来测定蛋白质的含量。

■ 任务二 蛋白质的分子结构

人体内具有生理功能的蛋白质都是有序结构，由氨基酸排列顺序及肽链的空间排布等构成蛋白质分子结构。蛋白质的分子结构分成 4 个层次，即一级、二级、三级、四级，后三者称为高级结构或空间构象。空间构象涵盖蛋白质分子中每一个原子的相对位置，它们是蛋白质特有性质和功能的结构基础。

一、蛋白质分子一级结构

蛋白质的一级结构就是蛋白质多肽链中 α -氨基酸残基的排列顺序，也是蛋白质最基本的结构。它是由基因上遗传密码的排列顺序所决定的，是蛋白质空间构象和特殊生物学功能的基础。

有些蛋白质分子是由一条链构成的，有些蛋白质分子则是至少由两条多肽链构成的。目前有少数蛋白质分子中的氨基酸排列顺序已经十分清楚。例如，胰岛素由 A、B 两条肽链构成，它们之间通过二硫键构成胰岛素分子。其中 A 链有 21 个氨基酸，B 链有 30 个氨基酸。牛胰岛素的氨基酸排列顺序结构示意图，如图 2-1 所示。



13



短，只有 5~8 个氨基酸残基，但两条以上肽链或一条肽链的若干肽段的锯齿状结构可平行排列，肽链的走向可相同也可相反。链间有氢键相连，以维持 β -折叠结构的稳定（图 2-3）。

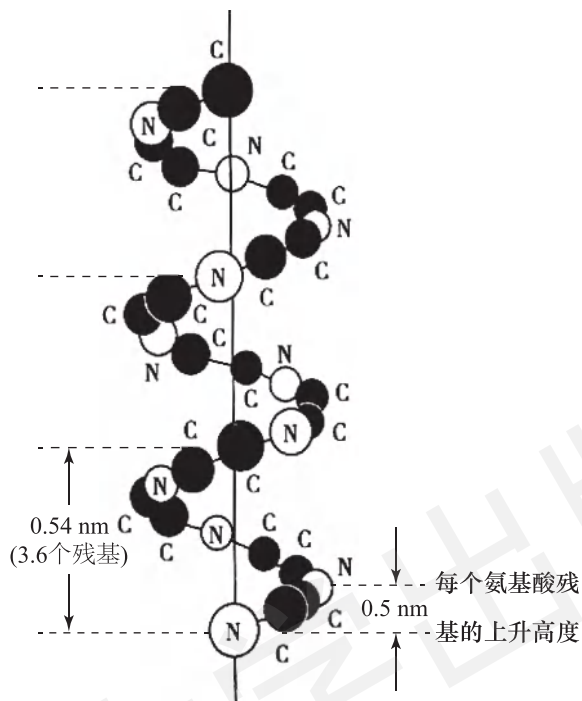


图 2-2 α -螺旋示意图

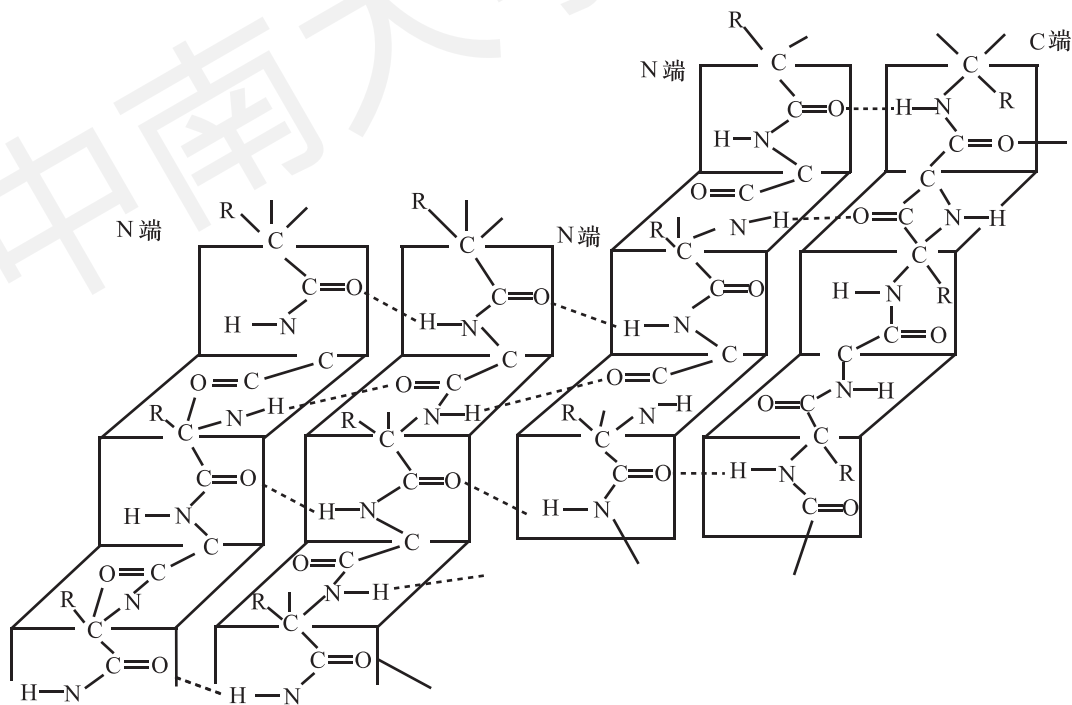


图 2-3 β -折叠示意图



(3) β -转角：在蛋白质的二级结构中，有时多肽链主链出现 180° 的转折称为 β -转角。常见于球状蛋白分子表面， β -转角通常由 4 个氨基酸残基组成，其第一个残基的羧基中的氧与第四个残基的氨基中的氢可形成氢键。 β -转角的结构比较特殊，其中第二个残基常为脯氨酸，其他残基有甘氨酸、天冬氨酸、天冬酰胺和色氨酸（图 2-4）。

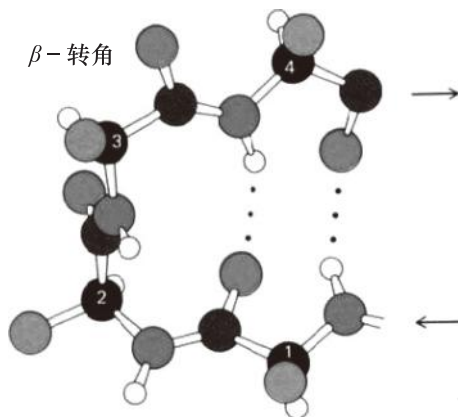


图 2-4 β -转角示意图

(4) 无规则卷曲：无规则卷曲是没有确定规律性的肽键构象，常见于球状蛋白质分子中，在其他类型二级结构肽段之间起活节作用，有利于整条肽链盘曲折叠（图 2-5）。



图 2-5 无规则卷曲示意图

2. 三级结构 蛋白质的三级结构（图 2-6）是指整条肽链中全部氨基酸残基的相对空间位置，即肽链中所有原子在三维空间的排布位置。三级结构的稳定主要依靠氨基酸侧链基团之间形成的次级键来维持，如疏水键、氢键、离子键、范德华力等，其中以疏水键最为重要。组成蛋白质的肽链一般很长，它们反复卷曲折叠，结果使得大多数蛋白质分子呈球形或椭圆形。研究证明具有三级结构的蛋白质才具有生物功能，三级结构一旦破坏，蛋白质的生物功能便丧失。



3. 四级结构 蛋白质分子的二、三级结构只由一条多肽链盘曲而成。而很多的蛋白质分子中含有两条或两条以上的多肽链，而且每条多肽链都有其完整的三级结构，每个具有独立三级结构的多肽链单位称为亚基。亚基与亚基之间的空间排布、相互连接及相互作用称为蛋白质的四级结构。四级结构实际上是指亚基的立体排布、相互作用及接触部位的布局。亚基间靠次级键（氢键、疏水键、盐键及范德华力等）结合。亚基单独存在的时候没有生物学功能，只有完整的四级结构聚合体才有蛋白质生物学功能。例如，血红蛋白是由 2 个 α 亚基和 2 个 β 亚基组成的四聚体（图 2-7）。4 个亚基通过 8 个离子键相连，形成血红蛋白的四聚体，具有运输 O_2 和 CO_2 的功能。每个亚基单独存在时，虽与 O_2 亲和力强，但在组织中难以释放 O_2 。





■ 任务三 蛋白质的生物学功能

一、构成、更新和修复机体组织

蛋白质是机体所有组织细胞、体液的重要组成成分，是构成肌肉组织、内脏器官、骨骼组织和内分泌系统的重要物质，是机体生长发育和组织修复与更新的物质基础。

二、参与调节机体的生理功能

蛋白质是许多具有重要生理活性物质的主要成分，参与调节生理活性。例如，酶蛋白参与物质代谢，免疫球蛋白具有维持机体免疫功能的作用，肌球蛋白具有调节肌肉收缩的功能，血液中的血红蛋白具有携带和运输氧气的功能，白蛋白具有调节渗透压、维持血管内外体液的平衡功能，等等。

三、提供能量

蛋白质也参与机体的能量代谢，为机体提供一定的能量，1 g 食物蛋白质在体内生物氧化可产生 16.7 kJ (4.0 kcal) 的热量。糖类和脂肪可以代替蛋白质供能，因此提供能量是蛋白质的次要功能。

四、提供机体氮源

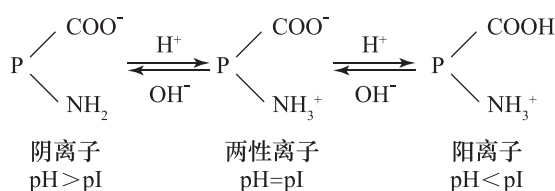
食物中的含氮物质绝大部分是蛋白质，非蛋白质的含氮物质含量很少，可忽略不计。所以蛋白质是机体氮的唯一来源。

■ 任务四 蛋白质的理化性质

蛋白质由氨基酸组成，理化性质与氨基酸相同或相关。例如，两性电离及等电点，紫外吸收性质，呈色反应等。但是蛋白质是生物大分子化合物，还具有胶体性质、沉淀、变性等特点。

一、蛋白质分子的两性电离

跟氨基酸一样，蛋白质分子的多肽链中具有游离的羧基和氨基，因此是两性物质，能发生两性电离。蛋白质在溶液中也存在下列电离平衡（蛋白质用 $\text{H}_2\text{N}-\text{P}-\text{COOH}$ 表示）：



在不同 pH 的溶液中，蛋白质的存在形式不同，调节蛋白质溶液的 pH，使蛋白质的酸式电离和碱式电离程度相等，蛋白质以两性离子存在，此时溶液的 pH 称为该蛋白质的等电点，用 pI 表示。若在此蛋白质溶液中加入少量强酸，溶液的 $\text{pH} < \text{pI}$ ，此时蛋白质分子中羧基的电离被抑制，蛋白质主要以阳离子形式存在，在电场中向负极泳动；若在此蛋白质溶液中加入少量强碱，溶液的 $\text{pH} > \text{pI}$ ，此时蛋白质分子中氨基的电离被抑制，蛋白质主要以阴离子形式存在，在电场中向正极泳动。不同的蛋白质，等电点的数值不同，一些常见蛋白质的等电点见表 2-2。

表 2-2 一些常见蛋白质的等电点

蛋白质	等电点	蛋白质	等电点
乳清蛋白	4.12	血红蛋白	6.70
血清蛋白	4.88	胰岛素	5.30
卵清蛋白	4.87	胃蛋白酶	1.00
尿酶	5.00	肌球蛋白	7.00
细胞色素 C	10.70	鱼精蛋白	12.00

在等电点时，蛋白质的溶解度、黏度、渗透压等都最小，最容易从溶液中析出。在特定 pH 溶液中，蛋白质所带电荷种类、数目、相对分子质量不同，在外电场的作用下，迁移的速度和方向不同，这种现象称为电泳现象。根据此原理，在临床试验中用电泳法分离血清中的蛋白质，用来帮助诊断疾病，此方法在临床中广泛应用。

二、蛋白质分子的沉淀

蛋白质分子颗粒直径在 1~100 nm，属于胶体溶液范围。蛋白质能够形成稳定亲水胶体溶液，主要有两方面的原因：①形成保护性水化膜。蛋白质分子表面有许多诸如羧基、氨基、亚氨基、羟基、羰基、巯基等极性的亲水基团，能与水分子形成氢键而发生水化作用，在蛋白质表面形成一层水化膜，使蛋白质粒子不易聚集而沉降。②粒子带有同性电荷蛋白质在非等电点 pH 的溶液中，粒子表面会带有同种电荷，产生相互排斥作用，使蛋白质粒子不易聚沉。但是，如果改变条件，破坏蛋白质的稳定因素，就可以使蛋白质分子从溶液中凝聚并析出，这种现象称为蛋白质的沉淀。沉淀蛋白质的方法主要有以下几种。

1. 盐析 在蛋白质溶液中加入电解质（无机盐类，如硫酸铵、硫酸钠等）至一定浓度时，蛋白质便会从溶液中沉淀析出，这种现象称为盐析。其原因是利用盐离子具有强亲水性，从而破坏了蛋白质的水化膜；同时盐电离的异种电荷中和了蛋白质的电荷。



盐析的特点是电解质的用量大,作用是可逆的,盐析一般不会改变蛋白质的性质(不变性),若向体系中加入足够的水,盐析的蛋白质可以重新溶解形成溶液。

2. 加入脱水剂 向蛋白质溶液中加入亲水的有机溶剂,如甲醇、乙醇或丙酮等,能够破坏蛋白质分子的水化膜,使蛋白质沉淀析出。沉淀后若迅速将脱水剂与蛋白质分离,仍可保持蛋白质原有的性质。但这些脱水剂若浓度较大且长时间与蛋白质共存,会使蛋白质难以恢复原有的活性。如95%乙醇比75%乙醇脱水能力强,但95%乙醇与细菌接触时会使其表面的蛋白质立即凝固,结果乙醇不能继续扩散到细菌内部,细菌只暂时丧失活力,并未死亡,而75%乙醇可扩散到细菌内部,故消毒效果好。

3. 加入重金属盐 当溶液 $\text{pH} > \text{pI}$ 时,蛋白质主要以阴离子形式存在,可与重金属离子(如 Hg^{2+} 、 Pb^{2+} 等)结合形成不溶于水的蛋白质盐并沉淀。沉淀析出的蛋白质盐失去原有的活性(变性)。重金属中毒,可用蛋白质(如牛奶、豆浆、生鸡蛋等)解毒就是根据这一原理。

4. 加入生物碱沉淀剂 当溶液的 $\text{pH} < \text{pI}$ 时,蛋白质主要以阳离子形式存在,可与苦味酸、鞣酸、三氯醋酸、磷钨酸等生物碱沉淀剂的酸根结合,生成不溶于水的蛋白质盐。

三、蛋白质的变性

当蛋白质在某些理化因素(如加热、高压、振荡、搅拌、干燥、紫外线、X射线、超声波、强酸、强碱、尿素、重金属盐、三氯乙酸、乙醇等)的影响下,其空间结构发生变化,从而丧失生物活性的过程称为蛋白质变性。性质改变后的蛋白质称为变性蛋白质。



蛋白质的变性

变性的实质是维系蛋白质分子空间结构的副键受到破坏,使其正常的空间结构松弛。根据变性程度将蛋白质的变性分为可逆变性和不可逆变性。当变性作用对蛋白质空间结构破坏程度较小,解除变性因素后可以恢复蛋白质原有的性质,称为可逆变性。反之,称为不可逆变性。

在医学上,蛋白质的变性原理已得到广泛的应用。例如,用高温、高压、75%乙醇溶液、紫外线照射等手段,使蛋白质变性,达到消毒杀菌的目的;在制备和保存生物制剂时,则应避免蛋白质变性,防止失去活性;重金属盐可以使蛋白质变性,因此对人体有毒,让中毒患者服用大量牛乳及蛋清,对重金属盐中毒有解毒作用。

四、紫外吸收性质及呈色反应

蛋白质分子中含有共轭双键的酪氨酸和色氨酸,在280 nm波长处有特征性的吸收峰。在此波长处,蛋白质的光密度值与浓度成正比,因此常常用于蛋白质的定量测定。

蛋白质分子中含有 α -氨基酸,与水合茆三酮在溶液中共热,生成蓝紫色化合物。蛋白质分子中存在有苯环的氨基酸(如苯丙氨酸、酪氨酸、色氨酸),遇浓硝酸立即变成黄色,再加氨水变为橙色。蛋白质分子中有很多肽键,因此在强碱性溶液中,蛋白质与稀硫酸铜溶液作用,可以发生缩二脲反应,会呈红色到蓝紫色的变化。



一、单选题 (A2 型题)

- 20



10. β -转角中第二个氨基酸残基是()。
- A. 精氨酸 B. 色氨酸 C. 脯氨酸
D. 谷氨酸 E. 亮氨酸
11. 蛋白质的一级结构指的是()。
- A. α -螺旋 B. β -折叠 C. 分子中的氢键
D. 分子中的二硫键 E. 氨基酸的排列顺序
12. 哪个结构不属于蛋白质的二级结构()。
- A. α -螺旋 B. β -折叠 C. β -转角
D. 无规则卷曲 E. 亚基
13. 蛋白质的三级结构指的是()。
- A. 局部肽链的全部原子的空间排布位置
B. 整条肽链的全部氨基酸残基的相对位置
C. 亚基与亚基间的布局 and 相互作用
D. 肽链主链骨架原子的相对空间位置
E. 氨基酸的排列顺序
14. 关于蛋白质 α -螺旋的叙述, 错误的是()。
- A. 链内氢键稳定其结构
B. 有些侧链 R 基团不利于 α -螺旋形成
C. 是二级结构的形式之一
D. 一般蛋白质分子结构中都含有 α -螺旋
E. 链内疏水作用稳定其结构
15. 注射时, 用 75% 乙醇溶液消毒是为了使细菌蛋白质()。
- A. 变性 B. 变构 C. 沉淀
D. 电离 E. 溶解

二、单选题 (A3 型题) (每个案例下设若干道考题。请根据答案所提供的信息, 在每一道考题下面的 A、B、C、D、E 五个备选答案中选择一个最佳答案)

2004 年, 在安徽阜阳, 由于食用劣质婴儿奶粉, 很多婴儿陆续患上一种怪病——头脸肥大、四肢细短、全身浮肿, 成了畸形的“大头娃娃”。

1. 患婴的表现主要缺乏的营养素是()。
- A. 蛋白质 B. 脂肪 C. 碳水化合物
D. 能量 E. 钙
2. 通过以上案例, 除了全身浮肿, 对于劣质奶粉对婴儿的影响, 以下说法正确的是()。
- A. 会影响大脑发育, 导致婴儿的智力赶不上其他营养摄入正常的孩子
B. 不会, 只要以后营养补充上了, 不会有任何后遗症
C. 不确定, 需要进一步检查才知道



- ### 三、图片题

A. 侧链结构 B. 四级结构 C. 三级结构
D. 二级结构 E. 一级结构

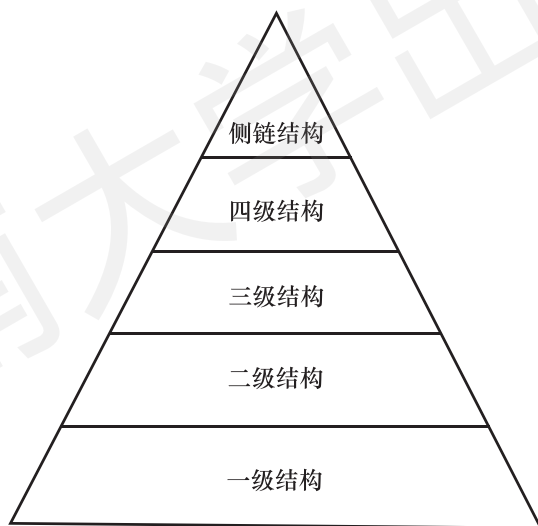


图 2-8

四、视频题

A. 氢键被破坏
B. 肽键断裂
C. 蛋白质降解
D. 水化层被破坏及电中荷被中和
E. 亚基的解聚



视频题