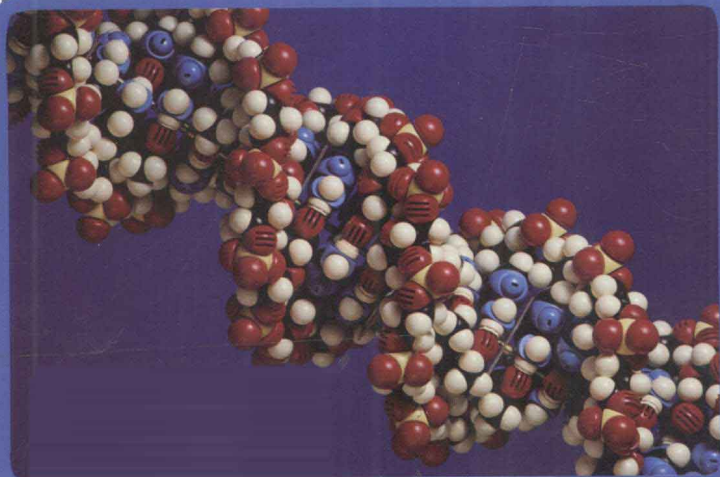


医学课程学习纲要与强化训练

生物化学与分子生物学 学习纲要与同步练习

卜友泉 宋方洲 主编



科学出版社

医学课程学习纲要与强化训练

生物化学与分子生物学 学习纲要与同步练习

主 编	卜友泉	宋方洲		
副主编	刘先俊	李 梨	冯 涛	易发平
编 委	(按姓氏拼音排序)			
	卜友泉	陈 果	陈 黎	邓小燕
	冯 涛	蒋 雪	李 梨	刘先俊
	刘 洋	刘智敏	宋方洲	吴永宏
	易发平	袁成福	朱小云	

科 学 出 版 社

北 京

· 版权所有 侵权必究 ·

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303(打假办)

内 容 简 介

全书分为五篇,共计二十一章,涵盖了目前医学院校生物化学与分子生物学的所有教学内容,每一章均包括学习要求、讲义要点、中英文专业术语、练习题和参考答案五部分。其中,学习要求和讲义要点是在教师授课的教学大纲和教案的基础上进一步凝练而成,并配置了大量精心设计的总结性图表以方便记忆;练习题也经过反复地精心筛选和校对,并配置了参考答案。

本书不仅是医学院校各专业学生的《生物化学》与《分子生物学》学习配套资料,也可供医学研究生入学考试、执业医师资格考试、医学专业自学考试复习备考使用,而且对于相关专业的青年教师和学生也极具参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

生物化学与分子生物学学习纲要与同步练习 / 卜友泉, 宋方洲主编. —北京: 科学出版社, 2011. 1

(医学课程学习纲要与强化训练)

ISBN 978-7-03-029848-5

I. 生… II. ①卜… ②宋… III. ①生物化学-医学院校-教学参考资料 ②分子生物学-医学院校-教学参考资料 IV. ①Q5 ②Q7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 259355 号

责任编辑:邹梦娜 李国红 / 责任校对:林青梅

责任印制:刘士平 / 封面设计:黄超

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

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>

骏立印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011 年 1 月第一次印刷 印张:14

印数:1—4 000

字数:455 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

生物化学与分子生物学是医学类各专业、各层次学生必修的一门主干基础课程,学习和掌握扎实的生物化学与分子生物学知识,对于其他后续医学基础课程和临床医学课程的学习并最终成长为一名新时期的医学人才至关重要。

生物化学与分子生物学是一门新兴的学科,具有知识更新快、内容多且抽象等显著特点,其理论知识体系也和其他传统医学课程迥然不同。对于绝大多数刚刚脱离传统的中学应试模式学习、自学能力较弱的医学生来讲,对生物化学与分子生物学的学习尤为不适应。故而在医学生的前期医学课程学习中,生物化学与分子生物学是被学生普遍认为“难学”的课程之一。因此,很有必要编写一本辅助性的配套学习资料以帮助学生的学习。在长期的教学实践中,笔者也深感这一辅助资料对于帮助学生迅速理清知识的脉络、加深对知识的理解和掌握的重要性。

2009年年初,我们开始组织教研室的一批长期从事生物化学与分子生物学教学的教师启动本书的编写,期间经过多次的反复讨论、修改、校对,历时一年多方才脱稿。

本书主要是以我国医学院校常用的人民卫生出版社的第七版《生物化学》和科学出版社的第三版《生物化学与分子生物学》国家级规划教材为基础,以最新的临床执业医师考试大纲和全国硕士研究生统一入学考试西医综合大纲为依据,并结合实际教学情况,对生物化学与分子生物学的教学内容进行了精心的筛选、归纳、分析和总结,并对上述规划教材中一些错误或不妥当的提法如辅酶和辅基、DNA损伤和突变、外显子和内含子、分子杂交与印迹技术等均给予了特别修订或纠正。

全书分为五篇,共计二十一章,涵盖了目前医学院校生物化学与分子生物学的所有教学内容,每一章均分为五个模块,即学习要求、讲义要点、中英文专业术语、练习题和参考答案五部分。其中,学习要求即目前教研室教师授课的教学大纲,使学生能够明确各章的学习要求;讲义要点则是在教师授课教案的基础上进一步凝练而成,并结合“图解生物化学”的理念,配置了大量精心设计的总结性图表以方便记忆,此部分可以作为学生学习的课堂笔记使用,以省去学生上课时记笔记的时间,全身心地听课;中英文专业术语则是为顺应双语教学的要求精选的一些专业词汇;练习题部分,遵循“适度练习、避免题海战”的原则,精心地挑选了一些练习题,既保证题量适度,且对题型也做了控制,仅设置了目前考试中常用的A型和B型选择题、名词解释和问答题四类题型,期望既能让学生通过做题达到巩固课堂学习的目的,又有效避免再度返回中学应试学习的老路;另外,对每道题也均提供了详细的参考答案以供参考。

本书主要作为医学院校各专业学生《生物化学》与《分子生物学》学习的配套辅助资料使用,也可供医学研究生入学考试、执业医师资格考试、医学专业自学考试复习备考使用,而且对于相关专业的青年教师和学生也具有一定参考价值。

衷心希望本书对学生学习起到很好的辅助作用。但由于本书的编写工作量较大,且编者水平有限,书中不当或错误之处仍在所难免,恳请广大同行专家和同学们批评指正。

卜友泉

重庆医科大学生物化学与分子生物学教研室

2010年9月

目 录

绪论	(1)
----------	-----

第一篇 生物大分子的结构与功能

第1章 蛋白质的结构与功能	(3)
第2章 核酸的结构与功能	(12)
第3章 酶与维生素	(20)

第二篇 物质代谢及调控

第4章 生物氧化	(38)
第5章 糖代谢	(47)
第6章 脂类代谢	(64)
第7章 氨基酸代谢	(78)
第8章 核苷酸代谢	(91)
第9章 物质代谢的联系与调节	(99)

第三篇 遗传信息的传递

第10章 DNA的生物合成	(107)
第11章 RNA的生物合成	(119)
第12章 蛋白质的生物合成	(126)
第13章 基因表达及其调控	(140)

第四篇 生物化学专题

第14章 肝的生物化学	(147)
第15章 血液的生物化学	(157)
第16章 细胞信号转导	(163)

第五篇 分子生物学专题

第17章 癌基因、抑癌基因与生长因子	(173)
第18章 常用分子生物学技术的原理与应用	(180)
第19章 基因工程	(191)
第20章 基因诊断与治疗	(202)
第21章 基因组学与蛋白质组学	(209)

主要参考资料	(214)
在线学习资源	(215)

绪论

学习要求

了解生物化学与分子生物学的诞生及其发展简史。熟悉生物化学与分子生物学的主要学习内容。了解生物化学与分子生物学与医学的关系及其在医学教育中的重要性。

讲义要点

(一) 生物化学与分子生物学学科简介

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,其核心在于从分子水平上阐明生命活动的本质和规律,主要研究生物大分子的结构与功能、生物体内各种物质的代谢及其调节,以及遗传信息的传递及其调节。

生物化学与分子生物学是在物理学、化学、生物学和医学发展到一定程度才出现的一门新兴的交叉学科,其中化学和生物学的交叉融合尤为重要。

生物化学的诞生打破了传统生命学科的界限或壁垒,成为生命科学的共同语言和联系不同学科的纽带和桥梁。

生物化学与分子生物学是目前自然科学中进展最迅速、最具活力的前沿领域,大量新发现不断涌现,并对生物医学其他学科也均产生了革命性的影响。

生物化学与分子生物学在早期是两个独立的学科,现为自然科学理学门类中生物学一级学科中的一个独立的二级学科。

(二) 生物化学与分子生物学的诞生与发展简史

1. 诞生的科学背景 主要得益于19世纪物理学、化学和生物学的繁荣发展。

大批物理学家投身于生物学研究;完整的化学理论体系,也足以使致力于研究生命科学的科学家能运用化学原理和技术在分子水平上开展对生物体的研究,用化学的语言来描述生命活动过程;与此同时,生物学也从原来的描述性学科发展成一门实验性的学科,生物学研究也从整体水平推进至细胞和分子水平。

2. 早期发展阶段——叙述生物化学阶段 主要是一些化学家和生理学家对生物体各种组成成分的分离、纯化、结构及理化性质的研究,该时期的重要贡献在于彻底推翻巴斯德的“活力论”在生物医学领域

的统治。

3. 繁荣发展时期——动态生物化学阶段 该时期大量新发现不断涌现,基本建立了传统生物化学的知识理论体系,包括酶学、维生素、物质代谢等研究,酶学理论以及各种物质代谢途径基本阐明。

4. 里程碑式的转折——分子生物学时期 该时期的标志是作为遗传物质基础的DNA的双螺旋结构的阐明,这也是生物医学领域的一个里程碑式发现。生物化学与分子生物学由此一举成为生命科学的领头前沿学科,对生物医学其他学科也均产生了革命性的影响。

核酸成为本时期研究的主旋律,以此为中心主要研究遗传信息流动的规律。

(三) 生物化学与分子生物学的主要内容

1. 基本内容主要分为三大部分

(1) 生物大分子的结构与功能:包括蛋白质、核酸、酶等的结构与功能。

(2) 物质代谢及调控:包括糖、脂类、氨基酸、核苷酸的代谢,代谢的相互联系及其调控。

(3) 遗传信息传递及调控:包括DNA、RNA和蛋白质的生物合成,基因表达及其调控。

2. 另设专题内容 根据医学生的学习要求,另外独立设置生物化学专题与分子生物学专题,包括器官和组织细胞生化、基因工程、分子生物学技术等重要内容。参见下表。

知识模块	章节内容
第一篇 生物大分子的结构与功能	蛋白质的结构与功能 核酸的结构与功能 酶与维生素
第二篇 物质代谢及调控	生物氧化 糖代谢 脂类代谢 氨基酸代谢 核苷酸代谢 物质代谢联系与调节
第三篇 遗传信息传递及调控	DNA的生物合成 RNA的生物合成 蛋白质的生物合成 基因表达及其调控

续表

知识模块	章节内容
第四篇 生物化学专题	肝的生物化学 血液的生物化学 细胞信号转导
第五篇 分子生物学专题	癌基因、抑癌基因与生长因子 常用分子生物学技术的原理与 应用 基因工程 基因诊断与治疗 基因组学与蛋白质组学

(四) 本学科与医学的关系

生物化学与分子生物学是医学学科发展的重要基石,它为医学各学科从分子水平上研究正常和疾病状态时人体的结构与功能乃至疾病预防、诊断与治疗,提供了理论与技术,为推动现代医学的革新与迅猛发展做出了重要贡献。生物化学与分子生物学已成为生物医学各学科之间相互联系与交流的共同语言。

反过来,医学又为生物化学与分子生物学的发展与革新提供了强大的需求与动力。

生物化学与分子生物学是医学生的必修主干基础课程,学习和掌握扎实的生物化学与分子生物学知识,对于其他后续医学基础课程和临床医学课程的学习具有重要意义。

中英文专业术语

生物化学:biochemistry 分子生物学:molecular biology

练习题

1. 试列举生物化学与分子生物学的主要研究内容。
2. 试列举生物化学与分子生物学每个主要发展时期的一两个代表性成就。
3. 结合科技史和医学史学习,谈谈生物化学与分子生物学作为一门交叉学科产生的科学背景及其对近代生物医学发展的重要影响。

(卜友泉)

第一篇 生物大分子的结构与功能

第1章 蛋白质的结构与功能

学习要求

掌握蛋白质的元素组成特点。掌握氨基酸的结构特点和分类。熟悉氨基酸的常见理化性质,包括两性电离、紫外吸收特性和茚三酮显色反应,掌握等电点的概念。掌握肽、肽键与肽链的概念。熟悉多肽链的写法。了解几种重要的生物活性肽。了解蛋白质的分类。

掌握蛋白质一级结构的概念及其主要的化学键。掌握蛋白质二级结构的概念、主要化学键及二级结构的主要形式。熟悉 α -螺旋、 β -折叠、 β -转角和不规则卷曲的结构特点。了解模序的概念。掌握蛋白质三级结构的概念和维持其稳定的化学键。了解结构域和分子伴侣的概念。掌握蛋白质四级结构的概念和维持其稳定的化学键,掌握亚基的概念。掌握蛋白质一级结构与高级结构以及功能三者之间的辩证关系并能举例说明,熟悉分子病、蛋白质构象疾病的概念及分子机制。熟悉血红蛋白和肌红蛋白的分子结构。熟悉蛋白质别构效应的概念。

掌握蛋白质的两性电离特性和等电点的概念,蛋白质的胶体性质及其稳定因素,蛋白质变性、复性、凝固的概念,蛋白质的紫外吸收特性,蛋白质的呈色反应。

了解常用的蛋白质分离纯化技术,包括蛋白质沉淀、盐析、透析与超滤、电泳、离心、层析的基本原理和应用。了解蛋白质一级结构测定常用方法,了解蛋白质空间结构预测的方法。

讲义要点

(一) 蛋白质的分子组成

1. 蛋白质的元素组成及特点

(1) 蛋白质主要有碳、氢、氧、氮和硫元素组成,有些蛋白质还含有少量的磷或金属元素,个别还含碘。

(2) 蛋白质的平均含氮量为16%,可以用于样品中蛋白质含量的计算。公式如下:

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

2. 组成人体蛋白质的20种氨基酸均属于L- α -氨基酸

(1) 氨基酸是组成蛋白质的基本结构单位。

(2) 组成人体蛋白质的20种氨基酸的结构特点:

1) α -氨基酸:脯氨酸(属于亚氨基酸)除外。

2) L-氨基酸:除甘氨酸没有旋光异构外。

3) 氨基酸的结构通式: $\text{RCH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ 。

3. 氨基酸可以根据侧链结构和理化性质进行分类 见表1-1。

表1-1 氨基酸的种类及特点

分类	特点	氨基酸名称
非极性疏水性氨基酸	非极性疏水性侧链,水中溶解度较小	甘、丙、缬、亮、异亮、脯、苯丙
极性中性氨基酸	极性中性侧链,易溶于水	苏、丝、半胱、蛋、天冬酰胺、谷氨酰胺、色、酪
酸性氨基酸	含有两个羧基,生理条件下带负电荷	谷、天冬
碱性氨基酸	含有两个以上氨基,生理条件下带正电荷	赖、精、组

• 侧链带有芳香环的芳香族氨基酸:苯丙氨酸、色氨酸、酪氨酸

• 侧链含有羟基的氨基酸:丝氨酸、苏氨酸。

• 不参与体内蛋白质组成的一些氨基酸:同型半胱氨酸、瓜氨酸、鸟氨酸(参见氨基酸代谢章节)。

• 氨基酸还可以按照其代谢去路分为生糖氨基酸、生酮氨基酸和生糖兼生酮氨基酸(参见氨基酸代谢章节)。

4. 氨基酸的理化性质 见表 1-2。

表 1-2 氨基酸的理化性质

理化性质	描述
两性电离	氨基酸两端的 α -氨基和 α -羧基在溶液中会发生电离 溶液 $\text{pH} < \text{pI}$, 解离成阳离子 溶液 $\text{pH} > \text{pI}$, 解离成阴离子 溶液 $\text{pH} = \text{pI}$, 成为兼性离子, 呈电中性
等电点(pI)	定义: 氨基酸在溶液中解离呈阳离子和阴离子的趋势和程度相等, 成为兼性离子, 呈电中性, 这时溶液的 pH 称为该氨基酸的等电点 计算: $\text{pI} = 1/2(\text{pK}_1 + \text{pK}_2)$
紫外吸收	色氨酸、酪氨酸的最大吸收峰在 280nm 由于多数蛋白质含有色氨酸和酪氨酸残基, 所以测定蛋白质溶液 280nm 的光吸收值可以分析溶液中蛋白质含量
茚三酮反应	氨基酸与茚三酮共加热, 最终可形成蓝紫色的化合物, 其最大吸收峰在 570nm 处, 可进行氨基酸定量分析

5. 蛋白质是由许多氨基酸残基组成的多肽链

(1) 氨基酸通过肽键连接而形成肽

1) 肽键: 一个氨基酸的羧基与另一氨基酸的氨基缩合脱掉一分子水形成的酰胺键。

2) 寡肽: 指 10 个以内的氨基酸相连形成的肽链。

3) 多肽: 指大于 10 个氨基酸相连形成的肽链, 通常在 50 个氨基酸以下。

4) 多肽链: 具有方向性, 从氨基末端(或称 N -端)到羧基末端(C -端)书写。

(2) 体内存在多种重要的生物活性肽

1) 谷胱甘肽: 由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸组成的三肽, 其主要作用是作为体内重要的还原剂, 保护体内蛋白质或酶分子中的巯基免遭氧化。

2) 多肽类激素: 如促甲状腺素释放激素、催产素、加压素等, 主要是参与细胞间的信息传递。

3) 神经肽: 如脑啡肽、内啡肽、吗啡肽等, 主要是参与神经传导过程中的信号转导。

6. 蛋白质的分类 见表 1-3。

表 1-3 蛋白质的分类

分类依据	分类	特点
按组成分类	单纯蛋白	只含有氨基酸组分
	结合蛋白	除含有氨基酸组分外, 还含有其他组分。结合蛋白中的非蛋白部分被称为辅基, 其通过共价键的方式与蛋白质部分相连

续表

分类依据	分类	特点
按形状分类	纤维蛋白	多数为结构蛋白质, 较难溶于水, 如胶原蛋白
	球状蛋白	多数为具有生理活性的蛋白质, 多数可溶于水, 如酶

(二) 蛋白质的分子结构

蛋白质分子结构分成一级、二级、三级和四级结构, 后三者称高级结构。并非所有蛋白质都有四级结构, 由一条肽链组成的蛋白质只有一、二、三级结构, 由二条或二条以上的多肽链组成的蛋白质才有四级结构。

1. 蛋白质的一级结构——由氨基酸的排列顺序决定

(1) 定义: 氨基酸在多肽链中的排列顺序及其共价连接称为蛋白质的一级结构。

(2) 维持键: 主要为肽键, 有些含有二硫键。

(3) 意义: 一级结构是蛋白质空间构象和特异生物学功能的基础, 但并不是决定空间构象的唯一因素。

2. 蛋白质的二级结构——多肽链的局部主链构象

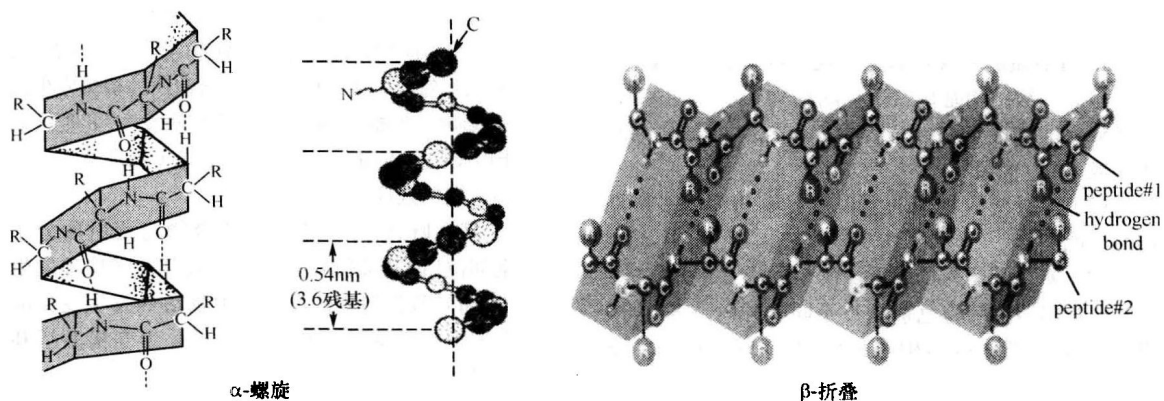
(1) 定义: 指蛋白质分子中某一段肽链的局部空间结构, 也就是该段肽链主链骨架原子的相对空间位置, 并不涉及氨基酸残基侧链的构象。

(2) 维持键: 氢键

(3) 常见形式: α -螺旋、 β -折叠、 β -转角和无规卷曲, 见表 1-4。

表 1-4 蛋白质二级结构常见形式的特点

形式	特点
α -螺旋	右手螺旋, 3.6 个氨基酸残基/圈, 螺距 0.54nm, 如图 1-1; 链内氢键方向与螺旋长轴基本平行; 氨基酸侧链伸向螺旋外侧
β -折叠	多肽链充分伸展, 肽平面折叠呈锯齿状, 如图 1-1; 氨基酸侧链交错位于锯齿状结构的上下方, 有顺平行片层和反平行片层; 链内氢键方向与长轴基本垂直
β -转角	通常由 4 个氨基酸残基组成, 一般在第一个和第四个残基之间形成氢键
无规卷曲	没有确定规律性的那部分肽链结构

图 1-1 α -螺旋、 β -折叠示意图

(4) 模体:指具有特殊功能的超二级结构,是由多肽链中相邻的几个二级结构在空间上相互接近形成的有规律的二级结构聚集体,常见有三种形式: $\alpha\alpha$ 、 $\beta\alpha\beta$ 、 $\beta\beta$ 。它是蛋白质发挥特定功能的基础。

3. 蛋白质的三级结构——多肽链在二级结构基础上进一步折叠形成

(1) 定义:指整条肽链中所有原子的整体排布,包括主链和侧链,即是全部氨基酸残基的相对空间位置。

(2) 维持键:疏水键、氢键、盐键、范德华力、二硫键。

(3) 特点

1) 序列中相隔较远的氨基酸残基侧链相互靠近,使长度缩短,形成球形、杆状等。

2) 多数三级结构同时含有 α -螺旋和 β -折叠。

3) 氨基酸残基侧链的极性决定其在三级结构中的位置,疏水基团在内,亲水基团在外。

4) 功能相关的基团在三级结构中相互靠近,组成特定的表面功能区。

(4) 结构域

1) 定义:指一些较大的蛋白质分子,其三级结构中具有两个或多个在空间上可明显区别的局部区域。

2) 特点:结构域与分子整体以共价键相连;具有相对独立的空间构象和生物学功能;同一蛋白质中的结构域可以相同或不同,不同蛋白质中的结构域也可以相同或不同。

• 分子伴侣:是参与肽链折叠、蛋白质高级空间构象形成的一类特殊蛋白质,参见“蛋白质生物合成”章节。

4. 蛋白质的四级结构——含有两条以上多肽链的蛋白质

(1) 定义:指亚基与亚基之间以非共价键相互连接,形成特定的三维空间排布和相互作用。

(2) 维持键:疏水键、盐键、氢键和范德华力。

(3) 亚基:寡聚蛋白中的单条独立的多肽链,具有独立的一、二、三级结构,单独存在时一般无生物活性。

5. 蛋白质分子结构的小结 见表 1-5。

表 1-5 蛋白质分子结构

	一级结构	二级结构	三级结构	四级结构
定义	氨基酸的排列顺序	肽链主链骨架原子的相对空间位置,并不涉及氨基酸残基侧链的构象	整条肽链中所有原子在三维空间的排布位置	各亚基之间的空间排布
形式	肽链	α -螺旋、 β -折叠、 β -转角和无规卷曲	结构域	亚基
维持键	主要为肽键,有些含有二硫键	氢键	疏水键、氢键、盐键、范德华力、二硫键	疏水键、氢键、盐键、范德华力
意义	一级结构是蛋白质空间构象和特异生物学功能的基础,但并不是决定空间构象的唯一因素	由两个或三个具有二级结构的肽段形成的模体,是蛋白质发挥特定功能的基础	相对分子量大的蛋白质分子常分割成一至数个结构域,执行不同的功能	有四级结构的蛋白质,单独亚基无生物学功能

(三) 蛋白质结构与功能的关系

1. 蛋白质的一级结构是高级结构与功能的基础

(1) 一级结构是蛋白质空间结构和功能的基础: 如 RNase 的变性与复性过程中空间构象的破坏与再次形成。

(2) 一级结构相似的蛋白质具有相似的高级结构与功能。

(3) 氨基酸序列提供重要的生物进化信息: 一些重要的蛋白质如细胞色素 C 在不同物种间高度保守, 物种越接近, 则一级结构越相似, 其空间结构和功能也越相似。

(4) 重要蛋白质的一级结构即氨基酸序列改变可引起疾病。分子病: 由于基因结构改变, 引起蛋白质一级结构中的关键氨基酸发生改变, 从而导致蛋白质功能障碍, 出现相应的临床症状, 这类遗传性疾病称为分子病。

(5) 但一级结构并非决定空间构象的唯一因素: 肽链的正确折叠和正确高级构象形成需要分子伴侣等分子参与。

2. 蛋白质的空间结构与其功能的密切关系

(1) 蛋白质的特定空间构象是其发挥生物活性的基础, 也是其功能的直接体现。

空间结构相似的蛋白质, 其功能也相似; 而功能不同的蛋白质, 其空间构象也明显不同。如蛋白质的

空间结构改变, 则其功能也很可能随之改变。

(2) 蛋白质构象改变可引起疾病: 若蛋白质的折叠发生错误, 尽管其一级结构不变, 但蛋白质的构象发生改变, 仍可影响其功能, 严重时可导致疾病发生, 此类疾病称为蛋白质构象疾病。例如: 疯牛病、老年痴呆等。

(3) 别构效应

1) 基本概念: 一些小分子化合物与蛋白质分子的特定部位(调节部位)结合后, 引起其空间构象发生改变, 进而导致蛋白质的功能或生物活性发生变化的现象称为别构效应或变构效应。可分为变构激活和变构抑制。

能引起蛋白质发生别构效应的小分子化合物称为变构效应剂或变构剂。

具有别构效应的蛋白质则称为变构蛋白。

血红蛋白是最早发现的具有变构效应的蛋白质。

2) 实例: 变构效应与 Hb 的运氧功能。

A. 协同效应: 蛋白的一个亚基与其配体结合后, 能影响此蛋白中另一亚基与配体的结合能力, 称为协同效应。如果是促进作用则称为正协同效应; 反之, 则为负协同效应。

如 Hb 一个亚基与 O_2 的结合增加了其他亚基对 O_2 的亲合力。

B. 肌红蛋白(Mb)与血红蛋白(Hb)的结构与功能, 见表 1-6。

表 1-6 Mb 与 Hb 的结构和功能比较

		肌红蛋白(Mb)	血红蛋白(Hb)
结构	相同点	都是含有血红素辅基的蛋白质。血红素是铁卟啉化合物, 由 4 个吡咯环通过 4 个甲炔基相连成为一个环形, Fe^{2+} 居于环中	
	不同点	只由一条具有三级结构的单链蛋白质, 其上有 8 段 α -螺旋。分子内部有一疏水区域, 血红素位于其中	具有 4 个亚基组成的四级结构, 成人 Hb 由两条 α 链和两条 β 链组成; 每一个亚基含有 1 个血红素, 故 1 分子 Hb 可结合 4 分子氧; Hb 各亚基的三级结构与 Mb 极为相似
功能	相同点	Mb 与 Hb 都能可逆地与 O_2 结合	
	不同点	易与 O_2 结合	紧张状态(T 态)Hb 与 O_2 亲合力小, 故氧分压低时 Hb 与 O_2 结合难
		氧解离曲线为直角双曲线	氧解离曲线为 S 状曲线

(四) 蛋白质的理化性质

1. 蛋白质的理化性质 见表 1-7。

表 1-7 蛋白质的理化性质

理化性质	描述
两性电离	蛋白质除两端 α -氨基和 α -羧基在溶液中会发生电离外, 肽链中某些氨基酸残基的侧链基团也可发生解离 溶液 $pH > pI$, 带负电荷 溶液 $pH < pI$, 带正电荷 溶液 $pH = pI$, 为兼性离子, 呈电中性

续表

理化性质	描述
	蛋白质在溶液中解离呈阳离子和阴离子的趋势和程度相等,成为兼性离子,呈电中性,这时溶液的 pH 称为该蛋白质的等电点 人体内大多数蛋白质的 pI 接近于 5.0
胶体性质	不能透过半透膜 稳定因素:颗粒表面电荷、水化膜
紫外吸收	蛋白质含有色氨酸和酪氨酸残基,280nm 波长具有最大光吸收值;呈茚三酮反应、双缩脲反应等
呈色反应	双缩脲反应可用于检测蛋白质的水解程度,因为氨基酸无此反应
变性	定义:指在某些理化因素的作用下,蛋白质特定的空间构象被破坏,从而导致其理化性质、生物活性丧失的现象 特点:空间构象被破坏,不涉及一级结构的改变 生物活性丧失 紫外吸收、化学活性及黏度上升,易被蛋白酶水解;溶解度下降、结晶能力丧失 应用:酒精消毒、高压灭菌、低温保存生物制品、血滤液制备等
复性	指蛋白质变性程度较轻,去除变性因素后,有的蛋白质仍然可以恢复或部分恢复其原有的空间构象和功能
凝固	凝固是蛋白质变性后进一步发展的不可逆的结果,即变性的蛋白质不一定凝固,凝固的蛋白质一定发生了变性
沉淀	定义:指蛋白质表面电荷和水化层被破坏后,蛋白质从溶液中析出现象 变性的蛋白质不一定沉淀,沉淀的蛋白质也不一定变性

2. 蛋白质和氨基酸的理化性质比较 见表 1-8。

表 1-8 蛋白质与氨基酸理化性质的比较

理化性质	蛋白质	氨基酸
两性电离	有	有
胶体性质	有	无
紫外吸收	有	有
茚三酮反应	有	有
双缩脲反应	有	无
变性、复性、沉淀、凝固	有	无

(五) 蛋白质的分离、纯化与结构分析

1. 蛋白质的分离、纯化 见表 1-9。

表 1-9 蛋白质的分离、纯化技术

方法	原理
透析、超滤	利用能通透小分子的半透膜,大分子蛋白质却不能透过,达到分离、浓缩蛋白质的目的
丙酮沉淀	利用有机溶剂破坏蛋白质胶体的水化层,使蛋白质聚集沉淀
盐析	利用中性盐破坏蛋白质胶体的表面电荷和水化层,使蛋白质聚集沉淀

续表

方法	原理
免疫沉淀	利用特异性抗体识别抗原形成抗原-抗体复合物,分离抗原蛋白
电泳	利用蛋白质两性电离的性质,分离蛋白质
凝胶过滤层析	根据蛋白质分子的大小及形状不同,分离纯化蛋白质
亲和层析	根据蛋白质分子与吸附剂亲和能力的不同,分离纯化蛋白质
离子交换层析	利用蛋白质两性电离的性质,根据不同蛋白质的等电点不同,在同一溶液环境中,其电离程度也就不同,达到分离蛋白质的目的
超速离心	利用蛋白质颗粒沉降行为不同,分离蛋白质

2. 蛋白质的一级结构测定 常用的方法:Edman 降解法和重组 DNA 测序法。

3. 蛋白质的空间结构测定 二级结构测定:圆二色光谱;三级结构测定:X 射线衍射法、磁共振。

(六) 蛋白质研究的一些新进展

1. Prion——传染性的蛋白质 Prion (PrP) 的中文译名有“蛋白质感染因子”、“蛋白侵染子”、“朊病毒”、“朊毒体”等,是蛋白质构象类疾病——疯牛病的

传染源。后经证实 Prion 为单一的蛋白质,其致病的生化机制是生物体内正常 α -螺旋形式的 PrP^c 转变成了异常的 β -折叠形式的 PrP^{sc}。该发现挑战了传统的认为任何传染源都含有遗传物质核酸的观点,也拓展了人们对于蛋白质功能的认识。

2. 蛋白质组与蛋白质组学

(1) 蛋白质组:指一种细胞或一种生物体所表达的全部蛋白质,即“一种基因组所表达的全套蛋白质”。

(2) 蛋白质组学:是对不同时间和空间发挥功能的特定蛋白质群体的研究。以阐明生物体全部蛋白质的表达模式及功能模式为研究的主要目的,以鉴定蛋白质表达模式、存在方式、蛋白质结构、功能和蛋白质相互作用方式研究内容。

(3) 研究技术:双向凝胶电泳、质谱鉴定、计算机图像数据处理与蛋白质数据库。

参见“基因组学与蛋白质组学”章节。

中英文专业术语

氨基酸: amino acid	蛋白质: protein
肽: peptide	多肽: polypeptide
多肽链: polypeptide chain	肽键: peptide bond
等电点: isoelectric point	电泳: electrophoresis
一级结构: primary structure	α -螺旋: α -helix
β -折叠: β -pleated sheet	模体: motif
结构域: domain	二级结构: secondary structure
三级结构: tertiary structure	四级结构: quaternary structure
亚基: subunit	蛋白质组: proteome
蛋白质组学: proteomics	分子伴侣: molecular chaperons
变构效应: allosteric effect	变性: denaturation
复性: renaturation	透析: dialysis
盐析: salt precipitation	层析: chromatography

练习题

一、A 型选择题

- 脯氨酸的结构特点是属于:
 - 亚氨基酸
 - 非极性氨基酸
 - 带正电荷氨基酸
 - 带负电荷氨基酸
 - 不带电荷的极性氨基酸
- 能出现在蛋白质分子中,但没有对应遗传密码的氨基酸是:
 - 赖氨酸
 - 苯丙氨酸
 - 羟脯氨酸
 - 精氨酸
 - 谷氨酸
- 当溶液的 pH 小于某氨基酸的 pI 时,该氨基酸在此溶液中的存在形式是:
 - 兼性离子
 - 带正电荷的阳离子

- 带负电荷的阴离子
 - 呈电中性
 - 疏水分子
- 蛋白质多肽链的方向是:
 - C 端→N 端
 - N 端→C 端
 - 3' 端→5' 端
 - 5' 端→3' 端
 - 还原末端→非还原末端
 - 组成肽平面的原子有:
 - 肽键的 C、O 原子及与之相连的 α 碳原子
 - 肽键的 C、O 原子及与之相连的侧链 R 基团
 - 肽键的 N、H 原子及与之相连的 α 碳原子
 - 肽键的 N、H 原子及与之相连的侧链 R 基团
 - 组成肽键的所有原子及与之相连的所有 α 碳原子
 - 蛋白质的一级结构是:
 - 氨基酸的种类
 - 氨基酸的排列顺序
 - 氨基酸的数目
 - 氨基酸的比例
 - 肽键的数目
 - 蛋白质分子 α -螺旋构象的特点是:
 - 多肽链充分伸展,肽平面折叠成锯齿状
 - 右手双螺旋
 - 氨基酸侧链伸向螺旋内侧
 - 氢键平行于长轴
 - 氢键垂直于长轴
 - 蛋白质二级结构的维持键是:
 - 氢键
 - 盐键
 - 范德华力
 - 酰胺键
 - 疏水键
 - 蛋白质分子 β -折叠构象的特点是:
 - 多肽链充分伸展,肽平面折叠成锯齿状
 - 侧链平行于长轴
 - 氨基酸侧链伸向内侧
 - 氢键平行于长轴
 - 靠盐键维持结构的稳定
 - 蛋白质分子中四级结构的特征是:
 - 分子中必定含有辅基
 - 依赖肽键维持四级结构的稳定性
 - 每一条多肽链都具有独立的生物活性
 - 由两条或两条以上的多肽链组成
 - 在三级结构的基础上进一步折叠、盘旋而成
 - 决定蛋白质空间构象的主要因素是:
 - 氨基酸种类
 - 氨基酸序列
 - 氨基酸数目
 - 氨基酸比例
 - 肽键数目
 - 下列分子中,属于分子伴侣的是:
 - DNA 结合蛋白
 - 载脂蛋白

- C. P 物质 D. 热休克蛋白 70
E. 谷胱甘肽
13. 蛋白质变性的描述正确的是:
A. 辅基脱落
B. 一级结构遭到破坏
C. 空间构象遭到破坏
D. 变形的蛋白质一定不能再复性
E. 蛋白质被水解
14. 主要根据所带电量不同分离蛋白质的方法是:
A. 盐析 B. 透析
C. 电泳 D. 离心
E. 超滤
15. 不直接参与维系蛋白质三级结构的化学键是:
A. 氢键 B. 二硫键
C. 肽键 D. 疏水键
E. 盐键
16. 蛋白质变性伴随有结构上的变化是:
A. 肽链的断裂
B. 氨基酸残基的化学修饰
C. 二硫键的打开
D. 氨基酸排列顺序的改变
E. 一些侧链基因的暴露
17. 对稳定蛋白质构象通常不起作用的化学键是:
A. 酯键 B. 氢键
C. 盐键 D. 疏水键
E. 范德华力
18. 常用于测定多肽 N-末端氨基酸的试剂是:
A. 溴化氢 B. 丹磺酰氯
C. 羟胺 D. 过甲酸
E. 尿素
19. 某蛋白质的等电点为 7.5, 在 pH6.0 的条件下进行电泳, 它的泳动方向是:
A. 原点不动 B. 向正极移动
C. 向负极移动 D. 向下移动
E. 无法预测
20. 用凝胶过滤层析柱分离蛋白质时, 下列哪项是正确的:
A. 分子体积最大的蛋白质最先洗脱下来
B. 分子体积最小的蛋白质最先洗脱下来
C. 不带电荷的蛋白质最先洗脱下来
D. 带电荷的蛋白质最先洗脱下来
E. 没有被吸附的蛋白质最先洗脱下来
21. 蛋白质的二级结构中通常不存在的构象是:
A. α -螺旋 B. α -转角
C. β -转角 D. β -折叠
E. 无规卷曲
22. 在下列检测蛋白质的方法中, 那一种取决于完整的肽键:
A. 凯氏定氮法 B. 双缩脲反应
C. 紫外吸收法 D. 茚三酮反应
E. 以上均不对
23. 测定 100g 生物样品中含氮量是 2g, 该样品中蛋白质含量大约为:
A. 1% B. 2%
C. 20% D. 6.25%
E. 12.5%
24. 关于蛋白质分子三级结构的描述错误的是:
A. 天然蛋白质均有这种结构
B. 具有三级结构的多肽链都具有生物活性
C. 三级结构的稳定主要靠次级键维系
D. 亲水基团多聚集在三级结构的表面
E. 决定盘曲折叠的因素是氨基酸残基
25. 关于蛋白质亚基的描述正确的是:
A. 一条多肽链卷曲呈螺旋结构
B. 每个亚基都有各自的三级结构
C. 两条以上多肽链与辅基结合成蛋白质
D. 两条以上多肽链卷曲成二级结构
E. 以上都不正确
26. 已知某混合物存在 A、B 两种分子量相等的蛋白质, A 的 pI 为 6.0, B 的 pI 为 7.4, 用电泳的方法进行分离, 如果电泳液的 pH 为 8.6 则:
A. 蛋白质 A 和蛋白质 B 都向负极移动, A 移动的速度快
B. 蛋白质 A 和蛋白质 B 都向正极移动, A 移动的速度快
C. 蛋白质 A 和蛋白质 B 都向正极移动, B 移动的速度快
D. 蛋白质 A 向负极移动, B 向正极移动
E. 蛋白质 A 向正极移动, B 向负极移动
27. 当蛋白质带正电荷时, 其溶液的 pH 为:
A. 大于 7.4 B. 小于 7.4
C. 等于等电点 D. 大于等电点
E. 小于等电点
28. 有关蛋白质特性的描述, 错误的是:
A. 溶液的 pH 调节到蛋白质的等电点时, 蛋白质容易沉降
B. 盐析法分离蛋白质原理是中和蛋白质表面电荷, 蛋白质沉淀
C. 蛋白质变性后, 由于疏水基团暴露, 水化膜被破坏, 一定发生沉淀
D. 蛋白质不能通过半透膜, 所以可用透析方法将小分子杂质除去
E. 在同一 pH 溶液, 由于各种蛋白质 pI 不同, 故可用电泳将其分离纯化

29. 能使蛋白质沉淀的试剂是:
A. 浓硫酸 B. 硫酸铵溶液
C. 浓氢氧化钠溶液 D. 生理盐水
E. 浓盐酸
30. 盐析法沉淀蛋白质的原理是:
A. 盐与蛋白质结合成不溶性盐蛋白
B. 降低蛋白质溶液的介电常数
C. 调节蛋白质溶液的等电点
D. 改变蛋白质分子大小
E. 中和电荷,破坏水化膜
31. 下列哪种因素处理蛋白质后仍然可以保持蛋白质的天然活性:
A. 高温有机溶剂 B. 重金属盐
C. 加热振荡 D. 强酸强碱
E. 亲和层析
32. 关于血红蛋白和肌红蛋白的叙述,错误的是:
A. 都是结合蛋白
B. 都可以和氧结合
C. 都具有四级结构
D. 辅基含有铁离子
E. 都属于色素蛋白类
33. 下列关于蛋白质沉淀、变性和凝固关系的叙述正确的是:
A. 凝固的蛋白质一定已变性
B. 去除变性条件后,变性蛋白质一定能恢复天然活性
C. 变性的蛋白质一定会沉淀
D. 沉淀的蛋白质一定是变性蛋白
E. 变性蛋白一定要凝固

二、B型选择题

- 属于酸性氨基酸的是:
- 含硫氨基酸是:
- 不是 L- α -氨基酸的是:
- 碱性氨基酸是:
A. 甘氨酸 B. 蛋氨酸
C. 谷氨酸 D. 赖氨酸
E. 天冬酰胺
- 维持蛋白质一级结构的主要化学键是:
- 维持蛋白质 β -折叠构象的主要作用力是:
- 维持球状蛋白三级结构稳定的主要作用力是:
A. 肽键 B. 氢键
C. 酯键 D. 二硫键
E. 疏水键
- 蛋白质既不变性也不沉淀是加入了:
- 蛋白质沉淀但不变性是加入了:
- 蛋白质变性但不沉淀是加入了:

- 蛋白质凝固是:
A. 0.9% NaCl
B. 常温乙醇
C. 一定量稀酸
D. 加入强酸再将溶液调到蛋白质等电点再加热煮沸
E. 高浓度硫酸铵
- 蛋白质一级结构的形成是:
- 蛋白质一级结构的破坏是:
- 蛋白质二、三级结构的破坏是:
- 蛋白质四级结构的破坏是:
- 蛋白质四级结构形成时出现:
A. 亚基聚合 B. 亚基解聚
C. 蛋白质变性 D. 蛋白质水解
E. 肽键形成

三、名词解释

- 结构域
- 模体
- 等电点
- 分子伴侣
- 变构效应
- 蛋白质变性
- 蛋白质组学

四、问答题

- 什么是蛋白质的二级结构?它主要有哪几种?各有何特征?
- 试述蛋白质三级结构及其特点。
- 结合实例试述蛋白质一级结构、高级结构及蛋白质功能三者之间的辩证关系。
- 常用的蛋白质分离纯化的方法有几种?各自的作用原理是什么?

参 考 答 案

一、A型选择题

1. A 2. C 3. B 4. B 5. E 6. B 7. D 8. A 9. A
10. D 11. B 12. D 13. C 14. C 15. C 16. C
17. A 18. B 19. C 20. A 21. B 22. B 23. E
24. B 25. B 26. B 27. E 28. C 29. B 30. E
31. E 32. C 33. A

二、B型选择题

1. C 2. B 3. A 4. D 5. A 6. B 7. E 8. A 9. E
10. C 11. D 12. E 13. D 14. C 15. B 16. A

三、名词解释

- 结构域:指一些较大的蛋白质分子,其三级结构中具有两个或多个在空间上可明显区别的局部区域。其特点:结构域与分子整体以共价键相连;具有相对独立的空间构象和生物学功能;同一蛋白质中的结构域可以相同或不同,不同蛋白质中的结构域也

可以相同或不同。

2. 模体:指具有特殊功能的超二级结构,是由多肽链中相邻的几个二级结构在空间上相互接近形成的有规律的二级结构聚集体,有三种形式: $\alpha\alpha$ 、 $\beta\alpha\beta$ 、 $\beta\beta$ 。它是蛋白质发挥特定功能的基础
3. 等电点:指氨基酸或蛋白质在溶液中解离呈阳离子和阴离子的趋势和程度相等,成为兼性离子,呈电中性,这时溶液的 pH 称为该氨基酸或蛋白质的等电点
4. 分子伴侣:是一类帮助新生多肽链正确折叠的蛋白质,通过提供一个保护环境从而加速蛋白质折叠成天然构象或形成四级结构。包括:热休克蛋白 70、伴侣蛋白和核质蛋白。
5. 别构效应:蛋白质分子的特定部位(调节部位)与小分子化合物结合后,引起空间构象发生改变,从而促使生物活性变化的现象称为别构效应。引起空间构象发生改变的小分子化合物称为变构剂。该空间构象发生改变的蛋白质称为变构蛋白。
6. 蛋白质变性:指在某些理化因素的作用下,蛋白质特定的空间结构被破坏,从而导致其理化性质、生物活性丧失的现象。蛋白质变性的本质是空间结构被破坏,不涉及一级结构的改变。
7. 蛋白质组学:是对不同时间和空间发挥功能的特定蛋白质群体的研究。以阐明生物体全部蛋白质的表达模式及功能模式为研究的主要目的,以鉴定蛋白质表达模式、存在方式、蛋白质结构、功能和蛋白质相互作用方式研究内容。

四、问答题

1. 蛋白质的二级结构:指蛋白质分子中某一段肽链的局部空间结构,也就是该段肽链主链骨架原子的相对空间位置,并不涉及氨基酸残基侧链的构象。其维持结构稳定的作用力是氢键。蛋白质二级结构的常见形式有: α -螺旋、 β -折叠、 β -转角和无规卷曲。其各自特点见参见表 1-4。
2. 蛋白质三级结构是指整条肽链中所有原子的整体排布,包括主链和侧链,即是全部氨基酸残基的相对空间位置。其特点是:①序列中相隔较远的氨基酸残基侧链相互靠近,使长度缩短,形成球形、杆状等;②多数三级结构同时含有 α -螺旋和 β -折叠;③氨基酸残基侧链的极性决定其在三级结构中的

位置,疏水基团在内,亲水基团在外;④维持键:疏水键、氢键、盐键、范德华力、二硫键;功能相关的基团在三级结构中相互靠近,组成特定的表面功能区。

3. 常用分离纯化蛋白质的方法主要有透析、超滤、丙酮沉淀、盐析、电泳、凝胶过滤层析、亲和层析、离子交换层析和超速离心等,其原理参见表 1-9。
4. (1) 蛋白质的一级结构与其高级结构和功能密切相关。①一级结构是蛋白质空间结构和功能的基础。例如 RNase 的变性与复性过程中空间构象的破坏与再次形成:利用尿素和 β -巯基乙醇处理核糖核酸酶溶液,分别破坏次级键和二硫键,使其二、三结构被破坏,此时酶的活性丧失,但肽键不受影响,一级结构没有破坏;利用透析去除溶液中的尿素和 β -巯基乙醇,多肽链又会遵循其特定规律卷曲折叠成天然构象,酶又恢复原来的活性。这证明只要蛋白质一级结构不变,空间结构被破坏的蛋白质也有可能恢复其空间构象和功能。②一级结构相似的蛋白质具有相似的高级结构与功能。一些重要的蛋白质如细胞色素 C 在不同物种间高度保守,物种越接近,则一级结构越相似,其空间结构和功能也越相似。③重要蛋白质的一级结构即氨基酸序列改变可引起疾病。例如典型的分子病镰刀状红细胞贫血就是由于多肽链上的一个氨基酸残基的改变造成的。④但一级结构并非决定空间结构的唯一因素,因为肽链的正确折叠和正确高级构象形成需要分子伴侣等分子参与。(2) 蛋白质的空间结构与其功能的密切关系。①蛋白质的特定空间构象是其发挥生物活性的基础,也是其功能的直接体现。空间结构相似的蛋白质,其功能也相似;而功能不同的蛋白质,其空间构象也明显不同。如蛋白质的空间结构改变,则其功能也很可能随之改变。②蛋白质构象改变可引起疾病,若蛋白质的折叠发生错误,尽管其一级结构不变,但蛋白质的构象发生改变,仍可影响其功能,严重时可导致疾病发生,此类疾病称为蛋白质构象疾病。例如:疯牛病、老年痴呆等。

(蒋雪)

第2章 核酸的结构与功能

学习要求

掌握核苷酸的结构、命名及英文缩写表示符号。了解碱基和戊糖的结构。掌握 DNA 和 RNA 的分子组成。掌握核酸中核苷酸的连接方式及化学键。掌握核酸一级结构的定义及表示方法。

掌握 DNA 双螺旋结构模型的要点。熟悉 DNA 的高级结构、核小体的结构特点。了解 DNA 结构的多样性。掌握 DNA 的生物学功能。掌握真核生物 mRNA、tRNA 及 rRNA 的结构特点和功能。熟悉原核生物和真核生物的核糖体的组成。了解小分子 RNA 的生物学功能。

掌握核酸的紫外吸收特性,掌握 DNA 变性与复性的概念与特点,熟悉解链曲线和 T_m 值的概念。了解核酸酶的分类与功能。

讲义要点

(一) 核酸的化学组成及一级结构

1. 核酸的组成及分类 核酸是以核苷酸为基本组成单位或基本构造单元的生物大分子。

天然存在的核酸包括两类:一类为脱氧核糖核酸即 DNA,另一类为核糖核酸即 RNA。二者在组成、分布和功能等方面的比较见表 2-1。

核苷酸是由碱基、戊糖和磷酸 3 种成分连接而成。核苷酸是核酸的基本构造单元,一些核苷酸及其衍生物在体内也具有重要的生物学作用(详见“核苷酸代谢”章节)。

核苷则仅有碱基和戊糖两部分组成。

2. 核酸的一级结构——即核苷酸的组成及排列

顺序 核酸的一级结构是构成核酸的核苷酸或脱氧核糖核酸的排列顺序及连接方式。由于核苷酸之间的差异在碱基的不同,因此核酸的一级结构也就是它的碱基序列。

一级结构的书写方法:从 5'末端到 3'末端,直接书写其碱基序列。

(1) DNA 是脱氧核苷酸通过 3',5'-磷酸二酯键连接形成的大分子

1) DNA 的基本结构:多聚脱氧核糖核苷酸链。

2) 脱氧核糖核苷酸之间的连接键:3',5'-磷酸二酯键。

3) 多聚脱氧核糖核苷酸链的方向:5'端→3'端。

(2) RNA 也是具有 3',5'-磷酸二酯键的线性大分子

1) RNA 的基本结构:多聚核糖核苷酸链。

2) 核糖核苷酸之间的连接键:3',5'-磷酸二酯键。

3) 多聚核糖核苷酸链的方向:5'端→3'端。

(二) DNA 的空间结构与功能

1. DNA 的二级结构——双螺旋结构

(1) 碱基组成的 Chargaff 规则

1) $[A] = [T]$, $[G] = [C]$; $[A] + [G] = [T] + [C]$;

2) 有种属特异性,无组织、器官特异性;

3) 不受年龄、营养、性别及其他环境等影响。

这一规则暗示了 DNA 的碱基 A 与 T、G 与 C 是以某种相互配对的方式存在的。

(2) DNA 双螺旋结构模型的要点(Watson 和 Crick 结构模型)

表 2-1 DNA 与 RNA 的分子特点比较

	DNA	RNA
结构单元	脱氧核苷酸(dAMP、dGMP、dCMP、dTMP)	核苷酸(AMP、GMP、CMP、UMP)
戊糖	脱氧核糖(β -D-2-脱氧核糖)	核糖(β -D-核糖)
碱基	A、G、C、T	A、G、C、U
链形式	多为双链	多为单链
链长度	分子量一般较大,数千乃至上亿 bp	分子量一般较小,几十或几千 nt
分布	细胞核、线粒体	细胞质、细胞核、线粒体
功能	携带遗传信息,决定细胞和个体基因型	参与细胞内 DNA 遗传信息的表达等