

SHENGWU

通向金牌之路

(第二版)

全国中学生生物学 竞赛理论教程

全国中学生生物学联赛(浙江赛区)竞赛委员会 编

通向金牌之路

全国中学生生物学竞赛 理论教程

(第二版)

全国中学生生物学联赛(浙江赛区)竞赛委员会 编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

全国中学生生物学竞赛理论教程 / 全国中学生生物学联赛(浙江赛区)竞赛委员会编. —杭州: 浙江大学出版社, 2010. 1 (2016. 5 重印)
ISBN 978-7-308-07343-1

I. ①全… II. ①全… III. ①生物课—中学—教学参考资料 IV. ①G634.913

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 015115 号

全国中学生生物学竞赛理论教程(第二版)

全国中学生生物学联赛(浙江赛区)竞赛委员会 编

责任编辑 沈国明

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 浙江时代出版服务有限公司

印 刷 富阳市育才印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 37

字 数 1230 千

版 印 次 2012 年 1 月第 2 版 2016 年 5 月第 4 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-07343-1

定 价 60.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版浙江大学出版社发行中心联系方式: (0571)88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

目 录

第一章 分子与细胞	1
第 1 讲 细胞的分子组成	1
第 2 讲 细胞的结构	29
第 3 讲 细胞的代谢	63
第 4 讲 细胞的增殖、分化、衰老、凋亡和癌变	85
第二章 遗传与进化	108
第 1 讲 遗传的物质基础	108
第 2 讲 遗传的基本定律	124
第 3 讲 生物的变异、人类遗传病	146
第 4 讲 生物的进化	161
第三章 稳态与环境	185
第 1 讲 植物的代谢	185
第 2 讲 植物的生长物质及生长生理	208
第 3 讲 植物的生殖生理和抗逆生理	219
第 4 讲 动物的消化、呼吸、循环、排泄系统	232
第 5 讲 动物的神经调节和体液调节	259
第 6 讲 免疫	287
第 7 讲 生殖和发育	303
第 8 讲 运动	315
第 9 讲 生物与环境	328
第 10 讲 种群与群落	345
第 11 讲 生态系统	360
第 12 讲 动物行为	376
第四章 生物技术实践	394
第 1 讲 微生物的利用及酶的应用	394
第 2 讲 生物技术在食品加工及其他方面的应用	407
第五章 现代生物科技专题	413
第 1 讲 基因工程及克隆技术	413
第 2 讲 胚胎工程、生物技术的安全性和伦理问题、生态工程	431

第六章 动植物学	446
第1讲 植物的组织和组织系统	446
第2讲 植物的营养器官	455
第3讲 植物的生殖器官	488
第4讲 低等植物分类	507
第5讲 高等植物分类	519
第6讲 无脊椎动物	527
第7讲 脊椎动物	556

第一章 分子与细胞

第 1 讲 细胞的分子组成

(萧山中学 董柯锋)

【知识梳理】

除了病毒之外,一切生物体均是由细胞组成的。细胞是生物体结构和功能的基本单位。各种细胞虽然形态各异,功能不同,但它们的化学组成却基本相似,主要由元素和各种化合物组成,后者主要包括:水、无机盐、糖类、脂质、蛋白质、核酸等。

一、元素

细胞中各种分子大约由 50 多种元素组成,常见的元素约有 20 多种。其中,C、H、O、N、P、S、Ca 的含量约占细胞总重的 99% 以上,而 C、H、O、N 四种元素是构成细胞的主要元素,约占细胞总重的 96%。不同生物体内化学元素种类大致相同,但不同元素的含量相差很大。

细胞均含有的元素称为必需元素,其他称为非必需元素。常见的必需元素包括 C、H、O、N、P、S、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo、Cl 等。在必需元素中,含量占生物体总重量万分之一以上的元素称为大量元素,如 C、H、O、N、P、S、K、Ca、Mg;含量占生物体总重量万分之一以下的元素称为微量元素,如 Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo、Cl 等。其中,Fe 元素尽管是微量元素,但其含量明显高于其他微量元素,故又称为半微量元素。微量元素在生物体内含量虽然很少,但是为生物体生命活动所必需。

除了 C、H、O 之外,植物可以通过根系从土壤中获得元素称为矿质元素。矿质元素又称为灰分元素。

在这些元素中,C 元素由于具有特殊的结构特点,而成为所有生命系统中的核心元素。碳原子共有 6 个电子,在电子排布的第一层有 2 个电子,第二层(即最外层)有 4 个电子,要使最外层达到 8 个电子的稳定结构,必须要获得 4 个电子。因此,碳原子既会与别的原子,如 H、O、N、P、S 等共用电子对,形成共价键,也会在碳原子之间相互共用电子,形成 C—C 键。由于碳原子之间可相互连接,故以碳原子为骨架既可形成长链结构,也可以形成环状结构,从而生成各种大分子。可以说,地球上的生命就是在碳元素的基础上建立起来的。

矿质元素能调节机体的生命活动。如 B 元素能影响花粉粒的形成、促进花粉的萌发和花粉管的伸长,如果植物缺 B 元素,则会影响植物的受精作用,出现“花而不实”的现象。I 元素是甲状腺激素的组成元素,如果缺乏,则可能造成地方性甲状腺肿大(俗称:大脖子病)。

由于元素存在着同位素,因此在生物学研究领域内,常用同位素示踪的技术来研究某个生理生化过程或物质的转移途径,该元素中被标记的原子称为示踪原子。常见的同位素,如氢具有氕(^1H)、氘(^2H)、氚(^3H)三种同位素,常用 ^3H 标记亮氨酸追踪分泌蛋白的转移过程;用 ^{14}C 来标记二氧化碳,追踪光合作用过程中碳元素在植物体内的运行和变化;用 ^{32}P 和 ^{35}S 分别标记 DNA 和蛋白质,研究噬菌体侵染细菌过程中物质的传承;用 ^{15}N 标记 DNA,研究 DNA 的复制方式;用 ^{18}O 分别标记水分子和二氧化碳分子,了解光反应中氧气的来源等等。

二、化合物

不同生物的细胞中,其分子组成大体是相同的。粗略估计,在一个典型细胞中约有 1000 多种不同的分子,除了水和无机盐之外,其他均为有机分子,即碳的化合物。表 1-1-1 列出了细菌细胞大致的化学组成。细胞的性质取决于组成细胞的各种不同分子(包括有机小分子和有机大分子),它们是生物体完成生长、发育、繁殖等生命活动的基础。

表 1-1-1 细菌细胞大致的化学组成

	总细胞质量的百分比(%)	每类分子的总数
水	70	1
无机离子	1	20
糖及其前体	1	250
氨基酸及其前体	0.4	100
核苷酸及其前体	0.4	100
脂肪酸及其前体	1	50
其他小分子	0.2	约 300
大分子(蛋白质、核酸、多糖)	26	约 3000

(一)水

地球上最早的生命是在原始海洋中孕育的,所以生命从一开始就离不开水。生物体中水的含量一般为 60%~90%,特殊情况下可能超过 90%,如水母的含水量就可达 97%。水是生命的介质,没有水就没有生命。

不同生物体或同一个生物体的不同器官中,细胞原生质中水的含量也有所不同。通常来说,水生生物的含水量要高于陆生生物;同一生物体中,代谢旺盛的器官含水量要高于一般器官;女性含水量要高于男性;婴幼儿含水量要高于成年人。

水在生物体和细胞中有两种存在状态:自由水与结合水。结合水又称束缚水,是吸附和结合在有机固体物质上的水,主要依靠氢键和蛋白质的极性基团相结合形成水胶体,这部分水不蒸发、不流动、不能析离,也不参与代谢,它是细胞和生物体重要的结构组成部分。自由水是指填充在有机固体微粒之间的水,可蒸发、可流动、加压力可析离,能参与代谢。水是极性分子,凡是有极性的分子或离子都易溶于其中。故自由水最主要的作用是作为良好的溶剂存在。生命系统中很多分子都是电解质或极性分子,如糖类分子,它们都能溶于水,水也成为生命系统中各化学反应的理想介质。除此之外,自由水还可促进营养物质和代谢废物的运输。由于自由水和结合水的特点,在生物学上,常用自由水与结合水的比值来衡量细胞代谢和生理功能。当自由水比例增加时,代谢活跃,生长迅速,但同时细胞和生物体对外界环境的抗逆性降低;而当结合水比例增加时,代谢强度虽然降低,但细胞和生物体的抗寒、抗旱、抗热性会提高。在不同的条件下,细胞中自由水和结合水可以相互转化,如温度升高,则部分结合水可以转变为自由水。

水分子有极性,并且由于正、负电荷的相互吸引,水分子之间会形成氢键。一个水分子可以通过氢键与另外 4 个水分子缔合在一起。这种氢键很脆弱,可以快速地断开和形成,造成大量水分子总是以不稳定的氢键缔合成一片,水的这一特性使水有了较强的内聚力、表面张力和附着力。由于内聚力,水可以在蒸腾拉力的推动下,在根、茎、叶的导管中形成不间断的水柱,从而将水从植物根部一直拉到叶片表面。由于表面张力,一些小型昆虫,如水黽等能在水面行走,而且水的纯度越高,表面张力越强。由于附着力,水可以附着在一些亲水性的物质上,如蛋白质、淀粉、纤维素等,这使得不同质地的种子在萌发早期均能获得较多水分。

(二)无机盐

无机盐在生物体内含量不高,约占 1%~1.5%,一般都是以离子状态存在的。但它们对于维持生物体的生命活动有着重要的作用。无机盐在细胞和生物体中的主要作用有:

- 1. 参与构成细胞或生物体的某些复杂化合物。如 PO_4^{3-} 是组成磷脂、核苷酸等的原料; Fe^{2+} 是组成细

胞色素、血红蛋白的原料; Mg^{2+} 是组成叶绿素的原料。

2. 调节细胞渗透压和 pH 值。细胞内无机盐的含量是维持原生质渗透压的重要因素。如 Na^+ 维持细胞外液的渗透压; K^+ 维持细胞内液的渗透压;以 $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$ 和 $\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 为主组成的缓冲体系,可以调节血浆的 pH 值。

3. 参与调节生物体代谢活动。许多无机离子是酶、激素或维生素的主要成分,或是酶的激活剂和抑制剂。如已知 70 多种酶的活动与锌有关, Mg^{2+} 是许多酶的激活剂, Ca^{2+} 作为凝血因子之一,可以促进血液中凝血酶原转变为凝血酶。

(三) 糖类

糖类是细胞中很重要的一大类有机化合物。糖分子含 C、H、O 三种元素,大多数糖中三者比例一般为 $1:2:1$,故糖分子又称碳水化合物,其通式为 $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$,如葡萄糖为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$;但也有例外,如鼠李糖为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$,脱氧核糖为 $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$,它们不符合上述比例,故现在已很少使用碳水化合物这一称呼。

糖是生命活动所需的主要能源物质,又是重要的中间代谢物,有些糖还是构成生物大分子,如核酸和蛋白质的成分,因而具有重要意义。糖类化合物按其组成成分可分为单糖、寡糖和多糖。如果糖类化合物中尚含有非糖物质部分,则称为糖复合物,如糖蛋白、蛋白多糖、糖脂和脂多糖等。

1. 单糖

单糖是最简单的糖,不能水解为更小的单位,是糖类的结构单元。单糖的分子式通常为: $(\text{CH}_2\text{O})_n$ 。含有 3、4、5、6 或 7 个碳原子,分别称为丙糖、丁糖、戊糖、己糖和庚糖。各种单糖可以有两种存在形式,即 D 型和 L 型,它们互为镜像,称为光学异构体。天然存在的单糖一般都是 D 型。单糖分子既可以开链形式存在,也可以闭环形式存在,如图 1-1-1。在环式结构中,如果第一位碳原子上的 $-\text{OH}$ 与第二位碳原子上的 $-\text{OH}$ 在环的同一面,称为 α 型;如果两个 $-\text{OH}$ 是在环的两面,则称 β 型。

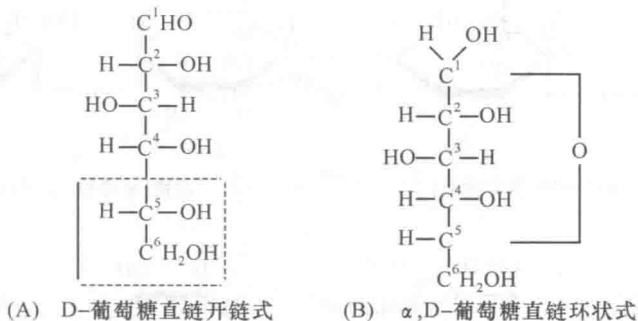


图 1-1-1 葡萄糖链式和环式结构

细胞内相对重要的单糖有以下几种:

(1) 丙糖

如甘油醛(醛糖)和二羟丙酮(酮糖)。它们的磷酸酯是细胞呼吸和光合作用中重要的中间代谢物。

(2) 戊糖

戊糖又称五碳糖。戊糖中最重要的有核糖(醛糖)、脱氧核糖(醛糖)和核酮糖(酮糖);核糖和脱氧核糖是核酸的重要成分,两者结构如图 1-1-2。核酮糖是重要的中间代谢物。

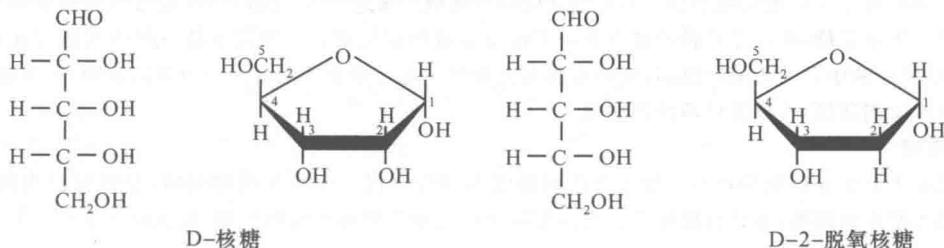


图 1-1-2 核糖和脱氧核糖

(3) 己糖

己糖又称六碳糖,是最常见的单糖。如葡萄糖、果糖、半乳糖等都是六碳糖,其结构如图 1-1-3。所有六碳糖的分子式都是 $C_6H_{12}O_6$,但是结构不同,互为同分异构体。在己糖中,以葡萄糖数量最多,在自然界分布亦广。葡萄糖、果糖均能使斐林试剂或班氏试剂还原,所以属可溶性还原糖。

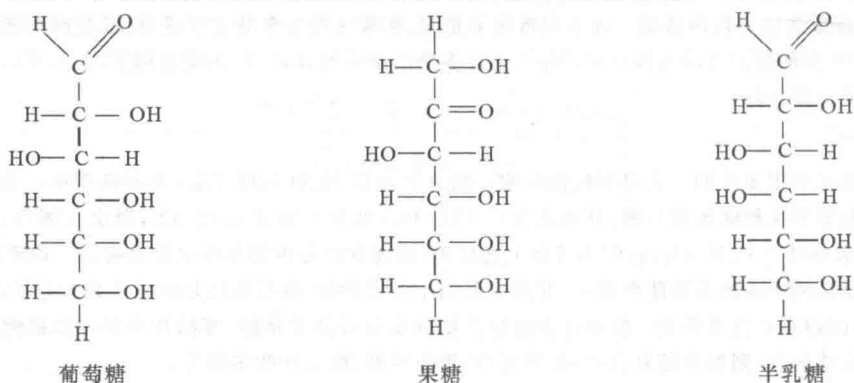


图 1-1-3 三种六碳糖

2. 寡糖

由少数(2~6)几个单糖缩合而成的糖称为寡糖。最多的寡糖是双糖,如麦芽糖、蔗糖、纤维二糖、乳糖等,其结构及组成见图 1-1-4。

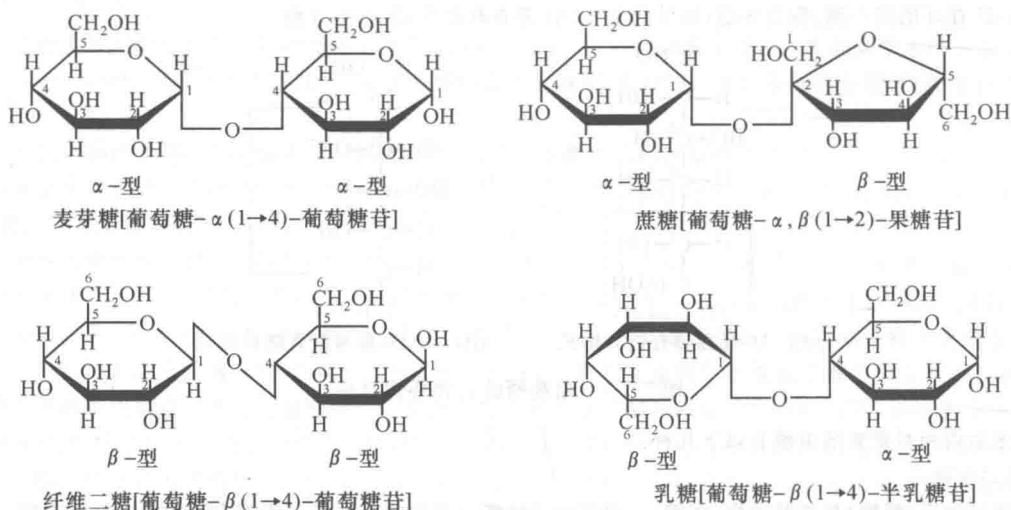


图 1-1-4 几种寡糖

(1) 麦芽糖

麦芽糖由两个 α -D-葡萄糖通过 α -1,4-糖苷键结合而成。麦芽糖是植物双糖,是淀粉的基本单位,淀粉水解后即产生麦芽糖,所以麦芽糖通常只存在于淀粉水解的组织中。一般发芽的谷物中大量存在麦芽糖,如麦芽;动物唾液中含淀粉酶,也能将淀粉水解为麦芽糖。麦芽糖分子内有一个游离的苷羟基,也能使斐林试剂或班氏试剂还原,所以属可溶性还原糖。

(2) 蔗糖

蔗糖由 1 分子 α -D-葡萄糖和 1 分子 β -D-果糖脱水缩合而成。蔗糖是植物双糖,是日常食用的主要糖类。蔗糖无游离的醛基,不具有还原性。富含蔗糖的作物通常被称为糖料作物,我国南方主要是甘蔗(茎),北方主要是甜菜(根)。

(3) 纤维二糖

纤维二糖由两个 β -D-葡萄糖通过 β -1,4-糖苷键结合而成。纤维二糖是植物双糖,是纤维素的基本结构

单位。

(4) 乳糖

乳糖由 1 分子 α -D-葡萄糖与 1 分子 β -D-半乳糖脱水缩合而成。乳糖是动物双糖,主要存在于哺乳动物的乳汁中。乳糖具有还原性。

3. 多糖

自然界数量最大的糖类是多糖。多糖分子是由很多单糖分子脱水缩合而成的分支或不分支的长链分子。常见的多糖有淀粉、糖元、纤维素、几丁质和黏多糖等。

(1) 淀粉

淀粉几乎存在于所有绿色植物的多数组织中。光照下,它在叶中积累;长时间置黑暗下,则降解。一般淀粉由直链淀粉和支链淀粉组成。但有的淀粉(如糯米)全部为支链淀粉;而有的淀粉(如豆类)则全是直链淀粉,直链淀粉见图 1-1-5。

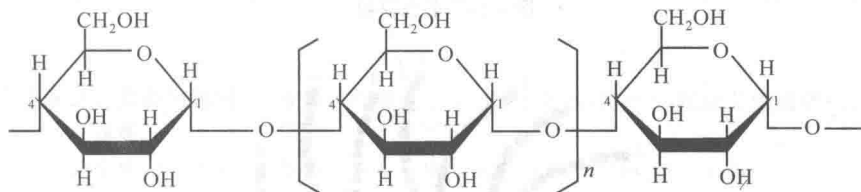


图 1-1-5 直链淀粉

直链淀粉是 α -D-葡萄糖以 α -1,4-糖苷键连接的多糖链,其空间构象卷曲成螺旋形,每一回转为 6 个葡萄糖基,具体结构见图 1-1-6。

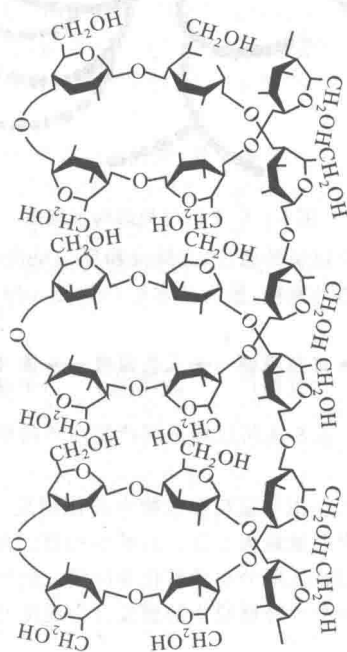


图 1-1-6 直链淀粉的空间构象,示螺旋形分子

支链淀粉分子中除有 α -1,4-糖苷键的糖链外,还有 α -1,6-糖苷键连接的分支,每个分支平均含 20~30 个葡萄糖基,其平面和空间构象分别如图 1-1-7、1-1-8 所示。

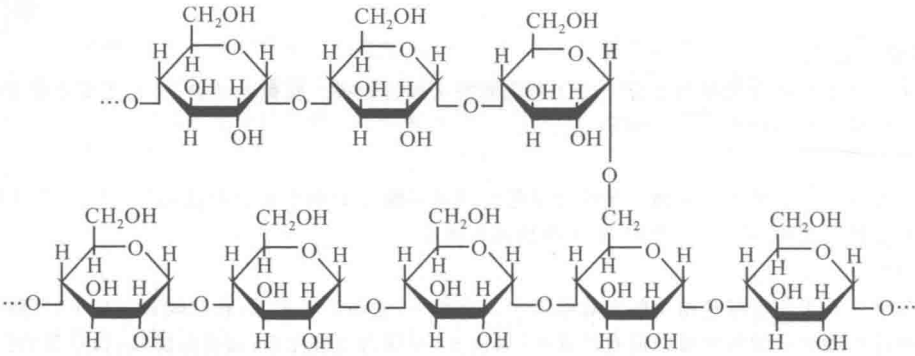


图 1-1-7 支链淀粉

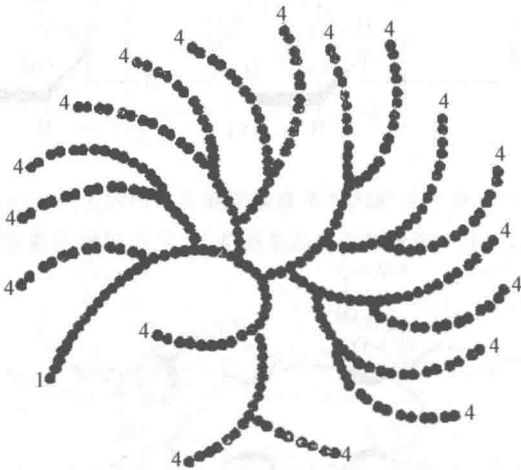


图 1-1-8 支链淀粉结构示意图

淀粉与碘有呈色反应,直链淀粉反应呈紫蓝色,支链淀粉反应呈紫红色。在稀酸或酶作用下,淀粉逐步水解。在水解过程中,最初的水解产物是糊精,最终的水解产物是 α -D-葡萄糖。与碘的呈色反应可以检验淀粉的水解程度,具体见图 1-1-9。

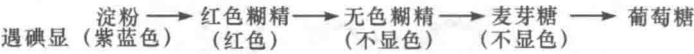


图 1-1-9 淀粉水解过程不同产物与碘的颜色反映

(2)糖元

糖元是动物组织中贮存的多糖,其作用与淀粉在植物中的作用是一样的,故有“动物淀粉”之称。它在动物组织中分布很广,肝脏和骨骼肌中贮量最为丰富。肝脏中的糖元称为肝糖元,它与血液中的葡萄糖(血糖)之间可以相互转化:当血糖含量偏高时,部分血糖转化为肝糖元的形式贮存;当血糖含量偏低时,肝糖元分解形成血糖,从而维持血糖的正常水平。骨骼肌中的糖元称为肌糖元,肌糖元不能直接转化为血糖,但通过肝脏可以间接转化。

糖元的组成与淀粉相似,也是由 α -D-葡萄糖以 α -1,4-糖苷键连接形成主链,以 α -1,6-糖苷键连接形成分支,但糖元的分支比支链淀粉多。糖元遇碘呈色反应显棕红色。

细菌细胞在特殊情况(如碳源提供丰富等)下,也会发生糖元的积累。这部分积累的糖元主要用于供能和供碳。

(3)纤维素

纤维素是地球上最丰富的有机化合物,是植物细胞壁的主要成分。它由 β -D-葡萄糖以 β -1,4-糖苷键连接成多糖直链,没有分支,其结构见图 1-1-10。纤维素不溶于水,也不与碘发生呈色反应。

除反刍动物胃外,一般动物(包括人)胃无纤维素酶,不能消化纤维素。但纤维素可以促进胃肠蠕动,促

进消化和排便,从而减少癌症的发生,故膳食纤维又称为第七营养素。与淀粉一样,纤维素也是逐步水解,最初水解产物是纤维素糊精,最终水解产物是 β -D-葡萄糖。

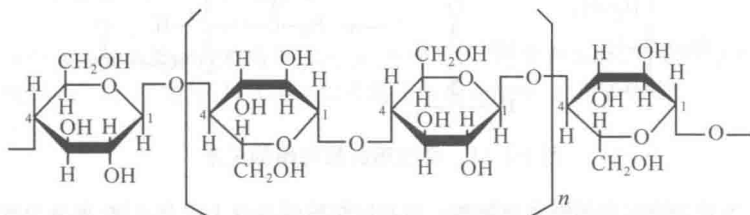


图 1-1-10 纤维素个体链

(4) 几丁质

几丁质又称壳多糖,是氨基葡萄糖的多聚体。它是昆虫和甲壳动物外骨骼的主要成分,也是真菌细胞壁的构成成分。

(5) 其他多糖

琼脂:某些海藻所含的多糖物质,是微生物培养基组分,也是电泳、免疫扩散的支持物之一。食品工业中常用来制造果冻、果酱等。

黏多糖:又称糖胺聚糖,是一种由重复的二糖单位所组成的线状多聚物,包括肝素等。

4. 糖复合物

糖复合物是由糖类的还原端与非糖物质以共价键结合在一起形成的,又称结合糖。它包括糖蛋白和蛋白聚糖、糖脂和脂多糖等。

(1) 糖蛋白和蛋白聚糖

糖类与蛋白质的结合有两种不同类型的苷键,一种是利用肽链中天冬酰胺的氨基与糖基上的半缩醛羟基形成 N-糖苷键;另一种是利用肽链上苏氨酸或丝氨酸(或羟基赖氨酸、羟基脯氨酸)的羟基与糖基上的半缩醛羟基形成 O-糖苷键。按多糖与蛋白质的相对比例,糖与蛋白质的复合物可分为糖蛋白与蛋白聚糖(也称蛋白多糖)两类。

糖蛋白以蛋白质为主,其总体性质更接近于蛋白质,其中糖含量变化很大。人和动物体中结缔组织的胶原蛋白、黏膜组织分泌的黏蛋白,血浆中的转铁蛋白、免疫球蛋白、补体等都是糖蛋白。细胞表面的糖蛋白与细胞定位、胞饮、识别、迁移、信息传递、肿瘤转移等密切相关。

蛋白聚糖是糖一定部位上与若干肽连接而成的肽聚糖。糖含量可超过 95%,总体性质上与多糖更接近。蛋白多糖主要分布在结缔组织的细胞外基质中。

(2) 糖脂与脂多糖

糖脂与脂多糖是脂类与糖(低聚糖)结合的一类复合糖。糖脂分为甘油醇糖脂和 N-脂酰神经鞘氨醇糖脂(糖鞘脂)。甘油醇糖脂由甘油二酯与己糖结合而成,己糖主要是半乳糖、甘露糖等。N-脂酰神经鞘氨醇糖脂可分为中性和酸性两类,分别以脑苷脂和神经节苷脂为代表。脂多糖主要是革兰氏阴性细菌细胞壁所具有的复合多糖,一般由外层专一性低聚糖链、中心多糖链、脂质 3 部分组成。外层专一性低聚糖链的组分随菌株不同而异,是细菌使人致病部分;中心多糖链则多数相似或相同;脂质与中心多糖链相连接。

(四) 脂质

脂质是生物体内一类重要的有机化合物。它们有一个共同的物理性质,即不溶于水,但溶于非极性有机溶剂(如氯仿、乙醚、丙酮等)。脂质的组成元素主要有 C、H、O,但 O 元素含量低,C、H 元素含量高,彻底氧化后可以放出更多能量,所以在生物体内,油脂是最主要的储能物质。此外,有的脂类还含有 N 和 P。生物体内常见的具有重要生理功能的脂质主要有油脂、磷脂、类固醇、萜类、蜡等。

1. 油脂

油脂是人体内和食物中最常见的脂质。又称为甘油三酯、三脂酰甘油或脂肪。在组成上,是由 1 分子甘油和 3 分子脂肪酸结合而成的,结构如图 1-1-11 所示。

在组成油脂的 3 个脂肪酸分子中,R 基可以相同,也可以不同。如果相同,则为单甘油酯;若不相同,则为混合甘油酯。油脂中位于甘油碳链中间那个 C 原子上连接的脂肪酸,若在右侧为 D 型,在左侧则为 L 型,天然的脂肪酸都是 L 型。

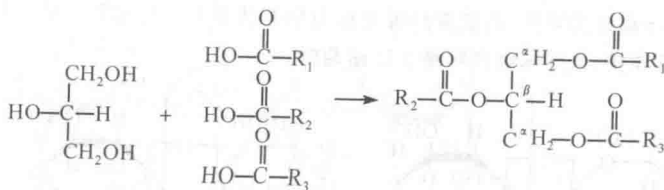


图 1-1-11 甘油脂肪酸与酯的关系

脂肪酸可分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。饱和脂肪酸碳氢链上没有双键,如软脂酸、硬脂酸,其熔点高。不饱和脂肪酸的碳氢链上含有不饱和双键,如油酸含有 1 个双键,亚油酸含有 2 个双键,亚麻酸含有 3 个双键,因此熔点低。动物油脂大多富含饱和脂肪酸,在室温下为固态,俗称“脂”;植物油脂含大量油酸和亚油酸,在室温下为液态,俗称“油”。哺乳动物体内能够合成饱和和单不饱和脂肪酸(如油酸),但不能合成亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等具有 2 个及以上双键的不饱和脂肪酸,故这些脂肪酸只能从外界摄取,称为必需脂肪酸,尤其以亚油酸含量最多。

油脂主要的功能是作为储能物质存在。同时,也能够起到保温的效果,并可润滑和缓冲。鉴定油脂的存在,可以用苏丹Ⅲ或苏丹Ⅳ染液进行显色。前者呈色反应显橙黄色,后者呈色反应显红色。

2. 磷脂

磷脂又称为甘油磷脂。其结构与甘油三酯相似,在甘油三酯分子中,甘油的 3 个羟基均连着脂肪酸,而磷脂中的甘油只有 2 个羟基连着脂肪酸,第三个羟基并不连脂肪酸,而是连着磷酸,即被磷酸酯化。

由于两个脂肪酸分子各含有一条长的碳氢链,具有亲脂性(非极性),而磷酸分子则具有亲水性(极性),故磷脂分子是一端亲脂,另一端亲水的两性分子。通常把亲水的一端称为头部,把亲脂的一端称为尾部。在水溶液中,这种两性分子只有形成双层结构才能稳定存在:即头部朝外,与有水的环境接触;尾部朝内,形成一个亲脂的小环境。在尾部的两个脂肪酸分子中,总有一个是不饱和的,因此两个脂肪酸不是平行并列的,其中一个脂肪酸总是有折弯的。

头部磷酸上的一OH 可以被另外的物质取代,从而形成不同种类的磷脂。如被胆碱取代,则为卵磷脂;被胆胺取代,则为脑磷脂;被丝氨酸取代,则为丝氨酸磷脂。

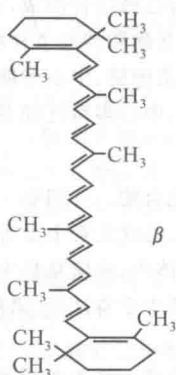
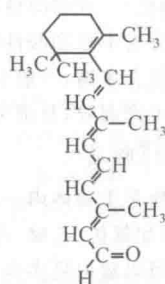
3. 类固醇

类固醇分子的基本结构是环戊烷多氢菲。最熟知的类固醇是在环戊烷多氢菲上连有一个碳氢链的胆固醇,见图 1-1-12。胆固醇是脊椎动物细胞的重要成分,在神经组织和肾上腺中含量特别丰富。动物能吸收利用食物胆固醇,也能自行合成。其生理功能与生物膜的透性、神经髓鞘的绝缘物质以及动物细胞对某种毒素的保护作用有一定关系。

性激素、维生素 D 和肾上腺皮质激素也都属于类固醇。



图 1-1-12 胆固醇结构

图 1-1-13 β -胡萝卜素(左)和视黄醛(右)

4. 萜类

萜类是由不同数目的异戊二烯连接而成的分子。维生素 A(视黄醇)、维生素 E、维生素 K、类胡萝卜素都是萜类。 β -类胡萝卜素裂解就成两个维生素 A,维生素 A 可氧化成视黄醛,对动物感光活动有重要作用,

β -胡萝卜素和视黄醛结构见图 1-1-13。植物中,多数萜类都具有特殊臭味,而且是各类植物特有油类的主要成分。如柠檬苦素、薄荷醇、樟脑分别是柠檬油、薄荷油、樟脑油的主要成分。

5. 蜡

蜡是由高碳脂肪酸和高碳醇或固醇所形成的脂,不溶于水,温度稍高时,它是柔软的固体,温度低时变硬。它存在于皮肤、毛皮、羽毛、树叶、果实表面以及昆虫的外骨骼中,起保护作用。

(五)蛋白质

1. 一般特性

蛋白质是细胞和生物体的重要组成成分,是占细胞干重最多的有机物。丝绸、皮革、毛发、血液的主要成分都是蛋白质。蛋白质分子由 C、H、O、N 4 种元素组成,有些蛋白质还含有 S 元素。其中, N 元素在多种蛋白质中含量比较接近,平均为 16%,这是蛋白质元素组成的一个特点。因此,要测定混合物中蛋白质的含量,只要测定蛋白氮的含量,然后乘 6.25 即可,此为凯氏定氮法。

蛋白质在生物体内可以供能,但一般不是生物体内的能源物质。它们是生命活动的承担者,在体内执行各种功能。生物的结构和性状都与蛋白质有关。蛋白质还参与基因的调节,以及细胞中氧化还原反应、电子传递、神经传递乃至学习和记忆等多种生命活动过程。在细胞和生物体内各种化学反应中起催化作用的酶绝大多数是蛋白质。调节生命活动的重要激素,很多也是蛋白质,如胰岛素、胸腺激素等。在动物免疫中发挥作用的抗体都是蛋白质,部分淋巴因子也是蛋白质。在血液中起运输氧气作用的血红蛋白是蛋白质。细胞膜上的载体,神经传递过程中的受体,均是蛋白质。可以这样说,生物体的一切生命活动都与蛋白质有关。

2. 氨基酸

蛋白质是高分子化合物,具有复杂的化学结构和空间结构。其基本单位是氨基酸。目前已发现的天然氨基酸有 180 多种,但参与组成蛋白质的氨基酸只有 20 种。除脯氨酸外,各种氨基酸在结构上具有一个共同点:与羧基相邻的 α -碳原子上都有一个氨基,因而称为 α -氨基酸(脯氨酸和羟脯氨酸不属于 α -氨基酸)。结构通式,见图 1-1-14。

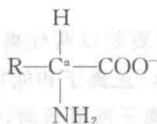


图 1-1-14 氨基酸通式

α -氨基酸的 α -碳原子是一个不对称碳原子或手性中心,因而具有旋光性(甘氨酸的 R 基为 $-\text{H}$,故不存在旋光性)。根据旋光性的不同,有 L-氨基酸(左旋)和 D-氨基酸(右旋)之分,天然蛋白质中存在的氨基酸,除甘氨酸无旋光性之外,其余全部是 L-氨基酸。

(1)分类

根据 R 基团极性不同,氨基酸可分为:非极性氨基酸(9 种)、极性不带电氨基酸(6 种)、极性带负电氨基酸(2 种)和极性带正电氨基酸(3 种)。如表 1-1-2 所列。

表 1-1-2 氨基酸分类

氨基酸分类	氨基酸名称	英文全名	三字符号	单字符号
带负电荷的 酸性氨基酸	谷氨酸	aspartic acid	Asp	D
	天冬氨酸	glutamic acid	Glu	E
带正电荷的 碱性氨基酸	赖氨酸	lysine	Lys	K
	精氨酸	arginine	Arg	R
	组氨酸	histidine	His	H
不带电荷的 极性氨基酸	甘氨酸	glycine	Gly	G
	丝氨酸	serine	Ser	S
	苏氨酸	threonine	Thr	T
	半胱氨酸	cysteine	Cys	C
	谷氨酰胺	glutamine	Gln	Q
	天冬酰胺	asparagine	Asn	N

续表

氨基酸分类	氨基酸名称	英文全名	三字符号	单字符号
不带电荷的 非极性氨基酸	丙氨酸	alanine	Ala	A
	缬氨酸	valine	Val	V
	亮氨酸	leucine	Leu	L
	异亮氨酸	isoleucine	Ile	I
	脯氨酸	proline	Pro	P
	苯丙氨酸	phenylalanine	Phe	F
	色氨酸	tryptophan	Trp	W
	甲硫氨酸	methionine	Met	M

其中,非极性氨基酸由于疏水,使得蛋白质分子中带有这些氨基酸的部分往往折叠到大分子内部而远离水相;在强疏水环境中,又往往暴露在大分子的外面。甘氨酸实际没有侧链,它们往往位于蛋白质分子内部狭窄的角落处,使蛋白质链能够在这里紧密缠绕。在极性氨基酸中,半胱氨酸能形成二硫键(—S—S—),有稳定蛋白质分子构象和使蛋白质分子折叠起来的效果。

根据成年人营养需求,20种氨基酸又可按其能否在体内合成而分为必需氨基酸与非必需氨基酸。必需氨基酸是指成年人体内不能合成而必须由食物提供的一类氨基酸,包括亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、苏氨酸、蛋氨酸、色氨酸、赖氨酸和苯丙氨酸8种。精氨酸和组氨酸在幼儿时期体内合成量满足不了生长需要,需食物补充,称为半必需氨基酸。

(2)一般物理性质

氨基酸是白色晶体,熔点很高,一般在200℃以上。每种氨基酸都有特殊的结晶形状。除胱氨酸和酪氨酸之外,一般都能溶于水。脯氨酸和羟脯氨酸还能溶于乙醇或乙醚中。

(3)两性解离、等电点和滴定

α-氨基酸在中性水溶液或固体状态下主要是以两性离子的形式存在,即 $\text{H}_3\text{N}^+-\text{CRH}-\text{COO}^-$,在同一个氨基酸分子上带有能放出质子的一 H_3N^+ 正离子和能接受质子的 $-\text{COO}^-$ 负离子。因此,氨基酸是两性电解质。当两性氨基酸溶于水时,其正负离子都能解离,但解离度与溶液的pH值有关。向氨基酸溶液加酸时,其两性离子的一 COO^- 负离子接受质子,自身成为正离子 $\text{H}_3\text{N}^+-\text{CRH}-\text{COOH}$,在电场中向负极移动。加入碱时,其两性离子的一 H_3N^+ 正离子解离放出质子与 $-\text{OH}^-$ 合成水,其自身成为负离子 $\text{H}_2\text{N}-\text{CRH}-\text{COO}^-$,在电场中向正极移动。当调节氨基酸溶液的pH值,使氨基酸分子上的一 H_3N^+ 和 $-\text{COO}^-$ 的解离度完全相等时,即氨基酸所带净电荷为零,在电场中既不向正极移动,也不向负极移动,此时氨基酸所处溶液的pH值称为该氨基酸的等电点,以符号pI表示。在等电点时,氨基酸的溶解度最小,容易沉淀,利用这一性质可以分离制备各种氨基酸。在等电点以上的任何pH,氨基酸带净负电荷,并因此在电场中将向正极移动。在低于等电点的任何pH,氨基酸带有净正电荷,在电场中将向负极移动。在一定pH范围内,氨基酸溶液的pH离等电点越远,则氨基酸所携带的净电荷也越大。可根据这一特性,利用电泳技术将氨基酸混合物分开。

氨基酸是一种两性电解质,因无合适的指示剂可被选用,故常用甲醛滴定。在滴定时,分别在 $-\text{COO}^-$ 和一 H_3N^+ 处形成滴定点,两处拐点的pH值分别用 pK_1 和 pK_2 表示,故对中性氨基酸而言,其等电点为: $\text{pI}=(\text{pK}_1+\text{pK}_2)/2$ 。因氨基酸的R基也会电离,影响滴定,故对R基的滴定值用 pK_R 表示。对酸性氨基酸(在酸性溶液中,净电荷为零,包括天冬氨酸和谷氨酸)而言,其等电点为: $\text{pI}=(\text{pK}_1+\text{pK}_R)/2$ 。对碱性氨基酸(在碱性溶液中,净电荷为零,包括赖氨酸、精氨酸和组氨酸)而言,其等电点为: $\text{pI}=(\text{pK}_2+\text{pK}_R)/2$ 。

(4)紫外吸收光谱

各种氨基酸在可见光区都没有光吸收,在远紫外区均有光吸收。而在近紫外光区仅色氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸有光吸收。其中色氨酸最大吸收波长为279nm,酪氨酸最大吸收波长为278nm,苯丙氨酸最大吸收波长为259nm。利用紫外光法可测定这些氨基酸的含量。

(5)重要化学反应

氨基酸的α-氨基、α-羧基和侧链R基均能单独或共同参与反应。常见反应如下:

α -氨基能与茚三酮反应,产生紫色沉淀(脯氨酸和羟脯氨酸为黄色沉淀),用于定性或定量测定各种氨基酸。

α -氨基可与亚硝酸反应生成氮气(只有一半来自氨基酸,另一半来自亚硝酸),可定性计算氨基酸的量。此为 Van Slyke 法测定氨基氮的基础。

α -氨基可与 2,4-二硝基氟苯(DNFB)生成 2,4-二硝基氟苯氨基酸(DNP-氨基酸)。此反应又称 Sanger 反应,用于鉴定多肽或蛋白质的 NH_2 末端氨基酸。

α -氨基可与异硫氰酸苯脂(PITC)反应生成苯硫乙内酰硫脲衍生物(PTH),此反应为 Edman 反应,利用 Edman 降解,一次能连续测出 60~70 个氨基酸残基的肽段顺序。

3. 蛋白质的结构

已确认的蛋白质结构有不同层次,人们为了认识的方便,通常将其分为一级结构、二级结构、三级结构和四级结构,一级结构又称为平面结构,后三者合称为空间结构。

(1) 一级结构

蛋白质的一级结构又称为初级结构、化学结构或平面结构,是指蛋白质分子内氨基酸的排列顺序。蛋白质分子中氨基酸主要通过肽键相互连接,肽键是由一个氨基酸分子中的 α -氨基与相邻的另一个氨基酸分子中的 α -羧基,通过脱水缩合而成的,这样连起来的氨基酸聚合物称为肽。由两个氨基酸连成的叫二肽,图 1-1-15 示某种二肽。由多个氨基酸连成的叫多肽。肽与多肽的区分主要根据分子的大小,通常相对分子质量在 1500 以下的称为肽,在 1500 以上的称为多肽。多肽链上各个氨基酸由于相互连接过程中丢失了 α -氨基上的一 H 和 α -羧基上的一 OH,被称为氨基酸残基。在多肽链一端的氨基酸含有一个未反应的游离氨基($-\text{NH}_2$),被称为肽链的氨基末端,常写作 N 端;另一端的氨基酸含有一个尚未反应的游离羧基($-\text{COOH}$),称为肽链的羧基末端,常写作 C 端。一般表示多肽时,总是 N 末端写在左边,C 末端写在右边。肽链中除肽键外还有二硫键($-\text{S}-\text{S}-$),它是由肽链中相应部位上两个半胱氨酸(R 基上有 $-\text{SH}$)脱氢连接而成,是连接肽链内和肽链间的主要桥键(又称硫桥)。

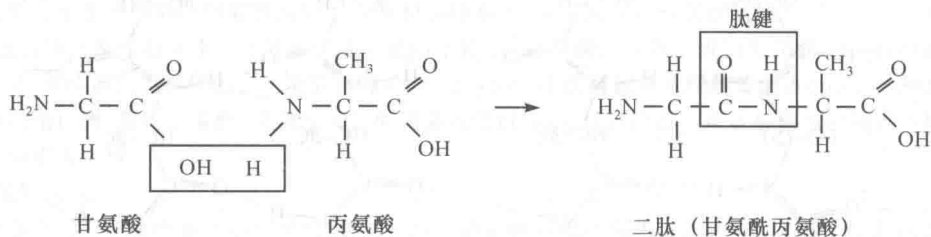


图 1-1-15 二肽形成

(2) 二级结构

二级结构是指多肽链本身卷曲折叠成有规律的结构或构象。这种结构是以肽链内或肽链间的氢键来维持的。氢键是稳定二级结构的主要作用力。二级结构的三种基本类型是: α -螺旋、 β -折叠、 β -转角。

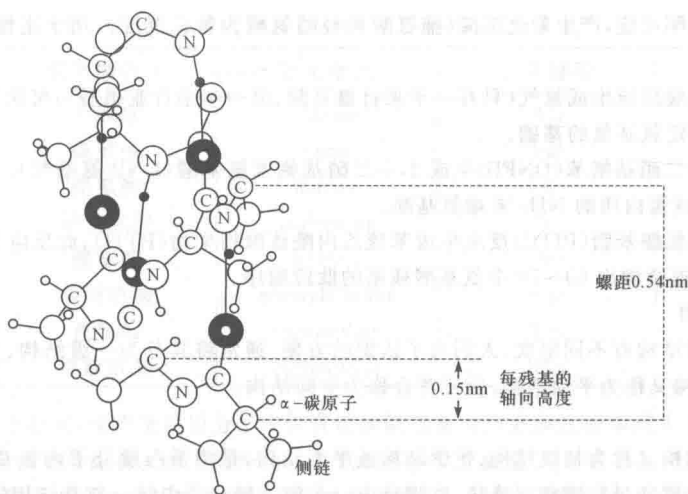
① α -螺旋

α -螺旋是蛋白质中最常见,含量最丰富的二级结构。指甲、毛发以及有蹄类的蹄、角、羊毛等的成分都是呈 α -螺旋的纤维蛋白,称为 α -角蛋白。 α -螺旋属链内连接。具有较强的弹性。

α -螺旋的特征是:多肽链中氨基酸残基以 100° 的角度围绕螺旋轴心盘旋上升,每 3.6 个残基就旋转一圈,螺距为 0.54nm,即每个残基沿螺旋体中心轴上升 0.15nm。蛋白质中的 α -螺旋几乎都是右手的,右手比左手的稳定。多肽链内的氢键由肽链中一个肽键的 $-\text{CO}$ 中的氧原子与其后第三个肽键的 $-\text{NH}$ 中的氢原子组成,每个氢键所形成的环内共有 13 个原子,这种螺旋称为 $3_6 13$,具体见图 1-1-16。

② β -折叠

是蛋白质中第二种最常见的二级结构。两条或多条几乎完全伸展的多肽链侧向聚集在一起,相邻肽链主链上的一 NH 和 $\text{C}=\text{O}$ 之间形成有规则的氢键。 β -折叠是链间连接,分两种类型。一种是平行式,即所有肽链 N 端都在同一端;另一种是反平行式,即肽链的 N 端一顺一反的排列。丝蛋白的二级结构主要是 β -折叠,故其弹性较差。图 1-1-17 示 β -折叠的两种方式。



α-螺旋的尺寸

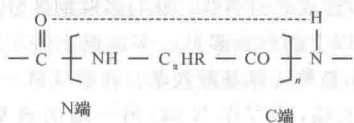


图 1-1-16 α-螺旋

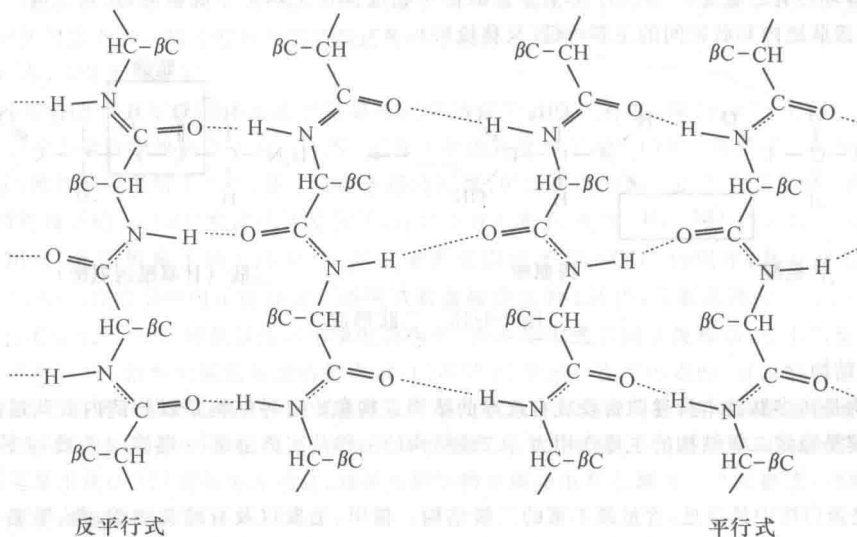


图 1-1-17 β-折叠的平行式和反平行式

③β转角

蛋白质分子的多肽链上经常出现 180° 的回折,在这种肽链的回折角上就是β转角结构。β转角为链内弯曲,多数都处在球状蛋白质分子的表面,在这里改变多肽链的方向所遇阻力比较小。

(3)三级结构

纤维状蛋白质一般只有二级结构,而球状蛋白质在二级结构的基础上,经过超二级结构和结构域,进一步组装成三级结构。维持三级结构的作用力主要是一些次级键,包括氢键、盐键、疏水键和范德华力等。其中,疏水键在维持蛋白质的三级结构上有突出地位。

(4)四级结构

蛋白质的四级结构是指蛋白质分子内具有三级结构的亚单位通过氢键、盐键、疏水键和范德华力等弱