

# 医学细胞生物学引论



上海第一医学院生物学教研组

一九七八年八月

17  
573  
1

**医学细胞生物学引论**

---

编写： 许 由 恩

校对： 陈秀珍 吴柏林

印刷：上海第一医学院印刷厂

---

印数：1—5500 单价 0.90元

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第一篇 生命的分子基础</b> .....     | 1  |
| 第一章 组成生命物质的分子.....           | 3  |
| 第一节 碳水化合物.....               | 3  |
| 第二节 脂类化合物.....               | 9  |
| 第三节 蛋白质.....                 | 11 |
| 第四节 核酸.....                  | 19 |
| 第五节 酶.....                   | 29 |
| 第六节 维生素.....                 | 33 |
| 第七节 无机盐.....                 | 35 |
| 第八节 水.....                   | 35 |
| 第二章 生命物质的基本特征.....           | 39 |
| 第一节 生物体新陈代谢的基本概念.....        | 39 |
| 第二节 生物体新陈代谢的基本类型.....        | 40 |
| 第三章 生物体物质代谢和能的转换.....        | 43 |
| <b>第二篇 生命的基本单位——细胞</b> ..... | 45 |
| 第四章 细胞的膜相结构.....             | 55 |
| 第一节 细胞膜.....                 | 55 |
| 第二节 线粒体.....                 | 57 |
| 第三节 内质网.....                 | 61 |
| 第四节 高尔基复合体.....              | 64 |
| 第五节 溶酶体.....                 | 66 |
| 第六节 微体.....                  | 67 |
| 第七节 核膜.....                  | 69 |
| 第五章 细胞的非膜相结构.....            | 71 |
| 第一节 核糖体(附:微粒体).....          | 71 |
| 第二节 微管.....                  | 74 |
| 第三节 微丝.....                  | 76 |
| 第四节 中心粒.....                 | 77 |
| 第五节 纤毛.....                  | 78 |
| 第六节 细胞核.....                 | 79 |
| <b>第三篇 细胞的活动</b> .....       | 85 |
| 第六章 细胞活动过程中能的转换和供应.....      | 86 |
| 第一节 细胞氧化的特点.....             | 86 |

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| 第二节  | 线粒体是细胞内氧化供能的场所·····   | 86  |
| 第三节  | 氧化和磷酸化的偶联作用·····      | 88  |
| 第四节  | 与线粒体氧化磷酸化有关的一些药物····· | 89  |
| 第七章  | 细胞内遗传信息的传递与蛋白质合成····· | 92  |
| 第一节  | 脱氧核糖核酸(DNA)分子的复制····· | 93  |
| 第二节  | 遗传信息的转录过程·····        | 95  |
| 第三节  | 遗传密码的转译过程·····        | 97  |
| 第四节  | 遗传信息传递的控制与调节·····     | 104 |
| 第八章  | 细胞内物质的加工和运转·····      | 109 |
| 第一节  | 细胞内蛋白质的种类影响细胞的类型····· | 109 |
| 第二节  | 细胞合成产物的分泌过程·····      | 111 |
| 第九章  | 细胞内物质的“消化”过程·····     | 116 |
| 第一节  | 溶酶体的功能·····           | 116 |
| 第二节  | 溶酶体的活动与病理现象·····      | 121 |
| 第十章  | 细胞膜的活动·····           | 126 |
| 第一节  | 细胞膜的化学成分·····         | 126 |
| 第二节  | 细胞膜的分子结构·····         | 128 |
| 第三节  | 细胞膜的特性·····           | 132 |
| 第四节  | 细胞膜与细胞内外物质交换·····     | 137 |
| 第五节  | 细胞膜受体·····            | 144 |
| 第六节  | 细胞膜抗原·····            | 150 |
| 第七节  | 细胞膜与癌·····            | 151 |
| 第十一章 | 细胞的整体性·····           | 152 |
| 第四篇  | 细胞的增殖·····            | 154 |
| 第十二章 | 细胞的增殖周期·····          | 155 |
| 第一节  | 间期·····               | 156 |
| 第二节  | 丝裂期(分裂期)·····         | 158 |
| 第十三章 | 抗癌药物作用分子生物学原理·····    | 162 |
| 第一节  | 细胞的增殖与抑制·····         | 162 |
| 第二节  | 抗癌药物作用原理·····         | 164 |
| 附录   | 完整细胞超微结构例图·····       | 169 |

# 第一篇 生命的分子基础

辩证唯物主义教导我们，世界上的一切都是物质所组成的，一切现象都是物质运动的表现。生命也并不例外。

五十年代以来，人们运用现代化学和物理学所提供的各种新技术和新方法，对构成生命物质的若干大分子——蛋白质、核酸、碳水化合物、脂类物质等进行了研究。于是，在生物学的领域内，“生物化学”和“生物物理学”相互渗透而形成了一门崭新的学科——分子生物学(molecular biology)。生物化学本来就是研究生命物质进行的化学反应的学科，生物物理学也是研究生命过程所牵涉到的物理现象的学科。因此，由于分子生物学的种种发现，理解到非生命的物质和生命物质间的相互关系，因而能在四分之一世纪的时间内在一定程度上打破了过去一直存在着的生命与非生命之间的界限。

现在存在于地球上的形形色色生物(包括人类)，在形态结构上虽然差别很大，但是从物质组成来看都是由生命物质(即原生质，protoplasm)所组成的。

生命是地球上简单物质运动发展到一定阶段产生出来的。生命的存在形式是以核蛋白(nucleic protein)为主体。核蛋白是核酸(nucleic acid)和蛋白质(protein)相结合的化合物。生命的运动形式是新陈代谢(metabolism)。

为了深入了解生物体的各种生命现象，有必要首先讨论生命物质的分子基础。

组成各种生物体的生命物质的化学成分虽有差别，但从组成的化学元素来看，都含有碳、氢、氧、氮、磷、硫、氯、钙、钠、钾、镁、铁等元素，其中以碳、氢、氧、氮四种元素含量为最大。此外，还有少数微量元素如铜、锌、碘、钴、锶、钡等。

总之，从生命物质化学分析所得到的各种元素，没有一种是生命物质所特有而为无机自然界所没有的元素(表1·1)。这就足以说明生物界与非生物界的统一性。

表1·1 人体和细菌体内所含元素的比较

| 元素 | 人 体  |      | 大肠杆菌 |     |
|----|------|------|------|-----|
|    | 粗 重  | 干 重  | 粗 重  | 干 重 |
| 氧  | 65%  | 18%  | 96%  | 20% |
| 碳  | 18   | 54   | 15   | 50  |
| 氢  | 10   | 8    | 11   | 10  |
| 氮  | 3    | 9    | 3    | 10  |
| 磷  | 1    | 3    | 1.2  | 4   |
| 硫  | 0.25 | 0.75 | 0.3  | 1   |

(人体除上述元素外还含有钙1.5%、钾0.35%、钠0.15%、氯0.15%和镁0.05%。此外还有微量的铁和锌(0.004%以下)。

所有元素在生物体内都以各种化合物的形式存在着,其中有无机化合物(inorganic compound)和有机化合物(organic compound)两大类。无机化合物包括水和无机盐(inorganic salt)。有机化合物中主要有碳水化合物(carbohydrate)、脂类化合物(lipid compound)、蛋白质(protein)、核酸(nucleic acid)、酶(enzyme)、维生素(vitamin)等。有机化合物是生命物质的基本成分,其中最主要和最基本的物质是由蛋白质和核酸所组成的核蛋白(表 1·2, 1·3)。从细胞结构和功能的角度来看,注意点一般是集中于蛋白质、核酸、碳水化合物、和脂类等四类大分子化合物。(表 1·4)。

上述这些物质按照特定方法结合起来,组成了一个极其复杂的生命物质体系。由生命物质所组成的生物体称为有机体或机体(organism)。这说明生物与非生物之间又是有区别的。因此,生命与非生命二者之间既有其统一性,但又具有各自的特殊性。

表 1·2 哺乳动物组织和细菌体内几种主要化合物含量的比较

| 化 合 物  | 大鼠肝 | 大鼠骨骼肌 | 大肠杆菌 |
|--------|-----|-------|------|
| 水      | 69% | 75%   | 70%  |
| 蛋 白 质  | 16  | 7     | 15   |
| 糖      | 3   | 4     | —    |
| 磷      | 3   | 2     | 2    |
| 中性脂类   | 2   | 9     | —    |
| 核糖核酸   | 1   | 1     | 6    |
| 脱氧核糖核酸 | 0.2 | 0.3   | 1    |

表 1·3 人类婴儿的各类物质的分子成分

| 化 合 物    | 百 分 率 % |
|----------|---------|
| 水        | 66      |
| 蛋白质 + 核酸 | 16      |
| 脂 肪 + 脂类 | 12.5    |
| 灰分(矿物质)  | 5       |
| 碳水化合物    | 0.5     |
| 维 生 素    | 微量      |

表 1·4 生物体内几种大分子物质的主要元素含量的比较

| 元素 | 蛋 白 质  | 碳水化合物 | 核 酸 |
|----|--------|-------|-----|
| 碳  | 50~55% | 40%   | 38% |
| 氧  | 19~24  | 53    | 31  |
| 氮  | 13~19  | —     | 17  |
| 氢  | 6~7.3  | 7     | 3   |
| 硫  | 0~4    | —     | —   |
| 磷  | —      | —     | 10  |

# 第一章 组成生命物质的分子

## 第一节 碳水化合物

碳水化合物又称糖,是生物体内能量的主要来源。生物体中含有碳水化合物很多,例如植物的根、茎、叶、果实、种子等部分所含的葡萄糖(glucose)、蔗糖(sucrose)、果糖(fructose)、淀粉(satarch)和纤维素(cellulose)、动物体中的糖元(glycogen)等都是。

碳水化合物在生物体内它的作用主要是供给生命活动所需要的能量。生物界中无论是高级的动物、植物或低级的微生物,它们的身体中随时都在进行着复杂的碳水化合物代谢的化学变化。人体活动所需要的能量,主要也是由食物中的碳水化合物所供给的。

一些糖分子也参与细胞的组成,如戊糖是核酸组成单位——单核苷酸的组成成分之一。某些糖类也是构成细菌、真菌以及植物细胞细胞壁和甲壳动物的外壳的组成成分。

碳水化合物主要是由碳、氢、氧三种元素所组成。它的研究开始于十九世纪初期、由于当时所知道的属于碳水化合物的物质都有一个共同的分子式 $C_x(H_2O)_y$ ,即在它们的分子中,除碳外,其氢原子数目和氧原子数目的比例恰和水的比例相同,因此称为“碳水”化合物。可是,后来有些糖类如鼠李糖( $C_6H_{12}O_5$ )等分子所含的氢和氧并不符合上述的比例,而另一些化合物如醋酸( $C_2H_4C_2$ )和乳酸( $C_3H_6O_3$ )等分子的成分中氢和氧的比例却和上述的比例相符合,但它们并不属于糖类。因此,碳水化合物这个名词不是绝对正确的,但因为历史上沿用已久,所以仍在广泛应用。

碳水化合物根据其水解(hydrolysis)情况可以分为单糖(monosaccharide)、二糖(disaccharide)和多糖(polysaccharide)等类。单糖是一类不能水解成更小糖单位的结构比较简单的糖,如葡萄糖、半乳糖(galactose)和果糖等;二糖是能够水解生成两分子单糖的糖,如蔗糖(cucose)、麦芽糖(maltose)和乳糖(lactose)等;多糖是能够水解生成许多分子单糖的糖,如淀粉。纤维素和糖元等。

### 一、单糖

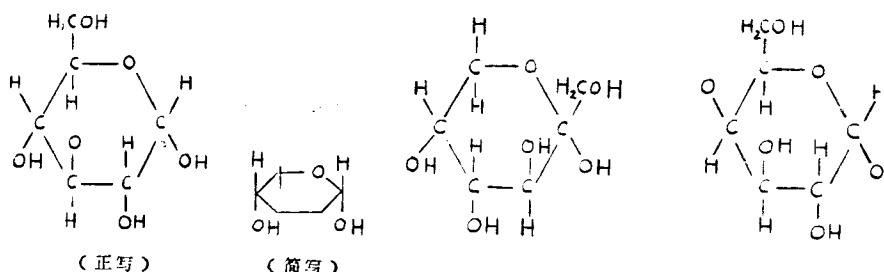
#### (一)单糖的种类

单糖可以按照分子主链的碳原子数目来分类:含3个碳原子的为丙糖如丙醛糖;含4个碳原子的为丁糖( $C_4H_{12}O_4$ )如赤藓糖;含5个碳原子的为戊糖( $C_5H_{10}O_5$ )如核糖、脱氧核糖、阿拉伯糖;含6个碳原子的为己糖( $C_6H_{12}O_6$ )如葡萄糖、果糖(图1·1)。

单糖又可根据其整个分子的化学结构而分为醛糖(aldose)如葡萄糖和酮糖(ketose)如果糖。醛糖所具的还原性比酮糖强故又称为还原糖。

存在于生命物质中的单糖主要为戊糖(pentose)和己糖(hexose),其中以戊糖中的核糖(ribose)和脱氧核糖(deoxyribose)以及己糖中的葡萄糖和果糖为最重要。核糖和脱氧核糖是组成核酸的主要成分;葡萄糖是生物体主要的供能物质,是细胞呼吸作用的原材料。一克葡萄糖在体内彻底氧化时,可释放出4仟卡热量。人体的血糖,实际上即指血液中所含的葡萄糖。

①但是有些生物学上重要的碳水化合物的衍生物,还含有硫和氮等其他元素。



葡萄糖

果糖

半乳糖

图 1 · 1 三种己糖的结构式

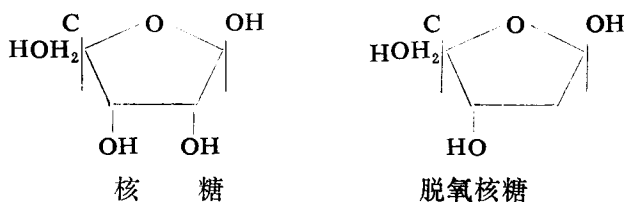


图 1 · 2 二种戊糖的结构式

正常人空腹时血糖是相当恒定的，（每100毫升血液中含血糖80~120mg），超出这个范围将影响体内的生理功能。

### （二）单糖的物理性质

单糖都是结晶，具有吸湿性，极易溶于水，难溶于乙醇，不溶于醚。单糖都具有甜味，但不同的单糖甜味亦不同。

### （三）单糖的化学性质

所有的单糖都容易被氧化，因此都是还原糖。

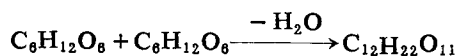
单糖结构中含有一个比较活泼的羟基，容易与醇的羟基发生作用，缩去一分子水而形成缩醛，这就是糖化学中所谓的成苷作用。

单糖分子中的羟基又能与酸作用生成酯，与磷酸作用时则生成磷酸酯。葡萄糖与磷酸作用时，根据反应条件的不同可生成1-磷酸葡萄糖，6-磷酸葡萄糖或1,6-二磷酸葡萄糖。糖在新陈代谢和发酵过程中都经过磷酸酯的生成，这是人体和动、植物细胞内碳水化合物储存和分解的基本步骤之一。

一些糖在酶的作用下可发生发酵作用(fermentation)。己糖中的葡萄糖和果糖均易被酵母发酵而生成乙醇和二氧化碳，半乳糖较难发酵，戊糖则不能发酵。

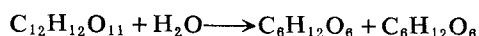
## 二、二糖

所有的二糖都可以看作是由两个相同或不相同的单糖分子缩去一分子水所形成的糖苷。常见的二糖是己糖缩水的产物。其通式如下：



二糖有许多性质类似单糖，例如二糖容易溶解于水而生成真溶液等。二糖多半具有甜味，并且容易结成很好的结晶。

最常见的二糖有蔗糖、麦芽糖和乳糖。乳糖和麦芽糖是还原性二糖，蔗糖是非还原性二糖。这些二糖经无机酸或酶的作用水解后，能生成两分子的己糖。



生物体内的二糖大都是储养料或代谢的中间产物。

### (一) 蔗糖

蔗糖又称甜茅秆，是一种最常见的二糖，在植物界中分布最广，如在甘蔗中含26%，甜茅秆中含20%。此外，各种植物果实中几乎都含有蔗糖。蔗糖是一分子的葡萄糖和一分子的果糖缩水的产物。

### (二) 麦芽糖

麦芽糖是由两个葡萄糖分子所组成的二糖（图1·3）。麦芽糖存在于麦芽中，是由麦芽中的淀粉酶将淀粉水解而成的。食糖就是麦芽糖的粗制品。一分子麦芽糖经水解后可产生两分子的葡萄糖。

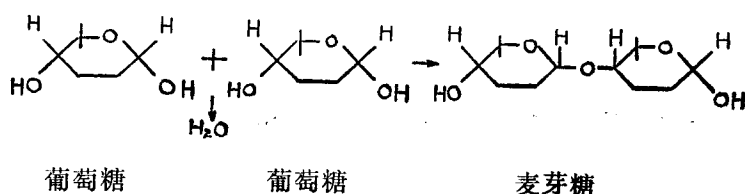


图1·3 麦芽糖的合成

### (三) 乳糖

乳糖存在于哺乳动物的乳汁中。牛奶含乳糖约4—5%，人奶约含5—8%。在植物界中尚未发现过乳糖。

乳糖的来源较少，而且甜味亦弱，平时很少用作营养品。医药上常利用其吸湿性较小的性质作为药物的稀释剂以配制散剂和片剂。

## 三、多糖

多糖是由很多分子单糖缩去很多分子的水而成的长链状结构的糖苷，在有机界分布最广。象这种链状分子的结构，常被称为聚合物(polymer)，构成聚合物的单位称为单体(monomer)。所谓聚合物就是由重复单位所组成的大分子。多糖与酸共热或受特殊酶的作用时，能水解变为原来的单糖。常见的多糖均为缩己糖，如淀粉、纤维素、糖元等均为葡萄糖的缩水物。由己糖所组成的多糖分子式为 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。多缩戊糖在自然界中亦存在，如阿拉伯树胶。但阿拉伯树胶等多缩戊糖的水解产物除产生戊糖外，同时亦有半乳糖等其他物质生成。

因此，多糖可分为两类：一类为均一多糖，即水解后仅产生一种单糖的多糖，例如淀粉（图1·4），另一类为混合多糖，即水解后除产生一种主要的单糖外同时亦产生另一种单糖和其他物质的多糖，例如阿拉伯树胶。

多糖在动植物生理机能上的作用极为重要，且各不相同。在动物体内的糖元是储养能量的物质。多糖也参加人体细胞的组成。在植物体内存在的淀粉是植物的贮备养料。纤维素是植物细胞细胞壁的主要组成成分。果胶(pectin)为植物细胞组织的联系物质，是一种复杂的胶状物，主要存在于植物果实的液汁中。植物体中的多糖是人类所需要的碳水化合物的最主要来源。

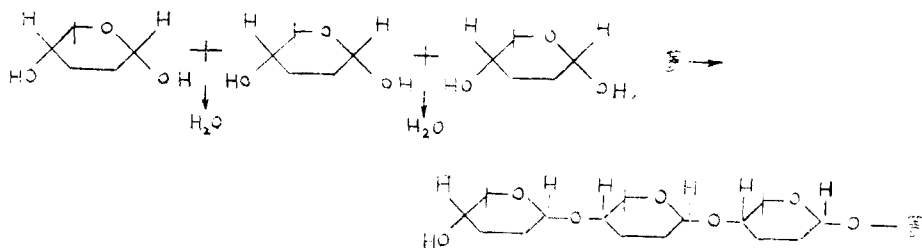


图 1 · 4 (一) 淀粉的合成

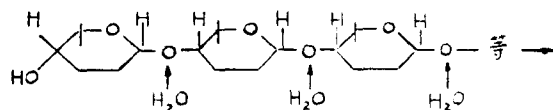


图 1 · 4 (二) 淀粉的水解

### (一) 淀粉

淀粉是植物储能的营养物质，广泛存在于根和种子中，是人类主要食物的一种。米含淀粉75%，玉蜀黍约含50%，大麦和小麦约含60—65%，马铃薯约含20%。此外，红薯、芋头等含量亦甚丰实。来自不同植物的淀粉，其颗粒的形态亦不同。许多果实在成熟时能将一部分淀粉转变为糖，故其味转甜，但初麦成熟时则无此现象。

淀粉颗粒与热水混和静置后则膨润，其中约有10—20%的淀粉溶于水中，这种淀粉叫做糖淀粉(amylose)或直链淀粉(unbranched chain starch)，分子量大约10,000—60,000，也就是说，它的分子大约由50—300个葡萄糖分子所组成(图1·5)。不溶于水的淀粉叫做胶淀粉<sup>①</sup>(amylopectin)或支链淀粉(branched chain starch)(图1·6)，在淀粉颗粒中约占80—90%，它的分子量大约为100,000—1,200,000，相当于500—6000个葡萄糖分子所组成。糖淀粉与碘液作用时呈兰色，而胶淀粉与碘液作用时则呈紫色。



图 1 · 5 糖淀粉的分子结构  
(图中小圈代表葡萄糖单体)

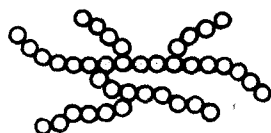


图 1 · 6 胶淀粉的分子结构  
(图中小圈代表葡萄糖单体)

淀粉容易在酸性溶液中起水解作用，最后生成葡萄糖。但如被麦芽中的淀粉酶作用时，则水解的终产物却为麦芽糖。淀粉不完全水解时则产生糊精(dextrin)。糊精的分子式为 $(C_6H_{10}O_5)_x$ ，其x值小于淀粉的n值故其分子量亦小。

### (二) 纤维素

注<sup>①</sup> 胶淀粉(amylopectin)和水果的果胶(pectin)是有区别的，后者是半乳糖醛酸(galacturonic acid)的聚合物。

纤维素是地球上分布最广，存量最多的植物体中的化学成分。木材约含纤维素50—70%，棉花约含92—95%，脱脂棉花和滤纸几乎是纯粹的纤维素。

纤维素的分子式亦为 $(C_6H_{10}O_5)_n$ ，分子量为300,000—500,000，约为2,000—3,000个葡萄糖分子所组成。它与淀粉的不同主要在于葡萄糖分子连接方式的不同（见图1·7）。①由于人体不水解这些连接纤维素单位的键，因此虽然纤维素分子也象淀粉和糖元一样存在着

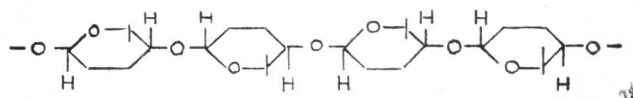


图1·7 纤维素分子的结构

许多葡萄糖单体，可是人体不能加以利用。马、牛、羊兔等食草动物因胃肠中有微生物，分泌水解纤维素的酶，所以能够把纤维素分解为葡萄糖，以供微生物及宿主动物共同利用。人类虽然没有消化纤维素的能力，不能利用之为食料，但食物中如果完全没有纤维素，则容易发生便秘，因为纤维素能够刺激肠的蠕动，有利于排便。

从分子构型(configuration)来看，纤维素是由紧密排列的100—200平行链的纤维所组成，只有极少量的羟基暴露在分子的表面，因而能增加其分子韧度和不溶性。而淀粉和糖元分子构型中有较大空隙，可让溶剂进入，因而其质地较为柔软，同时溶解性也较高。

上述这几种多糖分子都是由某些重复单位（或称单体）形成的，称为聚合物。

### (三)糖元

糖元又称动物淀粉，是存在于动物体中的多糖，很少发现于绿色植物中，酵母菌体内含有极少量的糖元。

糖元的化学性质和组成与胶淀粉相似，均可被酶水解成麦芽糖，被酶水解后的最终产物亦为葡萄糖。糖元的分子量约为1,000,000—10,000,000相当于6,000—60,000个葡萄糖分子。但糖元分子的支链甚多，因此其分子结构远较胶淀粉为复杂（图1·8）。



图1·8 糖元分子的结构（图中小圈代表葡萄糖单体）

注① 在淀粉分子中每个葡萄糖分子排列方向是完全相同，而在纤维素中葡萄糖单体的排列则为交替反向的。

动物以淀粉或纤维素为食料，在消化器官中经水解后变为葡萄糖。葡萄糖是生命的能源物质。糖元经水解后，未被利用的葡萄糖仍可再用变为糖元储存起来。某种动物如软体动物（牡蛎，蚌等）的糖元是唯一的储存形式。人类虽然以脂肪为主要的储能物质，但也以糖元的形式储存于肝脏和肌肉中。储存在肝中的糖元，称为肝糖元，其含量约为2—5%，储存在肌肉中的糖元称为肌糖元，含量较少，约为0.3—0.9%。

糖元的来源有二种。一种是由葡萄糖及其他单糖直接合成而来的，这过程称为糖元生成作用。另一种是将一些非糖物质如某些氨基酸、乳酸、丙酮酸、甘油等先转变为葡萄糖，然后再合成糖元。这种生成方式称为糖异生作用。人体的肝脏和肾上腺皮质具有糖元的异生作用的全套酶系，因此体内只有这两个组织能使非糖物质转变为糖元，以增加体内糖元的来源。

储存在肝脏，肌肉等组织中的糖元可以被分解利用。肝糖元可以及时分解成葡萄糖，然后进入血液成为血糖。全身细胞可以利用血糖的氧化分解以产生能量，它们也可以利用血糖合成糖元或脂肪等物质储存起来。血糖除来自消化吸收后的葡萄糖外，主要来自肝糖元的分解。故肝脏是调节血糖浓度的重要器官。

肌糖元主要功能作为肌肉活动的能量来源。当肌肉在氧气供应充足下活动时，肌糖元大部分氧化为 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 。并产生大量能量；当氧供应不足时，即分解成乳酸，放出较小的能量，但乳酸可随血液进入肝脏经糖元异生作用而生成肝糖元，这样可以使乳酸中所包含的能量重新被利用。

#### （四）粘多糖

粘多糖(mucopolysaccharide)为氨基己糖、己糖醛酸及其他己糖所组成的复杂的高分子化合物，有的粘多糖分子中含有硫酸根。粘多糖为组织和细胞间质以及腺细胞所分泌粘液的主要成分。

##### 1. 透明质酸

透明质酸(hyaluronic acid)是一种粘多糖，由等分子量的2—乙酰氨基葡萄糖和葡萄糖醛酸所组成的复杂分子，存在于眼球玻璃体(vitrous humor)、角膜(cornea)及脐带(umbilical cord)中。一切结缔组织中均含有透明质酸。透明质酸与水形成粘稠的凝胶，有润滑和保护细胞的作用。某些具有强烈侵蚀性的细菌和蛇毒中含有透明质酸酶，能使组织细胞的透明质酸分解，以致粘性减少，保护能力降低。精子内亦含有透明质酸酶，这可能与受精时精子顺利进入卵子有密切关系。

##### 2. 硫酸软骨质

硫酸软骨质(chondroitin sulfate)是一种酸性粘多糖，人体软骨组织中的软骨粘蛋白，就是由蛋白质与硫酸软骨质结合而成的。它也是哺乳动物血液、动脉和主动脉等结构的重要成分。动脉粥样硬化病变时，其含量往往降低。

##### 3. 肝素

肝素是一种比较简单的粘多糖，为动物体内一种天然的抗凝血物质，因为它是在肝脏中发现，故称为肝素。肝素在肝脏中含量最多，肺、肌肉、血管壁、肠粘膜、脾、心及胸腺中均含有之。肝素是凝血酶的一种抗拒物，能使凝血酶失去作用，因此血液在体内不会凝固。

## 第二节 脂类化合物

脂类化合物(lipids)是脂肪(fat)、类脂(compound lipid)以及其他一些物质的总称<sup>①</sup>。这类物质特点是：这些物质都不溶解于水，而能溶解于非极化的有机溶剂，如乙醚、氯仿、苯等。脂肪又称为真脂(true fat)或中性脂肪(neutral fat)，它的化学组成大都是一分子甘油(glycerol)和三分子脂肪酸(fatty acid)结合所成的酯(ester)，即甘油三脂肪酸酯，简称甘油三脂(图3·1, 3·2)。一个脂肪分子中所含的三个分子的脂肪酸可以是相同的，也可以是不相同的。

类脂是指与脂肪性质相类似的一些物质，包括磷脂(phospholipids)与固醇类(sterols)等。脂类化合物中的磷脂是构成人和高等动物细胞膜和细胞内膜结构不能缺少的成分，其中的脂肪又是体内供能的主要物质。同量的脂肪与淀粉对比，能量的产生可多一倍，故动物多以脂肪分子储能。但亦有例外，某些植物的种子含油量也很大，部分软体动物也有以糖元储积能量。

现将人体内几种主要的脂类化合物简述如下:

## 一、脂肪

构成脂肪的脂肪酸有两类：含有饱和碳链的脂肪酸称为饱和脂肪酸（图 1·9），含有不饱和碳链的脂肪酸称为不饱和脂肪酸。换句话说，不饱和脂肪酸分子中有二个或二个以上的双键(double bond)（图 1·10）。在生命物质中含有较多的不饱和脂肪酸。不过，这些脂肪酸一般不是单独存在，而多以结合状态出现，如脂肪、磷脂等。人体的脂肪分子在特定的酶的作用下可以水解为一分子的甘油和三分子的脂肪酸。脂肪的水解是人体消化过程中的一个重要步骤。

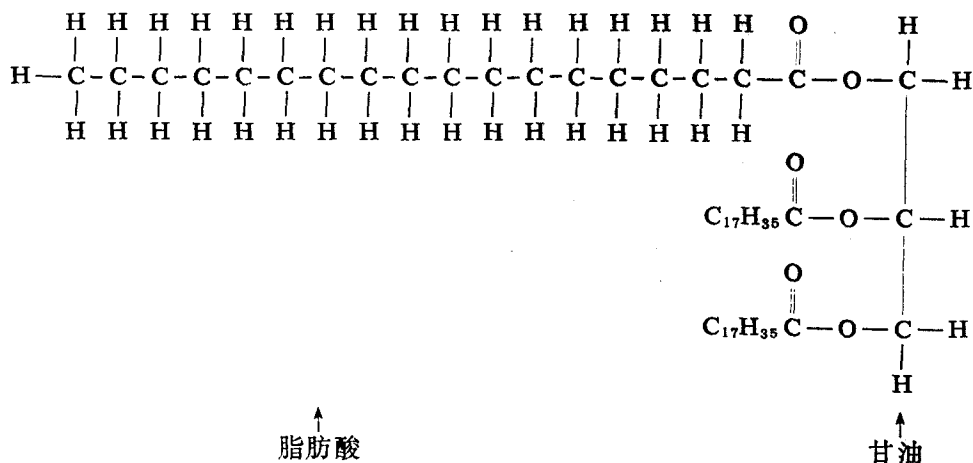
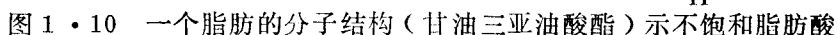


图 1·9 一个脂肪分子的结构(甘油三硬脂酸酯)示饱和脂肪酸

注① 脂类化合物包括的物质比较广泛，如油、蜡、部分激素和维生素。目前甚至把某些无法归于碳水化合物的蛋白质或核酸的有机化合物均归于脂类化合物。



轨。途径之一就是由一个含砵的分子代替一个脂肪酸分子,其结果就出现了砵酸,砵酸可与水混和,因而能由体液予以运轨。另外的途径是先与蛋白质结合成脂蛋白,然后才能在血液中运轨。

砵脂能和蛋白质结合成脂蛋白,为细胞结构的组成成分,并组成细胞的各种膜结构,如细胞膜、核膜、线粒体膜、内质网膜等。

### 三、固醇

固醇类物质包括胆固醇、胆汁酸、维生素D原、肾上腺皮质激素等。

#### (一)胆固醇

胆固醇(cholesterol)和砵脂一样,也可以与蛋白质结合成脂蛋白,为细胞膜结构的一部分。胆固醇可以转变成上述的其他固醇类化合物,所以是人体所必需的化学成分,胆固醇不仅可以从食物中与其他脂类一起吸收进入体内,而且也可以在体内合成。体内合成的胆固醇通常比从食物中所吸收为多。

但是,胆固醇易沉淀于血管壁,是动脉粥样硬化的重要原因之一。人体所发现的胆石几乎全是由胆固醇所构成。

#### (二)维生素D原

维生素D原(provitamin D)是维生素D的前身,前者在紫外线照射下可转变为有活性的维生素D。维生素D能促进钙、砵的吸收,使血钙升高,有利于骨骼的发育。因此在儿童生长期中,不仅要补充钙,同时也需要补充维生素D。维生素D原有维生素D<sub>2</sub>原和维生素D<sub>3</sub>原两种之分,动物及人体的皮肤内含有维生素D<sub>3</sub>原,因此,晒太阳就可使其转变为维生素D<sub>3</sub>,这是预防佝偻病的好方法。

#### (三)胆汁酸

胆汁酸(bile acid)是胆盐的主要组成成分,胆盐对体内脂肪消化起重要的作用,胆盐是一种具有表面活性的物质,能降低水与脂肪的表面张力,使脂肪乳化形成微滴,有利于消化液中的脂肪酶与脂肪接触,同时它又能激活脂肪酶,促进脂肪的消化。

上面所叙述的脂类和多糖虽然都是聚合物。但没有恒定的分子量,这并不影响其生物学作用。可是下面将要提到的蛋白质和核酸则不然,它们有一定的体积,有恒定的空间结构,这些性质将影响其生物活性。

## 第三节 蛋 白 质

蛋白质是构成人体、动物、植物、微生物等有机体的主要成分,而且是生命活动所依赖的主要物质基础。

蛋白质在生物界中分布很不一致。植物组织的蛋白质含量较少,动物组织较多。人体蛋白质的含量占总固体量的45%,肌肉与内脏的含量较多,骨骼、牙齿及脂肪组织内含量较少。

在人体和动物体内的一些蛋白质如骨、毛发、指甲多以凝胶状态存在,使组织器官具有一定的形状、强度和特性;某些蛋白质如血液、淋巴液则以溶胶状态存在于各种体液中;其他蛋白质如肌肉和内脏等则以凝胶和溶胶的混合体系存在。

### 一、蛋白质在生命活动中的作用

蛋白质在生命活动中起着极重要的作用。

人体和一切生物体中新陈代谢的化学变化几乎都需要酶进行催化,目前已发现的酶全部是蛋白质。调节新陈代谢的活性物质如维生素必须先与酶结合然后才能发挥作用。

许多调节代谢的激素也是蛋白质。

生命活动所需要的若干小分子物质和离子必须依赖某些特异性的蛋白质分子予以运轨。例如红细胞(erythrocyte)的血红蛋白(hemoglobin)和肌肉细胞的肌红蛋白(myoglobin)都是运轨氧的蛋白质,血浆中的转铁蛋白(transferrin)是一种运轨铁的蛋白质。

蛋白质在若干组织或细胞中进行着某种协调的动作(coordinated motion)。例如肌肉的主要成分是蛋白质,肌肉的收缩事实上是由两种蛋白质〔肌动蛋白(actin)和肌球蛋白(或称肌浆球蛋白,myosin)〕的相互协调滑动而出现的。在显微镜下所看到细胞在有丝分裂过程中的纺锤丝(spindle fiber)影响染色体的移动,也是由于构成纺锤丝的蛋白质分子的协调动作所引起的。精子的活动也与构成精子尾部的蛋白质分子动作有关。

人体和哺乳类动物体的骨骼和皮肤之所以具有高度抗张强度,也是由于一种称为纤维蛋白质〔胶原(collagen)〕的作用所产生的。

抗体(antibody)是体内抵御致病微生物入侵的一种极为重要的免疫保护物质,它们也是一种高度专一性的蛋白质。

蛋白质还可以激发神经冲动(nerve impulse)。神经细胞接受刺激依靠着某种专一性的受体(receptor),如眼球视网膜柱形细胞(rod cell)的视紫红质(rhodopsin)是能够将外界的光能转换为生物电能而引起神经冲动的一种受体。胆碱能受体也是一种专一性的蛋白质,它与神经冲动从一个神经细胞传递到另一个神经细胞作用有关。

最近还发现蛋白质与个体的生长发育和分化过程有关,因为它可以控制基因(遗传信息)的作用。另外发现,蛋白质还以干扰素(interferon)的形式存在于细胞内部以消灭在抗体作用下漏网的入侵病毒。

## 二、蛋白质的分子组成

蛋白质的组成成分主要为氨基酸(amino acid),因此,氨基酸是组成蛋白质的基本单位。一般地说,蛋白质也是一种聚合物,氨基酸是它组成的单体。氨基酸主要是由碳、氢、氧、氮四种元素所组成,个别还有硫。就其化学性质而言,氨基酸是含氨基的有机羧酸,其一般结构式可表示如图1·11。

组成蛋白质的氨基酸已知的约有二十多种,但大多数蛋白质都只含有二十种氨基酸。所有氨基酸都有一个共同的特点,即在同一个分子上既有碱性的氨基( $-\text{NH}_2$ ),又有酸性的羧基

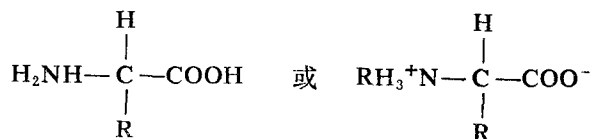
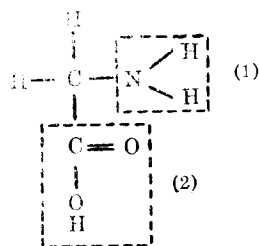


图1·11 氨基酸分子的结构式

( $-\text{COOH}$ ) (图1·12),因此它们象典型的两性化合物一样,对于酸是碱性物质,对于碱是酸性物质。这是为什么呢?

氨基酸在溶液中有时以羧基带负电,氨基带正电的形式存在(图1·11)。这种分子因同时具有正负两种离子物质,所以是两性离子<sup>①</sup>。因此,氨基酸在酸性溶液中带正电,在碱性溶液中带负电。可见氨基酸在溶液中带什么电荷是和溶液的PH值有关系的。



当溶液的PH调节到某一特定的数值时,其分子中酸性基团所产生的负电荷等于碱性基团所产生的正电荷时,分子即呈显电中性。这时溶液的PH值就称为该氨基酸的等电点(iso-electric point, pI)。

某些氨基酸的等电点如果偏向酸性(如谷氨酸的等电点为3.2),则称为酸性氨基酸;某些氨基酸的等电点如偏向碱性(如赖氨酸的等电点为9.74),则称为碱性氨基酸。含碱性氨基酸较多的蛋白质称为碱性蛋白质,其等电点大于7,如赖氨酸、组氨酸、精氨酸等;含酸性氨基酸较多的蛋白质称为酸性蛋白质,其等电点小于7,如天冬酰胺、谷氨酸等。

### 三、蛋白质的分子结构

蛋白质分子中所含的氨基酸虽然只有二十种,但组成一个分子蛋白质的氨基酸数目却很多,少的近一百个,多的可达数十万个,因此蛋白质的分子是非常巨大的。所以说蛋白质是由大量氨基酸组成的高分子化合物。人和动物体中结构复杂的蛋白质分子的体积非常大,例如胃蛋白酶和胰岛素的球形分子具有 $22\text{Å}$ <sup>②</sup>的半径,电子显微镜可以观察到;肌蛋白分子的长度约达 $60000\text{Å}$ ,已达到光学显微镜的可见程度。

那末,氨基酸是怎样连接起来而形成具有一定形状的蛋白质分子呢?关于这个问题已经做了许多研究,目前基本上已能够了解。

现在已知,蛋白质分子是由许多氨基酸分子通过肽键(peptide bond)依次缩合而成多肽链的。由二个氨基酸分子缩合而成的化合物叫做二肽,这两个氨基酸的键即肽键,其结构如图1·13所示。

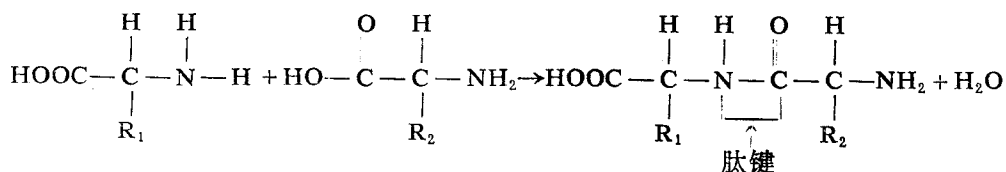


图1·13 肽键的结构

因此多肽键的结构可表示如图1·14。

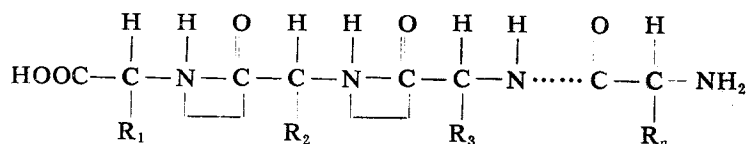


图1·14 多肽键的结构

注<sup>①</sup> 但目前习惯上仍常用未游离的分子式代表氨基酸分子的结构

注<sup>②</sup>  $\text{Å}$ ,埃(亦写成A,即Angstrom unit的缩写)为长度的单位,  $1\text{Å} = 10^{-10}\text{米(m)} = 10^{-8}\text{厘米(cm)} = 10^{-4}\text{微米}(\mu, \mu\text{m}) = 10^{-1}\text{毫微米(nm, m}\mu\text{)}。$