

1 绪 言

生物化学是一门力求在分子水平上描述生命物质的结构、组织和功能的学科。生命物质成分的化学结构是什么样的？这些成分之间是怎样相互作用形成有组织的超分子结构、细胞、多细胞组织和生物体的？为了存活，生命物质是怎样从它所处的环境中汲取能量的？为了生长和繁殖，一个生物体是怎样储存和传递遗传信息的？伴随着细胞和生物体的繁殖、老化和死亡，都发生了什么样的化学变化？这些都是生物化学家要面对的问题，解答这些问题将使人们透彻了解生命的化学本质，生物化学是所有生命科学的基础。

生物化学教材主要由三部分内容组成，本书是这样安排的：①结构化学，生物分子的结构及其生物功能与化学结构的关系(1~8章)；②遗传生物化学，遗传信息的储存、传递和表达(9~11章)；③新陈代谢，发生在生物体内的主要代谢反应(12~20章)。

1.1 20 世纪的生物化学

生物化学以独立科学出现只是过去 100 年内的事，但在 20 世纪前，科学家已经做了许多生物化学的基础工作。例如在 18 世纪，对反应动力学和分子的原子组成等基本化学原理方面的了解就有了长足进步。而在 19 世纪末，生物体中产生的许多化学物质都已被鉴定。从那时起，生物化学就变成了一个有组织的学科，生物化学家阐明了许多生命化学过程。但生物化学快速发展大都发生在 20 世纪，它是一门年轻的现代科学。

在生物化学的历史上有两次重大突破：酶作为催化剂的作用和核酸作为信息载体分子的发现。

第一次突破是酶作为生物反应催化剂的作用被证实。1897 年 Eduard Buchner 的实验表明，使用酵母细胞磨碎后的提取液能够催化葡萄糖发酵生成乙醇(酒精)和二氧化碳，证明发酵是提取液中的酶在起作用。但在该研究之前，很多科学家一直认为只有活的酵母细胞才能催化这样复杂的生物反应。在接下来的 10 年中，研究发现许多其他代谢反应，反应途径也可在体外重现，而且能够确认催化每个反应的酶。

1926—1936 年，科学家先后制备了脲酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶和胰凝乳蛋白酶结晶，证明酶是蛋白质。不过这一传统观念又在 1981 年被 S. Altman 和 T. C. Cech 的发现打破，他们发现一种具有酶功能的 rRNA 能够将内含子切掉，再将外显子拼接起来，他们将这样的 RNA 称为核酶。后来又发现了具有 DNA 连接酶活性的 DNA 片段，人们称它为脱氧核酶。所以，现在酶的定义应当是“酶是具有催化功能的蛋白质或核酸”。

第二次突破是核酸作为信息载体分子被证实，1944 年 Oswald Avery、Colin MacLeod 和 Maclyn McCarty 从致病的肺炎链球菌中提取了 DNA，然后将该 DNA 与非致病的肺炎

链球菌混合,结果非致病菌永久地被转化为致病菌。这个实验提供了决定性的证据:脱氧核糖核酸(DNA)是遗传信息的载体,但当时大多数生物化学家相信只有蛋白质能负载遗传信息,因为蛋白质足够复杂。

1953年是个里程碑之年,Watson和Crick提出了DNA双螺旋结构,并立刻意识到DNA能够自我复制,并将遗传信息传给下一代。就像Crick于1958年预言的那样,通常信息流会从核酸流向蛋白质,但不能反向流动。他认为由核酸向蛋白质的单方向流动为分子生物学的中心法则(图1.1)。

DNA双螺旋结构的发现是个里程碑,并由此推动了20世纪生物化学的飞跃式发展。

1963年,在Watson-Crick文章发表之后10年,遗传密码被破译,mRNA被发现,这是了解遗传信息表达的关键。

1973年,第一个重组DNA分子被制造出来,打开了通向人类健康、农业、医学和环境科学的实际应用之门。

1985年,科学家们已经懂得如何化学合成任一核酸片段和通过聚合酶链式反应扩增微量DNA片段,任何基因都可被克隆和突变,使得任何设想的变化都可整合到基因的结构中。

20世纪90年代初,科学家们不仅知道怎样将一个新基因引入到植物和动物的种系中,而且也知道破坏或敲除一个已存在的基因,使得人们能够分析任何基因产物的代谢功能。

2001年,公布了几乎完整的人类基因组核苷酸序列——DNA的 2.9×10^9 碱基对,代表了20000个以上的不同基因。

2002年,科学界又发现了小的干扰RNA(iRNAs)可以调控基因。基因组序列分析和基因受RNA调控在21世纪具有美好应用前景。

生物化学革命离不开生物新技术的开发。在双螺旋发现和人类基因组测序完成之间的半个世纪期间,正是生物化学和生物物理中强有力的新研究技术——X射线晶体学、质谱、[核]磁共振、高分辨分离技术、蛋白质和核酸的自动测序和单个分子可视化等技术点燃引发了生物科学革命的。

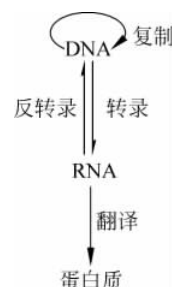


图1.1 分子生物学的中心法则

1.2 生物化学的化学基础

有机化学研究碳和氢的化合物及它们的衍生物。因为生物细胞由碳化合物组成,所以,生物分子也是有机化学的一个主题。那么,有机化学家在实验室能制造出生命分子吗?一直到19世纪初,包括“出现在生物体中的物质不能在实验室生产”观点在内的“活力说”还被广泛地接受。然而在1828年德国化学家Friedrich Whole通过一个关键实验推翻了这一论点。他通过加热无机化合物氰酸铵(NH_4OCN)合成了人们熟悉的动物代谢废物尿素(H_2NCONH_2)。这个实验第一次表明生物体专有的化合物也能够由普通无机物质合成。后来的事实表明所有出现在生物体内的化合物,例如蛋白质与核酸等生物分子几乎都能在实验室合成,虽然某些情况下这样的合成即使对最精于合成的有机化学家也是一个相当大的挑战。

生物分子可按它们的官能团进行分类,并通过有机化学的方法加以描述。表 1.1 列出了生物化学常见的基本类型有机化合物和官能团。请注意其中的大多数官能团都含有氧和氮,两者都是电负性较强的元素。因此许多这样的官能团都是极性的,而它们的极性在它们的反应性中起着非常关键的作用。重要种类的生物分子都含有决定它们反应性质的特征官能团,将在描述这些生物分子时具体讨论这些官能团的反应特性。

表 1.1 生物化学中常见的官能团和键

化合物种类	结构通式	官能团和键
醇	ROH	—OH (羟基)
醚	ROR	—O— (醚键)
胺	RNH_2 R_2NH R_3N	$\text{—}\overset{\text{<}}{\underset{\text{>}}{\text{N}}}\text{—}$ 或 $\text{—}\overset{+}{\underset{ }{\text{N}}}\text{—}$ (胺基)
硫醇	RSH	—SH (巯基)
醛	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	$\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{—}$ (羰基)
酮	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}$	$\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{—}$ (羰基)
羧酸	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	$\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ (羧基)
酯	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OR}$	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{—}$ (酰基) $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O—}$ (酯键)
硫酯	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{SR}$	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{—}$ (酰基) $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{S—}$ (硫酯键)
酰胺	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NR}_2$ $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NHR}$ $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{—}$ (酰基) $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{N—}$ (酰胺键)
磷酸酯	$\text{R}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{P}}(\text{OH})_2$	$\text{—O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{P}}(\text{OH})_2$ (磷酸基) $\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{P}}(\text{OH})_2$ (磷酰基)
二磷酸酯	$\text{R}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{P}}(\text{OH})_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{P}}(\text{OH})_2$	$\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{P}}(\text{OH})_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{P}}(\text{OH})_2$ (磷酸酐基)

一些对于有机化学家来说极其重要的基团,如卤化烃和酰氯没有列在表 1.1 中,因为含有这些基团的分子在生物化学中很少出现。相反,虽然含碳的磷酸衍生物在有机化学的入门课程很少被提到,但是磷酸的酯和酸酐化合物在生物化学中却至关重要。例如三磷酸腺苷(ATP),一种作为细胞能量货币的分子既含有涉及磷酸的酯键,又含有酸酐键(图 1.2)。

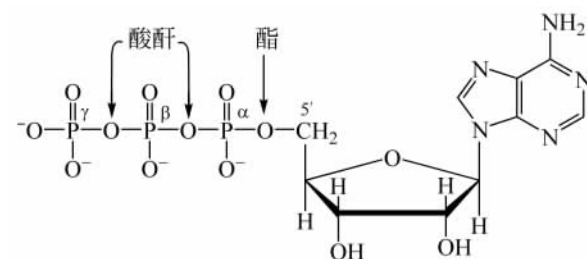


图 1.2 ATP 的结构

分子中存在 2 个酸酐键和 1 个酯键

1.3 生物分子

许多重要的生物大分子都是由构件聚合形成的聚合物,例如,蛋白质的构件是氨基酸,核酸的构件是核苷酸,多糖的构件大多为葡萄糖等,这些构件又称为单体。由单体形成聚合物需要进行连续多步的缩合反应,整合到聚合物的单体常被称为残基。有的聚合物是由一种单体聚合形成的,像一些多糖就是由单一葡萄糖残基聚合的产物,而像蛋白质和核酸那样的生物大分子则是由不同种类残基按照特定顺序聚合的产物,残基的序列决定它的功能。

1.3.1 蛋白质

蛋白质的构件是氨基酸,所有细胞蛋白质基本上都是由 20 种标准氨基酸组成的。所有氨基酸都至少含有两个功能基团——出现在 α 碳上的一个氨基和一个羧基,氨基酸之间的差别主要表现在侧链(R)上。图 1.3 中的二肽就是由一个氨基酸的羧基与另一个氨基酸的氨基缩合形成的。蛋白质就是氨基酸的聚合物,自然界中发现的各种各样的蛋白质,它们的氨基酸组成和排列顺序都不同。蛋白质的功能取决于它的三维结构,而三维结构又是由它的氨基酸序列确定的,当然氨基酸的序列最终是由基因编码的。蛋白质分为纤维蛋白,如构成毛发的角蛋白,以及具有催化功能和其他功能的球蛋白。

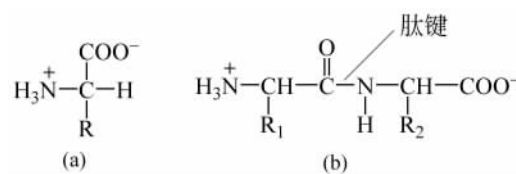


图 1.3 氨基酸结构和二肽

(a) 氨基酸含有一个氨基和一个羧基,不同氨基酸含有不同的侧链(R); (b) 二肽是由两个氨基酸之间反应形成肽键生成的

1.3.2 核酸

核酸是由核苷酸的单体组成的大分子,在核酸一章将会看到核苷酸含有一个核糖或脱氧核糖、一个含氮的杂环碱基和至少一个磷酸基团。核苷酸中的碱基是嘌呤和嘧啶碱基。出现在 DNA 中的碱基有腺嘌呤(A)、鸟嘌呤(G)、胞嘧啶(C)和胸腺嘧啶(T); 出现在 RNA 中的碱基有腺嘌呤(A)、鸟嘌呤(G)、胞嘧啶(C)和尿嘧啶(U)。在核酸分子中,核苷酸之间

通过磷酸二酯键共价连接,共价连接的核苷酸称为核苷酸残基(图 1.4)。

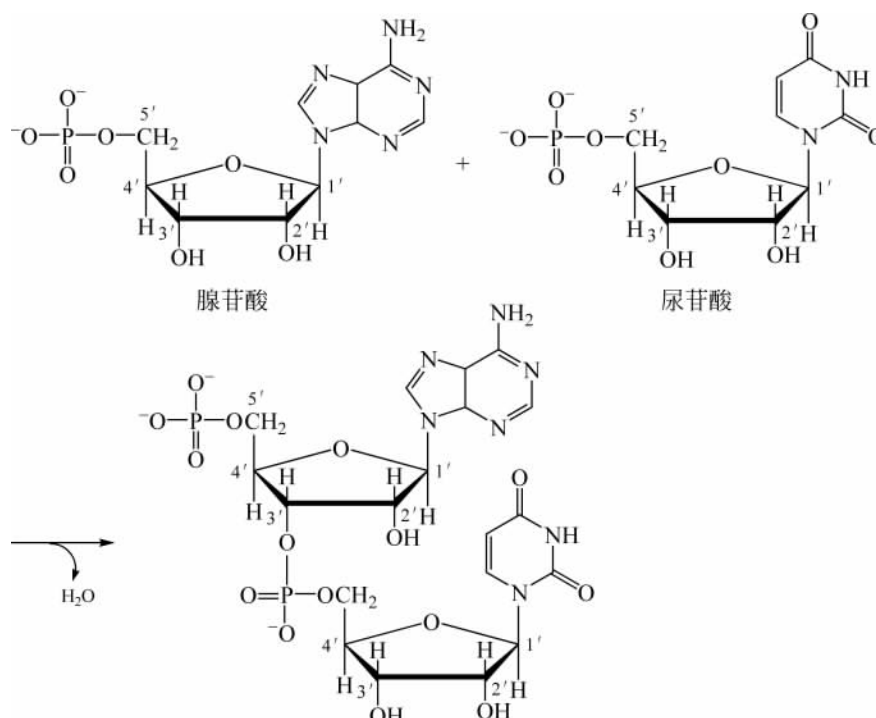


图 1.4 二核苷酸的生成

两个核苷酸通过形成磷酸二酯键生成二核苷酸

在 DNA 分子中两条核苷酸链的碱基以互补配对的方式相互作用,A 与 T 配对,而 G 与 C 配对,整个 DNA 分子形成一个螺旋结构,特定的碱基序列负载着遗传信息。有些核酸分子很大,例如人的一些染色体含有 1 亿以上核苷酸残基的 DNA 分子。但细菌含有的基因比哺乳动物少,通常含有小的、环状的 DNA 分子。

RNA 是从 DNA 中一条模板链转录而来的单链聚核苷酸。主要存在着三种类型 RNA,包括直接将来自 DNA 的信息转移给蛋白质的信使核糖核酸(mRNA)、专门负载用于蛋白质合成的特定氨基酸的转移核糖核酸(tRNA)和组成蛋白质合成机器的核糖体核糖核酸(rRNA)。DNA 中的基因信息经转录形成成熟的 mRNA,然后进入 rRNA 和蛋白质复合物核糖体,通过 tRNA 上的反密码子识别 mRNA 上的三联体密码子,并将 tRNA 负载的特定氨基酸转移到延伸的肽链上,可以说蛋白质是通过依次解读 mRNA 上的密码子合成的。

1.3.3 多糖

糖主要是由碳、氢和氧组成的,包括简单的单糖、多糖和其他的糖衍生物。单糖和多糖的残基一般都含有几个羟基,因此也被称为多元醇。大多数常见的单糖含有 5 个或 6 个碳原子,最常见的五碳糖是核糖,核糖是核糖核酸(RNA)的糖成分,而出现在脱氧核糖核酸(DNA)中的是 2'-脱氧核糖。葡萄糖是常见的六碳糖。

葡萄糖是储存多糖糖原和淀粉及结构多糖纤维素的构件分子。在这些多糖中,每一个葡萄糖残基的 C-1 都是与下一个葡萄糖残基的 C-4 羟基形成糖苷键(图 1.5)。不过淀粉和

糖原与纤维素之间的糖苷键不同,前者形成的是可被淀粉酶降解的 $\alpha(1\rightarrow4)$ 糖苷键,而纤维素形成的是可被纤维素酶降解的 $\beta(1\rightarrow4)$ 糖苷键。纤维素是地球上最丰富的生物聚合物。结构多糖除了纤维素外还有几丁质和糖胺聚糖,这些内容将在第6章中详述。

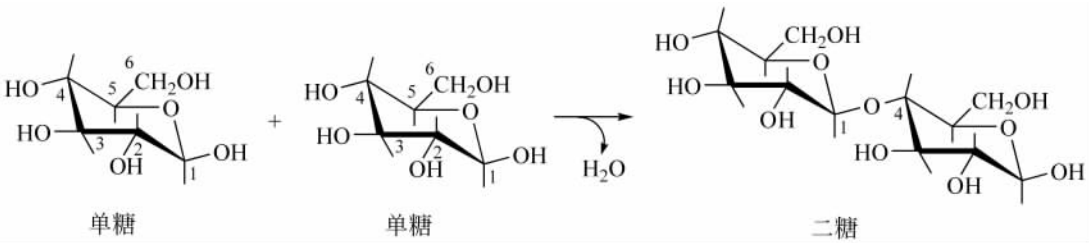


图 1.5 二糖的生成

二糖是由一个单糖的 C-1 与另一个单糖的 C-4 通过形成糖苷键生成的

多糖还包括称为复合糖的蛋白聚糖、肽聚糖和糖蛋白,其中的糖成分大多为杂多糖。复合糖在细胞之间的相互识别、黏附、发育过程中的细胞迁移、血液凝固、免疫反应和愈合过程中发挥着重要的作用。

1.3.4 脂和生物膜

脂是一类定义为不溶于水的有机分子化合物。某些脂是储能分子,某些脂是膜的结构成分,还有些脂参与细胞内和细胞之间的通讯。最简单的脂是脂肪酸,它是带有羧基的长的碳氢链。生物体内游离的脂肪酸含量很少,大都以三酰甘油(或称为脂肪)和甘油磷脂的化合物形式出现在生物体内。三酰甘油是哺乳动物中最丰富的一类脂,由一分子甘油与三分子脂肪酸通过酯键构成的。而甘油磷脂是甘油-3-磷酸与两个脂肪酸形成的磷酸酯,通常磷酸还共价连接着一个极性头(例如乙醇胺)(图 1.6)。

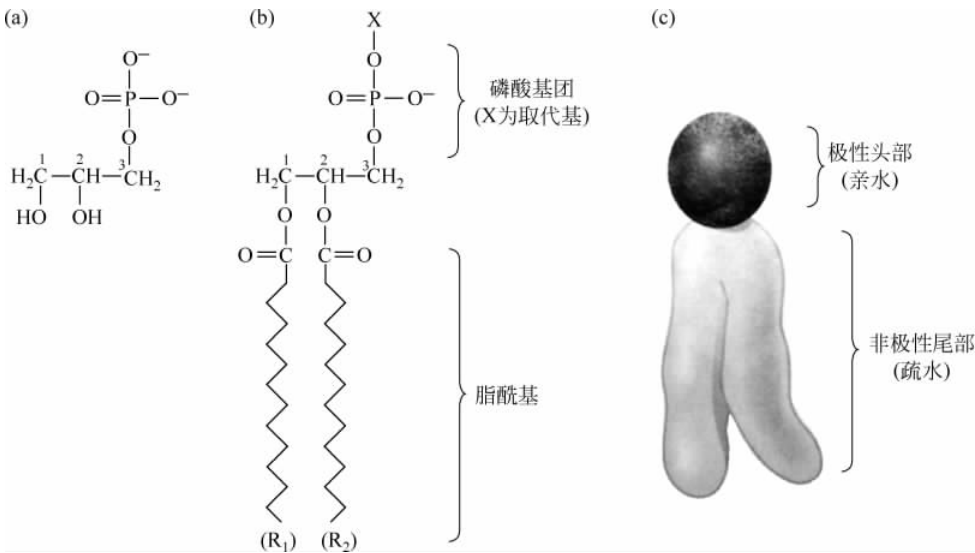


图 1.6 磷脂结构

(a) 甘油-3-磷酸; (b) 甘油磷脂,两个非极性脂肪酸链通过酯键连接到甘油-3-磷酸上,X 为磷酸基团的取代基; (c) 以磷脂为代表的膜脂模型,分子由一个极性头和一个非极性尾(两个脂酰基)构成

由于磷脂既连有疏水的脂肪酸链,又连有极性头,所以磷脂是个两性脂,是生物膜的主要成分。生物膜是由以磷脂为主的膜脂构成的脂双层,脂双层构成了所有生物膜结构的基础。生物膜将细胞或细胞内的区室与周围的环境隔离开,大多数生物膜都含有镶嵌在膜内或附着在膜上的蛋白质。某些膜蛋白可以形成营养物质进入或废物排出的通道,而有些膜蛋白可以催化发生在膜表面的特异反应。

1.4 生命的基本单元——细胞

维持生命活动的绝大多数反应都发生在细胞内。细胞是生命组织的基本单位,所以讲到生物分子的功能及这些分子代谢的反应都离不开细胞,因此有关细胞结构和功能的基本知识对于学好生物化学也是非常重要的。

1.4.1 细胞的分子组织层次

图 1.7 给出了阶梯式的细胞分子组织层次。形成生物分子的主要前体是 H_2O 、 CO_2 和 3 种无机氮化合物——氨(NH_3)、硝酸盐(NO_3^-)和氮气(N_2)。

第一步,无机前体转化为代谢物——简单的有机化合物(如丙酮酸和柠檬酸等)。这些化合物是细胞能量转换和各类构件合成中的中间物,由它们可合成氨基酸、糖、脂肪酸和甘油。这些构件可通过共价键形成大分子,如蛋白质、多糖、多核苷酸(DNA 和 RNA)和脂质(严格地讲脂质含有很少构件,确实不像其他大分子多聚物)。

然后,大分子内相互作用产生下一个水平的结构组织:超分子复合物。一类或多类大分子的不同成员聚集形成具有重要亚细胞功能的特化组合体(靠非共价键维持),例如核糖体、染色体、细胞骨架和多功能酶。从图 1.3 看到在细胞的阶梯式分子组织中,细胞器占据了下一个高台阶,但细胞器只出现在真核细胞中,例如细胞核、线粒体、叶绿体、内质网、高尔基体、液泡及其他相对较小的过氧化物酶体和溶酶体等。最终细胞器等原生质体在膜包裹下形成了生命的基本单元——细胞。

生物分为原核生物和真核生物两大类,原核生物包括各种各样的细菌。真核生物包括原生生物、真菌、植物和动物。绝大多数真核生物为多细胞生物,但也包括单细胞生物,如酵母菌和草履虫。

1.4.2 原核细胞

单细胞原核生物细菌的染色体是一个环状 DNA 分子,细胞中没有细胞核,但有一个拟核区,没有其他细胞器,通常将这类细胞称为原核细胞(prokaryocyte)(图 1.8)。

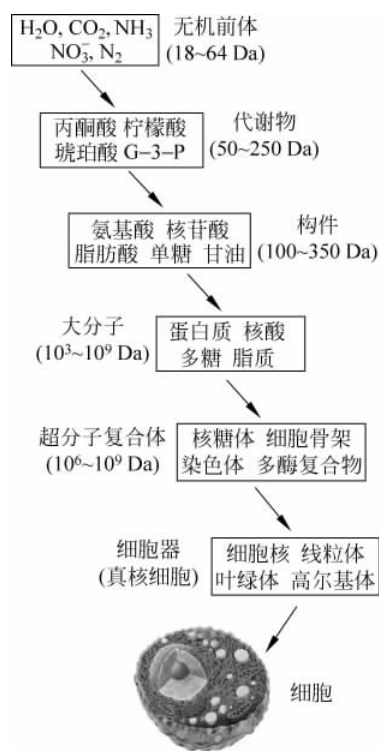


图 1.7 细胞的分子组织层次

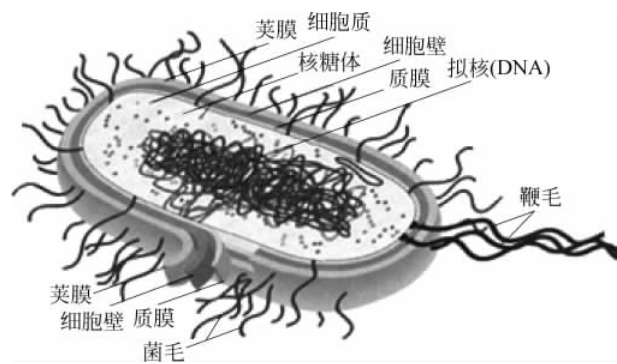


图 1.8 原核细胞

从图 1.8 中可看到,虽然原核细胞中没有膜包被的细胞核,但有一个 DNA 集中的拟核区,一个原核细胞至少含有一个拟核区。拟核区中封闭的环状 DNA 分子就是原核细胞的基因组,黏附在细胞膜上。原核细胞分裂前,DNA 自我复制,两个环状 DNA 分子都与质膜相连接。细胞分裂时两个子细胞分别得到 DNA 的一份拷贝。

在一个原核细胞中,拟核区外的细胞质中含有许多呈小颗粒状的核糖体。这些核糖体中含有 RNA 和蛋白质,因此又被称为核蛋白颗粒,它们是蛋白质合成的场所。

每一个原核细胞外都有一层与外面环境相隔绝的细胞膜,又叫作质膜系统,它是由脂分子和蛋白质分子组成的集合体。除了细胞膜外,在细胞膜外面,原核细菌还有一层细胞壁,主要是由多糖组成的,对细胞起保护作用,这个特点有点像植物细胞。

1.4.3 真核细胞

真核生物的细胞与原核细胞相比,在结构层次上要复杂得多,细胞内有膜包被的细胞核及许多具膜的细胞器,例如线粒体、高尔基体,以及由 DNA 分子、组蛋白和其他蛋白质等组成染色体,人们将具备这样特征的细胞称为真核细胞(eukaryocyte)。图 1.9 给出了典型的动物细胞与植物细胞的细胞结构。

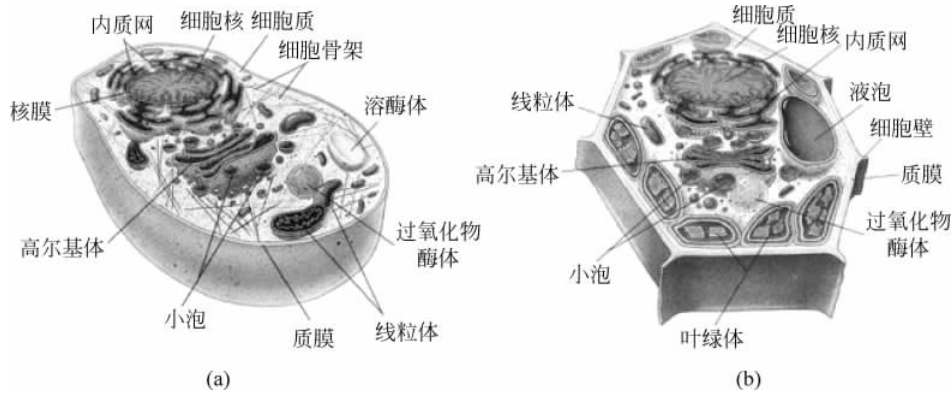


图 1.9 细胞结构

(a) 动物细胞; (b) 植物细胞

1. 细胞核

除了哺乳动物血液中的红细胞和维管植物的筛管细胞没有细胞核之外,其他所有真核细胞都含有一个由核被膜界定的细胞核。核被膜由两层膜组成,外层膜延伸与细胞质中糙面内质网相连,外膜上分布着许多核糖体颗粒。细胞核中有一个富含 RNA 的核仁。除了线粒体和叶绿体中一小部分 RNA 之外,细胞中 RNA 都是在核仁中合成,然后通过核被膜上的核孔运输到细胞质的核糖体。核仁中存在着由 DNA 和 RNA 组成的染色质。跟原核细胞一样,真核细胞中主要的基因组(它的核 DNA)在细胞分裂前被复制,两份 DNA 拷贝被平均分配到两个子代细胞中。

2. 线粒体

第二个非常重要的真核细胞器是线粒体,像细胞核一样,它也是双层膜包被的细胞器。外层膜的表面相当光滑,但是内膜向内折叠形成许多凸出的称为嵴的褶皱,嵴使内膜表面积增加,有利于氧化磷酸化反应进行。许多负责催化重要反应的酶分布在线粒体内膜上。线粒体被称为有机体的“发电厂”,在线粒体中发生的氧化反应为细胞提供大量能量。

线粒体基质中还含有 DNA 分子和核糖体,有一套自己的遗传体系。线粒体与细菌大小相近,DNA 分子也是环状的,人们推测它们有可能来自于被真核细胞吞噬的好氧细菌。

3. 内质网

内质网是由一个连续的单位膜形成的小管、小囊或扁囊(也称为膜层或潴泡)构成的内腔连通的连续网状膜。内质网分为糙面内质网与光面内质网两种类型。糙面内质网上镶嵌了许多核糖体,核糖体(也有一部分分布在细胞质中)是蛋白质合成、修饰加工、转运或输出的场所。另外,糙面内质网也是制造许多细胞器,如高尔基体、溶酶体及内质网和质膜的膜蛋白和磷脂的工厂。但光面内质网上没有核糖体,广泛存在于可以合成类固醇的细胞中,例如精巢的间质细胞、肾上腺皮质及其他分泌激素的细胞等。

4. 叶绿体

叶绿体是只有绿色植物才有的重要细胞器。叶绿体的外被是双层膜,内部有一个悬浮在基质中的复杂的膜系统。膜系统由一摞一摞的称为类囊体的扁平囊组成,一摞扁平囊(10~50)组成一个基粒,各基粒之间有埋在基质中的基质类囊体相连。光合作用色素和电子传递体都位于类囊体膜中。叶绿体和线粒体一样,拥有与核内 DNA 不同的环状 DNA 和核糖体,可以合成叶绿体中的部分蛋白质。

5. 其他细胞器和细胞组成

高尔基体由一些(4~8个)堆积排列的具有光滑膜的扁平囊和一些小泡组成。高尔基体被看作是细胞中蛋白质,特别是糖蛋白合成、加工、储存和转运中心,对分泌的糖蛋白具有修饰及转运作用。

溶酶体是一类由单层光滑膜包被的小泡,泡内含有多达 60 种的酸性水解酶,其中包括蛋白酶、核酸酶、糖苷酶、脂酶、磷酸酶、硫酸酯酶和磷脂酶等。这些酶在酸性条件(最适 pH 为 5.0)下能够将溶酶体吞入的蛋白质、核酸、多糖和脂类等生物大分子及细胞中失去功能的细胞结构碎片降解。

过氧化物酶体是一个由单位膜包裹的卵圆形或圆形小体。过氧化物酶体含有多种氧化酶,例如 L-氨基酸氧化酶、尿酸氧化酶(人类、鸟类等过氧化物酶体不含)及催化 H_2O_2 分解为 H_2O 和 O_2 的过氧化氢酶等。各种氧化酶有一个共同特征:在氧化底物过程中,氧化酶使

氧还原为过氧化氢,然后过氧化氢酶再将过氧化氢还原为水和氧。

乙醛酸循环体是存在于植物细胞中的一种细胞器,含有催化乙醛酸循环的酶。乙醛酸循环可将某些脂类转化为糖类,乙醛酸是乙醛酸循环的中间体。

细胞膜是由脂双层及镶嵌在上面的多种蛋白质构成的,主要功能是将其与外界环境相隔绝。质膜和所有生物膜都有选择透性,一些物质很容易通过膜,而大部分物质不能通过。但膜上的一些膜转运蛋白质可将特定的物质转运过细胞膜,进入细胞内。

植物细胞(以及藻类)的细胞膜外还含有细胞壁。植物细胞壁中的纤维素是植物的主要组成成分;木材、棉花、亚麻还有大多数品种的纸张中主要含有纤维素。

植物细胞中还含有位于细胞中央的巨大的液泡,液泡是一种位于细胞质中由单层膜包被的充满稀溶液的囊泡,其中溶有无机盐、氨基酸、糖类和包括花色素苷在内的各种色素。液泡的一个重要功能就是将那些大量产生不能及时排出的毒性代谢物质与细胞中其他物质相隔绝。这些代谢产生的废物可能有强烈异味,甚至有足够的毒性,可降低食草动物的食欲。