

第一章 生命系统的特征

研究各种生命现象是人类生存的需要，而探索生命现象的奥妙又会追溯到生命的起源。恩格斯说过：“生命的起源必然是通过化学途径实现的”。现代自然科学研究证明，这一论断完全正确。生命的进化与化学的进化同步！由无机物形成小分子有机物，由小分子有机物形成生物高分子，又由生物高分子形成超分子集合体，并进而形成生命的基本结构单位——细胞。这中间经历了多种多样的化学变化 在一系列量变和质变过程中 生命产生了。

第一节 生命对化学元素的选择

一、构成生物体的主要元素

在生物体中能维持生命活动的必需元素称为生命元素，它们的重要性、数量和分布方式相差很大。有些可以叫做基本元素，因为在所有的生物体中都有；有些元素却只存在于某些生物中。迄今为止，在生物体中发现的元素有 60 多种。其中有 27 种是细胞中所具有的，也是生物体所必需的。在这 27 种元素中有 6 种，即 C、H、O、N、P 和 S 对生命起着特别重要的作用，大部分有机物是由这 6 种元素构成的。Ca、K、Na、Mg 和 Cl 等 5 种元素在生物体内虽然较少，但也是必需的。此外 Mn、Fe、Co、Cu、Zn、Se、I、Cr、Si、V、F、B、Mo、Sn、Ni 和 Br 等 16 种微量元素也是生命不可缺少的。构成生物体的元素具有下列特点。

(1) 生物体是在地球上产生的，并同环境变化一起沿着生态系统的稳定性，有选择地取舍环境中的物质而进化发展的，所以构成生物体的元素都是环境中存在的，且丰度较高。

(2) 生物体所必需的元素绝大多数为轻元素，如周期表中开头的 34 个元素中即有 21 个元素是动物生活所必须的，这样就使生物体有较轻的重量。

(3) 生物体所必需的微量元素大多为过渡元素，这与它们核外的原子轨道中有未被填满的 d 轨道有关。

(4) 碳、氢、氧、氮具有易形成共价键的共同性，它们能相互作用、生成大量不同形式的共价化合物。因为共价结合的强度与所结合原子的相对原子质量成反比，所以这四种元素能形成很强的共价键。

(5) 在碳的有机分子中，由于围绕每个单键结合的碳原子的电子对具有四面体构型，借碳—碳键可形成许多不同的三维空间结构，因此可形成线性、分枝状或环状的骨架。碳原子还可以和氧、氢、氮、磷和硫形成共价结合并把不同种类的功能基引入有机物分子结构中。

(6) 碳、氢、氧等形成的许多有机化合物在生理温度（0~40℃）下具有流动性。CO₂ 常温下为气体，SiO₂ 在常温下为固体，所以硅虽与碳很相似，但从流动性来看并不能构成生命物质的骨架。

表 1-1 是人和一种植物苜蓿的组成元素。从中可看出动物、植物都主要由 10 种左右元素组成。通过人与苜蓿的比较可看出，植物比动物氧的含量高而氮、硫的含量少。这是由于植物体的细胞壁及细胞内贮藏的糖及其相关物质较多所致；此外动物体内钠较多，而植物体内钾较多。

表 1-1 生物体中元素的平均组成

元 素	成人/%	苜蓿/%
碳	48.43	45.37
氧	23.70	41.04
氮	12.85	3.30
氢	6.60	5.54
钙	3.45	2.31
硫	1.60	0.44
磷	1.58	0.28
钠	0.65	0.16
钾	0.55	0.91
氯	0.45	0.28
镁	0.10	0.33
总计	99.96	99.96

二、元素的存在形式

在生物体内，元素存在于无机物或有机物中。在无机物中除了少量的氧和氮外均以化合物形式存在，主要是水和无机盐；而有机物则以糖类、脂质、蛋白质和核酸等化合物形式存在于生物体内。氢、氧两元素主要以水的形式存在于体内，其余的氢、氧元素则与碳元素一起存在于体内的有机物中；氮元素主要存在于组织蛋白质和核酸中；磷以磷酸盐形式存在，少部分存在于核酸、磷脂和糖的磷酸酯中；硫大部分存在于蛋白质中；钾主要存在于细胞内液中；而钠、氯主要存在于细胞外液中。

三、生物体内的微量元素

此类元素在生物体内含量极低，但其中很多对于生物体是必需的（见表 1-2）。许多微量元素是酶的激活剂或是酶的辅因子。例如铁是血红蛋白和细胞色素的主要成分，碘是甲状腺素不可缺少的微量元素，铬可以协助胰岛素起作用。

表 1-2 生物体内的微量元素

元 素	原子序数	功 能
硼	5	某些低等植物必需的生长因子
氟	9	大鼠生长因子，可能是牙及骨骼的组成成分
钠	11	细胞外重要离子
镁	12	许多酶的辅因子，叶绿素及骨骼的组成成分
硅	14	禽类羽毛和骨骼生长所必需
氯	17	主要的细胞负离子，对维持水平衡、渗透压和酸碱平衡是必需的
钾	19	细胞的主要阳离子
钙	20	骨骼的主要成分，神经肌肉功能需要它
钒	23	对低等植物、某些海洋生物及大白鼠是必需的
铬	24	促进葡萄糖的利用，与胰岛素的作用有关
锰	25	多种酶如丙酮酸羧化酶等的辅因子
铁	26	血红蛋白的组成成分
钴	27	维生素 B ₁₂ 的组成成分
铜	29	血蓝蛋白的组成成分（无脊椎动物）
锌	30	许多酶如羧肽酶的辅因子，胰岛素的组成成分
硒	34	肝功能所必需，绿色植物生长因子
钼	42	几种酶如黄嘌呤氧化酶的辅因子
锡	50	大白鼠生长因子
碘	53	甲状腺素组成成分

第二节 生命系统的环境

一、水是生命系统的环境基础

(一) 水在生物体的分布及存在形式

水是生物体的主要成分。生命物质所含的无机物中按质量来说水占第一位，平均含量为 65%~90%。在不同机体或同一机体的不同器官中水的含量也有很大差别。例如人体各部分的含水量，骨髓为 22%，肌肉为 76%，脑为 70%~84%，心脏为 79%，肝脏为 70%，皮肤为 72%，血液为 83%。水的含量也随年龄不同而不同。例如人类四个月的胎儿含水量为 91%，成人则为 65%。有些海栖动物如水母 96%~99% 是由水组成的，幼嫩植物含水约 70%，细菌孢子含水约 10%。在生物体内只有一部分的水是以自由的形式存在，这部分水能自由流动，所以是较好的溶剂和运输工具；另一部分水则与体内的蛋白质、粘多糖相结合，因而比较难流动，这部分水称为结合水。在结合的水中一小部分与体内的离子相结合而成为离子水化的水，此类水不能用以溶解其他物质，并且与离子相牵连、不能单独流动。体内结合水的大部分则是用以膨润亲水胶体而存在于胶粒的间隙中。例如在体内心肌含水 79%，血液含水 83%，此二种组织的含水量相差仅 4%，而在形态上心肌坚实血液泛流，其原因就是心肌所含的水均为结合的水，而血液所含的水则多为自由的水，但血液在体外凝固时自由的水变为被凝胶所包围（即结合）的水而不能自由流动。

(二) 水在生物体内的作用

水分子是很强的极性分子，具有沸点高、比摩尔热容大、摩尔蒸发热大以及能溶解许多物质的特性，这些特性对于维持生物体的正常生理活动有着重要的意义。水是一种良好的溶剂，生物体内许多物质都能溶于水。因为水分子极性大，使溶解于其中的许多物质解离成离子，这样有利于体内化学反应的进行。水还直接参加水解、氧化还原反应。由于水溶液的流动性大，水在体内还起运输物质的作用，将吸收的营养物质运输到各组织并将各组织中产生的废物运输到排泄器官排出体外。水的比摩尔热容大，1mol 水从 15℃ 升至 16℃ 时需要 18cal^① 热量，比同量其他液体所需的热量要多，因而水能吸收较多的热量而本身温度升高不多。水的摩尔蒸发热较大，1mol 水在 37℃ 时完全蒸发需要吸热 10.3 kcal，所以蒸发少量的汗就能散发大量的热。再加上水的流动性大，能随血液迅速分布全身，因此水对于维持机体温度的稳定起很大作用。此外，水分还起润滑作用。最后，对植物来说，水分能保持植物的固有姿态，由于植物的液泡里含有大量水分维持细胞的紧张度使植物枝叶挺立，便于接受阳光和交换气体，这样才能保证良好的生长发育。

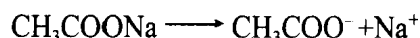
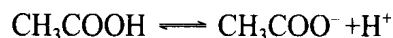
二、生命系统是一个缓冲系统

(一) 缓冲溶液

缓冲溶液是一种能在加入酸或碱时抵抗 pH 值改变的溶液，这种溶液用于很多需要准确控制 pH 值的生物化学实验中。

根据 Henderson-Hasselbach 方程，缓冲溶液的 pH 值取决于两个因素，溶液的 pK_a 值及盐和酸的比例。在 pH4~10 的范围内，氢离子和氢氧离子的浓度都很低，可以忽略不计，溶液里盐和酸的比例可以认为和混合在一起的盐和酸的比例相同。以醋酸与醋酸钠组成的醋酸盐缓冲液为例：

^① 1cal=4.184J。



醋酸只有微弱的解离，其浓度几乎和加入的量相同，而醋酸根离子的浓度可以认为和加入的醋酸钠的量相同，因为它能够完全解离。

若将 5ml、0.1mol/L 的醋酸钠和 4ml、0.1mol/L 的醋酸混合在一起，其 pH 值是多少呢？

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \frac{5}{9} \times 0.1 \text{ mol/L}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{4}{9} \times 0.1 \text{ mol/L}$$

醋酸在 25℃ 时的 $\text{pK}_a = 4.76$

所以，由 Henderson-Hasselbach 方程： $\text{pH} = \text{pK}_a + \lg \frac{[\text{质子供体}]}{[\text{质子受体}]}$

可得

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 4.76 + \lg \frac{5}{4} \\ &= 4.76 + (0.097) \\ &= 4.86 \end{aligned}$$

若在上述混合物中加入 1ml、0.1 mol/L 的盐酸，其 pH 值变化如何？

加入盐酸供给 H^+ ，它与醋酸根离子结合成醋酸。从而使醋酸根离子减少，而未解离的醋酸增多，结果使盐与酸的比例改变，以致使其 pH 发生了变化。

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \frac{5}{10} \times 0.1 - \frac{1}{10} \times 0.1 = 0.04 \text{ mol/L}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{4}{10} \times 0.1 + \frac{1}{10} \times 0.1 = 0.05 \text{ mol/L}$$

$$\text{pK}_a = 4.76$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } \text{pH} &= 4.76 + \lg \frac{0.04}{0.05} \\ &= 4.76 + (-0.097) \\ &= 4.66 \end{aligned}$$

该溶液的 pH 值从 4.86 降低到 4.66，只有 0.2pH 单位的变化，但若将这点酸加到蒸馏水中时，则 pH 值会降至 2，所以这种溶液有缓冲作用，抵消了加酸后的 pH 值变化。

缓冲溶液的缓冲能力是有限的，其抗 pH 值变化的能力也各不相同。只有当 $c_{\text{酸}}/c_{\text{碱}}$ ($c_{\text{碱}}/c_{\text{酸}}$) 在一定范围内，溶液的缓冲性能才比较显著。一般而言，缓冲溶液中各组分浓度比 $c_{\text{酸}}/c_{\text{碱}}$ ($c_{\text{碱}}/c_{\text{酸}}$) 可保持在 1/10~10/1 之间，这样缓冲溶液有效的缓冲范围就是 $\text{pH} = \text{pK}_a \pm 1$ ，即缓冲溶液的使用范围为其 pK 两侧 1 个 pH 单位。

(二) 生物化学中常用的缓冲溶液

实验室中常用的一些缓冲溶液如表 1-3 所列，它们和其他大多数缓冲液的有效范围大约是 $\text{pK}_a \pm 1\text{pH}$ 单位。

在很多生物化学实验中，常要维持 pH 值在 6~8 之间，但只有少数缓冲溶液在这个范围有效。

实际上，特定实验所需的缓冲溶液必须仔细地选择，因为有时影响实验结果的常常是

特殊离子的作用而不是 pH 值。如硼酸盐、柠檬酸盐、磷酸盐和三羟甲基氨基甲烷（Tris）等缓冲剂，都可能产生不需要的反应。硼酸盐会与许多化合物，如蔗糖，形成复盐；柠檬酸盐容易与钙结合，所以在有钙离子的情况下不能使用。

表 1-3 用于生物化学研究的缓冲液

酸或碱	pK _{a1}	pK _{a2}	pK _{a3}	酸或碱	pK _{a1}	pK _{a2}	pK _{a3}
磷酸	2.1	7.2	12.3	醋酸	4.8	—	—
柠檬酸	3.1	4.8	5.4	巴比妥酸	3.4	—	—
碳酸	6.4	10.3	—	Tris	8.3	—	—
甘氨酸甘氨酸	3.1	8.1	—				

磷酸盐在有些实验中是酶的抑制剂，甚至是一个代谢物。重金属易以磷酸盐的形式从溶液中沉淀出来，而且当它在 pH7.5 以上时，缓冲能力很小。

Tris 可以和重金属一起使用，但在有些系统中也起抑制剂的作用。其主要缺点是温度效应，这一点往往被忽视。在室温时 pH7.8 的 Tris 缓冲溶液，在 4℃ 时是 pH8.4，在 37℃ 时是 pH7.4。因此，4℃ 配置的缓冲溶液拿到 37℃ 测量时，其氢离子浓度就增加了 10 倍。而且，它在 pH7.5 以下缓冲能力很差。

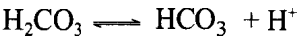
（三）pH 值和生命

多数细胞仅能在很窄的 pH 值范围内进行活动，而且需要有缓冲体系来抵抗在代谢过程中出现的 pH 值变化。在生物体中的三种主要缓冲体系是蛋白质、碳酸氢盐和磷酸盐（见表 1-4），每种缓冲体系所占的分量在各类细胞和器官中是不同的。

表 1-4 生物体的主要缓冲体系

系 统	解离反应	pK _a
蛋白质	$\text{HPr} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Pr}^-$	7.4
碳酸氢盐	$\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	6.1
磷酸盐	$\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$	7.2

哺乳动物血浆里最重要的缓冲体系是碳酸氢盐缓冲体系。



由 Henderson-Hasselbach 方程可知：

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \lg \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

血浆的 pH 值决定于碳酸氢盐与碳酸的比例，而不是决定于它们的绝对浓度。任何使 pH 值改变的趋势都可以被缓冲，并通过调节这个比例而得到校正。例如，在正常代谢反应中形成的大量的酸与碳酸氢盐形成难解离的碳酸，有效地除掉了游离的氢离子。碳酸中的 CO₂ 又能通过肺部排除，从而稳定了血浆的 pH 值。肾脏通过调节尿中酸或碱的排泄，也在保持体液的酸碱平衡中起重要作用，所以人尿的 pH 值的正常变化范围是从 4.8~7.5。

细胞外液通常是弱碱性的，pH 值为 7.4，而许多动物胞浆的平均 pH 值约为 6.8，在 37℃ 时是中性的。几乎可以肯定，细胞器的 pH 值不是 6.8，而且大多数细胞膜表面的 pH 值要低于 6.8，这是由于带负电荷的细胞表面吸收 H⁺ 的缘故。

人的血液能清楚地说明 pH 值调控的重要性。血液的 pH 值必须保持在一个很窄的范围内，人才能存活，健康人血浆 pH 值的变化范围就更窄了（见图 1-1）。

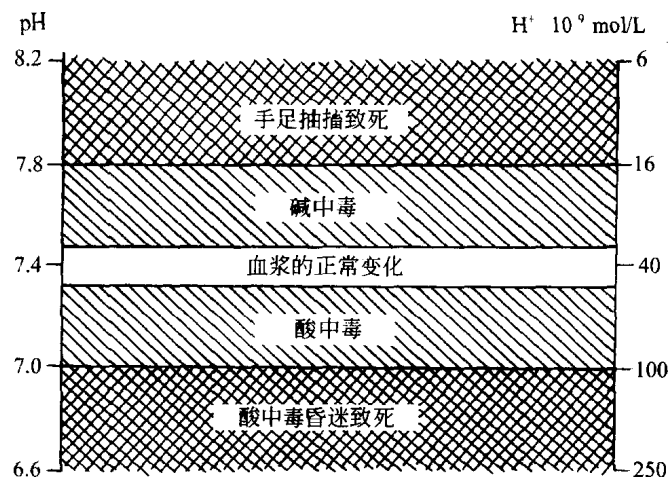


图 1-1 人血浆 pH 值变化的范围

植物胞浆的平均 pH 值和动物是一样的，但大多数陆地植物的细胞呈酸性的，其 pH 值在 5.2~6.5 的范围内。有些植物的果汁是很酸的（橙子和柚子，pH 值为 3），但这些酸多存在于其液泡中，因此和胞浆的其余部分不同。

细菌内的 pH 值也在中性左右，但许多细菌在 pH6 或 pH9 时都生长得很好，在这两个 pH 值下，氢离子浓度相差一千倍。含硫杆菌实际上能在 pH “0” 时繁殖，这是 1mol/L 硫酸的 pH；有些真菌在 pH11 时生长。多数对人致病的有机体生长最快的 pH 值是 7.2~7.6。虽然有些生物能在较宽的范围内生长，但常常是因为产生适应性的酶使极端的 pH 值变向中性，例如使氨基酸脱氨产生羧酸或脱羧产生胺。大肠杆菌在 pH7~8 生长时，脱氨酶增多，因而产生了酸；而在 pH4.5~6 时，脱羧酶增多而产生碱。

显然，较简单的生命形式能在 pH 值范围较宽的外环境中存活，但是其细胞内部的 pH 值并不随之有任何改变。

第三节 生命系统的结构基础——细胞

一、生物分子与细胞

生物的种类很多，形态结构千变万化，但是生物体结构的基本单位都是一样的，均由细胞构成（病毒除外）。细胞组织的结构层次如图 1-2 所示。按图 1-2 所排列的层次可看出生物体内生物分子的复杂性是逐步增加的。首先，所有有机生物分子最初都来源于环境中的简单的低分子前体如 CO_2 、水和大气中的氮。这些前体在生物体内通过一系列代谢中间物转变成结构单位的生物分子，即相对分子质量较大的有机化合物。然后，这些作为结构单位的生物分子通过共价键彼此连接成细胞的生物大分子。例如氨基酸是蛋白质的结构单位，核苷酸是核酸的结构单位，单糖是多糖的结构单位，脂肪酸是绝大多数脂质的结构单位。不同种类的大分子彼此结合成超分子集合体，例如核糖体是核酸与蛋白质形成的复合物。最后，不同的超分子集合体进一步组装成细胞器——核、线粒体及叶绿体等。

表 1-5 列出了大肠杆菌中几类主要生物分子的相对含量。水是大肠杆菌及所有细胞中含量最多的简单化合物，无机盐及矿物元素则含量很少。蛋白质是细胞中含量最多的大分子，占细胞干重的 50% 以上，大肠杆菌细胞可含有 3 000 种以上不同种类的蛋白质分子。大肠杆菌中含量第二多的大分子是核酸，其次是糖类和脂质。所有活细胞中几类主要生物分子的含

量与大肠杆菌细胞的比例大致相同。

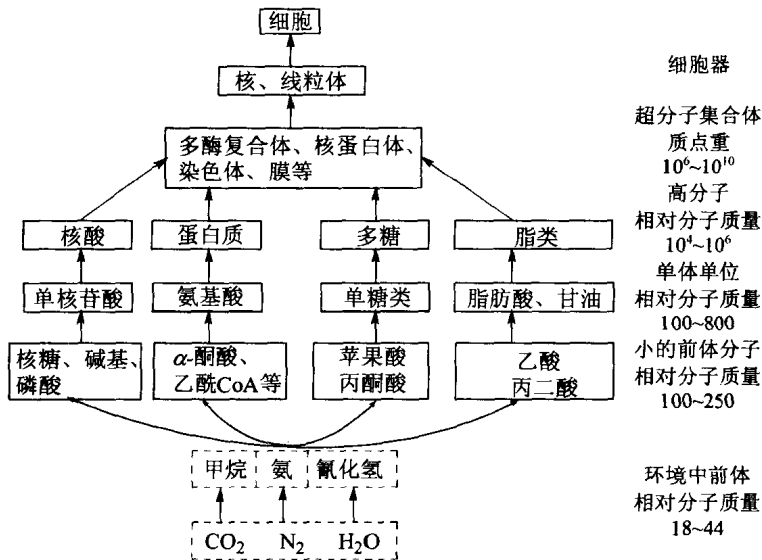


图 1-2 细胞的分子组成及其层次

表 1-5 大肠杆菌的生物分子组成

组 分	占总质量 分数/%	分子种类	组 分	占总质量 分数/%	分子种类	组 分	占总质量 分数/%	分子种类
水	70	1	核糖核酸	6	3 000	结构单位及中 间代谢产物	2	500
蛋白质	15	>3 000	多糖	3	5	无机离子	1	20
脱氢核糖核酸	1	1	脂质	2	20			

二、细胞的两大类——原核细胞和真核细胞

原核细胞(prokaryotic cells)是最简单、最小的细胞，如细菌等。原核细胞是进化过程中最初的生命体。在非洲和澳大利亚三十多亿年前的古地层中已经发现有原核细胞的化石。真核细胞(eukaryotic cells)出现于原核细胞出现之后约十亿年。它比原核细胞大得多，也复杂得多。它存在于所有植物、动物以及真菌之中。在原核细胞中，遗传物质很不规则地存在于核体或类核(nucleoid)之中，核体和类核外部没有膜。而真核细胞具有高度发展并相当复杂的细胞核，它被两层膜包围。

(一) 原核细胞

原核生物(prokaryotes)是由原核细胞构成的单细胞生命体。目前所知的细菌有三千多种。人们根据这些细菌的形状、运动能力、染色性质、营养物质的选取以及它们的产物，把它们分为二十多类。有些细菌是致病的，但是大多数是有益的。许多原核生物寄生在其他细胞或生物体中。原核生物虽然肉眼看不见，但是它们在生物界起了很重要的作用。地球上约 3/4 的生命物质由微生物组成，而其中大多数是原核生物。原核生物在生物界的物质和能量交换中起了重要的作用。具有光合作用的原核生物可把太阳光能转换成化学能，制造碳水化合物和其他细胞物质，而这些物质又成为其他生物的食物。有些细菌能把空气中的氮(N₂)转变成生物界可利用的含氮化合物。因此原核生物可视为生物界食物链的起始点。此外，各种细菌还可以降解死亡的动植物体，使其中的碳、氢、氧、氮等元素回到空气、土壤和水中。

去，重新开始生物界的循环。

原核细胞的结构以及遗传信息的复制和传递十分简单。它们是以简单的无性繁殖方式再生，即先生长成两倍体积，再分裂成两个相同的子细胞，每个子细胞获得它们上一代遗传物质的一个拷贝（copy）即一个复制品。原核细胞的遗传物质只是由一条双链 DNA（脱氧核糖核酸，deoxyribonucleic acid）组成，它们的遗传物质可以很容易地被诱变，而且培养这些原核生物很容易。因此人们可以把其他遗传信息赋予它们并予以培养，以达到科研和生产的目。原核细胞繁殖十分迅速，如大肠杆菌在 37℃、含有葡萄糖、硫酸铵及其他矿物质的溶液中，20~30min 就可以分裂一次。由于这些原因，原核细胞对于生物化学和分子生物学的研究有特别重要的意义。

在所有原核细胞中，大肠杆菌是被人们研究和了解得最多的一种（图 1-3）。大肠杆菌是一种常见的无害原核生物，它寄生在人和许多高等动物的肠道里。大肠杆菌呈杆状，长约 2μm，直径不到 1μm。它的外部是一层起保护作用的细胞壁（cell walls），在细胞壁内是一层细胞膜，也称为质膜。细胞膜内包裹着细胞质以及核，由于核外无核膜，故也将其称为核质或拟核。核由一条环状的双链 DNA 组成，也称为染色体 DNA。和所有的原核生物一样，大肠杆菌的遗传物质外部没有被膜包裹。除了染色体 DNA 外，大肠杆菌和大多数细菌的细胞质中还含有称为质粒的很小的环状 DNA。质粒在当今遗传工程中起到十分重要的作用，这些将在有关章节中讲述。

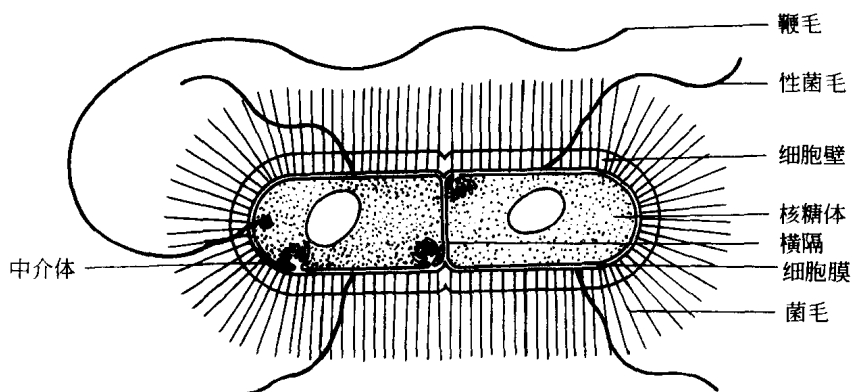


图 1-3 大肠杆菌细胞构造模式图

大肠杆菌细胞壁的外部包裹着一层粘液质的包被，上有短的突起的菌毛（pili），有些种系的大肠杆菌还有一根或数根能运动的鞭毛（flagellum）。细菌的鞭毛是一种细而硬的弯曲的毛，直径约为 10~20nm。

细胞膜是一种流动膜，是由膜脂组成的很薄的双分子层，中间还嵌有蛋白质。细胞膜具有选择渗透性，膜中含具有输送能力的蛋白质，它们把营养物质输入细胞，并把废物排出细胞。在大多数细菌的细胞膜中还含有十分重要的载电子蛋白质，它们能把营养物质氧化时产生的能量转变成 ATP（腺苷三磷酸，adenosine triphosphate）的化学能，供细胞在需要时使用。

在大肠杆菌细胞质的组成中有许多小的颗粒，核蛋白体（或核糖体）就是其中的一种。核蛋白体由核酸和许多蛋白质组成，是细胞中蛋白质合成的场所。它们工作时常在指导蛋白质合成的 mRNA（信使核糖核酸，messenger-ribonucleic acid）上面形成多个核蛋白体的串，

称为多聚核蛋白体 polyribosomes 或 polysomes)。

可以看到，最简单的细菌内各部分都有明确的分工。细胞壁是保护细胞的第一道防线；细胞膜起到往细胞内输送营养物质、往细胞外排出废物以及产生 ATP 等含有可被生命体利用的化学能物质的功能；细胞质是酶催化作用以及合成许多细胞化合物的场所；核质参与贮存和传递遗传信息。原核细胞是最小、最简单的细胞，但有些原核细菌已经能作出一些相当复杂的行为。趋化现象就是一个例子，它是细菌会向着营养物质运动以及离开毒物运动的统称。这说明它们有一种初级的感觉系统，能对鞭毛发出某种信号，推动细菌作出这种趋向性运动。此外，细菌还有某种初级的记忆。有些原核细胞有聚集在一起的趋势，这似乎是同种细胞形成多细胞器官的初步阶段，但真正的多细胞器官都是由真核细胞组成。

(二)真核细胞

典型的真核细胞比原核细胞大得多而且复杂得多，如高等动物的肝细胞直径约有 $20\sim 30\mu\text{m}$ 。真核细胞的体积要比细菌大几千到上万倍。有些真核细胞，如未受精的爬行纲及鸟纲动物的卵是十分巨大的，但其中大部分是为幼雏孵化而贮存的营养物质。有些人类的运动神经细胞可长达 1m 。真核细胞区别于原核细胞的最主要特征是它们具有被双层膜所包裹的、有固定形状的、结构复杂的细胞核。和原核细胞一样，真核细胞也经历无性分裂，但这是复杂得多的有丝分裂 (mitosis) 过程。真核细胞和原核细胞的另一个区别是它们具有被内部膜所包裹的细胞器，如线粒体 (mitochondrion)、内质网 (endoplasmic reticulum) 和高尔基体 (Golgi body) 等，它们具有代谢以及其他细胞生命活动的功能。动物、植物和真菌都是真核细胞构成的生物，简称真核生物。有许多真核生物是单细胞生命体，如各种原生物、硅藻、酵母和霉菌等。目前地球上有一百万种真核生物，而原核生物只有几千种。下面将介绍真核细胞 (图 1-4) 内部的各种细胞构造，这些构造精确地对应于细胞的各种专一活性。

1. 真核细胞的核 真核细胞的核中包含了几乎所有的细胞 DNA。在所有动物和植物细胞中，细胞核都被中间有一层狭窄空间的双层膜所包裹。两层膜上有许多核膜孔，通过这些小孔，各种物质可以在核与细胞质之间穿过。在核的内部是核仁 (nucleoli)，因为它富含核糖核酸 (ribonucleic acid, RNA)，所以染色较深。核仁是 RNA 生物合成的场所，这也是蛋白质按基因信息合成的第一个阶段——遗传信息从 DNA 传递到 RNA。核的其他部分含有染色质 (chromatin)，它们因其染色特性而得名。染色质由 DNA、RNA 和许多特殊的蛋白质组成。在分裂前，染色质分布在整個核中，但在即将分裂时，染色质组成相互分离的小颗粒，称为染色体。每一种真核细胞都有其特征的染色体数，如人体细胞的染色体数是 46 个。

2. 线粒体 真核细胞的细胞质中含有线粒体。由于细胞种属的不同，线粒体的大小、形状及在细胞中的数目和位置不同。线粒体有两层膜，它的外部被一层平展的外膜所包裹，线粒体的内膜呈折皱状，折皱向里突起的部分称为嵴 (cristae)，内外膜之间的空间称为膜间空隙。在内膜内部充满了凝胶状的基质 (matrix)。线粒体是产生细胞能量的场所，它们含有许多酶，协同完成细胞中的有机营养物质同氧分子的氧化过程，产生二氧化碳和水。这些酶有些分布在线粒体的基质中，有些则分布在线粒体内膜中。营养物质在细胞氧化过程中产生大量的能量，它们转化成 ATP 中的高能磷酸键，为细胞的各种生命活动提供能量。线粒体中还含有少量的 DNA、RNA 和核蛋白体，线粒体 DNA 编码合成内膜的某些特殊的蛋白质。

3. 内质网 几乎在所有真核细胞里都含有一种十分复杂的膜通道，称为内质网 (endoplasmic reticulum, 简称 ER)。内质网有两种类型，粗糙的和平滑的。粗糙内质网膜上散

布着核蛋白体，蛋白质在结合内质网上的核蛋白体中合成之后，可通过膜进入液泡的空间，有些暂时贮存在细胞内 有些则最后输送到细胞外 滑面内质网则在代谢和解毒上有重要作用

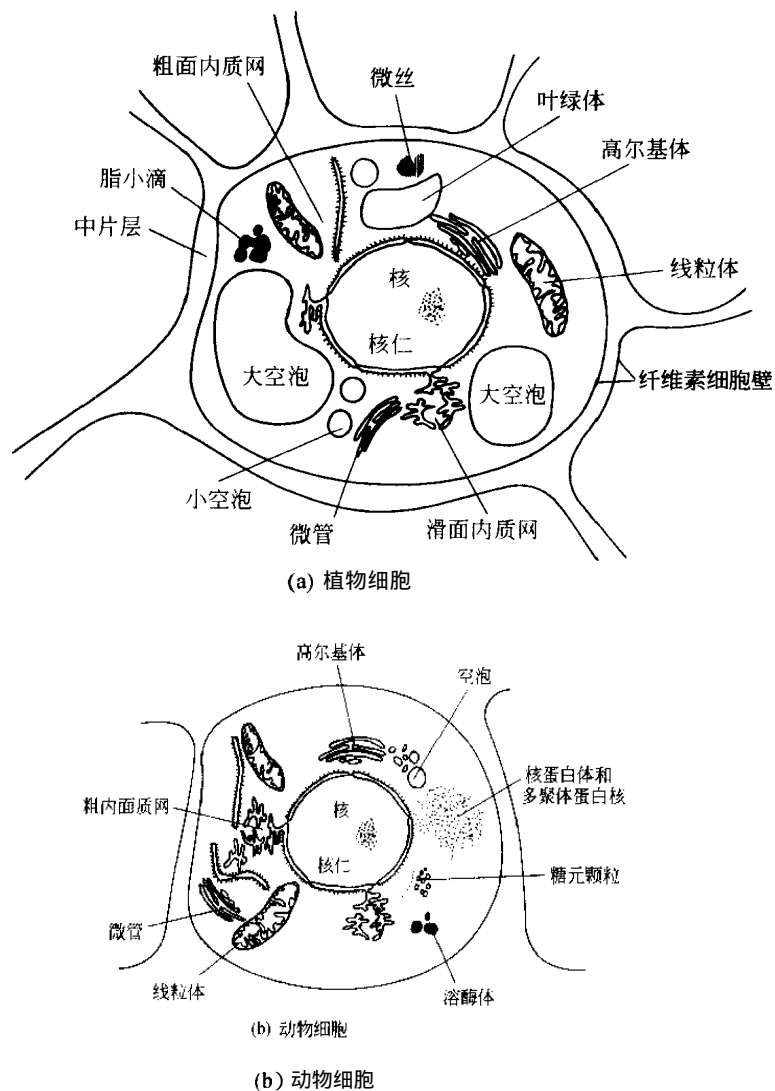


图 1-4 真核细胞模式图

4. 高尔基体 在不同类型的真核细胞中，高尔基体的形态有所不同，不过它们大多数是一群由平滑的单层膜包裹的小泡。高尔基体具有聚集、浓缩和储存蛋白质的作用。大的高尔基体能接受内质网中的某些细胞产物，把它们包裹入分泌小泡中。高尔基体在外层质膜上找到一定部位，并融合在其中。这种融合可以使高尔基体向外开口，把内含物释放到细胞外，这种过程称为胞吐作用（exocytosis）。

5. 溶酶体（lysosome）是细胞中由膜包裹的球状小泡。它们大小不一，内含许多不同的酶，能水解消化细胞中不再需要的蛋白质、多糖和脂。由于这些酶对细胞的其他部分有损害，所以它们被隔离在溶酶体中。蛋白质和其他物质能选择性地进入溶酶体，水解为组成它们的氨基酸等小分子化合物，然后重新释放回细胞质中。

6. 叶绿体 存在于藻类和绿色植物的细胞中，是光合作用的场所。

7. 微管和微丝 微管是由微管蛋白构成的长纤维，它们起细胞的骨架作用，可维持细胞的形状。纤毛、鞭毛和纺锤体中均有微管存在，主要起到运动作用。微丝是细胞中细长的蛋白质纤维，其功能不仅由于收缩作用使细胞质组分有方向性的运动，还能与微管组成细胞骨架并与质膜内表面的蛋白质结合而影响质膜的流动。

8. 胞浆 是蛋白质、核酸、糖类及其他代谢物组成的胶体溶液。许多代谢反应如糖酵解、氨基酸活化和脂肪酸合成在胞浆中进行。

9. 细胞膜 是含大量脂类、蛋白质的双分子层结构，使细胞成型，有通透、屏蔽等作用。核膜、线粒体膜等结构与功能与细胞膜相似。植物细胞还含有细胞壁，具有保护细胞、使细胞形状具有刚性的作用。

将某种生物组织置于合适的等渗溶液或 $0.25\sim 0.80\text{mol/L}$ 的蔗糖溶液中，调节 pH 值，在 $0\sim 4^\circ\text{C}$ 匀浆，低温离心，可将上述不同的细胞器和胞浆分开（图 1-5）。

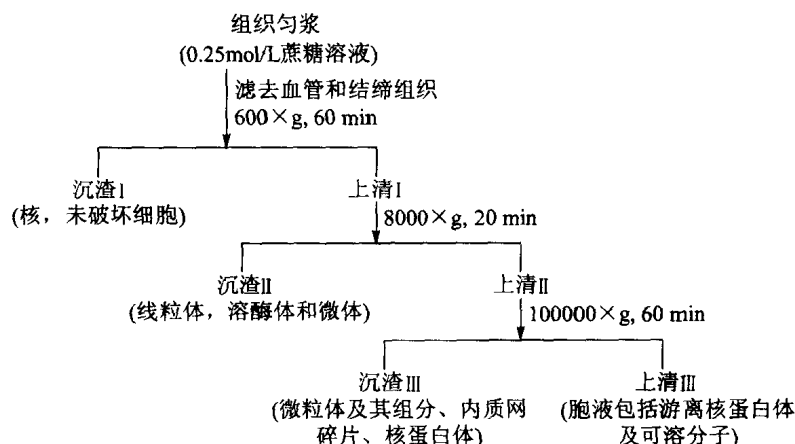


图 1-5 各种细胞器的离心分离

第四节 常见的生命科学研究系统

生命科学发展的初期局限在对生物大分子的化学和物理结构的研究。那时，生化学家已经发现了细胞内许多基本的化学反应，也认识到一些特殊的反应和决定细胞中许多性质的蛋白结构的重要性。但是，直到研究了像细菌和噬菌体那样的简单系统，取得了富有成果的进展之后，生命科学才得以发展。随后人们又开始以复杂的真核细胞系统作为实验对象（如果蝇、鱼类、线虫、轮虫、水蛭等），而且许多研究的特定目标都是探求这些生物个体的中枢神经系统是如何工作的，这类工作中的某一些取得了很大成功，并延续至今。

一、病毒

生命科学的一个重要命题是阐明基因调控原理，但是真核基因组的结构与调控原理十分复杂，动物病毒（virus）可提供一个简便的研究模型。实际上，在分子生物学中已知的有关真核基因组结构与调控原理，有许多是通过分子病毒学的研究获得的。众所周知，正是由于 RNA 肿瘤病毒逆转录酶的发现，才导致对中心法则进行了重大修改。病毒基因结构和表达的研究还阐明了有关真核基因表达调控的某些原理，如基因重叠、内含子的发现、转录后剪修、重复序列和增强子的存在等等，都大大丰富了分子生物学的内容。另外，多种病毒载体的出现，也为研究真核细胞基因表达提供了一个重要手段。

二、细菌

细菌 (bacteria) 是自由生活的单细胞生物, 具有单个染色体, 无核。与真核生物相比, 它们的物理结构简单, 是受到很好调节的高效生物。细菌具有许多特性, 使得它们成为研究基本生命过程的合适对象。细菌归纳起来有以下几个特点。

(1) 生长快、个体小 最常用的细菌是大肠杆菌 (*Escherichia coli*, 通常用 *E.coli* 表示), 在最适条件下, 37℃ 时, 每 20 min 分裂一次, 因此实验周期短, 易于取得数据。因为个体小, 细胞密度大, 所得数据的统计学可靠性较大。

(2) 易培养、易操作 细菌能够在液体培养基或固体培养基上生长, 对培养基的成分要求简单, 因此很容易培养和操作。

(3) 代谢作用旺盛 环境因素对于分散的细胞能起均匀而直接的作用, 在液体培养基中能在短时间内积累大量代谢产物。

(4) 基因结构比较清楚 用细菌很容易获得营养缺陷型, 便于作为基因精细结构、基因作用及突变的研究材料, 能被用作研究复杂体系生物的简单模型。

(5) 具有游离的质粒 质粒是游离存在于细菌体内的环状 DNA, 在遗传工程上有很大作用, 所以细菌早已被广泛地用作遗传工程菌。

(6) 具有转座子 这对研究重组和基因表达提供了简单方便的模型。

(7) 能受噬菌体的侵袭 噬菌体是一种细菌病毒, 用细菌作材料所取得的成果, 许多都离不开噬菌体的作用。噬菌体的结构 (通常含有 2~20 种组分) 以及生活周期比细菌要简单得多, 然而却具有基本的生命属性, 能提供细菌中大分子和调节过程的重要信息。

三、酵母菌

酵母菌 (yeast) 是酿造业、面包发酵业的主要菌种, 也是许多生化试剂如酶制剂等的主要生产菌。自古以来人们对酵母进行了大量的研究, 积累了丰富的资料, 为生命科学研究打下了厚实的基础。酵母菌作为一种简单的真核微生物, 在分子生物学领域中具有得天独厚的特点, 其研究的深度、系统性和全面性仅次于原核生物中的大肠杆菌。酵母菌与细菌具有很多相似之处, 如个体小, 生长快, 生长周期为 70 min 左右, 易培养, 易操作, 对人体没有毒害作用; 遗传基因结构研究得比较清楚, 仅次于大肠杆菌, 是继续深入工作有用的信息库; 酵母菌的基因缺陷型也很容易筛选, 几乎是应有尽有; 另外酵母菌也有自身的转座子和游离的质粒, 是基因工程的良好受体菌。酵母菌作为一种低等真核生物, 具有许多特殊的性质, 使之具有理论研究和实际应用的广泛前景。如:

四膜虫、果蝇等染色体的端粒结构可以在酵母中发挥功能;

染色体着丝粒基因结构的研究已在酵母中取得了很大的进展, 这为研究高等生物的染色体结构打下了基础, 也大大加快了人类基因组计划的研究速度;

酵母中有几个分泌系统, 其基因在改造后接上外源片段就可使产物分泌到细胞外, 这在生物工程中有很大的应用价值, 此外, 许多高等动植物的分泌信号也能在酵母中发挥作用;

酵母具有糖基化酶系统, 具有翻译后加工系统;

酵母中某些基因含有内含子, 因而具有真核生物特有的转录后加工系统;

⑥ 酵母中含有类似于致癌基因的结构, 这是最近发现与高等生物非常类似的地方, 故酵母菌将是研究癌基因的简单模型。

四、四膜虫

四膜虫 (tetrahymena) 与人们熟悉的草履虫一样, 都是单细胞的原生动物。口位于细胞

的前端，内有三小膜，口的边缘有一个波动膜，故称四膜虫。四膜虫可以在简单的培养液中无菌培养，每 3h 分裂 1 次，能迅速繁殖到 5×10^5 个细胞/ml 的密度。四膜虫有许多独特的生物学特性。近十多年来，人们利用四膜虫的优越条件获得了分子生物学的几项重大发现。

(1) RNA 催化功能的发现 1981 年，Cech (塞克) 等发现，四膜虫 rRNA 可以自己精确地将一段内含子切除，并将两侧 RNA 拼结起来。这段内含子具有催化加工特定序列的功能，被称为核酶 (ribozyme)。这是对生物酶认识的一次重大突破，为此塞克获得 1989 年诺贝尔化学奖。

(2) 染色体端粒结构及其复制机制的阐明 研究端粒的结构和功能对于解释真核生物线性 DNA 的完整复制有重要意义。1978 年 Blackburn (布莱克本) 发现四膜虫 rDNA 的末端为 $(C_4A_2)_n$ ，后来又发现一种具有端粒特异性的端粒酶 (telomerase)，含有反转录酶和一段 RNA 序列，其中包含 CAACCCCAA 序列。端粒延伸反应很可能是以 RNA 为模板合成 DNA 的一种反转录反应。

五、线虫

常用的线虫 (nematelminth) 是秀丽隐杆线虫 (caenorhabditis elegans)，这是一种以细菌为食的自由生活的小线虫。它的优点是：

容易培养和保存；

生活周期短，做一次杂交仅需 3d 时间；

实验操作简单，结果稳定，受环境因素的影响小；

突变体性状特征明显，其变异一般可在显微镜下从形态上加以判断；

有性别的分化，雌体和雌雄两性体，二者从形态上可以区别，这给遗传分析带来极大的方便；

⑥ 成虫个体的细胞数量严格一定 (雌虫有 1031 个细胞，两性虫有 959 个细胞)

六、果蝇

果蝇 (drosophila) 从 1910 年起被摩尔根等人引进实验室，作为遗传学研究材料。20 世纪 60、70 年代果蝇又成了生化和分子遗传学研究的材料，几十年来果蝇对生命科学的发展起了不可估量的作用，这是因为它具有许多优点。如：

世代周期短，一般在 25°C ，10~12d；

体小容易饲养，培养费用低廉；

繁殖力强，有大量的后代可供考察和统计；

分布广泛，许多种类都是世界性的，如常用的黑腹果蝇 (D. melanogaster)；

染色体数目少，黑腹果蝇只有 4 对染色体，特别便于研究染色体结构细节；

⑥ 易于获得突变型，可用称为平衡者的株系，把发生在性染色体或常染色体上的突变基因完好地持续保存下去，这一优点是其他动物所没有的；

⑦ 在动物进化系统树上，果蝇处于低等生物和人类之间的中间位置上，果蝇也有复杂的神经中枢，但解析起来较容易，故低级的果蝇是比人类本身更好的遗传模型。

七、转基因动物

转基因动物 (transgenic animals) 是指那些在其基因组内稳定地整合以实验方法导入的外源基因，并能遗传给后代的一类动物。自从 1979 年 Mintz 等将 SV40 病毒 DNA 导入小鼠早期胚胎的囊胚腔，得到了第一个承载有人工导入的外源基因的嵌合体小鼠以来，转基因研究渗透到了生命科学的各个领域，建立了大量的转基因动物模型，为发育过程中基因表达调

控、癌基因作用机制、免疫系统中细胞及因子的相互作用等基础理论研究提供了大量用其他方法所不能得到的宝贵资料，并为精确地建立人类遗传性疾病的动物模型提供了可能。近年来，转基因植物研究进展很快。转基因技术为动植物品种的改良及某些重要蛋白质的获得提供了新的途径。

(1) 基因表达与调控研究 转基因动物为基因的发育阶段性表达和组织特异性表达提供了一个极好的实验体系。

(2) 在肿瘤研究中的应用 当将癌基因注射入小鼠受精卵，得到的转基因动物一般都会发生肿瘤，并且发生的肿瘤往往只局限于一种或几种组织。肿瘤发生是个多步过程。由那些易于高频率发生特异性肿瘤的转基因动物，可以分析某一确定组织的前癌状态，分析肿瘤是否可能发生及进程，有可能为抗癌治疗建立更多可靠的动物模型。

(3) 在免疫研究中的作用 将不同的功能性重排的小鼠免疫球蛋白(Ig)基因注射入小鼠受精卵，得到了转基因小鼠。研究结果揭示，重排的Ig基因包含了所有的组织特异性表达所需要的信息，不管染色体整合位点怎样，在连续的传代中，都能得到稳定和正常的表达。在整合了鸡和兔Ig基因的转基因小鼠中，表达了杂交的Ig分子，揭示在遗传工程动物中产生种间单克隆抗体是可能的。

(4) 在某些动植物遗传育种及某些重要蛋白质获得上的应用 将优良性状的基因导入动植物生殖系，培育优良的动植物新品种，已引起举世的关注。当首次将生长激素基因导入小鼠，得到了比原个体大几倍的“巨鼠”以来，人们就认识到转基因技术的巨大潜能及其在遗传育种方面的划时代意义。目前已得到的转基因动物除小鼠外，还有转基因兔、羊、猪、鱼等。另外，用转基因动物获取治疗人类疾病的重要蛋白质也已成功。在转基因鼠的乳液和转基因绵羊奶中，分别得到了血纤维蛋白溶酶原活化因子(tPA)、 β -乳球蛋白、凝血因子IX和 α -抗胰蛋白酶。这表明，人类已完全有能力按照需要改变生物的性状。

(5) 在人类疾病的基因治疗中的作用 利用转基因动物建立人类疾病的模型，增强对人类疾病有关的各种生化或生理因子的了解，以及为设计和测试新的治疗方法奠定基础。最近由于基因打靶技术的发展，使生殖系细胞基因的定点诱变成为可能，为建立人类疾病的动物模型开辟了广阔的前景。1990年，NIH对一名患有腺苷脱氨酶(ADA)基因缺陷的4岁女孩进行了第一次人类基因治疗，现在她已过上正常人的生活。目前，一些遗传病、免疫缺陷病和癌症的基因治疗已在临床实验中。中国以血友病和地中海贫血作为主攻方向，并且已经取得了很大成果。基因治疗为人类摆脱不治之症找到一条根本途径。

科学的兴旺离不开理论和实践的相互作用。科学研究的进展不是来自单纯的资料和信息收集，而是依赖于理论框架的存在。生命科学研究系统的不断完善和技术手段的不断进步，将使生命科学的研究进展加速。

知 识 小 结

在漫长的生命演化过程中，生物体不断地从环境中选择某一元素来满足某一生物功能的需要。生物体选择元素的规则必须符合下列条件：丰度大、可利用性强、在生命系统(恒温、恒压、pH值呈中性的水环境)中稳定并能完成一定的生理功能。在生物体中能维持生命活动的必需元素称为生命元素，目前认为有27种。除硼外，皆为人体的必需元素。它们有的作为生物分子的结构元素，如C、H、O、N、P和S；有的作为酶的辅因子，如Mg、Mn、Cu和Zn等。

水是生物体的主要成分。在生物体中，水以结合水和游离水两种形态存在。在生物体内，水不仅直接参与生物化学反应，而且可以作为溶剂，溶解各种生物分子，并起到运输物质的作用。

细胞是生命的基本结构单位。活细胞具有进行物质代谢、能量转化、自身生长和复制及自身调控等功能。所有的细胞都被一个双分子层的质膜所包裹，内部有细胞质、核蛋白体以及核或核体。细胞的形状与大小受完成生命功能所需要的细胞组成物质的总量、氧和营养物质分子的生理扩散速度以及细胞表面积与其体积比等因素的影响。细胞分成两大类，原核细胞和真核细胞。原核细胞包括细菌和蓝绿藻等，是最简单、最小的细胞。它们最主要的特点是没有包裹遗传物质的膜。原核细胞具有一层细胞壁和一层质膜，有些还有推动细胞运动的鞭毛。在它们的细胞质中含有核蛋白体以及营养物质的团粒，但不含有被膜所包裹的细胞器。核蛋白体的功能是合成蛋白质。细胞质中可溶的连续部分称为细胞液，其中含有各种代谢酶。原核细胞的生长、分裂和繁殖十分迅速。大肠杆菌是被人们了解得最多的一种原核生物，被广泛地运用于生物化学以及基因工程等研究工作中。

真核细胞远比原核细胞大且复杂，它们的体积约为原核细胞的 1000~10000 倍。它们具有被膜包裹的、形状规整的多染色体核。此外，真核细胞的细胞质中还含有被膜所包裹的细胞器，包括线粒体、内质网、高尔基体和溶酶体等。线粒体的功能是氧化细胞中的燃料分子，并利用氧化产生的能量生成含有高能磷酸键的 ATP；内质网的功能是把细胞产物传输到细胞外或高尔基体中，高尔基体包容细胞产物，并把它们分泌到细胞外；溶酶体中含有各种水解酶，它们降解各种不再需要的细胞物质。真核细胞的细胞质中也含有核蛋白体。它们中有些结合在内质网的粗糙表面，有些则是游离的。真核细胞的细胞质中含有至少三种微丝 (microfilaments)，还含有微管 (microtubules) 和微梁 (microtrabecular)。它们都由蛋白质组成，并构成柔性的细胞骨架。在具有光合作用 (photosynthesis) 的细胞中还含有叶绿体 (chloroplasts)，其功能是利用光能把二氧化碳转化成葡萄糖。叶绿体和线粒体中都含有独立的少量遗传物质 (DNA)，一般认为后者来源于细菌。

生命科学研究可以根据研究层次的不同分为整体水平、细胞水平及分子水平的研究，常见的研究系统有病毒、细菌、酵母、四膜虫、果蝇和转基因动物等。

习 题

1. 生物体中的必须元素有哪些？哪些是结构元素？哪些是微量元素？为什么说生物体中存在大量无机元素是必然的？
2. 水在生物体中的形式及作用是什么？
3. 简述原核细胞和真核细胞在结构上的异同？
4. 简述生命科学研究系统？

第二章 糖类化合物

糖类是生物界最重要的有机化合物之一，是生物体的组成物质，广泛分布于动物、植物和微生物中。植物体中糖类含量最为丰富，约占其干重的 85%~90%。一切植物的骨架组织，主要由糖类（纤维素）组成。有些植物特别储存大量糖类（淀粉）于种子（如五谷）和块茎（如马铃薯等）内，作为储蓄的营养，还有些植物体含有较多的水溶性糖类（如甘蔗等）。在微生物中，糖类占菌体干重的 10%~30%。在人和动物体中糖类含量较少，占人和动物体干重的 2% 以下，但也有个别组织含糖丰富（主要为糖原）。

糖类化合物是一切生物体所需能量的主要来源，如葡萄糖、淀粉、糖原等。糖类在生物体中的功能主要是为生物提供能量以维持生命活动所必需，如肌肉收缩过程中消耗的能量；糖类的另一重要功能是作为生物体的结构组分参与各种组织，如植物的茎、叶等部位都含有纤维素或半纤维素等物质作为其结构成分，而动物的结缔组织、软骨滑液等，主要也是由糖构成，其中有的起支撑作用，有的起保护或润滑作用；糖类物质还作为碳源，是生物体合成其他化合物如蛋白质、核酸、脂质等的基本原料。糖类化合物与蛋白质、脂类物质能结合形成糖蛋白、糖脂等复合糖，例如血浆中蛋白质大多为糖蛋白，很多酶也是糖蛋白，又如神经节有种类繁多的糖脂，许多具有生物活性的物质如神经节苷脂、某些抗菌素、毒素、凝集素等均属含糖的复合物，在生物体内发挥着重要作用。糖类是决定一些细胞和分子的表型和抗原性结构的物质，是人的血型、细胞和许多微生物分型的分子基础。分布于细胞表面的糖复合物作为受体、细胞标记、抗原决定簇等等，参与细胞粘着、细胞识别、免疫活性等多种生理活性功能。糖蛋白和糖脂上的糖链可以是酶、蛋白质、病毒、一些毒素、激素和细胞免疫有关因子的受体位点。此外糖类也是一类重要的信息分子。

糖类化合物主要是由碳、氢、氧三种元素构成的，最初用 $C_n(H_2O)_n$ 通式来表示，统称为“碳水化合物”。随着研究的深入和人们知识领域的扩展，发现将糖类化合物称为碳水化合物并不恰当，如鼠李糖（ $C_6H_{12}O_5$ ）和岩藻糖（ $C_6H_{12}O_5$ ）等不符合此通式，而且有些糖类化合物中除 C、H、O 外还有 N、S、P 等，另外一些非糖物质，如甲醛（ CH_2O ）乳酸（ $C_3H_6O_3$ ）等，它们分子中氢、氧原子数之比都是 2:1。但因沿用已久，至今还沿用碳水化合物名称，是人们对糖类的习惯称呼。

糖类化合物是多羟基醛或多羟基酮及其缩聚物和某些衍生物的总称。根据分子能否水解，以及水解产物组成情况，可将糖类化合物分为单糖、寡糖、多糖、糖的衍生物和复合糖。

1. 单糖 不能再水解成更小分子的多羟基醛或多羟基酮。根据其所含碳原子数目分为丙糖、丁糖、戊糖、己糖等，又称为三碳糖、四碳糖……等。根据其羰基的特点又分醛糖或酮糖，含醛基者称为醛糖，含酮基者称为酮糖。

2. 寡糖（低聚糖）由 2~6 个相同或不同的单糖分子缩合而成，水解时可获得相应数目和种类的单糖分子。

3. 多糖 由 6 个以上单糖分子缩合而成。根据分子组成特点，多糖中由相同的单糖基组成的称为均质多糖（同多糖），由不相同的单糖基组成的称为非均质多糖（杂多糖）。

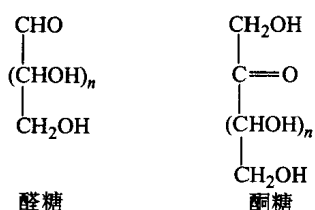
4. 糖的衍生物（衍生糖）指糖的还原产物、氧化产物、氨基取代物以及糖苷化合物等

5. 糖复合物（结合糖）指糖与非糖物质共价结合而成的复合物，包括蛋白聚糖、糖蛋白、糖脂等。

第一节 单糖

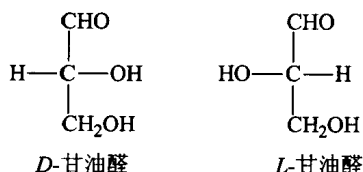
一、单糖的分子结构

单糖是多羟基醛或多羟基酮，可用通式表示。单糖的种类很多，以戊糖和己糖最为重要，其中以葡萄糖（己糖）数量最多，在自然界分布亦广。单糖的结构及性质虽各有异，但相同之处也不少。葡萄糖结构及性质有代表性，现以其为例，阐述单糖的分子结构。



（一）单糖的构型

构型是指一个分子由于不对称碳原子上各原子或原子团特有的固定的空间排列，使该分子具有的特定的立体化学形式。当这种分子从一种构型转变为另一种构型时，需要通过共价键断裂和再生。不对称碳原子是指连接四个不同原子或基团的碳原子。分子中因有不对称碳原子，可形成互为镜像关系的两种异构体，被称为一对“对映体”，这两种构型分别用 *D* 型和 *L* 型来表示，以三碳甘油醛为参照物。



凡在理论上可由 *D*-甘油醛衍生出来的单糖皆为 *D* 型糖，由 *L* 型甘油醛衍生出来的单糖皆为 *L* 型糖。醛糖与酮糖的构型是由分子中离羰基最远的不对称碳原子上的羟基方向来决定的。葡萄糖和果糖的构型，是以不对称碳原子 C_5 上的一 OH 在空间的排布与甘油醛不对称碳原子 C_2 上的一 OH 在空间的排布相比较而确定的。

