

第一章 细胞生物学

第一节 知识提要

一、细胞的化学成分

尽管细胞形态多样，功能各异，但其化学成分基本上是相似的。这里所提化学成分主要是指构成细胞的各种化合物，包括水、无机盐、糖类、脂类、蛋白质和核酸等。

(一) 糖类

糖类含 C、H、O 三种元素，其比例一般为 1 : 2 : 1 其分子式为 $(\text{CH}_2\text{O})_n$ ，例如葡萄糖为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 。对大多数糖来说， $(\text{CH}_2\text{O})_n$ 的通式是适用的。也有例外的情况，如乙酸分子式为 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ 符合 $(\text{CH}_2\text{O})_n$ ，但并不是糖，而鼠李糖 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$ 不符合该通式，但是糖。糖类分为单糖、双糖、多糖三大类。糖类是细胞生命活动的重要能源物质，又是重要的生物大分子的结构成分，具有重要功能。

1. 单糖

单糖是最简单的糖，不能再被水解为更小的单位。单糖通常含 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。

细胞中重要的单糖有：

(1) 丙糖

如甘油醛和二羟丙酮。它们的磷酸酯是细胞呼吸作用及光合作用中重要的中间代谢物。

(2) 戊糖

戊糖中最重要的是核糖、脱氧核糖和核酮糖。核糖和脱氧核糖是核酸的重要成分，核酮糖是重要的中间代谢物。

(3) 己糖

葡萄糖、果糖、半乳糖等都是己糖。所有己糖的分子式均为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ，但结构各不相同。其中葡萄糖是植物光合作用的产物，也是细胞的重要能源物质之一。

2. 双糖、寡糖、低聚糖

双糖是由两分子单糖缩合脱水生成的。例如两分子葡萄糖缩合形成麦芽糖： $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \longrightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O}$ 。麦芽糖和蔗糖以及纤维二糖是植物细胞中重要的双糖。麦芽糖是淀粉的基本结构单位，纤维二糖是纤维素的基本结构单位。动物细胞中重要的双糖是乳糖，存在于哺乳类动物的乳汁中。

寡糖是少数单糖(1~10 个)缩合成的聚合物。低聚糖是指 20 个以下的单糖缩合成的聚合物。

3. 多糖

多糖由多个单糖分子缩合而成。 n 个单糖缩合成多糖时将脱去 $(n-1)$ 个水。植物细胞中重要的多糖是淀粉和纤维素。动物细胞中最重要的多糖是糖原（或称动物淀粉）。淀粉和糖原是储藏能量的物质，纤维素是植物细胞壁的组成物质。淀粉遇碘变为深蓝色，糖原遇碘变为红褐色。

多糖有纯多糖、杂多糖之别。纯多糖由一种单糖构成，如淀粉、糖原、纤维素均为来源不同或糖苷键不同的低聚糖。杂多糖如半纤维素、动物结缔组织的透明质酸，则均由两种以上的单糖构成。

其他如几丁质、胞壁质的多糖链、果胶也属多糖。其中，几丁质是昆虫和甲壳类外骨骼的主要成分；胞壁质是细菌细胞壁的主要成分；果胶存在于相邻植物细胞壁之间的中层内。

糖类与脂类或蛋白质结合在一起分别形成糖脂或糖蛋白。细胞的许多生物学作用与糖脂或糖蛋白有关。糖脂是构成生物膜的物质。细胞膜表面的糖脂和糖蛋白是细胞识别的分子基础。

(二) 脂类

脂类的化学结构差异很大，但具有共同的特性，即均不溶于水，而溶于非极性有机溶剂。脂类主要组成元素也是 C、H、O，但氢氧元素含量之比远大于 2，所以不同于糖类。生物体含有的脂类主要有脂肪、磷脂、糖脂、固醇等。

脂肪是生物体贮存能量的主要形式。1 g 脂肪贮存的能量是 1 g 葡萄糖或 1 g 氨基酸所贮存能量的两倍。

磷脂是由 1 分子甘油和 2 分子脂肪酸以及 1 分子磷酸结合而成。磷脂分子是构成生物膜的脂双分子层结构的基本物质，由于其头部具有亲水性而尾部具有疏水性，因而在细胞结构中具有重要意义。磷脂的种类很多，如脑磷脂、神经磷脂，存在于动物的神经组织中；卵磷脂又称蛋黄素，在蛋黄中的含量可达 8%~10%。

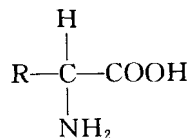
固醇主要包括胆固醇、性激素和维生素 D 等。胆固醇存在于动物体内，参与生物膜的组成。固醇对维持生物体正常的新陈代谢具有积极的作用。

(三) 蛋白质

蛋白质是细胞结构的重要成分，其含量占细胞干重的 50% 以上。它是细胞生命活动所依赖的物质基础。各种蛋白质都是由 C、H、O、N 和 S 等元素组成的，蛋白质中 N 的含量约占 16%。

1. 氨基酸

氨基酸是蛋白质的基本结构单位。目前天然蛋白质中已知的氨基酸均属 L- α -氨基酸。存在于蛋白质中的氨基酸共有 20 种，其结构通式（环状的脯氨酸例外）为：



R 基团的不同决定各种氨基酸在溶解度以及其他特性上的不同。根据 R 基团的特

性,氨基酸可分为 5 类:①R 基团无极性,疏水。蛋白质分子中含有这些疏水氨基酸的部分在水中往往折叠到大分子的内部而远离水相;在强疏水环境中,例如在细胞膜的脂类层中就暴露在大分子的外面而与脂类分子相邻。②R 基团为芳香族,无极性,较疏水。③R 基团有极性,不带电荷,亲水。蛋白质分子中具这类氨基酸的部分在水相中大多露在蛋白质分子表面与水接触。④R 基团带负电(酸性)⑤R 基团带正电(碱性)。

20 种氨基酸的名称及三字字母缩写分别是:丝氨酸(Ser)苏氨酸(Thr)天冬酰胺(Asn)谷氨酰胺(Gln),酪氨酸(Tyr)半胱氨酸(Cys)天冬氨酸(Asp)谷氨酸(Glu)组氨酸(His)赖氨酸(Lys)精氨酸(Arg)甘氨酸(Gly)丙氨酸(Ala)缬氨酸(Val)亮氨酸(Leu)异亮氨酸(Ile)苯丙氨酸(Phe),甲硫氨酸(Met)脯氨酸(Pro),色氨酸(Trp)。其中 8 种为人体必需氨基酸。它们是亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、苏氨酸、蛋氨酸、色氨酸、赖氨酸和苯丙氨酸。这 20 种氨基酸均由遗传密码子所决定。

生物界也存在少量的 D-型氨基酸,它们主要存在于原核细胞和一些植物细胞中,但不能参与蛋白质组成。

2. 肽键、肽和多肽

一个氨基酸分子中的 α -羧基($-\text{COOH}$)和另一个氨基酸分子中的 α -氨基($-\text{NH}_2$)缩合脱水,形成的酰胺键($-\text{NH}-\text{CO}-$)称为肽键,脱水缩合形成的化合物叫肽。由两个氨基酸缩合而成的肽是二肽,如果再以同样方式连接新的氨基酸,则可形成三肽、四肽……直至多肽。通常称相对分子质量在 1500 以下的为肽,大于 1500 的称为多肽。多肽是蛋白质分子的亚单位。肽键是氨基酸在蛋白质分子中的主要连接方式。肽链的顺序方向定义为从氨基端到羧基端。故一般写多肽分子式时,将 N 末端写在左侧,C 末端写在右侧。

3. 蛋白质结构

蛋白质是由各种氨基酸通过肽键连接而成的多肽链,再由一条或一条以上的多肽链按各自特殊的方式组合而成具有完整生物活性的分子。组成蛋白质分子的多肽链通常以二硫键互相连接。例如,胰岛素的 A 链和 B 链即依靠二硫键相连接。二硫键的存在使肽链能够折叠并可把不同的肽链连接在一起形成稳定的蛋白质三维结构。由于肽链数目、氨基酸组成及其排列顺序的不同,使氨基酸具有不同的空间结构,从而形成不同的蛋白质。通常将蛋白质的结构分为一级结构、二级结构、三级结构和四级结构。

一级结构是指蛋白质分子中由肽键连接起来的各种氨基酸的排列顺序。与一级结构相关的因素包括氨基酸的种类、肽链的连接方式以及肽链中氨基酸排列的线性顺序。胰岛素是第一个被阐明其一级结构的蛋白质。

二级结构是指蛋白质分子中肽链内部或肽链之间靠氢键维持其稳定性的折叠或卷曲、盘绕的三维空间结构。例如肽链内的氢键使肽链形成 α -螺旋结构,肽链间的氢键使肽链形成 β -折叠结构。

三级结构是指蛋白质分子在二级结构的基础上进一步卷曲折叠构成的近似球状的结构。例如酶、多种蛋白质激素、抗体以及细胞质中和细胞膜中的蛋白质都是具三级结构的球蛋白。

四级结构是指由二条或二条以上的具有三级结构的多肽组成的蛋白质分子中各条多

肽的结合方式及其在空间的相互关系。其中每一条多肽称为亚基，亚基单独存在时没有生命活力，只有聚合成四级结构才具有完整的生物活性。

一级结构称为蛋白质的初级结构或称为化学结构，其余的为蛋白质的空间结构，通常称为蛋白质的构象或高级结构。

4. 蛋白质的化学分类

根据蛋白质的分子组成可将蛋白质分为简单蛋白质和结合蛋白质两大类。

简单蛋白质完全水解的产物为 α -氨基酸，即只由 α -氨基酸组成。因此，简单蛋白质又称单纯蛋白质，如球蛋白、白蛋白、组蛋白等。

结合蛋白质由简单蛋白质和非蛋白质两部分组成。非蛋白质部分通常称为辅基。辅基可以是核酸、糖类、脂类、色素、磷酸，由此组成的结合蛋白质分别称为核蛋白、糖蛋白、脂蛋白、色蛋白、磷蛋白。

5. 蛋白质的功能分类

根据蛋白质的功能大体分为结构蛋白和酶。结构蛋白参与细胞结构的组成。酶是活细胞产生的具极高催化效率的一类蛋白质，生物体内的绝大多数化学反应都需要在酶的催化作用下才能进行。

6. 蛋白质的变构作用和变性

含 2 个以上亚单位的蛋白质分子的构象发生变化称为蛋白质的变构作用。这种作用有可能导致蛋白质的活性发生变化。

在外界理化因子作用下蛋白质的空间结构发生改变和破坏，从而失去原有的生物学活性，这种现象称为变性。

(四) 酶类

酶是由活细胞产生的具催化作用的蛋白质。酶只能催化在热力学范围内允许进行的化学反应，能加快所催化的化学反应速度使其达到平衡状态，但不能改变该反应的平衡常数。酶催化的化学反应叫作酶促反应。

1. 酶的化学结构

酶的化学本质是蛋白质，它具有蛋白质的一切通性，在化学组成或化学结构上也与一般蛋白质相同。

2. 酶蛋白和辅酶

按化学组成，可将酶分为简单蛋白质酶类和结合蛋白质酶类。简单蛋白质酶类分子完全由氨基酸组成。

结合蛋白质酶类分子由简单蛋白质和辅助因子两部分组成，将组成酶的简单蛋白质部分称为酶蛋白或主酶，辅助因子可以是简单的离子或有机物。酶蛋白或辅助因子单独存在时没有催化活性，只有当两者结合在一起组成全酶才具有酶的作用。将有机物辅助因子称作辅酶。

酶催化反应的专一性和高效性主要决定于酶蛋白，辅助因子主要是对电子、原子或某些基团起传递作用。

3. 酶的活性部位

酶的催化作用只在酶分子的某个区域发生。这一区域是酶分子中能同底物结合而起

催化反应的空间，是酶活性的关键结构部位，故称酶的活性部位或活性中心。

酶的活性部位基团可分为两类。一类为直接与底物结合的基团，称为结合基团，它决定了酶的专一性。一类为直接参与催化反应的基团，称为催化基团，它决定了催化反应的性质。也存在一些基团同时具有这两种性质。

酶的高度特异性显然与酶的活性部位相关。

4. 酶作用的模型：酶与底物的结合

1890年，E. Fischer提出“钥匙—锁”模型，以说明酶和底物结合的机理。此学说认为底物和酶分子的关系，就像钥匙与锁的关系一样，一把锁只能被一把钥匙打开，或是被构造上相近的钥匙打开(图1-1)。这在一定程度上解释了酶促反应的特性，如专一性。但该学说把酶的结构看成固定不变是不切实际的，并且该模型不能解释可逆反应。此外，底物和产物的结构不同，为什么不同的钥匙能开同一把锁？1958年，D. E. Koshland提出了“诱导—楔合”理论，克服了“钥匙—锁”模型的缺点，认为酶与底物结合时，底物能诱导酶分子的构象发生变化，使酶能与底物分子很好的结合，从而发生催化作用(图1-2)。

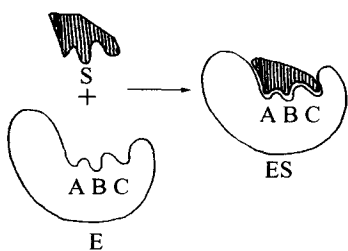


图 1-1 酶与底物结合的锁与钥匙模型

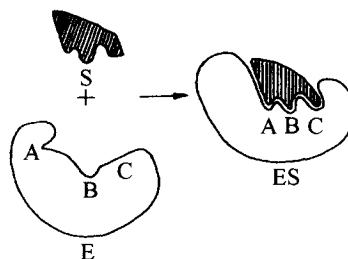


图 1-2 酶与底物结合的诱导楔合模型

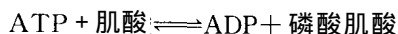
5. 酶的变性

酶的化学本质是蛋白质。因此，当酶受外界理化因素如强酸、强碱、重金属盐、有机溶剂、生物碱、高温、紫外线等影响时，其分子内部原有的高度规律性结构(空间结构)会发生改变和破坏，导致酶的催化功能丧失，这种现象称为酶的变性。

6. 酶的命名

习惯命名法：一般采用底物和反应类型来命名，有时还冠以酶的来源或其他特征，如异柠檬酸脱氢酶、牛胰蛋白酶等。对水解酶类习惯上只用底物名称，如淀粉酶、蛋白酶、核酸酶等。

系统命名法：国际酶学委员会提出的系统命名法规定，每种酶的名称应明确写出底物及催化反应的类型，同时还要有一个由4个数字组成的系统编号。现以催化下列反应的酶作为例子来说明：



该酶的习惯名称是肌酸激酶。系统名称是ATP-肌酸磷酸转移酶，它的系统编号是EC2.7.3.2。

系统命名原则及系统编号是相当严格的，一种酶只有一个名称和一个编号。国际酶学委员会规定在发表以酶为主题的论文时，在第一次出现酶的正文处要标明酶的系统编号，平时仍可使用习惯名称。

7. 酶作用的特性

(1) 酶促反应条件温和，可在常温常压下进行，并且催化效率很高。

(2) 酶具有高度的特异性（或专一性）。一种酶只能催化一种反应或一组密切相关的反应（作用专一性）；一种酶只能催化一种底物或一类分子结构相似的底物的反应（底物专一性）（原因可参考酶与底物结合的机理。）

(3) 在细胞内，酶的活性受温度调控。

8. 酶活性的抑制

酶可被某些化学物质所抑制，结果使活性降低，或酶分子本身受到破坏，起抑制作用的物质称为抑制剂。酶的抑制剂分为不可逆抑制剂和可逆抑制剂两类。

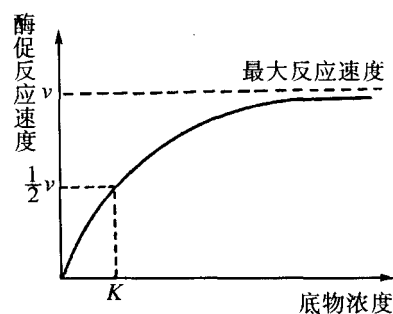
不可逆抑制剂与酶的功能基团结合，使之永久失活，甚至使酶分子受到破坏。许多毒物都是不可逆抑制剂，例如氰化物抑制细胞色素氧化酶，神经毒气抑制乙酰胆碱酯酶等。杀虫剂和一些抗生素药物也是通过对酶的不可逆抑制来起作用的，例如，青霉素不可逆的抑制细菌转肽酶，从而影响新细胞壁的产生，阻碍细菌生长，起到杀菌作用。

可逆抑制剂又分为竞争性抑制剂和非竞争性抑制剂。竞争性抑制剂的结构往往和底物相似，所以能和底物竞争酶活性中心的结合位点，使酶不能与底物结合，因而酶的活性下降。例如，丙二酸的结构与琥珀酸脱氢酶的底物琥珀酸（丁二酸）相近，因此丙二酸是该酶的竞争性抑制剂。提高底物浓度可解除竞争性抑制。非竞争性抑制剂的结构和底物不同，它们不与底物竞争酶的结合位点，而是与酶分子的其他部位可逆地结合，引起酶分子形状的变化，使活性中心不能再与底物结合，从而抑制酶促反应。

9. 底物浓度、温度与酶促反应速度的关系

(1) 底物浓度对酶促反应速度的关系

参见图 1-3。当底物浓度较低时，增加底物浓度，反应速度迅速增加，此时酶促反应速度与底物浓度成正比；当底物浓度继续增加，则反应速度增加逐渐变慢；当底物浓度达到一定限度时，反应速度达到最大，此时再增加底物浓度，反应速度不再增加，即反应速度不再受底物浓度的影响。



(2) 温度对酶促反应速度的影响

一般的讲，随着温度的升高（从 0°C ~ 40°C ），酶促反应速度也逐渐增加。但由于酶的化学本质是蛋白质，升高到一定温度（一般为 60°C ），酶蛋白将变性而失活，从而降低酶促反应速度。

通常动物体内酶的最适温度在 37°C ~ 50°C ，而植物体内酶的最适温度在 50°C ~ 60°C

(五) 核酸

最早发现核酸的是 Miescher。1870 年，他从脓细胞核中分离出一种酸性物质，当时命名为核素。

核酸是由许多核苷酸组成的大分子化合物。核苷酸是核酸的基本结构单位。核酸分为脱氧核糖核酸 DNA 和核糖核酸 (RNA) 组成元素为 C、H、O、N、P 等。

组成 DNA 的核苷酸是脱氧核糖核苷酸，碱基为腺嘌呤(A)、胸腺嘧啶(T)、鸟嘌呤(G)、胞嘧啶(C)。DNA 为遗传信息的携带者，主要存在于细胞核内的染色质中，线粒体、叶绿体中也有。支持 DNA 是遗传物质的第一个结论性实验是肺炎双球菌的转化实验，从 S 型肺炎双球菌中提出的 DNA 可以使无荚膜的肺炎双球菌(R 型)转化成有荚膜的类型(S 型)。

组成 RNA 的核苷酸是核糖核苷酸，碱基为腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶和尿嘧啶(U)。RNA 在原核和真核细胞中并非遗传信息的携带者，但某些病毒 RNA 亦可贮存遗传信息和作为基因组 RNA。RNA 在细胞核内产生，然后进入细胞质中。RNA 的功能主要是参与蛋白质的生物合成。一般将 RNA 分为 3 类：信使 RNA(mRNA)、转运 RNA(tRNA)、核糖体 RNA(rRNA)。

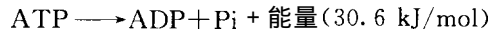
Watson 和 Crick 建立的 DNA 双螺旋结构属 DNA 的二级结构。

DNA 分子通常是双链的，RNA 分子一般是单链的。

(六) 其他重要化合物

1. ADP 和 ATP

ADP 即二磷酸腺苷，它由 AMP 即单磷酸腺苷的磷酸上与一分子磷酸结合(磷酸化)生成；ATP 即三磷酸腺苷，它由 ADP 再次磷酸化生成。AMP 磷酸化生成 ADP，ADP 磷酸化生成 ATP 的过程形成的焦磷酸键含有很高的能量，故称为高能磷酸键，用“~”表示。故 ATP 可写成 A—P~P~P。在细胞中，通常只有后一个高能键水解释放能量。高能磷酸键的能量一般通过下述反应释放出来：



ATP 在所有生物系统化学能的贮存和利用的过程中起着关键的作用。生物体内通过氧化磷酸化(或底物磷酸化)作用使 ADP 转变成 ATP。绿色植物还可通过光合磷酸化作用使 ADP 转变成 ATP。绝大多数情况下，细胞的需能过程如生物合成、主动运输、运动等均由 ATP 提供能量。

2. NAD^+ 和 NADP^+

在细胞内发生的氧化还原反应中常包含着电子和氢的传递转移。细胞中能直接从底物中取得电子和氢的传递体叫初级电子受体，电子和氢再经它们传递给其他传递体。 NAD^+ 和 NADP^+ 为常见的初级电子受体，是许多脱氢酶的辅酶，分别称为辅酶 I 和辅酶 II。在它们参与的脱氢反应中，它们接受了底物分子的电子和氢后，从氧化态 NAD^+ 或 NADP^+ 转变为还原态 NADH 或 NADPH ，当它们将电子和氢再传递给其他电子受体后又恢复为氧化态。

在有氧呼吸中 NADH 可通过电子传递链传递电子，最终使氢和分子氧结合生成水，在电子传递过程中释放的能量合成 ATP。 NADH 在某些还原反应中起供氢体作用。

NADPH 在脂肪酸等还原性生物合成途径中以及其他许多还原反应中起供氢体作用。

二、细胞器

绝大多数细胞只能借助显微镜才能观察到。例如，普通复式光学显微镜是常用的观

察细胞的工具；暗视野显微镜、相差显微镜可用于观察活细胞；电子显微镜可用于显示细胞的细微结构。

真核细胞有细胞器。细胞器分布在细胞质基质内，是具有一定结构和功能的亚细胞结构。各类细胞器在结构和起源上有联系。图 1-4 为细胞模式图。

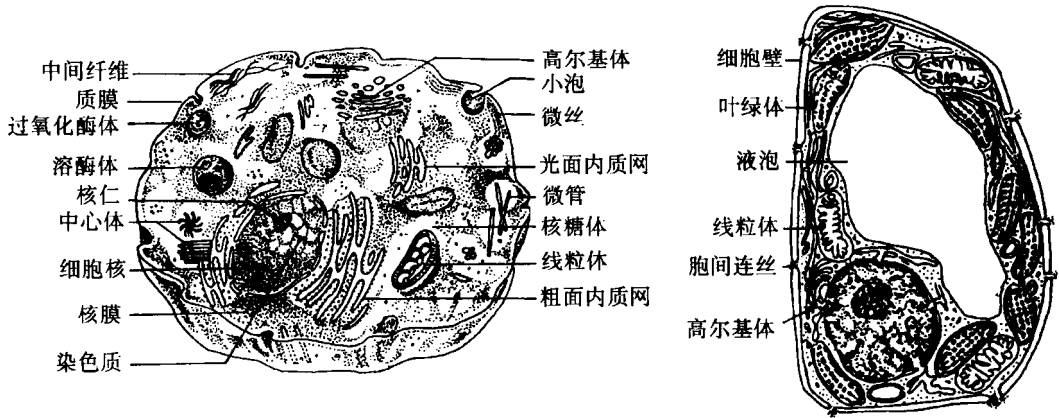


图 1-4a 动物细胞模式图

图 1-4b 植物细胞模式图

细胞核可认为是细胞内最大的细胞器。在真核细胞中，除高等植物成熟的筛管以及哺乳类成熟的红细胞外，都含有细胞核。通常，一个细胞中只含有一个核。

1. 细胞核的结构

细胞核包括核膜、核质（核透明质）、染色质（染色体）、核仁。

(1) 核膜

核膜为双层膜（内膜和外膜）。外膜与（粗糙型）内质网相连，形成一连续系统。故也有认为外膜实为围膜的内质网部分。

核膜上的小孔称核孔。它是核内部与细胞质之间的通道，但是核内外的物质并不能经过核孔进行自由扩散。大分子蛋白质如合成 DNA 或 RNA 所需的酶以及染色体的组蛋白等大都是通过核孔进入细胞核的。核内生成的各种 RNA 等也是通过核孔进入细胞质的。它们与核孔复合体上的受体蛋白结合，通过“主动运输”过程进出。

(2) 核质

核质是富含蛋白质的透明粘稠的液体，主要成分是蛋白质和少量的 RNA。核质不是无结构的液体，而是组成纤维状的网状骨架（核骨架），网的成分是蛋白质，网孔中充满液体。核质布满于细胞核中，染色质和核仁在核质中。

核质是核内代谢反应的场所，在 DNA 复制、基因表达、RNA 加工、参与染色体 DNA 的包装和构建生命活动等过程中起重要作用。

(3) 染色质

染色质只能在电子显微镜下观察到。染色质的主要成分是 DNA 和蛋白质，也含有少量 RNA。蛋白质分组蛋白和非组蛋白两大类。组蛋白富含赖氨酸和精氨酸，所以是碱

性能与带负电荷磷酸基团的 RNA 结合。染色质中组蛋白和 DNA 含量的比例一般为 1:1。非组蛋白主要为有关 DNA 复制和转录的酶等。

在光学显微镜下，我们可观察到细胞分裂间期细胞核中染色质分散呈细网状的不规则形态结构。而当细胞即将分裂时，染色质通过固缩褶皱，形成形态不同但又各具特征的高度凝集的短棒状的染色体。

染色体的形成保证了真核细胞分裂时能将遗传物质平均分配到两个子细胞中去。

同种生物各类细胞核中 DNA 的含量是恒定的，不会因细胞的分化而丢失。DNA 的含量和染色体的数量相关。例如，精子细胞的 DNA 含量为体细胞的 1/2 其染色体数也为体细胞的一半。

各种生物体内的染色体数目是相对恒定的，这对维持种的稳定性有重要意义。性细胞染色体为单倍体，以 n 表示，体细胞为二倍体，以 $2n$ 表示。有些种染色体成倍增加可以成为 $4n, 6n, 8n$ 等，称为多倍体。同一动物体内也有不同倍数的细胞，如成年大白鼠肝细胞中有 $2n, 4n, 8n, 16n$ 等多倍体细胞。肿瘤细胞的染色体数多高于 $2n$ ，且为非整倍性。

染色体的数目和大小反映了整个基因组的大小。通常以每单倍体染色体组中 DNA 的质量表示基因组的大小，称为有机体的 C 值。C 是单倍体染色体以 pg (Picogram, 即 10^{-12}g) 来表示的量。每个二倍体细胞的 DNA 量为“ $2C$ ”值。基因组包含单倍体组中的全部 DNA。

(4) 核仁

核仁是能在光学显微镜下观察到的颗粒状结构，没有外膜。是细胞分裂间期细胞核中最明显的结构。各种生物的核仁数目一般都是固定的。核仁的主要成分是蛋白质和 RNA 以及 DNA。核仁的主要功能是进行核糖体 RNA 的合成，核糖体大、小亚基在核仁中组装。因此，蛋白质合成旺盛的细胞常有较大或较多核仁。

2. 细胞核的功能

细胞核的主要功能是贮存和传递遗传信息。通过遗传物质的复制、细胞分裂保持细胞世代之间的连续性，即遗传。通过 DNA 的转录、翻译，在细胞分裂基础上发生细胞分化，即基因的选择表达，使结构和功能发生变化，从而调节控制细胞的各种代谢活动。

(二) 细胞质和细胞质内容物

细胞质是核外部分的总称，由包围于细胞外周的细胞质膜、细胞质液及各种细胞质内容物组成。

1. 细胞质膜 (细胞膜)

(1) 细胞质膜的功能

细胞质膜积极参与许多重要的生命活动过程。主要有以下几方面：

细胞质膜具有选择透过性。它是细胞与外界环境进行物质交换的重要调节者，能阻止一些物质或促进另一些物质出入细胞 (图 1-5)。

细胞质膜能接受信息，感受外界环境的变化并作出

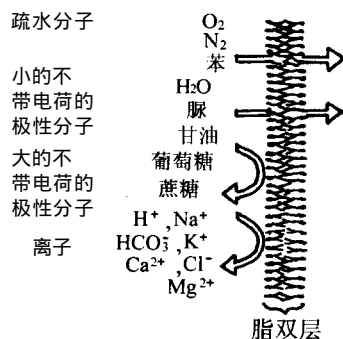


图 1-5 细胞质膜具有选择透过性

反应。质膜上存在着各类型的受体，分别与激素、生长因子或神经介质相结合，并刺激质膜向细胞内发送信号，产生某种类型的反应。

细胞质膜在维持相邻细胞间的相互作用上起着非常关键的作用。质膜上的某些蛋白质对于细胞的相互识别、信息传导、相互附着以及物质交换是十分重要的。

细胞质膜具保护细胞作用，参与细胞的运动、分泌以及某些细胞中冲动的传导。

(2) 细胞质膜的结构成分

细胞质膜的主要成分是脂类和蛋白质，其次是糖类。还含有其他的成分。脂类和蛋白质含量的变化与膜的功能有关。

细胞质膜的脂类主要包括磷脂、胆固醇、糖脂三种，以磷脂含量最多。细菌的细胞质膜中没有胆固醇。支原体有胆固醇。真核细胞质膜内的主要磷脂有磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰肌醇等。

磷脂分子的一个显著特点是极性很强。它是由磷脂酰碱基和脂肪酸两部分通过甘油基团（或鞘氨酸）结合而成。其磷脂酰碱基部分含磷酸和碱基，习惯称为头部，极性很强，具亲水性。脂肪酸部分由两条脂肪酸链组成，一般称尾部，是非极性的，具疏水性。这种一头亲水一头疏水的分子称为双极性分子或兼性分子（图 1-6）磷脂同时具有亲水和疏水性质，所以在水溶液中，脂类分子能自发地聚集形成脂双层：亲水性头部朝向水相，疏水性末端彼此相对形成疏水区域。而膜脂的亲水部分与膜蛋白的亲水氨基酸侧链结合，疏水部分与膜蛋白的疏水氨基酸侧链结合，使膜成为一种稳定的结构。

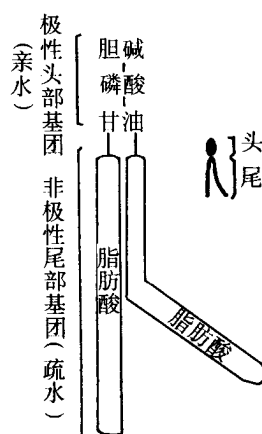


图 1-6 磷脂分子——磷脂酰胆碱图解

细胞质膜的蛋白质分为两类：固有蛋白（或称内在蛋白）和周缘蛋白（或称外在蛋白）。组成固有蛋白的氨基酸以疏水氨基酸为主，组成周缘蛋白的氨基酸，亲水和疏水的比例大体相等。固有蛋白渗入脂双层内，有的甚至贯穿整个脂双层。去除固有蛋白会导致膜结构的解体。周缘蛋白则完全在脂双层之外，或与露出脂双层之外的固有蛋白结合，或是附着在脂类的亲水端。蛋白质在膜中的分布和定位，与蛋白质分子表面的亲水性或疏水性有关。在脂双层中，疏水表面会埋藏到脂双层的疏水区，而其亲水表面则伸出到膜外的水相介质中。若疏水区足够长，达到脂双层中疏水区的深度，则这种蛋白质就能贯穿膜内外，其两端的亲水表面分别进入膜两侧的水相中。蛋白质执行多种功能，如物质的转运等。按其功能可分为：受体蛋白、载体蛋白、酶蛋白。

糖类主要以与脂类或蛋白质结合的形式存在，形成糖脂和糖蛋白，分布于质膜的外表面。糖脂与膜的某些生物学功能相关，如抗原性。决定红细胞的 ABO 血型物质即为糖脂。

(3) 细胞质膜的结构特点

细胞质膜由脂类和蛋白质分子以特定方式组装而成，其骨架是两层脂类分子排列而成的脂双层，蛋白质分子以不同方式镶嵌在脂双层中。包括细胞质内的各种膜系统（覆盖于细胞器表面的膜）也都是这种结构，它们均被称为生物膜。具这种结构的生物膜也称为

单位膜。

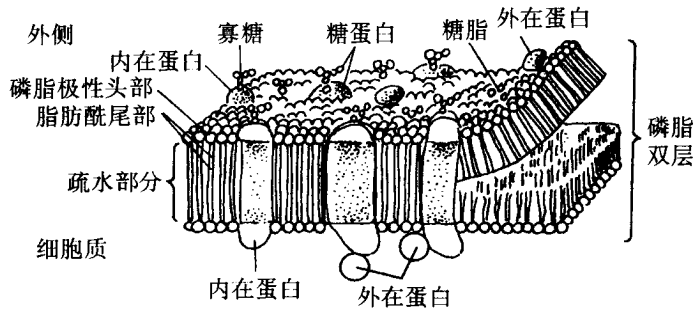


图 1-7 生物膜分子结构的一般模型

生物膜的分子结构模型有多种，较为流行的如“流动镶嵌模型”（图 1-7）。生物膜分子结构的基本特点是：

镶嵌性：膜的基本结构是由脂双分子层镶嵌蛋白质构成的。

流动性：膜结构中的蛋白质和脂类分子在膜中可作多种形式的移动。膜整体结构也具流动性。流动性具重要生理意义：物质运输、细胞识别、细胞融合、细胞表面受体功能调节等均与之相关。磷脂脂肪酸链短、不饱和程度高，膜的流动性大。胆固醇对膜的流动性具调节作用。

不对称性：膜两侧分子性质和结构不相同。

蛋白质极性：多肽链的极性区突向膜表面，非极性部分埋在脂双层内部。故蛋白质分子与水溶性分子及脂溶性分子都具有亲和性（图 1-8）。

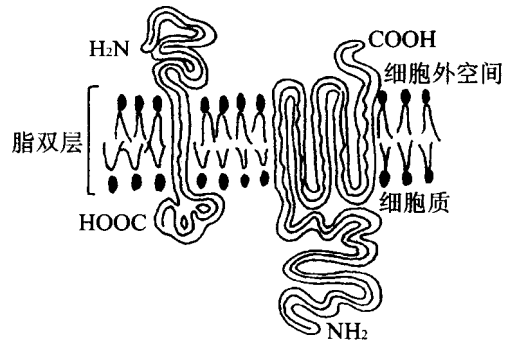


图 1-8 蛋白质极性

2. 细胞质液（透明质）

在光学显微镜下观察，细胞质液为透明、均质的液体。而实际上，在高压电子显微镜下可观察到，细胞质液中存在着由蛋白质细丝构成的不规则的三维空间网络，这些细丝贯穿于整个细胞质，相互联结并包围着细胞的结构成分如微管和微丝，并及于细胞质膜；各种细胞器悬浮并联结于这样的网络之中，形成一个完整的体系。因此，细胞质液不仅是细胞核、细胞器的微环境，而且同时为细胞器的生理活动提供原料。

3. 线粒体

线粒体是细胞中进行能量转换的细胞器。需能量较多的细胞或细胞功能旺盛的需能部位的线粒体分布较多、且较集中。

哺乳动物成熟的红细胞中没有线粒体。

(1) 线粒体的结构与化学组成

线粒体是由两层单位膜构成的封闭的囊状结构（图 1-9），分为四部分：外膜、内膜、

膜间隙、基质或内室。内外膜不连接。外膜排列有由孔蛋白组成的小孔，允许小分子通过。内膜通透性很低。内膜向内褶皱形成嵴，以增加内膜的表面积，有利于生化反应的进行。内膜和嵴的基质面上排列整齐的带柄小颗粒称基粒。膜间隙充满液体，含有酶、底物、辅助因子等。基质是蛋白质性质的胶状物质，含酶、环状 DNA、RNA、核糖体等。

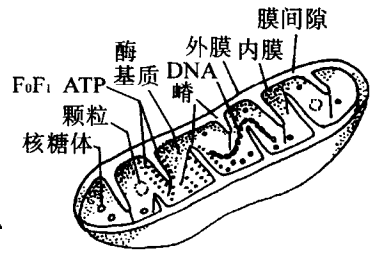


图 1-9 线粒体三维结构模式图

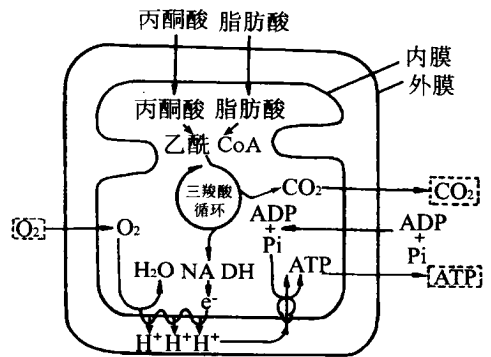
(2) 线粒体中的酶

线粒体含有约 120 余种酶 其中 37% 是氧化还原酶, 10% 是合成酶, 水解酶不到 9%。

(3) 线粒体的功能

真核细胞的氧化磷酸化过程是细胞获得能量的主要途径。因此，线粒体的主要功能就是通过氧化磷酸化过程合成 ATP 为细胞生命活动提供直接能量(图 1-10)。

线粒体具有进行氧化磷酸化的物质基础，其中含有电子传递链（或称呼吸链）及 ATP 合成酶。它们均位于线粒体的内膜上。内膜和嵴上的基粒组成了 ATP 合成酶复合体。



(4) 线粒体是半自主性细胞器

线粒体基质中裸露的双链环状 DNA 分子能以半保留方式进行自我复制，并转录 RNA。线粒体中还含有核糖体，可合成部分蛋白质，即线粒体有一套自身的遗传系统、可进行自身的转录和转译过程。

但线粒体中 DNA 的复制受核基因控制：复制场所的 DNA 聚合酶由细胞核 DNA 编码，在细胞质核糖体上合成。此外，组成线粒体各部分所需的蛋白质，绝大多数也是由细胞核 DNA 编码并在细胞质核糖体合成，再运送至线粒体。线粒体中核糖体合成的蛋白质只占少数，即线粒体的遗传系统仍要依赖于细胞核的遗传系统。

(5) 线粒体的增殖

线粒体数目的增加主要来源于原先存在于细胞内的线粒体的分裂或通过出芽，产生子代线粒体。

4. 内质网

内质网是交织分布在细胞质中的内膜管道系统。其形态和数量依细胞种类和功能状态而异(图 1-11)。一般而言，在动物细胞中如卵细胞、胚胎细胞、未分化的细胞、癌细胞等，内质网不发达。而分泌细胞，如胰腺腺泡上皮细胞、肝细胞和浆细胞等，其内质网发达；分泌活动旺盛

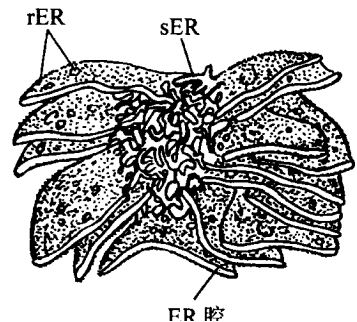


图 1-11 肝细胞内质网立体结构模式图

时较多。

(1) 基本形态

内质网一般分三种基本形态：囊状、管状和小泡状。

依据结构与功能将内质网分为光滑型内质网和粗糙型内质网两种基本类型。但两者各为一连续的内质网结构的一部分，更有利于完成其特定的功能：物质的合成、加工和输送。

(2) 基本功能

内质网的基本功能包括：蛋白质与脂类的合成及蛋白质的修饰加工等。

光滑型内质网的主要功能是参与脂类合成。如合成磷脂、固醇、脂肪等。因此，与脂类代谢有关的细胞中如睾丸间质细胞及肝细胞中光滑型内质网非常发达。光滑型内质网还参与糖原的分解。它含葡萄糖-6-磷酸酶，能催化葡萄糖-6-磷酸水解生成葡萄糖，并将葡萄糖释放到血液中维持血糖平衡。

粗糙型内质网的功能主要与蛋白质的合成及输送有关。这些蛋白质主要包括：向细胞外分泌的蛋白（包括肽类激素、酶类和抗体等）；膜蛋白；需进行修饰加工的蛋白（蛋白质的修饰加工内容包括糖基化、羟基化、酰基化等）；需与其他细胞组分严格隔离的蛋白（例如溶酶体中的水解酶类，分泌到细胞外的水解酶类，以及其他具重要生物活性的蛋白）。

有实验表明，内质网具储存 Ca^{2+} 的功能。肌细胞中特化的内质网称肌质网。肌质网是肌细胞中的 Ca^{2+} 蓄库。肌质网膜上的 Ca^{2+} 泵将细胞质基质中的 Ca^{2+} 泵入肌质网膜中储存起来，受神经冲动刺激后释放出来，最终引起肌细胞收缩。

(3) “信号假说”

蛋白质的合成均起始于细胞质基质，然后再转移到粗糙型内质网膜上的核糖体继续合成。根据“信号假说”膜旁核糖体与膜结合受制于 mRNA 中特定的密码顺序或信号顺序。具有这种密码顺序的核糖体才能附着到膜上特定的部位。这一假说认为，具这种密码顺序的核糖体先合成“信号肽”，这种“信号肽”是疏水的，当其 N-末端的“信号肽”延伸出核糖体后即被内质网膜上的受体识别并与之相结合，“信号肽”渗入内质网膜的脂双层，将所生成的多肽链导入内质网膜（图 1-12）。

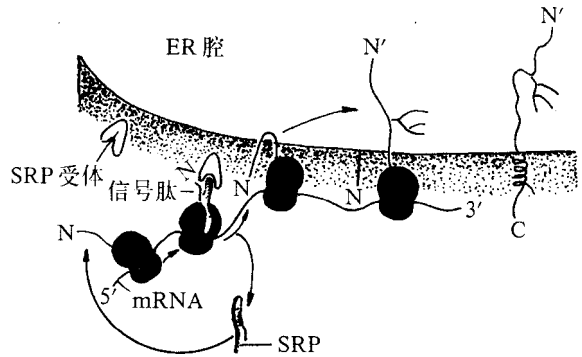


图 1-12 分泌蛋白在内质网上合成过程图解

根据“信号假说”线粒体、叶绿体中蛋白质的合成也起始于细胞质基质，然后在某种“信号肽”的指导下进入这些细胞器中继续合成。

没有“信号肽”的多肽，只能在细胞质基质中合成其合成，再根据自身的信号转移到细胞的其他部位。

(4) 物质的运输

光滑型内质网和粗糙型内质网是相通的。因此，管腔中的脂类和蛋白质也能够相遇

而产生脂蛋白。管腔中的各种分泌物质由内质网膜包裹，从内质网上以出芽的方式形成小泡，这些小泡移向高尔基体，由高尔基体加工、排放。即分泌物质运输的途径是：内质网→高尔基体→质膜→细胞外。在这一过程中，三种结构的膜发生融合或断开，所以这种运输是有方向的，是定向的流动。由于内质网膜内通核膜（外膜），外连质膜，形成了一个内外联通的膜系统，故物质也可通过内质网腔运输。

(5) 内质网的发生

从进化过程看，内质网由细胞膜分化演变而来；核膜由内质网演化而来。此外，内质网与高尔基体关系十分密切。在合成功能旺盛的细胞内，内质网也总是与线粒体紧密相伴。许多成熟的植物细胞中内质网不多。但在种子发育过程中，胚乳细胞负责供应胚的营养物质，代谢作用旺盛，因此细胞中也含有大量的内质网。

5. 核糖体

核糖体普遍存在于所有原核细胞和真核细胞中。红细胞等极个别的高度分化的细胞内没有核糖体。在线粒体和叶绿体内也有核糖体。核糖体可以游离于细胞质中，称为游离核糖体，也可附着在内质网膜表面，称为膜旁核糖体，还可存在于线粒体和叶绿体中。

核糖体呈球形，主要由多种蛋白质和 rRNA 组成。原核细胞的核糖体沉降系数为 70s 真核细胞的为 80s 线粒体中为 55s，叶绿体中为 70s。核糖体均由大小两亚单位组成。例如，原核细胞的核糖体是由 50s 和 30s 两亚单位组成的。

核糖体的主要功能是按照 mRNA 的指令参与蛋白质的生物合成。它一方面要选择和支配蛋白质合成过程中的各种成分；另一方面要保持和移动 mRNA 等。

6. 高尔基体

在电子显微镜下可以看到高尔基体是由许多层由膜包围的扁囊（或称为潴泡）和小泡组成。将其靠近细胞核的一面称形成面或顺面，面向质膜的一面称成熟面或反面（图 1-13）。

高尔基体的功能主要是对细胞中合成的物质进行修饰、改造和加工（如蛋白质的硫酸化），围以外膜形成分泌泡。分泌泡脱离高尔基体向外周移动。最后分泌泡膜与细胞膜融合而将分泌颗粒运输和排出细胞外。高尔基体能合成多糖如粘液等。植物的各种胞外多糖就是高尔基体分泌产生的。

在分泌功能旺盛的细胞或主要执行分泌功能的细胞（如胰腺分泌细胞、唾液腺细胞、小肠上皮细胞）中，高尔基体均很发达，数量多。同时，高尔基体与细胞质膜、植物细胞壁、溶酶体的形成有关。

细胞内物质运输的最主要方式为膜泡运输。高尔基体在膜泡向外转移过程中或内吞形成的膜泡转移中都起调控作用（图 1-14）。

7. 溶酶体

溶酶体是由高尔基体的囊泡发育而成的，外覆一层膜。内腔液呈酸性。

溶酶体内含 60 多种酸性水解酶，可催化蛋白质、多糖、核酸、脂类等物质的降解反应。



图 1-13 动物细胞高尔基体立体的示意图
注意扁囊堆有膨大的边缘，小囊泡由该处芽生

酶的最适 pH 为 5 左右。

按其是否含有作用底物，将溶酶体分为初级溶酶体和次级溶酶体。在完整的初级溶酶体中，水解酶被包在膜里呈潜伏状态，只有当底物进入溶酶体内，使变为次级溶酶体，水解酶才起作用。

溶酶体的功能都是与其内含的酶的活动密切相关的。它能消化从外界摄入细胞内的物质，还能分解细胞中的各种受到损伤的细胞结构的碎片。溶酶体还与细胞的自溶有关。蝌蚪发育为青蛙时，其尾部的退化部分是由于尾部细胞溶酶体的作用 (图 1-15)。

溶酶体存在于动物、真菌和少数植物的细胞中。

如图所示，在变态时蛋白酶的活性相应增加。

8. 液泡

液泡是细胞内充满水液的空间，周围被称为液泡膜的一层单位膜所包围。

许多生物的细胞中均有液泡，但以植物和某些原生动动物最为常见。原生动动物细胞内的食物泡和伸缩泡就是液泡，其功能分别是消化食物和排除过多的水分。

植物细胞中的液泡有其发生发展过程。年幼的细胞中只有很少的分散的小液泡，而成长的细胞中这些小液泡就逐渐合并并发展成为一个大液泡，占据了细胞中央很大部分，而将细胞质和细胞核挤到细胞边缘一侧。具有中央大液泡，是植物细胞的一个特征。

植物的液泡中含有水、无机盐、糖类、氨基酸和花青素等。此外，由于植物细胞没有排除废物的系统，所以一些有毒的废物就凝集成小的结晶贮存在液泡中。

液泡中的液体称为细胞液，具高渗性质。植物液泡的主要功能是保持细胞的紧张状况和参与调节水分的吸收和排出。

液泡还具有其他多种生理功能。例如，中央液泡具有类似溶酶体的功能。

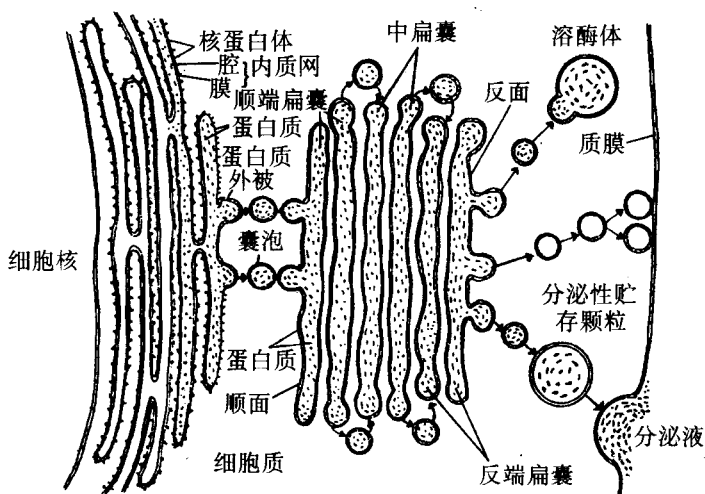


图 1-14 分泌物质运输的途径

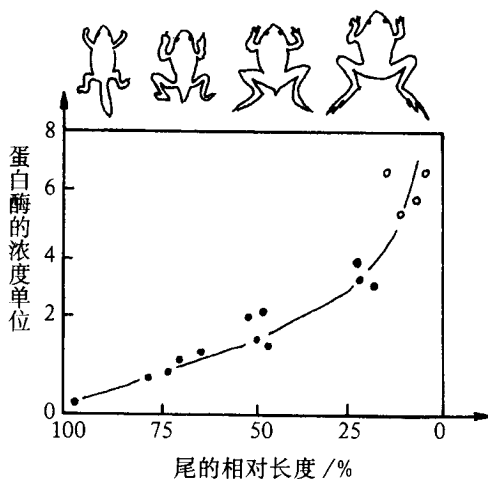


图 1-15 蝌蚪变态成为成蛙，尾部消失

9. 质体

质体是真核植物细胞的细胞器之一。植物细胞区别于动物细胞的最主要特征之一就是它含有质体（某些原生动物也有质体）。质体外围由两层膜包被。

由于质体所含色素和功能的不同，可分为白色体、叶绿体和有色体三种类型（图 1-16）。

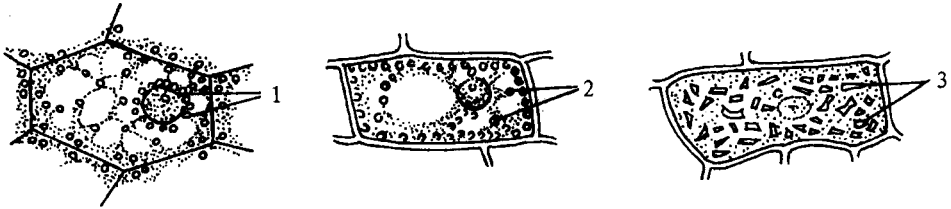


图 1-16 含有不同类型质体的细胞
1. 白色体 ;2. 叶绿体 ;3. 有色体

(1) 前质体

前质体（或称原质体）是质体的前体，通常存在于植物的分生组织中，能进行多次分裂发展成为白色体和叶绿体。在黑暗条件下，前质体发展成为白色体，在光照条件下则发展为叶绿体。

(2) 白色体

白色体无色。主要存在于分生组织以及不见光的细胞中。因所在组织和功能的不同可分为：造粉体、造蛋白体和造油体。例如，贮藏组织的白色体内积累了合成的淀粉粒，这白色体就特称为造粉体。据此而推，积累了结晶形成的蛋白质就称为造蛋白体，积累了脂肪就称为造油体。

(3) 有色体

质体中含有各种色素如类胡萝卜素等呈现一定的颜色而称为有色体。成熟的果实、花以及秋天落叶的颜色主要就是由于这些器官组织中含有各种有色体所致。例如，西红柿的红色来自一种含有特殊的类胡萝卜素和番茄红素的有色体。

(4) 叶绿体

叶绿体是能进行光合作用的质体（图 1-17）高等植物中叶绿体一般为扁平的椭圆形或卵圆形，藻类中的叶绿体有带状、板状、杯状、星状等形态。

叶绿体的基本结构分为三部分：叶绿体膜（外膜、内膜）类囊体、基质。叶绿体的外膜透性较大，内膜则选择性强。

叶绿体基质内存在着基粒结构；基粒由类囊体堆叠而成；类囊体是由膜围成的盘状的扁平囊状结构，光合作用系统所有的色素和电子传递系统都定位在类囊体膜上，具光系统的活性。此外，在基质中还存在着基质类囊体，它贯穿整个基质并将基粒联系起来。

叶绿体中的色素分子分为两类：聚光色素和作用中心色素。作用中心色素分子（P

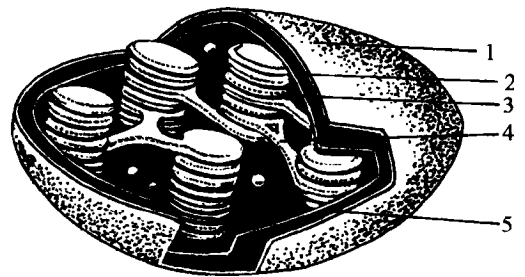


图 1-17 叶绿体立体结构图解
1. 外膜 ;2. 内膜 ;3. 基粒 ;
4. 基粒间膜 (基质内囊体) ;5. 基质

为一种特殊状态的叶绿素 a 分子，按最大吸收峰的不同分为 P680 和 P700，它们具光化学活性。

由一中心色素分子 (P) 和一个原初电子供体 (D) 及一个原初电子受体 (A) 共同组成作用中心。作用中心、聚光色素以及相应的电子传递体共同组成光系统。其中心色素为 P680 则称作光系统 II (PS II)，中心色素为 P700 则称作光系统 I (PS I)。

叶绿体中含有环状的 DNA (不形成染色体) 和 70s 核糖体等，也能合成某些蛋白质，是半自主性细胞器在个体发育中，叶绿体由前质体分化而来，细胞内叶绿体数目的增加主要靠幼龄叶绿体的分裂。各类型质体之间，在发育上有密切联系 (图 1-18) 在不同时期和不同组织中，可按下列路线互相转化：

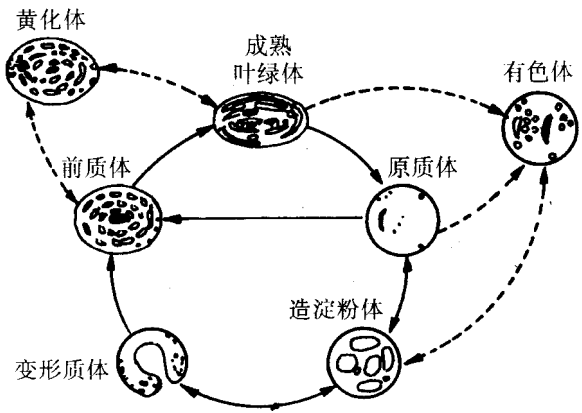
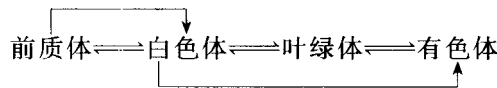


图 1-18 质体发育途径

在不同时期和不同组织中，可按下列路线互相转化：



10. 微体

微体是一种很小的细胞器，由一层膜包围。各种动植物细胞内都有微体。新的微体可通过已有微体的生长和分裂形成。过氧化物酶体和乙醛酸循环体是微体的两种类型。

(1) 过氧化物酶体

这是微体的一种，存在于动物细胞和很多植物细胞中。它含有一种或几种氧化酶，细胞中约 20% 的脂肪酸是在过氧化物酶体中被氧化分解的。反应的结果可能产生对细胞有毒的 H_2O_2 。但过氧化物酶体中存在的过氧化氢酶等能使 H_2O_2 分解，生成 H_2O 和 O_2 ，从而起到解毒作用。有些细胞如肝、肾细胞中，过氧化物酶体的过氧化氢酶还能利用 H_2O_2 来解毒。例如，人们饮入的酒精可在过氧化物酶体中被氧化为乙醛。

此外，植物细胞中的一种过氧化物酶体还参与“光呼吸”过程，催化二氧化碳固定反应中副产物的氧化。

(2) 乙醛酸循环体

这是仅存在于植物细胞中的一种微体。该微体含有乙醛酸循环的酶类，如异柠檬酸裂解酶和苹果酸合成酶。在种子萌发过程中 (亦即年幼细胞中)，该微体特别丰富，它能将细胞中贮藏的脂类降解产物乙酰辅酶 A 经乙醛酸循环转化为糖，以提供种子萌发时所需的糖 (图 1-19)。动物细胞中没有这种微体，所以不能将脂类转化为糖。

11. 微管、微丝、中间纤维、微梁系统

微管、微丝和中间丝等共同构成了细胞骨架。细胞骨架对于细胞形状的支撑与形态建成、细胞内物质的运输、细胞运动、细胞内信号的传递等方面具有一定的作用。