

第1节

细胞膜的结构和功能

问题探讨

鉴别动物细胞是否死亡常用台盼蓝染液。用它染色时，死细胞会被染成蓝色，而活细胞不会着色。

讨论

1. 为什么活细胞不能被染色，而死细胞能被染色？
2. 据此推测，细胞膜作为细胞的边界，应该具有什么功能？



用台盼蓝染液染色后的
死细胞和活细胞(放大200倍)

◎ 本节聚焦

- 细胞膜有哪些主要功能？
- 流动镶嵌模型的基本内容是什么？
- 通过对细胞膜结构的探索过程的分析，你对科学的过程和方法有哪些领悟？

一个国家有陆地、海域、领空的边界；使人体内部与外界分隔的皮肤和黏膜，是人体的边界。系统的边界对系统的稳定至关重要。细胞作为一个基本的生命系统，它的边界就是细胞膜 (cell membrane)，也叫质膜 (plasma membrane)。

细胞膜作为系统的边界，它在细胞的生命活动中起什么作用呢？

细胞膜的功能

将细胞与外界环境分隔开 在生命起源的过程中，原始海洋 (图3-1) 中的有机物逐渐聚集并且相互作用，演化出原始的生命。在原始海洋这盆“热汤”中，膜的出现是生命起源过程中至关重要的阶段，它将生命物质与外界环境分隔开，产生了原始细胞，并成为相对独立的系统。细胞膜保障了细胞内部环境的相对稳定。

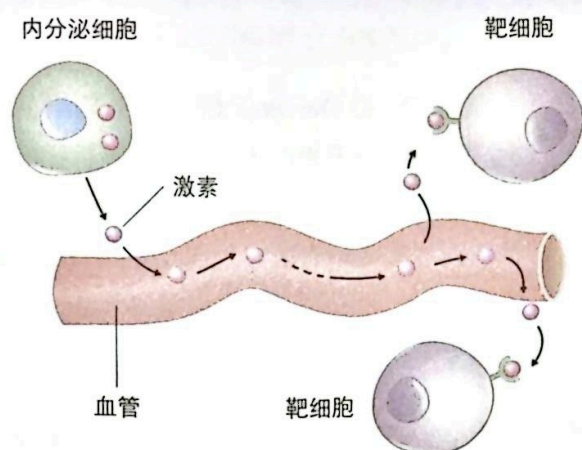
控制物质进出细胞 细胞膜像海关或边防检查站，对出细胞的物质进行严格的“检查”。一般来说，细胞需要营养物质可以从外界进入细胞；细胞不需要的物质不容易入细胞。上面“问题探讨”中的实例，就说明活细胞的细胞膜对物质进入细胞具有控制作用。抗体、激素等物质在细胞内合成后，分泌到细胞外，细胞产生的废物也要排到细胞外。但是，细胞内有用的成分却不会轻易流失到细胞外。当



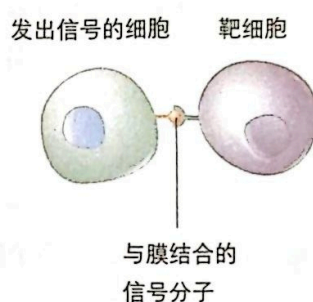
▲ 图3-1 推测的原始海洋景观想象图

细胞膜的控制作用是相对的，环境中一些对细胞有害的物质有可能进入；有些病毒、病菌也能侵入细胞，使生物体患病。

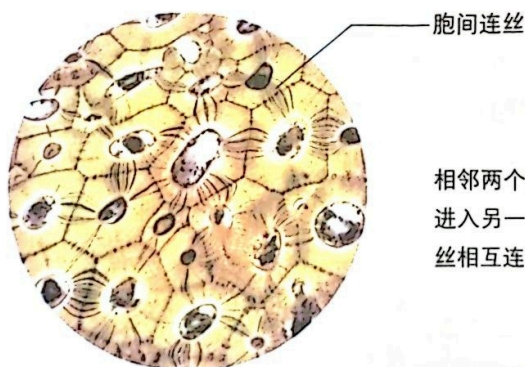
进行细胞间的信息交流 在多细胞生物体内，各个细胞都不是孤立存在的，它们之间必须保持功能的协调，才能使生物体健康地生存。这种协调性的实现不仅依赖于物质和能量的交换，也有赖于信息的交流。细胞间信息交流的方式多种多样（如图3-2）。



内分泌细胞分泌的激素（如胰岛素），随血液到达全身各处，与靶细胞的细胞膜表面的受体结合，将信息传递给靶细胞。



相邻两个细胞的细胞膜接触，信息从一个细胞传递给另一个细胞。例如，精子和卵细胞之间的识别和结合。



相邻两个细胞之间形成通道，携带信息的物质通过通道进入另一个细胞。例如，高等植物细胞之间通过胞间连丝相互连接，也有信息交流的作用。

▲ 图3-2 细胞间信息交流的方式举例

多细胞生物是一个繁忙而有序的细胞“社会”。如果没有信息交流，生物体不可能作为一个整体完成生命活动。细胞间的信息交流，大多与细胞膜的结构有关。

细胞膜的功能是由它的成分和结构决定的。但细胞膜非常薄，即使在高倍显微镜下依然难以看清它的真面目，人们对细胞膜化学成分与结构的认识经历了很长的过程。

对细胞膜成分的探索

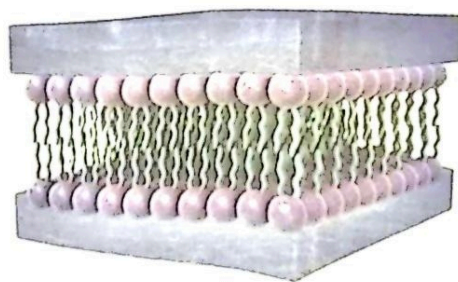
1895年, 欧文顿 (E. Overton) 用 500 多种化学物质对植物细胞的通透性进行了上万次的实验, 发现细胞膜对不同物质的通透性不一样: 溶于脂质的物质, 容易穿过细胞膜; 不溶于脂质的物质, 不容易穿过细胞膜。据此推测: 细胞膜的主要组成成分中有脂质。

为了进一步确定细胞膜中脂质成分的类型, 科学家利用动物的卵细胞、红细胞、神经细胞等作为研究材料, 并利用哺乳动物的红细胞, 通过一定的方法制备出纯净的细胞膜, 进行化学分析, 得知组成细胞膜的脂质有磷脂和胆固醇, 其中磷脂含量最多。

磷脂的一端为亲水的头, 两个脂肪酸一端为疏水的尾 (见下图), 多个磷脂分子在水中总是自发地形成双分子层。

1925年, 两位荷兰科学家戈特 (E. Gorter) 和格伦德尔 (F. Grendel) 用丙酮从人的红细胞中提取脂质, 在空气—水界面上铺展成单分子层, 测得单层分子的面积恰为红细胞表面积的 2 倍。他们由此推断: 细胞膜中的磷脂分子必然排列为连续的两层 (见右上图)。

1935年, 英国学者丹尼利 (J. F. Danielli)



在水中形成的磷脂双分子层模式图

和戴维森 (H. Davson) 研究了细胞膜的张力。他们发现细胞的表面张力明显低于油—水界面的表面张力。由于人们已发现了油脂滴表面如果吸附有蛋白质成分则表面张力会降低, 因此丹尼利和戴维森推测细胞膜除含脂质分子外, 可能还附有蛋白质。

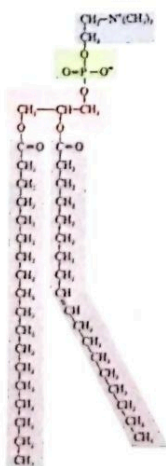
讨论

1. 最初对细胞膜成分的认识, 是通过现象的推理分析, 还是通过对膜成分的提取与检测?

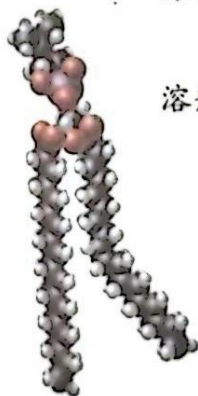
2. 根据磷脂分子的特点解释, 为什么磷脂在空气—水界面上铺展成单分子层? 科学家是如何推导出“脂质在细胞膜中必然排列为连续的两层”这一结论的?

3. 磷脂分子在水中能自发地形成双分子层, 你如何解释这一现象? 由此, 你能否就细胞膜是由磷脂双分子层构成的原因作出分析?

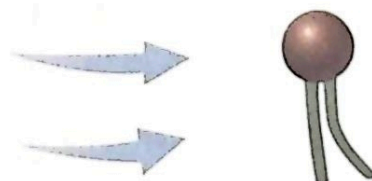
4. 如果将磷脂分子置于水—苯的混合溶剂中, 磷脂分子将会如何分布?



磷脂分子结构式



磷脂分子模型



磷脂分子示意图

对细胞膜结构的探索

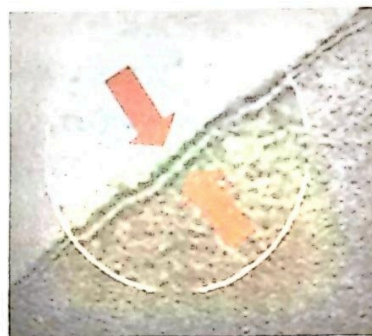
对细胞膜成分的研究发现,细胞膜主要是由脂质和蛋白质组成的。此外,还有少量的糖类。其中脂质约占细胞膜总质量的50%,蛋白质约占40%,糖类占2%~10%。在组成细胞膜的脂质中,磷脂最丰富,此外还有少量的胆固醇。蛋白质在细胞膜行使功能方面起着重要的作用,因此功能越复杂的细胞膜,蛋白质的种类与数量就越多。

脂质和蛋白质等成分是如何组成细胞膜的呢?

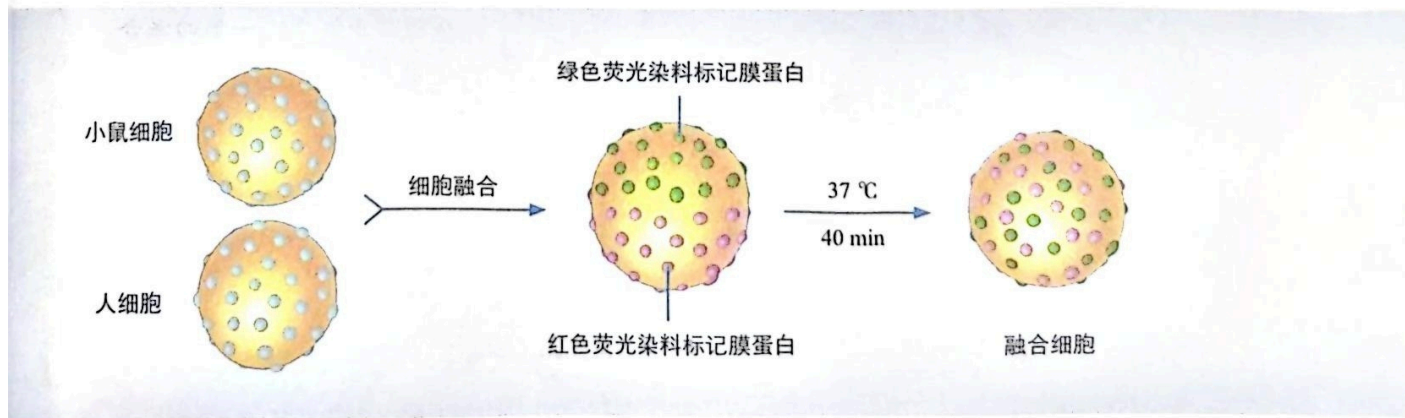
20世纪40年代,曾经有学者推测脂质两边各覆盖着蛋白质。1959年,罗伯特森(J. D. Robertson)在电镜下看到了细胞膜清晰的暗—亮—暗的三层结构(图3-3),他结合其他科学家的工作,大胆地提出了细胞膜模型的假说:所有的细胞膜都由蛋白质—脂质—蛋白质三层结构构成,电镜下看到的中间的亮层是脂质分子,两边的暗层是蛋白质分子。他把细胞膜描述为静态的统一结构。

20世纪60年代以后,人们对这一模型的异议增加了。不少科学家对于细胞膜是静态的观点提出质疑:如果是这样,细胞膜的复杂功能将难以实现,就连细胞的生长、变形虫的变形运动这样的现象都难以解释。

1970年,科学家将小鼠细胞和人细胞融合,并用发绿色荧光的染料标记小鼠细胞表面的蛋白质分子,用发红色荧光的染料标记人细胞表面的蛋白质分子。这两种细胞刚融合时,融合细胞的一半发绿色荧光,另一半发红色荧光。在37℃下经过40 min,两种颜色的荧光均匀分布(图3-4)。这一实验以及相关的其他实验证据表明,细胞膜具有流动性。



▲ 图3-3 细胞膜结构的电镜照片
(放大400 000倍)



▲ 图3-4 荧光标记的小鼠细胞和人细胞融合实验示意图

在新的观察和实验证据的基础上，又有学者提出了一些关于细胞膜的分子结构模型。其中，1972年，辛格（S. J. Singer）和尼科尔森（G. Nicolson）提出的流动镶嵌模型为大多数人所接受。

科学方法

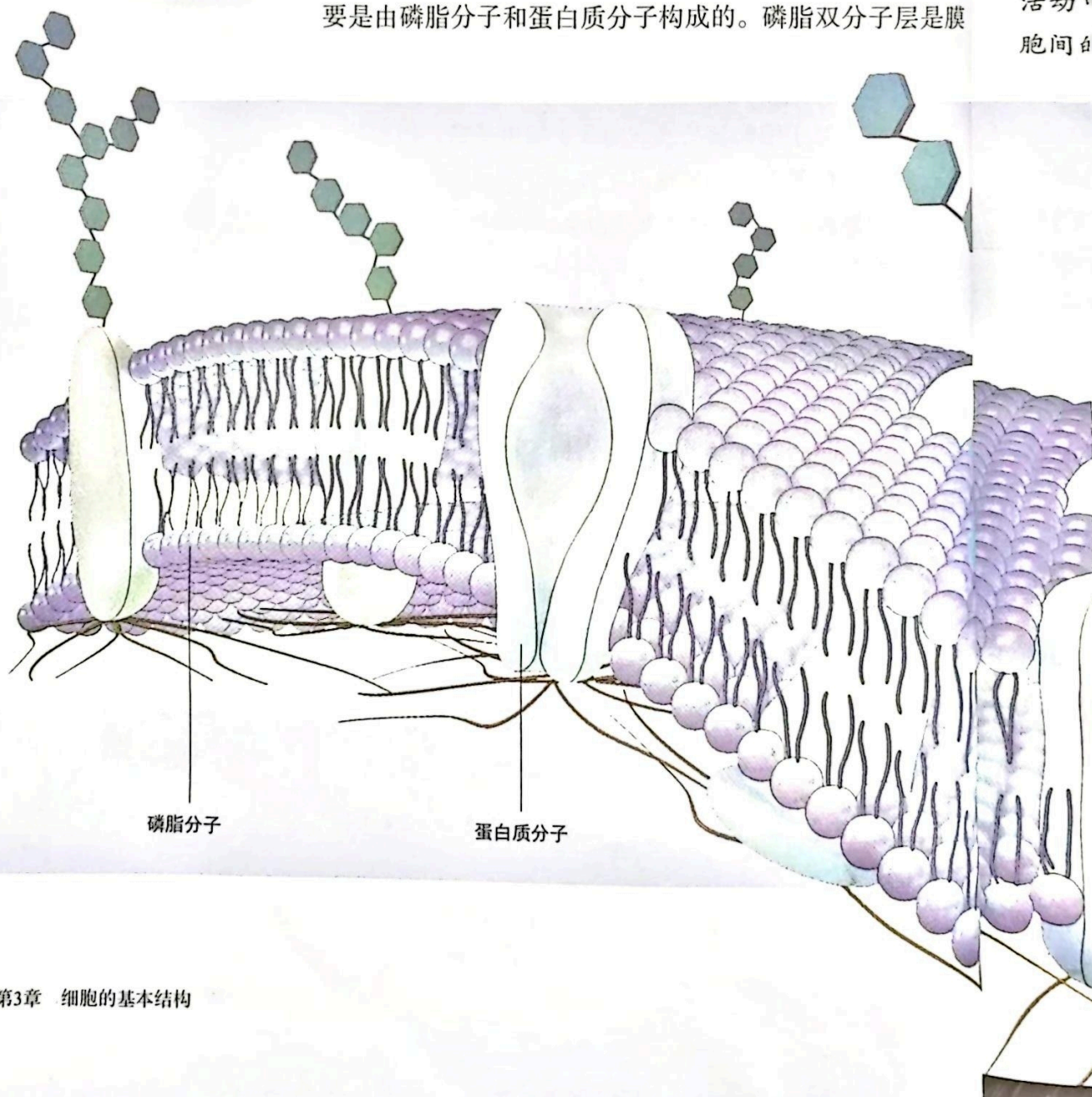
提出假说

细胞膜结构模型的探索过程，反映了提出假说这一科学方法的作用。科学家首先根据已有的知识和信息提出解释某一生物学问题的一种假说，再用进一步的观察与实验对已建立的

假说进行修正和补充。一种假说最终被接受或被否定，取决于它是否能与以后不断得到的观察和实验结果相吻合。

流动镶嵌模型的基本内容

流动镶嵌模型（fluid mosaic model）认为，细胞膜主要是由磷脂分子和蛋白质分子构成的。磷脂双分子层是膜



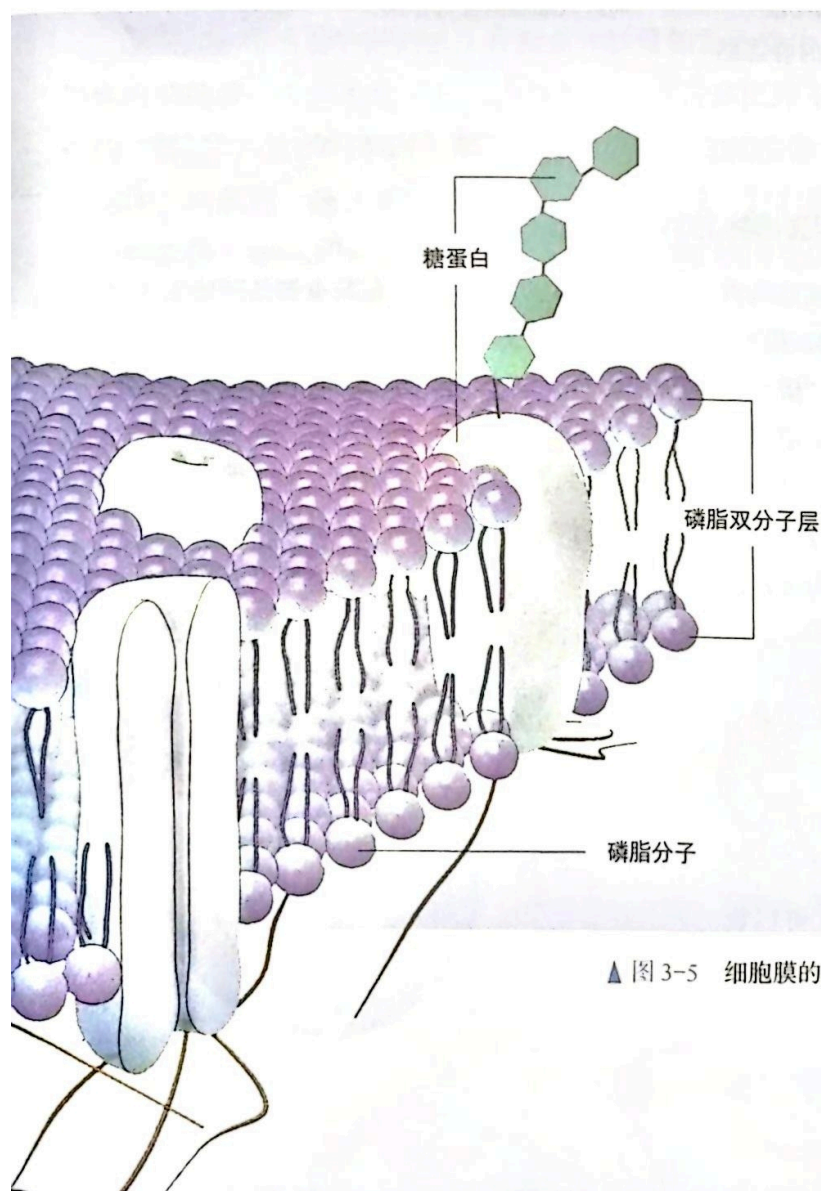
的基本支架，其内部是磷脂分子的疏水端，水溶性分子或离子不能自由通过，因此具有屏障作用。蛋白质分子以不同方式镶嵌在磷脂双分子层中：有的镶在磷脂双分子层表面，有的部分或全部嵌入磷脂双分子层中，有的贯穿于整个磷脂双分子层（图3-5）。这些蛋白质分子在物质运输等方面具有重要作用。

细胞膜不是静止不动的，而是具有流动性，主要表现为构成膜的磷脂分子可以侧向自由移动，膜中的蛋白质大多也能运动。细胞膜的流动性对于细胞完成物质运输、生长、分裂、运动等功能都是非常重要的。

对细胞膜的深入研究发现，细胞膜的外表面还有糖类分子，它和蛋白质分子结合形成糖蛋白，或与脂质结合形成糖脂，这些糖类分子叫作糖被（glycocalyx）。糖被在细胞生命活动中具有重要的功能。例如，糖被与细胞表面的识别、细胞间的信息传递等功能有密切关系。



既然膜内部分是疏水的，水分子为什么能跨膜运输呢？



想象空间

发挥自己的空间想象能力，想象一个近似球形的细胞，其细胞膜的磷脂双分子层的三维立体结构。

▲ 图3-5 细胞膜的结构模型示意图