

普通高中课程标准实验教科书

经全国中小学教材审定  
委员会2004年初审通过

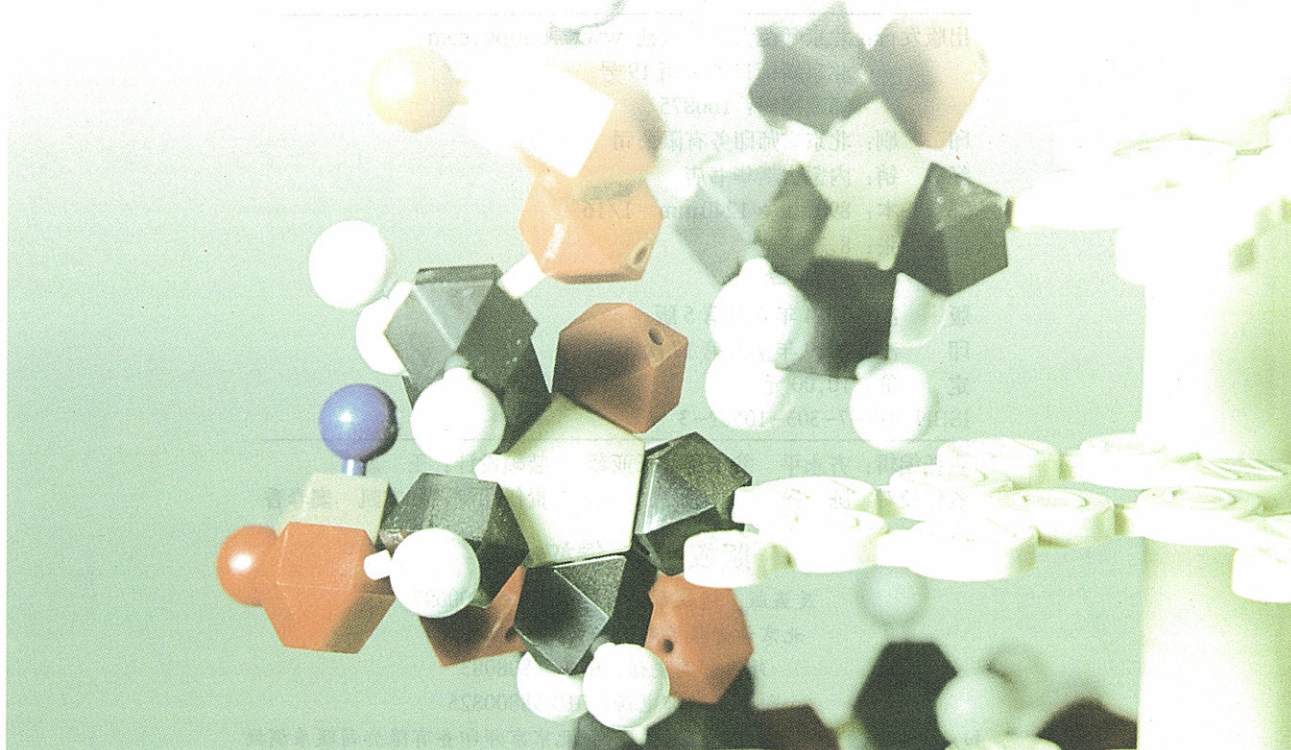
# 生物



必修

## 分子与细胞

■ 主编 刘植义 付尊英



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社

# 目 录

致同学们——走进现代生物科学与技术的殿堂 .....	1
“分子与细胞”模块学习目标 .....	3
<b>第 1 章 认识细胞</b> .....	<b>4</b>
第 1 节 多种多样的细胞 .....	6
第 2 节 人类探索细胞的历史 .....	10
<b>第 2 章 细胞的化学组成</b> .....	<b>14</b>
第 1 节 组成细胞的元素 .....	16
第 2 节 组成细胞的无机物 .....	18
一 水 .....	18
二 无机盐 .....	20
第 3 节 组成细胞的有机物 .....	21
一 生物大分子的碳链骨架 .....	22
二 糖类 .....	23
三 蛋白质 .....	25
四 核酸 .....	29
五 脂质 .....	31
<b>第 3 章 细胞的结构</b> .....	<b>36</b>
第 1 节 细胞膜与细胞壁 .....	38
一 细胞膜 .....	38
二 细胞壁 .....	40
第 2 节 细胞器与胞质溶胶 .....	41
一 细胞器 .....	41
二 胞质溶胶 .....	49
第 3 节 细胞核 .....	51
第 4 节 细胞的生物膜系统与细胞骨架 .....	53
一 细胞的生物膜系统 .....	54
二 细胞骨架(选学) .....	56

<b>第 4 章 细胞的物质代谢</b> .....	60
第 1 节 生物催化剂——酶 .....	62
一 酶的化学本质及作用 .....	62
二 酶的特点 .....	62
三 酶的应用 .....	66
第 2 节 细胞内外的物质交换 .....	67
一 细胞膜的选择透过性 .....	67
二 物质出入细胞的方式 .....	69
第 3 节 细胞内的物质代谢 .....	73
<b>第 5 章 细胞的能量代谢</b> .....	76
第 1 节 生命活动的直接能源——ATP .....	78
第 2 节 细胞呼吸 .....	80
一 细胞呼吸的方式 .....	80
二 细胞呼吸的过程 .....	81
三 细胞呼吸在生产、生活中的应用 .....	85
第 3 节 光合作用 .....	86
一 叶绿体中的色素 .....	86
二 光合作用的过程 .....	89
三 光合作用与农业 .....	92
<b>第 6 章 细胞的信息传递</b> .....	98
一 细胞主要利用化学物质相互传递信号 .....	100
二 细胞物质代谢、能量代谢与信息传递的统一 .....	103
<b>第 7 章 细胞的增殖</b> .....	104
第 1 节 体细胞的分裂 .....	106
一 细胞不能无限长大 .....	106
二 有丝分裂 .....	107
三 无丝分裂 .....	113
第 2 节 细胞的癌变 .....	115
<b>第 8 章 细胞的分化、凋亡和衰老</b> .....	120
第 1 节 细胞的分化 .....	122
第 2 节 细胞的凋亡 .....	126
第 3 节 细胞的衰老 .....	128
附录 I 中英文词汇对照表 .....	132
附录 II 书海拾贝 .....	135

# 致同学们——走进现代生物科学与技术的殿堂

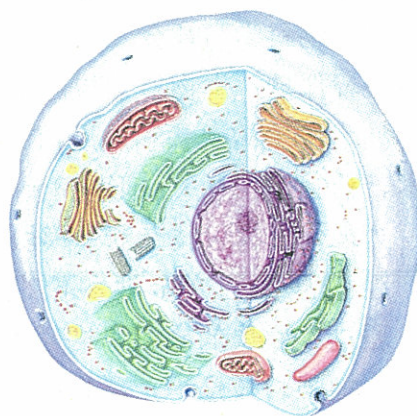
亲爱的同学们：

从今天开始，你们将学习高中《生物》这门新课程了。在今后的日子里，你们要学习有关现代生物科学的新知识和新本领，生物课会带领你们走进现代生物科学与技术的殿堂。

在学习高中生物课之前，你们一定想了解高中生物课程是怎样安排的。《普通高中生物课程标准（实验）》将生物课程内容分为必修和选修两部分，共6个模块。必修部分有“分子与细胞”“遗传与进化”和“稳态与环境”；选修部分有“生物技术实践”“生物科学与社会”和“现代生物科技专题”。

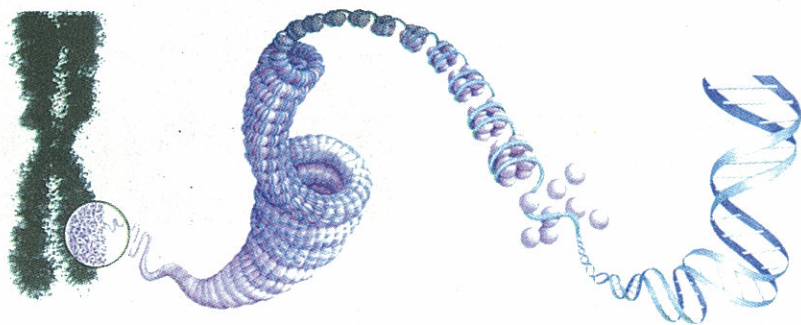
首先，我们谈谈必修模块。

必修模块是现代生物科学的核心内容，对提高同学们的生物科学素养具有重要作用。“分子与细胞”模块选取的学习内容是细胞生物学方面最基本的知识和研究的最新进展以及相关的实际应用。通过本模块的学习，同学们将在微观层面上，从分子水平了解活细胞生命活动的奥秘，进一步认识细胞是如何通过物质代谢、能量代谢和信息传递进行生命活动的。这将有助于同学们深入理解生命的本质和辩证唯物主义自然观的形成。由于细胞是生物体结构和生命活动的基本单位，因此本模块是学习其他模块的基础。



“遗传与进化”模块选取的学习内容主要是近代遗传学与进化论的基础知识，以及遗传与进化原理在生产和生活中的实际应用。学习这个模块的内容，不仅使同学们在遗传信息的高度上，从分子水平认识遗传与进化的奥秘，进一步理解生命的延续性和多样性，而且对同学们形成生物进化的观点、树立正确的自然观有重要意义。

“稳态与环境”模块选取的学习内容主要是有关生命活动的调节与稳态、生物与环境的基础知识。生物个体、群体和生物圈（生物与环境）不同层次水平的稳态，体现了生物





界本身与其周围环境就是一个相对稳定的生态系统。保持稳态是人类生存和发展的前提和基础。本模块的学习，将有助于同学们理解生命活动的本质，了解系统分析的思想方法，提高对生命系统与环境关系的认识，为树立人与自然和谐发展的观念，形成环境保护意识奠定扎实的基础。

其次，我们再谈谈选修模块。

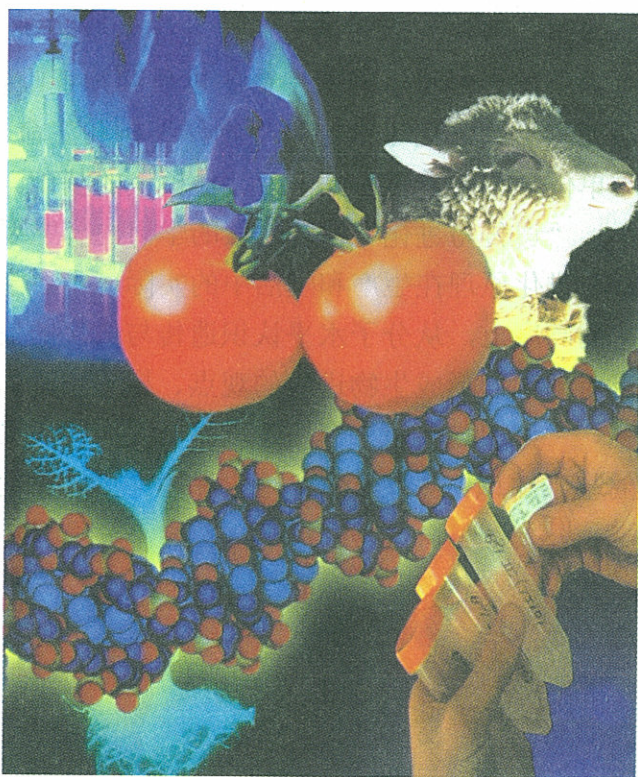
选修模块是为了进一步提高同学们的生物科学素养、满足同学们今后多样化发展的需要设计的。选修模块的学习需要以必修模块的学习为基础。

“生物技术实践”模块是实验课，主要学习一些实用的生物技术，内容包括微生物技术的利用、酶的应用、生物技术在食品加工中的应用等。本模块重在创新精神和实践能力的培养，通过本模块的学习，同学们可以加深对相关知识的理解，同时掌握一定的与日常生活密切相关的生物学技能与技巧。

“生物科学与社会”模块的学习内容包括生物科学与农业、生物科学与工业、生物科学与环境保护、生物科学与健康四部分。通过本模块的学习，同学们可以全面地了解生物科学技术的现状和发展前景，从而更加关注社会、生活和身边的科学技术，对科学、技术、社会的相互关系形成正确的认识。

“现代生物科技专题”模块的学习内容包括生态工程、胚胎工程、细胞工程、基因工程、生物技术的安全性和伦理问题五部分。通过本模块的学习，同学们可以开阔视野，增强科技意识，激发探索生命奥秘和热爱生物科学的情感，为进一步学习现代生物学奠定基础。

同学们，生物科学的发展前景非常广阔，它为人们展现了一个极其美好的未来。欢迎你们选择更多的生物学模块学习。当你们走进生物科学的殿堂，领略生物科学的辉煌成果时，你们就会深切地感受到生物科学的美妙神奇。只要你们用科学武装了自己的头脑，不断涵养自己的科学品质，磨砺科学精神，并且学会运用科学方法，你们就会得到一把打开生命科学大门的金钥匙，这把金钥匙将为你规划人生、开创未来奠定坚实的基础。



## “分子与细胞”模块学习目标

- 分析细胞学说建立的过程。
- 使用显微镜观察多种多样的细胞。
- 说出水和无机盐的作用。
- 说明生物大分子以碳链为骨架。
- 概述核酸的结构和功能。
- 概述蛋白质的结构和功能。
- 说明酶在代谢中的作用。
- 举例说出脂质的种类和作用。
- 概述糖类的种类和作用。
- 简述细胞膜的结构和功能。
- 说明物质进出细胞的方式。
- 举例说出几种细胞器的结构与功能。
- 解释 ATP 在能量代谢中的作用。
- 说明光合作用以及对它的认识过程。
- 研究影响光合作用速率的环境因素。
- 说明细胞呼吸, 探讨其原理的应用。
- 阐明细胞核的结构与功能。
- 尝试建立真核细胞的模型。
- 简述细胞的生长和增殖的周期性。
- 描述细胞的无丝分裂。
- 观察细胞的有丝分裂并概述其过程。
- 举例说明细胞的全能性。
- 说明细胞的分化。
- 探讨细胞的衰老和凋亡与人体健康的关系。
- 说出癌细胞的主要特征, 讨论恶性肿瘤的防治。

# 第1章

# 认识细胞

## 主要内容

### 1. 多种多样的细胞

- 细胞的形态结构与功能相适应
- 真核细胞
- 原核细胞
- 非细胞生物体——病毒

### 2. 人类探索细胞的历史

- 细胞的发现
- 细胞学说的建立
- 对细胞的深入探索



细胞是生物体结构和生命活动的基本单位。生长、发育、繁殖、死亡等生命活动都是从细胞活动开始的。要认识生命活动，必须先了解细胞。

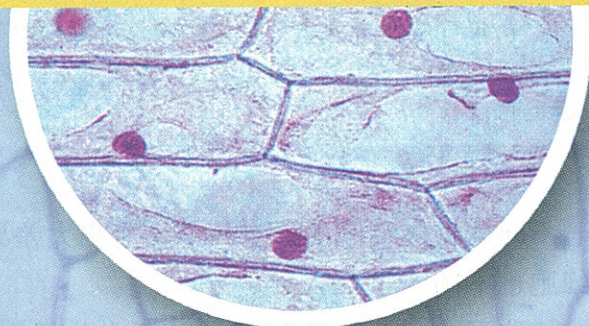
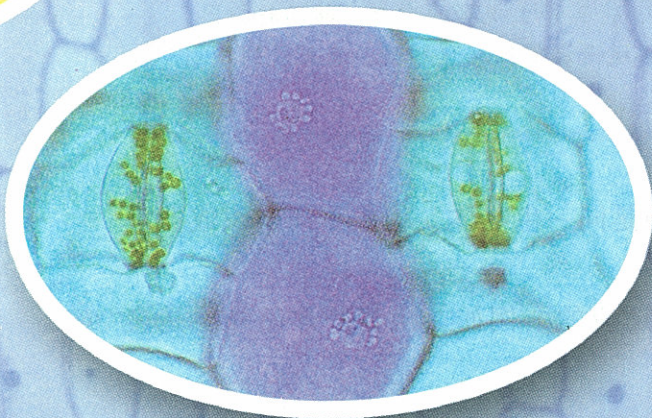
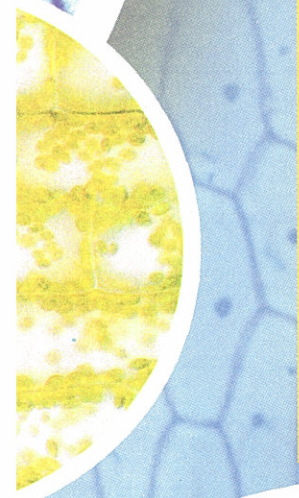
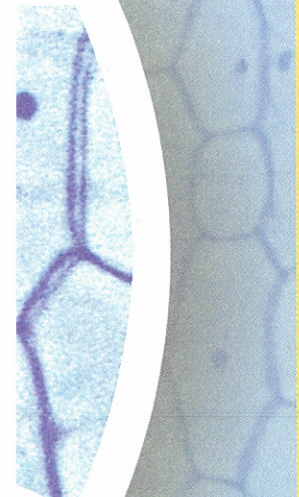
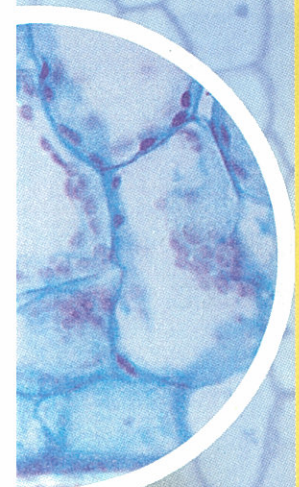
“细胞”这个词的原意是小室。自英国科学家罗伯特·胡克(R. Hooke, 1635—1720)在《显微图谱》一书中首次用“细胞”一词来描述他在复式显微镜下看到的软木片的细微结构——死细胞的细胞壁开始，这个词便具有了一定的生物学含义。与罗伯特·胡克同时代的荷兰人列文虎克(A. van Leeuwenhoek, 1632—1723)对许多生物材料进行了认真细致地观察，发现了许多活细胞，其中包括多种微生物的细胞。

17世纪末到18世纪末这100年间，由于显微技术没有取得多大的进展，人们对细胞的了解基本上处于停滞状态，但是这期间一些自然哲学家已经提出了生命体是由更小单位构成的观点，这为细胞学说的建立提供了思想基础。

19世纪初期，在细胞领域多项研究的基础上，德国科学家施莱登(M.J. Schleiden, 1804—1881)和施旺(T. Schwann, 1801—1882)提出了细胞学说。细胞学说在当时得到了人们的普遍接受，这一学说为人们理解和研究生物的结构与功能指出了一个新的方向。同时，该学说中的一些不足之处，如关于细胞发生的见解，有关细胞黏液的模糊概念等，也引起了人们的争议。在科学家的努力下，细胞学说中一些不足之处逐渐被消除，细胞学说更加完善。

19世纪末，人们在研究多种动植物疾病的基础上发现了病毒，病毒本身并没有细胞结构，但是它必须寄生在活细胞中才能进行自身的代谢和繁殖，从这个角度上说，病毒的发现进一步肯定了细胞是生命活动的基本单位。

20世纪50年代以前，细胞学的研究主要集中在形态方面，对细胞有丝分裂、减数分裂、受精以及细胞分化过程等都进行了细致地观察和描述。50年代以后，电子显微技术的应用使细胞形态的研究更加深入，一些在光学显微镜下不能看到的结构逐渐被揭示出来。由于分子遗传学、生物化学以及生物进化等方面的研究都离不开细胞，这促进了细胞学研究的不断深入。今天的细胞学已经与分子生物学、遗传学、生物化学等学科紧密联系，进入分子层次的研究，发展成为细胞生物学。





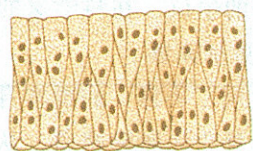
# 第 1 节 多种多样的细胞

自然界的生物形形色色，有些很小，如衣藻、变形虫等单细胞生物，小得难以通过肉眼观察；有些则很大，如大象、蓝鲸等，它们都是由许多细胞 (cell) 构成的。那么构成它们的细胞形态结构有哪些异同？这对于生物体来说有什么意义呢？

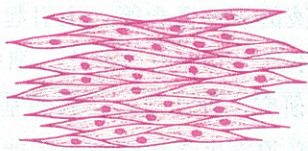
## ● 细胞的形态结构与功能相适应



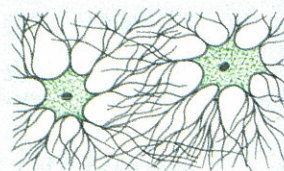
用高倍镜观察几类动植物及人体组织的切片或细胞装片，描述所观察的每一类细胞的特点。结合图 1-1 思考：细胞的结构特点和它的功能有什么关系？通过大量而认真地观察，你能得出哪些结论？



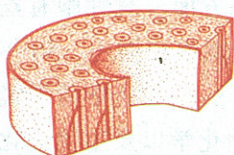
上皮组织



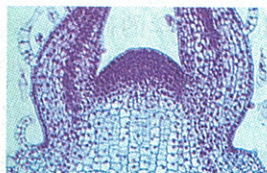
肌肉组织



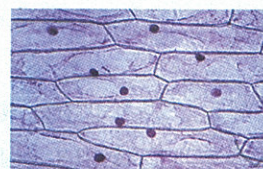
神经组织



结缔组织(骨)



分生组织



保护组织

图 1-1 不同的生物组织



高倍镜的使用方法：在低倍物镜下找到清晰的目标，将其移至视野的中央，转动转换器，用高倍物镜进行观察，调整光圈和反光镜使视野明亮，再缓慢调节细准焦螺旋，直至看到清晰的物像。

不同生物体细胞的形态与结构有很大差异，即使是同一生物体，构成不同组织或器官的细胞也不同。

细胞形态结构的不同是与其所在位置和功能相适应的。例如，植物叶片最外层是表

皮(图 1-2),对叶片起保护作用。表皮主要由表皮细胞构成,表皮细胞无色透明,以便光线透过表皮,利于叶肉细胞进行光合作用;表皮上还有由双肾型的保卫细胞构成的气孔,保卫细胞通过形态变化控制气孔开合,以此控制水及气体进出叶片。这说明,细胞的功能不同,其形态结构也不同,细胞的形态结构是与其功能相适应的。

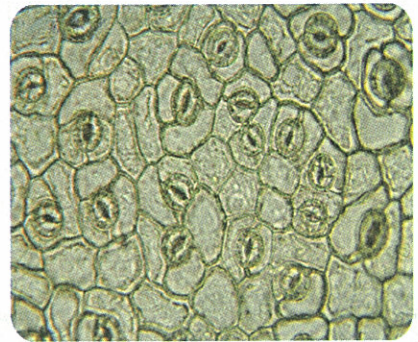


图 1-2 植物叶片表皮

### ●真核细胞

观察动植物细胞可以发现,尽管它们的形态结构有明显的差异,但绝大多数细胞都有由核被膜包被的细胞核,这种细胞被称为真核细胞(eukaryotic cell)。真核细胞中还含有许多由膜包被的其他复杂结构。由真核细胞构成的生物就是真核生物(eukaryote)。真核生物除动植物外还包括真菌和原生生物(图 1-3)。

我们生活中常见的蘑菇、木耳都属于真菌;在温暖、潮湿的环境中,物品很容易发霉,这些霉就是霉菌,霉菌是真菌的一种。与酒精发酵相关的酵母菌也属于真菌,它是一种单细胞真菌。



#### 小资料

只有少数真核生物的细胞是没有细胞核的,如高等植物成熟的筛管细胞、哺乳动物成熟的红细胞等。

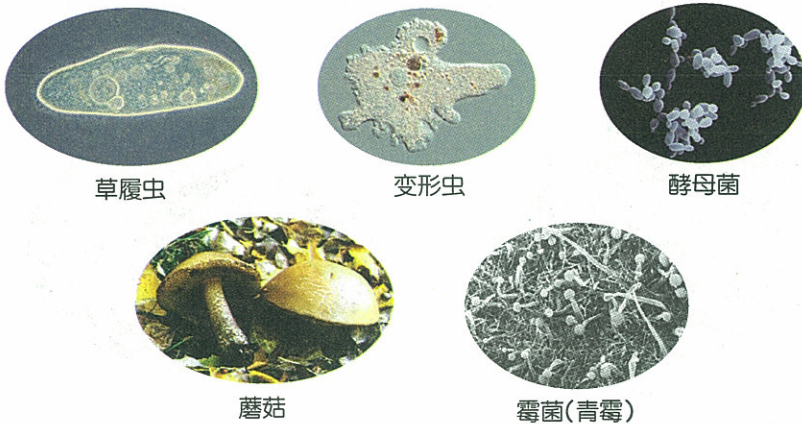


图 1-3 几种真菌和原生生物

草履虫、变形虫、衣藻等属于原生生物,它们是最简单的真核生物,是由单个细胞构成的。原生生物主要生活在水中。大多数原生生物的一个细胞就是整个生命体,其各种生命活动由细胞中特定的细胞结构完成。

### ●原核细胞

原核细胞(prokaryotic cell)一般非常微小,直径只有  $0.2 \sim 10 \mu\text{m}$ ,结构比较简单。大多数原核细胞具有细胞壁。与真核细胞相比,原核细胞最显著的特点是不能观察到典型的细胞核,这是因为原核细胞的遗传物质没有核被膜包被,它的遗传物质分布在细胞质中的特定区域,这个区域叫作拟核。由原核细胞构成的生物叫作原核生物(prokaryote)。蓝细

菌(原称蓝藻)和细菌是两种重要的原核生物类群。

蓝细菌是自养生物,能进行光合作用,以 $\text{CO}_2$ 为碳源合成有机物。一些鱼类直接以蓝细菌为食。在富含N、P、K等矿质元素的水中,蓝细菌的大量繁殖会造成水华(图1-4)。

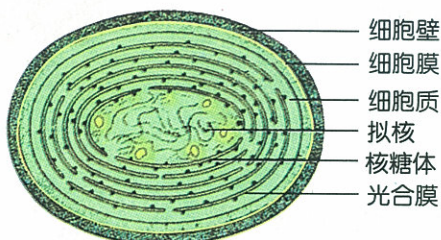


思考

细菌一定对人类有害吗?



蓝细菌(显微照片)



蓝细菌结构模式图



水华

图1-4 蓝细菌与水华

多数细菌是异养生物,它们从有机物中获得碳源和能量,自然界中也有少数细菌是自养生物。细菌在自然界中分布广泛、类型众多,空气、水、土壤以及生物体表面和体内都存在大量细菌。例如,根瘤菌(图1-5)可以入侵到植物根内,利用植物内部的矿质元素和有机物,将空气中的氮气转化为植物可利用的氨的形式;生活在人体大肠中的大肠杆菌(图1-6)和双歧杆菌(图1-7)是人体消化道中的两类重要菌群,这两种细菌通常是不致病的,相反能够竞争性抑制有害微生物的生长;幽门螺杆菌(图1-8)是科学家从哺乳动物胃中分离到的,这种细菌被认为是胃炎和胃癌的元凶;肺炎双球菌和金黄色葡萄球菌(图1-9)也与人类某些感染性疾病有关。

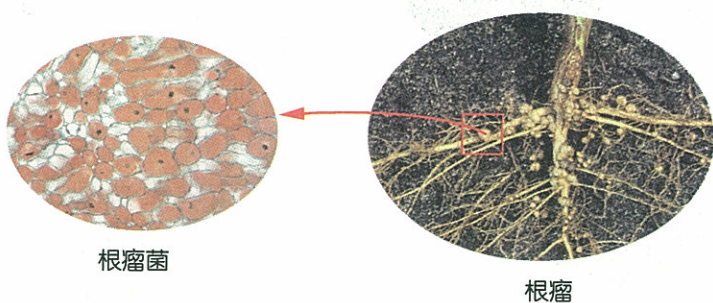


图1-5 根瘤菌与根瘤

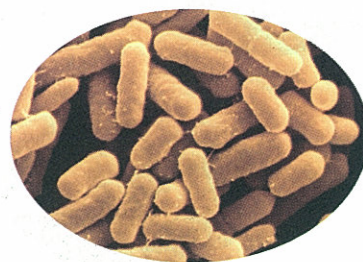


图1-6 大肠杆菌

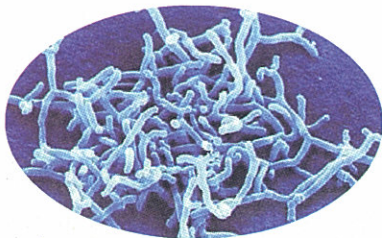


图1-7 双歧杆菌

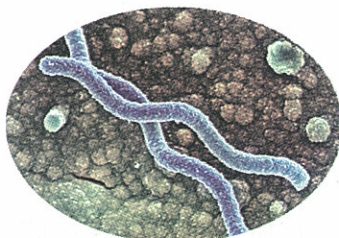


图1-8 幽门螺杆菌

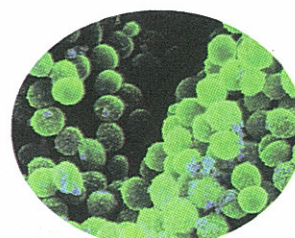


图1-9 金黄色葡萄球菌

原核生物增殖速度非常快，在实验室培养的条件下，一个大肠杆菌每 20 min 就能分裂一次，理论上，一个大肠杆菌经过一个晚上就能形成上千万个后代，如果在固体培养基上培养，这些细菌聚集在一起就可以形成肉眼可见的菌落（图 1-10）。

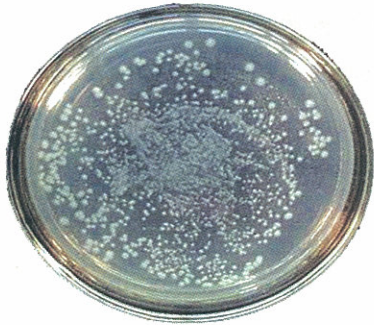


图 1-10 菌落



### 小资料

培养基是实验室培养生物材料的基质，含有生物所需要的营养物质，培养基中含有大量的水，如果在培养基中加入凝固剂，培养基凝固后就形成固体培养基。

## ●非细胞生物体——病毒

病毒 (virus) 是迄今发现的最小、最简单的有机体，只有在电子显微镜下才能观察到。病毒没有细胞结构（图 1-11），不能独立进行新陈代谢。病毒必须寄生在生物体的活细胞中才能生活并繁殖后代，离开了宿主细胞就无法生活。有些病毒能以结晶状态存活数年，只有当它们侵入适当的宿主细胞后，才会自我复制。

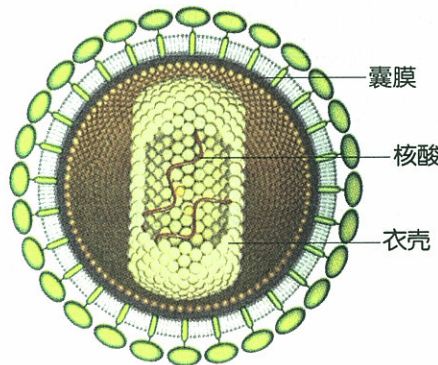


图 1-11 病毒的结构示意图

独立存在的病毒不具备生命活动的基本特征，但是当病毒寄生在宿主细胞中后就会表现出独特的代谢活动，并在此基础上完成自我复制。可见细胞是新陈代谢的基础，所有新陈代谢活动都离不开细胞。

病毒对宿主细胞的种类具有很强的选择性，一种病毒只寄生在特定的细胞中。例如，噬菌体是一种细菌病毒，只能寄生在细菌中，烟草花叶病毒的宿主是某些植物细胞，B 型感冒病毒通常寄生在人呼吸道黏膜细胞中。



### 思考

病毒是否属于生物，不同的人有不同观点，科学界对这个问题也有争论，谈谈你的理解。



## 自我检测

1. 真核生物与原核生物最本质的区别是( )。
  - A. 原核生物是单细胞生物
  - B. 真核生物的细胞较大
  - C. 原核生物的细胞有细胞壁
  - D. 有无核被膜包被的细胞核
2. 下列生物分别属于真核生物、原核生物还是非细胞生物?  
人、蚂蚁、油松、大肠杆菌、酵母菌、青霉、蘑菇、蓝细菌、水绵、乙肝病毒、肺炎双球菌和幽门螺杆菌。

## 第 2 节 人类探索细胞的历史

人类是怎样发现与认识细胞的？显微镜的发明和使用，为人类展示了一个肉眼看不到的奇妙世界，扩大了人们的视野，使人类发现并认识了细胞。随着显微技术的不断进步，人们对细胞的认识逐渐加深。在此基础上，科学家进行了科学的概括和推理，逐步建立和完善了细胞学说。细胞学说的建立，使生物科学的研究进入了崭新的领域。那么，什么是细胞学说？细胞学说是怎样建立起来的呢？



图 1-12 胡克自制的显微镜与绘制的“木栓细胞”图

### ●细胞的发现

1665年，英国科学家罗伯特·胡克(R. Hooke)用自制的显微镜观察了软木塞的薄切片，观察到许多规则的一格一格的小空间(图 1-12)，他用英文单词 cell 来描述观察到的小格子，cell 原本在英文中的意思是小室。虽然胡克观察的组织中的细胞已经死亡，他看到的只是残留的细胞壁，但是后世科学家仍认为他对细胞发现功不可没，cell 一词也一直沿用至今。

荷兰人列文虎克(A. van Leeuwenhoek)是最早观察、研究、记录活细胞的人，列文虎克也生活在 17 世纪，他的磨镜技术远远超过同时代人，因此，他能制造出当时最好的显微镜。他观察矿质、污水、动植物组织等各种材料，并记录了红细胞、精子、细菌等不同类型的细胞，遗憾的是列文虎克当时并没有意识到他观察的这些“微小生物体”之间有何联系。

## ●细胞学说的建立

18世纪自然哲学家奥肯(L. Oken)提出,复杂的生命体是由一些小泡状的更为细小的生命体聚合成的。这些小泡失去了自己的独立性而属于一个整体。这一理论虽然没有实验依据,却给了生物学家思想上的启发。

19世纪初,对细胞的研究取得了很大进展,积累了大量资料。1838年,德国植物学家施莱登(M. J. Schleiden)提出:细胞是植物体中普遍存在的结构,无论多么复杂的植物体都是由细胞构成的,细胞是最小的活的单位。随后,在对多种动物组织深入研究的基础上,



施莱登

另一位德国科学家施旺(T. Schwann)将施莱登的学说扩展到了动物界。他指出:外部形态比植物更加多样的动物体,也是由细胞构成的。一切动植物体都是由细胞构成的,这些细胞又是按照同样的规律形成和生长的。1855年,德国医生魏尔肖(R. Virchow)提出:只有细胞才能产生新细胞,即“细胞只能来自细胞”。

施莱登、施旺、魏尔肖等科学家经过多年的艰苦工作,逐步建立并完善了细胞学说(cell theory)。细胞学说

的主要内容是:一切动植物体都是由细胞构成的;细胞是生物体结构和功能的基本单位;细胞通过分裂产生新细胞。

细胞学说的建立,标志着一门新学科——细胞学的兴起,意味着人们对生物体结构的认识已由器官层次进入到细胞层次,可以通过对细胞的研究进一步认识生物的生长、繁殖及其他生命现象。这极大地推进了人类对生命世界的认识,有力地促进了生命科学的发展。恩格斯对细胞学说给予了高度评价,把它与进化论和能量守恒定律并列为19世纪自然科学的三大发现。



施 旺

## ●对细胞的深入探索

细胞学说的建立开创了细胞研究的新时代,掀起了人类对多种细胞研究的高潮。原生质论的提出、细胞分裂的研究和重要细胞器的发现都是在19世纪中期到20世纪初完成的,这一时期是细胞学的经典时期。这一时期人们对细胞的内部结构及细胞的变化规律有了基本了解,并在19世纪80年代创立了实验细胞学。这一时期的研究,主要是在显微镜下对细胞形态的观察和描述,所以又称为细胞学显微水平时期。

20世纪40年代,随着电子显微镜的发明和物理



思考

“就像砖瓦是构建房子的原料一样,细胞是生命的‘建筑原料’。”你认为这种说法对吗?



思考

细胞学有三次大进展,这三次进展的动力分别是什么?对你有何启示?

学、化学技术的进步，细胞学逐渐进入新的发展时期。科学家利用新的工具（如电子显微镜）和新的技术，对细胞的结构和功能进行了多方面的研究，将细胞学的研究提高到一个新的水平。这就是细胞学发展的亚显微水平（见图 1-13 和图 1-14）时期。

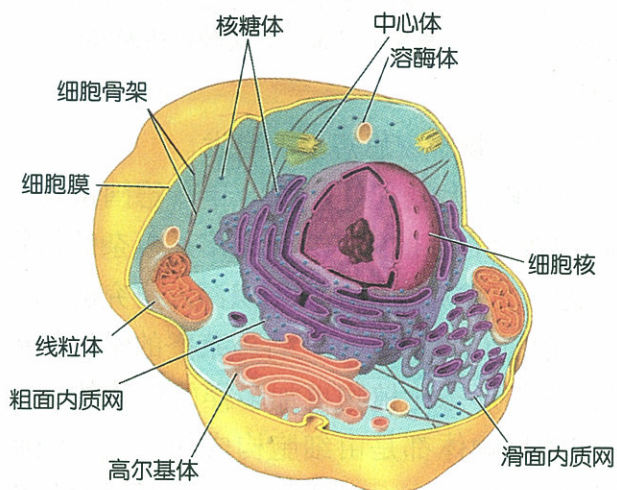


图 1-13 动物细胞亚显微结构模式图

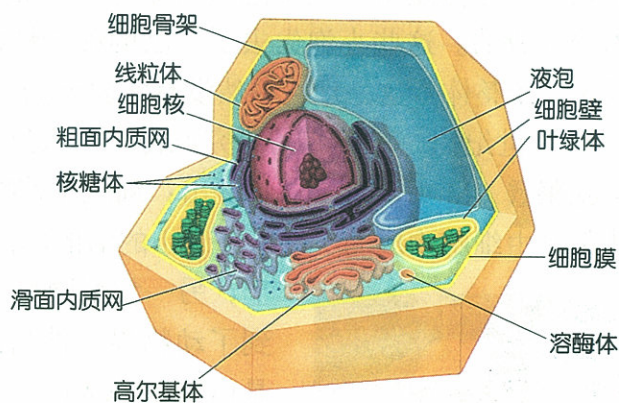


图 1-14 植物细胞亚显微结构模式图

20 世纪 50 年代中期，随着分子生物学的创立与发展，细胞学又进入了一个新的阶段。一些细胞学家开始从分子水平研究细胞的结构和功能，在细胞代谢、遗传、免疫以及细胞膜、细胞器、细胞核的分子结构等方面都有重大的发现。目前，细胞学的研究已进入到了分子水平。

细胞学的发展前景非常广阔，是现代生命科学研究热点之一。细胞学不仅已经成为一门比较成熟的独立学科，而且，它还是研究其他生物学的基础，与生物学其他学科的关系也越来越密切。



### 自我检测

1. 显微镜在细胞学说建立过程中起到了什么作用？
2. 制作一张流程图，说明几位科学家是怎样建立并完善细胞学说的。



### 课外实践

有条件的学校组织学生参观电子显微镜。



### 20 世纪的重大发明——电子显微技术

1986 年的诺贝尔物理学奖授予了电子显微镜的发明者鲁斯卡 (H. Ruska) 和扫描隧道显微镜的发明者宾尼格 (G. Binnig) 和罗勒 (H. Rohrer), 他们的发明为人类探索微观世界做出了巨大的贡献。

1931 年, 鲁斯卡和诺尔根据磁场可以会聚电子束这一原理发明了世界上第一台电子显微镜——透射电子显微镜(图 1-15)。透射电子显微镜的成像工作原理和光学显微镜基本相同, 但它不是通过光子, 而是通过电子穿透细胞样品。电子的波长比光子要小得多, 因此透射电子显微镜的分辨率要比光学显微镜高得多。随后, 科学家又发明了扫描电子显微镜。扫描电子显微镜依靠电子射到细胞样品的表面后发出更多的二次电子, 放大后形成反映细胞表面形貌特征的三维图像, 它主要是用来研究固体表面形貌的。

20 世纪电子显微技术的兴起, 为新型材料的获得和现代医学的发展创造了条件。应用广泛的纳米材料就是在电子显微技术的基础上发展起来的; 肝炎病毒也是通过电子显微镜观察到的。电子显微技术的应用为 21 世纪科学技术的飞速发展奠定了基础。

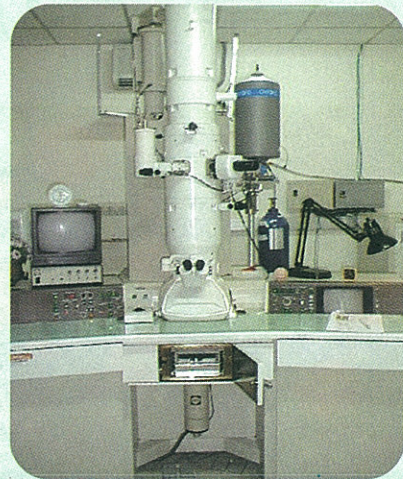


图 1-15 透射电子显微镜

### 本章小结

节次	重要概念	重要术语
第 1 节 多种多样的细胞	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 不同生物体细胞的形态、结构、大小有很大差异, 即使是同一生物体, 构成不同组织器官的细胞也不同。</li> <li>● 根据细胞结构的不同, 细胞可以分为真核细胞与原核细胞。真核细胞的细胞核有核被膜包被; 原核细胞没有核被膜包被的细胞核, 遗传物质所在的区域叫作拟核。</li> <li>● 自然界中的动植物、真菌以及原生生物都是由真核细胞构成的, 叫作真核生物; 细菌、蓝细菌是由原核细胞构成的, 叫作原核生物。</li> <li>● 病毒不具有细胞结构, 但它们的生命活动离不开细胞。</li> </ul>	真核细胞 真核生物 原核细胞 原核生物 病毒
第 2 节 人类探索细胞的历史	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1665 年, 英国科学家罗伯特·胡克发现并命名了细胞。</li> <li>● 施莱登、施旺建立了细胞学说。细胞学说的主要内容是: 一切动植物体都是由细胞构成的; 细胞是生物体结构和功能的基本单位; 细胞通过分裂产生新细胞。</li> <li>● 目前, 细胞学的研究已进入到分子水平。</li> </ul>	细胞 细胞学说 亚显微结构





# 第2章 细胞的化学组成

## 主要内容

### 1. 组成细胞的元素

- 化学元素对生命活动的重要性
- 组成细胞的化学元素
- 构成生物界和非生物界元素的统一性和差异性

### 2. 组成细胞的无机物

- 水是生物体的主要成分
- 水的生理作用
- 无机盐

### 3. 组成细胞的有机物

- 生物大分子的碳链骨架
- 糖类
  - 实验 检测生物组织中的还原糖
- 蛋白质
  - 实验 检测生物组织中的蛋白质
- 核酸
  - 实验 观察 DNA、RNA 在细胞中的分布
- 脂质
  - 实验 检测生物组织中的脂肪

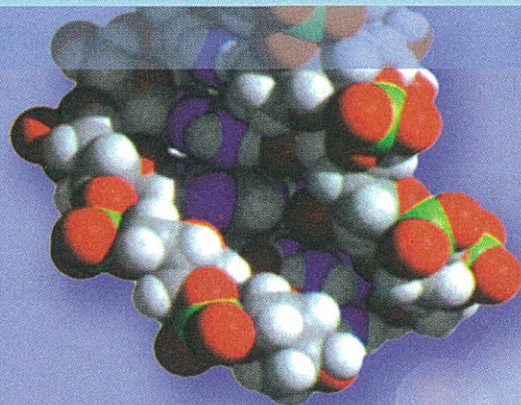


生物体是由什么组成的？生物体为什么能产生生命现象？这两个问题自古至今一直是人们争论的焦点。神创论认为世界上的生物是神创造的，生物体是由某种特殊物质组成的。这种观点一直流传至今。唯物论观点则认为生物体是由无机物和有机物构成的，这种观点随着社会的发展和科学的进步越来越得到人们的认可。

关于生物为什么是“活的”的问题，古希腊时代有一种理论叫作活力论。按照这个理论，生物之所以区别于非生物，是因为生物体含有某种非物质的、不受自然规律支配的“生命力”或“活力”的缘故。活力论在生物学中延续了很长一段时间，随着生物学的不断发展，越来越多的生命现象得到了科学的说明，活力论才逐渐销声匿迹。19世纪以后，随着物理学和化学的发展，还原论思潮广泛流传。还原论者认为生物体是由许多物质组合而成的，生物体所表现出来的生命现象最终可以还原为物理学和化学现象，可以用机械原理或物理、化学的规律来解释。这种观点对生命的认识虽然比以前有很大进步，认识到生命与非生命的统一性，却忽视了生命的特殊性。

19世纪后期，基于科学家对蛋白质等生命大分子研究的进一步深入，恩格斯把生命定义为：“生命是蛋白体的存在方式，这种存在方式本质上就在于这些蛋白体的化学组成部分不断地自我更新。”恩格斯确认生命是物质运动的主要形式之一，强调生命的物质性，指出生命是蛋白体的存在方式。恩格斯的论断虽然有时代的局限性，却是人类认识生命本质的一次飞跃。

20世纪50年代，分子生物学的兴起使深入、详尽地阐释蛋白质和核酸等生物大分子的结构及其生物学功能成为可能，从而极大地深化了人们对生命分子及生命本质的认识。



## 第 1 节 组成细胞的元素

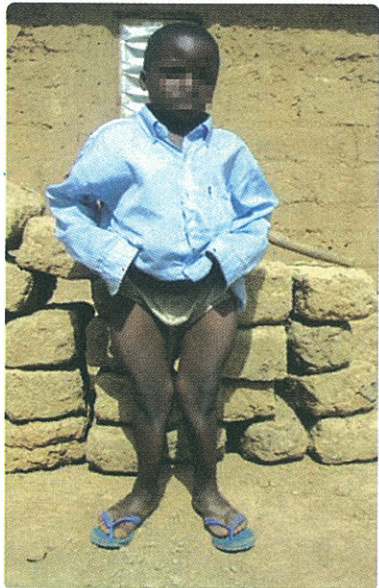


图 2-1 患佝偻病的儿童

少年儿童缺钙会得佝偻病（图 2-1），老年人缺钙易患骨质疏松症；人体摄入碘元素不足，会引起甲状腺增生、呆小症等病症；而桃树的黄叶病（图 2-2）是缺少铁元素导致的。可见，化学元素是细胞正常生命活动不可或缺的。那么，化学元素对细胞与生物体的生命活动到底有什么作用？构成细胞的元素又有哪些呢？



图 2-2 桃树的黄叶病

### ● 化学元素对生命活动的重要性

细胞内有很多种化学元素，这些元素对生物体有非常重要的作用，可直接影响生物体的生长和正常生活。

细胞内化学元素的主要作用是构成细胞和调节生物体的生命活动。

构成细胞的化学元素进一步形成多种多样的化合物，如核酸、蛋白质、脂质、糖类等。这些化合物构成细胞，是细胞生命活动的物质基础。

调节生物体生命活动的化学元素主要有两大类：一类是与蛋白质等物质结合的元素，如铁是红细胞中血红蛋白的重要元素；另一类是以离子形式调节生物体生命活动的元素，如  $\text{Cl}^-$  可以使唾液淀粉酶的活力大大提高， $\text{Ca}^{2+}$  对肌肉收缩是必不可少的。



思考

人体摄入的碘越多越好吗？

### ● 组成细胞的化学元素

化学元素对细胞正常的生命活动有着非常重要的作用。那么，哪些化学元素是构成细胞所必需的呢？



## 数据分析

下面是玉米植株和人体细胞的元素组成表，分析表 2-1 中的数据，并思考下列问题。

构成人体细胞和玉米植株的基本元素有哪几种？其中最基本的元素是什么？构成人体细胞和玉米植株的各种元素含量是否相同？

表 2-1 玉米植株和人体细胞的元素组成

元 素	细胞的元素组成(占细胞干重的百分比)	
	人体细胞	玉米植株
C	55.99	43.57
H	7.46	6.24
O	14.62	44.43
N	9.33	1.46
K	1.09	0.92
Ca	4.67	0.23
P	3.11	0.20
Mg	0.16	0.18
S	0.78	0.17
Cl	0.47	0.14
Fe	0.012	0.08

从表 2-1 可以看出，C、H、O、N 是组成人体细胞和玉米植株的基本元素，它们在细胞中的含量最多，其中 C 是组成细胞最基本的元素。组成细胞的化学元素虽然大体相同，但不同的生物体的细胞内，各种化学元素的含量相差很大。

组成细胞常见的化学元素有 20 多种，有些含量较多，如 C、H、O、N、S、P、K、Ca、Mg 等，称为大量元素；有些含量较少，如 Fe、Mn、B、Zn、Cu、Mo 等，称为微量元素。微量元素在细胞内的含量虽然很少，却是维持正常生命活动不可缺少的。如碘对于人来说平均每人每天只需要 0.15 mg，但如果饮食中缺碘就会使甲状腺不能正常工作，其结果会引起甲状腺增生和呆小症等病症。



### 思考

有些元素在生物体内的含量非常少，甚至不容易被测出，这是否说明这些元素对生物的意义不大，有没有它都不会影响生物的生活？

## ● 构成生物界和非生物界元素的统一性和差异性

所有生物体都直接生存在无机自然环境中，与周围环境不断地进行着物质交换。从元素组成的角度来看，生物界和非生物界之间存在着什么样的关系呢？

自然界中存在 100 多种元素。组成细胞的化学元素，在无机自然界都可以找得到，没有一种化学元素是生物界所特有的(见表 2-2)。这个事实说明，生物界和非生物界在元素

表 2-2 地壳和细胞中部分元素的含量

元素		C	H	O	N
部分元素的含量 /%	地壳	0.087	0.76	48.60	0.03
	细胞	18.0	10.0	65.0	3.0

组成方面具有统一性。

组成细胞的化学元素，在细胞内和在无机自然界中的含量相差很大。例如，某些海洋动物细胞中砷和碘的浓度是周围海水的 1 000 倍；某些海藻中碘的浓度是海水的 200 万倍；某些海藻对铀的富集竟具有了开采的价值。因此，生物界和非生物界相比，各种元素的相对含量具有较大差异。



### 自我检测

- 在生物体内含量较少,但对维持生物体正常生命活动必不可少的一组元素是( )。
  - C、H、N、P、Mn
  - Cl、Fe、S、N、Mg
  - B、Cu、Zn、Mn、Mo
  - N、P、K、Cu、Fe、I
- C、H、N 三种元素在人体内质量分数约占 73%，而在组成岩石圈的化学成分中还不到 1%。这一事实说明了( )。
  - 生物界与非生物界的元素组成是不同的
  - 生物界与非生物界构成元素的相对含量存在着差异
  - 生物界与非生物界的组成元素具有统一性
  - 生物界与非生物界的组成元素具有相似性
- 组成生物体的化学元素对生物体有非常重要的作用,其重要作用表现在哪些方面?请举例说明。

## 第 2 节 组成细胞的无机物

农作物必须有充足的水和肥才能正常生长并达到丰产。人体剧烈运动排出大量的汗液后，需要及时补充水和无机盐，如果水和无机盐严重丢失，人会虚脱。可见，水和无机盐对生命体是不可或缺的，那么水和无机盐对生物体与细胞有哪些具体的作用呢？

### 一 水

干燥的种子不能发芽，有了足够的水才能萌发；陆生生物，甚至生活在沙漠地带的生物，已经适应了干旱的陆地生活，但它们的体内仍然含有大量的水分。“人可三日无餐，

不可一日无水”，说明了水（water）对人体的重要性。水是生命之源，任何生命体都离不开水。

## ●水是生物体的主要成分



### 数据分析

分析下列三组数据，你能得出什么结论？你对水的重要性是否有了更深刻的认识？

表 2-3 大肠杆菌细胞中各种化合物所占比例

化合物	水	无机盐	蛋白质	脂质	糖类	核酸
所占比例 / %	70	1	15	2	3	7

表 2-4 几种不同生物体中水的含量

生物	水母	鱼类	蛙	哺乳动物	藻类	高等植物
水的含量 / %	97	80~85	78	65	90	60~80

表 2-5 人体中几种不同器官或组织中水的含量

组织或器官	牙齿	骨髓	骨骼肌	心肌	血液
水的含量 / %	10	22	76	79	83

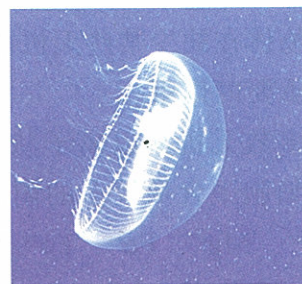
在不同种类的生物体中，水的含量差别比较大。在不同的组织、器官中，水的含量也不相同。但是在多数组织、器官中，与其他化合物相比，水的含量都是最多的。

水在细胞中有两种存在形式。其中绝大部分水可以自由流动，以游离的形式存在，叫作自由水，自由水是生物体细胞的主要成分；一小部分水与细胞内的其他物质相结合，叫作结合水，结合水大约占细胞内全部水分的 4.5%，是细胞结构的重要组成成分。无论结合水还是自由水都对生物体有非常重要的作用。

## ●水的生理作用

水的特性符合生物生存的需要，在生物体内具有非常重要的生理作用。

水分子是极性分子（图 2-3）。生命活动中很多分子都是极性分子，易溶于水。因此水是非常理想的溶



水母的含水量高达 97%



### 小资料

如果分子中正电荷的中心与负电荷的中心相重合，这种分子就是非极性分子，如果正负电荷中心不重合，则分子就形成正负两极，这种分子叫作极性分子。

剂，是生命活动中各种化学反应的理想介质；水能溶解许多化学物质，也有利于物质在生物体内的运输。非极性的分子不溶于水，如脂质分子是细胞膜的主要成分，由于它的疏水性，细胞膜才能存在而不被水溶解。水分子的非极性还可以使它和多种极性分子结合。在活细胞中，水可以附着在纤维素、淀粉、蛋白质等多种分子上，这对生物体正常的代谢活动具有重要的意义。

与其他液体相比，升高相同的温度，水吸收的热量更多；降低同样的温度，水也会比其他液体释放更多的热量。因此水能对温度变化起较好的缓冲作用。细胞内外都是水溶液的环境，可保持细胞温度的相对稳定。例如，汗液蒸发对许多陆生哺乳动物散热、维持体温恒定有重要作用；植物体通过叶片蒸腾作用能降低叶片温度。

生物体内的很多化学反应都是以水作为反应原料。例如，水是光合作用与细胞呼吸的一种原料，所有的水解反应都需要水参与。

总之，生物体的一切生命活动都离不开水，水是生命的第一要素。

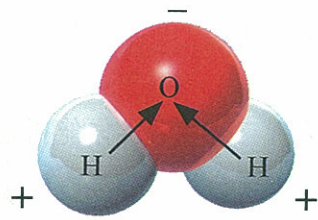


图 2-3 水分子的结构模式图

## 二 无机盐

生物体在缺少某些无机盐的情况下会出现异常症状，可见，无机盐对生物体的生命活动有着重要的作用。

大多数无机盐以离子状态存在于细胞中。细胞中含量较多的阳离子有  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  等；阴离子有  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  等。无机盐在生物体内的含量很少，占细胞鲜重的 1%~1.5%。细胞中的无机盐含量虽少，却有多方面的重要作用。

生物体内的无机盐能够维持机体正常的渗透压，使细胞保持一定的形态(图 2-4)，从而保证了细胞各种代谢活动的顺利进行。

某些无机盐(如  $\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$  和  $\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$  等)可以使机体的 pH 保持稳定，这对于维持细胞正常的生理活动是非常必要的。



### 小资料

所谓溶液渗透压，简单地说，是指溶液中溶质微粒对水的吸引力。溶液渗透压的大小取决于单位体积溶液中溶质微粒的数目：单位体积的溶液中溶质微粒越多，即溶液浓度越高，对水的吸引力越大，溶液渗透压越高；反之，溶液浓度越低，溶液渗透压越低。在 37℃ 时，人体血浆的渗透压约为 770 kPa，可以推断正常的红细胞内的渗透压约为 770 kPa。

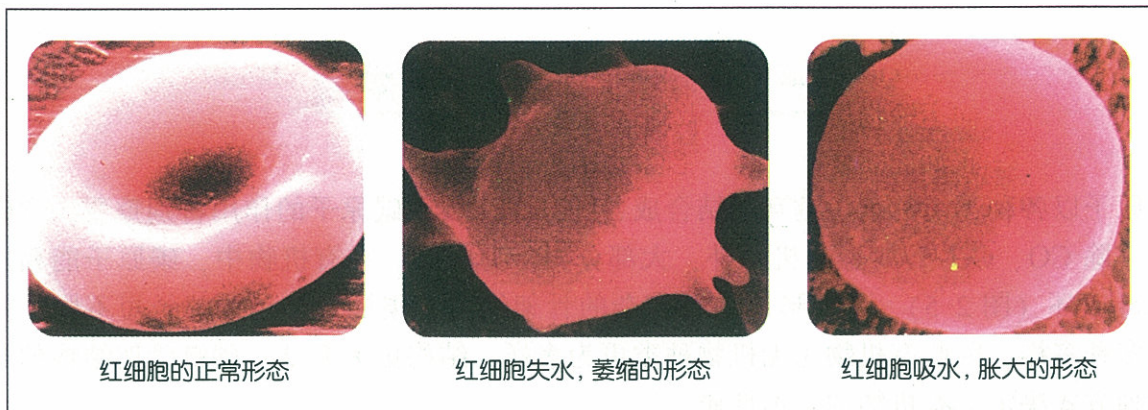


图 2-4 红细胞的三种形态

一些无机盐是细胞内复杂化合物的重要组成成分。例如,  $Mg^{2+}$  是叶绿素分子必需的成分,  $Fe^{2+}$  是血红蛋白的主要成分,  $PO_4^{3-}$  是合成磷脂、核苷酸的原料。

有些无机盐对酶有活化或调节作用, 可以参与生物体的代谢活动, 如  $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$  等。

细胞中的无机盐有多方面的重要作用, 是维持细胞正常生命活动不可缺少的物质。



### 自我检测

- 水在细胞中的存在方式有自由水和结合水两种, 下列不属于对细胞内自由水描述的是 ( )。
  - 吸附或结合在蛋白质等物质上
  - 能够流动
  - 是生物体代谢活动的介质
  - 是良好的溶剂
- 酷暑季节, 室外作业的工人应多喝 ( )。
  - 盐汽水
  - 纯净水
  - 糖水
  - 蛋白质饮料
- 为什么医院给脱水病人输的是生理盐水(0.9%的氯化钠溶液), 而不是蒸馏水?
- 为什么幼小的植物体内自由水比例减小时, 植物代谢强度降低, 生长缓慢; 自由水比例增大时, 生长迅速?

## 第 3 节 组成细胞的有机物

细胞是由无生命的化学元素构成的, 但细胞却具有生命活性, 这是为什么呢? 活细胞之所以能够进行一切生命活动, 与化学元素构成的化合物分子有密切关系。除了水和无机盐等无机化合物, 细胞中都有哪些有机物? 它们对细胞有什么作用?



## 一 生物大分子的碳链骨架

原子以各种不同的化学键互相结合成各种分子，其中碳原子的作用特别重要。含碳化合物，除  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$  等典型无机物外，大部分属于有机物。在有机物中，碳原子能相互连接成链或环（图 2-5），从而形成各种复杂的骨架结构，碳链骨架结构的长短不同，排列方式多种多样，因此有机物比无机物种类更为多样，结构更为复杂。碳链骨架结构的长短与排列方式决定了有机物的基本性质。

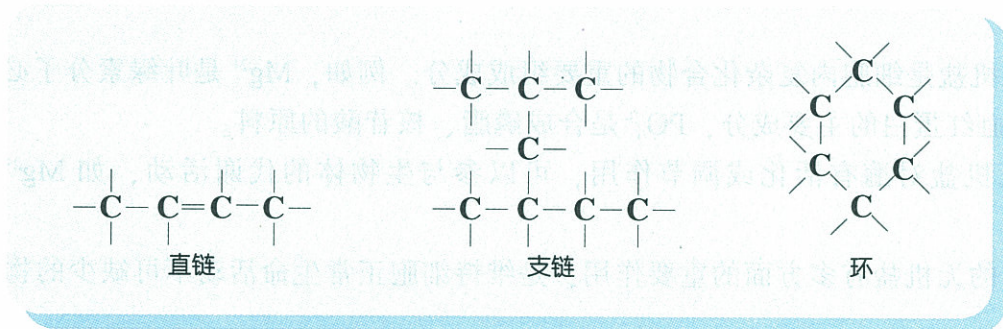


图 2-5 碳原子的几种连接方式

除了碳链骨架外，有机化合物的性质还取决于与碳链骨架相连的某些含 O、H、N、S 和 P 的官能团，这些官能团往往可以引发有机物之间特定的化学反应。

生物体中的一些有机分子只包含一个或几个官能团，分子结构简单，分子量也较小，它们属于小分子。而有些有机分子的分子量很大（分子量上万或更大），结构很复杂，它们往往是由大量彼此相似的小分子有机物聚合而成的，这些组成大分子的小分子有机物称为单体（monomer），许多单体聚合成的大分子有机物称为多聚体（polymer）。比如，淀粉就是由许多单糖聚合而成的，蛋白质是氨基酸的聚合体。单糖与氨基酸属于单体，淀粉与蛋白质属于大分子多聚体。

单体形成多聚体的过程需要经过脱水缩合反应，因为两个单体缩合时要脱去一个水分子；多聚体上每增加一个单体就需要脱去一个分子的水。与脱水缩合过程相反，通过加入水把多聚体分解成单体的过程称为水解反应（图 2-6）。淀粉水解后可以形成单体葡萄糖，蛋白质水解后可以形成单体氨基酸。



### 小资料

官能团是生物分子中化学性质比较活泼，容易发生化学反应的原子和基团。含有相同官能团的分子，具有相似的性质。有机小分子按照官能团进行分类命名，官能团限定了有机分子的主要性质。例如醇的官能团是羟基（ $-\text{OH}$ ），醛的官能团是醛基（ $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ ），酮的官能团是羰基（ $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$ ），有机酸的官能团是羧基（ $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ ）等。

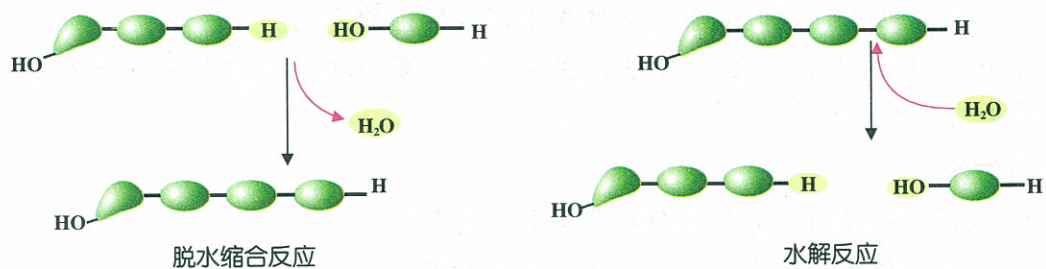


图 2-6 脱水缩合反应和水解反应图解

## 二 糖类

你在长时间运动后可能会有头晕的感觉，喝一些糖水会很快恢复；糖尿病病人需要合理控制饮食，不仅要少吃甜食，还要少吃以玉米、小麦为原料制作的食品，这是为什么呢？

糖类 (carbohydrate) 由 C、H、O 三种化学元素构成，有些糖是生命活动所需的能源物质，有些糖是细胞结构的重要组成成分。糖可以分为单糖、二糖和多糖。



### 实验

### 检测生物组织中的还原糖

#### 活动目标

1. 识别葡萄糖的性质。
2. 尝试应用斐林试剂鉴别生物组织中可溶性还原糖的方法。

#### 实验原理

还原糖在碱性溶液中加热煮沸 2 min 后，会被  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  氧化，使  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  还原生成  $\text{Cu}_2\text{O}$ ，于是蓝色溶液变成砖红色沉淀。利用斐林试剂（由质量分数为 10% 的  $\text{NaOH}$  溶液和质量分数为 5% 的  $\text{CuSO}_4$  溶液等量配制而成）可以检测生物组织中是否含有还原糖。

#### 材料用具

苹果，萝卜，萌发的小麦种子；质量分数为 10% 的葡萄糖溶液，新配制的斐林试剂；试管，试管夹，量筒，滴管，烧杯，酒精灯，三脚架，石棉网，火柴等。

#### 方法步骤

1. 取两支试管，编号分别为 1 号、2 号。用量筒量取 2 mL 质量分数为 10% 的葡萄糖溶液，加入 1 号试管，再量取 2 mL 清水加入 2 号试管。
2. 然后向两支试管中分别加入 2 mL 新配制的斐林试剂，振荡试管，使溶液混合均匀。
3. 将两支试管放进盛有开水的烧杯中，用酒精灯加热煮沸 2~3 min。

4. 加热过程中，随时观察两支试管中溶液发生的变化。
5. 根据上述实验原理和方法，探究苹果、萝卜和萌发的小麦种子这三种生物组织中是否有还原糖存在。

### 总结与讨论

1. 根据实验结果，分析葡萄糖是否具有还原性？
2. 苹果、萝卜、萌发的小麦种子三种生物组织中，是否都含有还原糖？

一些单糖（如葡萄糖、果糖和半乳糖等）和二糖（如乳糖和麦芽糖等）具有还原性，称为还原糖。在很多生物组织中都能检测到还原糖。

不能被水解成更小分子的糖类称为单糖，重要的单糖有葡萄糖、果糖、半乳糖、核糖与脱氧核糖。葡萄糖、果糖、半乳糖的碳链骨架都含有6个碳原子，称为六碳糖，它们的分子式都是 $C_6H_{12}O_6$ ，但它们的分子结构不同。葡萄糖、果糖、半乳糖都可以为细胞提供能量，其中葡萄糖（图2-7）是细胞中最常见的糖，是细胞中的主要能源物质。核糖与脱氧核糖是五碳糖，脱氧核糖比核糖少一个氧原子，核糖与脱氧核糖分别是核糖核酸（RNA）和脱氧核糖核酸（DNA）的主要成分。

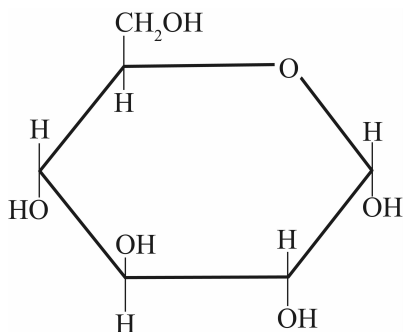


图 2-7 葡萄糖的分子结构

能水解成两分子单糖的糖就是二糖。植物细胞中最重要二糖是蔗糖和麦芽糖，甘蔗、甜菜等植物中富含蔗糖，麦芽糖一般存在于萌发的种子中。哺乳动物乳汁中的乳糖也是二糖。两分子的单糖可以通过脱水缩合形成二糖，二糖通过水解又可以形成两分子单糖。

能水解成多个单糖分子的糖是多糖。淀粉、纤维素和糖原都属于多糖。淀粉是植物细胞中重要的贮存能量的物质，谷类植物的种子中含有丰富的淀粉；纤维素是植物细胞的细胞壁的基本组成成分。糖原是动物和人体中重要的多糖，是细胞中重要的贮存能量的物质。糖原存在于细胞质中，在肝脏和肌肉的细胞中含量较多。

糖类广布于生物细胞中。细胞中的糖类还可以和其他物质结合形成复杂的化合物，如糖蛋白、糖脂等，这些物质都是细胞的重要成分。

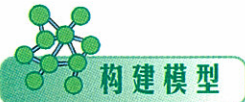
### 三 蛋白质

蛋白质 (protein) 占细胞干重的 50% 以上。蛋白质是细胞最重要的结构成分, 并且参与所有的生命活动过程, 在生物体内占有特殊的地位。生物体内有成千上万种蛋白质, 每一种蛋白质都具有特定的空间结构和生物学功能。

#### ● 蛋白质的基本组成单位——氨基酸

蛋白质主要由 C、H、O、N 四种化学元素组成。生物体内蛋白质的种类非常多, 有很多重要的蛋白质含有 P 或 S 两种元素, 有些蛋白质 (如血红蛋白、核蛋白等) 还含有一些微量元素。

蛋白质的基本组成单位是氨基酸 (amino acid)。已经发现的天然氨基酸有 180 多种, 其中组成天然蛋白质的氨基酸有 20 种。组成蛋白质的氨基酸在结构上有无共同点? 这些氨基酸的结构是怎样的呢?



下面是构成蛋白质的 5 种氨基酸的分子式 (图 2-8), 分析氨基酸的分子式, 找出氨基酸分子的共同点, 并试着写出氨基酸的分子结构通式。

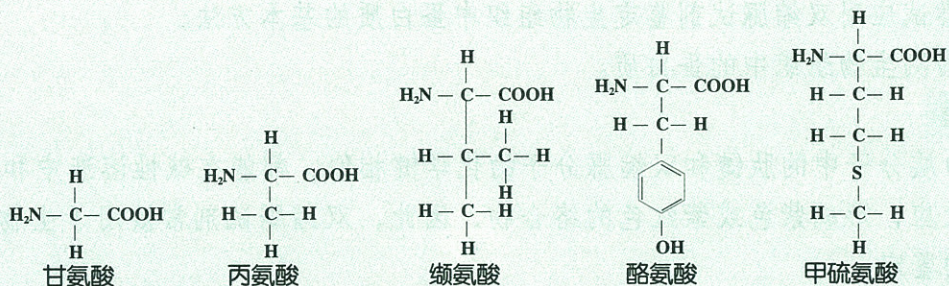


图 2-8 5 种氨基酸的分子式

分析以上 5 种氨基酸的分子式, 可见每种氨基酸分子至少都含有一个氨基 ( $-\text{NH}_2$ ) 和一个羧基 ( $-\text{COOH}$ ), 并且都有一个氨基、一个羧基和一个氢原子连接在同一个碳原子上, 这个碳原子上还有一个基团是可变的, 用 “R” 表示。由此可总结出氨基酸的分子结构通式 (图 2-9)。

不同的氨基酸具有不同的 R 基。可以根据 R 基的不同, 将氨基酸区别为不同的种类。例如甘氨酸的 R 基是一个氢原

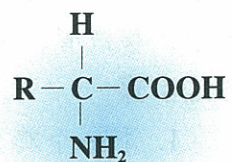


图 2-9 氨基酸分子结构通式

子，而丙氨酸的 R 基是一个甲基 ( $-\text{CH}_3$ )。组成生物蛋白质的 20 种氨基酸，能够以极其多样的方式排列与组合。

## ●蛋白质的分子结构

蛋白质是由许多氨基酸分子互相连接而成的。氨基酸分子互相结合的方式是：一个氨基酸分子的羧基 ( $-\text{COOH}$ ) 和另一个氨基酸分子的氨基 ( $-\text{NH}_2$ ) 相连接，同时失去一分子水，这个过程就是氨基酸分子之间的脱水缩合 (图 2-10)。连接两个氨基酸分子的化学键 ( $-\text{NH}-\text{CO}-$ ) 叫作肽键 (peptide bond)。

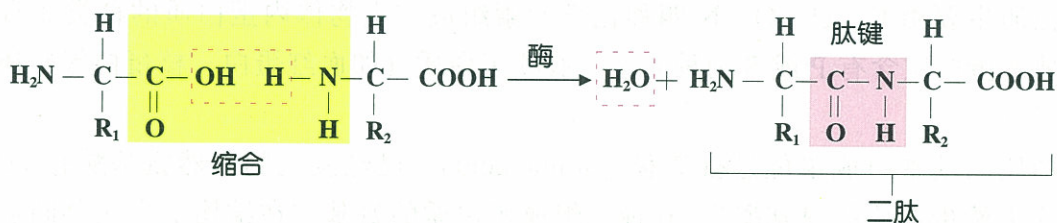


图 2-10 氨基酸分子脱水缩合形成二肽的图解



## 检测生物组织中的蛋白质

### 活动目标

1. 尝试应用双缩脲试剂鉴定生物组织中蛋白质的基本方法。
2. 检测生物组织中的蛋白质。

### 实验原理

蛋白质分子中的肽键和双缩脲分子的化学键相似，都能在碱性溶液中和  $\text{Cu}^{2+}$  发生颜色反应，形成紫色或紫红色的络合物，因此，双缩脲试剂常被用于生物组织中蛋白质的鉴定。

### 材料用具

鸡蛋，豆浆；双缩脲试剂 A (质量浓度为  $0.1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的  $\text{NaOH}$  溶液)，双缩脲试剂 B (质量浓度为  $0.01 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的  $\text{CuSO}_4$  溶液)；试管，镊子，移液管，量筒。

### 方法步骤

1. 取一个鸡蛋，用镊子在一端轻轻敲破一小块蛋壳，用移液管从蛋壳破孔处吸取  $0.5 \text{ mL}$  蛋清，滴入试管中。用量筒量取  $5 \text{ mL}$  清水，加入试管中，搅拌均匀。



### 注意

实验用的蛋清必须先稀释，否则和双缩脲试剂反应后会黏固在试管内壁上，使反应不彻底，试管也不易刷洗干净。

2. 取两支试管，编号为1号、2号，用量筒量取2 mL 蛋清稀释液加入1号试管，用量筒量取2 mL 清水加入2号试管。

3. 向两支试管中分别加入2 mL 双缩脲试剂A，振荡均匀。注意观察两支试管中溶液的颜色有什么变化。

4. 再向两支试管中分别加入3~4滴双缩脲试剂B，振荡均匀。注意观察两支试管中溶液颜色的变化。

5. 根据上述实验原理和方法，探究豆浆中是否含有蛋白质。

### 总结与讨论

1. 在实验中，向蛋清稀释液中加入双缩脲试剂后，颜色有什么变化？

2. 鸡蛋清(主要成分是蛋白质)为什么会发生颜色变化呢？

由两个氨基酸分子脱水缩合而成的化合物，叫作二肽。由3个或3个以上氨基酸分子缩合而成的，含有多个肽键的化合物，叫作多肽。多肽通常呈链状结构，叫作肽链。

蛋白质都是由一条或多条肽链盘曲折叠形成的有特定空间结构的有机大分子(图2-11)。蛋白质相对分子质量的变化范围很大，从几千到100万以上。例如，牛胰岛素的相对分子质量约是5700，血红蛋白的相对分子质量约是64500，蜗牛蓝蛋白的相对分子质量约是6600000。

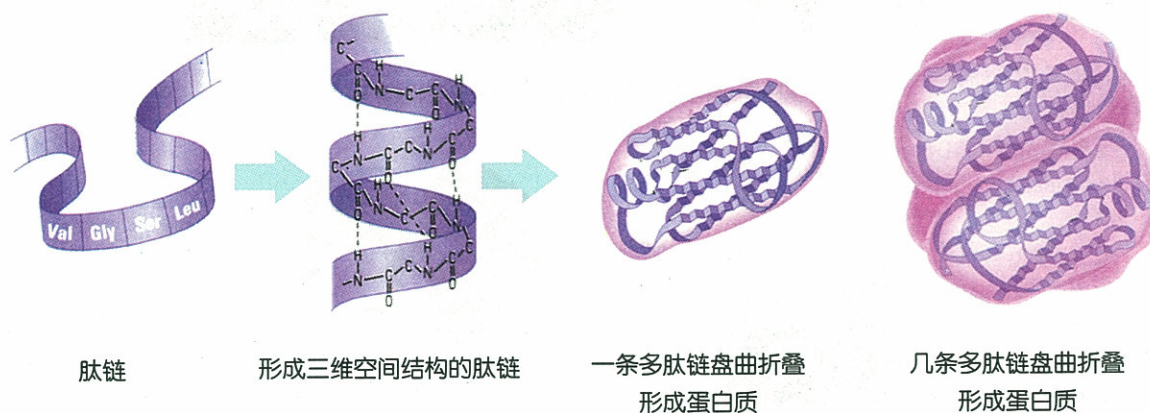


图2-11 蛋白质的结构

细胞中不同种类的氨基酸以多种不同的排列顺序形成种类繁多的肽链，肽链的盘曲、折叠方式及其形成的空间结构千差万别，这就造成了蛋白质分子结构多种多样。蛋白质的特定空间结构保证了蛋白质分子能够充分发挥其生理效应。

## ● 蛋白质的主要功能



### 思考与讨论

说出你所知道的蛋白质种类，你知道它们对于细胞和生物体有什么重要生理作用吗？请举例说明。

蛋白质的结构多样，功能也多种多样。例如，蛋白质是构成人体毛发和肌肉的主要物质；卵清蛋白（如鸡蛋清）为胚胎的发育提供氨基酸源；血红蛋白能运输氧和二氧化碳；膜蛋白可在细胞内和细胞间进行信号传递，协调和控制相关代谢和生命活动；细胞中绝大多数酶是蛋白质（图 2-12）。

总之，蛋白质是细胞中重要的有机化合物，一切生命活动都离不开蛋白质。



### 思考

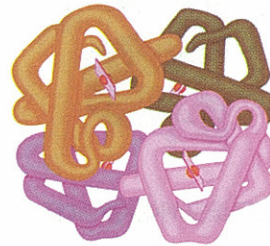
蛋白质种类繁多的原因是什么？



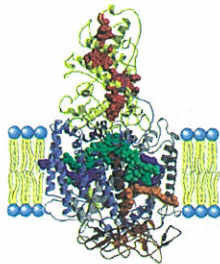
蛋白质是构成人体毛发和肌肉的主要物质



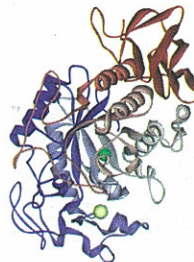
卵清蛋白具有贮存功能



血红蛋白具有运输功能



膜蛋白具有信号功能



唾液淀粉酶具有催化功能

图 2-12 多种多样的蛋白质

## 四 核 酸

核酸(nucleic acid)是生物体中最重要的一类生物大分子,是遗传信息的载体,控制着细胞的生命过程。核酸是生物体的遗传物质,存在于所有细胞中。

### ●核酸的分子组成

核酸是由 C、H、O、N、P 五种化学元素组成的。核酸的分子量一般比蛋白质还要大。核酸的基本组成单位是核苷酸(nucleotide),每个核酸分子是由几百个乃至上亿个核苷酸互相连接而成的长链。核苷酸的分子结构是什么样的呢?



### 阅读与分析

阅读图 2-13,分析核苷酸是由几个分子结合而成的,脱氧核糖核苷酸分子和核糖核苷酸分子的区别是什么?

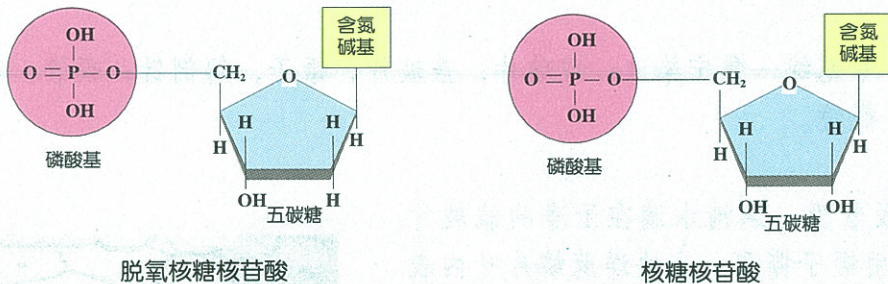


图 2-13 脱氧核糖核苷酸和核糖核苷酸的分子结构

构成核酸的核苷酸单体由三部分组成:一个五碳糖、一个磷酸基和一个含氮碱基。从图 2-13 可以看出,五碳糖有两种,一种是核糖,另一种是脱氧核糖。由脱氧核糖构成的核苷酸是脱氧核糖核苷酸,由多个脱氧核糖核苷酸连接形成的大分子核酸叫作脱氧核糖核酸(deoxyribonucleic acid, DNA);

由核糖构成的核苷酸是核糖核苷酸,由多个核糖核苷酸连接形成核糖核酸(ribonucleic acid, RNA)。DNA 和 RNA 各含有 4 种碱基,即组成 DNA 的脱氧核糖核苷酸和组成 RNA 的核糖核苷酸各有 4 种。虽然组成 DNA 和 RNA 的核苷酸单体种类有限,



### 思考

含氮碱基都是由 C、H、O、N 四种元素构成,那么构成核酸的基本元素都有哪些呢?



但是如果数量很多，在连接成长链时，核苷酸单体的排列顺序是极其多样的，因此核酸所贮存的遗传信息的容量非常大。绝大多数生物的遗传信息贮存在 DNA 分子中，少数病毒的遗传信息贮存在 RNA 分子中。

## ●核酸的分布及功能

DNA 和 RNA 的分子结构和功能不同，在细胞中的分布也不同。



### 观察 DNA、RNA 在细胞中的分布

#### 活动目标

1. 辨别细胞中的 DNA 和 RNA 所处的部位。
2. 尝试观察细胞中 DNA 和 RNA 分布的方法。

#### 实验原理

甲基绿—焦宁染液中的甲基绿能使 DNA 呈现绿色，而焦宁则能把 RNA 染成红色。因此，可以通过观察细胞中不同部位呈现的颜色，来检测 DNA、RNA 在细胞中的分布。

#### 材料用具

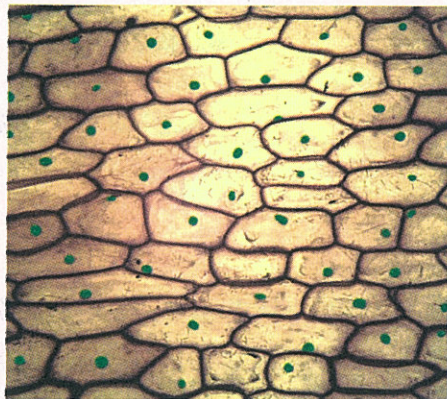
洋葱；甲基绿—焦宁染液；载玻片，盖玻片，镊子，解剖针，吸管，蒸馏水，吸水纸，显微镜。

#### 方法步骤

1. 用吸管吸一滴清水滴在干净的载玻片中央，然后用镊子撕取一小块洋葱鳞片叶内表皮放在水滴中，用解剖针展平，盖上盖玻片。
2. 滴加甲基绿—焦宁染液，染色 5 min 左右。
3. 在显微镜下找几个染色效果好的细胞进行观察。

#### 总结与讨论

1. 描述细胞不同部位的染色情况。
2. DNA、RNA 分别存在于细胞内的什么部位？



染色后的洋葱表皮细胞

DNA 主要存在于细胞核内，与蛋白质构成了染色体（染色质），是细胞核中的遗传物质。DNA 通过控制蛋白质的合成进行遗传信息的表达。RNA 主要存在于细胞质中，在蛋白质合成中起重要作用。

## 五 脂质

胖人一般都比较耐冷，但比较怕热，而且易患心血管疾病。冬眠之前的熊，一般都长得比较肥胖。这些都是为什么呢？

### ●脂质的元素组成和性质



#### 观察

向鹅羽或鸭羽滴水，观察有什么现象发生。观察在水中游水后的水禽，它们的正羽和绒羽是否因浸水而变湿？

脂质 (lipid) 分子的基本组成元素是 C、H、O，很多脂质还含有 N、P 等元素。脂质分子中 H 和 O 的比值远大于糖类中 H 和 O 的比值，可以说脂质主要是碳原子和氢原子通过共价键结合形成的非极性化合物，具有疏水性，即脂质不溶于水，可溶于非极性溶剂。由于水禽的羽毛上有油脂，对水有排斥作用，所以一滴水落在羽毛上时便形成了几个圆形的水珠（图 2-14）。

各种脂质分子的结构并不相同，甚至差异很大，但都能溶于乙醚、氯仿和苯等非极性溶剂，因此脂质可用非极性溶剂从生物组织中提取。

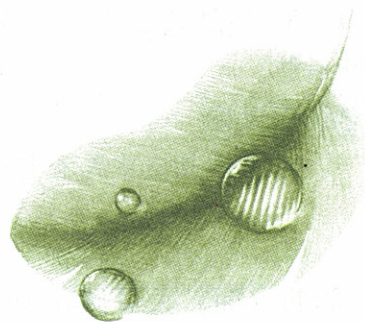


图 2-14 油脂对水的排斥作用

### ●脂质的种类和功能

脂质有很多种类，脂肪、磷脂、固醇等都属于脂质。



#### 实验

### 检测生物组织中的脂肪

#### 活动目标

1. 识别脂肪的特殊性质。
2. 尝试应用苏丹IV或苏丹III染液鉴定脂肪的基本方法。
3. 检测生物组织中的脂肪。

#### 实验原理

脂肪可以被苏丹IV染液染成红色，被苏丹III染液染成橘黄色。利用脂肪的这一特

性可以用苏丹Ⅳ或苏丹Ⅲ染液检测生物组织中脂肪的存在。

### 材料用具

植物油，鲜肝匀浆，花生；苏丹Ⅳ或苏丹Ⅲ染液；表面皿，滴管等。

### 方法步骤

1. 取一表面皿，加入少量清水。
2. 向清水中滴加1~2滴植物油，使之浮于水面呈较大的圆滴状。
3. 再向表面皿中加入几滴苏丹Ⅳ或苏丹Ⅲ染液（用量视水的多少而定），轻轻摇动表面皿，使苏丹Ⅳ或苏丹Ⅲ染液进入油滴。
4. 十几分钟后，观察油滴的颜色。
5. 参照技能卡或使用其他方法，设计并完成实验，探究鲜肝和花生中是否含有脂肪。

### 总结与讨论

鲜肝和花生中是否都含有脂肪？

脂肪（fat）大量储存于植物种子（图2-15）、果实细胞和动物脂肪细胞中（图2-16）。脂肪是生物体内储存能量的主要物质，与糖类相同质量的脂肪储存的能量约是糖类的两倍。此外，高等动物及人体内的脂肪，还有减少身体热量散失，维持体温恒定，减少内部器官之间的摩擦和缓冲外界压力的作用。但脂肪在体内积累过多，使体重增加，引起肥胖。肥胖者易患脂肪肝、动脉硬化、高血压等疾病。因此，重视合理的营养，对防治疾病和衰老都有重要意义。



图2-15 花生种子



图2-16 动物脂肪组织

所有细胞都含有磷脂（phospholipid），磷脂是构成细胞膜和各种细胞器膜的主要成分，在动物脑、神经、肝脏中含量特别高，大豆的种子也含有较多的磷脂。卵磷脂是膳食和体内最丰富的磷脂之一。



### 技能卡

固体材料的预处理：在实验中液体实验材料可以直接利用，而有些固体材料须经过处理后才能用于实验。鲜肝和花生等可以制成匀浆，过滤后，再加以利用。

一种检测脂肪的方法：取少量生物组织，制成临时装片，用苏丹Ⅳ或苏丹Ⅲ染液染色，用高倍镜观察。这样，即使有些生物组织中脂肪含量少，显色不太明显，也能够观察到。

固醇 (sterol) 类物质主要包括胆固醇、性激素等, 对生物体的正常新陈代谢和生殖过程起着重要的调节作用。胆固醇是人体必需的化合物, 是动物细胞膜的重要成分。肝脏合成的胆固醇可以满足大部分人体所需, 少量需从食物中摄取。如果从食物中摄取的胆固醇过多, 体内过量的胆固醇会在血管壁上沉积下来, 阻碍血液正常的流动, 引起心血管疾病。因此, 我们应注意减少食用高胆固醇食品。

构成细胞的每种化合物都有其重要的生理功能, 但是任何一种化合物都不能单独完成某一种生命活动, 只有按照一定的方式有机地结合起来, 相互作用, 才能表现出细胞和生物体的生命现象。



### 自我检测

1. 生物体进行生命活动的主要能源物质和贮能物质分别是 ( )。  
A. 蛋白质、脂肪    B. 糖类、脂肪    C. 脂肪、糖类    D. 糖类、蛋白质
2. 在下列叙述中, 属于淀粉、纤维素和糖原共同特征的是 ( )。  
A. 都是细胞内贮存能量的主要物质  
B. 都含有 C、H、O、N 四种元素  
C. 基本组成单位都是五碳糖  
D. 基本组成单位都是六碳糖
3. 某蛋白质分子含四条肽链, 共由 500 个氨基酸分子构成, 在脱水缩合形成该蛋白质分子的过程中, 形成的肽键和水分子数分别是 ( )。  
A. 504 个和 498 个                      B. 496 个和 499 个  
C. 499 个和 499 个                      D. 496 个和 496 个
4. 下列哪一组物质是 DNA 的组成成分? ( )  
A. 脱氧核糖、核酸和磷酸  
B. 脱氧核糖、碱基和磷酸  
C. 核糖、碱基和磷酸  
D. 核苷、碱基和磷酸
5. 下列物质中都属于蛋白质的是 ( )。  
A. 酶、胰岛素、抗体  
B. 维生素 D、甲状腺激素  
C. 抗体、抗原、生长激素  
D. 胰岛素、雄性激素、生长激素
6. 下面是关于脂质的叙述, 其中正确的是 ( )。  
A. 磷脂由 C、H、O 三种元素组成, 是构成细胞膜的主要成分  
B. 性激素的化学本质是蛋白质, 对维持生物体生殖过程起重要的调节作用  
C. 脂肪只存在于动物的脂肪细胞中, 而其他部位和植物细胞中没有  
D. 脂质存在于所有细胞中, 是组成细胞和生物体的重要有机化合物



## “擦肩而过”的诺贝尔奖

人工合成蛋白质是当初研究蛋白质化学的科学家们的梦想。因为,只有这样才能表明人们对蛋白质结构的认识是正确的。无论是在理论上,还是在实践上,蛋白质在生命中的地位使得合成它要比合成其他有机分子更有意义。蛋白质工程第一个成功的范例是胰岛素的人工合成。

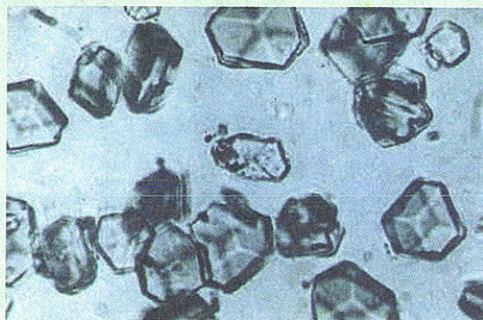
1958年,中国科学院上海生化研究所、上海有机化学研究所和北京大学生物系三个单位联合成立了一个协作组,开始探索用化学方法合成胰岛素。1965年9月7日,协作组完成了结晶牛胰岛素的全合成。经过严格鉴定,这种人工合成的结晶牛胰岛素在结构、生物活力、物理化学性

质和结晶形状上都与天然的牛胰岛素完全一样。人工合成结晶牛胰岛素是世界上第一个人工合成的蛋白质,向人类认识生命、揭开生命奥秘迈进了一大步。

人工胰岛素的合成,标志着中国科学家在蛋白质和多肽化学合成领域已经处于世界领先地位。当年,诺贝尔委员会主席亲自来到中国考察授奖事宜。谁知考察之后他为难了:按照诺贝尔奖的有关条例,授奖对象最多不能超过3人,而参加人工合成牛胰岛素的研究人员,仅骨干就有20多人,不符合授奖规章。因此,中国科学家与诺贝尔奖失之交臂。



科学家正在进行人工牛胰岛素的研究



结晶人工牛胰岛素

## 本章小结

节 次	重要概念	重要术语
第 1 节 组成细胞的元素	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自然界中的生物和非生物都是由化学元素组成的。在生物体内，组成生物体的化学元素构成各种化合物，各种化合物组成细胞内的生命物质。</li> <li>● 组成生物体常见的元素有 20 多种，含量较多的称为大量元素，含量较少的称为微量元素。C 是组成生物体的最基本元素。</li> </ul>	大量元素 微量元素
第 2 节 组成细胞的无机物	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 组成细胞的无机物包括水和无机盐。</li> <li>● 水是细胞内含量最多的物质，以自由水和结合水两种形式存在。水不仅是细胞的重要组成成分，而且是细胞内良好的溶剂和化学反应介质，并具有运输等多种功能。</li> <li>● 大多数无机盐以离子状态存在于细胞中。无机盐不仅是细胞内某些复杂化合物的重要组成成分，而且对维持或调节生物体的生命活动有重要作用。</li> </ul>	自由水 结合水 无机盐
第 3 节 组成细胞的有机物	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 组成细胞的有机物大分子是以碳为骨架的。碳链骨架的排列方式和长短决定了有机化合物的性质，碳链骨架上的官能团决定了化合物的独特性质。</li> <li>● 糖类大致可分为单糖、二糖、多糖等类别。糖类是构成生物体的重要成分，也是细胞的主要能源物质。</li> <li>● 核酸是一切生物的遗传物质，是遗传信息的载体，控制着细胞和生物体的生命过程。</li> <li>● 蛋白质是细胞中含量最多的有机物。蛋白质不仅是细胞中各种结构的重要组成成分，而且还具有催化、运输、调节、免疫等作用。</li> <li>● 脂质种类很多，其中脂肪是生物体内主要的储存能量的物质；磷脂是细胞膜和细胞器膜的重要组成成分，而胆固醇、性激素等对于生物体维持正常的新陈代谢和生殖起着重要的调节作用。</li> <li>● 活细胞之所以能够进行生命活动，与构成细胞的各种化合物有密切关系。各种化合物在细胞中的存在形式不同，所具有的功能也不相同。细胞中的各种化合物按一定的方式有机组织起来，才能表现出细胞和生物体的生命现象。</li> <li>● 生物组织中的还原性糖、蛋白质、脂肪分别可以用斐林试剂、双缩脲试剂以及苏丹Ⅳ或苏丹Ⅲ染液进行检测。细胞中 DNA 和 RNA 的分布可用甲基绿—焦宁染液染色后检测。</li> </ul>	碳链骨架 脱水缩合反应 水解反应 糖类 单糖 二糖 多糖 蛋白质 多肽 氨基酸 肽链 肽键 核酸(DNA、RNA) 核苷酸 脂质 脂肪 磷脂 胆固醇 斐林试剂 双缩脲 苏丹Ⅳ染液 苏丹Ⅲ染液 甲基绿—焦宁染液

# 第3章

# 细胞的结构

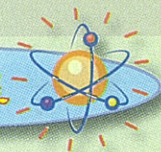
## 主要内容

### 1. 细胞膜与细胞壁

- 细胞膜
- 细胞壁

### 2. 细胞器与胞质溶胶

- |                |                |
|----------------|----------------|
| ● 线粒体          | ● 内质网          |
| ● 实验 观察细胞中的线粒体 | ● 高尔基体         |
| ● 叶绿体          | ● 溶酶体          |
| ● 实验 观察细胞中的叶绿体 | ● 胞质溶胶         |
| ● 核糖体          | ● 实验 观察胞质溶胶的流动 |



20世纪50年代末，罗伯森(J. D. Robertson)利用电子显微镜研究了各种细胞膜和细胞内膜，观察到膜的基本形态结构。1972年，辛格(S. J. Singer)和尼科尔森(G. L. Nicolson)总结了当时有关膜结构的模型及各种新技术研究成果，提出了液态镶嵌模型。细胞膜的研究，揭示细胞膜不仅具有物质交换的功能，而且还在细胞识别和信息传递方面起着重要作用。

1945年，波特(K. R. Porter)等人在电子显微镜下，发现了在细胞内有连续相通的膜性管道系统——内质网，内质网是物质合成和运输的场所；接着意大利科学家高尔基(C. Golgi)等在电子显微镜下认识了由几部分膜性结构共同构成的高尔基体，高尔基体具有物质加工和定点运输的功能；1955年，德迪弗(C. R. Deduve)在鼠肝细胞中，发现了含有多种水解酶的膜性细胞器——溶酶体，溶酶体具有消化和清除细胞内废物的作用。这些研究成果为揭示细胞的生物膜系统奠定了基础。细胞的生物膜系统在结构和功能上是一个统一整体，它是细胞合成蛋白质、酶、脂质和糖类的场所，同时，对合成产物具有加工、包装、运输和消化的功能，以实现细胞的物质代谢过程。

1963年，美国哈佛大学的莱伯特(M. L. Ledbetter)等采用戊二醛常温固定法电镜技术观察到细胞内的微管结构，从而确认了细胞的骨架系统。目前，有关细胞骨架的研究已成为细胞生物学中较为活跃的领域之一。

### 3. 细胞核

- 细胞核的功能
- 细胞核的结构

### 4. 细胞的生物膜系统与细胞骨架

- 细胞的生物膜系统
- 细胞骨架的形态和结构
- 细胞骨架的功能



# 第 1 节 细胞膜与细胞壁

细胞是一个充满生命活力的开放性系统。一方面，生活的细胞能不断与周围环境进行物质交换；另一方面，细胞又能不断地与周围环境进行信息交流，接收并传递来自外界或周边细胞的化学信号，抵御病原菌的侵害，保证生物体内的各类细胞活动协调一致。细胞膜和细胞壁对细胞的开放性有重要作用。

## 一 细胞膜

1855 年，瑞典科学家奈利在实验中发现，色素分子进入受损伤的植物细胞的速度比进入完整细胞的速度要快得多，因此，他推测细胞表面有一层膜。为了证实这一假设，他在显微镜下“解剖”了细胞：用微细的探针向细胞内刺入时，能看见细胞表面出现褶皱，同时还感到了阻力，一旦针尖刺破细胞，进到细胞内部，阻力就随之消失了。这表明细胞表面的确有一层薄的膜，他把这层膜叫作质膜 (plasma membrane)，也就是我们说的细胞膜。细胞膜的分子组成和结构是怎样的呢？

### ● 细胞膜的分子组成



#### 阅读与分析

阅读下面的图文资料，通过分析科学家对膜的分子组成所进行的富有成效的探索性实验，说一说你能得出什么结论，由此推断细胞膜的分子组成。

1895 年，美国生化学家奥弗顿 (C. E. Overton) 研究了各种卵细胞的透性，他发现脂溶性分子易通过细胞膜，而非脂溶性分子则难以通过 (图 3-1)。

1925 年，两位荷兰科学家戈特 (E. Gorter) 和格伦德尔 (F. Grendel) 做了丙酮抽提红细胞膜脂质实验：将抽提出的脂质在空气—水界面上铺成单分子层，测得其分子所占面积相当于所用红细胞膜总面积的 2 倍。

1935 年，英国学者丹尼利 (J. F. Danielli) 和戴维森 (H. Davson) 研究了细胞膜的表面张力。他们发现细胞的表面张力明显低于油—水界面的表面张力。

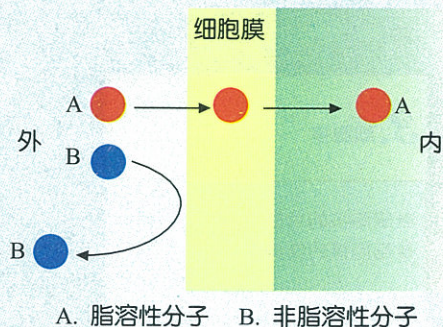


图 3-1 脂溶性分子易透过细胞膜示意图

通过生物学家的一系列研究得知，细胞膜的成分主要是磷脂分子（图 3-2）和蛋白质分子，除此之外，细胞膜中还含有少量的胆固醇与多糖等成分。

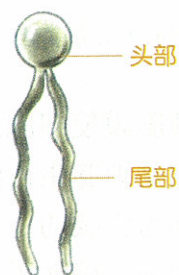


图 3-2 磷脂分子示意图

### ●细胞膜的结构模型

细胞膜的结构是怎样的呢?为了合理地解释细胞膜的各种生物学特性，科学家先后提出了几十种不同的细胞膜分子结构模型。1972年，辛格（S. J. Singer）和尼科尔森（G. Nicolson）总结了当时有关膜结构的模型及各种新技术研究成果，提出了最有代表性的细胞膜液态镶嵌模型（fluid mosaic model），见图 3-3。

由液态镶嵌模型可以看出，细胞膜的结构有以下特点：第一，细胞膜以磷脂双分子层为基本骨架，并由它支持着许多蛋白质分子；第二，组成细胞膜的蛋白质分子的分布具有不对称性，有的蛋白质分子排布在膜的表层，有的蛋白质分子嵌入或贯穿在整个磷脂双分子层中；第三，构成细胞膜的磷脂分子和蛋白质分子大多不是静止的，是可以流动的。



思考

如果细胞内与细胞外的溶剂不是水而是非极性的有机溶剂，那么细胞膜还会是双层磷脂分子的膜结构吗？

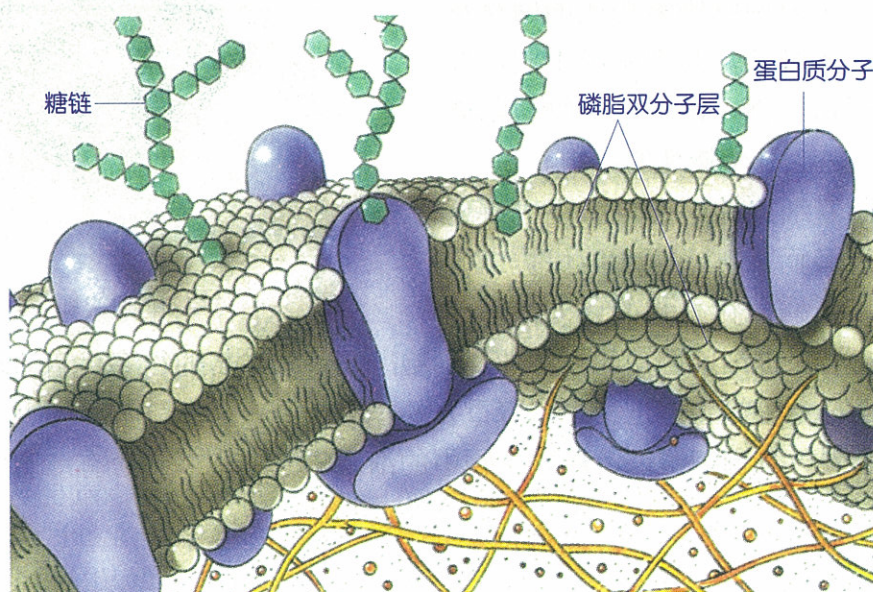


图 3-3 细胞膜液态镶嵌模型模式图

进一步研究表明，细胞膜的外表面还有少量多糖分子，它们有的与蛋白质分子结合形成糖蛋白，有的与脂质结合形成糖脂。糖蛋白与糖脂构成糖被。动物细胞膜的脂双层中还含有胆固醇，它在调节细胞膜的流动性、增加细胞膜的稳定性方面有着重要的作用。

细胞膜的结构特点对它完成各种生理功能是非常重要的。

## ● 细胞膜的功能

细胞膜使细胞具有相对稳定的内部环境。细胞是一个开放的系统，细胞内部环境的相对稳定是细胞生命活动所必需的。细胞内外都是以水为主要成分的环境，细胞膜以磷脂双分子层为骨架的特点，使得膜中间部分形成了疏水的区域，阻挡了膜两侧水溶性物质任意出入细胞，确保了细胞内部环境的相对稳定。

细胞膜能选择性地控制物质出入细胞。细胞以及生命体的生命活动离不开细胞与细胞外环境间的物质交换，细胞膜中的蛋白质保证了这种交换的顺利进行。细胞膜能保证细胞将自身需要的物质转运入细胞，将细胞产生的代谢废物以及合成的分泌物等转运出细胞。

通过细胞膜可以实现细胞间的信息交流功能。在多细胞生物体中，细胞之间不是孤立的，而这些相互联系的细胞之间必须有信息的交流才能保持功能的协调。细胞膜表面的一些受体蛋白能够特异性地识别细胞外的信息分子，如激素、神经递质等；细胞膜表面的糖被则能作为细胞自身的标识而被其他细胞所识别。

## 二 细胞壁

植物细胞在细胞膜外有细胞壁 (cell wall)。植物细胞壁 (图 3-4) 的主要成分是纤维素与果胶，主要由纤维素构成的网络形成了细胞壁的基本骨架。与细胞膜不同，细胞壁不具有选择透过性，溶于水的物质都能够透过细胞壁，是一种全透性的结构。

细胞壁控制着细胞的形态与大小，可避免细胞因吸水过多而涨破，它还能保护细胞免受机械损伤以及病原微生物的侵入，因此细胞壁具有支持与保护细胞的功能。此外，细胞壁还参与细胞的很多代谢活动，在细胞的物质吸收、转运与分泌等生理过程中起着重要的作用。

除植物细胞外，真菌细胞以及原核生物中的细菌等的细胞也都含有细胞壁，但在组成成分上有所不同。



图 3-4 植物细胞的细胞壁示意图

### 自我检测

1. 如果把人的红细胞浸泡在蒸馏水中会发生什么现象？同样把植物细胞浸泡在蒸馏水中，会不会发生同样的现象？请阐明其中的道理。
2. 列举实例分析，细胞膜如果没有流动性将无法实现哪些功能。



## 开阔眼界

### “药物导弹”

20世纪80年代,科学家首次制成了第一批“药物导弹”。他们先从人体抽出红细胞;然后将红细胞放于溶液中,冷却到 $0^{\circ}\text{C}$ 以下,在 $0.001\text{ s}$ 内用 $1\ 000\text{ V}$ 电压钻孔后,放入药液中,药液就通过“孔”进入细胞内部;接着把温度升高到 $32^{\circ}\text{C}$ 使细胞膜的孔封闭。这样以红细胞为载体的“药物导弹”就制成了。

“药物导弹”注入人体后,就像那些长着“眼睛”的定向导弹一样,随着血液流动,直奔攻击目标——癌细胞,而且它还能像带核弹头的导弹一样,带上“核武器”——抗癌药物,去“轰炸”身上的癌变部位,不偏不倚地将癌细胞一举消灭,达到理想的治疗目的。这种“药物导弹”能使抗癌药物集中攻击癌细胞,攻击性强,命中率高,而又不会伤害其他正常细胞,杀伤作用比普通药物提高了上千倍。

根据细胞钻孔术原理制成的“药物导弹”,现已广泛应用到临床上,被人们称为医学上的一项重大革命。

## 第2节 细胞器与胞质溶胶

细胞非常小,但功能非常复杂。如果把一个有数百万个部件的喷气式飞机缩小到细胞的大小,与活细胞的复杂性相比较,它仍显得简单而粗糙。细胞内有哪些结构?这些结构又有哪些生理功能呢?

### 一 细胞器

细胞膜以内,细胞核以外的细胞结构叫作细胞质(cytoplasm)。真核细胞的细胞质中含有许多具有特定形态与功能的结构,这些结构被称为细胞器(organelle),细胞器的四周被胞质溶胶充填。如果把细胞比作一个微型工厂,细胞器就好比是工厂中的车间。

#### ● 线粒体



#### 科技探索

1890年,德国生物学家阿尔特曼(R. Altmann)在光学显微镜下观察到动物细胞内存在着一种颗粒状的结构,他称之为生命小体。1897年本达(G. Benda)重复了以上实验,并将之命名为线粒体。1904年梅费斯(F. Meves)在植物细胞中也发现了线粒体,从而确认线粒体是普遍存在于细胞中的一种重要细胞器。

经过科学家对大量动植物细胞的观察，发现几乎所有的真核细胞中都含有线粒体(mitochondrion)。



## 观察细胞中的线粒体

### 活动目标

用显微镜观察细胞中线粒体的形态与分布。

### 实验原理

活细胞中的线粒体可使詹纳斯绿(健那绿)保持氧化状态而呈蓝绿色，从而可将线粒体与周围的细胞质区分开，因此可在显微镜下看到线粒体的形态和分布。

### 材料用具

人的口腔上皮细胞，洋葱鳞片叶；显微镜，载玻片，盖玻片，消毒牙签，吸水纸，镊子；1%詹纳斯绿染液(0.5 g 詹纳斯绿溶解于 50 mL 生理盐水中)。

### 方法步骤

#### 1. 观察人口腔上皮细胞中的线粒体

(1)把清洁的载玻片平放在桌上，在载玻片中央滴数滴詹纳斯绿染液。

(2)清水漱口后，用消毒牙签的钝端在自己口腔颊黏膜处稍用力刮取口腔上皮细胞，均匀地涂到载玻片的染液中。盖上盖玻片，用吸水纸吸去周围溢出的染液。

(3)5 min 后在显微镜下观察线粒体的形态与分布。

#### 2. 观察洋葱鳞片叶表皮细胞线粒体

(1)在洁净的载玻片中央滴一滴水，撕取一块 5 mm×5 mm 新鲜洋葱鳞片叶内表皮并展平。

(2)滴加数滴詹纳斯绿染液染色 10 min，盖上盖玻片，用吸水纸吸去周围溢出的染液。

(3)在显微镜下观察线粒体的形态和分布。

### 思考与讨论

(1)你在显微镜下看到的线粒体的形态是什么样的？它们是如何分布的？

(2)观察洋葱鳞片叶时，为什么用内表皮而不用外表皮？

线粒体的形状因细胞的种类和生理状况而不同，以圆柱状为最多，也可呈环形、哑铃形、线状等。另外，线粒体的形状和大小并不是固定的，而是随着代谢条件的不同而改变。

根据细胞代谢的需要，线粒体可在胞质溶胶中运动，往往在细胞功能旺盛的需能部位线粒体比较集中。例如，分泌细胞的线粒体聚集在分泌物合成的区域；肌细胞的线粒体沿肌原纤维规则排列；精子中的线粒体则集中在鞭毛中部。

在电子显微镜下，可以观察到线粒体由外膜（outer membrane）、内膜（inner membrane）、膜间隙（intermembrane space）和基质（matrix）四部分组成（图 3-5）。

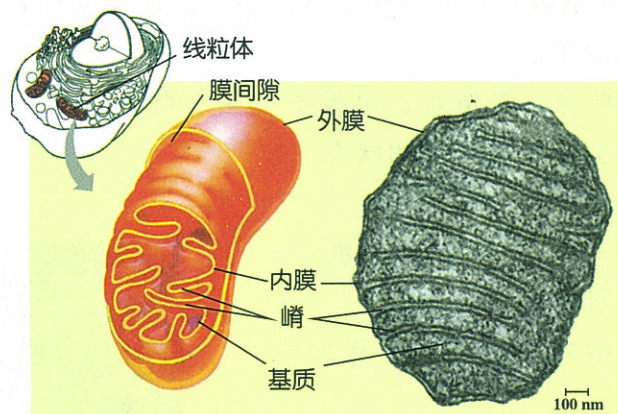


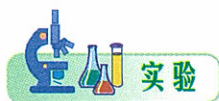
图 3-5 线粒体结构图解

线粒体的膜由内外两层膜构成。外膜将线粒体与胞质溶胶隔开。内膜对物质的选择性较强，向内突起形成嵴（cristae）。嵴使内膜的表面积大大增加，这对线粒体进行高速率的生物化学反应极为重要。膜间隙是外膜与内膜之间的腔隙，其中充满无定形液体。内膜和嵴包围的空间叫作基质。

线粒体是进行细胞呼吸的主要场所，有人把它比喻为细胞的“动力工厂”。在线粒体内约有 120 种与细胞呼吸有关的酶，分布在线粒体的外膜、内膜、膜间隙和基质的各个结构中。由于各部分的功能不同，线粒体各组成部分所含有的酶也不同。

线粒体基质中还含有 DNA、RNA、核糖体等物质与结构。研究表明，线粒体中 DNA 的变化能引起线粒体结构和功能发生相应的变化，由此证明线粒体 DNA 具有遗传功能，线粒体是半自主性细胞器。

## ● 叶绿体



### 观察细胞中的叶绿体

#### 活动目标

用显微镜观察细胞中叶绿体的形态与分布。

#### 实验原理

叶肉细胞的叶绿体呈绿色，散布于细胞质中，可以通过显微镜观察它的形态与分布。

#### 材料用具

新鲜的黑藻（菠菜叶或藓类的叶）；显微镜，载玻片，盖玻片，镊子，培养皿，滴管，清水。

## 方法步骤

### 1. 制取临时装片

(1)用镊子取一片黑藻的叶片 (或藓类的小叶, 或菠菜叶稍带些叶肉的下表皮), 放入盛有清水的培养皿中。

(2)往载玻片中央滴一滴清水, 用镊子夹住所取的叶, 放入水滴中, 盖上盖玻片。注意使临时装片始终保持有水的状态。

### 2. 用显微镜观察

(1)用低倍镜观察, 找到叶片细胞, 移动装片, 将观察目标移到视野中央。

(2)用高倍镜仔细观察细胞内叶绿体的形态和分布情况。



显微镜下的叶绿体

## 思考与讨论

1. 叶片为什么要始终保持有水状态?
2. 是否所有的叶片细胞的叶绿体和分布情况都是一样的?

植物体所有的绿色部分都含有叶绿体 (chloroplast)。

在光学显微镜下观察到的叶绿体的形状一般为扁平的椭球形或球形。在电子显微镜下, 一个典型的叶绿体由叶绿体膜、基粒和基质组成。叶绿体在细胞内的数目、大小和形状因植物种类不同有很大差异。大多数高等植物叶肉细胞中含有 50~200 个叶绿体 (图 3-6)。

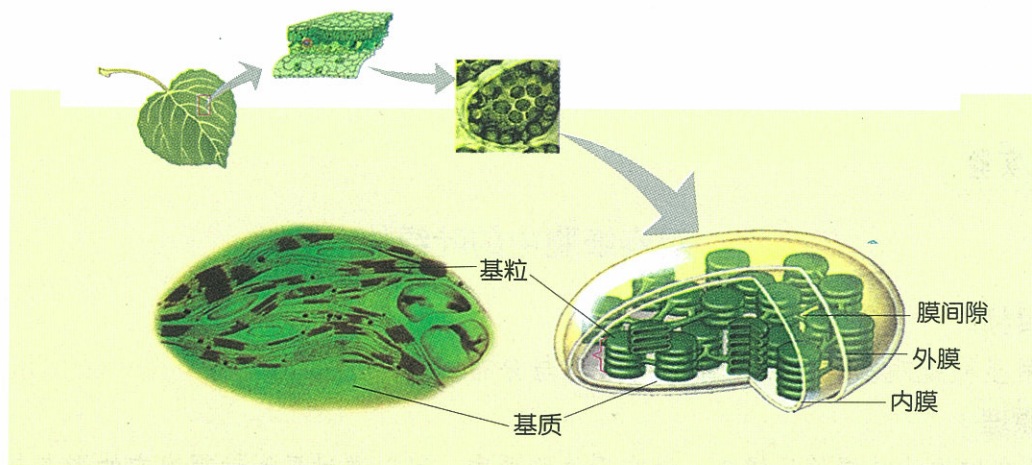


图 3-6 叶绿体结构模式图

与线粒体一样，叶绿体的膜也由外膜与内膜构成，不过叶绿体的内膜和外膜都是平整的。叶绿体的膜具有控制代谢物质进出叶绿体的功能。外膜的通透性较大，而内膜对物质的选择性较强。

在叶绿体内部结构中，最突出的特征是具有复杂的层膜系统，在电子显微镜下观察其基本构造都是由单层膜封闭形成的，类似扁平的囊，所以称为类囊体 (thylakoid)。在类囊体的薄膜上，有进行光合作用的色素和酶。几个类囊体垛叠形成一个圆柱体，也就是一个基粒 (grana)。叶绿体的这种结构特点大大增加了叶绿体内的膜面积。

叶绿体内膜之内的无定形物质称为叶绿体基质 (stroma)，基质中含有进行光合作用所需的酶。另外，与线粒体一样，叶绿体的基质中也含有 DNA、RNA 和核糖体，在遗传上具有一定的自主性，也属于半自主性细胞器。

### ●核糖体



1953年，罗宾逊(Robinson)和布朗(Brown)用电镜首先在植物细胞中发现了一种颗粒；1955年，帕拉德(J. E. Palade)在动物细胞中也看到了类似的颗粒，这种颗粒曾一度被称为帕拉德颗粒。到了1958年，罗伯茨(Roberts)建议将其命名为“ribosome”，即核糖核蛋白体，简称核糖体。

核糖体 (ribosome) 是原核细胞与真核细胞中普遍含有的细胞器，有些附着在内质网上，有些游离于胞质溶胶中。核糖体是一种非膜性的细胞器，由大小两个亚基组成 (图 3-7)，其化学成分是核糖体 RNA (rRNA) 和蛋白质。

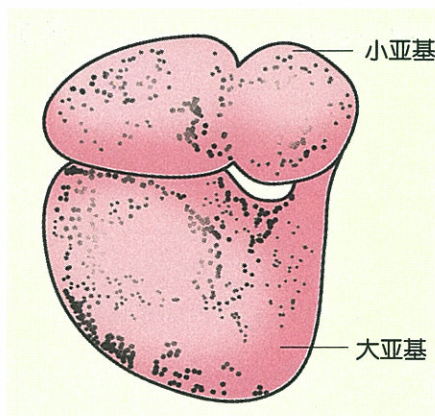


图 3-7 核糖体示意图

每个核糖体是由两个大小不同的亚基构成的。单个的亚基在细胞核内合成后通过核孔送到细胞质中，并在细胞质中组装成核糖体。核糖体是合成蛋白质的场所，核糖体合成蛋白质时必须与信使 RNA (mRNA) 结合。游离于胞质溶胶中的核糖体合成的蛋白质在细胞质中发挥作用，附着于内质网上的核糖体合成的蛋白质将被输送到细胞外或结合在膜上。



## ● 内质网



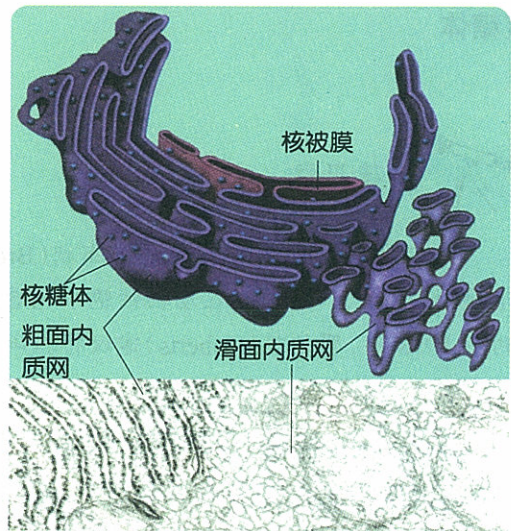
### 科技探索

1945年,波特(K. R. Porter)等人在观察培养的小鼠成纤维细胞时,发现细胞质内部具有网状结构,建议命名为内质网(endoplasmic reticulum, ER),后来发现内质网不仅存在于细胞的“内质”部,通常还与质膜和核被膜相连,并且与高尔基体关系密切,并且常伴有许多线粒体。

绝大多数植物和动物的细胞内都含有内质网(endoplasmic reticulum),内质网是由单层膜围成的管状、泡状或扁平囊状结构,它们相互连接形成一个连续的内腔相通的膜性管道系统。

内质网有滑面型内质网和粗面型内质网两种类型(图3-8)。粗面型内质网常分布于细胞核的周围,其上附着有大量的核糖体,呈同心圆状排列。核糖体合成的蛋白质可通过内质网膜进入内腔,并形成小泡运送到高尔基体。滑面型内质多呈网状分布的小管,其上没有附着的核糖体。滑面型内质网与脂质的合成密切相关。在大量合成脂质的细胞,如人的睾丸、卵巢中滑面型内质网就特别丰富。

内质网增大了细胞内的膜面积,为细胞内各种代谢过程高效、协调地进行提供了有利条件。



上图:内质网结构模式图 下图:电镜下的内质网

图3-8 内质网结构模式图

## ● 高尔基体



### 科技探索

1898年,意大利医生高尔基(C. Golgi)在研究猫和猫头鹰的神经细胞时,在细胞内观察到一种网状结构,后来科学家在几乎所有动物细胞和植物细胞中都观察到了这一结构。由于这一结构是高尔基首先发现的,为纪念他,人们便将这个结构命名为高尔基体(Golgi body)。20世纪50年代,通过电镜观察,发现高尔基体是由几部分膜性结构共同构成的,因此,人们又把高尔基体称为高尔基复合体。

高尔基体(图 3-9)位于细胞核的附近,是由膜围成的扁平囊和大泡、小泡三种结构组成。多个扁平囊互相重叠在一起形成扁平囊群,形状像一叠大而有双层壁的碟子(图 3-10)。与内质网不同,高尔基体成堆的囊膜其内腔并不相互连通。

高尔基体是内质网合成产物与细胞分泌物的加工、分拣与包装场所。经由内质网运输而来的蛋白质、脂质在高尔基体中被修饰,常见的是加上短的糖链。如果将糖链加在蛋白质上,就形成糖蛋白,如果加在脂质上,就形成糖脂。经高尔基体加工修饰的物质,被包在从扁平囊脱落下来的小泡中,这些小泡将移到细胞内其他细胞器或细胞膜上。结合在细胞膜上的囊泡可将经过高尔基体加工修饰的产物分泌到细胞之外。

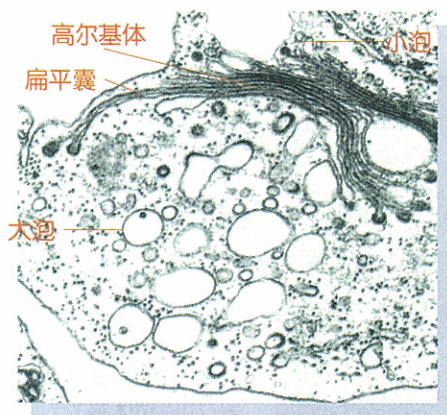


图 3-9 电镜下的高尔基体

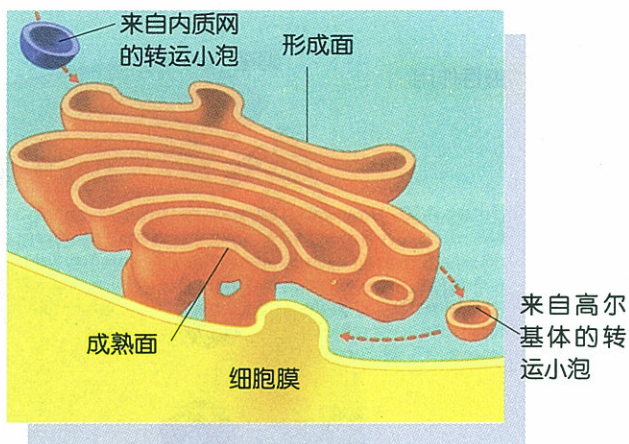


图 3-10 高尔基体模式图

## ● 溶酶体



### 科技探索

溶酶体是 1955 年德迪弗等人在鼠肝细胞内发现的。溶酶体并不是在电镜下被直接观察到的,而是应用新发展的细胞分级分离技术分离出来的。这种存在于细胞质中的微小颗粒,由于含有各种水解酶,具有溶解或消化的功能。因此,人们将这种颗粒命名为“溶酶体”,含义是溶解或消化小体。

溶酶体(lysosome)是动物细胞内行使消化功能的一种细胞器(图 3-11),它是一种单层膜的小泡,由高尔基体产生。

溶酶体内含有大量的水解酶,可以快速催化蛋白质、核酸、脂质以及多糖等的水解。溶酶体将需要分解的大分子物质包裹在小泡中,能安全地消化这些大分子而不让这些酶作用于细胞本身。

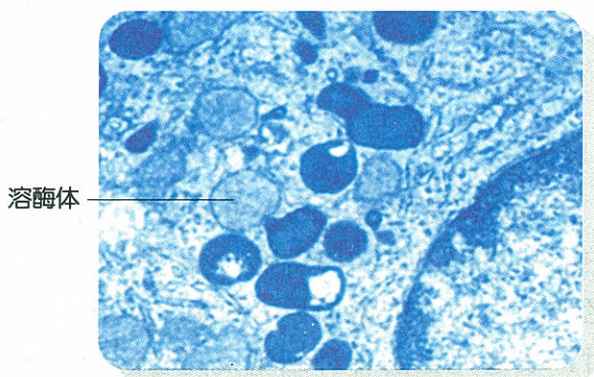


图 3-11 电镜下的溶酶体

溶酶体是细胞内的“消化器官”。溶酶体能够通过降解有机大分子，使细胞获得代谢所需要的营养成分。很多单细胞真核生物，如变形虫等就是依靠其细胞内的溶酶体来消化和分解所吞噬的细菌、病毒等生物，为其提供营养物质。当动物处在饥饿状态时，溶酶体可以分解细胞内的生物大分子来保证机体所需的能量。在肝细胞中，溶酶体每小时降解的蛋白质占肝细胞蛋白总量的4.5%。由此可见，溶酶体对生物大分子具有很强的消化作用，它能把摄入细胞内的大分子物质分解为可溶性的、可扩散的简单分子。这些简单分子能透过溶酶体的膜，在胞质溶胶内继续参与代谢，被细胞再次利用，以补充细胞代谢所需营养(图3-12)。

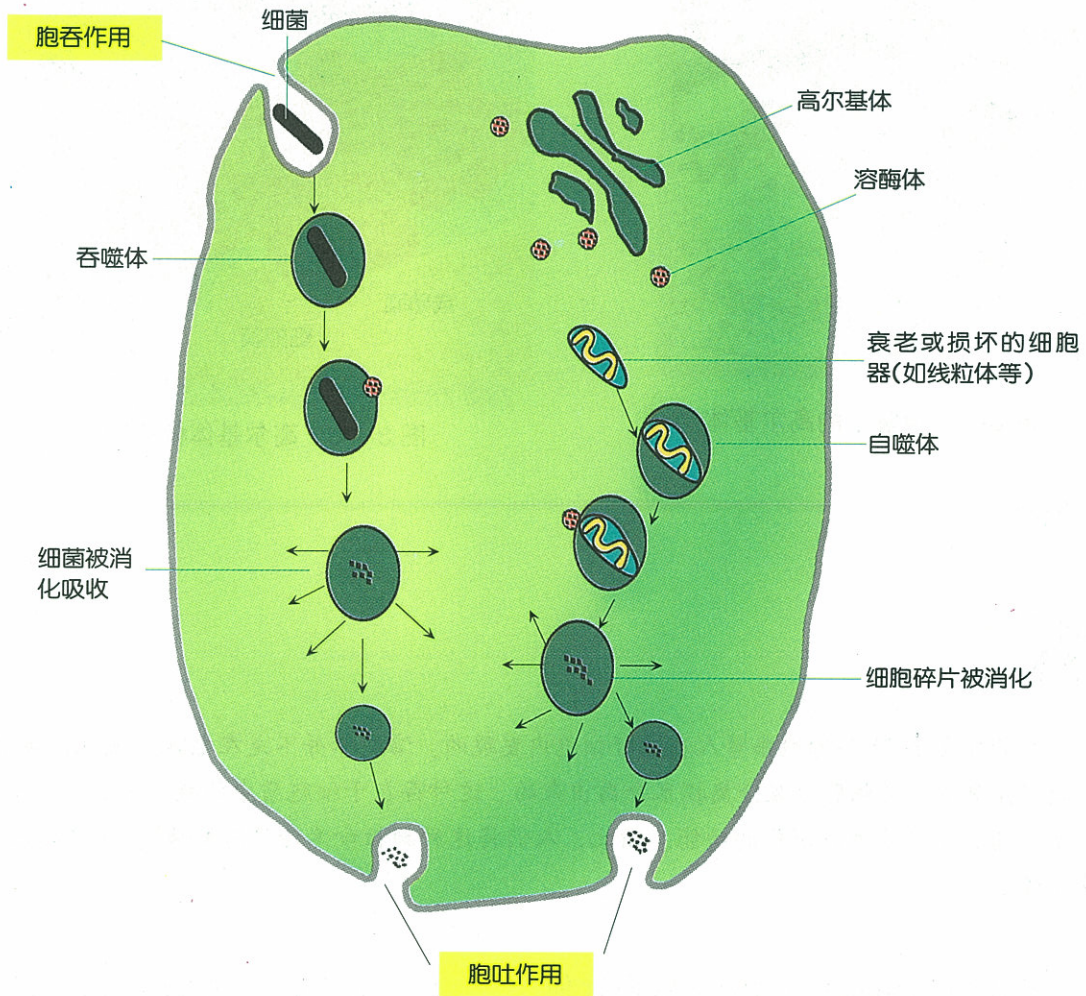


图3-12 溶酶体的作用示意图

溶酶体是细胞内的“清道夫”。细胞通过溶酶体中酶的作用，可清除细胞中无用的生物大分子、衰老或受损伤的细胞器以及细胞。当溶酶体功能异常时，衰老死亡的各种细胞及死亡的细胞器等就不能被及时分解而积留在溶酶体中，使得细胞成分与结



思考

溶酶体为什么不会把自身细胞给分解了?

构得不到更新，直接影响细胞代谢，引起疾病。

此外，溶酶体在某些细胞中还有防御功能。由细胞识别并吞噬入侵的病毒与细菌，在溶酶体作用下，可将它们杀死并进一步分解。

除上述细胞器外，细胞中还有液泡、中心体等细胞器。液泡普遍存在于植物细胞中，是由单层膜包围而成的结构（图 3-13）。未成熟的植物细胞通常含有许多小的液泡，随着细胞的扩大，这些小液泡不断扩大融合成一个大的中央液泡，可占据 90% 的细胞体积。液泡内的液体叫作细胞液，细胞液的主要成分是水，还有糖类、无机盐、色素等。液泡是植物细胞储存养分的场所，还与大分子的降解和细胞质组成物质的再循环有关，被认为有类似于动物细胞溶酶体的功能。此外，液泡能使细胞维持一定的渗透压，保持细胞的形态。

中心体在动物细胞和许多原生生物细胞里都有，它是由两个互相垂直的中心粒及其周围物质构成的，位于细胞核附近。中心体与动物细胞的有丝分裂密切相关（图 3-14）。

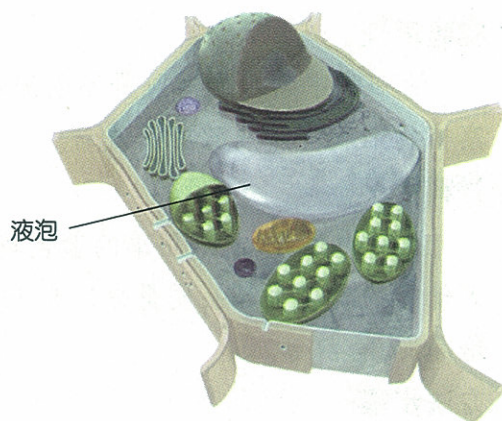


图 3-13 液泡示意图

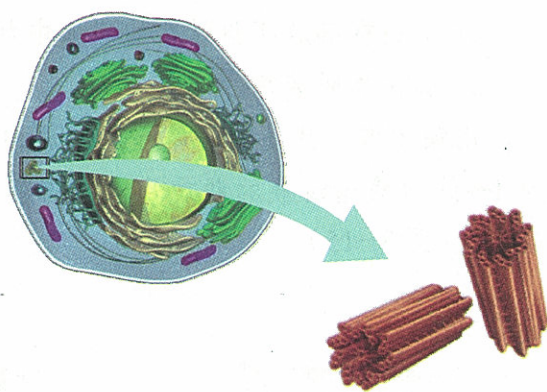


图 3-14 中心体示意图

## 二 胞质溶胶

在细胞中，包围在各种细胞器外面的半流体物质，称为胞质溶胶（cytosol）。胞质溶胶不仅含有丰富的蛋白质，使其呈现一定黏滞性，而且还含有催化细胞中反应的多种酶，它与维持细胞的极性和形态，调节膜蛋白的分布和运动，以及物质运输都有密切关系。

在活细胞中，胞质溶胶能不停地流动。



### 观察胞质溶胶的流动

#### 活动目标

1. 说明胞质溶胶的流动是一种生命现象。
2. 使用高倍镜观察胞质溶胶的流动。

## 实验原理

活细胞中的胞质溶胶是不断流动着的。用胞质溶胶中叶绿体的运动作为标志,可观察植物细胞内胞质溶胶的流动。

## 材料用具

新鲜的黑藻(或鸭跖草的蓝色花瓣及其雄蕊花丝的表皮毛,黄瓜嫩茎的表皮毛,大白菜幼叶的表皮毛等);质量分数为1%的葡萄糖溶液;显微镜,载玻片,盖玻片,滴管,镊子,培养皿,台灯等。

## 方法步骤

### 1. 预处理实验材料

方法1:将实验材料放在阳光下或灯光下15~20 min。

方法2:在盛放实验材料的容器中加入一定量25℃左右的温水。

### 2. 制作临时装片

用镊子取一片幼嫩黑藻叶片,放在滴有质量分数为1%的葡萄糖溶液的载玻片上,将黑藻叶展平盖上盖玻片(图3-15)。



思考

预处理实验材料的目的是什么?

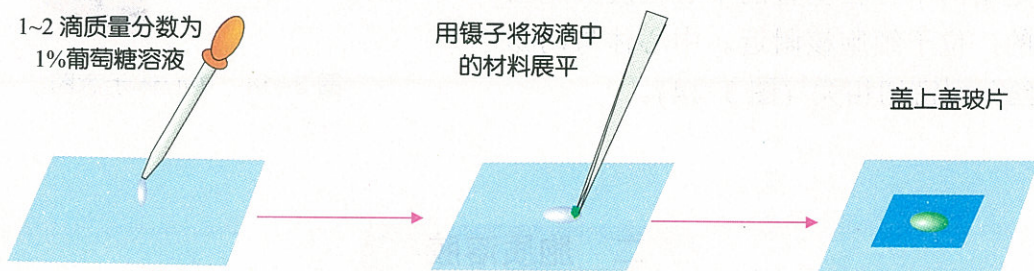


图3-15 制作临时装片示意图

### 3. 用显微镜观察

首先,用低倍镜观察黑藻叶片细胞。再换高倍镜观察,注意叶绿体随着胞质溶胶流动的情况,重点选两个细胞,看看它们的胞质溶胶流动的方向、流速是否一致,并将结果填入下表。



注意

1. 观察过程中,要注意对显微镜焦距的调整,避免使其中的一层细胞对另一层细胞产生干扰。
2. 观察过程中要注意区分叶绿体和液泡,前者为绿色,后者无色,叶绿体围绕液泡运动。

各个细胞中的叶绿体数量是否一样?		
是否观察到每个细胞内的胞质溶胶都在流动?		
高倍镜下胞质溶胶流动的方向和流速	细胞 A	
	细胞 B	

## 总结与讨论

植物细胞的胞质溶胶处于不断流动的状态，这对于活细胞完成生命活动有什么意义？

## 实验拓展

请设计一个实验，探索水分、温度、光照强度等因素对植物细胞内胞质溶胶流动的影响。

通过上述实验可以知道，胞质溶胶与细胞的物质运输有一定的联系。胞质溶胶的流动，不仅促进了细胞与环境之间和细胞器之间的物质交换，保证了各种代谢活动高效有序地进行，而且还保证了细胞器之间物质的定向运输、能量交流和信息交流。

## 自我检测

- 下列细胞结构中，无膜结构的是( )。  
A. 内质网            B. 核糖体            C. 高尔基体            D. 液泡
- 下列细胞结构中具有双层膜的是( )。  
A. 细胞膜和内质网            B. 溶酶体与高尔基体  
C. 线粒体与叶绿体            D. 核糖体与中心体
- 鉴别一个细胞是植物细胞还是动物细胞可检查它是否具有( )。  
A. 核糖体            B. 内质网            C. 线粒体            D. 细胞壁
- 根据“胞质溶胶流动”的实验，回答下列问题。

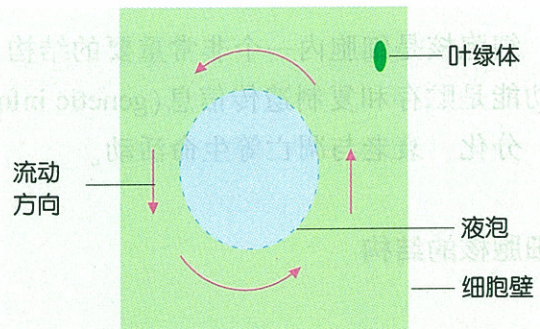
(1)在观察胞质溶胶流动时，在显微镜下观察到如下图像，细胞内叶绿体的实际位置和流动方向分别为( )。

- A. 左侧，顺时针            B. 右侧，逆时针  
C. 左侧，逆时针            D. 右侧，顺时针

(2)制作临时装片时，事先将材料放在光下或20℃~25℃水中培养的目的是\_\_\_\_\_。

(3)常以植物细胞中的叶绿体作为观察依据的原因是\_\_\_\_\_。

(4)简要说明胞质溶胶的流动对活细胞的意义。

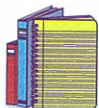


## 第3节 细胞核

细胞核 (nucleus)是真核细胞最显著与最重要的结构。英国植物学家罗伯特·布朗 (R. Brown) 在 1831 年首次对细胞核进行了描述。除了人与哺乳动物成熟的红细胞和植物的

筛管细胞等极少数的细胞外，真核细胞都有细胞核。真核细胞中通常有一个细胞核，但也有些细胞可以有几个甚至多个细胞核。那么细胞核在细胞中起什么作用呢？它的结构是怎样的？

## ●细胞核的功能



### 阅读与分析

仔细阅读并分析以下实验，你认为形成伞藻再生“帽”的遗传信息贮存于细胞的什么结构中？

伞藻是一种生活在地中海沿岸的大型单细胞藻类，每一个藻体就是一个细胞。藻体由下部的假根、中间的柄和顶部的伞藻帽组成，细胞核位于假根中。伞藻具有再生能力，如果将伞藻帽切除后，从柄上还可以长出一个新的伞藻帽。可以用不同“帽形”（伞形和菊花形）的甲、乙两种伞藻做核移植实验。乙伞藻的柄嫁接在甲伞藻的假根上，结果长出了甲伞藻的“帽”（图 3-16）。

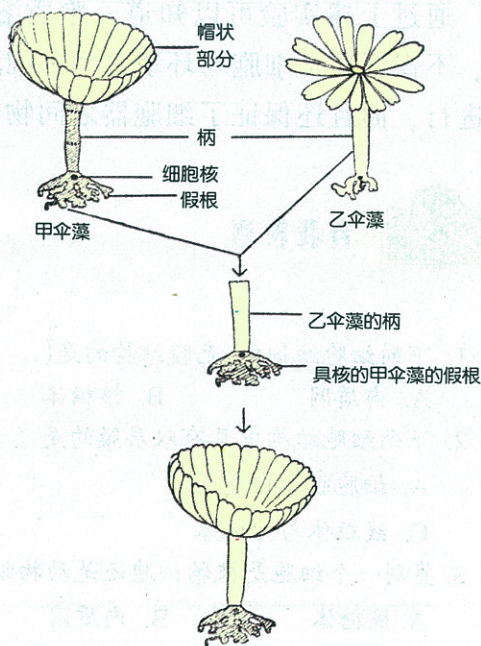


图 3-16 伞藻嫁接实验

细胞核是细胞内一个非常重要的结构，在细胞生命活动中起着主导作用。细胞核的主要功能是贮存和复制遗传信息 (genetic information)，在很大程度上控制着细胞的分裂、生长、分化、衰老与凋亡等生命活动。

## ●细胞核的结构

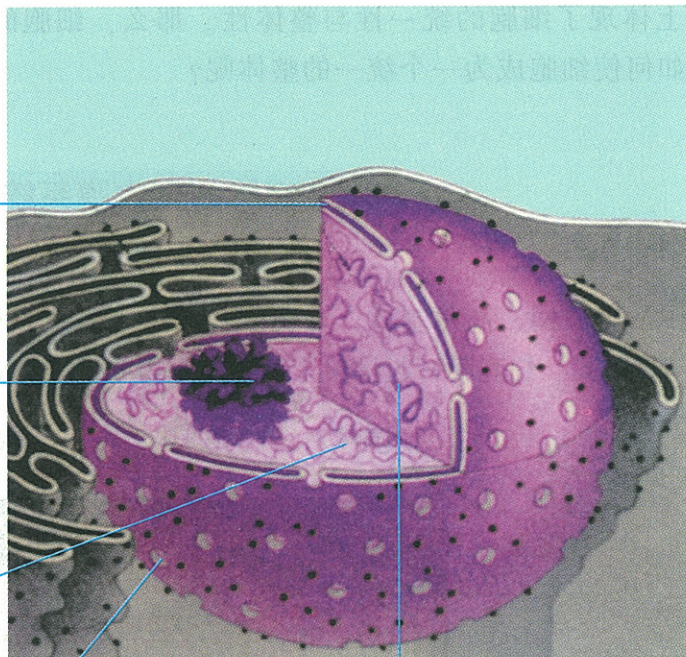
细胞核的结构是与细胞核的功能相适应的。典型的细胞核的结构包括核被膜、核仁、染色质（染色体）和核基质 4 个部分（图 3-17）。细胞核的形态与结构在细胞生活周期的不同阶段变化很大，如染色质与染色体在细胞分裂过程中会发生周期性转化，核仁与核被膜在细胞分裂过程中会周期性地消失与重建。

**核被膜:** 围绕在核表面的膜,由双层膜构成,将细胞区分为核与质两部分,同时控制着核与质之间物质与信息的交流。

**核仁:** 一般细胞有 1~2 个甚至更多核仁。核仁是一个表面无膜的海绵球状体。核仁的主要功能是合成 rRNA。

**核基质:** 核内透明的液态胶状物质,其中含有水、无机盐、各种蛋白质等,另外,核基质中还包含核骨架结构。

**核孔:** 是核与质之间进行大分子物质交换的通道。



**染色质和染色体:** 染色质是间期细胞核内直径为 25 nm 的丝状物,其成分主要是 DNA 和蛋白质,易被碱性染料着色。细胞分裂时,染色质进一步螺旋折叠成染色体。

图 3-17 细胞核的结构模式图



### 自我检测

1. 一个典型的细胞核包括哪几个部分?
2. 细胞核的主要功能是什么?
3. 有科学家用一根玻璃针将变形虫切成两半,有核的一半能继续生活,无核的一半死亡。如果将一个变形虫的核去除,无核的部分能短期生活,但不能繁殖后代;单独的细胞核不能生存。如果去核 3 天后,给无核的变形虫植入一个细胞核,这个变形虫就能正常生活。这个实验说明细胞核在细胞生命活动中起什么作用?

## 第 4 节 细胞的生物膜系统与细胞骨架

细胞有着复杂的结构,分别执行着不同的功能,但这些结构不是孤立的,而是彼此联系,在功能上密切配合,共同完成细胞的生命活动。细胞中的生物膜系统与细胞骨架在结



构与功能上体现了细胞的统一性与整体性。那么，细胞的生物膜系统与细胞骨架是怎样的？它们如何使细胞成为一个统一的整体呢？

## 一 细胞的生物膜系统

细胞中的内质网、高尔基体、溶酶体、液泡、线粒体与叶绿体等都是由膜包裹的细胞器，它们与核被膜、细胞膜一起构成了细胞的生物膜系统(biomembrane system)，见图 3-18。

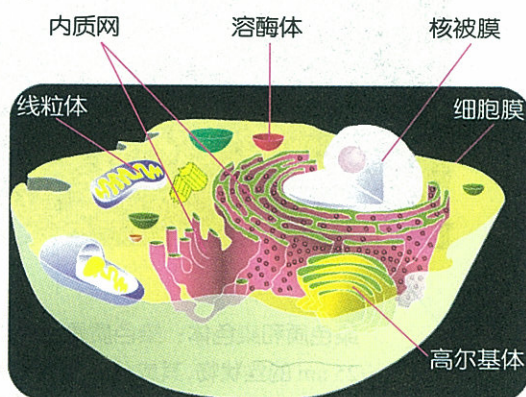


图 3-18 细胞的生物膜系统

研究表明，生物膜的组成成分是很相似的。与细胞膜类似，其他生物膜也主要由蛋白质、脂类和少量的糖类组成。只是在不同的生物膜中，这三种物质的含量有所差别。

生物膜系统中各个膜在结构上也很相似，并且彼此之间紧密联系，如内质网外连着细胞膜，内连着核被膜（图 3-19）。不同的膜之间还可以相互转化，如内质网膜可转化为高尔基体膜，高尔基体膜可转化为溶酶体膜与细胞膜。

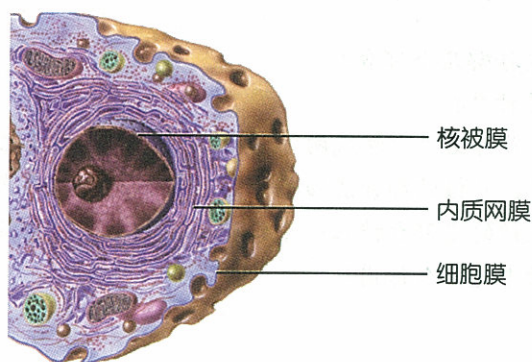


图 3-19 内质网膜与核被膜、细胞膜之间的相互联系

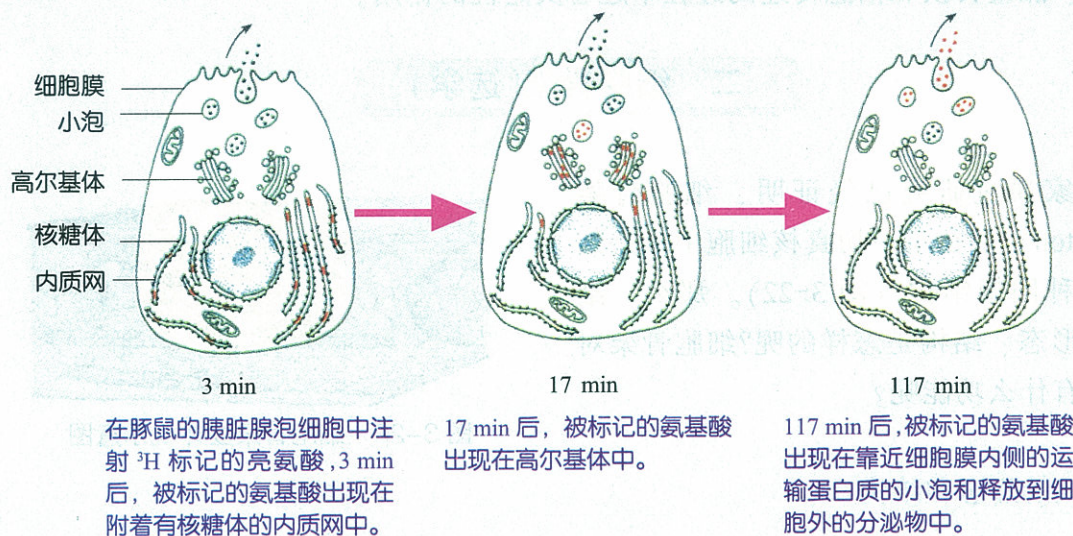
各种生物膜在成分与结构上如此相似，那么它们在功能上是否有联系呢？

经核糖体合成的蛋白质先进入内质网，然后在内质网中加工后形成膜性小泡，小泡从内质网转移到高尔基体并与之融合，蛋白质进入高尔基体并在高尔基体中作进一步的加工和浓缩。高尔基体边缘膨大脱落而成小泡，这些小泡有的成为溶酶体，分布在细胞质中；



## 阅读与分析

阅读图 3-20, 分析以下实验过程, 思考分泌蛋白合成之后, 是按照哪个方向运输的。



提示: 图中黑点代表分泌蛋白, 红点代表被标记的分泌蛋白。

图 3-20 合成的分泌蛋白运输到细胞外过程示意图

有的作为分泌颗粒, 运到其他细胞器, 或逐渐移向细胞膜, 与细胞膜融合后将所含的内容物释放到细胞外 (图 3-21)。

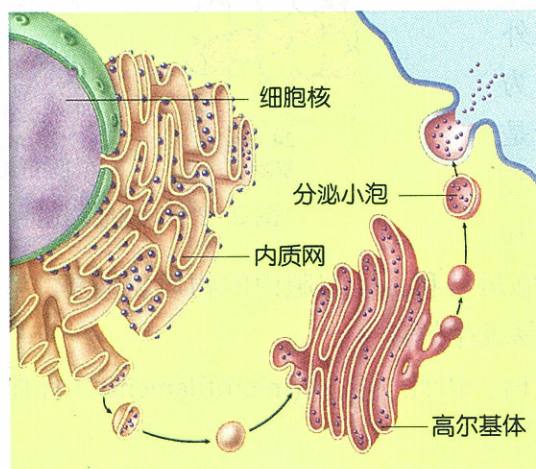


图 3-21 细胞分泌过程示意图

综上所述, 细胞中的各种生物膜在组成成分和结构上很相似, 在结构和功能上也具有紧密的联系, 因此可以将这些膜的结构看成是一个统一的整体。

在真核细胞中, 生物膜系统的存在对细胞的生命活动有重要作用。

第一, 细胞内的各种细胞器有其独特的结构和功能, 它们在细胞内形成了一个小小的区室, 这些区室构成了细胞内特殊的微环境, 使得细胞能够同时进行多种化学反应而不会

相互干扰，提高了细胞新陈代谢的效率。

第二，许多重要的化学反应都是在生物膜上进行的，细胞内广阔的膜面积为参与化学反应的多种酶提供了大量的附着位点。

第三，细胞膜不仅使细胞具有一个相对稳定的内部环境，同时在细胞与外部环境进行物质交换、能量转换和信息传递的过程中起着决定性的作用。

## 二 细胞骨架(选学)

科学家通过研究已经证明，细胞骨架(cytoskeleton)存在于一切真核细胞中，是细胞中的一种网架结构(图3-22)。那么，细胞骨架的形态、结构是怎样的呢?细胞骨架对于细胞又有什么功能呢?

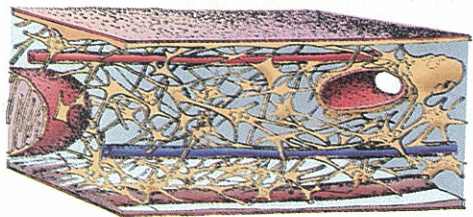


图3-22 细胞骨架立体观示意图

### ●细胞骨架的形态和结构

细胞骨架是细胞内作为机械支撑的极其复杂的网络系统，它主要由微管、微丝和中间纤维构成(图3-23)。

微管(microtubule)是一种中空的管状蛋白质纤维结构，其外径平均为25 nm左右，内径约为15 nm，一般仅长几 $\mu\text{m}$ 。微管是纤毛、鞭毛、神经突起、中心粒、纺锤体的主要构成成分，其功能是保持细胞形状、引起细胞运动和协助细胞内的物质运输等。在高压或秋水仙素等物理、化学因素作用下，微管容易发生解体。

微丝的主要成分是肌动蛋白，因此，微丝(microfilament)又称肌动蛋白纤维。微丝与肌肉收缩和细胞运动有关。

中间纤维介于微管和微丝之间，直径7~10 nm，具有支持和抗张力的作用。

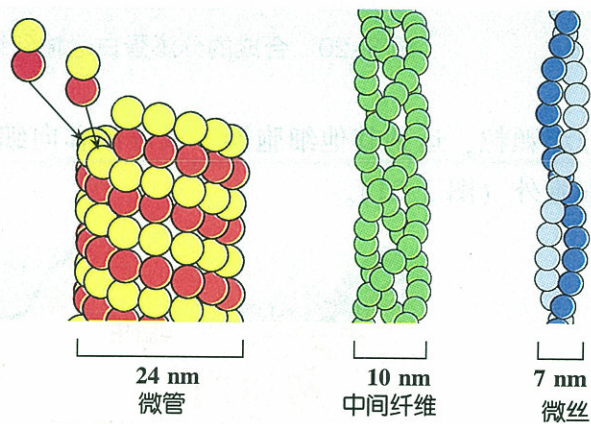


图3-23 构成细胞骨架的三种结构

### ●细胞骨架的功能

细胞骨架维持着细胞的形态，起着固定和支持细胞器位置的作用。同时，细胞骨架对细胞生理活动也是不可缺少的。细胞运动、物质运输、能量转换、信息传递、细胞分裂、基因表达、细胞分化、酶反应等生命活动都必须在细胞骨架的特定部位进行。

研究表明，微管参与细胞内物质的运输，特别是大分子颗粒物的运送，有定向运输的作用。例如，病毒和色素颗粒在细胞内可沿微管快速移动。细胞核周围微管分布特别密集，这表明核孔的生理功能也与微管有密切的关系。有些微管可直接连接于高尔基体的小泡上，与小泡的物质运输有关。

此外，细胞中胞质溶胶的流动与微丝有密切关系。细胞移动、胞质环流、细胞的吞噬、分泌物的排出和神经递质的释放等功能都和微丝相关。



### 开阔眼界

## 人工膜的研制与应用

20世纪70年代以来，各种新的物理、化学技术和方法的应用，使得细胞膜以及细胞器膜的研究成为现代生物学研究的前沿领域之一。如今，科学家已经能够模拟生物膜的结构，制造出具有各种用途的人工膜，并把它们广泛应用于工业、农业、医药卫生和生命科学的研究之中。

人们从细胞膜的选择透过性得到启发，用各种人造纤维制造成人工膜。利用人工膜，可以从海水中提取各种有用物质或进行海水淡化处理，也可以在处理污水时，有选择地将有毒金属离子阻挡在膜的一侧，以降低有毒重金属离子对水的污染。

科学家还利用细胞膜的工作原理，制成了一种透析型的人工肾（图3-24），人工肾中起关键作用的是一种人工合成的膜材料——血液透析膜，它能够把病人血液中的代谢废物透析掉，然后让干净的血液返回病人体内。人工膜

的这一应用，挽救了许多肾脏病人的生命，延长了救治的时间。

脂质体（图3-25）也是人工膜研究与应用的一个成功范例。脂质体是由双层磷脂组成的人工膜。科学家用它将药物包裹起来。这种被包裹的药物进入人体后，通过循环系统进入组织，大部分停留在肝脏中。然后，溶酶体中的脂肪酶将脂质体的双层磷脂溶解，其中的药物就可以释放出来，直接到达患病部位，发生作用。这样不仅提高了药物的疗效，而且降低了药物对正常组织细胞的毒害作用。

在农业生产上，人们正在从细胞膜的结构和功能的角度研究农作物抗寒、抗旱和耐盐的机理，寻找改善农作物品质的新途径。神奇的人工膜正在吸引着各方面人士的关注。人工膜的研究已成为一门新兴产业，它的研究成果将为人类作出更大的贡献。

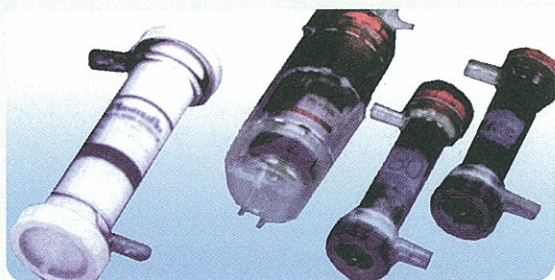


图3-24 各种型号的人工肾

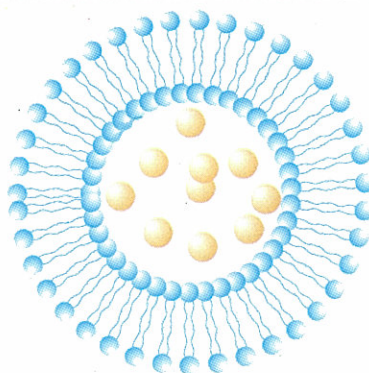


图3-25 脂质体包裹药物



## 自我检测

1. 下列有关膜系统的叙述不正确的一项是( )。
  - A. 膜系统是真核细胞所特有的
  - B. 膜系统使各个细胞器组成生命活动的统一体
  - C. 细胞内分隔的膜性区室的出现使细胞器完全独立
  - D. 细胞内分隔的膜性区室的出现减少了细胞内各种生化反应的相互干扰
2. 在细胞中,被称为“细胞的骨骼和肌肉”的是( )。
  - A. 溶酶体
  - B. 内质网
  - C. 微管和微丝
  - D. 核糖体



## 开阔眼界

### 虚拟细胞技术

虚拟细胞技术是利用计算机把各种可能的结果都计算出来,从而对复杂生物系统进行精确模拟的一项技术。

在一个细胞中包含着数以千计的生物分子的详细信息,如果要用计算机完全精确地模拟出来相当困难。在日本,科学家已经研究出来了一个叫作“电子细胞”的软件,它是目前世界上最先进的细胞软件。但是,就是这种技术也只是简单的细胞模拟,这个细胞只能维持简

单的生存,既不能生长,也不能分裂。下一步,研究人员要扩展虚拟细胞的功能,使它有繁殖的能力。

虚拟细胞技术的前景是非常诱人的。如果研究虚拟细胞的计划取得成功,通过虚拟细胞的培养,科学家很快就能对真实细胞进行改良。到那时,人类将容易找到新型药物和新的治疗方法,改善和重新设计生物系统,将科学幻想转变为现实。

## 本章小结

节次	重要概念	重要术语
第1节 细胞膜与细胞壁	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 细胞膜又称质膜，它和细胞内所有膜相结构的膜统称为生物膜。组成膜的化学成分主要有脂质、蛋白质，还有少量以糖脂和糖蛋白形式存在。</li> <li>● 在膜的各种结构模型中，液态镶嵌模型被人们普遍接受。不对称性和流动性是生物膜的显著特征，也是其完成生理功能的必要保证。</li> <li>● 细胞膜是细胞表面结构与功能的核心，它与其他结构一起，使细胞有了一个相对稳定的微环境，从而实现物质交换、信息传递、细胞识别和免疫反应等功能。</li> <li>● 细胞壁是植物和真菌以及一些原核细胞所含有的结构。植物细胞壁的主要成分是纤维素和果胶，它是一种全透性的结构，主要对细胞起支持与保护作用。</li> </ul>	细胞膜(质膜) 液态镶嵌模型 糖被 细胞壁
第2节 细胞器与胞质溶胶	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 真核细胞的细胞质中含有许多具有特定形态与功能的结构，这些结构被称为细胞器，细胞器的四周被胞质溶胶充填。真核细胞含有的细胞器主要有线粒体、叶绿体、内质网、高尔基体、溶酶体、液泡和中心体等。</li> <li>● 线粒体与叶绿体都是双层膜构成的细胞器，线粒体普遍存在于真核细胞中，叶绿体主要存在于植物细胞中。线粒体是细胞呼吸的主要场所，叶绿体是光合作用的场所。</li> <li>● 内质网、高尔基体、溶酶体与液泡都是单层膜结构的细胞器。内质网、高尔基体与蛋白质、脂质的合成、运输与分泌相关；溶酶体含有多种水解酶，能进行细胞内消化；液泡含有多种物质，可以调节植物细胞渗透压。</li> <li>● 核糖体与中心体是非膜结构的细胞器，几乎所有的细胞都含有核糖体，而中心体主要存在于动物与原生生物的细胞中。核糖体是合成蛋白质的场所，中心体与动物细胞的有丝分裂相关。</li> <li>● 胞质溶胶是细胞中包围在各种细胞器周围的半流体物质，它含有催化细胞中反应的多种酶，与细胞的许多生命活动相关。活细胞中胞质溶胶能不停地流动。</li> </ul>	细胞器 线粒体 嵴 叶绿体 类囊体 内质网 高尔基体 溶酶体 液泡 中心体 中心粒
第3节 细胞核	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 细胞核是遗传物质贮存和复制的场所，是细胞代谢和遗传的控制中心。</li> <li>● 细胞核由核被膜、核仁、染色质(染色体)和核基质4部分构成。</li> </ul>	细胞核 核被膜 核仁 染色质(染色体) 核基质
第4节 细胞的生物膜系统与细胞骨架	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 生物膜系统是指细胞中在结构、功能乃至发生上有一定联系的膜性结构的总称。生物膜系统是真核细胞所特有的结构。构成生物膜系统的结构包括细胞膜、内质网、高尔基体、溶酶体、线粒体、核被膜等。</li> <li>● 生物膜系统在结构和功能上是一个统一的整体，它是细胞合成蛋白质、酶、脂质和糖类的场所，同时对合成产物具有加工、包装和运输的功能。</li> <li>● 微管、微丝和中间纤维组成细胞骨架。在细胞生长、发育、分化及各种生理活动过程中，细胞的骨架系统随时都可进行与其特定功能状态相适应的内部结构调整、物质定向运输、细胞自身位置移动和外部形态的改变与维持等活动。</li> </ul>	生物膜系统 细胞骨架 微管 微丝 中间纤维

# 第4章 细胞的物质代谢

## 主要内容

### 1. 生物催化剂——酶

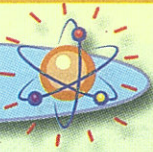
- 酶的化学本质及作用
- 酶的特点
- 探究 探究不同温度和 pH 对酶活性的影响
- 酶的应用

### 2. 细胞内外的物质交换

- 细胞膜的选择透过性
- 模拟实验 模拟膜的通透性
- 探究 探究细胞质壁分离和复原与外界溶液浓度的关系
- 物质出入细胞的方式

### 3. 细胞内的物质代谢

- 生物体内的反应
- 生物体内的反应的调控



细胞内每时每刻都在完成着许许多多的合成、分解以及转化等反应，细胞必须有序地完成这些反应才能保证生命活动的正常进行。细胞中反应的有序进行与酶密不可分。

1783年，意大利科学家斯巴兰让尼（L. Spallanzani）用自己饲养的山鹰做了一个十分耐人寻味的实验：将肉块放入小巧的金属笼内，然后让鹰把小笼子吞下去。过一段时间再设法取出笼子。笼子依然完好无损，而肉块却不见了，笼中有一种淡黄色的液体。

1822年，美国外科医生博蒙特（Beaumont）为19岁的法籍加拿大人圣马丁治疗枪伤，在圣马丁的胃部和体表之间遗留下一个永久性的瘘管，吃饭后会有液体从瘘管中流出来。博蒙特产生了利用这一瘘管来观察人体消化过程的想法。他请圣马丁住在自己家里，从瘘管中吸取胃液，观察它对各种食物的作用。这一试验历时11年。他证明了食物在胃里是经过化学作用而被消化的。

1836年，德国科学家施旺把氯化汞加到胃液里，沉淀出一种白色粉末。经过提炼得到了一种浓度非常高的消化液，他把这种能消化肉的沉淀物称作“胃蛋白酶”。这是第一个从动物组织中提取制备的酶。

1857年，著名的法国细菌学家巴斯德（L. Pasteur）认为，酒精发酵需要有完整的细胞结构才能实现；而德国化学家李比西（J. V. Liebig）却认为酒精发酵要求的只是细胞中的某些物质，而不要求完整的细胞参与。两种理论相持不下，直到1897年，比希纳（E. Buchner）在实验中发现酵母的无细胞提取物同样可以引起酒精发酵。他将酵母和砂一起研磨，然后压榨出汁液。这种汁液中不含活细胞，但仍能使糖发酵，生成酒精和二氧化碳。

1926年，美国科学家萨姆纳（J. B. Sumner）从刀豆种子中提取了脲酶的结晶，并且通过化学实验证实了脲酶是一种蛋白质，萨姆纳因此荣获了1946年的诺贝尔化学奖。在此后的几十年中，人们所发现的几千种酶都是蛋白质，所以20世纪30年代，科学家对酶定义为：酶是一类具有生物催化作用的蛋白质。

20世纪80年代以来，美国科学家切赫（T. B. Cech）和奥特曼（S. Altman）发现少数RNA也具有生物催化作用。因此科学家又一次对酶定义为：酶是活细胞产生的具有生物催化功能的有机物，其中大部分是蛋白质，少数是RNA。

1994年，B. Cuenoud等人的研究证实了具有酶活性的DNA的存在。这使人们认识到除了蛋白质和RNA具有酶的功能外，某些DNA也具有酶的功能。所以科学家再次对酶定义为：酶是活细胞产生的具有生物催化功能的有机物，其中大部分是蛋白质，少数是RNA或DNA。



# 第 1 节 生物催化剂——酶

一个细胞就是一个微型的化工厂，里面完成着复杂的化学反应，这些反应能在常温常压下有条不紊地进行，这与细胞中的酶（enzyme）密切相关。什么是酶？酶在化学反应中如何起作用呢？

## 一 酶的化学本质及作用

阅读本章的科学发展历程，我们可以知道，科学家对酶的认识经过了一个长期的过程。在科学家的共同努力下，人们对酶的概念有了深入的认识。酶是活细胞产生的一类具有生物催化作用的有机物，它能使生物体内的化学反应在一定条件下迅速地进行，而酶本身不发生变化。绝大多数酶的化学本质是蛋白质，此外还有少量的酶是 RNA 或 DNA。

酶之所以能催化反应的发生，是因为酶具有独特的空间结构，它能稳定地与底物（反应物）结合形成中间产物，从而降低反应所需的活化能，于是反应在酶的参与下大大加快了。由于酶在反应前后不发生变化也不会被消耗，因此需要的酶量极少而且可以反复利用。



### 小辞典

#### 活化能

要使化学反应开始，反应物分子中的化学键必须被打断。这个过程需要这些分子从周围环境中吸收能量，这部分能量称为活化能。

## 二 酶的特点

作为一种生物催化剂，酶具有一般化学催化剂所具有的特点。但是，与一般催化剂相比，酶还具有许多独有的催化特点。

### ● 酶的催化具有高效性



### 比较过氧化氢酶和 $\text{Fe}^{3+}$ 的催化效率

#### 活动目标

1. 比较过氧化氢酶和  $\text{Fe}^{3+}$  的催化效率。
2. 尝试探究酶的催化效率的方法。

### 实验原理

新鲜的肝脏中含有过氧化氢酶，它和无机催化剂  $\text{Fe}^{3+}$  都能催化过氧化氢分解成水和氧气。分别用一定量的过氧化氢酶和  $\text{Fe}^{3+}$  催化过氧化氢的分解，通过观察溶液中气泡数量的多少可以比较二者的催化效率。

### 材料用具

质量分数为 20% 的新鲜肝脏（猪或其他动物）研磨液；体积分数为 3% 的过氧化氢溶液，质量分数为 3.5% 的  $\text{FeCl}_3$  溶液；量筒，试管，滴管，试管架，卫生香，火柴。

### 方法步骤

1. 取两支洁净的试管，编号分别为 1 号和 2 号，各注入 2 mL 过氧化氢溶液。
2. 向 1 号试管中加入 2 滴肝脏研磨液；向 2 号试管中加入 2 滴  $\text{FeCl}_3$  溶液。
3. 轻轻振荡这两支试管，使试管内的物质混合均匀。
4. 仔细观察并记录哪支试管中产生的气泡多。
5. 把点燃而无火焰的卫生香，分别放入两支试管内液面的上方，观察卫生香的燃烧情况。

### 总结与讨论

1. 实验现象显示，哪支试管中产生的气泡多？哪支试管内的卫生香燃烧剧烈？
2. 这个实验结果说明了什么？
3. 某同学操作结束后，发现两支试管内都能产生大量的气泡，分析这可能是由什么操作失误引起的。

上述实验结果说明，与无机催化剂  $\text{Fe}^{3+}$  相比，过氧化氢的催化效率比  $\text{Fe}^{3+}$  的催化效率高得多。一般来说，酶的催化效率是无机催化剂的  $10^7 \sim 10^{13}$  倍。如红细胞中  $\text{CO}_2$  与  $\text{H}_2\text{O}$  形成  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的反应，在没有酶存在的情况下每小时只能生成 200 个  $\text{H}_2\text{CO}_3$  分子，而在细胞内酶的催化下大约每秒钟就有 600 000 个碳酸分子生成。这样，酶把反应速度提高了 1 000 万倍以上。可见，酶的催化具有高效性的特点。

### ● 酶的催化具有专一性

在研究酶的催化作用的过程中，科学家发现：一种酶只能催化特定的化学反应，如淀粉酶只能催化淀粉的水解，不能催化蔗糖的水解。在进行了大量实验和深入研究后，科学家提出酶的催化作用具有专一性的特点，即一种酶只能催化一种化合物或一类化合物的化学反应。



### 思考与讨论

1. 酶是如何发挥其催化作用的？
2. 酶的专一性对生物体是否必要？对生物体有什么意义？

酶的作用机制非常复杂，1890年，德国化学家费舍尔（E. Fisher）提出了著名的锁钥学说（lock and key theory），该学说简单介绍了酶的作用过程（图4-1）。

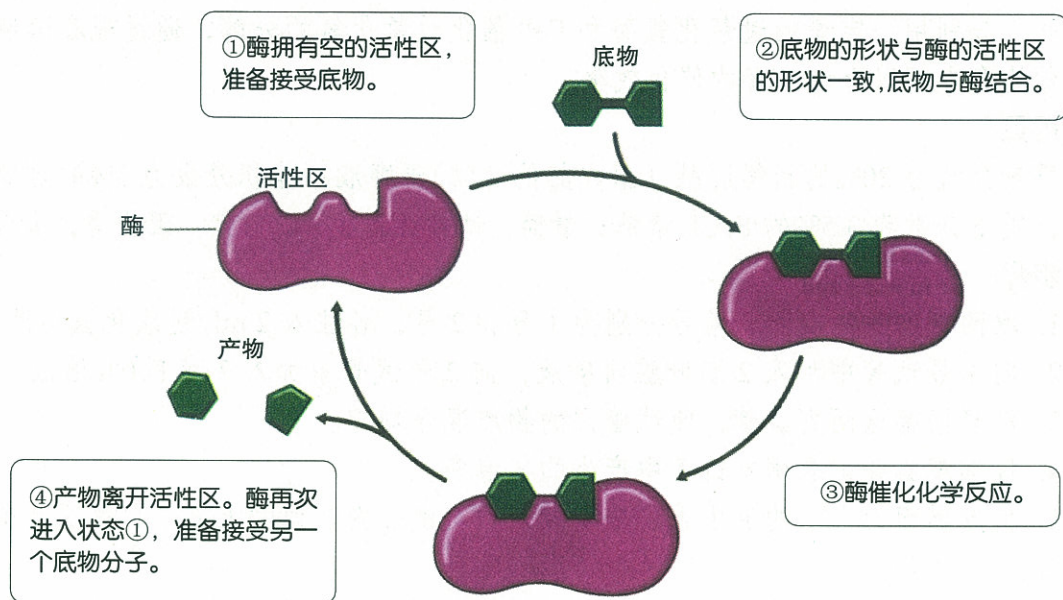


图4-1 酶的锁钥学说示意图

对于一个生物体来说，体内同时进行着成千上万种化学反应，也存在成千上万种催化这些反应的酶。生物体通过控制酶的合成量和酶的催化作用效率来控制这些化学反应的进行。化学反应到哪一步，就由哪一种酶来催化，保证代谢有序、高效地进行。如果酶的催化没有专一性，生物体内的化学反应就无法有序进行。

### ●酶的催化容易受到外界环境的影响

酶大多是具有特定的空间结构的蛋白质，外界的许多物理与化学因素都会对蛋白质的结构产生一定的影响，从而影响酶的活性。影响酶活性的主要环境因素包括温度、pH、酶的抑制剂或激活剂等。



#### 探究

### 探究不同温度和pH对酶活性的影响

#### 提出问题

温度和pH对酶的活性有什么影响？

#### 作出假设

根据已有知识，推测温度和pH对酶活性的影响。

## 设计实验

参考小辞典和下面的参考方案,分组设计探究温度和 pH 影响过氧化氢酶活性的实验方案,列出实验材料和用具,设计并绘制数据记录表。

参考方案如下:

(1) 探究不同 pH 对过氧化氢酶活性的影响。

①取 3 支洁净的试管,分别编号为 1、2、3,并各注入 2 mL 过氧化氢溶液。

②向 1 号试管中加入 1 mL 质量分数为 5% 的盐酸,向 2 号试管中加入 1 mL 质量分数为 5% 的氢氧化钠溶液,向 3 号试管加入 1 mL 蒸馏水,振荡试管。

③向 3 支试管内各滴入 2 滴新鲜的鸡肝研磨液,堵住试管口,轻轻振荡试管,仔细观察并记录每支试管内产生的气泡多少。

④将点燃但无火焰的卫生香分别放入 1 号、2 号、3 号试管内液面的上方,观察并记录卫生香燃烧的情况。

(2) 探究温度对唾液淀粉酶活性的影响。

①取 3 支洁净的试管,分别编号为 1、2、3,并各注入 2 mL 可溶性淀粉溶液。另取 3 支试管,编号为 4、5、6,在这 3 支试管中各注入 1 mL 新鲜的唾液。

②将 1 号、4 号试管放入 37℃ 左右的温水,2 号、5 号试管放入沸水,3 号、6 号试管放入冰块中,维持各自的温度 10 min (有恒温设备的可设定恒温)。

③分别将 4 号、5 号、6 号试管中的唾液倒入 1 号、2 号、3 号试管中,继续将 1 号、2 号、3 号试管放在原设定的温度下保持 10 min。

④取出 3 支试管,冷却后各滴入一滴碘液,摇匀后观察试管颜色的变化。



## 小辞典

新鲜肝脏提取液中含有过氧化氢酶。过氧化氢酶和唾液淀粉酶催化的最适温度为 37℃,最适 pH 为 7~7.3,温度和 pH 的变化会影响酶的活性。

## 实施实验

按照确认的实验方案操作,认真观察并记录实验现象,将实验结果记录在数据表格中。

## 得出结论

分析实验结果是否支持假设,并得出结论。

## 表达交流

1. 不同温度和 pH 分别对酶的活性有什么影响?
2. 做温度对酶活性的影响的实验时,为什么分别要对淀粉溶液和酶进行温度的预处理?
3. 你是否能提出其他的测定影响酶活性的因素的实验方法?

与一般化学催化剂相比,酶对周围环境更敏感,严重时甚至会失去催化作用。对大多数化学本质是蛋白质的酶来说,过高的温度和过高或过低的 pH,都会破坏酶的分子结构,使酶的催化效率明显降低甚至失活。低温也使酶的催化效率明显降低,但是酶的分子结构

没有被破坏，酶的催化作用在适宜的温度下还可以恢复。因此，在体外应用酶进行催化的过程中，应该随时注意环境温度和 pH 的变化情况，并及时调节，使酶在最适条件下发挥出最高的效率。

### 三 酶的应用

随着人们对酶的深入研究，酶已经越来越广泛地被应用于轻工、食品、医药和纺织工业等领域。例如制作面包时，酶成为改良面包品质的重要手段。在医学上，一方面，可以利用酶直接医治一些恶疾顽症，或者用酶催化生产出其他化学方法难以合成的药物，如溶菌酶现在已经是临床上应用较广的一种酶制剂。它具有抗菌、消炎等作用，并对组织无刺激、无毒性。近年来，由于微生物的抗药性增强，许多抗生素的药效逐渐下降甚至丧失，因此，发展溶菌酶等非抗生素类抗菌药物非常重要；另一方面，可以通过检测体内某种组织中特定酶催化作用的变化来诊断疾病。



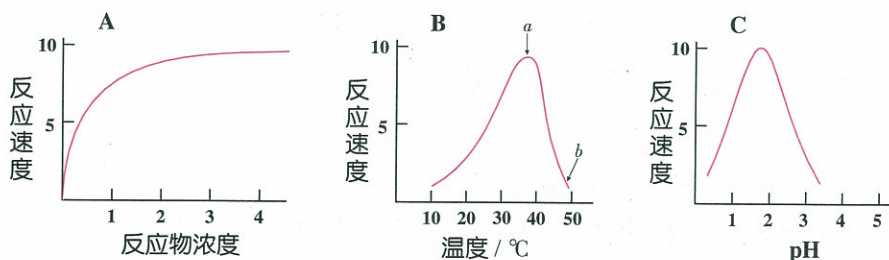
#### 思考

青霉素能抑制许多种细菌用以合成细胞壁的酶，所以具有杀菌作用。青霉素会对人的细胞产生损伤吗？青霉素对病毒与真菌类病原体有用吗？



#### 自我检测

1. 将刚采摘的甜玉米立即放入沸水中片刻，可保持其甜味，其原因是什么？
2. 嫩肉粉是以蛋白酶为主要成分的食品添加剂，就酶的作用特点而言，如何使用效果最佳？
3. 下列 A、B、C 三图依次表示酶浓度一定时，反应速度和反应物浓度、温度、pH 的关系，请据图回答下列问题：



- (1) 图 A 中，反应物达到某一浓度时，反应速度不再上升，其原因是\_\_\_\_\_。
- (2) 图 B 中，a 点所对应的温度称为\_\_\_\_\_。
- (3) 图 B 中，a 点到 b 点曲线急剧下降，其原因是\_\_\_\_\_。
- (4) 将装有人体某种酶与反应物的甲、乙两试管分别放入 12°C 和 75°C 水浴锅中，20 min 以后取出，转入 37°C 的水浴锅中保温，两支试管内反应分别为：甲\_\_\_\_\_，乙\_\_\_\_\_。
- (5) 图 C 表示了\_\_\_\_\_催化反应的速率变化曲线。  
 A. 唾液淀粉酶      B. 胃蛋白酶      C. 胰蛋白酶      D. 植物淀粉酶

## 第 2 节 细胞内外的物质交换

细胞是一个开放的系统，它以细胞膜为界膜。细胞通过细胞膜控制着物质的出入，它允许某些物质优先通过，某些物质选择性通过，同时阻止另一些物质通过，这保证了细胞按照生理功能的需要进行物质交换。那么，细胞是怎样与外界进行物质交换呢？它的选择性又是如何实现的？

### 一 细胞膜的选择透过性



#### 模拟实验

#### 模拟膜的通透性

##### 活动目标

1. 概述扩散作用的含义。
2. 说明生物膜的选择透过性。
3. 尝试模拟实验的方法。

##### 材料用具

质量分数为 15% 的硫酸铜溶液，质量分数为 30% 的蔗糖溶液，蒸馏水，红墨水；250 mL 烧杯，长颈漏斗，铁架台，玻璃纸（或鸡肠衣、鸡蛋的卵壳膜、透析膜），棉线。

##### 方法步骤

1. 取两个长颈漏斗，分别在漏斗口处封上一层玻璃纸。
2. 在 A 漏斗中注入硫酸铜溶液（图 4-2A）；B 漏斗中注入蔗糖溶液，并加入少许红墨水，使其略呈红色（图 4-2B）。

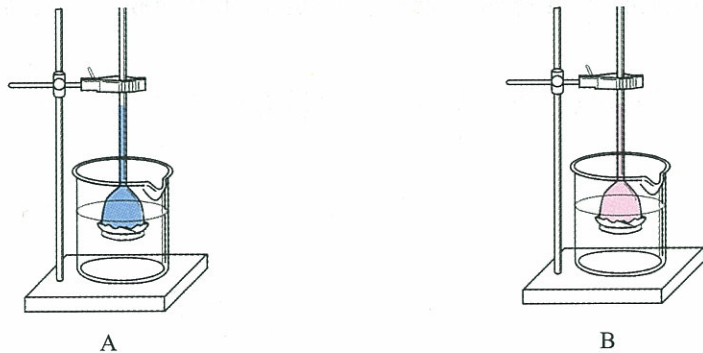


图 4-2 模拟膜的通透性实验装置

3. 将两个漏斗分别浸入盛有蒸馏水的烧杯中，在两漏斗的液面处做标记。
4. 静置一段时间后，观察烧杯中蒸馏水颜色的变化及长颈漏斗的液面变化，并将观察到的结果填入下表。

模拟膜的通透性实验记录表

实验步骤		装置 A	装置 B
实验现象	蒸馏水颜色		
	长颈漏斗液面		
结果分析			

### 总结与讨论

1. A、B 两个烧杯中的蒸馏水颜色分别发生了什么变化？为什么？
2. 如果将 B 漏斗口的玻璃纸换成塑料膜，蒸馏水的颜色又会发生怎样的变化？

实验中，A 烧杯中的液体变蓝，说明长颈漏斗中的铜离子已经通过玻璃纸进入烧杯内的蒸馏水中（图 4-3A）。像这样某物质从浓度高的地方向浓度低的地方移动的过程，叫作扩散（diffusion）。B 烧杯中的液体没有变红，说明红墨水的染料分子不能透过玻璃纸（图 4-3B）。像玻璃纸这样某些物质可以透过，另一些物质不能透过的多孔性膜，叫作半透膜(semipermeable membrane)。不同半透膜的半透性不同。B 漏斗中的液面上升，说明水可以通过玻璃纸向漏斗内扩散，这种水分子（或其他溶剂分子）通过半透膜的扩散，叫作渗透作用(osmosis)。渗透作用的产生必须具备两个条件：一是具有半透膜；二是半透膜两侧的溶液具有浓度差。

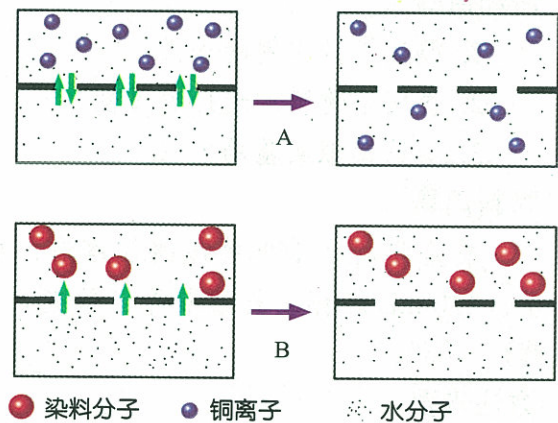


图 4-3 半透膜的半透性示意图

细胞膜具有半透膜的特点，对细胞内外的物质有选择透过性，细胞中的其他生物膜也都是选择透过性膜。

## 二 物质出入细胞的方式

科学研究发现，海带细胞内碘的浓度比周围海水中高 200 万倍，轮藻细胞中的  $K^+$  浓度比它所生存环境中的  $K^+$  浓度高 63 倍，大多数动物细胞内  $K^+$  的浓度都高于细胞外液，而  $Na^+$  的浓度却低于细胞外液。通过上面的事实可以推测，细胞必须不停地与外界交换物质，而且不同的物质进出细胞的数量和跨膜运输的方式可能是不同的。

### ● 自由扩散

用较高浓度的蔗糖溶液处理植物细胞时，细胞中的水分会向细胞外渗透。细胞失水后，原生质层（主要包括细胞膜、液泡膜和这两层膜之间的细胞质）会发生收缩，与细胞壁分离，这就是质壁分离现象（图 4-4），如果用水代替蔗糖溶液，发生质壁分离的细胞又会恢复正常。

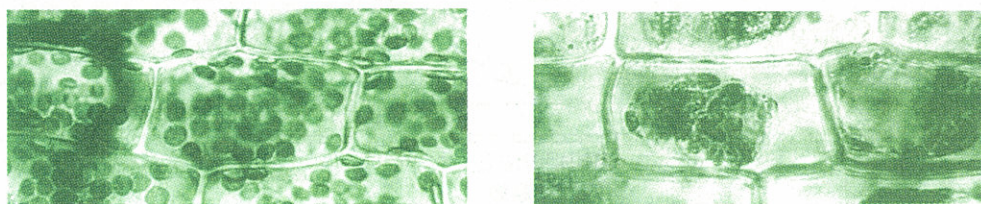


图 4-4 植物正常细胞(左)和质壁分离细胞(右)



### 探究

#### 探究细胞质壁分离和复原与外界溶液浓度的关系

##### 探究一

###### 提出问题

外界溶液达到多大浓度时，细胞会发生质壁分离？

###### 作出假设

当溶液浓度达到 \_\_\_\_\_ 时，细胞会出现质壁分离现象。

###### 设计实验

参考技能卡，分组设计实验方案，包括选择实验材料与处理溶液、设定处理溶液的浓度、制订实验操作方法等。

###### 实施实验

按照实验设计，认真进行实验，在显微镜下仔细观察不同浓度溶液处理后的细胞变化，并绘出经处理的细胞变化示意图，将实验现象填入下表。



溶液浓度 / $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$				
质壁分离程度				



### 继续探究

设计一个实验,进一步探究细胞开始发生质壁分离的准确浓度。

### 得出结论

通过实验现象分析细胞在何种浓度处理时会发生质壁分离,在何种浓度处理时不会发生质壁分离。



### 技能卡

将一定量的不同浓度梯度的蔗糖溶液分别加入不同的培养皿中,然后把剥离好的洋葱鳞片叶表皮 2~3 块浸入各个培养皿的蔗糖溶液中(图 4-5), 10 min 后,取出洋葱鳞片叶表皮,制作临时装片,进行观察。为了保证各浓度处理均达到 10 min,可将处理的开始时间错开。

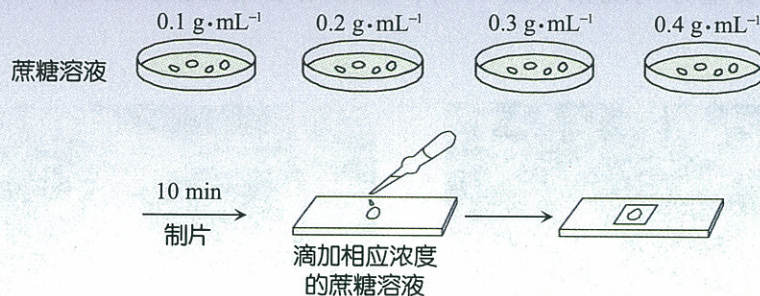


图 4-5 细胞质壁分离实验的一种处理方法

### 探究二

#### 提出问题

质壁分离后的细胞都能复原吗?

#### 作出假设

\_\_\_\_\_ 浓度处理下细胞的质壁分离可以复原, \_\_\_\_\_ 浓度处理下细胞的质壁分离不能复原。

#### 设计实验

参照技能卡,设计实验方案。

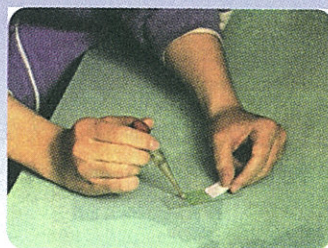
#### 实施实验

仔细观察显微镜下的细胞,将观察的结果填入下表。

溶液浓度 / $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$				
质壁分离的复原程度				



### 技能卡



在盖玻片一侧滴加蒸馏水,另一侧用吸水纸吸引。反复几次,盖玻片下的蔗糖溶液就会被蒸馏水代替。

## 得出结论

分析实验现象,得出在何种浓度处理下细胞的质壁分离能够复原。

## 表达交流

1. 细胞在什么条件下会发生质壁分离? 在什么条件下质壁分离又可以复原或不能复原?
2. 细胞发生质壁分离的原因是什么? 发生质壁分离的细胞有的能复原,有的不能复原,其原因是什么?
3. 在农业生产中,为什么会由于施肥不当而产生“烧苗”现象? 为什么干旱情况下作物会发生枯萎现象,浇水后有时会恢复正常生长,有时不能恢复正常生长?

植物细胞的液泡中充满了含有各种溶质的细胞液。细胞液和细胞外界溶液之间隔着两层选择透过性膜(液泡膜和细胞膜)和细胞质。我们可以将这些结构当作一个统一的半透膜(可称之为原生质层)。通过上面的实验可以证明,水分子可以通过渗透作用进出细胞,而蔗糖分子等其他物质则不能自由地进出细胞。水分子进出细胞时,是从单位体积内水分子数量多的一侧向水分子数量少的一侧转运,这种物质进出细胞的方式叫作自由扩散(free diffusion)。O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、甘油、乙醇、苯等小分子物质,都可以通过自由扩散的方式进出细胞。

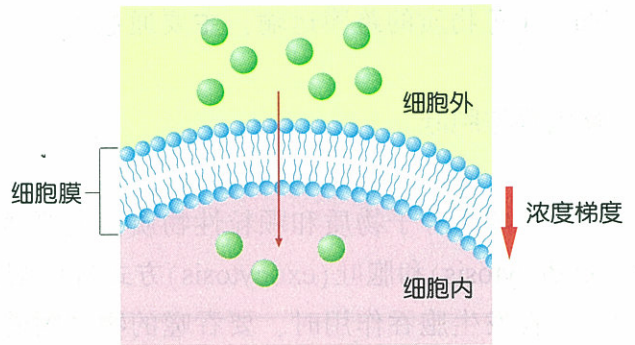


图 4-6 自由扩散示意图

## ● 协助扩散

离子和一些较大的分子如葡萄糖,不能自由地通过细胞膜,它们需要细胞膜上跨膜蛋白的协助,顺浓度梯度进出细胞,这种物质进出细胞的方式叫作协助扩散(facilitated diffusion)。跨膜蛋白包括载体蛋白与通道蛋白,载体蛋白能与特定的分子或离子结合,然后协助它们运输到膜的另一侧(图 4-7);通道蛋白在膜中形成物质运输的通道,允许特定的分子或离子通过(图 4-8)。

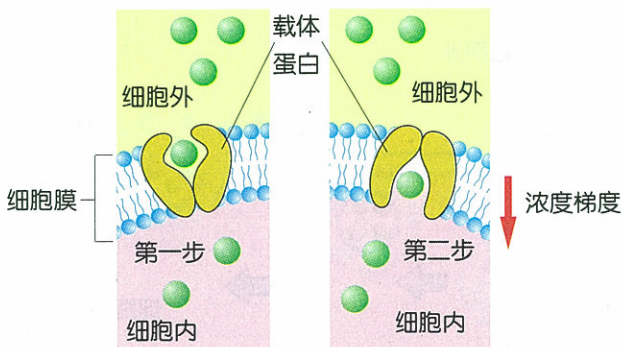


图 4-7 协助扩散(通过载体蛋白)示意图

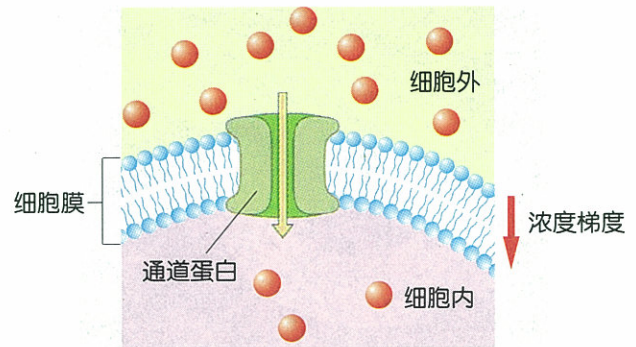


图 4-8 协助扩散(通过通道蛋白)示意图

自由扩散和协助扩散都是离子或分子由高浓度一侧向低浓度一侧的跨膜运输，不需消耗能量，又统称为被动运输 (passive transport)。

### ●主动运输

生物体内的活细胞能够按照生命活动的需要，将某些物质通过细胞膜从浓度低的一侧向浓度高的一侧运输，这个过程需要消耗能量，并且需要有载体蛋白的协助 (图 4-9)。这种物质进出细胞的方式，叫作主动运输 (active transport)。

$\text{Na}^+$ 、 $\text{I}^-$ 等物质的跨膜运输，主要通过主动运输来完成。

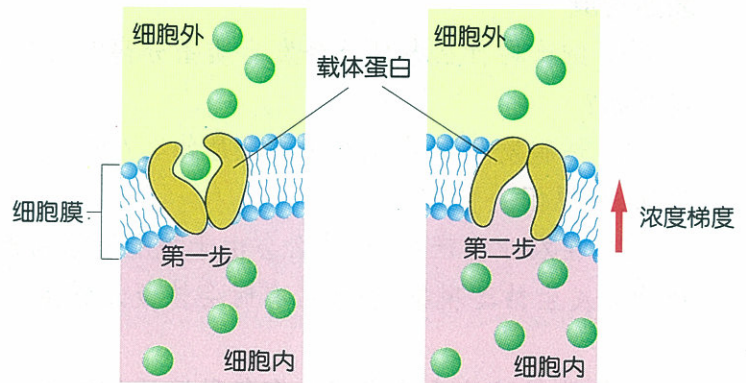


图 4-9 主动运输示意图

### ●胞吞与胞吐

某些大分子物质和颗粒性物质，主要通过胞吞 (endocytosis) 和胞吐 (exocytosis) 方式进出细胞。

在发生胞吞作用时，要吞噬的物质附着在细胞膜上，细胞膜内陷形成小泡，将生物大分子或颗粒物质包裹在其中，然后脱离细胞膜进入到细胞中 (图 4-10)。单细胞动物，如变形虫 (图 4-11)、草履虫等都可吞噬细菌或其他食物颗粒。人的白细胞，特别是巨噬细胞能吞噬细菌、细胞碎片以及衰老的红细胞。胞吐作用则是胞吞作用的反过程，要排出的物质在细胞内被一层膜所包围，形成小泡，小泡逐渐移向细胞表面，小泡膜与细胞膜融合在一起，并且向细胞外张开，将小泡内含有的物质排出细胞外 (图 4-12)。

物质通过胞吞和胞吐进出细胞时，需要消耗能量。

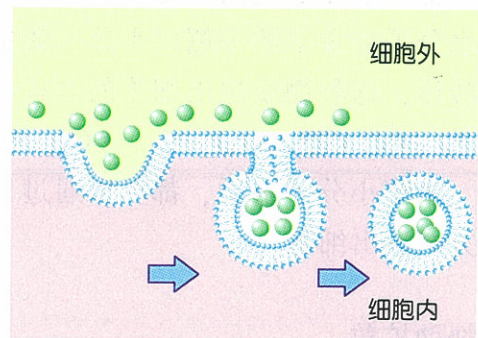


图 4-10 胞吞作用

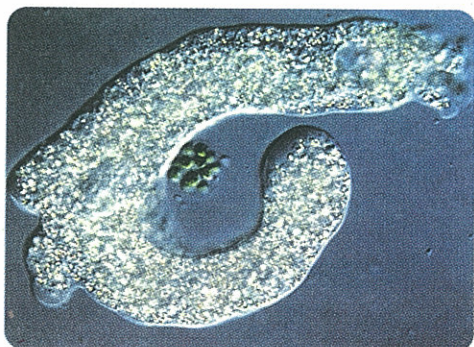


图 4-11 变形虫正在吞噬食物颗粒

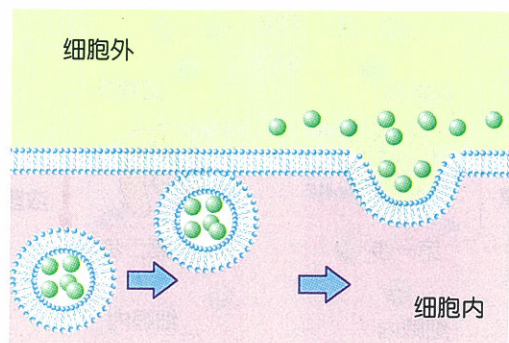


图 4-12 胞吐作用



## 自我检测

1. 右图为物质出入细胞膜的示意图,请根据图回答:

(1) A 代表 \_\_\_\_\_ 分子, B 代表 \_\_\_\_\_, C 代表 \_\_\_\_\_。

(2) 细胞膜是一层 \_\_\_\_\_ 膜。

(3) 动物细胞吸水膨胀时 B 的厚度变小。这说明 B 具有 \_\_\_\_\_。

(4) 在 a~d 的四种过程中,代表被动运输的是 \_\_\_\_\_。

(5) 可能代表氧气转运过程的是图中编号 \_\_\_\_\_。K<sup>+</sup> 从肠腔进入细胞的过程是图中编号 \_\_\_\_\_。

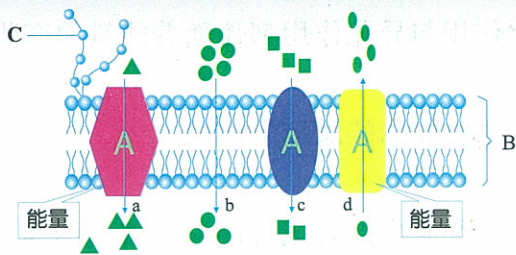
2. 某物质从低浓度向高浓度跨膜运输,该过程( )。

A. 没有载体参与

B. 为自由扩散

C. 为协助扩散

D. 为主动运输



## 第 3 节 细胞内的物质代谢

生物体每时每刻都在发生着各种各样的化学变化,新的物质在不断地合成,原有的物质在不断地分解,在机体不断地从外界获得养料的同时,也不不断地将代谢废物排出体外。生物体内发生的一切化学反应的总称叫作新陈代谢,简称代谢。代谢过程中的物质变化称为物质代谢,能量转化称为能量代谢。物质代谢和能量代谢是密不可分的,物质代谢总是伴随着能量代谢。生物体的新陈代谢主要是在细胞内进行的。那么,细胞里发生了哪些生物化学反应?这些反应又是如何有序进行的呢?

### ● 生物体内的反应

合成与分解是生物体内最基本的反应。我们已经知道,有机的大分子物质是由单体通过脱水缩合形成的,如淀粉、纤维素与糖原等多糖都是由葡萄糖脱水缩合形成的,蛋白质是由氨基酸脱水缩合形成的,核酸是由核苷酸脱水缩合形成的。同时,大分子的有机物也可以通过水解的过程将其转化为小分子的物质,多糖、蛋白质与核酸都可以水解成它们的单体——单糖、氨基酸与核苷酸。细胞内不断地进行着单体脱水缩合形成大分子物质以及大分子物质水解成单体的过程。对高等动物而言,食物中的大分子有机物消化的过程也是水解的过程,但这一过程是在细胞外的消化道中通过酶的作用进行的。

生物体内还进行着另一类反应——氧化还原反应。如细胞有氧呼吸过程中,葡萄糖可在 O<sub>2</sub> 的参与下分解成 CO<sub>2</sub> 与 H<sub>2</sub>O,这一过程不是水解反应,而是氧化分解反应。与体外的化学氧化不同,生物体内的氧化反应是指分子降解过程中释放氢的分解反应,氧不直接参与分解的过程。同样,植物细胞的叶绿体中发生的光合作用也属于氧化还原反应。

生物体将简单小分子物质合成大分子并消耗能量的过程称为同化作用或合成代谢；生物体将复杂化合物分解为简单小分子物质并放出能量的过程称为异化作用或分解代谢。同化作用与异化作用都伴随着能量的变化，这说明物质代谢与能量代谢是不可分割的。

### ● 生物体内的反应的调控

细胞内的合成代谢与分解代谢通常都是由一系列的反应组成的。在这一系列反应中，上一步反应的产物就是下一步反应的底物，每一步反应都需要不同的酶来参与。如最初的底物与酶 1 发生作用，转变成一种能被酶 2 识别的物质（图 4-13）。这样反应途径中的每一种酶都对上一步反应起催化作用。生物体中含有数千种不同种类的酶，它们催化着不同的反应步骤，而且多数酶在细胞的特定部位发生催化作用，从而使得这些反应能有条不紊地进行。

细胞中复杂的代谢过程能够有序进行还与代谢途径在细胞中的定位相关。细胞中的各类物质代谢是在细胞中不同部位完成的，如同政府的各项工作分配在不同的职能部门完成一样。如溶酶体内进行蛋白质的降解，细胞核内进行 DNA 的复制与 RNA 的合成，内质网内进行脂质、糖类的合成与蛋白质的加工等。细胞内复杂的代谢途径被有序地分布于细胞内的不同区域，互不干扰，有效协调。

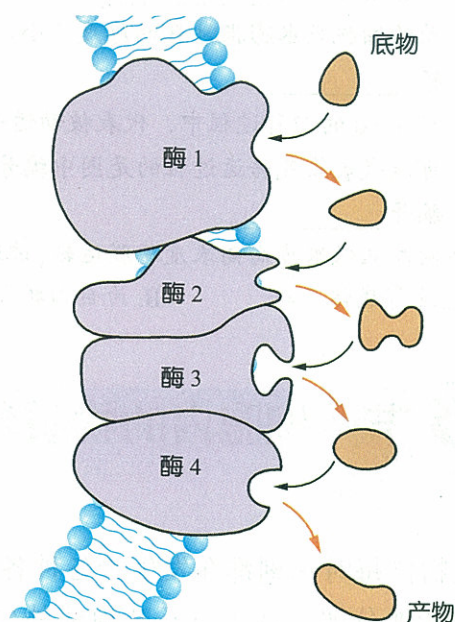


图 4-13 生物体内酶的调控示意图

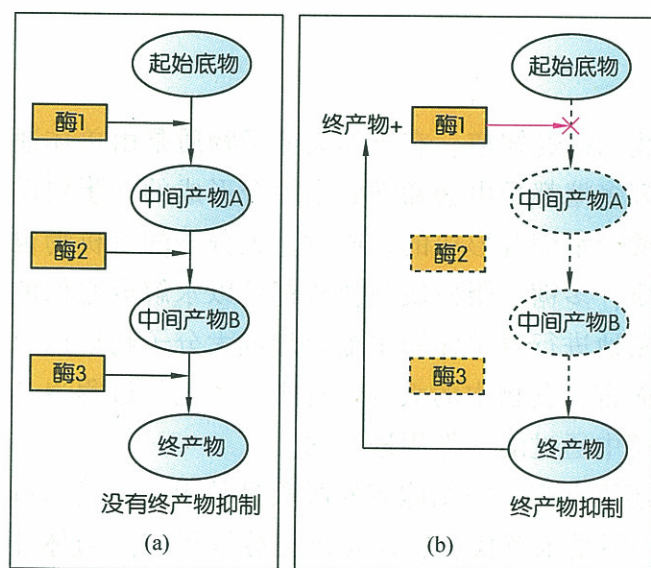


图 4-14 细胞内的反馈调节示意图

细胞中的反应不仅是有序的，而且是非常高效的。当一种物质已经充足时，就无需继续合成而浪费原材料与能量。因此，细胞适时中止某些反应途径是有利的。细胞中简单生化反应的调节常常依靠精巧的反馈机制来实现：反应的终产物与催化第一步反应的酶结合，使酶变构而失去催化活性从而抑制反应的进行（图 4-14）。



## 自我检测

1. 细胞每时每刻都在进行着种类多样的化学反应，这些反应能有条不紊地进行的原因是什么？
2. 有人说细胞内的合成与分解过程是可逆的，如葡萄糖合成淀粉与淀粉水解成葡萄糖，氨基酸合成蛋白质与蛋白质水解成氨基酸。你支持这种说法吗？说明你的理由。

## 本章小结

节次	重要概念	重要术语
第1节 生物催化剂——酶	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 酶是活细胞产生的一类具有生物催化作用的有机物。绝大多数酶是蛋白质，少数是 RNA 或 DNA。</li> <li>● 酶的催化作用具有高效性、专一性的特点，并且容易受温度、pH 等环境因素的影响。</li> </ul>	酶 生物催化剂 高效性 专一性 底物
第2节 细胞内外的物质交换	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 物质顺浓度梯度进出细胞，不需要消耗细胞代谢产生的能量，这样的扩散叫作被动运输。</li> <li>● 水、气体及脂溶性非极性物质通过简单地扩散作用进出细胞，叫作自由扩散。自由扩散不需要载体，也不需要能量。水分子通过半透膜的扩散叫作渗透。</li> <li>● 一些离子和较小的分子进出细胞需要细胞膜上转运蛋白的协助，这种物质进出细胞的方式叫作协助扩散。协助扩散不需要消耗能量。</li> <li>● 物质跨膜运输时，从低浓度一侧运输到高浓度一侧，需要载体蛋白的协助，同时还需要消耗能量，这种方式叫作主动运输。主动运输能保证细胞按照生命活动的需要，选择吸收所需的物质或排出细胞代谢产生的废物。</li> <li>● 胞吞与胞吐是大分子物质出入细胞的方式，依赖膜与膜之间的融合实现。胞吞与胞吐需要消耗能量。</li> </ul>	选择透过性 扩散 渗透作用 半透膜 自由扩散 协助扩散 主动运输 被动运输 胞吞 胞吐 载体蛋白 通道蛋白
第3节 细胞内的物质代谢	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 生物体内发生的一切化学反应的总称叫作新陈代谢，简称代谢。代谢过程中的物质变化称为物质代谢，能量转化称为能量代谢。物质代谢和能量代谢是不可分开的，物质代谢总是伴随着能量代谢。</li> <li>● 细胞中由酶催化的种类繁多的反应能有条不紊地进行，一方面是由于一系列的反应是由不同的酶来催化的，而且不同的酶往往有不同的作用部位；另一方面，不同的代谢途径被分配在不同的细胞结构中完成。</li> <li>● 细胞内反应的高效进行常常依靠精巧的反馈机制来调节。</li> </ul>	新陈代谢 合成代谢 分解代谢 同化作用 异化作用

光能

$H_2O$

$CO_2$

# 第5章 细胞的能量代谢

光反应

碳反应

$ADP + Pi$   
 $NADP^+$

$O_2$

有机物

## 主要内容

### 1. 生命活动的直接能源——ATP

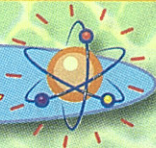
- ATP 的生理功能
- ATP 的分子简式
- ATP 的储能和放能过程

### 2. 细胞呼吸

- 细胞呼吸的方式
- 实验 酵母菌的呼吸方式
- 细胞呼吸的过程
- 细胞呼吸在生产、生活中的应用

### 3. 光合作用

- 叶绿体中的色素
- 实验 叶绿体中色素的提取和分离
- 光合作用的过程
- 光合作用与农业
- 探究 探究影响光合速率的环境因素



生命活动的能量来源，很早就是人们关注的热点问题。其中光合作用历程的研究，可称得上科学史上的经典。

17世纪中期，比利时科学家海尔蒙特(J. B. van Helmont)做了一个简单但有意义的实验。他在一个大盆里栽种了一棵小柳树，并事先称量了柳树和土壤的重量。柳树在盆中生长了好几年，在此期间，海尔蒙特仅仅给它浇水，到第5年年末，柳树重量增加了74.4 kg，但盆中土壤的质量只比5年前减少了57 g。通过这一实验，海尔蒙特证明了组成植物的物质并不只来自土壤。但他做出了错误的推断，认为植物所增加的质量大部分来自他所浇的水。

1771年8月17日，英国化学家普利斯特里(J. Priestley)意外地发现了一种方法，可使被蜡烛燃烧所损耗的空气复原。他将一根(活的)薄荷枝条放进蜡烛燃尽的空气中后，发现另一支蜡烛在同月的27日又能在这些空气里燃烧起来了。不知何故，植物看来可令空气复原！普利斯特里还发现，尽管老鼠不能在蜡烛消耗的空气中呼吸，但在被植物还原的空气中，老鼠却没有感到任何不适。关键的线索在于，活的植物“往空气里加入了某种物质”。

1779年，荷兰物理学家杨·英根豪斯(J. Ingenhousz)证明了只有在阳光存在的条件下，空气才得以复原，而且植物复原空气的部位仅限于绿叶，而不在根部。他提出，植物的绿色部分进行了一种过程，这一过程利用日光使 $\text{CO}_2$ 分解为碳和氧。他认为，氧以氧气分子的形式释放到空气中，而碳原子则和水结合成碳水化合物(即糖类)，虽然这一结论并不恰当，但在当时的历史背景下，这仍不失为一种很好的推测。

在20世纪之初，英国植物生理学家布莱克曼(F. F. Blackman)在研究光合效率与光照强度(光强)和温度的关系时发现：(1)低光强时，光合效率不受温度影响，说明在低光强下光是光合作用的限制因素；(2)在强光下，温度升高，光合作用加快，说明在高光强下，温度是光合作用的限制因素，也说明光合作用涉及酶促反应；(3)温度相同时，随着光照增强，光合作用加快，特别是在低温时，光照增强，光合作用加快，说明光合作用中存在与温度无关的反应，也就是非酶促反应。因此，布莱克曼认为光合作用中存在两个反应，一个是叶绿素对光能的吸收反应，称为光反应；另一个是受温度影响的酶促反应，称为暗反应，光合作用是光反应和暗反应共同作用的结果。

1939年，美国科学家鲁宾(S. Ruben)和卡门(M. Kamen)采用同位素标记法研究了“光合作用中释放出的氧气到底来自水，还是来自二氧化碳”这个问题，实验结果有力地证明光合作用释放的氧气来自水。

20世纪40年代，美国科学家卡尔文(M. Calvin)用小球藻做实验：用 $^{14}\text{C}$ 标记的 $\text{CO}_2$ ( $^{14}\text{CO}_2$ )供小球藻进行光合作用，然后追踪检测其放射性，最终探明了二氧化碳中的碳在光合作用中转化成有机物中碳的途径，这一途径被称为卡尔文循环。

光合作用是最重要的生命现象之一。进入21世纪，光合作用依然是生命科学研究的热点领域之一。



## 第 1 节 生命活动的直接能源——ATP

细胞内的许多有机物参与能量转化。糖类是为生命活动提供能量的主要能源物质。糖类分解释放的能量不能直接被生物体利用，那么，生命活动所需能量的直接来源是什么呢？它又是怎样为生命活动提供能量的呢？

### ● ATP 的生理功能

科学研究发现，向刚刚失去收缩功能的离体肌肉上滴加葡萄糖溶液，肌肉不收缩；向同一块肌肉上滴加三磷酸腺苷（adenosine triphosphate, ATP）溶液，肌肉很快就能发生明显的收缩。由此说明，葡萄糖虽然是能源物质，但是不能被肌肉直接利用，直接给生命活动提供能量的是另一种有机物——ATP。

ATP 就像是细胞内能量转换的“中转站”，也有人把它形象地比喻为细胞内流通的“能量货币”。在细胞能量代谢过程中，糖类、脂肪、蛋白质等有机物氧化分解释放出来的能量，除了一部分以热能的形式散失外，剩余的能量首先要转移到 ATP 中，然后再通过 ATP 的水解，将能量释放出来供给各种生命活动，如有机物的合成、肌肉收缩、细胞分泌和兴奋传导等。因此，ATP 是生物体的直接能源物质（图 5-1）。

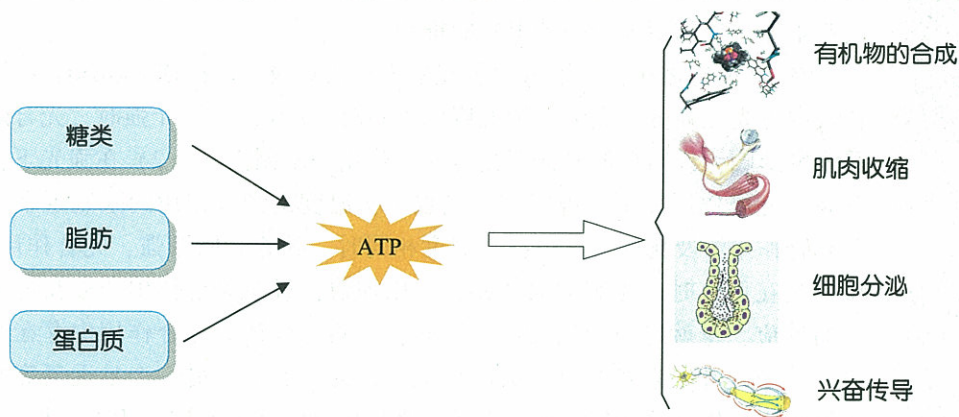


图 5-1 ATP 是生物体的直接能源物质

### ● ATP 的分子简式

ATP 是生物体的直接能源物质，这与它独特的分子结构有着密切关系（图 5-2）。从分子组成来看，ATP 是由 1 个腺苷和 3 个磷酸基团组成的化合物，腺苷由腺嘌呤和核糖组成。ATP 的结构式可以简写成  $A-P\sim P\sim P$ ，简式中的 A 代表腺苷；P 代表磷酸基； $\sim$  代表磷酸基之间的高能磷酸键。1 个 ATP 分子含有 2 个高能磷酸键。高能磷酸键是一种特殊的化学键，它所储存的能量是普通磷酸键的两倍以上。在酶的作用下，远离腺苷的那个高

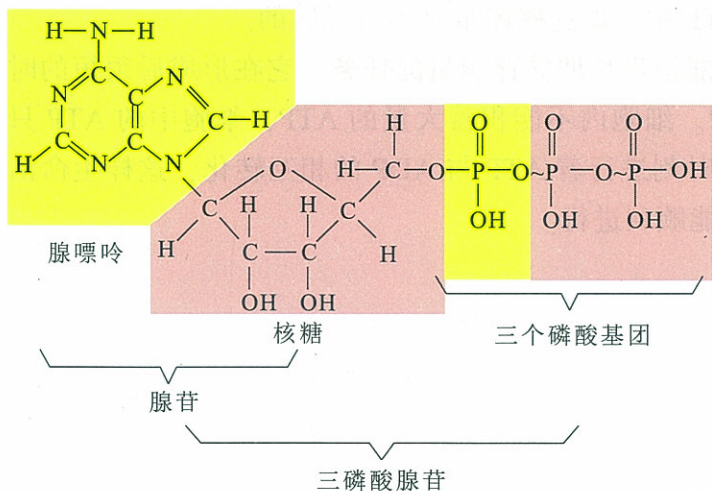


图 5-2 ATP 的结构式



### 小资料

根据分子结构中所含的磷酸基数目的不同,可将腺苷与磷酸基组成的化合物分为:一磷酸腺苷(简称 AMP)、二磷酸腺苷(简称 ADP)和三磷酸腺苷(简称 ATP)。它们的分子简式分别为: A-P, A-P~P 和 A-P~P~P。

能磷酸键很容易断裂,释放出其中储存的化学能。通常所说的 ATP 的水解,就是指高能磷酸键的断裂。

ATP 储存能量的关键在于它的三个磷酸基团。磷酸基团本身带有很高的负电荷,互相之间有很强的排斥力,这使得两个磷酸基团之间的共价键很不稳定,如同被压缩了的弹簧,弹簧受压时储存了能量,当受压弹簧放开时,能量就释放了出来。

### ● ATP 的储能和放能过程

ATP 中能量的储存和释放,主要是通过远离腺苷的那个高能磷酸键的形成和断裂,即通过 ATP 与 ADP 的相互转化来实现的(图 5-3)。

在 ATP 酶的作用下,ATP 分子中远离腺苷的那个高能磷酸键断裂,脱离下来的磷酸基形成磷酸 (Pi),同时将储存在这个高能磷酸键中的能量释放出来,三磷酸腺苷转化成二磷酸腺苷 (ADP)。在 ATP 合成酶的作用下,ADP 也很容易和磷酸 (Pi) 结合,重新形成 ATP,同时将能量储存在 ATP 中。生物体内 ADP 转化成 ATP 时所需要的能量,主要是来自线粒体内细胞呼吸分解有机物释放出来的能量。另外,绿色植物还可以通过光合作用将光能转化成化学能,储存在 ATP 中。

在 ATP 与 ADP 相互转化的过程中,ATP 水解后释放出来的磷酸 (Pi) 可以再次被利用,在一定条件下和 ADP 结合,重新形成 ATP。但是,ATP 水解释放的能量被各种生命

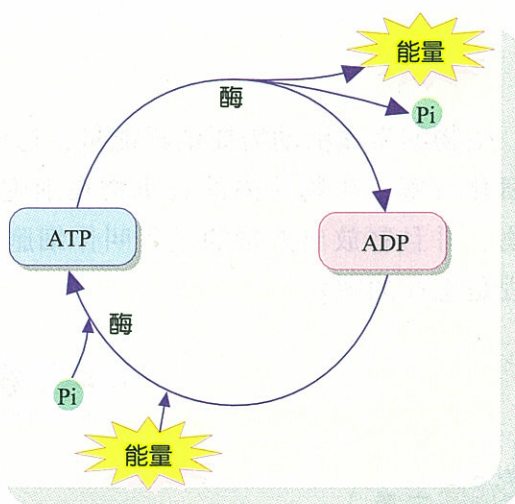


图 5-3 ATP 与 ADP 的相互转化

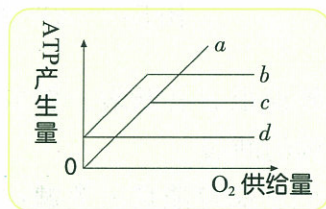
活动所消耗，不能再储存在新产生的 ATP 中，即这些能量是不可逆转的。

ATP 中高能磷酸键的不稳定使它不能担当长期储存能量的任务，它在形成后很短的时间内就要分解，释放能量，转化成 ADP。细胞内不能积蓄大量的 ATP，细胞中的 ATP 只能维持几秒的能量供应，细胞内部必须时刻进行着 ATP 与 ADP 的相互转化，这样生命活动才能及时得到能量供应，新陈代谢才能顺利进行。



### 自我检测

1. 生命活动的直接能源是( )。  
A. 糖类      B. 脂肪      C. 葡萄糖      D. ATP
2. 右图中能正确表示动物肌细胞内 ATP 产生量与  $O_2$  供给量关系的曲线是( )。  
A. *a*      B. *b*      C. *c*      D. *d*
3. 关于人体细胞内的 ATP 的描述,正确的是( )。  
A. ATP 只能在线粒体中生成  
B. ATP 中含有一定条件下很容易水解和重新形成的高能磷酸键  
C. 细胞内储存有大量的 ATP,以备生命活动需要  
D. ATP 转变为 ADP 的反应是不可逆的



## 第 2 节 细胞呼吸

生物的生命活动需要消耗能量，这些能量来自生物体内糖类、脂质、蛋白质等有机物的氧化分解。生物体内的有机物在细胞内经过一系列的氧化分解，最终生成  $CO_2$  或其他产物，并且释放出能量的过程叫作细胞呼吸 (cell respiration)。细胞呼吸有哪些类型？其过程是怎样的呢？

### 一 细胞呼吸的方式



### 实验

#### 酵母菌的呼吸方式

##### 活动目标

1. 比较酵母菌在不同条件下细胞呼吸方式的异同。
2. 尝试微生物实验的基本方法。

## 实验原理

酵母菌是兼性厌氧型生物，在有氧与无氧的条件下都能进行细胞呼吸，为生命活动提供能量。

## 材料用具

酵母；质量分数为 10% 的无菌葡萄糖溶液；无菌锥形瓶，无菌玻璃棒，无菌胶塞和棉塞，塑料膜，摇床。

## 方法步骤

1. 取两个无菌锥形瓶，分别放入市售的酵母，倒入少量质量分数为 10% 的无菌葡萄糖溶液，用无菌玻璃棒将酵母块捣碎成糊状。
2. 向锥形瓶中加入葡萄糖溶液至 50 mL。
3. 将其中一个锥形瓶用胶塞塞住瓶口后再用塑料膜密封，静置不动；另一个锥形瓶用棉塞塞住瓶口，置于摇床上振荡培养（或经常用手轻轻地振荡溶液）。
4. 每隔一段时间，观察比较两个锥形瓶中气泡产生的情况。两天后，打开胶塞和棉塞，闻一闻锥形瓶中溶液的气味（图 5-4）。



图 5-4 有氧条件(左)和无氧条件(右)下培养酵母菌

## 总结与讨论

酵母菌在有氧条件和无氧条件下，葡萄糖的分解产物有何不同？

实验证明，酵母菌在无氧条件和有氧条件下都能分解葡萄糖，但分解的产物不同。在无氧条件下，酵母菌可将葡萄糖分解成  $\text{CO}_2$  和酒精 ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )；在有氧条件下，酵母菌可将葡萄糖分解成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。因此，细胞呼吸的方式可以分为两种类型：无氧呼吸 (anaerobic respiration) 与有氧呼吸 (aerobic respiration)。

绝大多数的动物与植物都需要生活在氧气充足的环境中，细胞主要通过有氧呼吸的方式供能，这些生物叫作需氧型生物；乳酸菌、破伤风杆菌以及动物体内的一些寄生虫等只有在无氧条件下才能生活，细胞通过无氧呼吸的方式供能，这些生物叫作厌氧型生物；酵母菌等少数类型的生物既能在有氧条件下生活，也能在无氧条件下生活，这些生物叫作兼性厌氧型生物。



### 思考

细胞呼吸与呼吸是同一个生理过程吗？

## 二 细胞呼吸的过程

### ● 有氧呼吸

细胞在有氧条件下，通过酶的作用，把有机物彻底分解成  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$ ，同时释放大量

能量的过程叫作有氧呼吸。有氧呼吸是细胞呼吸的主要方式。线粒体是有氧呼吸的主要场所。一般情况下，葡萄糖是进行细胞呼吸时最常利用的物质。



### 阅读与分析

认真分析有氧呼吸过程(图5-5),总结有氧呼吸各阶段的场所、反应物、产物和释放能量的多少,并填写下面的表格。

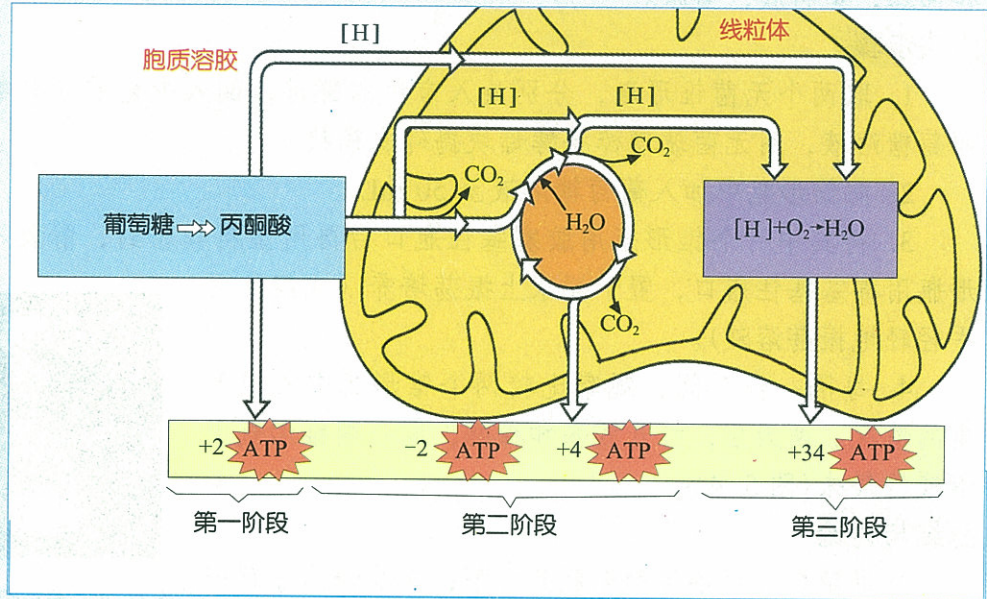


图 5-5 有氧呼吸的过程

有氧呼吸的过程	场所	反应物	产物	释放能量
第一阶段				
第二阶段				
第三阶段				

有氧呼吸的过程可以分为3个阶段,每个阶段由许多不同的酶来催化。

第一个阶段,一分子的葡萄糖分解成两分子的丙酮酸,在分解的过程中产生少量的[H],同时释放出少量能量。这个阶段在胞质溶胶中进行。

第二个阶段,丙酮酸进入线粒体后,经过一系列的脱羧反应,释放出CO<sub>2</sub>和[H],同时释放出少量能量。这个阶段在线粒体基质中进行。

第三个阶段,前两个阶段产生的[H],经过一系列复杂的反应,与O<sub>2</sub>结合形成H<sub>2</sub>O,同时释放出大量能量。这个阶段在线粒体内膜上进行。

有氧呼吸的总过程可表示为:



细胞通过有氧呼吸，葡萄糖中有 30%~40% 的能量贮存在 ATP 中，其余的能量则被转化为热能。与汽车发动机只能将汽油化学能的 15%~25% 转化为动能相比，细胞呼吸能量利用效率是比较高的。

### ● 无氧呼吸

无氧呼吸一般是指细胞在无氧条件下，通过酶的催化作用，把葡萄糖等有机物在胞质溶胶中分解成不彻底的氧化产物，同时释放少量能量的过程。对微生物而言无氧呼吸也可称为厌氧发酵 (anaerobic fermentation)。

酵母菌无氧呼吸的产物之一是酒精 (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)，因此，这种无氧呼吸又称为酒精发酵。它的过程可以用下列反应式表示：



当苹果等水果在纸箱中储存时间过长时，可以闻到很浓的酒味，这是苹果进行无氧呼吸产生酒精的结果。在水淹等情况下，某些高等植物也可以进行短时间的无氧呼吸，将葡萄糖分解成 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 和 CO<sub>2</sub>，并且释放少量能量，以适应缺氧的环境条件。

乳酸菌与酵母菌不同，其无氧呼吸的产物是乳酸 (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>)。因此，这种无氧呼吸称为乳酸发酵，其过程可以用下列反应式表示：



动物无氧呼吸的产物多为乳酸。人体在剧烈运动后，上肢和下肢的骨骼肌往往会产生酸、胀的感觉，这是因为人体在剧烈运动时，尽管呼吸运动和血液循环都大大加强了，但是仍不能满足骨骼肌对能量的需要，这时骨骼肌内就会进行无氧呼吸，产生乳酸。另外，高等植物的某些器官在进行无氧呼吸时也可以产生乳酸，如马铃薯块茎、甜菜块根等。

在无氧呼吸中，由于产物 (酒精、乳酸) 中还储存着许多能量，所以葡萄糖在无氧条件下氧化分解所释放的能量，比有氧呼吸少得多。

### ● 有氧呼吸和无氧呼吸的比较

有氧呼吸和无氧呼吸的第一阶段完全相同，只是从丙酮酸开始，才分别沿着不同的途径形成不同的产物 (图 5-6)。

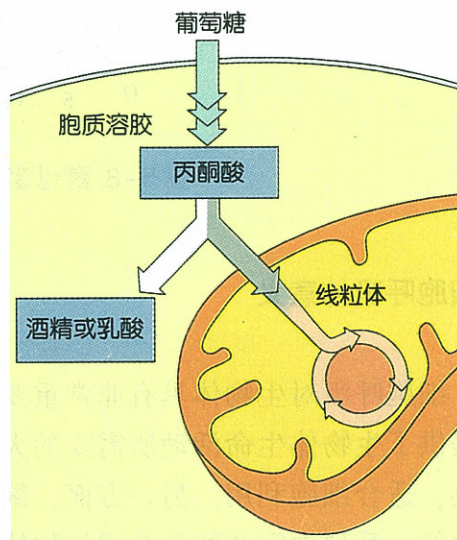


图 5-6 有氧呼吸和无氧呼吸的联系

在地球形成初期，原始的大气中没有  $O_2$ ，那时的生物主要进行无氧呼吸，所以这些生物体内缺乏与有氧呼吸有关的酶，至今只能在无氧的条件下生活，如乳酸菌。随着蓝细菌和绿色植物的出现，大气中的  $O_2$  含量增加，于是就出现了体内具有与有氧呼吸有关的酶的生物。可见，有氧呼吸是在无氧呼吸的基础上发展起来的。尽管现在的高等植物和动物的细胞呼吸方式主要是有氧呼吸，但在无氧条件下，仍保留进行无氧呼吸的能力，以适应缺氧的环境条件，这体现了生物对环境的适应性。

### ●影响细胞呼吸的外界因素

影响细胞呼吸的外界因素主要有温度、 $O_2$  以及  $CO_2$  的含量。

温度之所以能影响细胞呼吸，主要是因为它能够影响与细胞呼吸有关的酶的活性（图 5-7）。

$O_2$  是生物正常呼吸的重要因素。 $O_2$  含量的多少直接影响呼吸速率和呼吸性质。 $O_2$  对无氧呼吸有抑制作用。在一定范围内，有氧呼吸的强度随  $O_2$  浓度的升高而增大；在低氧条件下，有氧呼吸与无氧呼吸都能进行（图 5-8）。

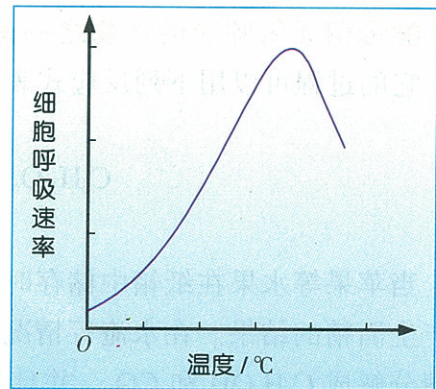


图 5-7 温度对细胞呼吸的影响

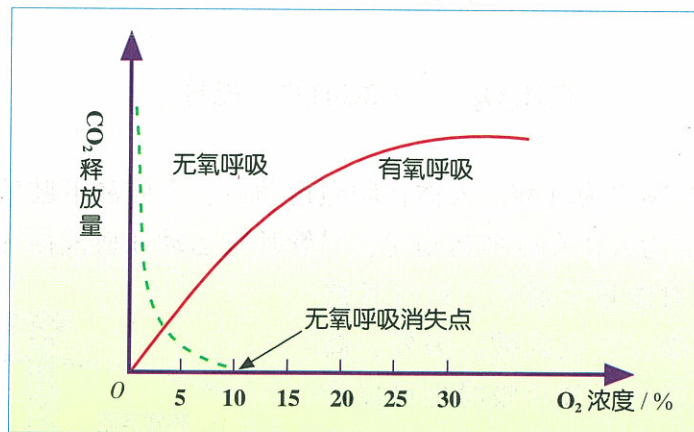


图 5-8 酵母菌的细胞呼吸与  $O_2$  浓度之间的关系

### ●细胞呼吸的意义

细胞呼吸对生物体具有重要的生理意义，主要表现在三个方面。一方面，细胞呼吸提供了生物体生命活动所需要的大部分能量。细胞呼吸释放能量的速度较慢，而且逐步释放，适合细胞利用。另一方面，细胞呼吸可以为其他化合物的合成提供原料。呼吸过程产生的一系列中间产物是合成植物体内其他各种重要化合物的原料，因此细胞呼吸在植物体内有机物转化方面起着枢纽作用，如葡萄糖分解时的中间产物丙酮酸是合成氨基酸的原

料。第三方面，通过细胞呼吸能增强植物抗病能力。植物受到病毒侵染时，该部位细胞呼吸速率急剧上升，有利于分解有毒物质；植物受伤时，也能通过旺盛的细胞呼吸，促进伤口愈合，使伤口迅速木质化或栓质化，阻止病菌的侵染。另外，细胞呼吸还可以促进杀菌物质的合成。

### 三 细胞呼吸在生产、生活中的应用

细胞呼吸是生物体的一个重要生理过程。在生产和生活中，人们可以根据要求来控制细胞呼吸。

#### ●细胞呼吸与作物栽培

在作物栽培中，许多措施都是为了保证作物的细胞呼吸正常进行。早稻浸种催芽时，用温水淋种和时常翻种，是为了控制温度和保证通气，使细胞呼吸顺利进行。由于根系的呼吸活动，特别是微生物的呼吸活动，会产生大量的  $\text{CO}_2$ ，尤其是夏秋的高温季节，土壤深层通气不良，积累  $\text{CO}_2$  浓度可达 4%~10%，甚至更高。所以适时中耕松土，有助于促进土壤空气与大气的交换，降低  $\text{CO}_2$  浓度，有利于细胞呼吸的顺利进行。另外，向黏土中掺入沙子，可以改善土壤的通气状况。

#### ●细胞呼吸与粮食贮藏

种子是有生命的有机体，它不断地进行细胞呼吸，消耗大量的有机物，同时释放热量，使粮食堆内的温度升高，促使呼吸速率的进一步增强，此时，细胞呼吸释放出更多能量，再次促进呼吸速率的增强，最后导致粮食发热霉变。因此，在种子的贮藏过程中，必须降低呼吸速率。要使粮食安全贮藏，首先要晒干种子。在贮藏期间，通过通风来达到散热、散湿等目的。如果粮食确实干燥而且无虫，可以采用密闭贮藏的方法，或者抽出粮堆（用塑料罩密封）中的空气，再充入  $\text{N}_2$ ，以抑制种子的细胞呼吸。

#### ●细胞呼吸与果蔬贮藏

果蔬贮藏可以采用降低氧浓度或降低温度的方法。苹果、梨、柑橘等果实在  $0^\circ\text{C}\sim 1^\circ\text{C}$  条件下贮藏几个月都不会腐烂变质。把番茄装箱后用塑料罩密封，抽去空气，补充  $\text{N}_2$ ，把  $\text{O}_2$  浓度调节至 3%~6%，番茄可贮藏 1 个月甚至 3 个月以上。“自体保藏法”是一种简便的果蔬贮藏方法。由于果实或蔬菜本身不断地进行细胞呼吸，产生  $\text{CO}_2$ ，在密闭环境里  $\text{CO}_2$  浓度逐渐增大，抑制细胞呼吸（但容器中  $\text{CO}_2$  浓度不能过高），可以延长贮藏时间。如果同时配以低温保存，则贮藏时间更长。这种方法现已被许多果农广泛应用。





## 自我检测

1. 运动员在进行不同项目运动时,机体供能方式不同。对两种运动项目的机体需氧量、实际摄入氧量和血液中的乳酸增加量进行测定,结果如下表。根据资料分析马拉松跑和400 m跑运动时,机体的主要供能方式分别是什么?

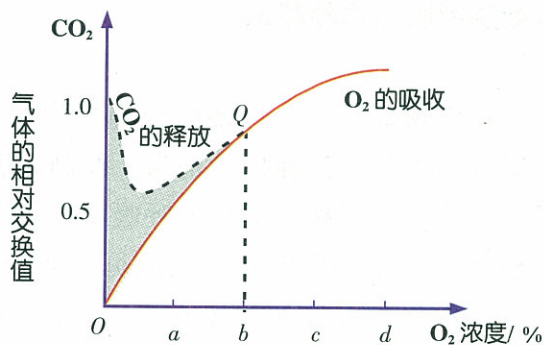
运动项目	总需氧量 / L	实际摄入氧量 / L	血液乳酸增加量
马拉松跑	600	589	略有增加
400 m 跑	16	2	显著增加

2. 右图表示某种植物的非绿色器官在不同  $O_2$  浓度下  $CO_2$  的释放量与  $O_2$  吸收量的变化,请根据图解答下面问题。

(1)  $O$  点时,该器官的细胞呼吸类型是\_\_\_\_\_。

(2) 在  $O_2$  浓度为  $b\%$  以下时(不包括  $O$  点),该器官的细胞呼吸类型是\_\_\_\_\_,因为\_\_\_\_\_,写出反应式\_\_\_\_\_。

(3) 该器官  $CO_2$  释放和  $O_2$  吸收的两条曲线在  $Q$  点重合,这说明该器官细胞呼吸类型为\_\_\_\_\_,因为\_\_\_\_\_。



## 第 3 节 光合作用

人和动物可以通过摄取其他动物和植物来获得能量,而绝大多数植物不能运动、不能以其他生物为食,它们是通过光合作用 (photosynthesis) 将光能转化为生命活动所需的化学能的。事实上,人和动物所需的能量也来自植物体的光合作用。光合作用是如何进行的?它是如何实现光能到化学能的转化?

### 一 叶绿体中的色素

高等植物的光合作用是在叶绿体中进行的,叶绿体中含有光合作用过程中吸收与转化光能的色素。

## ● 叶绿体色素的种类



实验

### 叶绿体中色素的提取和分离

#### 活动目标

1. 说出叶绿体中色素的种类。
2. 尝试提取和分离叶绿体中色素的方法。

#### 实验原理

叶绿体中的色素可溶于有机溶剂中。不同的色素在层析液中的溶解度不同，溶解度大的色素随层析液在滤纸上扩散得快；溶解度小的色素随层析液在滤纸上扩散得慢。这样，叶绿体中的色素就在扩散过程中分离开来。

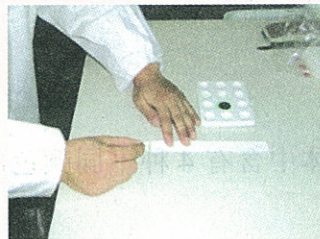
#### 材料用具

新鲜的绿色叶片(如菠菜叶片)；丙酮或无水乙醇(如果没有无水乙醇，也可用体积分数为95%的乙醇加入适量的无水 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 代替)，层析液(丙酮:石油醚:苯=20:2:1)， $\text{SiO}_2$ ， $\text{CaCO}_3$ ；干燥的定性滤纸，带胶塞的大试管(100 mL)，研钵，玻璃漏斗，毛细吸管，剪刀，小试管，药匙，量筒(10 mL)，天平，曲别针。

#### 方法步骤

1. 称取5 g新鲜的绿色叶片，剪碎，放入研钵中。
2. 在研钵中再放入少许 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{CaCO}_3$ ，充分研磨。然后加入15 mL丙酮或无水乙醇，迅速研磨，制成叶片匀浆。
3. 用滤纸过滤叶片匀浆，将汁液收集在小试管中，及时用胶塞将试管口塞紧。
4. 取1块干燥的定性滤纸，剪成长20 cm、宽1.5~2 cm的滤纸条，将滤纸条的一端剪去两角，并在距边缘2 cm处用铅笔画1条细直线。

5. 用毛细吸管吸取少量的滤液，沿铅笔线均匀地画出1条细而直的滤液细线。待滤液干后，再画第2次、第3次等。



6. 取5 mL层析液加入大试管中，将滤纸条(有滤液细线的一端朝下)悬挂在胶塞的曲别针上，轻轻地插入到层析液中。注意不要使滤液细线触及层析液。



7. 观察到4条不同颜色的色素带分离后，取出滤纸条，晾干。



注意

丙酮、层析液等是有毒药品，操作结束后要把手洗干净。

## 总结与讨论

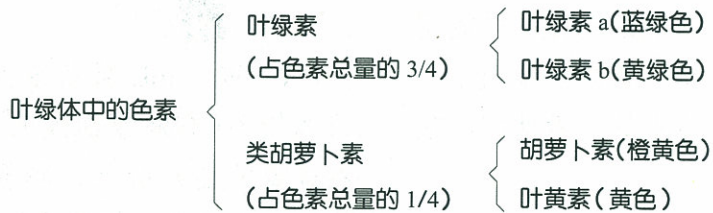
1. 滤纸条上的色素带，从上到下依次是什么颜色？
2. 滤纸上的滤液细线，为什么不能触及层析液？
3. 滤纸条上的现象说明了什么问题？



## 技能卡

关于叶绿体色素的分离有一个更为简便的方法：剪取长 20 cm，宽 1.5~2 cm 的滤纸条，将一片树叶放在滤纸一端，在离纸条边缘约 2 cm 处，用一枚硬币的边缘在叶片上用力碾过，使滤纸上留下一条狭窄的色痕，然后将滤纸放在层析液中层析。

叶绿体中含有 4 种不同颜色的色素：



我们之所以能够看到色素具有不同的颜色，是因为每种色素都能吸收一定波长的光，而对其他波长的光则吸收很少。叶绿体中的叶绿素主要吸收太阳光中的蓝紫光和红橙光，对绿光的吸收量很少，所以呈绿色。类胡萝卜素主要吸收蓝紫光（图 5-9），对橙黄光吸收量很少，所以呈橙黄色。

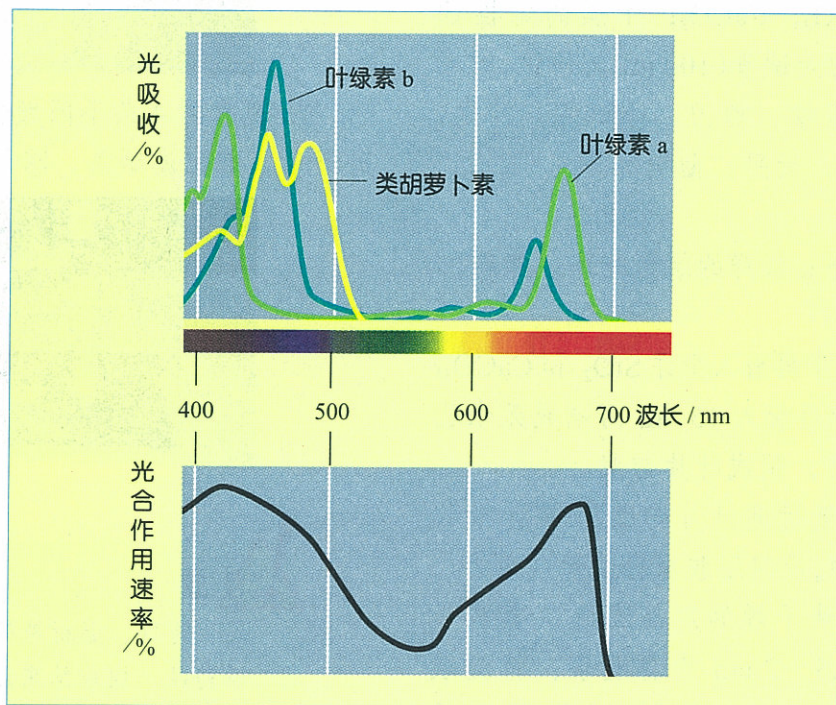


图 5-9 叶绿体色素吸收光谱和光合作用速率对比图

在大部分时间里，我们看到的叶片是绿色的，这是因为叶片中叶绿素的含量远远大于类胡萝卜素的含量，类胡萝卜素的顏色被叶绿素掩盖了。秋天，气温的下降使许多植物体内的叶绿素被降解，这时类胡萝卜素的顏色就开始呈现出来，叶片的顏色就变成了漂亮的橙黄色、黄色等。

### ● 叶绿体色素的功能

叶绿体中四种色素的功能不完全相同。绝大多数叶绿体色素的功能是吸收太阳光能，包括大多数叶绿素 a、全部的叶绿素 b、胡萝卜素和叶黄素。另外，少数特殊状态的叶绿素 a 不仅能吸收光能，还能接受其他色素传递来的光能，通过一系列复杂过程，将光能转换成电能（图 5-10）。

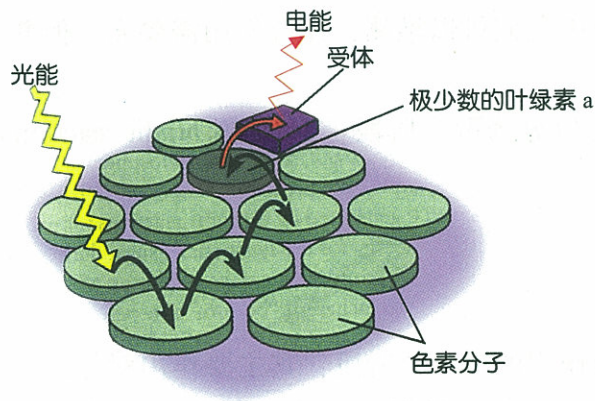


图 5-10 光能转化成电能的过程示意图

能量在色素之间的传递效率很高，类胡萝卜素所吸收的光能传给叶绿素 a 的效率可达 90%，叶绿素 b 吸收的光能传递给叶绿素 a 的效率接近 100%。这样，聚光色素就像透镜把光束集中到焦点一样，把大量的光能吸收、聚集，并迅速传递给反应中心色素，然后转换成电能。

## 二 光合作用的过程

植物进行光合作用时，在叶绿体中，利用光能，把  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  转化为有机物（主要是糖类），释放出  $\text{O}_2$ ，并把光能转化为化学能储存在有机物中（图 5-11）。



图 5-11 光合作用的总反应式[( $\text{CH}_2\text{O}$ )代表糖类]



## 阅读与分析

认真分析下面的实验，想一想，为什么会出现这样的实验结果？从中你能得出什么结论？

某科学家在同一植株上选择了两个生长状况和大小相近的叶片，在保证其他因素相同的情况下，分别给予不同的处理。给叶片 A 和叶片 B 相同时间的持续光照后，立即检测叶片 A 中的有机物含量；叶片 B 经短暂时间的黑暗处理后，再检测其中的有机物含量。检测结果显示，叶片 B 所含的有机物总量大于叶片 A 中的有机物总量。

上述实验说明，在绿色植物停止光照后的短暂时间里，合成有机物的反应并没有随着光照的停止而停止。从中我们可以推测，光合作用需要光，但并不是光合作用的任何过程都需要光。

光合作用的过程可以分为两个阶段：光反应（light reaction）阶段和碳反应（carbon-reaction）阶段。

### ● 光反应阶段

光反应阶段是光合作用的第一个阶段，其主要作用就是捕获太阳光能，并将太阳光能转化为 ATP 中的化学能。光反应阶段是在叶绿体的类囊体膜上进行的。

叶绿体色素吸收光能后，把大量光能聚集、传递给特殊状态的叶绿素 a。特殊状态的叶绿素 a 被激发失去电子，处于很不稳定的状态，有极强的夺回电子的能力。它们从周围的水分子中夺取电子，使水分解成氧和氢离子。氧直接以分子形式从气孔中逸出，进入空气；氢离子则进入叶绿体基质中。在光的照射下，特殊状态的叶绿素 a 不断地丢失电子，电子则被一系列传递电子的物质（受体）有规律地传递下去，从而形成电子流，使光能转化成电能。电子在传递过程中，一部分能量使 ADP 和 Pi 结合形成 ATP，能量被暂时储存在 ATP 中；一部分能量在氢离子与 NADP<sup>+</sup> 和电子结合形成 NADPH 的过程中，被暂时储存在 NADPH 中（图 5-12）。

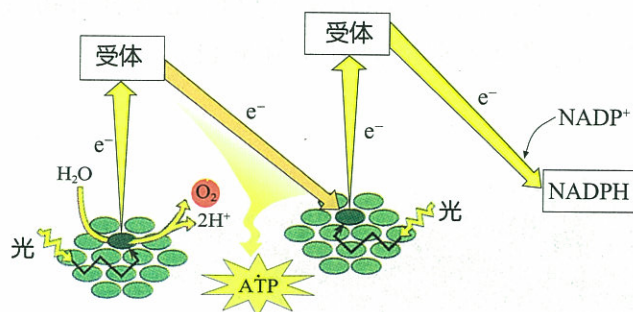


图 5-12 光反应过程示意图



### 小资料

NADP<sup>+</sup> 是烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸的英文简称，实际上是辅酶 II。它会被氢还原为 NADPH（还原型辅酶 II）。NADPH 能暂时储存能量，并且具有还原能力。

## ● 碳反应阶段

碳反应阶段是光合作用的第二个阶段。碳反应过程中的化学反应不需要光直接参加，主要是将  $\text{CO}_2$  转化成糖类，同时将 ATP 和 NADPH 中的化学能转化成储存在糖类等有机物中的化学能。这个过程在叶绿体的基质中进行。过去，这一阶段称为暗反应阶段，但现代研究表明，这种叫法并不准确。因为在黑暗环境中，碳反应只能进行极为短暂的时间，只有在有光的条件下碳反应才能持续地进行。

植物通过叶片的气孔从外界吸收来的  $\text{CO}_2$ ，首先与植物体内的一种五碳化合物（用  $\text{C}_5$  表示）结合，这个过程叫作  $\text{CO}_2$  的固定。1 个  $\text{CO}_2$  分子与 1 个五碳化合物结合以后，很快形成两个三碳化合物（用  $\text{C}_3$  表示）。三碳化合物在 ATP 和多种酶的作用下，被 NADPH 还原，经过一系列复杂的变化形成糖类。这样 ATP 和 NADPH 中的能量就转移到了糖类分子中形成稳定化学能储存起来。同时，另一部分三碳化合物经过一系列复杂的变化，重新生成五碳化合物用于固定  $\text{CO}_2$ ，从而使碳反应阶段的化学反应循环往复地进行下去（图 5-13）。

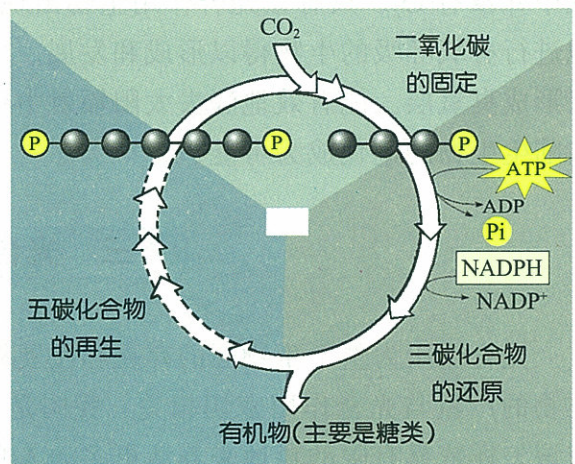


图 5-13 碳反应过程示意图

## ● 光反应与碳反应的区别与联系

光反应与碳反应是光合作用过程中两个不同阶段，它们在进行场所、所需条件以及物质和能量转变方面都有较大的差异，但是这两个阶段又是相互联系的（图 5-14）。光反应是碳反应的基础，光反应为碳反应提供了 NADPH 和 ATP；碳反应为光反应提供 ADP、 $\text{NADP}^+$  和  $\text{P}_i$ 。没有光反应，碳反应无法进行；没有碳反应，有机物无法合成。总之，光反应是碳反应的物质和能量的准备阶段；碳反应是光反应的继续，是物质和能量转化的完成阶段。所以，光反应与碳反应相互影响、相辅相成，共同构成了光合作用的全过程。

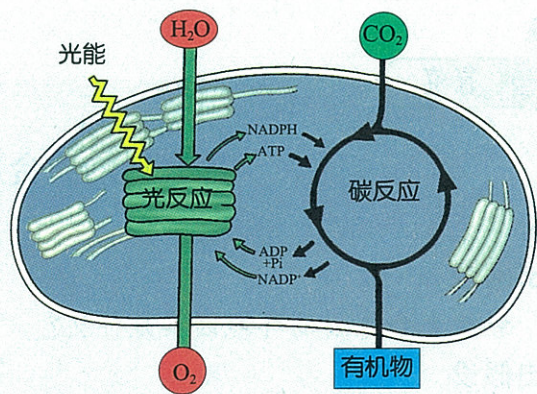


图 5-14 光反应和碳反应的联系

## ● 光合作用的意义

绿色植物通过光合作用把太阳能转变成化学能储存在复杂的有机物分子中，这种化学能就能被植物利用或被以植物为食的生物利用。因此，对于地球上几乎所有的生物来说，其生命活动所需能量的根本来源是光合作用固定的太阳能。

我们的生活、生产过程以及生物的呼吸消耗大量的  $O_2$ ，产生大量的  $CO_2$ ，正是由于光合作用消耗  $CO_2$  释放  $O_2$ ，才使大气中  $O_2$  和  $CO_2$  的含量保持相对稳定。

光合作用对于生物的进化具有重要作用。在进行光合作用的生物出现以前，地球的大气中并没有  $O_2$ 。只有在光合作用生物出现以后，大气中才逐渐含有  $O_2$ ，从而使地球上其他进行有氧呼吸的生物得以形成和发展。大气中的一部分  $O_2$  转化成臭氧 ( $O_3$ )，在大气上层形成臭氧层，能有效地滤去太阳辐射中对生物具有强烈破坏作用的紫外线，使水生生物向陆生生物的进化成为可能。

## 三 光合作用与农业

光合作用为整个生物圈的存在和发展提供了物质基础和能量基础。在农业生产上，农作物的产量与光合作用密切相关。我国是一个农业大国，在人均耕地日趋减少的情况下，应该怎样依靠有限的耕地来养活更多的人呢？也就是说应该怎样使农作物更充分地进行光合作用呢？

## ● 影响光合速率的环境因素

光合速率(photosynthetic rate)是指单位时间单位叶面积进行光合作用(如吸收了多少的  $CO_2$  或放出了多少的  $O_2$ ) 的多少。植物的光合速率会受到外界环境因素和内部因素的影响。



### 探究

## 探究影响光合速率的环境因素

### 提出问题

影响光合作用的环境因素是什么？

### 作出假设

\_\_\_\_\_ 是影响光合作用的环境因素。

### 设计实验

分组设计实验，包括选择材料、用具、实验方法和步骤等。

参考方案：探究光照强度对光合速率的影响。

(1)从蚕豆(或其他植物)上选取健壮、叶龄相似的成长叶数片,用直径1 cm的钻孔器,避开叶脉,钻取小圆片数十片,放于大注射器中注入水,排出空气后,用手指堵住注射器前端小孔,把活塞用力往后拉,即可造成减压环境而逐出叶肉组织中的空气,放开手指,水即进入组织中,如此重复多次,整个叶子圆片全部充满水分而下沉。把下沉的叶子圆片连同水倒于小烧杯中,放在黑暗处备用。

(2)取小烧杯6个,分别倒入20 mL的清水,用玻璃管向冷开水中吹气数分钟,使水中 $\text{CO}_2$ 达到饱和,再各放入圆叶片10片,把6个小烧杯分别放置在距40 W的台灯20 cm、30 cm、40 cm、50 cm、60 cm、70 cm处。

(3)记录各烧杯中每个叶子圆片上浮所需时间,计算各烧杯中叶子圆片上浮所需的平均时间或在一定时间内上浮的叶子圆片数。

### 实施实验

按照实验设计,认真进行实验,仔细观察实验过程中发生的现象,并将实验现象及时记录下来。

### 得出结论

分析实验结果是否支持假设。

### 表达交流

与其他组同学交流实验情况和结论,总结出哪些环境因素对光合作用有影响。



### 注意

在一个设计良好的实验中,除了要观察的变量以外,其余条件都应始终保持相同。

## 光照强度对光合速率的影响

不同的农作物对光照强度的要求是不同的。而同一农作物在不同的光照强度下,其光合速率也不同(图5-15)。

在一定范围内,光合速率随着光照强度的增加而加快,几乎呈正比。当光照强度达到某一点时,光合速率就不再随光照强度的增加而增加,这种现象称为光饱和现象,这时的光照强度称为光饱和点(light-saturation-point)。

随着光照强度的减弱,光合速率逐渐降低,最后达到一点,即在同一时间内有机物的形成和消耗相等,这时的光照强度称为光补偿点(light-compensation-point)。植物在光补偿点时,白天不能积累有机物,而晚间还要消耗有机物,从全天来看,植物正常生长所需的最低光照强度必须高于光补偿点。

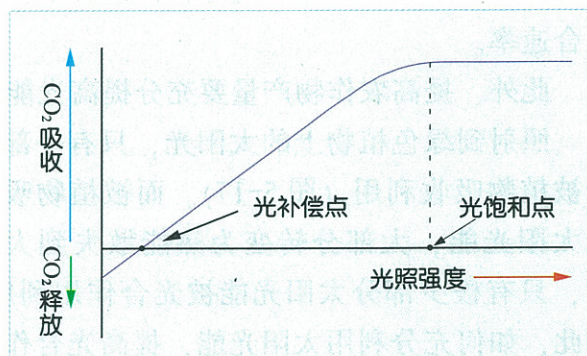


图5-15 光照强度与光合速率的关系



### CO<sub>2</sub> 浓度对光合速率的影响

CO<sub>2</sub> 是光合作用的原料之一，对光合速率有很大的影响。在一定光照强度下，随着 CO<sub>2</sub> 浓度的增加，植物的光合速率加快（图 5-16）。

### 温度对光合作用的影响

光合作用过程中的生化反应离不开酶的催化，而温度直接影响酶的活性，因此，温度对光合作用的影响也很大。光合作用的最适温度因植物种类不同而不同。一般植物可在 10℃~35℃ 条件下正常进行光合作用，其中以 25℃~30℃ 最适宜。

### 矿质元素对光合作用的影响

光合作用直接或间接地受到矿质元素的影响。氮、镁、铁等是合成叶绿素所必需的矿质元素；钾、磷等参与糖类代谢，当植物体内缺乏钾、磷时，会影响糖类的转化和运输，这样也就间接影响了光合作用；磷还参与 ATP 与 ADP 的相互转化过程和能量传递，所以磷对光合作用的影响非常明显。

除了光照强度、CO<sub>2</sub> 浓度、温度和矿质元素影响光合作用以外，水分、氧气等环境因素也能影响光合作用速率。

### ● 如何提高光合作用的效率

在农业生产上，提高农作物产量的一个重要举措就是提高光合作用的效率。使农田中保持良好的通风，增施有机肥料促进微生物的分解活动等都可以增加 CO<sub>2</sub> 浓度，从而提高光合速率。

此外，提高农作物产量要充分提高光能的利用率。

照射到绿色植物上的太阳光，只有一部分能被植物吸收利用（图 5-17）。而被植物吸收的太阳光能，大部分转变为热能散失到大气中，只有极少部分太阳光能被光合作用利用。因此，如何充分利用太阳光能，提高光合作用效率，是农业生产中的一个根本性问题。

人们在长期的生产实践中，总结出了许多行之有效的方法来提高光合作用效率，以提高作物产量。如在一年内巧妙地搭配各种作物，从时间和空间上更好地利用光能，缩短耕地的空闲时间，延长单位土地面积上作物的光合作用时间。合理密植，增加农田植物的绿色面

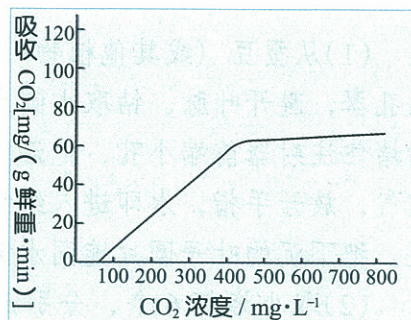


图 5-16 在一定光强下, CO<sub>2</sub> 浓度对菜豆叶片光合速率的影响

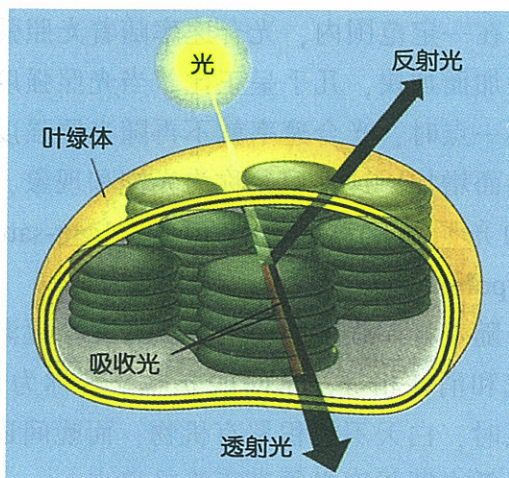


图 5-17 叶绿体只能利用光能中的一小部分

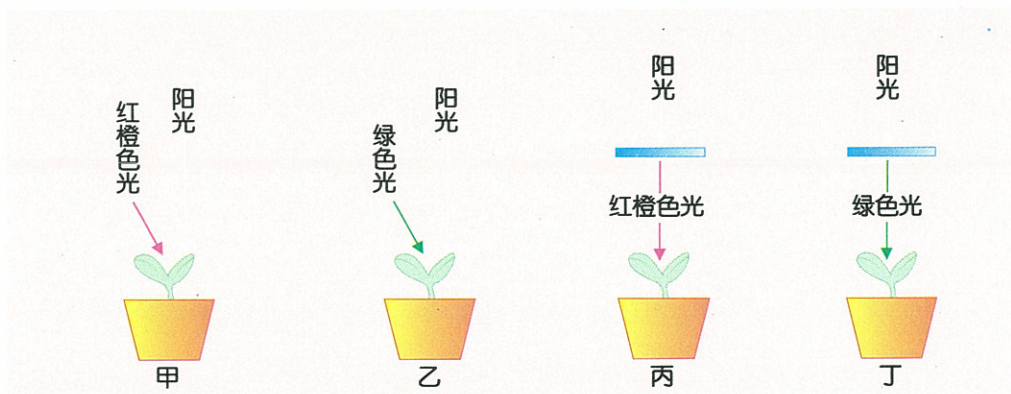
积，以及培育矮秆、叶直而小、分蘖密集的新作物品种，都能有效增加单位土地面积土植物的绿色面积（即光合面积），充分利用光能。

不同的环境因素不是单一地影响光合作用，而是相互作用的，所以在生产中，不能仅仅考虑某一个因素，必须考虑它们的综合影响。任何一个因素，如果低于最适量，都可能限制光合作用的速率；此外，影响光合作用的环境因素时时刻刻都在发生变化，在农业生产上，要根据不同地区、不同气候、不同作物的具体情况，研究它们的变化规律，有针对性地采取适当的方法来促进农作物的高产、稳产。



### 自我检测

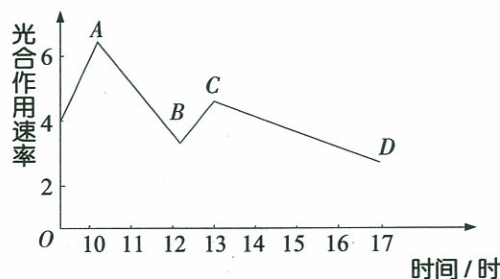
- 在光合作用过程中，能正确反映能量流动途径的是( )。
  - 光能→ATP、NADPH→葡萄糖
  - 光能→叶绿素→葡萄糖
  - 光能→五碳化合物→葡萄糖
  - 光能→CO<sub>2</sub>→葡萄糖
- 将甲、乙、丙、丁4盆长势均匀的植物置于阳光下。甲添加红橙色光照，乙添加绿色光照，丙隔红橙光滤光片，丁隔绿光滤光片(如下图)，经过一段时间后，各盆长势如何？



- 右图表示棉田内棉叶的光合作用在一天内的变化情况。请根据图中曲线的变化情况，回答下列问题。

(1)夏季中午，由于光照强烈，气温升高，使气孔关闭，\_\_\_\_\_的来源减少，叶片中五碳化合物不能形成，所以线段AB明显下降。

(2)13点至傍晚，由于光照逐渐减弱，碳反应所必需的\_\_\_\_\_供应不足，限制了CO<sub>2</sub>的\_\_\_\_\_和三碳化合物的\_\_\_\_\_，所以线段CD也明显下降。



- 在农业生产中，有哪些措施可用于提高作物周围环境中的CO<sub>2</sub>浓度？



### C<sub>3</sub>植物和C<sub>4</sub>植物

植物光合作用具有多种途径。前面学习过的CO<sub>2</sub>被固定后首先形成三碳化合物的光合途径称为C<sub>3</sub>途径。进行C<sub>3</sub>途径的植物称为C<sub>3</sub>植物，如小麦、水稻等。在少数植物体内，如玉米、甘蔗、高粱、马齿苋、芦荟等，还存在另一种特殊形式的光合作用——C<sub>4</sub>途径。在这种光合作用过程中，CO<sub>2</sub>被固定后形成一种四碳化合物，这种四碳化合物转移到另一个细胞中后，释放出CO<sub>2</sub>，释放出的CO<sub>2</sub>再进入C<sub>3</sub>途

径，形成光合产物。通过这种方式固定光能的植物称为C<sub>4</sub>植物。由此可见，C<sub>4</sub>植物的光合作用过程包括C<sub>4</sub>途径和C<sub>3</sub>途径。

C<sub>3</sub>植物容易受高温、强光的影响，以致光合作用减弱。C<sub>4</sub>植物可以在外界CO<sub>2</sub>浓度较低的情况下，通过C<sub>4</sub>途径有效积累CO<sub>2</sub>，在强光、高温、低温等逆境条件下仍能保持较强的光合作用。因此，C<sub>4</sub>植物通常产量较高。

## 本章小结

节次	重要概念	重要术语
第1节 生命活动的直接能源——ATP	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ATP是生命活动的直接能源物质，它是一种高能化合物。能量的储存和释放通过ATP中远离腺苷的高能磷酸键的水解和重新生成来实现。</li> <li>● ADP与Pi生成ATP所需的能量来源于光合作用和细胞呼吸。</li> </ul>	ATP(三磷酸腺苷) ADP 高能磷酸键
第2节 细胞呼吸	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 细胞呼吸有两种方式：有氧呼吸和无氧呼吸。</li> <li>● 细胞在有氧条件下，通过酶的作用，把有机物彻底氧化分解成H<sub>2</sub>O和CO<sub>2</sub>，同时释放大量能量的过程叫作有氧呼吸。有氧呼吸的场所是胞质溶胶与线粒体。</li> <li>● 在无氧条件下，细胞在酶的作用下，将葡萄糖等有机物氧化分解成不彻底的氧化产物，同时释放少量能量的过程叫作无氧呼吸。无氧呼吸在胞质溶胶中进行。</li> <li>● 有氧呼吸分三步释放能量，其中第三阶段释放能量最多。无氧呼吸释放的能量要比有氧呼吸少得多。有氧呼吸除第一阶段在胞质溶胶中进行外，其余过程在线粒体中进行，无氧呼吸的全过程都在胞质溶胶中进行。</li> <li>● 影响细胞呼吸的外界因素主要有温度、O<sub>2</sub>含量以及CO<sub>2</sub>的含量。</li> <li>● 温度对细胞呼吸的影响主要是影响酶的活性；O<sub>2</sub>含量会影响呼吸的类型与强度；CO<sub>2</sub>浓度升高对细胞呼吸具有一定的抑制作用。</li> <li>● 细胞呼吸与生产、生活实践密切相关。农作物的栽培管理，粮食以及果蔬的贮藏措施都与呼吸作用的原理相关。</li> </ul>	呼吸作用 有氧呼吸 无氧呼吸 酒精发酵 乳酸发酵 需氧型生物 厌氧型生物
第3节 光合作用	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 光合作用是绿色植物在叶绿体中将光能吸收并转化成化学能储存在新合成的有机物中的一种生理活动。</li> <li>● 光合作用包括光反应与碳反应两个阶段，光反应需要光，碳反应不直接需要光，但持续的碳反应必须在光下才能进行。</li> <li>● 光反应是叶绿体中的色素吸收光能，将水分子裂解，产生氧气，同时生成NADPH与ATP的过程，这一过程在叶绿体的类囊体中进行。</li> <li>● 碳反应是CO<sub>2</sub>被五碳化合物固定形成三碳化合物，三碳化合物在光反应阶段产生的NADPH、ATP的作用下被还原形成糖，并再次生成五碳化合物的过程。碳反应在叶绿体基质中进行。</li> <li>● 光反应和碳反应既有区别又有联系：两个过程进行的场所、所需条件以及物质和能量转变等各不相同，但两者又是相互联系的，光反应是碳反应的基础，没有光反应，碳反应不能持续进行。</li> <li>● 影响光合作用的因素很多，包括叶绿体、色素等内在因素和阳光、温度、CO<sub>2</sub>浓度、矿质元素等环境因素。</li> </ul>	光合作用 光反应 碳反应 光饱和点 光补偿点 光合速率

# 第 6 章 细胞的信息传递

## 主要内容

- 细胞主要利用化学物质相互传递信号
- 细胞物质代谢、能量代谢与信息传递的统一

细胞中信息的传递是细胞生命活动的重要特征之一。高等生物的内分泌系统、神经系统、免疫系统等是人们早已认识的生物信号系统。

自 20 世纪下半叶以来，受信息论、控制论等现代科学思想的影响，随着对激素、神经递质等生物体内细胞间信号分子作用机理研究的深入，以及外界环境——光、声、辐射、电磁场、温度、水分、气体甚至病原微生物等对生物体代谢、生长发育在细胞及分子水平作用机理研究的深入，人们对生物信息流的认识有了长足的进步。

20 世纪 60 年代，萨瑟兰 (E. W. Sutherland) 提出的 cAMP 第二信使学说，揭开了胞间信使向胞内信使转导过程研究的新篇章。20 世纪 70 年代， $\text{Ca}^{2+}$  受体蛋白——钙调素 (CaM) 的发现及其功能研究，使若斯马森 (Rasmussen) 在 1978 年提出了  $\text{Ca}^{2+}$  第二信使学说。20 世纪 80 年代中期，人们又阐明了另一条第二信使途径——肌醇磷脂双信使途径。在此期间，激素、神经递质、生长因子、细胞因子等信号分子受体的研究，G 蛋白的发现，蛋白质可逆磷酸化的研究及其对基因表达的调节作用等，也都取得了很大进展。“细胞信号转导”的概念应运而生。

## 一 细胞主要利用化学物质相互传递信号

人与人之间的信息交流可通过多种方式进行,如面对面交谈、打电话、写信、发电子邮件、上网聊天等。这些方式的实现依靠一些具体的信号,如声波、文字、电磁波等。外界环境与生物体之间以及细胞与细胞之间的信息交流也要通过一些具体的信号才能实现。那么,在细胞之间的通讯中起信号作用的是什么呢?这种信号又是如何被接收的呢?



### ● 胞间信号



#### 阅读与分析

仔细阅读以下两组资料,你认为起信号传递作用的物质分别是什么?

1. 一箱未成熟的苹果放上两个星期变化也不大。如果在其中放入一只成熟的苹果,整箱苹果很快就变得美味可口了。这是由于成熟的苹果能释放出乙烯,乙烯能使苹果很快成熟。

2. 当人或动物摄取糖的量有很大波动时,血液中的葡萄糖浓度仍能保持相对稳定。我们都知道这是胰岛素作用的结果。胰岛素是由胰岛细胞分泌出来的,其释放速率随血液中葡萄糖浓度的升高而加快。当胰岛素分子随血流到达肝脏或肌肉细胞时,就把信息传递给它们,“通知”它们从血液中吸收葡萄糖,以糖原的形式贮存起来,或消耗掉。随着血液中葡萄糖浓度恢复正常,胰岛细胞释放胰岛素的速率也随之减慢或暂停,以减慢葡萄糖的转移和利用,从而保持血糖浓度的稳定。

从以上两个实例可见,影响细胞代谢的信息的传递是靠释放某种激素(如乙烯或胰岛素)作为化学信号(chemical signal)来实现的。这些化学信号首先由执行某种特定功能的细胞制造或分泌出来,然后通过细胞间隙或循环系统运输到靶细胞,以某种特异的方式干预其代谢。因此,激素(hormone)分子作为信号,把代谢信息传递给了目的细胞,完成了细胞与细胞之间的通讯联络任务,从而影响代谢过程。

可以作为化学信号的物质除激素以外,还包括神经递质(neurotransmitter)、生长因子和一氧化氮等物质。这几种化学信号主要是在细胞之间起作用,因此称为胞间信号(又称第一信使)。此外,一些物理信号(如冷、热刺激)和生物信号(如病原菌侵染)也可作为胞间信号向细胞传递信息,引起细胞发生保护性应答反应,避免自身受到伤害。

## ●受体

无线电收音机、无线电视和移动电话是靠天线接收电磁波信号的，细胞信号分子是如何被靶细胞接收的？是否存在“生物天线”呢？科学家经过研究发现，细胞表面或内部确实存在类似天线的物质（如糖蛋白、脂蛋白等），用来接收胞间信号分子，这种物质被称为受体(receptor)。

受体是细胞表面或内部的一种生物大分子物质，可以识别并特异地与化学信号分子（配体）结合成复合物，从而启动一系列生物化学反应，最后导致该信号物质产生特定的生物效应。

可见细胞是通过化学物质相互传递信号来实现细胞通讯的。

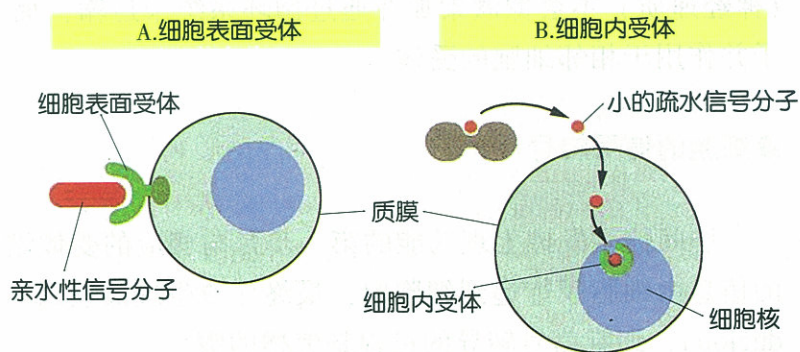


图 6-1 受体模式图

## ●细胞通讯的类型

细胞通讯的类型是多种多样的，主要的有以下几种（图 6-2）。

(1) 直接联系。有些相邻的两个细胞之间以特殊的通道连通起来，完成细胞之间的信息传递。

(2) 旁分泌信号。细胞分泌的信号分子通过细胞外液扩散，但这些信号分子只对邻近

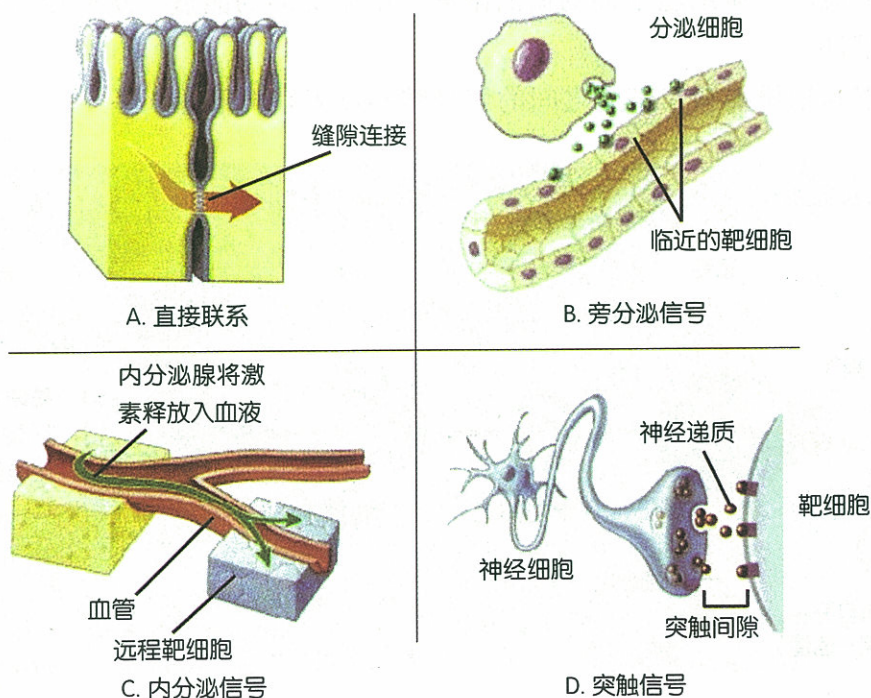


图 6-2 细胞通讯模式图



的细胞发生作用，以协调相邻细胞的生命活动。

(3) 内分泌信号。细胞分泌的信号分子如果被释放到循环系统，就会被运送到全身各处，这些信号分子可以对距离很远的细胞发挥作用。激素调节就属于这种通讯方式。

(4) 突触信号。神经系统的细胞可以与很远的细胞进行快速联系。它们的信号分子(神经递质)不会像激素那样通过循环系统来运输，而是通过神经纤维的末端释放信号分子并作用于相邻细胞的受体。

## ●细胞的信号转导

胞间信号发挥生理功能的第一步是与相应的受体结合，然后产生胞内信号，将其携带的信息由细胞膜传递到细胞内，最终导致生理效应的产生，即细胞信号转导(signal transduction)。细胞信号转导的过程是怎样的呢？

### 思考与讨论

当人们受到惊吓或突然遇到紧急情况时，血压升高，心率加快及心输出量增加，同时分泌肾上腺素进入血液，促进糖原分解。糖原分解为葡萄糖是动物运动所必需的，因为葡萄糖分解可产生肌肉收缩所需的能源物质——ATP。那么，肾上腺素促进糖原分解的信号转导过程是怎样的呢？

外界刺激引起内分泌腺分泌肾上腺素，肾上腺素随血液流动到达肝细胞或肌细胞，作为胞间信号与细胞膜上的肾上腺素受体结合，转换成胞内信号环腺苷酸(cAMP)，通过一系列反应增加血液或肌细胞中葡萄糖的浓度，产生更多的能量，从而使人们能够采取行动以应对突发事件。

不同的细胞通讯类型，细胞之间的信号转导过程有所不同。

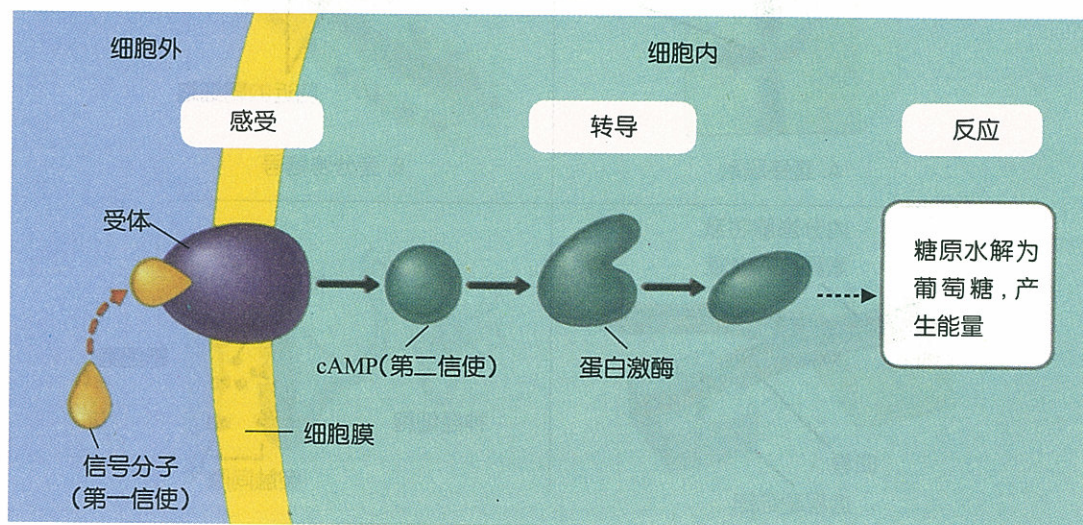


图 6-3 细胞信号转导过程模式图

## 二 细胞物质代谢、能量代谢与信息传递的统一

细胞在不停地进行着物质代谢、能量代谢和信息传递。那么物质代谢、能量代谢和信息传递之间又存在怎样的关系呢？

细胞中进行着复杂的新陈代谢过程，其中包括物质代谢、能量代谢和信息传递。我国著名的生物学家贝时璋教授曾指出“什么是生命活动？根据生物物理学的观点，无非是自然界三个量综合运动的表现，即物质、能量和信息在生命系统中无时无刻的变化，这三个量有组织、有秩序的活动是生命的基础。”

新陈代谢过程虽然复杂，但彼此之间是相互联系、相互统一的。外界环境刺激和胞间信号分子作用于细胞后，通过信号转导过程产生胞内信号，进而引起细胞物质代谢和能量代谢的变化。

物质代谢包括合成反应、分解反应等多个方面。合成反应储存能量，分解反应通常释放能量。在细胞中，能量被用于移动物质、建造复杂的分子及形成和维持细胞内的有序状态。因此，物质代谢总是伴随着能量代谢。细胞内物质代谢和能量代谢之所以能协调地进行，是由于信息传递起着调节和控制的作用。另外，物质代谢和能量代谢又为信息传递提供物质和能量的基础。



### 自我检测

1. 胞间信号主要包括哪几大类？
2. 受体的功能是什么？
3. 简述信号转导的主要过程。

### 本章小结

节次	重要概念	重要术语
	<ul style="list-style-type: none"><li>● 细胞间的信息是通过化学信号来传递的，传递特定信号的物质叫作信号，接收信号的结构叫作受体。</li><li>● 细胞通讯的类型有多种，如直接接触、旁分泌信号、内分泌信号以及突触信号等。</li><li>● 胞间信号发挥生理功能的第一步是与靶细胞表面或内部的相应特异性受体结合，然后转导形成胞内信号，靶细胞进一步根据这些胞内信号的指导进行相关的生命活动，最终导致生理效应的产生。</li><li>● 生物体内的新陈代谢过程是物质代谢、能量代谢和信息传递的协调统一。</li></ul>	细胞通讯 化学信号 信号分子 受体 信号转导



# 第7章 细胞的增殖

## 主要内容

### 1. 体细胞的分裂

- 细胞不能无限长大
- 有丝分裂
- 实验 观察植物细胞的有丝分裂
- 探究 探究影响细胞有丝分裂的外界条件(选做)
- 无丝分裂

### 2. 细胞的癌变

- 癌细胞的特征
- 细胞癌变的诱因
- 细胞癌变的机制
- 癌症的防治



生物体内的细胞每时每刻都在进行着复杂的物质代谢、能量代谢和信息的传递，在此基础上，细胞还需要通过增殖繁衍后代。真核细胞增殖的基本形式是有丝分裂。

人类认识有丝分裂已有 100 多年的历史。早在 1841 年，柏林大学的波兰科学家里麦克 (R. Remak) 就曾报道了细胞分裂现象。1882 年，弗莱明 (W. Flemming) 在显微镜下观察分裂期细胞时，看到染色体发生了非常有规律的变化，并将这个过程命名为有丝分裂。不过，由于受观察手段的限制，当时人们还不可能了解到有丝分裂间期中发生的生化事件。

直到 1953 年，霍华德 (A. Howard) 和帕勒斯 (S. R. Pelc) 才发现蚕豆根尖细胞分裂中，遗传物质 DNA 的复制发生于间期中的一个时期，这一时期与分裂期在时间上存在前后两个间隙。由此，他们第一次明确地提出了细胞周期的概念。细胞周期概念的提出是 20 世纪细胞生物学的一个划时代成就。对细胞周期调控的研究始于 20 世纪 70 年代。早期的研究集中在细胞周期的特性上，主要发现了细胞周期的有序性，并提出了“细胞周期检验点”的概念。

哈特韦尔 (L. Hartwell) 和纳斯 (P. Nurse) 分别以芽殖酵母和裂殖酵母为实验材料，发现了周期蛋白依赖性蛋白激酶基因。亨特 (T. Hunt) 从海胆中发现了周期蛋白依赖性蛋白激酶的“伴侣”——周期蛋白。周期蛋白与周期蛋白依赖性蛋白激酶形成复合物，参与对细胞周期的调控。他们的研究成果构筑了细胞周期调控机制的框架，并迅速推动了细胞周期、肿瘤发生与抑制机制等方面的研究。这 3 位科学家由于发现了细胞周期的关键调控因子——周期蛋白依赖性蛋白激酶和周期蛋白而共同获得了 2001 年度诺贝尔生理学或医学奖。

# 第 1 节 体细胞的分裂

多细胞生物体的生长，既靠细胞生长（即细胞体积的增大），还要靠细胞分裂来增加细胞的数量。细胞数目增多是细胞分裂的结果。细胞为什么要分裂？细胞是怎样分裂的？

## 一 细胞不能无限长大

自然界的生物大小差异很大，比如蓝鲸、大象的体积很大，而细菌、原生生物等则往往需要借助显微镜才能看到。那么组成它们的细胞的大小是否有差异呢？

表 7-1 几种不同类型细胞的直径

细胞类型	直径 / $\mu\text{m}$
支原体细胞	0.1~0.3
细菌细胞	1~2
动植物细胞	20~30
人的红细胞	7

通过上表可以看出，不同的细胞尽管在大小上有一定差异，但它们的体积都比较小，一般都需要在显微镜下才能看得到。细胞为什么这么小呢？

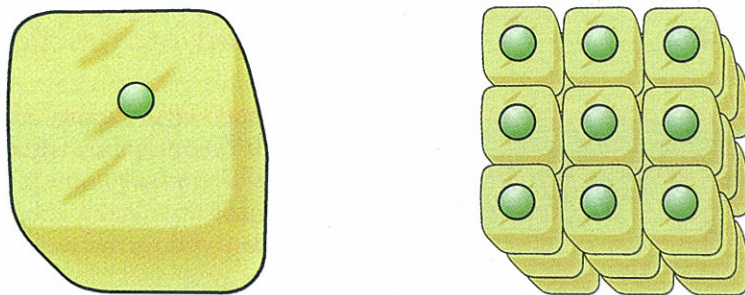


图 7-1 大细胞与小细胞的相对表面积示意图

观察图 7-1，相同体积的 1 个大细胞的表面积和 27 个小细胞的表面积之和相同吗？很显然，27 个小细胞的表面积之和是 1 个大细胞表面积的 3 倍，也就是说 27 个小细胞具有更大的膜面积进行物质交换。细胞体积越小，相对表面积（表面积与体积的比）就越大；细胞体积越大，相对表面积就越小，细胞的物质运输的效率就越低。

随着细胞体积的增大，代谢所需的物质输入及代谢废物的输出就需要相应大的细胞表面积来完成。而细胞体积大到一定程度时，其相对表面积变小，没有足够的表面积完成营养物质和废物的运输，细胞的生命活动就会受到影响。细胞表面积与体积的关系限制了细胞的长大。其次，细胞中的调控中心是细胞核，如果细胞体积很大，细胞核就难以实现对细胞的有效控制。因此，细胞体积的大小对细胞的代谢与调控有着巨大的影响，细胞会在长到一定的体积时进行分裂，以维持其正常的功能。

单细胞生物体通过细胞增殖而繁衍。多细胞生物从受精卵开始，要经过细胞的增殖和分化逐渐发育成为成体。在生物体内，不断地有细胞衰老死亡，需要通过细胞增殖加以补充。因此，细胞增殖是细胞重要的生命活动，是生物体生长、发育、繁殖和遗传的基础。

真核细胞的分裂方式有三种：有丝分裂、无丝分裂和减数分裂。其中减数分裂是形成生殖细胞的分裂方式。



### 思考

既然细胞越小，细胞的相对表面积越大，细胞的物质交换与运输效率就越高，那么细胞的体积是不是越小越好呢？

## 二 有丝分裂

有丝分裂 (mitosis) 是动植物体细胞增殖的主要方式。动植物的许多组织细胞都进行有丝分裂，特别是动物胚胎发育时期的细胞、高等植物的根尖和茎尖分生组织细胞等，它们的有丝分裂都非常旺盛。

### ●有丝分裂中的 DNA 与染色体

人们通过观察发现，一个细胞通过有丝分裂会产生两个子细胞。子细胞与亲代细胞的大小和形态是相同的。从而推测亲代细胞与子细胞中的遗传物质——DNA 是相同的，这样才能保证遗传的稳定性。那么有丝分裂是如何实现亲代细胞与子细胞中遗传物质的恒定呢？

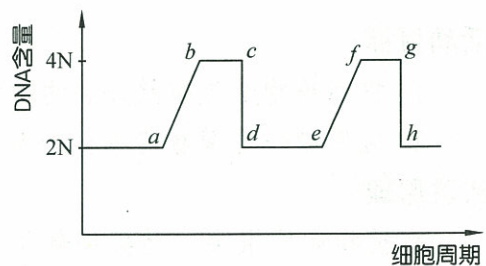


图 7-2 细胞有丝分裂过程中的 DNA 含量变化

科学家用分光光度计精确测定了有丝分裂过程中细胞核内 DNA 的含量，发现在连续进行有丝分裂的细胞中 DNA 的含量呈现周期性的变化，总是先增倍再减半，如此循环 (图 7-2)。每次分裂，DNA 都是先复制再平均分配到两个子细胞中去。DNA 分子的直径只有 2 nm，呈细丝状，如何保证在有丝分裂过程中均等分配呢？这与 DNA 在细胞核中的存在形式有关。染色体是 DNA 的载体。生物学家观察到有丝分裂过程中染色体会经历一系列的形态

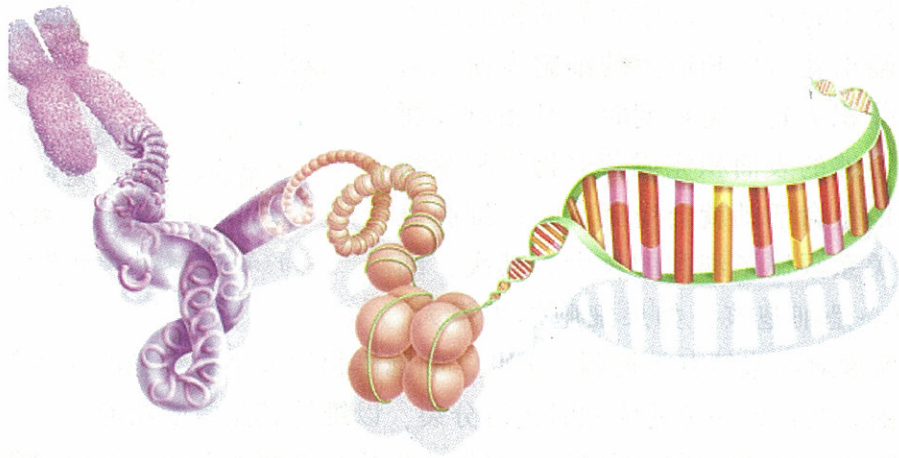


图 7-3 DNA 分子结构模式图

变化，大部分时间呈细丝状的染色质，而在细胞分裂之前染色质会高度螺旋化，变短变粗形成染色体，每条染色体包含两条姐妹染色单体，两条姐妹染色单体由一个着丝粒相连。细胞一分为二后，染色体在子细胞中又恢复成松散的细丝状(图 7-3)。

携带 DNA 的染色体分配到两个子细胞中的动力机制是什么呢？科学家观察到一个由微管组成的梭形结构——纺锤体 (spindle)在有丝分裂过程中有规律地出现和消失。在动物细胞中，随着两对中心粒分别移动到细胞的两极，纺锤体在中心粒之间形成。在植物细胞中纺锤体的形成则不需要中心粒。纺锤体对有丝分裂时染色单体的分离起着关键作用。

## ● 有丝分裂的过程



实验

### 观察植物细胞的有丝分裂

#### 活动目标

1. 描述植物细胞有丝分裂的过程，识别有丝分裂的不同时期。
2. 应用制作洋葱根尖有丝分裂装片的技术。

#### 实验原理

在植物体的根尖、茎尖等部位的分生组织细胞有丝分裂旺盛。通过碱性染料对细胞核中的染色体进行染色，就可以用高倍镜观察植物细胞有丝分裂的过程。

#### 材料用具

洋葱（可以用葱、蒜代替）；体积分数为 15%的盐酸，体积分数为 95%的酒精，质量分数为 1%的龙胆紫溶液（或醋酸洋红溶液）；显微镜，载玻片，盖玻片，培养皿 3 个，剪刀，刀片，镊子，滴管，广口瓶（或烧杯、水杯）。



## 方法步骤

### 1. 洋葱根尖的培养

在实验之前的3~4 d, 取一个洋葱, 放在装满清水的广口瓶上, 让洋葱的底部接触水面, 置于温暖的地方培养。注意经常换水。待根长到2 cm左右时, 就可取根尖进行观察(通常应在10:00~14:00分裂旺盛期取材)。

### 2. 装片的制作

**解离** 用刀片切取洋葱根尖2~3 mm, 放入培养皿中, 加入少许盐酸和酒精的混合液(体积分数为15%的盐酸和95%的酒精按1:1混合), 解离5 min左右。

**漂洗** 待根尖酥软后, 取出根尖并放入盛有清水的培养皿中漂洗10 min。

**染色** 接着把根尖放进盛有质量分数为1%的龙胆紫溶液的培养皿中, 染色3~5 min。

**制片** 用镊子取出根尖, 放在载玻片上, 加一滴清水, 用镊子尖把根尖捣碎, 盖上盖玻片。在盖玻片上再加一个载玻片, 用手指轻轻压载玻片(不要碾动), 以便使细胞分散开, 易于观察。

### 3. 洋葱根尖细胞有丝分裂的观察

参照图7-4在显微镜下寻找有丝分裂各个时期典型的细胞。注意观察各个时期细胞内染色体变化的特点。

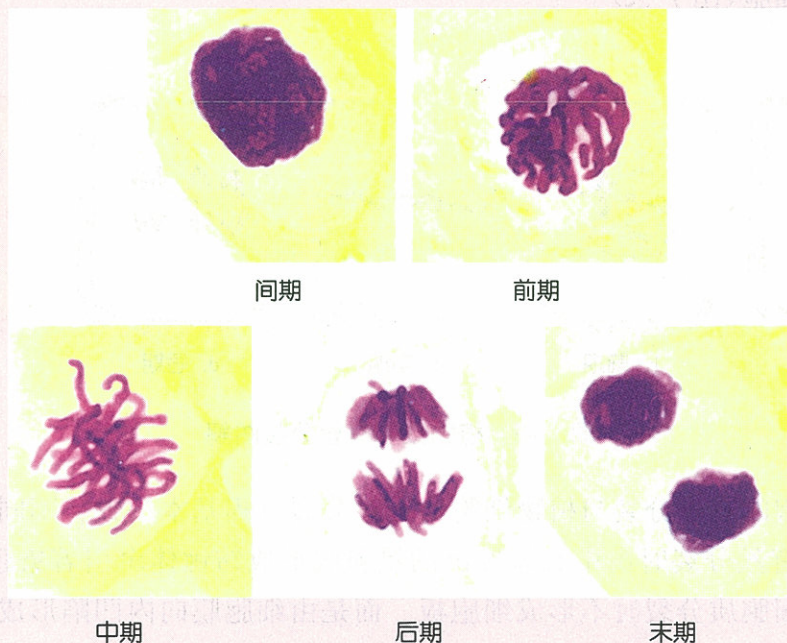


图7-4 洋葱根尖细胞有丝分裂的各个时期

## 总结与讨论

1. 绘出洋葱根尖细胞有丝分裂各个时期的简图。
2. 总结细胞有丝分裂各个时期的主要特点。
3. 你认为制好洋葱根尖细胞有丝分裂装片应注意什么?



有丝分裂是一个连续发生的动态过程，但为了描述方便，根据染色体的变化，科学家把它分为间期和分裂期，其中分裂期又分为前期、中期、后期和末期。高等植物细胞有丝分裂各期的形态特征如下。

**间期** 光学显微镜下看不到细胞有明显的变化。但有丝分裂的准备工作，例如 DNA 的复制、蛋白质合成、能量准备等都是在间期进行的(图 7-5 a)。

**前期** 细胞分裂前期，细胞内部发生了明显的变化。丝状的染色质高度螺旋化、缩短变粗，形成棒状的染色体，每条染色体包含两条姐妹染色单体，两条姐妹染色单体由一个着丝粒相连，同时从两极发出许多由微管组成的纺锤丝。核仁逐渐解体，核被膜消失(图7-5b)。

**中期** 纺锤丝与着丝粒相连形成纺锤体，此时，着丝粒排列在细胞的赤道板(细胞中央的平面)上。染色体形态数目清晰可见，容易观察(图 7-5 c)。

**后期** 染色体的着丝粒一分为二，每条染色体的两条姐妹染色单体分开，由纺锤丝牵引逐渐向两极移动，这样，原来的染色体被平均分成两组，每组染色体与分裂前的亲代细胞中的染色体完全相同(图 7-5 d)。

**末期** 两组染色体分别到达两极，纺锤丝逐渐消失，染色体又解开螺旋变成细丝状染色质，核被膜、核仁重新出现，形成两个新的细胞核。赤道板的位置出现了细胞板，细胞板由细胞的中央向四周扩展，逐渐形成新的细胞壁和细胞膜，把细胞质完全分隔开，最后形成两个新的子细胞(图 7-5e)。

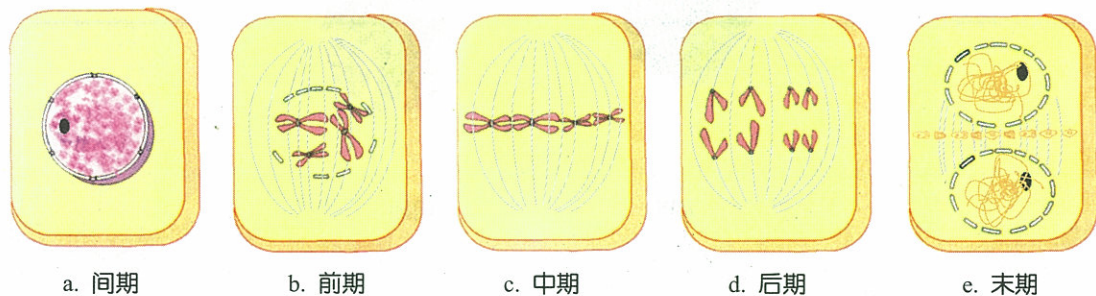


图 7-5 植物细胞有丝分裂图解

高等动物细胞的有丝分裂与植物细胞的有丝分裂过程基本一致，不同的是：高等动物细胞有中心体，有丝分裂时由中心体发出的星射线形成纺锤体牵引着染色体向两极移动；高等动物细胞的细胞质分裂时不形成细胞板，而是由细胞膜向内凹陷形成环沟，最终断裂为两个子细胞(图 7-6)。

在有丝分裂间期，细胞中的遗传物质经复制加倍；在分裂期，遗传物质通过一系列复杂的过程被平均分配到两个子细胞中。通过有丝分裂，每个子细胞都获得了与亲代细胞相同的一份染色体，具有相同的遗传信息，以保证性状的稳定。

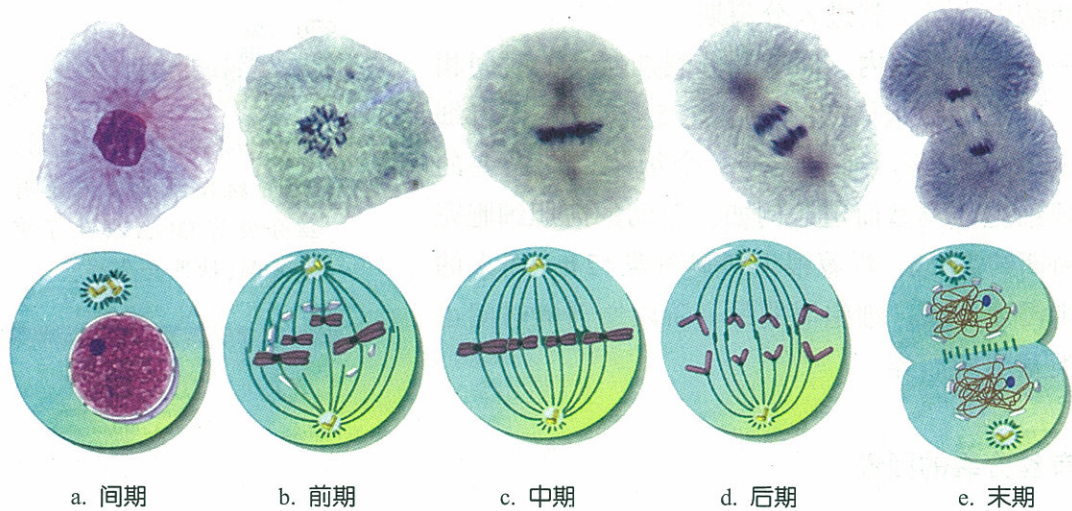


图 7-6 动物细胞有丝分裂图解

### ● 细胞周期

细胞的有丝分裂具有周期性（图 7-7）。1 个细胞经过有丝分裂形成 2 个子细胞，子细胞进一步分裂形成下一代细胞。细胞分裂过程不断重复，周而复始。连续分裂的细胞从一次有丝分裂完成开始到下一次有丝分裂完成为止所经历的整个过程叫作细胞周期 (cell cycle)。细胞在分裂前，必须进行一定的物质准备。每个细胞周期由物质准备和细胞分裂组成一个连续的过程，可以划分为两大阶段：间期 (interphase) 和分裂期 (mitotic phase)。

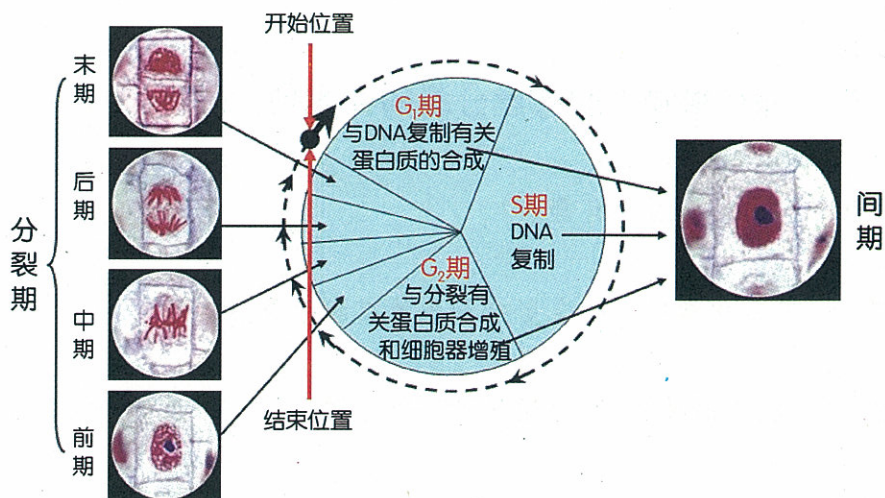


图 7-7 细胞周期示意图

从细胞从一次分裂结束之后到下一次分裂之前，是间期。间期为分裂期进行活跃的物质准备，完成 DNA 分子的复制和有关蛋白质的合成，同时细胞有适度的生长。根据 DNA 的复制时间，间期又可以划分为三个时期，即 DNA 合成前期 ( $G_1$  期)、DNA 合成期 (S 期) 和 DNA 合成后期 ( $G_2$  期)。

间期结束之后,就进入分裂期。

在一个细胞周期内,间期和分裂期所占的时间相差较大,间期占细胞周期的90%~95%,分裂期占细胞周期的5%~10%。细胞经过一个细胞周期需要的时间要视细胞的类型而定。例如,年幼的海胆细胞完成一个周期约需2h,洋葱根尖细胞约需12h,而人的肝细胞则需要22h。细胞周期每一阶段所需的时间也因细胞类型不同而异。



思考

如果细胞没有复制,DNA就发生分裂或是有丝分裂前DNA发生了重复复制,结果会怎样?

## ●影响有丝分裂的因素

寒冷的环境中植物生长缓慢,表明温度影响细胞的分裂和生长。除温度以外,还有哪些因素影响细胞的有丝分裂呢?

有丝分裂过程容易受到各种环境因素的影响。细胞的营养状况、环境温度、湿度等都会影响细胞的分裂;一些化学药品也会对有丝分裂的进程产生不可逆的作用。

纺锤体是有丝分裂过程的重要结构。纺锤体是由微管构成的,因此所有影响微管组装的药物和物理因素都会影响细胞的有丝分裂。如用紫外线或激光照射可打断纺锤丝,用秋水仙素等化学药剂处理活细胞,能抑制微管的聚合,使细胞有丝分裂停止在中期。



探究

### 探究影响细胞有丝分裂的外界条件(选做)

#### 提出问题

影响有丝分裂的外界因素有哪些?

#### 作出假设

温度、射线、某些化学药剂等会影响细胞的有丝分裂。

#### 设计实验

根据你的假设,参照技能卡,分组设计实验方案。



技能卡

常温下(25℃左右)培养洋葱2~3d,待根长到2~3cm时,转到处理条件下培养1~2h,然后再放回正常条件下培养2h,立即取材制片并观察。

### 实施实验

按照实验设计方案,认真进行实验,在显微镜下仔细观察细胞在不同处理下的有丝分裂情况,将实验现象填入下表。



**注意**  
用紫外线处理实验材料时,应注意皮肤和眼的防护。

	对照	处理	处理	处理
有丝分裂现象				
处于分裂期细胞的总数目				
哪一分裂期细胞数目较多				

### 得出结论

根据实验现象分析温度、射线和某些化学药剂对洋葱根尖细胞有丝分裂有什么影响。

### 表达交流

不同处理的实验组之间交流实验结果,并讨论不同的外界条件影响有丝分裂的机理是什么。

## 三 无丝分裂

无丝分裂 (amitosis) 是最早发现的一种细胞分裂方式,早在 1841 年,人们就在鸡胚的血细胞中看到了无丝分裂。进行无丝分裂时,核仁先分裂,接着细胞核拉长,核仁向核两端移动,然后核的中部变细断裂,细胞质也从中部缢缩,分成两部分。于是,1 个细胞分为 2 个细胞 (图 7-8)。

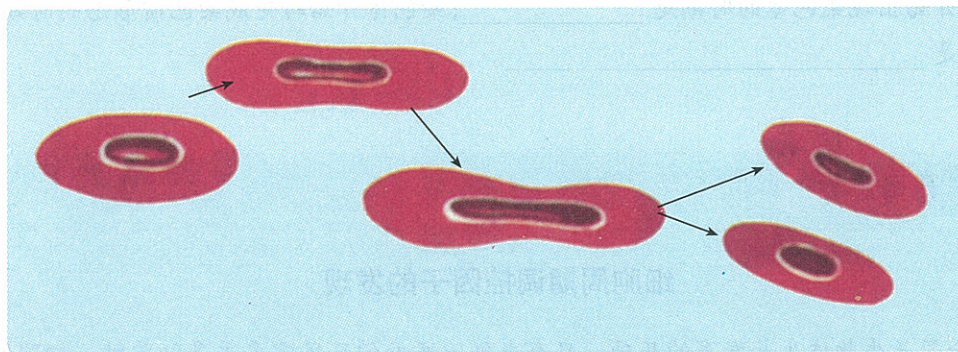


图 7-8 无丝分裂示意图

无丝分裂在正常组织中也较为常见。例如，在一些原生动细胞（图7-9）、高等动物的胎膜、肌肉组织细胞、腱细胞、肝细胞，以及植物的表皮细胞、生长点细胞、木质部细胞、胚乳细胞和薄壁组织细胞等多种细胞中都发现了无丝分裂。但是目前人们对无丝分裂研究得较少，对它的认识还很不充分。

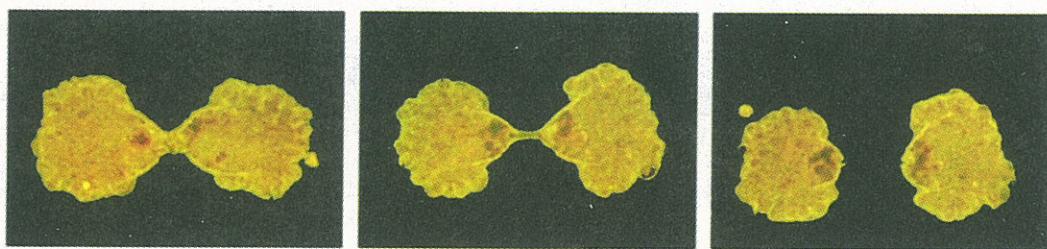
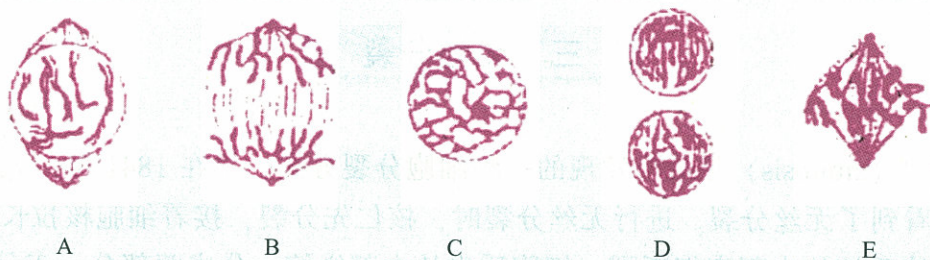


图 7-9 变形虫的无丝分裂



### 自我检测

1. 下列关于植物细胞有丝分裂的叙述，正确的是( )。
  - A. 纺锤体附着于染色体正中央，将染色体引向两极
  - B. 细胞膜中央部位向内凹陷，完成细胞分裂
  - C. 核被膜和核仁在细胞分裂前期会消失
  - D. 中心粒及中心体分裂为二后，染色体即完成分裂
2. 下图为植物有丝分裂各期示意图，据图回答下列问题。



- (1) 以字母排出有丝分裂细胞各时期的顺序\_\_\_\_\_。
- (2) 图中细胞内有 6 条染色体的时期是\_\_\_\_\_。
- (3) 开始出现染色体的时期是\_\_\_\_\_；染色体开始转变成染色质形态的时期是\_\_\_\_\_。



### 开阔眼界

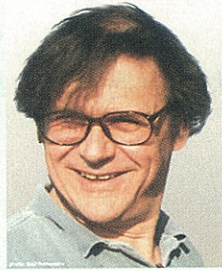
#### 细胞周期调控因子的发现

细胞分裂是生物体生长发育的基础。只有当细胞所处的环境需要更多细胞时，细胞的分裂才是合适的，不合时宜的细胞分裂带来的就是肿瘤。那么，细胞是否分裂是由什么决定的呢？

20世纪70年代,美国的微生物学家哈特韦尔通过对酵母细胞的研究,率先发现了细胞分裂基因。20世纪80年代,英国人亨特在对海胆和海蛤胚胎发育早期卵裂细胞的研究中发现,随着细胞周期的进行,一种蛋白质发生合成剧烈增高又突然下降的震荡,因此将这种蛋白质命名为周期蛋白(cyclin)。1990年,英国人纳斯发现,一种蛋白激酶在细胞从间期向分裂期过渡中起了决定性的作用,并且他还发现,周期蛋白可激活这种蛋白激酶的活性,所以将其命名为周期蛋白依赖性蛋白激酶(CDK)。此蛋白激酶可诱导细胞发生一系列的变化,最终引起有丝分裂。



利兰·哈特韦尔



蒂莫西·亨特



保罗·纳斯

以上三位科学家的工作,使人们了解了细胞周期调控的机制,并且对细胞周期调控与癌症的关系有了更深刻的理解,从而为治愈癌症指明了方向。因此,2001年的诺贝尔生理学或医学奖授给了以上三位科学家。

## 第2节 细胞的癌变

如果有一种疾病,我们在内心深处对它的恐惧远远超过其他疾病,大多数人都会想到癌症(也称为恶性肿瘤)。癌症是如何发生的?怎样才能预防和治疗癌症呢?

### ● 癌细胞的特征

在人体内部的微观世界里,癌细胞(图7-10)像饿了几千年的“睡狮”,一旦醒来便迅速扩张,它分裂极快,不受周围组织制约,表现为“无政府”状态。它可以连续分裂,形成独立组织——肿瘤。癌细胞是不成熟的细胞,像寄生虫一样生活在有机体内,掠夺人体的养分,使人消瘦、衰弱,它压迫周围健康组织,引起其他病症而导致死亡。因此,癌症是一类因为体内某些细胞失去控制,并不断生长和分裂,从而破坏周围组织的疾

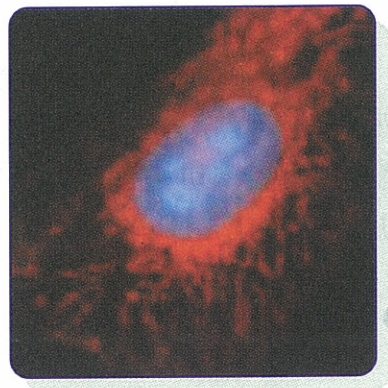


图7-10 癌细胞

病。确切地说，癌症并不是一种疾病的名称，它有 100 多个种类。癌症几乎可以在身体的任何一个部位发生，所以人们通常按照在体内发病的部位来给它命名，如肺癌、肝癌、乳腺癌等。

癌细胞可以无限增殖，癌细胞的形态结构与正常细胞相比发生了改变，并且癌细胞膜上糖蛋白减少，一些癌细胞还可能从肿瘤上脱落进入血液，在体内转移到身体的其他部位。

## ●细胞癌变的诱因

有些癌症是由遗传因素引发的，大多数癌症是由外界因素引起的。哪些外界因素能够诱发癌症呢？



### 阅读与分析

仔细阅读并分析表 7-2，说明主要的致癌因素有哪些。

表 7-2 各种致癌因素对人的影响程度

因素	占有因癌症死亡人数的百分比/%
烟草	30
酒精	3
饮食	35
食品添加剂	小于 1
性与生殖行为	7
职业(辐射、有毒化学物)	4
污染	2
工业产品	小于 1
医药与医疗措施	1
地理因素	3
感染(病毒)	10
其他因素	3

根据以上资料，致癌因素大致可分为 3 类：物理致癌因素（如辐射）、化学致癌因素（如烟草、酒精、有毒化学物、污染等）及生物致癌因素（如病毒）。另外，生活习惯也与癌症的发生密切相关。从表 7-2 可见，约有 2/3 的癌症是由于吸烟或不健康的饮食造成的。

## ●细胞癌变的机制

在了解了致癌因素的基础上，我们不禁要问，致癌因素是怎样诱发癌症的呢？

20 世纪初，人们发现患癌症与反复接触 X 射线有关。X 射线对细胞造成的影响可能是通过破坏 DNA 使基因发生突变而实现的。当染色体上的 DNA 受到某种损伤时会引起基因突变，就可能发生癌症。正常情况下，人体各部位的细胞都能与它周围的细胞和谐共存，细胞的分裂通常受到严格的调控。当突变使正常的细胞周期被打乱时，细胞分裂就会失去控制，因而发生癌症。

目前，一些科学家已经证明，在人和动物细胞的染色体上普遍存在着原癌基因 (proto oncogene)。原癌基因是细胞中的正常基因，它对细胞增殖和分化起着重要的调控作用，由于这个基因突变可能会导致细胞癌变，所以称之为原癌基因。某些因素 (如紫外线照射等) 能使原癌基因发生突变转化为活化的癌基因，就会使细胞分裂能力增强。另外，还有一些抑制细胞过度分裂的基因称为抑癌基因 (cancer suppressor genes)，抑癌基因突变将会丧失其抑制细胞过度增殖的作用。这两大类基因的突变，破坏了正常细胞增殖的调控机制，导致癌症的发生 (图 7-11)。

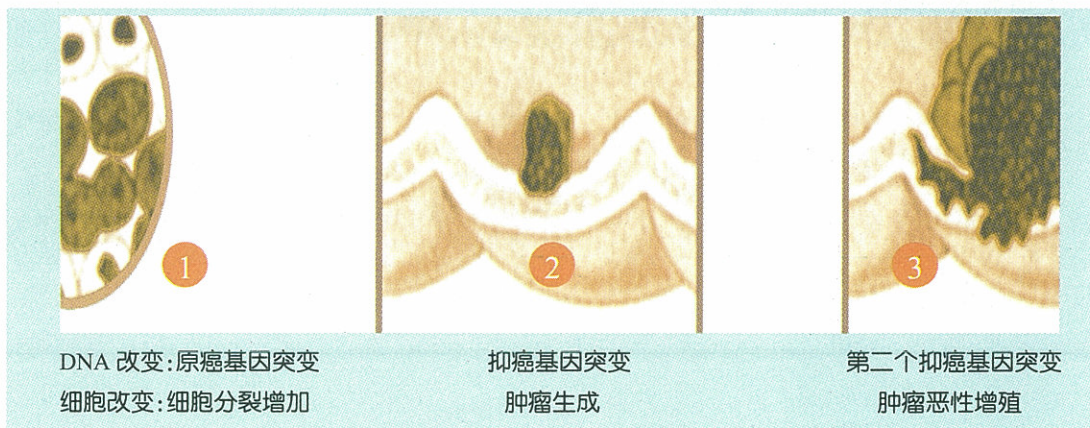


图 7-11 肿瘤的发生

如果我们把细胞的生长调控系统比作一辆汽车，那么，原癌基因突变后的癌基因就可看作是加速器，而抑癌基因就是刹车。细胞过度生长可以看作是踩加速器(活化的癌基因)和刹车失灵 (抑癌基因突变失活) 所造成的。

## ● 癌症的防治

根据对癌症诱因和致癌的分子机制的研究，人类想方设法预防癌症，并不断地探索治疗癌症的有效方法。许多因素能诱发癌症，其中吸烟和不健康的饮食是诱发癌症的最主要的两大因素。因此，为了防止细胞发生癌变，我们应远离烟草，养成健康的饮食习惯，少食肥肉和油炸食品，多吃水果、蔬菜、谷物。另外，我们还要尽量避免接触物理、化学和生物致癌因素，同时，要注意增强体质，这样就能大大降低患某些癌症的机会。

当癌症被发现并还未扩散到其他部位时，外科手术通常是最好的方法。如果能彻底切除肿瘤，疾病就能治愈。如果肿瘤已经扩散，或者不能彻底切除，医生通常会采用放疗和化疗的方法。放疗是通过射线破坏癌细胞，化疗是通过药物来杀死癌细胞。化疗使用的药物能分布到全身去杀死癌细胞，或者延缓癌细胞的生长。但是，放疗和化疗往往在杀死癌



细胞的同时，也会在一定程度上伤害正常细胞。目前，科学家正在不断寻找治疗癌症的新方法，例如，干扰素的使用、调控细胞周期药物的使用、基因治疗等。这些研究使我们看到了攻克癌症的曙光。



### 自我检测

1. 癌细胞的主要特征是什么？
2. 致癌因素包括哪几大类？
3. 引发癌症的内因是什么？



### 课外实践

搜集有关资料，了解肿瘤防治的进展。

## 本章小结

节 次	重要概念	重要术语
第 1 节 体细胞的分裂	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 细胞一般都比较小,一方面有利于增大相对表面积,有利于细胞与外界环境之间进行物质交换,另一方面有利于细胞核对细胞生命活动的调控。</li> <li>● 真核细胞的分裂方式有三种:有丝分裂、无丝分裂、减数分裂。</li> <li>● 亲代细胞的染色体经过复制(实质为 DNA 的复制)之后,精确地平均分配到两个子细胞中的过程叫作有丝分裂。有丝分裂保持了亲子代细胞性状的稳定。</li> <li>● 动物细胞和植物细胞有丝分裂的过程基本相同。区别有两点:纺锤体的形成和胞质分裂方式。</li> <li>● 连续分裂的细胞,从一次分裂完成开始到下一次分裂完成为止,为一个细胞周期。</li> <li>● 一个细胞周期包括两个阶段:间期和分裂期。间期包括 <math>G_1</math> 期、S 期和 <math>G_2</math> 期,分裂期(M 期)包括前期、中期、后期和末期四个时期。</li> </ul>	有丝分裂 无丝分裂 减数分裂 姐妹染色单体 纺锤体 赤道板 细胞板 间期 前期 中期 后期 末期
第 2 节 细胞的癌变	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 癌症是一类因为体内某些细胞失去控制,并不断生长和分裂,从而破坏周围组织的疾病。</li> <li>● 癌细胞具有无限增殖、形态结构改变及可在体内转移等特征。</li> <li>● 致癌因素大致可分为 3 类:物理致癌因素、化学致癌因素和生物致癌因素。另外,不良生活习惯也是导致癌症发生的重要原因。</li> <li>● 原癌基因和抑癌基因的突变是癌症发生的内在因素。</li> </ul>	癌症 原癌基因 抑癌基因

# 第 8 章

# 细胞的分化、 凋亡和衰老

## 主要内容

### 1. 细胞的分化

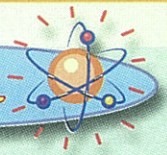
- 细胞分化的概念
- 细胞分化的基础
- 细胞分化的机制

### 2. 细胞的凋亡

- 细胞凋亡是一个正常的生理过程
- 细胞凋亡的生物学意义

### 3. 细胞的衰老

- 细胞衰老的表现
- 细胞衰老的原因
- 延缓细胞衰老的措施

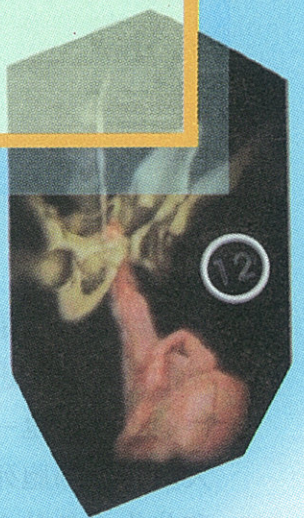
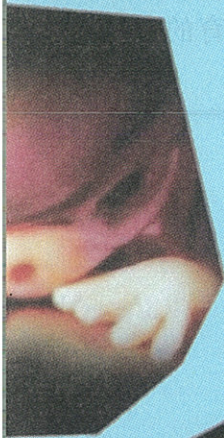


早在 19 世纪，魏斯曼 (A. Weismann) 就试图对细胞分化现象作出解释，提出“体细胞的分化是由于遗传物质的丢失”。20 世纪 50 年代以后，斯蒂尔德 (F. C. Steward) 等的胡萝卜体细胞组织培养实验和哥顿 (J. B. Gurdon) 的爪蟾核移植实验等分别证实了高度分化的植物细胞和动物细胞核仍保持着全套基因，说明细胞分化不是由于基因丢失或永久性失活造成的。近年来的大量研究表明，细胞分化是不同基因表达的结果。

人们对细胞凋亡的认识和研究起步较晚。1965 年，澳大利亚的克尔 (Kerr) 等人观察到了与细胞坏死完全不同的细胞死亡方式，并在 1972 年提出了细胞凋亡的概念。近年来，人们从线虫中发现了细胞凋亡的控制基因，在人体中也发现了具有相似效应的基因，而且还发现用某些因子可诱导这一基因的表达，如放射线、抗癌药物等。今后的研究方向一方面是找到更关键的调控基因；另一方面是寻求诱发癌细胞凋亡的更有效途径，为治疗肿瘤提供更有力的武器。

人类对细胞衰老的认识是漫长而曲折的。最早人们认为细胞是不死的。直到 1961 年，美国生物学家海弗里克 (L. Hayflick) 的实验证实，在最合适的培养条件下，细胞也无法无限增殖下去，最终必然衰老、死亡。近些年来对细胞衰老的研究多集中于分子水平，如分析基因损伤、基因突变对衰老的影响和作用等。有的研究者力图寻找“衰老基因”“长寿基因”等，并在不同程度上取得了进展。

细胞分化是生物体正常发育的基础



## 第 1 节 细胞的分化

多细胞生物个体是由各种形态、结构、功能不同的细胞组成的，这些细胞分别构成组织、器官和系统。例如人体的细胞有 200 多种，却都是由一个受精卵发育而来，受精卵通过细胞的分裂使细胞数目增加，通过细胞分化形成不同类型的细胞。什么是细胞分化？细胞是如何分化的？

### ● 细胞分化的概念

受精卵通过有丝分裂形成早期胚胎，此时细胞很相似。随着细胞不断地进行有丝分裂，细胞的数量越来越多。与此同时，这些细胞又逐渐向不同的方向变化。大多数细胞与特定的功能相适应；逐渐在形态、结构上发生相应的改变（图 8-1）。例如，神经细胞具有树突和轴突，可以接受和传导信息；小肠上皮细胞顶端有很多突起的微绒毛，利于物质的吸收；红细胞中有血红蛋白利于输送氧气。这种在个体发育中，细胞后代在形态、结构和功能上发生稳定差异的过程，叫作细胞分化（cell differentiation）。细胞分化使细胞的功能趋向专门化，这有利于提高生物体各种生理功能的效率。细胞分化是生物体正常发育的基础。



图 8-1 胚胎细胞分化示意图

细胞分化是生物界中十分普遍的一种生命现象，它是一种持久性的变化，发生于生物体的整个生命进程中。在胚胎发育期，细胞分化最旺盛、最频繁，达到最大程度，但在成年的个体中也一直存在着细胞的分化，如骨髓中造血干细胞的分化。人体内每时每刻都有大量的红细胞死亡，同时，骨髓又在不断地产生新的红细胞来补充。骨髓中存在着能分裂和分化成各种血细胞的多能造血干细胞和能分化生成红细胞的专能造血干细胞。骨髓造血干细胞来源于早期胚胎内的胚胎干细胞（图 8-2）。



### 小资料

干细胞是一类具有自我更新和分化发育潜能的原始细胞,机体的各种细胞、组织和器官都是由干细胞分化发育而来的。干细胞分为3类:全能干细胞、多能干细胞和专能干细胞。

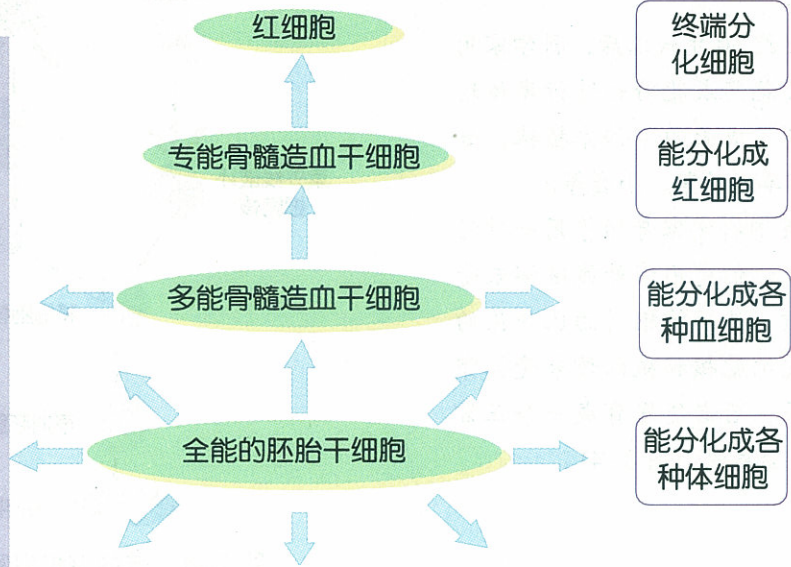


图 8-2 干细胞分化形成红细胞的过程示意图

## ● 细胞分化的基础



### 阅读与分析

阅读下面的图文资料,结合学过的有关细胞分裂的知识想一想,为什么一个植物细胞能够长成完整的植物体?蛙的核移植实验又说明了什么问题?

1. 1958年,美国科学家斯蒂尔德把胡萝卜根的一小块韧皮部组织放在人工培养基上培养,培育出了能够开花、结果的完整的胡萝卜植株(图 8-3)。

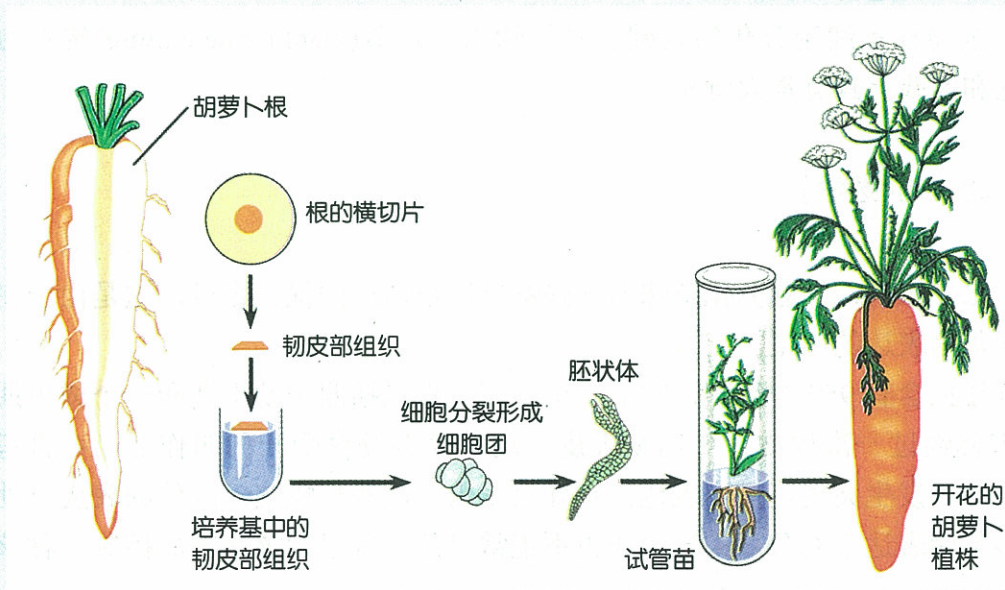


图 8-3 胡萝卜体细胞培养发育成完整植株的实验

20世纪60年代以后,科学家用发育中的花药或花粉粒进行离体培养,得到了成长的单倍体植株,如水稻、烟草、甘蓝、小麦等。

2. 英国科学家哥顿等用一种蛙做实验,他们先用紫外线破坏未受精卵的核,然后将蝌蚪的已分化的小肠上皮细胞核移植到该未受精卵中。结果,后者能发育成一个正常的蝌蚪甚至成蛙(图8-4)。

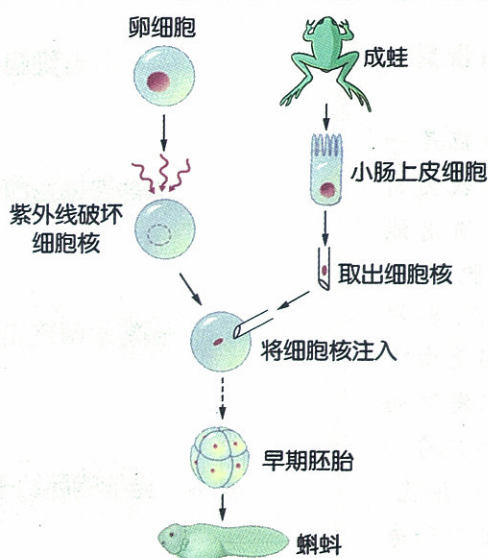


图8-4 蛙的核移植实验

科学实验普遍证明,植物体中几乎所有组织细胞,包括根、茎、叶、花药、子房和幼胚等,均可通过诱导和培养细胞再生新植株。生物体已分化的细胞具有发育成完整个体的潜能称为细胞的全能性 (cell totipotency)。植物体的每个生活细胞都具有全能性。上述蛙的核移植实验证明了高度分化的动物细胞的细胞核也具有全能性。

为什么细胞具有全能性? 受精卵中蕴涵着个体发育全部过程的“蓝图”——完整的基因组 (genome), 所以在发育潜能上受精卵属于“全能”细胞。高等生物体所有不同类型的体细胞,都是由受精卵细胞分裂和分化而来的,所以生物体的每个体细胞都具有保持该物种遗传性的全套遗传物质。

细胞的全能性是细胞分化的基础,是植物组织培养(plant tissue culture)技术的理论依据,在理论和实践上具有重大意义。

### ●细胞分化的机制(选学)

从分子水平来看,细胞分化意味着某些特异性蛋白质的优先合成,这是由于在特定的细胞中不同基因表达的结果。

有一种线虫含有959个细胞,它的整个发育过程包括四个幼虫期和一个成虫期,在每个幼虫期末要经过一次蜕皮,长出新表皮。这种变态发育受一种叫作lin-14的基因的调控,若这一基因发生突变,过度表达,则导致线虫多次额外蜕皮,成体的表皮仍处于幼虫阶段;若该基因表达不充分,则导致线虫不正常早熟。现已知该基因能控制一种核蛋白的合成。



### 自我检测

1. 细胞分化是生物界普遍存在的一种现象。细胞分化是指( )。
  - A. 一种细胞变成多种细胞的过程
  - B. 在个体发育中, 细胞后代在形态、结构和功能上发生稳定性差异的过程
  - C. 由受精卵发育为一个完整新个体的过程
  - D. 由受精卵发育为胚胎的过程
2. 生物体内具有分化能力的细胞是( )。
  - A. 神经细胞
  - B. 心肌细胞
  - C. 红细胞
  - D. 早期胚胎细胞
3. 1997年, 科学家用甲母羊的乳腺细胞的细胞核与乙母羊的卵细胞的细胞质组成一个细胞, 成功培育出了“多莉”羊。下列有关说法错误的是( )。
  - A. 高度分化的动物细胞核具有全能性
  - B. 这个乳腺细胞核内含有该物种的全套遗传物质
  - C. “多莉”羊的遗传特征与乙母羊几乎相同
  - D. “多莉”羊的遗传特征与甲母羊几乎相同



### 课外实践

通过各种媒体搜集有关干细胞的研究进展与人类健康关系的资料。写一篇小论文, 在班内交流。



### 开阔眼界

#### 花发育的 ABC 模型

植物花的发育受基因的控制。植物体内有三组基因, 分别称为 A、B、C, 它们单独或两组决定着一个花结构的形成(图 8-5)。花发育时, A 组基因先表达, 这时花萼出现; 接着 B 组基因表达, A、B 产生的蛋白质的共同存在使花冠形成; 然后 C 组基因的表达抑制 A 组基因的表达, 但不抑制 B 组基因, 因此 B、C 基因共同表达促使雄蕊的发育; 最后 B 组基因停止表达, 只剩下 C 组基因独自表达, 于是雌蕊形成了。如果在 A、B、C 中有一组或多组不能正确表达或不表达, 则该基因控制的花的相应结构就会被其他的结构替代。



图 8-5 花发育的 ABC 模型



## 第 2 节 细胞的凋亡

生活中我们都熟悉蝌蚪变成青蛙的过程。在这个过程中，蝌蚪尾部在一定时期会自动消失，这与细胞的凋亡是密切相关的。什么是细胞凋亡？细胞凋亡在生物体的生长发育中有什么作用和意义？

### ● 细胞凋亡是一个正常的生理过程

在生物的个体发育过程中，细胞在不断地自我更新。一方面，机体内一些细胞通过细胞凋亡得以清除；另一方面，又通过细胞增殖得以补充。例如，人的嗜中性粒细胞（白细胞的一种）每天都有数十亿个死亡和新生；人和高等哺乳动物肠道上皮细胞经 24~48 h 就全部更新一次；皮肤细胞不断角质化脱落，由生发层不断分裂产生新细胞来补充，等等。



### 阅读与分析

阅读下面的资料。想一想，细胞凋亡是如何发生的？细胞凋亡在生物体的生长发育中有什么作用？

1. 鼠的爪在胚胎发育过程中，起初是一种类似铲状的结构，只有当爪间的细胞发生凋亡后，才能形成正常分离的趾（图 8-6）。人的手和足在胚胎发育过程中的成形与鼠爪类似。

2. 秀丽隐杆线虫(*C. elegans*)的体长约 1 mm，由于它身体透明，便于观察，因而是研究细胞凋亡的极好材料。这种线虫在个体发育中共产生 1 090 个体细胞，其中 131 个必定死亡，因此一个成熟的线虫有 959 个细胞。现已从线虫细胞中分离出十几种与细胞凋亡有关的基因，如基因 *ced-3* 和 *ced-4* 起促进细胞凋亡的作用；*ced-9* 则起阻止细胞凋亡的作用。科学家还从人体细胞中分离出了细胞凋亡抑制基因。



A. 早期胚胎鼠爪的形态



B. 晚期胚胎鼠爪的形态

图 8-6 鼠爪趾间细胞在胚胎发育中发生凋亡

细胞死亡是细胞生命活动的结束。在多细胞生物中，细胞的死亡有两种不同的形式：细胞凋亡和细胞坏死。

细胞凋亡 (cell apoptosis) 是指细胞在一定阶段，由特定基因控制程序引起正常的自然死亡，又称细胞编程性死亡或生理性死亡。细胞凋亡主要发生在胚胎发育过程中，是细胞主动发生的，这个过程需要消耗能量。细胞坏死 (cell necrosis) 是由强烈的外界因素如缺氧、缺血以及物理、化学损伤和生物侵袭等造成的细胞损伤和急速死亡。细胞坏死是意外的、被动性的死亡，故又称病理性死亡 (图 8-7)。

细胞凋亡是细胞正常发育的一个过程，它与细胞分裂、细胞分化一样，是最基本的生命现象，是机体正常发育的基础。

### ●细胞凋亡的生物学意义

细胞凋亡无论在个体发育还是组织稳态的维持中，都具有重要的意义。

第一，细胞凋亡是机体正常发育的基础。细胞凋亡与细胞增殖是相反的过程，二者的协调一致保证了生物体的正常发育和器官的形态建成 (图 8-8)。胚胎发育至一定阶段，特定区域的细胞群就发生自然凋亡，清除这些“多余”的细胞，有利于发育器官被“雕凿”成形。例如，蝌蚪变态发育成青蛙时，尾受甲状腺激素的作用而退化 (图 8-9)，人的胚胎发育过程中尾芽和鳃的定期消失，都是细胞凋亡的结果。如果胚胎细胞凋亡异常，将造成畸形胎，如短尾或无尾小鼠、缺翅的鸡、人类蹼状指 (趾) 等。

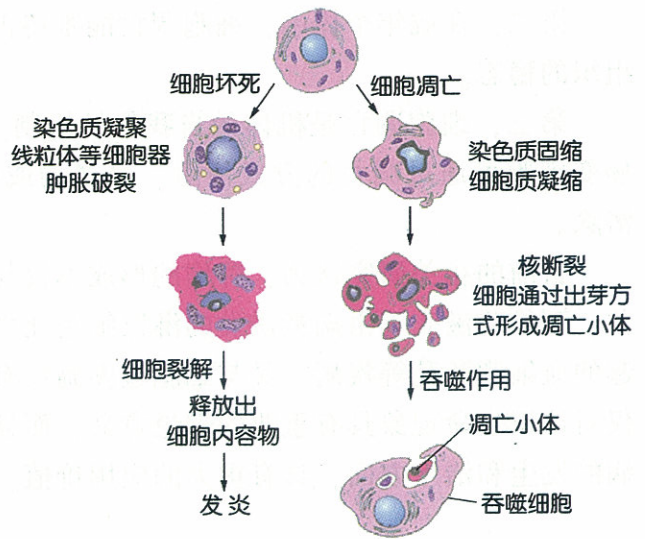


图 8-7 细胞坏死与细胞凋亡过程示意图

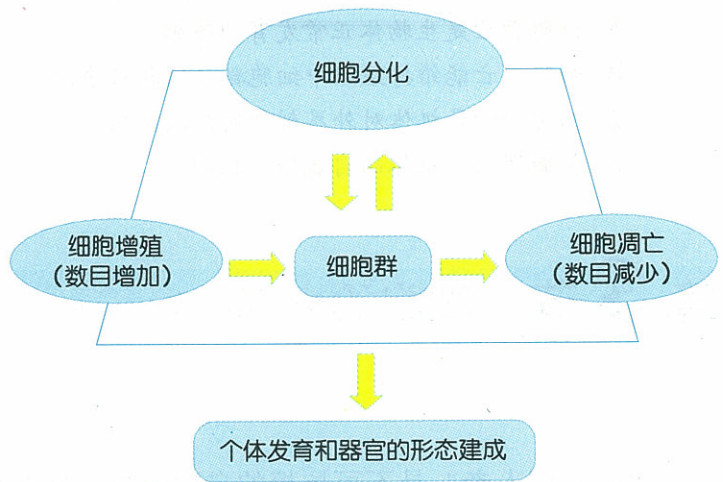


图 8-8 细胞增殖、细胞分化和细胞凋亡与个体发育的关系

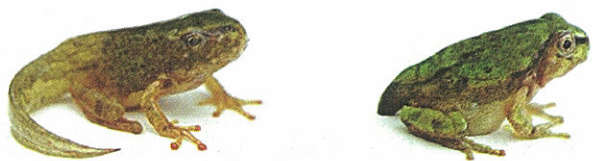


图 8-9 蝌蚪尾退化

第二，在成年个体中，细胞凋亡能维持正常组织中细胞数目的相对平衡，从而维持了组织的稳态。

第三，细胞凋亡是机体的自我保护机制。研究发现，机体中一些被病毒感染的细胞、癌变细胞可通过凋亡的方式消除，衰老的或已完成功能的多余细胞也可通过凋亡的方式清除。

目前的相关研究认为，肿瘤的形成不仅与细胞过度增殖有关，而且与细胞凋亡受阻有关；而像艾滋病等由病毒诱发的淋巴细胞死亡的疾病，以及由于骨髓造血干细胞凋亡所引起的血细胞紊乱等疾病，又与细胞过度凋亡有关。可见，对细胞凋亡机理的深入研究，不仅对认识生命现象具有重要的理论意义，而且在研究肿瘤、艾滋病和类风湿性关节炎等疾病的发生和治疗方面，具有重大的应用价值。



### 自我检测

1. 下列关于细胞凋亡和细胞坏死的叙述，错误的一项是( )。
  - A. 细胞凋亡是主动的，细胞坏死是被动的
  - B. 细胞凋亡是生理性的，细胞坏死是病理性的
  - C. 细胞凋亡是由基因调控的，细胞坏死是由外界因素引起的
  - D. 细胞凋亡是急性的，细胞坏死是慢性的
2. 下列哪项不属于细胞凋亡的生物学意义？( )
  - A. 细胞凋亡是生物体正常发育的基础
  - B. 细胞凋亡能维持组织中细胞数目的相对平衡
  - C. 细胞凋亡是机体对外界刺激的应激反应
  - D. 细胞凋亡是机体的自我保护机制

## 第 3 节 细胞的衰老

“岁月催人老”是不可抗拒的自然规律，生物个体的老化是组成个体的细胞总体衰老所致。那么，衰老的细胞有哪些表现？引起细胞衰老的原因是什么？我们能人为地延缓细胞和个体的衰老吗？

### ● 细胞衰老的表现

细胞衰老 (cell senescence) 是细胞内发生的生理、生化过程，衰老的细胞在形态、结构和功能上都发生明显的变化。



### 思考

细胞的衰老是否只发生在老年个体中？细胞的衰老与个体的衰老有什么关系？

在形态上，衰老的细胞内水分减少，细胞萎缩，体积缩小。

在结构上，细胞核体积增大，染色体固缩；溶酶体数目增加并且体积增大，内质网排列无序。

在功能上，由于线粒体数目减少，呼吸速度减慢；一些酶的活性降低，蛋白质合成速率降低，如人的头发基部的黑色素细胞衰老时，细胞中的酪氨酸酶活性降低，黑色素的合成受阻，头发变白；细胞内色素（如脂褐素）随着细胞衰老而逐渐积累，阻碍了细胞内物质的交流和信息的传递，影响细胞正常生理功能的完成。

## ●细胞衰老的原因

在生物体发育过程中，细胞分裂形成的绝大多数细胞，都要经过未分化、分化、衰老和死亡的阶段；分化的细胞行使其生理功能，一定时间后终将衰老、死亡。

近几十年来，关于细胞衰老原因的研究成为生命科学的热门课题之一。科学家曾先后提出许多假说和理论来解释细胞衰老的原因。染色体端粒复制学说认为，细胞的衰老与染色体的端粒有关。端粒(图 8-10)是位于染色体末端的特化结构，由端粒 DNA 和端粒蛋白质构成。在不同年龄的细胞中，端粒长度随细胞衰老过程而逐渐缩短，当端粒不能再缩短时，细胞就会衰老、死亡。

遗传程序学说则认为，细胞的衰老是受基因控制的。有人发现在人的第 1 号染色体上存在着与细胞衰老有关的基因。还有人观察到，随着年龄的增长，细胞中线粒体数量逐渐减少，并出现越来越多丧失了大段 DNA 序列的线粒体 DNA。因此，有学者认为线粒体 DNA 是决定衰老的生物钟。

自由基学说认为，生物体的新陈代谢离不开氧，在生物氧化过程中，会产生自由基 (free radical)。细胞内多余的自由基能够损伤线粒体，进而改变细胞的结构和功能，引起细胞的衰老和死亡。

总之，细胞的衰老是遗传因素和环境因素共同作用的结果。但是，细胞衰老的原因是非常复杂的，直到目前，人们还无法揭示细胞衰老的真正原因，对此仍在深入研究之中。

## ●延缓细胞衰老的措施

生物体的各种器官、组织、细胞的衰老，将导致生物个体的老化，揭示细胞衰老的奥秘，则有望拨慢生命之钟，延年益寿。因此，研究细胞衰老的机制，寻找延缓衰老的良



图 8-10 端粒



### 小资料

自由基是指含有未配对的自由电子的高度活跃的小分子或原子，它很容易与其他化学物质发生氧化反应。

方，成为人们普遍关注的热点之一。

延缓衰老、健康长寿的关键是健康的生活方式。例如，应注意平衡饮食，避免营养不良和营养过剩；适当多吃一些富含抗氧化剂（如维生素C、维生素E、 $\beta$ 胡萝卜素等）的蔬菜、水果；许多因素（如阳光辐射、吸烟、酗酒、食物中的毒素等）会导致基因突变和细胞衰老，也应该尽可能避免。另外，保持积极、乐观的心理状态，放松的生活和适当的锻炼，对于增进健康、提高生活品质也是大有裨益的。



### 自我检测

1. 衰老细胞的主要特征是( )。  
①细胞内一些酶的活性降低    ②细胞内水分减少，细胞皱缩    ③细胞内的色素逐渐积累  
④细胞呼吸减慢，细胞核体积增大    ⑤细胞呼吸加快，细胞核体积缩小  
⑥细胞膜通透性改变，影响物质的运输  
A. ①②④⑥    B. ①②③④⑥    C. ①②③⑤⑥    D. ①②⑤⑥
2. 在个体发育过程中，通过细胞分裂产生的绝大多数细胞都要经过哪几个阶段？( )  
A. 未分化、分化、衰老、死亡    B. 分化、衰老、未分化、死亡  
C. 衰老、分化、未分化、死亡    D. 分化、未分化、衰老、死亡



### 开阔眼界

#### 拨慢生命之钟

古往今来，人们一直在孜孜不倦地寻找着长生不老的秘方。谁不希望青春永驻、生命之树常青呢？近年来对干细胞的研究，有可能使人们的幻想变为现实。

干细胞是产生分化细胞的源泉，机体的各种细胞、组织和器官都是由干细胞分化发育而来的。科学家设想，在婴幼儿时期抽取人的干细胞冷冻保存，使其处于休眠状态。这样，当他进入老年的时候，冷冻的那部分干细胞仍处于婴幼儿时期。把这些冷冻的干细胞大量培养

增殖，再输回到体内，由这些干细胞分化发育所形成的组织器官，就有可能保持年轻的状态。

在小鼠身上，科学家已经进行了这样的实验，即先用大量的射线把老年小鼠的免疫干细胞完全毁灭，再将含有免疫干细胞的年轻小鼠的骨髓和胸腺移植进去。结果，老年小鼠形成了年轻的免疫系统，具有如年轻小鼠一样强大的免疫功能。

青春常在，也许真的将变为现实！

## 本章小结

节次	重要概念	重要术语
第1节 细胞的分化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 在个体发育中，细胞后代在形态、结构和功能上发生稳定性差异的过程，叫作细胞分化。细胞分化是基因选择性表达的结果。</li> <li>● 细胞分化具有稳定性、不可逆性以及持久性。</li> <li>● 细胞的全能性是指已经分化的细胞仍然具有发育成完整个体的潜能。</li> </ul>	细胞的分化 细胞的全能性 干细胞 基因的选择性表达
第2节 细胞的凋亡	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 细胞凋亡是指细胞在一定阶段，由特定基因控制的程序引起正常的自然死亡，又称细胞编程性死亡或生理性死亡。细胞凋亡主要发生在胚胎发育过程中。</li> <li>● 细胞凋亡不同于细胞坏死，细胞凋亡是一种正常生命现象，细胞坏死是病理性死亡。</li> <li>● 细胞凋亡在个体发育和组织稳态的维持中具有重要的意义。细胞凋亡在胚胎发育和器官的形态建成中有重要作用，在成年个体中，它能维持组织中细胞数目的相对平衡，并且是机体的自我保护机制。</li> </ul>	细胞凋亡 细胞坏死
第3节 细胞的衰老	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 细胞衰老的过程是细胞的生理状态和化学反应发生复杂变化的过程，最终表现为细胞的形态、结构和功能发生变化。</li> <li>● 细胞衰老是一种正常的生命现象。个体衰老的过程是组成个体的细胞普遍衰老的过程。但是幼嫩个体中有衰老细胞，衰老个体中也有幼嫩的细胞。</li> <li>● 细胞衰老的原因有多种假说，科学家先后提出了自由基学说、遗传程序学说、染色体端粒复制学说等，目前尚无定论。因此，也还没有找到延缓细胞衰老的根本措施。</li> </ul>	细胞衰老 端粒 自由基

中英文词汇对照表

氨基酸	amino acid
半透膜	semipermeable membrane
胞吐	exocytosis
胞吞	endocytosis
胞质溶胶	cytosol
被动运输	passive transport
病毒	virus
成熟面	maturing face
单体	monomer
蛋白质	protein
淀粉	starch
多聚核糖体	polyribosome
多聚体	polymer
二分裂	binary fission
分裂期	mitotic phase
高尔基体	golgi body
固醇	sterol
光饱和点	light - saturation - point
光补偿点	light - compensation - point
光反应	light reaction
光合作用	photosynthesis
光合速率	photosynthetic rate
光能自养	photoautotrophy
核苷酸	nucleotide
核酸	nucleic acid
核糖核酸	ribonucleic acid
核糖体	ribosome
化能自养	chemoautotrophy
化学信号	chemical signal
基粒	grana
基因组	genome
激素	hormone
嵴	cristae
间期	interphase
接合生殖	conjugation

续表

菌落	bacterial colony
扩散	diffusion
蓝细菌	cyanobacteria
类囊体	thylakoid
磷脂	phospholipid
酶	enzyme
膜间隙	intermembrane space
木质素	lignin
内膜	inner membrane
内质网	endoplasmic reticulum
葡萄糖	glucose
染色体	chromosome
溶酶体	lysosome
三磷酸腺苷	adenosine triphosphate
色素	pigment
渗透作用	osmosis
生物膜系统	biomembrane system
受体	receptor
水	water
水华	algal bloom
锁钥学说	lock and key theory
肽键	peptide bond
碳反应	carbon reaction
糖被	glycocalyx
糖类	carbohydrate
吞噬细胞	phagocyte
脱氧核糖核酸	deoxyribonucleic acid
外膜	outer membrane
微管	microtubule
微丝	microfilament
无丝分裂	amitosis
无氧呼吸	anaerobic respiration
细胞	cell
细胞壁	cell wall
细胞的全能性	cell totipotency
细胞凋亡	cell apoptosis
细胞分化	cell differentiation
细胞骨架	cytoskeleton
细胞核	nucleus



续表

细胞呼吸	cell respiration
细胞坏死	cell necrosis
细胞膜	cell membrane
细胞衰老	cell senescence
细胞通讯	cell communication
细胞学说	cell theory
细胞周期	cell cycle
细菌	bacteria
纤维素	cellulose
线粒体	mitochondrion
线粒体基质	matrix
协助扩散	facilitated diffusion
信号转导	signal transduction
形成面	forming face
厌氧发酵	anaerobic fermentation
叶绿体	chloroplast
叶绿体基质	stroma
液态镶嵌模型	fluid mosaic model
抑癌基因	cancer suppressor genes
遗传信息	genetic information
有丝分裂	mitosis
有氧呼吸	aerobic respiration
原癌基因	protooncogene
原核生物	prokaryote
原核细胞	prokaryotic cell
真核生物	eukaryote
真核细胞	eukaryotic cell
脂肪	fat
脂质	lipid
植物组织培养	plant tissue culture
周期蛋白	cyclin
主动运输	active transport
自由基	free radical
自由扩散	free diffusion

1. 《长生的幻灭》 方舟子著 上海科学技术出版社 2002 年
2. 《地球上最重要的化学反应——光合作用》 沈允钢著 清华大学出版社 暨南大学出版社 2000 年
3. 《改造生命之舟——细胞工程》 邵健忠 陈晓萍 边红武著 浙江大学出版社 2002 年
4. 《小生命大奉献——微生物工程》 林建平著 浙江大学出版社 2002 年
5. 《解读生命之谜》 张丹著 新疆人民出版社 2002 年
6. 《科学探索者——从细菌到植物》 潘笛拉著 浙江教育出版社 2002 年
7. 《科学探索者——细胞与遗传》 潘笛拉著 浙江教育出版社 2002 年
8. 《诺贝尔奖百年鉴 构筑生命》 李盛 黄伟达著 上海科技教育出版社 2001 年
9. 《奇异的微生物》 尹惠芳著 河北科学技术出版社 2002 年
10. 《细胞城里的故事》 周予新 孙富强著 河北科学技术出版社 2002 年
11. 《生物科学》 美国 BSCS 著 北京出版社 2000 年
12. 《危险的杀手》 巴里·E.齐格尔曼 戴维·J.齐格尔曼著 文化艺术出版社 2003 年
13. 《细胞生物学》 汪堃仁 薛绍白 柳惠图著 北京师范大学出版社 2000 年
14. 《基础生命科学》 吴庆余著 高等教育出版社 2002 年

## 后 记

新世纪之初，我国积极开展了新中国成立以来第八次基础教育课程改革。我们根据国家《基础教育课程改革纲要（试行）》的精神以及《普通高中生物课程标准（实验）》的要求，编写了这套符合现代课程理念和我国实际情况、体现改革精神、有利于促进学生自主学习和终身发展、有利于培养学生科学素质的高级中学课程标准《生物》实验教科书。

本套教科书由刘植义和付尊英主编，本册的执笔编写者为（以姓氏笔画为序）：尹惠芳、李冰、李红敏、陆强、周予新；参加修改的有：王卫红、林祖荣、张超、赵奂；参与讨论的有：万五星、边艳青、石振华、白文忠、朱正歌、张灵芝、赵宝华、党凤良、崔庚寅、葛荣朝、赫子瑞、潘紫千等。

在教材编写过程中，许多教育界的前辈和各学科专家、学者以及第一线的教师们给予了热情的帮助。在本套教科书出版之际，我们特别感谢孙大业、宋大祥两位院士的亲临指导，给我们提出许多宝贵的意见和建议；我们诚挚地感谢叶佩珉、项伯衡、邱兆祉、刘广发、余自强、刘毓森、赵占良、王真真、谭永平、罗耀武、郑春和、封建业、张玉海、张彦慧、谭秋霞、姚红、翟丽光、刘彤、夏少君、封荣信等对这套教材提供过帮助和支持的所有专家、学者和教师。

本套教科书经全国中小学教材审定委员会2004年初审通过。希望广大师生在使用过程中提出宝贵意见，以便我们进一步修改和完善。