



普通高中教科书

生物学

必修1

分子与细胞

SHENGWUXUE

北京师范大学出版社



北京师范大学出版社

普通高中教科书

生物学

必修1

分子与细胞

主编 付尊英 刘广发

北京师范大学出版社



北京师范大学出版社

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学这门新课程了。新时代生物学课程首次提出了生物学核心素养的要求，包括生命观念、科学思维、科学探究和社会责任。生物学课程会带领你们走进现代生物科学与技术的殿堂。

在学习高中生物学之前，你们一定想了解高中生物学课程是怎样安排的。《普通高中生物学课程标准（2017年版）》将生物学课程内容分为必修、选择性必修和选修三个部分。其中，必修部分包括“分子与细胞”和“遗传与进化”两个模块；选择性必修部分包括“稳态与调节”“生物与环境”和“生物技术与工程”三个模块。

首先，我们谈谈必修课程。必修课程是现代生物科学的核心内容，对提高同学们的生物学科核心素养具有重要作用。

“分子与细胞”模块选取的学习内容是细胞生物学最基础的知识 and 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，形成科学自然观。由于细胞是生物体结构与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、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。





其次，我们再谈谈选择性必修课程。选择性必修课程是为了进一步加深同学们对生物学大概念的理解、拓展生物科学与技术视野、提高实践和探究能力设计的。选择性必修课程的学习需要以必修课程的学习为基础。

“稳态与调节”模块选取的学习内容主要是有关生命活动的调节与稳态的基础知识。所有生命系统都存在于一定的环境之中，在不断变化的环境条件下，通过一定的调节机制，使机体维持其稳态，从而适应多变的环境。本模块的学习将有助于同学们从系统分析的角度，理解个体生命活动的规律和健康生活方式的重要意义。

“生物与环境”模块选取的学习内容主要是有关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）不同层次水平的相互关系与稳态，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。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和方法，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，形成生态意识、环境保护意识和践行绿色低碳生活奠定扎实的基础。

“生物技术与工程”模块的学习内容包括发酵工程、细胞工程、基因工程、生物技术安全与伦理四个较为具体的概念。这些概念既是对必修课程的扩展和应用，又可以帮助同学们认识和理解生物技术与工程。通过本模块的学习，同学们可以拓宽视野，提升实践能力，激发热爱生物科学和探索生命奥秘的情感，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与神奇。只要勤于阅读和观察、勇于探索和实践、善于思考和总结，你们的核心素养定能获得提升。当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。





第1章 认识细胞

- 第一节 发现细胞 / 2
- 第二节 细胞的多样性与统一性 / 7

第2章 细胞的结构与功能

- 第一节 质膜 / 13
 - 一 质膜的结构与功能 / 13
 - 二 物质进出细胞的方式 / 20
- 第二节 细胞质 / 29
 - 一 叶绿体与线粒体 / 29
 - 二 其他细胞器 / 33
- 第三节 细胞核 / 40
- 第四节 细胞骨架与内膜系统 / 46

第3章 细胞的物质基础

- 第一节 水与无机盐 / 56
- 第二节 糖类与脂质 / 61
- 第三节 蛋白质 / 66
- 第四节 核酸 / 74
- 第五节 元素与生物大分子 / 77

第4章 细胞的代谢

第一节 酶 / 82

- 一 酶的化学本质及作用 / 82
- 二 酶的特性 / 85
- 三 环境因素对酶活性的影响 / 90

第二节 ATP / 96

第三节 细胞呼吸 / 101

- 一 细胞呼吸的类型 / 101
- 二 细胞呼吸的过程 / 105
- 三 影响细胞呼吸速率的因素 / 111

第四节 光合作用 / 115

- 一 光反应 / 115
- 二 碳反应 / 121
- 三 影响光合作用的因素 / 125

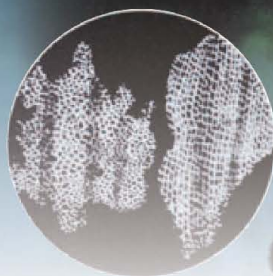
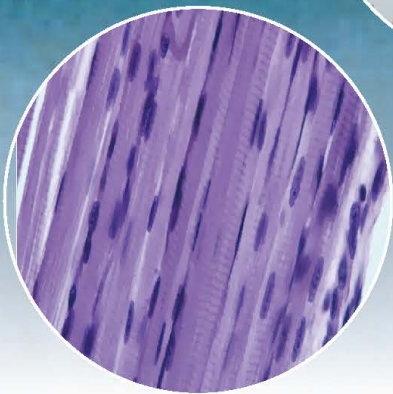
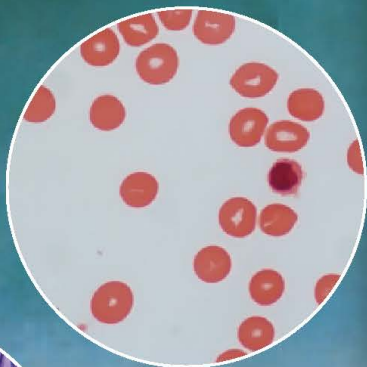
第5章 细胞的生命历程

第一节 细胞的增殖 / 132

- 一 细胞周期 / 132
- 二 细胞的分裂 / 135

第二节 细胞的分化 / 140

第三节 细胞的衰老与死亡 / 144



第 1 章

认识细胞

当你伴着窗外的鸟语花香专心学习时，体内的神经细胞在不断产生和传导兴奋，红细胞在持续往复运送氧气，骨骼肌细胞的收缩和舒张使身体保持协调的动作……各种细胞的功能活动演奏着微妙的“生命交响曲”。人类是如何发现细胞的？不同的细胞有何异同？让我们一起开启认识细胞的科学之旅吧！



学习目标

1. 在理解各种细胞具有相似的基本结构，但在形态与功能上有所差异的基础上，形成细胞形态多样性和结构统一性等生命观念，并能解释细胞学说。
2. 基于细胞学说建立的科学史资料，运用归纳与概括等科学思维方法，说明人类在探索细胞的过程中运用的逻辑方法，阐述对科学发展过程和科学本质的理解。
3. 针对细胞是否具有多样性和统一性的问题，通过使用显微镜观察不同实验材料，对比不同细胞结构的异同，体会研究细胞的基本思路和方法。
4. 主动关注科学、技术、社会之间密不可分、相互依赖的关系，领悟显微观察技术的进步对人类认识生命世界的推动作用。

第一节 发现细胞

早在17世纪中叶人们就观察到了细胞，几百年来，科学家借助仪器更新和技术进步，不断探索细胞的奥秘。至今，对细胞生物学的研究仍然是生命科学领域的热点之一。有科学家曾预言一切生命的关键问题都要到细胞中去寻找答案。人们是如何认识到细胞的存在，并认为细胞是生物体结构和功能的基本单位的？目前我们对细胞又有了哪些更加深入的认识呢？

显微镜的发明支持细胞学说建立

显微镜的发明开启了人类窥探微观世界的大门，使人们发现和认识细胞成为可能。在过去的300多年中，随着细胞学研究技术不断进步，人类对细胞的了解越来越全面和深入（图1-1）。

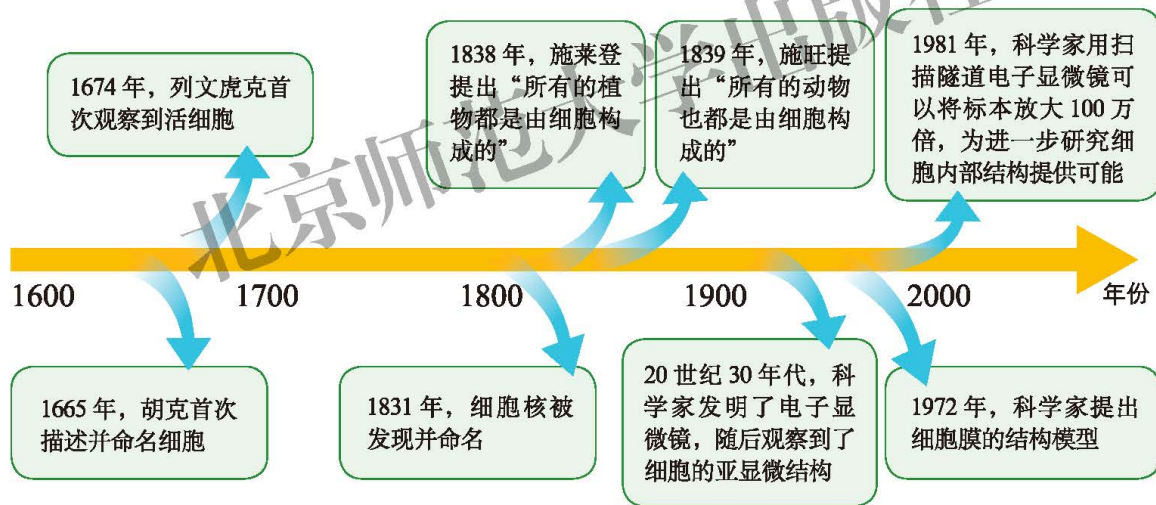


图 1-1 人类认识细胞历程中的重大事件

对生命的好奇和探索是人类的天性，古代哲学家与解剖学家曾对人体结构的本质有过多种猜测和想象。人们曾一度以为组织是身体的终极单位，因为细胞确实太小了，直到显微镜发明后人们才看到它们。

1665年，英国博物学家胡克（Robert Hooke, 1635—1703）首次描述细胞，他用手工制作的、能放大30倍的显微镜观察软木切片，发现它由大量“小房间”组成，他称这些“小房间”为“cellulae”（拉丁语“小房间”的意思），“cell”一词由此演化而来。1674年，荷兰科学家列文虎克（Antonie Leeuwenhoek, 1632—1723）首次观察到活细胞，他将观察到的微小生物称为“微生物（animalcule）”。但在后来的一个半世纪里，人们都没能认识到细胞的重要性。

光学显微镜这种奇特的仪器，曾在很长一段时间内只为少数人所拥有。直到 19 世纪，它才开始被广泛用来观察活细胞。1838 年，德国植物学家施莱登 (Matthias Schleiden, 1804—1881) (图 1-2) 发表了《植物发生论》，指出细胞是构成植物的基本单位。1839 年，德国动物学家施旺 (Theodor Schwann, 1810—1882) (图 1-3) 发表了《关于动植物的结构和生长的一致性的显微研究》，指出动物和植物都是由细胞构成的。最终，施莱登和施旺两人共同提出“细胞是一切动植物的基本单位”，奠定了早期“细胞学说”的基础。



图 1-2 施莱登



图 1-3 施旺

在此基础上，1858 年，德国医生魏尔肖 (Rudolf Virchow, 1821—1902) 指出“细胞只能来自细胞”。魏尔肖认为“所有的细胞都来源于先前存在的细胞”，这个观点至今仍未被推翻。

施莱登和施旺是“细胞学说”的主要建立者。“细胞学说”的主要内容包括：细胞是一个有机体，一切动植物都由细胞发育而来，并由细胞和细胞产物构成；细胞是一个相对独立的单位，既有它自己的生命，又对与其他细胞共同组成的整体起作用；新细胞可以从老细胞中产生。

“细胞学说”的建立在哲学上引起了强烈反响：它证明了植物和动物都具有共同的基础——细胞，打破了把植物和动物截然分开的壁垒。恩格斯曾把“细胞学说”誉为 19 世纪自然科学三大发现之一。

“细胞学说”提出后的十几年中，其影响迅速渗透到许多领域，对当时生物学的发展起到了巨大的促进和指导作用。施莱登和施旺关于动植物细胞结构一致性的论断，使地球上多种多样的生物通过都具有细胞结构这一点统一起来，为以后达尔文进化论的提出奠定了理论基础，大大推进了人类对整个自然界的认识，有力地促进了自然科学和哲学的进步。伴随着分子生物学的蓬勃发展，更多的事实和证据表明，各种各样的生物彼此之间都有或近或远的亲缘关系。

技术的进步推动细胞生物学发展

“细胞学说”建立后，科学界掀起了对多种细胞进行广泛观察与描述的高潮。19 世纪 40 年代，科学家将动物和植物细胞内的均匀、有弹性的胶状物质称为“原生质 (protoplasm)”，即一小团具有生命活性的物质。“原生质”显然比“细胞”更能够体现对细胞的理解，但由于细胞一词已经通行，就被沿用了下来。

后来，人们在植物细胞中发现了有丝分裂、减数分裂等细胞分裂类型。随着显微镜技术的重大进步，显微镜的分辨率大大提高。石蜡切片方法和各种染色方法的发明，为各种细胞器的相继发现奠定了基础。

不同显微镜能观察到酿酒酵母细胞不同层次的结构特征(图1-4)。电子显微镜的分辨率是光学显微镜的数千倍,能够清楚地观察细胞的亚显微结构。扫描电子显微镜可以获得鲜明的三维图像,有助于我们理解许多生物学现象。

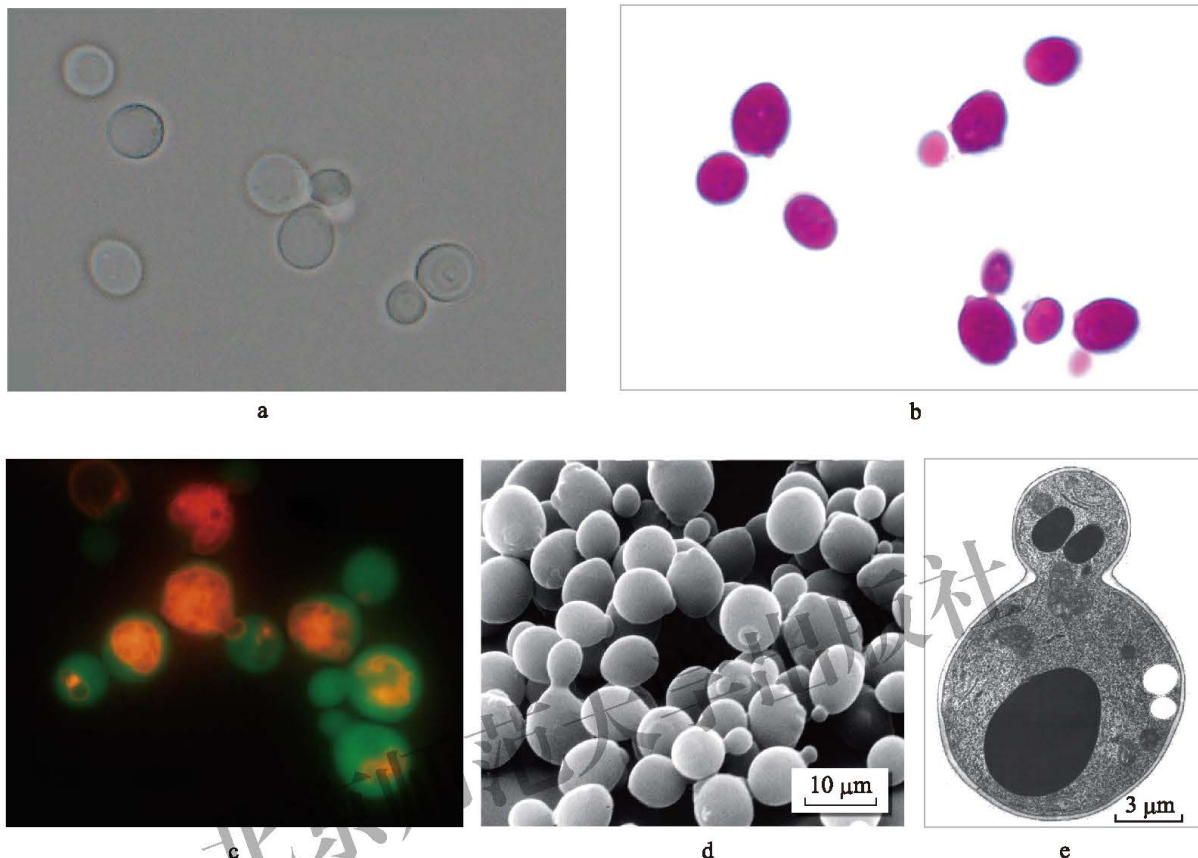


图1-4 用不同的显微镜及染色方法观察到的酿酒酵母细胞

- a. 用光学显微镜观察到的酿酒酵母细胞(100×); b. 用光学显微镜观察到的经革兰氏染色的酿酒酵母细胞(100×);
 c. 用荧光显微镜观察到的酿酒酵母细胞(100×), 红色荧光示液泡, 绿色荧光示细胞内某蛋白;
 d. 用扫描电子显微镜观察到的酿酒酵母细胞; e. 用透射电子显微镜观察到的酿酒酵母细胞

随着电子显微镜超薄切片技术的发展,在人们眼前逐渐呈现出一个崭新的细胞微观世界,为细胞生物学学科早期的形成奠定了基础。这些精细的细胞结构是怎样组成的?它们的功能是什么?这些结构又是如何相互协同完成各种复杂的代谢活动和生命过程的呢?这些问题仅靠超微形态学的研究是难以回答的。人类对细胞的探索也并没有停留在依靠显微镜进行的形态学观察和描述上。

1953年,美国科学家沃森(James Watson, 1928—)和英国科学家克里克(Francis Crick, 1916—2004)揭示了DNA分子双螺旋结构,随后又提出了遗传中心法则,标志着分子生物学这一新兴学科的问世。正是由于分子生物学概念与技术的引入,分子生物学、生物化学、遗传学等学科与细胞生物学之间相互渗透与结合,人们对细胞结构与功能的研究水平达到了新的高度。20世纪70年代以后,细胞生物学这一学科最后得以形成并发展。

回顾人们认识细胞的历程,细胞学说的建立和发展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。长期以来,农学和医学的实践是生物学的发展动力之一。对细胞进一步的深入探索将有助于人类更好地预防甚至治疗某些重大疾病,更好地解决人类面临的粮食和环境问题。随着克隆羊多莉的诞生、人类基因组计划的完成等,细胞生物学的发展迈入了一个崭新的阶段。对生命现象的研究和解释,也从对细胞静态的分析转向对细胞生命活动的动态综合研究。多领域、多学科的交叉研究已成为细胞生物学研究的重要特征,这就需要具有综合学科能力的人才不断加入研究队伍,共同去揭开生命的奥秘。

检测评价

科学家对细胞结构的认识随着显微镜的发明和改进而不断深入。1665年,胡克观察到木栓细胞轮廓(图①);1925年,威尔逊绘制出光学显微镜下的细胞(图②);1961年,布拉舍绘制了电子显微镜下的细胞模式图(图③)。



请回答下列问题:

- (1) 上述图片中的细胞,放大倍数由小到大依次是_____。
- (2) 实际上,图①中的细胞不是完整的细胞结构,只剩下“轮廓”,这是细胞的哪个结构?具有什么功能?
- (3) 图②、图③所示的细胞中能够清楚看到的结构有哪些?根据你学过的生物学知识,能否判断出这两种细胞是植物细胞还是动物细胞?说明判断的依据。



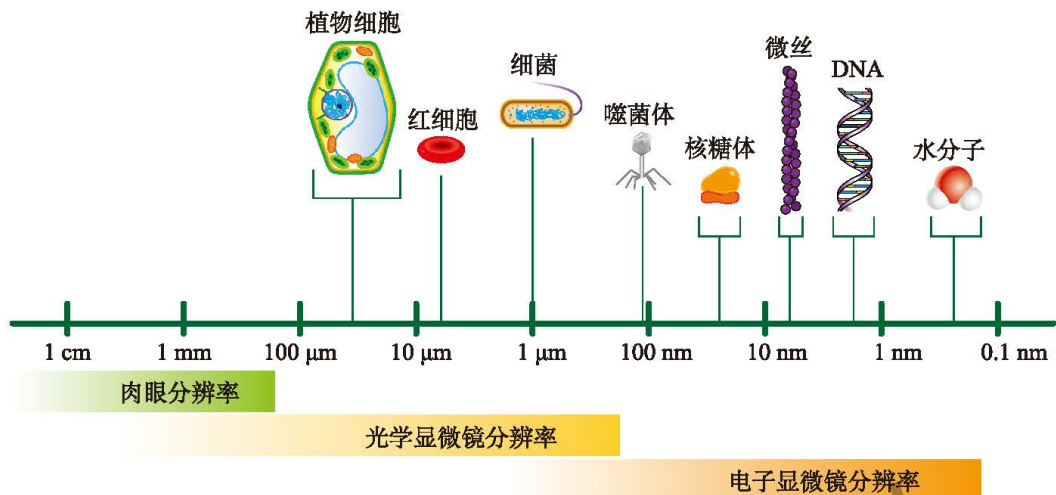
开阔眼界

显微镜的发展

同生物学其他分支学科一样,在细胞生物学的建立与发展中,技术的进步发挥了巨大的作用。没有显微镜的发明就不会有细胞的发现。

今天,人们可以利用新技术去揭示细胞的重大生命活动及其机制,然而人们

早期对细胞的认识仅能凭借简单的方法与工具。最早的生物学家靠剖开或切开来尝试观察组织内部构造。直到17世纪，显微镜的发明才使人们第一次观察到了细胞。下图比较了肉眼、光学显微镜、电子显微镜的分辨率。技术的发展与进步极大地提高了人们观察细胞精细结构的能力。



肉眼、光学显微镜、电子显微镜的分辨率



光学显微镜

20世纪30年代初，德国物理学家制作了世界上第一台电子显微镜——透射电子显微镜。从原理上看，这种显微镜与光学显微镜相似，但不同的是它是由一束电子而不是光来穿过样品。电子束的应用，使显微镜的分辨率显著提高。

20世纪60年代，扫描电子显微镜问世。这种显微镜是用极细的电子束在观察对象表面进行“扫描”，通过电子束与观察对象的相互作用得到立体图像信息。

近年来，冷冻电子显微镜（简称冷冻电镜）技术在研究生物大分子及细胞结构方面取得了突飞猛进的发展。冷冻电镜技术是指在低温下使用透射电子显微镜观察样品的显微技术。该技术可通过快速冷冻使蛋白质和其所在的水溶液迅速从溶液态转变为玻璃态，有效地保持蛋白质的天然结构状态；再利用透射电子显微镜获得样品多个角度的放大电子显微图像；最后通过计算机重构出样品的三维空间结构。2017年，生物学家杜波切特、弗兰克和亨德森因此项技术而获得了诺贝尔化学奖。



透射电子显微镜

第二节 细胞的多样性与统一性

有些生物仅由一个细胞构成，有些生物则由数百乃至万亿计的细胞构成。例如，成年人身体大约含有 10^{14} 个细胞，分为 200 多种不同的类型。从单细胞生物到多细胞生物，从植物到动物，它们的细胞结构究竟是什么样的？有哪些异同呢？



寻找证据 观察

使用高倍显微镜观察几种细胞

● 目的要求

1. 运用正确的方法制作临时装片。
2. 尝试使用高倍显微镜观察细胞。
3. 比较不同细胞的异同点，论证细胞的多样性和统一性。

● 材料用具

洋葱鳞片叶，口腔上皮细胞，酵母菌或草履虫，菠菜叶，神经细胞涂片；清水，质量分数为 0.9% 的 NaCl 溶液（生理盐水），碘液；显微镜，载玻片，盖玻片，镊子，滴管，吸水纸等。

● 方法步骤

1. 制作洋葱鳞片叶内表皮临时装片。在洁净的载玻片中央滴一滴清水，用镊子撕取洋葱鳞片叶内表皮，放入水滴中展平，盖上盖玻片。

2. 按图 1-5 所示方法，将制好的临时装片放在低倍显微镜下观察，找到细胞结构，换用高倍镜，仔细观察细胞各部分结构。在盖玻片一侧滴加碘液，另一侧用吸水纸吸引，反复几次使细胞染色，比较观察的效果。

⚠ 注意

进入实验室要遵守实验室规则，穿实验服，必要时带橡胶手套和护目镜。使用电器设备时要注意安全。取载玻片和盖玻片时要小心，碎玻璃片需回收指定容器。实验结束后必须洗手。



打开电源，调节光源亮度使视野明亮

在低倍镜下，调节粗准焦螺旋直至视野中物像清晰

使用移动手轮，将要观察的物像移至视野中央

转动转换器，换成高倍物镜

调节细准焦螺旋直至视野中物像清晰

图 1-5 高倍显微镜的使用方法

3. 制作其他生物材料的临时装片并观察。撕取叶表皮时，稍带叶肉的部分可以观察到叶肉细胞；制作人或动物材料的临时装片时，滴加生理盐水可以保持细胞的正常形态；也可以结合不同组织细胞的永久性玻片标本进行观察，比较细胞的形态和结构。
4. 记录不同细胞的特征，绘制细胞图像。

根据观察获得的信息，思考下列问题：

1. 你观察到了哪些细胞？描述它们在形态和结构上的差异，并分析造成差异的原因。
2. 不同细胞之间有没有共性呢？归纳所观察到的细胞在结构上的共同点。

通过实验观察，我们发现酵母菌和草履虫仅由一个细胞构成。如果观察活的草履虫，我们还会在显微镜下看到草履虫运动、摄食以及对外界刺激做出反应等生命活动。而洋葱和菠菜，虽然我们观察的只是完整植物体的一小部分，但已经可以看到许许多多的细胞了。观察洋葱鳞片叶，能够看到其内表皮由许多细胞紧密排列构成（图 1-6）。当我们对洋葱不同部位鳞片叶表皮细胞进行观察时，会发现越靠外侧的表皮细胞越大，这是细胞生长的结果。同样是表皮，菠菜叶上表皮细胞（图 1-7）的形态与洋葱鳞片叶内表皮细胞就不同，但排列也很紧密。洋葱鳞片叶有储藏营养物质的功能，表皮细胞无色透明，叶肉细胞为白色。菠菜叶片能够进行光合作用，表皮细胞无色透明，以便光线透过表皮，叶肉细胞是绿色的；而且表皮上分布有大量双肾形保卫细胞构成的气孔，气孔是植物叶片上气体进出和水分排出的通道，保卫细胞可通过形态变化控制气孔开闭，以此控制物质的进出。可见，有些生物体只有一个细胞，而有的由很多细胞构成，这些细胞形态和功能多样。



图 1-6 洋葱鳞片叶内表皮细胞（100×）



图 1-7 菠菜叶上表皮细胞（400×）

洋葱鳞片叶内表皮的细胞和菠菜叶上表皮的细胞均紧紧地排列在一起，这与表皮的保护功能相适应。人口腔上皮细胞（图 1-8）呈扁平形，在口腔内表面层层叠叠、紧密排列，也起着保护作用。人和动物的神经细胞（图 1-9）则具有细长的“突起”，与其产生和传导兴奋、实现机体内的信号传递功能相适应。不同生物体的细胞在形态上存在差异，同一生物体构成不同组织或器官的细胞形态也有很大差别，这都与细胞本身的功能有关。不同生物执行同样功能的细胞，往往具有相同或相近的形态结构。

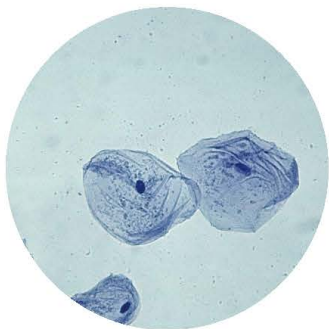


图 1-8 人口腔上皮细胞 (400×)



图 1-9 神经细胞 (14×)

尽管不同生物体由数目不同的细胞构成，其中多细胞生物体的不同组织细胞形态和功能也有很大差别，但是我们可以看到，上述细胞都具有相似的基本结构——细胞膜、细胞质和细胞核。在显微镜下，细胞膜构成细胞的边界，细胞核颜色较深，细胞膜和细胞核之间的内容物是细胞质，它们分工合作，共同维持细胞的形态和功能。

实践应用 讨论

利用细胞形态观察辅助疾病诊断

随着人们对微观世界的好奇心与日俱增，显微观察技术不断发展，人们观察到了多种多样的细胞。对细胞形态、结构的观察可以为某些疾病的检测和诊断提供依据。

传染性单核细胞增多症是由 EB 病毒（一种人类疱疹病毒）感染造成淋巴细胞异常而导致的疾病。被感染的淋巴细胞与正常淋巴细胞在形态、结构、功能上具有很大差异（图 1-10），因此，在临床诊断上常以镜检异型淋巴细胞比率作为该病确诊的判断依据之一。

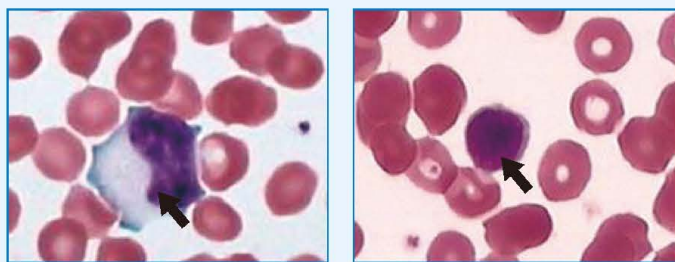


图 1-10 人血细胞涂片 (400×)

左图箭头示被 EB 病毒感染的淋巴细胞，右图箭头示正常淋巴细胞

对细胞形态、结构甚至功能的观察和比较是一种重要的研究方法。请你查阅资料，和同学交流、讨论还有哪些疾病可以通过镜检细胞进行诊断。

检测评价

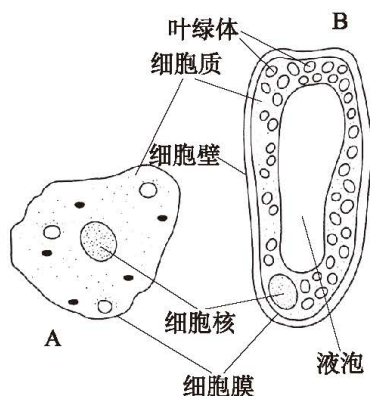
右图是某位同学在实验课上绘制的在高倍镜下观察到的两个细胞的模式图，请仔细观察并回答下列问题：

(1) A、B 细胞哪个是植物细胞，哪个是动物细胞？它们具有哪些共同的基本结构？

(2) “观察”是生物学研究的重要方法之一，基于大量的观察，人们才能逐步建立对世界的科学认知。在取材、制作临时装片时，需要注意哪些操作，才能清晰地观察到细胞？

(3) 在观察人体细胞时，我们发现神经细胞、红细胞、口腔上皮细胞、肌细胞在形态结构上有很大差异。其中哪种细胞与上面模式图中的 A 细胞最相近？分析其他三种细胞的形态与各自功能的关系。

(4) 施莱登和施旺基于对不同细胞的观察，提出了_____，其内容能否为“生物起源于共同的祖先”这一观点提供支持？请说明理由。



开阔眼界

初识病毒

20 世纪初，人们注意到很多动植物的病害并非由细菌或真菌引起。1935 年，美国生物化学家用了上吨的烟草病叶，提取到了一小匙在显微镜下看起来是针状结晶的物质，这就是烟草花叶病毒 (TMV)。此后人们对病毒才展开深入研究。

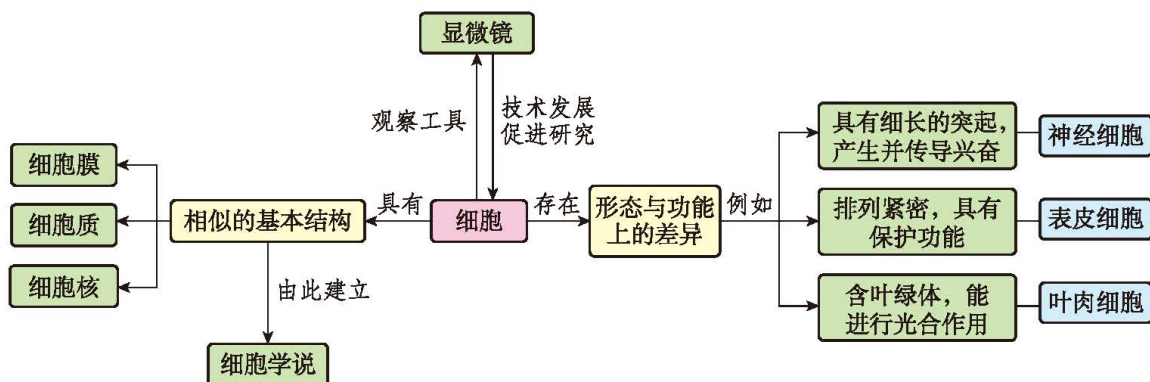
起初，科学家推测 TMV 是蛋白质，但是随着研究不断深入，两位细心的英国生物化学家发现纯化的 TMV 制品并不是纯蛋白质，其中含有 5% 的核酸。由此构成的病毒“颗粒”极其微小，比细菌还要小得多，可以通过细菌过滤器，只能用电子显微镜观察，其结构简单到根本就不具有“细胞”结构。

那么，病毒是不是生物呢？病毒的发现对我们理解“细胞学说”又有怎样的影响呢？由于病毒似乎是介于生命与非生命之间的一种物质形式，也有人称其是边缘生命。事实上，病毒游离于细胞之外时不能复制，不表现生命特征，只以一种有机物的物质形式存在，但病毒进入细胞之后，就借助宿主细胞的原料、能量和代谢系统制造出自身的核酸和蛋白质，最后装配成结构完整、具有侵染能力的病毒，并从被感染的宿主细胞中释放出来。可以说，病毒的“生命”离不开宿主细胞。

流感病毒、狂犬病病毒、人类免疫缺陷病毒 (HIV) 和新型冠状病毒 (2019-nCoV) 等对人类健康会造成很大危害。同时，病毒也可以被改造和利用。例如，以某些改造过的病毒作为载体，将治疗目的基因转入人体，进行基因治疗。

本章小结

● 基础知识梳理



人类借助显微镜观察发现, 有些生物体只有一个细胞, 有些生物体由很多细胞构成。不同生物的细胞形态、结构和功能存在差别, 同一生物体的不同细胞也各不相同。形态和功能多样的细胞, 都具有相似的基本结构——细胞膜、细胞质和细胞核。“细胞学说”阐明了动植物都以细胞为基本单位, 论证了生物界的统一性, 也为生物生命起源和进化理论提供了重要的证据。

● 学科素养提示

结合科学家建立“细胞学说”的过程, 通过初步观察典型的动物、植物和真菌细胞, 说明细胞具有多种形态和功能, 但同时又具有相似的基本结构, 举例说明细胞微观结构的科学探究过程一直伴随着显微镜技术的不断发展。关注细胞观测技术的新进展, 分析并阐述人们探索细胞的静态结构及其动态变化对认识生命世界的推动作用。

第 2 章

细胞的结构与功能

一个微小的细胞，就是一个相对独立的生命系统，同时又与机体的其他细胞密切联系共同完成各种生命活动。数以万亿计的细胞在功能上相互协调、密切配合，需要极其精细的结构。在肉眼难以看到的细胞内，有着怎样的微观世界呢？让我们通过显微观察和细胞学实验来探索吧！



学习目标

1. 在理解细胞各部分结构既分工又合作，共同执行细胞的各项生命活动的基础上，形成结构与功能观等生命观念，能够解释细胞水平的各项生命活动。
2. 对细胞结构的观察结果进行归纳和概括，基于质壁分离等探究实验的结果和科学家的研究资料进行演绎推理，构建细胞模型，据此表征和阐释细胞的生命活动。
3. 针对与细胞结构、功能相关的现象提出问题，对细胞的结构进行观察，并通过实验探究和资料搜集来获得证据，分析细胞结构与功能之间的关系。
4. 主动关注细胞结构与功能方面的科学进展，结合人工生物膜的应用、辅助生殖等领域的知识对相关社会事务进行讨论，尝试分析合理灌溉和施肥、硅肺病的防治等社会生产和健康生活中的相关问题。

第一节 质膜

人类社会中有许多开放而有序的系统，如学校、医院。这些系统既要与外界有所分隔，又要方便人员和各种物资进出，因此围墙和大门都必不可少。细胞也是一个开放而有序的系统，需要不断与外界进行物质、能量和信息的交流与转换。细胞也有自己的“围墙”和“大门”吗？

一 质膜的结构与功能

用光学显微镜观察细胞，会发现细胞与外界环境之间有清晰的界限，但限于光学显微镜的分辨率，我们无法看到作为细胞边界的特定结构。科学家用微细的探针向细胞内刺入时，看到细胞表面出现凹陷（图 2-1），同时还感受到了阻力。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存在一层薄膜，这层膜被命名为质膜（plasma membrane），也就是我们所说的细胞膜。质膜有什么特性和功能呢？

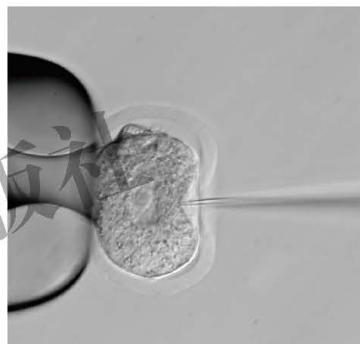


图 2-1 细胞在受到针刺时表面出现凹陷（400×）

质膜具有一定的流动性



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注质膜的成分和结构特征。

资料 1. 科学家以植物的根毛为实验材料，用 500 多种化学物质进行了上万次的实验，发现脂溶性的物质更易进入根毛细胞。后来，科学家对哺乳动物的成熟红细胞和其他几种细胞的质膜进行成分分析，得到表 2-1 所示结果。

表 2-1 几种生物质膜的主要成分（质量分数/%）

细胞类型	蛋白质	磷脂	固醇	糖类等其他成分
哺乳动物红细胞	49	33	10	8
玉米叶肉细胞	47	26	7	20
大肠杆菌	75	25	0	0

科学家将人红细胞质膜中的磷脂提取出来，在空气-水界面上铺成单分子层，测得其所占面积约是红细胞表面积的2倍。

资料2. 电镜照片显示出质膜具有3层结构：两侧着色较深，称为暗带，平均厚度约为2 nm；中间层着色较浅，称为亮带，厚度约为3.5 nm（图2-2）。利用冷冻蚀刻技术观察质膜的断裂面，可以看到蛋白质像鹅卵石一样镶嵌在质膜中（图2-3）。

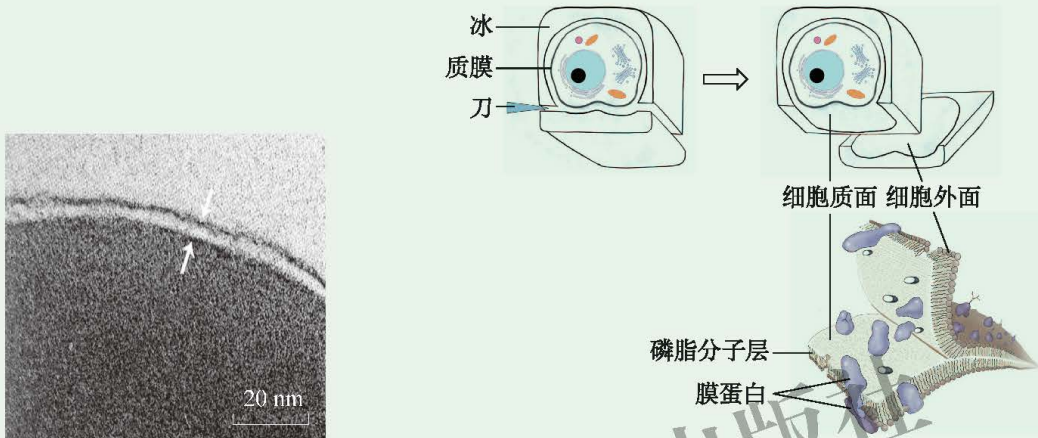


图 2-2 红细胞质膜的透射电镜照片

图 2-3 冷冻蚀刻技术观察细胞质膜断裂面示意图

资料3. 科学家用荧光分子标记细胞的膜蛋白，然后用高能激光束照射质膜的某一区域，使该区域内的荧光分子发生不可逆的破坏，这一区域称为光漂白区。继续观察，可以发现光漂白区逐渐重新出现荧光（图2-4）。

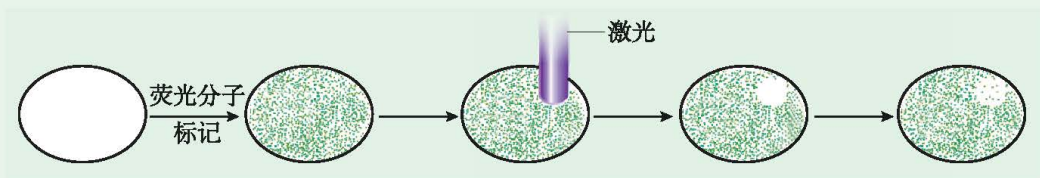


图 2-4 质膜荧光漂白恢复实验示意图

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 质膜的主要成分是什么？质膜中含有几层磷脂分子？脂溶性物质更易进入细胞的原因是什么？
2. 资料2中的质膜电镜观察结果说明蛋白质分子在质膜中是怎样排布的？它们可能承担哪些功能？
3. 资料3中光漂白区重新出现荧光的原因是什么？质膜是静态的还是有一定流动性的？

重要的生理意义，细胞的生长、分裂、运动、分泌、内吞和细胞间的融合等生命活动的实现都依赖于质膜的流动性。

质膜的外表面还具有呈链状的寡糖分子。糖链或者与膜蛋白连接形成糖蛋白，或者与磷脂分子连接形成糖脂。糖蛋白可以介导细胞间或细胞与胞外基质间的识别、黏附等，众多的糖链还可以作为细胞的保护性屏障。动物细胞质膜的脂双层中包埋有胆固醇分子，胆固醇能够调节质膜的流动性，增加质膜的稳定性。

真核细胞内部存在由膜围绕构建的细胞核和线粒体、叶绿体等细胞器。核膜和各种细胞器膜与质膜具有共同的结构特征，它们统称为生物膜（biomembrane）。

质膜控制物质进出

作为最基本的生命系统，细胞既要维持内部成分和结构的稳定有序，又要不断从胞外获得物质和能量，排出代谢废物和某些细胞产物，还要根据外界信息随时调整自身的生命活动状态。这些问题的解决都离不开质膜。

细胞内、外都是水溶液环境，质膜脂双层内部的疏水区域能够阻挡水溶性物质随意进出细胞，而众多与物质转运有关的蛋白质则能够控制物质进出，维持细胞内部环境的相对稳定。

质膜参与细胞间的信息交流

质膜还能够应答胞外信号，引发细胞对信号刺激的反应，在细胞间的信息交流中发挥着重要作用。细胞之间既可以通过分泌与接收信号分子交流信息，也可以通过质膜接触交流信息，有些情况下相邻细胞间还可以建立通道，借助通道进行信息传递（图 2-7）。多种多样的信息交流方式，保证了细胞间的协调配合，使多细胞生物体成为一个统一的生命整体。

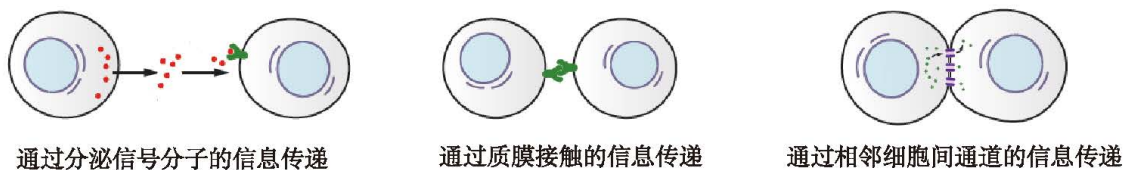


图 2-7 细胞间信息交流的几种方式

综上所述，细胞都由质膜包裹，质膜将细胞与其生活环境分开，能控制物质进出，并参与细胞间的信息交流。

植物细胞在质膜外具有由纤维素和果胶等成分交联成的网架状的细胞壁（cell wall）（图 2-8）。细胞壁对细胞起支持和保护作用，溶于水的物质都可以自由通过细胞壁。

现代社会中，关于质膜的研究成果已经在很多领域投入了应用。将少量磷脂分子分散到水溶液中，这些磷脂分子会自发组装成充满液体的脂双层，我们将其称为脂质体。脂质体既可用于研

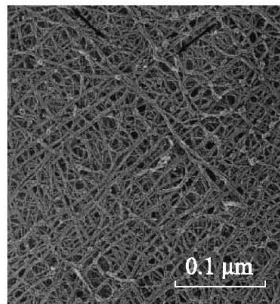


图 2-8 扫描电镜下的植物细胞的细胞壁

究特定膜蛋白的功能，又可以作为运载体，将药物或 DNA 分子运送到细胞内（图 2-9）。

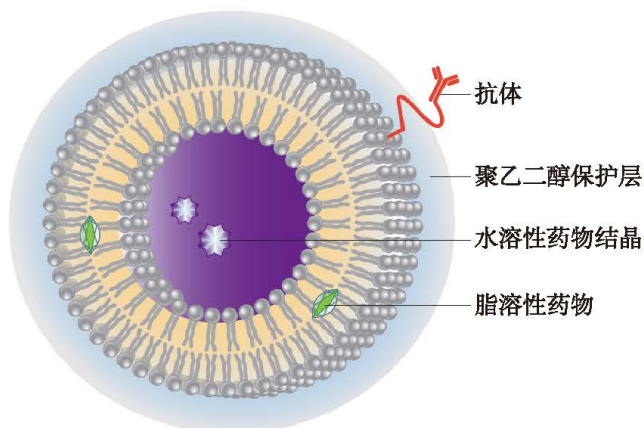


图 2-9 运输药物的脂质体

科研人员还模拟质膜的结构和功能，制作了各种各样的人工生物膜，有的可用于海水淡化处理，有的可用于肾功能衰竭患者的血液透析治疗，还有的可用于食品工业中浓缩果蔬汁和酱汁的制作等，解决了人类生产、生活中的很多难题。

实践应用 实验

验证酵母细胞质膜的功能

● 目的要求

1. 利用台盼蓝染色法检测细胞活性。
2. 比较酵母菌死细胞和活细胞的质膜透性。
3. 阐明质膜具有控制物质进出细胞的功能。

● 实验原理

正常活细胞的质膜能够阻止台盼蓝染料进入细胞。细胞损伤或死亡后，质膜的选择透过性丧失，台盼蓝可进入细胞，使细胞呈现蓝色。

● 材料用具

干酵母；质量分数为 5% 的葡萄糖溶液，质量分数为 0.4% 的台盼蓝染色液；50 mL 烧杯，50 mL 量筒，10 mL 量筒，天平，铁架台，石棉网，酒精灯，火柴，滴管，载玻片，盖玻片，吸水纸，显微镜等。

● 方法步骤

1. 用天平称取 2 g 干酵母，加到 48 mL 质量分数为 5% 的葡萄糖溶液中，在 25~35℃ 的环境中培养 12 h。
2. 将培养好的酵母菌菌液平均分成两份，其中一份标记为 A 组，用酒精灯煮沸 5 min；另一份标记为

⚠ 注意

正确组装加热装置，加热结束后及时熄灭酒精灯，以防失火。

B组，不进行处理。

3. 从A组和B组酵母菌菌液中各取出9 mL，分别与1 mL质量分数为0.4%的台盼蓝染色液混合。

4. 在与染色液混合后3 min内，分别在显微镜下观察A组和B组酵母菌的颜色。

● 思考讨论

1. A组和B组酵母菌的染色结果有什么不同？据此可以得出什么结论？
2. 若A、B两组细胞均被染色，可能的原因是什么？

检测评价

1. 不同生物细胞的质膜都可以用“流动镶嵌模型”进行描述，当细胞所处温度降低到一定程度，质膜会发生相变，从流动的液晶态转变为固化的凝胶态。请回答下列问题：

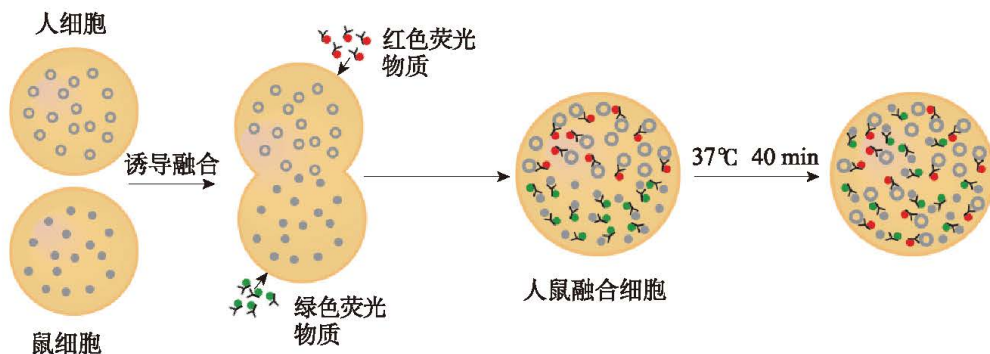
(1) 白细胞能识别并吞噬绿脓杆菌，这一现象能说明()。

- A. 质膜具有一定流动性
- B. 质膜能分隔细胞与胞外环境
- C. 脂双层构成质膜的基本骨架
- D. 质膜的主要成分是磷脂和蛋白质

(2) 科学家发现质膜中脂肪酸链的不饱和度越高，质膜的相变温度越低。下列相关叙述不正确的是()。

- A. 质膜中的脂肪酸链主要位于磷脂分子中
- B. 维持流动的液晶态是实现质膜功能的必要前提
- C. 植物细胞的质膜中不饱和脂肪酸含量越高，耐寒性越强
- D. 耐寒物质膜中的脂肪酸饱和度较高，且质膜的流动性也较高

2. 1970年，科学家人工诱导体外培养的小鼠细胞与人细胞发生细胞融合，然后用红色和绿色荧光物质分别标记人、小鼠细胞质膜上的特定蛋白质，在荧光显微镜下观察融合细胞质膜上的荧光定位，结果如下图所示。



请回答下列问题：

- (1) 人、鼠细胞能够相互融合，依赖于质膜的_____。
- (2) 根据上述实验结果能够得出什么结论？
- (3) 不同细胞的质膜中膜蛋白种类与含量是否相同？请举例说明。

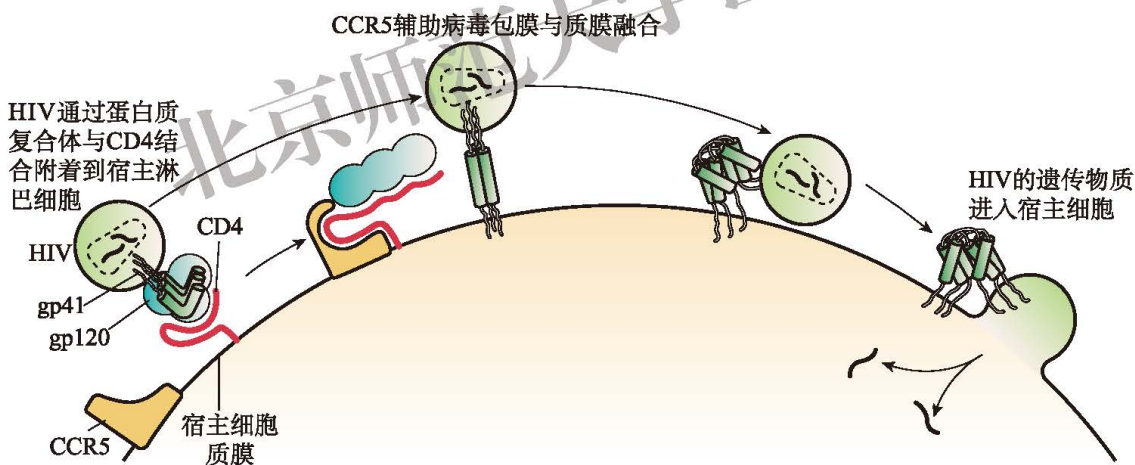


开阔眼界

治疗艾滋病的新思路——改造质膜

艾滋病是对人类危害极大的一种传染病，迄今我们仍然没有找到有效治疗艾滋病的方法。引发艾滋病的 HIV 专性寄生在人体 T 淋巴细胞内，病毒的大量增殖会导致患者免疫功能崩溃，使人最终死于各种病原体的感染或恶性肿瘤。

HIV 表面有一种名为 gp41-gp120 的蛋白质复合体，它能与 T 淋巴细胞表面的 CD4 蛋白发生特异性结合，再在 T 淋巴细胞质膜中的 CCR5 蛋白辅助下，使病毒包膜与质膜融合，遗传物质最终进入 T 淋巴细胞。



HIV 侵染宿主细胞示意图

人群中有些“幸运儿”天生就具有对 HIV 的抵抗力，因为他们带有突变型的 CCR5 基因，其 CCR5 蛋白不会辅助 HIV 的侵染。布朗是一名艾滋病患者，后来又不幸患上了白血病。为了治疗白血病，布朗在 2007 年接受了造血干细胞移植。幸运的是，干细胞捐献者正是一位 CCR5 基因突变者，布朗的白血病和艾滋病都被治愈了。这一病例启发了研究人员：如果破坏掉艾滋病患者 T 淋巴细胞的 CCR5 基因，对质膜进行改造，就有望治愈艾滋病。也许在不久的将来，通过合理使用生物技术，人类能够实现征服艾滋病的梦想。

二 物质进出细胞的方式

人体消化道中的食物被消化后形成的小分子营养物质进入小肠上皮细胞，消化后剩余的食物残渣则无法进入，可见人体消化系统的细胞能够控制物质进出。质膜是怎样实现这一功能的呢？

水通过渗透作用进出细胞



寻找证据 实验

探究植物细胞的吸水和失水方式

● 目的要求

1. 尝试制作一个渗透装置，模拟探究水通过质膜的渗透过程。
2. 观察植物细胞的质壁分离和复原现象，探究植物细胞吸水和失水的条件。
3. 类比分析植物细胞渗透吸水 and 失水的方式。

● 实验原理

洋葱鳞片叶内表皮等薄膜状生物组织只由单层或少数几层细胞组成，因此可利用这一类生物组织模拟质膜，通过模拟实验来探究质膜的透性。

成熟的植物细胞具有中央大液泡，液泡内的细胞液中溶解了各种溶质。在细胞液和细胞外界溶液之间具有液泡膜、细胞质和质膜，这3种结构可以被看作一个整体，称为原生质层（图2-10）。细胞壁的伸缩性远小于原生质层。

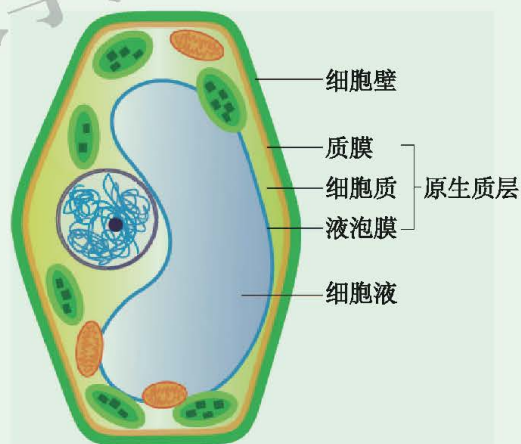


图 2-10 植物细胞原生质层示意图

● 材料用具

紫色的洋葱鳞片叶，黑藻叶片；质量分数为30%的蔗糖溶液，蒸馏水，红墨水，质量分数分别为5%和10%的NaCl溶液，体积分数为15%的甘油，质量分数为6%的KNO₃溶液；250 mL烧杯，长颈漏斗，铁架台，刀片，镊子，滴管，载玻片，盖玻片，吸水纸，显微镜等。

● 方法步骤

1. 模拟探究质膜的透性

(1) 取一片较大的洋葱鳞片叶，撕取完整的内表皮，用其封住长颈漏斗的漏斗口。

(2) 在漏斗中注入蔗糖溶液，并加入少许红墨水，使其呈红色。

(3) 将漏斗浸入盛有蒸馏水的烧杯中，使漏斗中液面与蒸馏水液面齐平(图2-11)。

(4) 静置一段时间后，观察烧杯中蒸馏水的颜色变化以及长颈漏斗的液面变化。

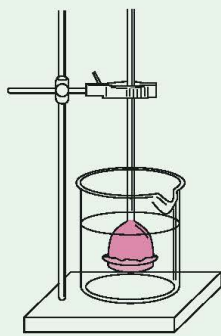


图2-11 模拟探究质膜透性的实验装置

2. 观察植物细胞的质壁分离和复原

(1) 制作洋葱鳞片叶外表皮的临时装片，然后在低倍镜下观察，注意观察质膜的位置和中央液泡的大小。

(2) 用引流法(图2-12)将临时装片中的清水换成质量分数为30%的蔗糖溶液，观察质膜的位置和中央液泡的大小是否发生变化。

(3) 再用引流法将临时装片中的蔗糖溶液换成清水，再次观察质膜的位置和中央液泡的大小是否发生变化(图2-13)。



图2-12 引流法操作图



图2-13 洋葱鳞片叶外表皮细胞的质壁分离(左)和复原(右)(100×)

(4) 用黑藻叶片替代洋葱鳞片叶外表皮制作临时装片，从NaCl溶液、甘油和KNO₃溶液中任选一种替代蔗糖溶液，重复步骤(2)和(3)。

根据实验获得的信息，思考下列问题：

1. 长颈漏斗内液面发生了怎样的变化？说明了什么？
2. 植物细胞在质量分数为30%的蔗糖溶液中发生了什么现象？换为清水后又发生了什么现象？据此可得出什么结论？
3. 在你们小组选用的溶液中，植物细胞发生了什么现象？如何解释这种现象？

长颈漏斗内液面升高，说明水分子从烧杯进入了漏斗，而蔗糖分子不能从漏斗进入烧杯，洋葱鳞片叶内表皮具有选择透过性。如果把洋葱鳞片叶内表皮换成孔径很小、仅容水分子穿过而蔗糖分子不能穿过的半透膜，也会观察到同样的现象。这是因为半透膜一侧单位体积溶液中溶质微粒数多，渗透压较高，而半透膜另一侧的溶液渗透压较低，单位时间内由低渗溶液穿膜进入高渗溶液的水分子数多于反向移动的水分子数，最终导致高渗溶液的水量增加。这种水分子从低渗溶液通过半透膜向高渗溶液扩散的现象叫

作渗透作用 (osmosis) (图 2-14)。

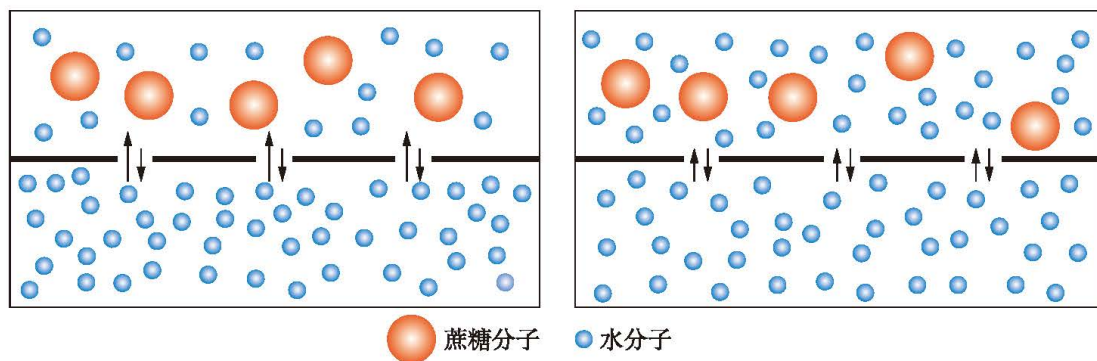


图 2-14 渗透作用示意图

当外界溶液渗透压高于植物细胞的细胞液渗透压时, 单位时间内从细胞液进入外界溶液的水分子比从外界溶液进入细胞液的水分子多, 导致细胞失水收缩, 原生质层与细胞壁分开, 植物细胞发生质壁分离。当外界溶液渗透压低于质壁分离细胞的细胞液渗透压时, 从外界溶液进入细胞液的水分子比从细胞液进入外界溶液的水分子多, 原生质层与细胞壁恢复贴合, 细胞发生质壁分离复原。植物细胞在一定浓度的甘油或 KNO_3 溶液中发生质壁分离后会自动复原, 这是因为甘油分子、 K^+ 和 NO_3^- 能够进入细胞液, 导致细胞液渗透压升高, 细胞吸水复原。

可见, 植物细胞的原生质层能选择性地控制水分子和溶质分子进出细胞液, 植物细胞通过渗透作用吸水和失水。

动物细胞也通过渗透作用吸水和失水。动物细胞没有大液泡, 其质膜也是选择透过性膜。当外界溶液渗透压低于细胞内溶液时, 细胞吸水膨胀。由于缺少细胞壁的保护, 细胞吸水过多时将导致涨破。当外界溶液渗透压高于细胞内溶液时, 细胞失水皱缩。只有细胞内和细胞外溶液的渗透压相同时, 水分子进出细胞处于动态平衡状态, 细胞才能维持正常的形态 (图 2-15)。

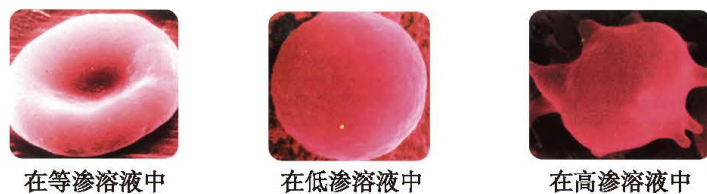


图 2-15 人体红细胞在不同渗透压溶液中的形态

人体细胞只有在等渗溶液中才能维持正常的形态, 所以在日常生活中, 我们要注意摄入适量的水分。例如, 在大量出汗后要及时补充淡盐水, 腹泻后要饮用补盐液, 防止脱水。输液时医护人员通常用质量分数为 0.9% 的 NaCl 溶液或者质量分数为 5% 的葡萄糖溶液溶解药物, 这也是为了保持血浆的正常渗透压。

植物的根毛细胞通过渗透作用从土壤中吸收水分, 所以在农作物栽培过程中, 要适

时、适量地灌溉。施肥时要对肥料进行充分稀释，以避免土壤溶液渗透压过高，造成作物失水萎蔫（图 2-16）。大型超市里的蔬菜货架上往往带有喷水装置，可以定时喷出水雾，防止蔬菜失水，保持蔬菜挺拔、舒展的姿态（图 2-17）。



图 2-16 施肥过量造成的植物萎蔫



图 2-17 蔬菜货架上的喷水装置

微生物细胞也通过渗透作用吸水。如果将食品糖渍、盐渍或者干制，就可以使微生物难以从食品中获取水分，增殖缓慢，从而延长食品的保存期。

离子与小分子通过被动运输或主动运输进出细胞



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注相关物质的过膜方式。

资料 1. 科学家研究不含蛋白质的人工脂双层对不同物质的通透性，结果如图 2-18 所示。

资料 2. 科学家发现红细胞吸收葡萄糖的速率随着胞外葡萄糖浓度的提高而提高，但葡萄糖浓度超过一定阈值后，吸收速率不再提高。后来，科学家从红细胞质膜中分离出一种膜蛋白 A，将其插入人工脂质体的膜后，葡萄糖穿过脂质体膜的速率大大提高，而且总是从高浓度一侧转移到低浓度一侧。

资料 3. 一般情况下，哺乳动物细胞内的 K^+ 浓度约为 100 mmol/L ， Na^+ 浓度为 $10 \sim 20 \text{ mmol/L}$ ，细胞外 K^+ 浓度只有约 5 mmol/L ， Na^+ 浓度却高达 150 mmol/L ，然而细胞仍然能够吸收 K^+ 、排出 Na^+ 。科学家从质膜上分离出一种膜蛋白 B，这种蛋白质

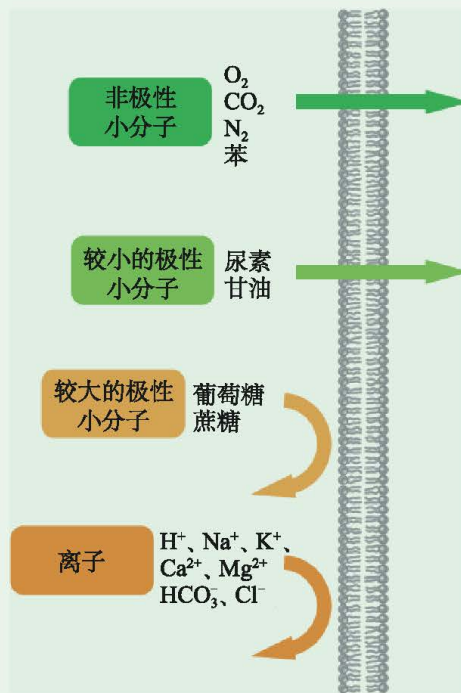


图 2-18 人工脂双层对不同物质的相对透性

在发挥作用过程中会不断消耗细胞代谢产生的能源物质。如果用药物特异性地抑制蛋白质 B 的功能，细胞就不能吸收 K^+ 、排出 Na^+ 了。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 非极性的小分子很容易穿过人工脂双层，这说明了什么？它们穿过脂双层的方向是由什么决定的？
2. 葡萄糖分子和各种离子不易穿过人工脂双层的原因是什么？资料 2 中膜蛋白 A 的功能是什么？红细胞吸收葡萄糖的最大速率取决于什么？
3. 资料 3 中膜蛋白 B 的功能是什么？它在工作过程中需要不断消耗能源物质的原因是什么？
4. 红细胞吸收 O_2 、葡萄糖和 K^+ 这 3 种物质的方式有什么区别？

质膜的脂双层构成了一个疏水的屏障，葡萄糖等较大的极性分子和各种离子很难穿过这个屏障。然而 O_2 、 CO_2 、苯等非极性小分子和甘油、尿素等较小的极性小分子可以溶解在脂双层中，从相邻的磷脂分子之间穿过。因此，这些物质可以通过简单的扩散作用穿过质膜，从高浓度一侧到达低浓度一侧，这种物质跨膜运输的方式叫作自由扩散（free diffusion）（图 2-19a）。细胞生命活动过程中获取 O_2 和排出 CO_2 都依赖于自由扩散。

哺乳动物红细胞需要不断从血浆中吸收葡萄糖。红细胞质膜上有一类跨膜的载体蛋白，可与膜一侧溶液中的葡萄糖结合，然后蛋白质空间结构改变，将葡萄糖转运到膜的另一侧并释放出去（图 2-19b）。从细胞整体上看，葡萄糖总是从高浓度一侧向低浓度一侧跨膜运输，而且转运速率随膜两侧浓度差的增大而提高，但是由于受到质膜上葡萄糖载体蛋白数量的限制，葡萄糖的跨膜运输速率达到一定数值后就不再提高了。

质膜中还有被称为“通道”的膜蛋白，如神经细胞质膜上有 Na^+ 通道、 K^+ 通道等离子通道，给特定离子提供了跨膜扩散的途径（图 2-19c）。很多离子通道的开放和关闭是可控的。

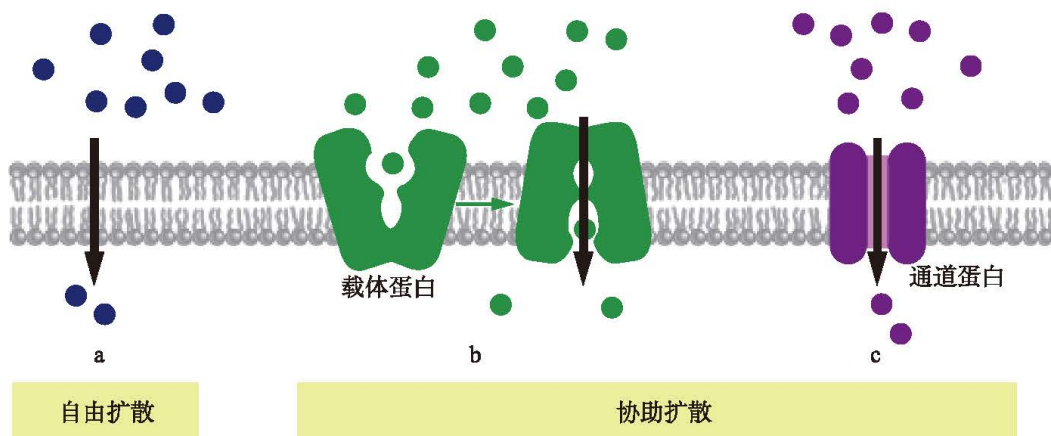


图 2-19 被动运输示意图

物质借助于质膜上的载体蛋白或通道蛋白，顺浓度梯度进出细胞的方式叫作协助扩散（facilitated diffusion）。

自由扩散和协助扩散的本质都是扩散。物质顺浓度梯度进出细胞，不需要额外提供能量，因此它们统称为被动运输（passive transport）。

哺乳动物细胞生活过程中需要不断吸收 K^+ 和排出 Na^+ ，以维持细胞质膜内外正常的电位差，保证细胞的某些特定功能得以实现。 Na^+ 和 K^+ 的转运依赖于质膜中名为钠钾泵的载体蛋白（图 2-20）。



小资料

渗透作用的实质

科学家从人的红细胞质膜上分离出一种跨膜蛋白，将这种蛋白质嵌入脂质体中，脂质体在低渗溶液中吸水膨胀的速率大大提高，这种蛋白质被命名为水通道。水分子进出细胞时，既可以直接穿过脂双层，也可以穿过水通道，因此渗透作用的实质是水的自由扩散和协助扩散的叠加。

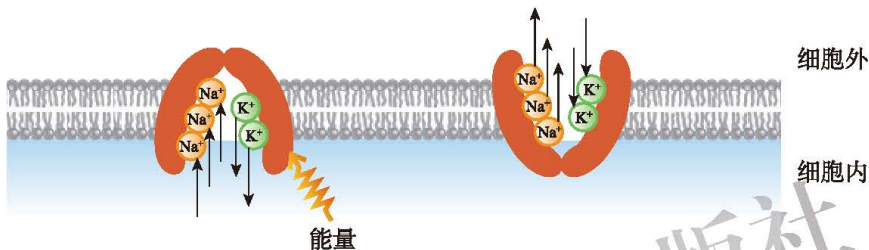


图 2-20 钠钾泵转运 Na^+ 、 K^+ 过程示意图

就像推小车上坡需要克服重力的阻碍一样，载体蛋白逆浓度梯度进行物质跨膜运输也要克服一定的阻力，因此需要消耗细胞代谢产生的能量，这种物质进出细胞的方式叫作主动运输（active transport）（图 2-21）。主动运输的物质逆浓度梯度进出细胞，需要能量和载体蛋白。

主动运输能保证活细胞根据自身需求选择性地吸收或者排出特定的物质，因此，对于维持细胞生命活动的稳态具有特别重要的意义。例如，一般情况下土壤溶液中矿质元素离子的浓度都比细胞液中相应离子的浓度低，然而根毛细胞可以通过主动运输吸收自己需要的离子。类似地，人体小肠上皮细胞也可以通过主动运输从肠腔中吸收葡萄糖等营养物质。

即使是同一种物质，在不同细胞中或者同一细胞的不同位置，其跨膜运输的方式也可能不同，与细胞功能和细胞所处状况相适应。

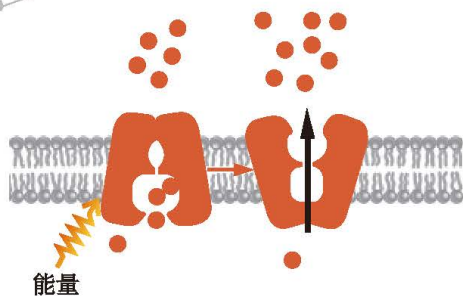


图 2-21 主动运输示意图

大分子物质通过胞吞与胞吐进出细胞

像蛋白质这样的大分子物质，或者更大的颗粒性物质是无法穿过质膜的。那么，人体的巨噬细胞是怎样吞噬细菌的？胰腺细胞等消化腺细胞又是怎样分泌消化酶的呢？

大分子物质在进入细胞之前，先附着在质膜上，之后质膜内陷形成小泡。小泡把大

分子物质包裹在其中，脱离质膜进入细胞，这一过程叫作胞吞（endocytosis）（图 2-22）。大多数情况下，大分子物质被质膜上的受体识别之后才能以胞吞的方式进入细胞。

大分子物质在被排出细胞之前，被包裹在小泡腔内。小泡移动到质膜处，与质膜发生融合，形成一个朝向胞外的开口，将腔内的物质排到胞外，这一过程叫作胞吐（exocytosis）（图 2-23）。

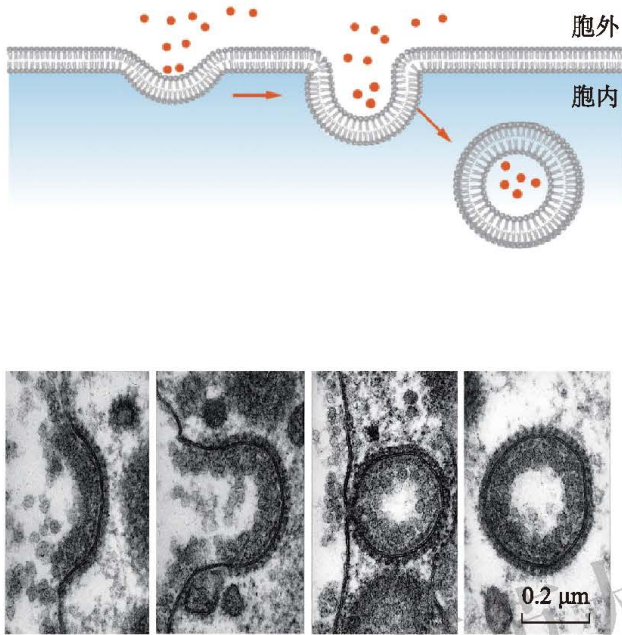


图 2-22 鸡卵母细胞通过胞吞摄入脂蛋白颗粒

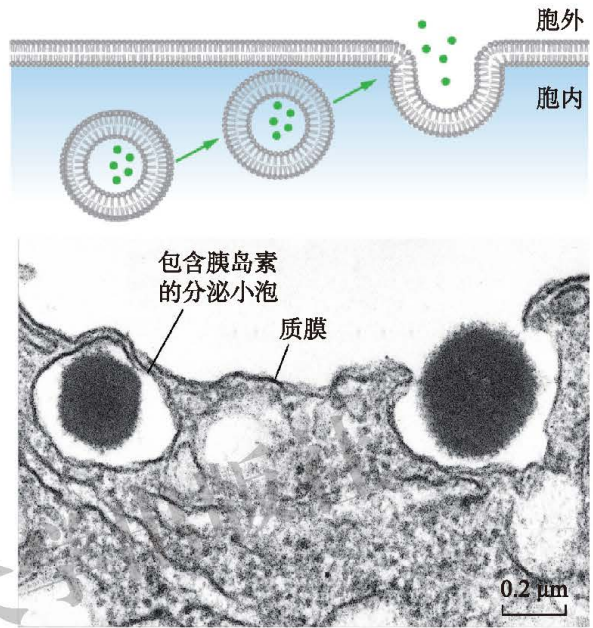


图 2-23 胰岛 B 细胞通过胞吐释放胰岛素

鸡卵母细胞通过胞吞摄入脂蛋白颗粒和胰岛 B 细胞通过胞吐释放胰岛素，说明大分子物质可以通过胞吞、胞吐进出细胞。

胞吞和胞吐都需要消耗细胞代谢产生的能量。

综上所述，质膜在使活细胞与周围环境分隔开的同时，还提供了一个选择性透过的屏障。质膜借助于特定的载体蛋白和受体，既允许特定的小分子和大分子进出，又阻止其他物质通过，形成了适宜细胞生活的内部环境。因此，选择透过性是质膜最显著的功能特性。

胃液 pH 的正常范围是 0.9~1.8，这是因为胃黏膜内某种细胞的质膜上具有质子泵，它们能够向胃内泵送 H^+ 。在进食之前，质子泵位于胃黏膜上皮细胞内的小泡膜上，为无活性状态。人进食之后，刺激相关激素的释放，把信号传递给胃黏膜上皮细胞，使得含有质子泵的小泡定向移动，与质膜发生融合，质子泵整合到质膜上，恢复活性，细胞开始分泌 H^+ （图 2-24）。

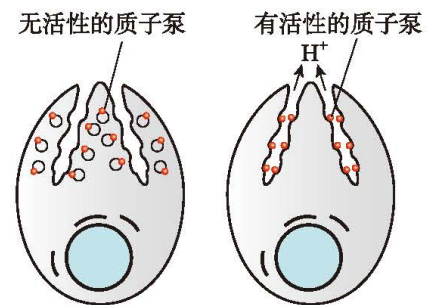


图 2-24 质子泵转移和活化示意图

适量的胃酸是消化食物和防御病原体所必需的，然而胃酸分泌过多却会导致胃灼热和反酸等不适症状。科学家根据质子泵的结构开发了能特异性抑制质子泵活动的药物，为治疗胃酸分泌过多提供了有效措施。

实践应用 搜集

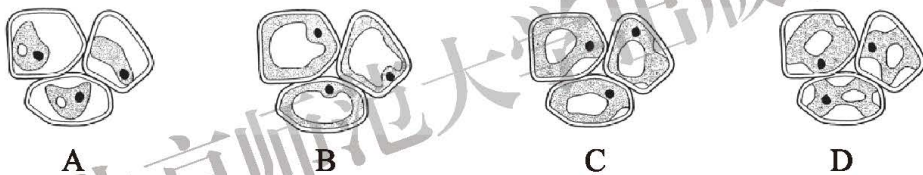
物质跨膜运输功能缺陷导致的人类疾病

很多严重的人类疾病是由质膜上与物质转运有关的蛋白质缺失或功能缺陷导致的，如 Ca^{2+} 通道异常导致的癫痫， Cl^- 通道异常导致的囊性纤维化病，低密度脂蛋白受体异常导致的高胆固醇血症等。请搜集资料，选择一种相关的疾病，了解其发病机理和治疗方式。

检测评价

1. 细胞在生活过程中，需要不断与外界进行物质交换。物质进出细胞的方式是多种多样的，不同的细胞质膜控制进出的物质也有差异。请回答下列问题：

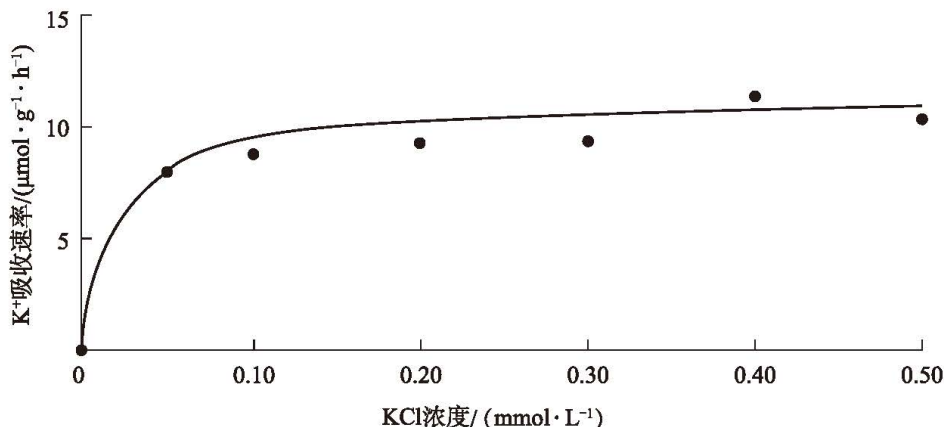
(1) 取同一植物组织，滴加不同浓度的蔗糖溶液制成临时装片，在显微镜下观察。下列图示中，细胞周围溶液渗透压低于细胞液渗透压的是 ()。



(2) 新生儿小肠上皮细胞通过消耗能源物质，可以直接吸收母乳中的免疫球蛋白和半乳糖。这两种物质被吸收到血液中的方式分别是 ()。

- A. 主动运输、主动运输 B. 胞吞、主动运输
C. 主动运输、胞吞 D. 被动运输、主动运输

2. 植物生长过程中，需要不断从外界环境吸收无机盐离子，因此，农业生产中适时、适量施肥是使作物增产的重要措施。20世纪60年代，科学家测定了大麦根在不同浓度的 KCl 溶液中吸收 K^+ 的速率，实验结果如下图所示。



请回答下列问题：

(1) 大麦根毛细胞吸收 K^+ 的方式可能是_____，判断的依据是_____。

(2) 科学家进一步研究发现，根吸收 K^+ 的相对速率与土壤中 O_2 含量的关系如下表所示，据此能否确定根毛细胞吸收 K^+ 的方式？为什么？

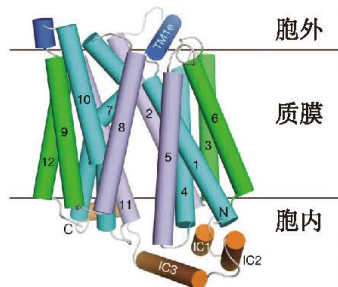
土壤中 O_2 含量 / %	细胞呼吸相对速率	K^+ 吸收的相对速率
2.7	44	22
12.2	78	96
20.8	100	100
43.4	106	107

(3) 在农作物栽培过程中施用化肥并非“多多益善”，而是需要根据作物类型和生长期确定化肥的种类和总量，施肥同时还要适量浇水。这样做有什么科学道理？

开阔眼界

破解葡萄糖运载体的秘密

葡萄糖是细胞最重要的能源物质。人体细胞可以通过质膜上的载体蛋白转运葡萄糖，科学家已经找到这些载体蛋白并破解了其结构和功能的秘密。2014年，清华大学生命科学学院的青年科学家团队率先解决了这个重大问题。对葡萄糖载体蛋白的结构分析非常困难，因为它构象多变，结构不稳定。清华大学的研究团队独具匠心，找到了一种不能变构的突变体蛋白，以此为突破口，通过低温结晶技术进一步稳定蛋白质构象，之后进行蛋白质晶体衍射分析，最终建立了葡萄糖载体蛋白的三维结构模型，揭示了它在转运葡萄糖过程中的构象变化。这一成果为研究葡萄糖的跨膜运输提供了重要的分子基础，也为糖尿病、癌症等很多疾病的治疗带来了新的思路。



人源葡萄糖转运蛋白
GLUT1 的结构模型

第二节 细胞质

在制造药物的现代化工厂里，有一个个相对独立的工作空间，有的负责成分设计，有的负责生产合成，有的负责抽样质检，有的负责加工包装……部门间分工明确、各司其职，同时又通过流水线相连而通力合作，大大提高了生产效率，降低了生产成本。仔细研究真核细胞的亚显微结构，你会发现它们就像是更加精巧和高效的微型工厂。不同细胞器就如同工厂里的不同车间，你在光学显微镜下看到过哪些细胞器？你了解它们的功能吗？

一 叶绿体与线粒体

任何系统要维持自身的稳定和有序，都需要源源不断的能量输入。一家现代化工厂在生产过程中，往往需要一定的动力装置把电能转换成机械能。对于细胞这个生命系统而言，“动力装置”在哪里？“发电站”又是什么结构呢？

叶绿体能合成有机物、储存能量



寻找证据 观察

观察细胞中的叶绿体

● 目的要求

1. 熟练制作植物叶临时装片。
2. 观察植物细胞中叶绿体的形态、数量和分布。
3. 举例说明叶绿体的形态、分布与光合作用相适应的特点。

● 材料用具

藓类植物叶片，水绵，天竺葵叶片（已进行过照光处理和酒精脱绿）；清水，碘液；显微镜，载玻片，盖玻片，镊子，培养皿，滴管等。

● 方法步骤

1. 在载玻片中央滴一滴清水，用镊子夹取一片藓类的小叶，放在水滴中，盖上盖玻片。用高倍镜观察细胞中叶绿体的形态和分布位置，估算细胞中叶绿体的数量（图 2-25）。

2. 制作水绵临时装片，用高倍镜观察水绵细胞中叶绿体的形态。

3. 取已进行过照光处理和酒精脱绿的天竺葵叶片，放入培养皿，在叶片上滴加碘液。待叶片变蓝后，用镊子撕取稍带些叶肉的下表皮，制作成临时装片，用高倍镜观察细胞中被染成蓝色的结构（图 2-26）。

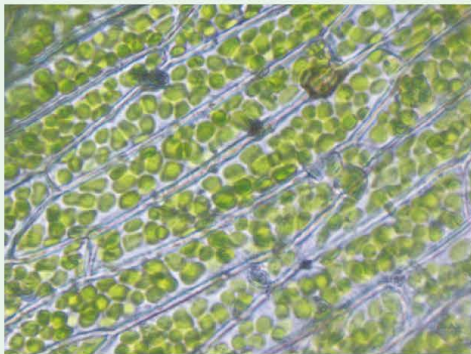


图 2-25 葫芦藓叶肉细胞 (400×)

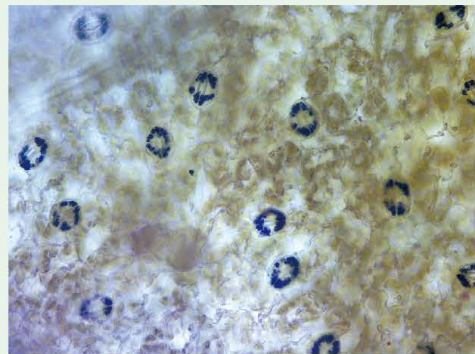


图 2-26 天竺葵叶片下表皮细胞 (400×)

根据观察获得的信息，思考下列问题：

1. 藓类小叶细胞中叶绿体的形态是怎样的？叶绿体在细胞中如何分布？细胞中约有多少个叶绿体？
2. 水绵细胞中的叶绿体数量、形态有什么特点？
3. 天竺葵叶片中被碘液染成蓝色的细胞结构是什么？该结果说明了什么？

植物之所以呈现绿色，是因为植物体的叶片和嫩茎等部位的细胞中含有叶绿体。叶绿体是绿色植物特有的细胞器。藻类植物细胞中叶绿体数量较少，水绵细胞中只有一个或几个螺旋长带状的叶绿体。在高等植物的叶肉细胞中，叶绿体通常呈椭球形，直径 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ ，厚 $2 \sim 4 \mu\text{m}$ 。大多数高等植物的每个叶肉细胞中含 $20 \sim 200$ 个叶绿体，散布在质膜和液泡膜之间的薄层细胞质中。

天竺葵叶片经照光和脱绿处理后，叶肉细胞和保卫细胞中的叶绿体能够被碘液染成蓝色，这是因为叶绿体中含有淀粉。叶绿体是光合作用的场所，它能够捕获光能，制造有机物，将光能转化成有机物中的化学能，可谓是植物细胞中的“能量发生器”。

在电子显微镜下观察，会发现叶绿体由叶绿体膜、基粒和基质三部分组成（图 2-27）。

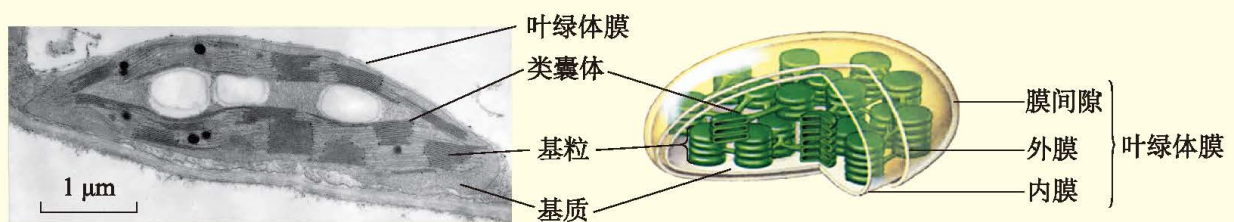


图 2-27 叶绿体的电镜照片（左）和结构模式图（右）

叶绿体膜具有内、外两层。叶绿体内部有许多圆饼状的扁平膜囊，叫作类囊体 (thylakoid)。多个类囊体摞成一沓，称为基粒 (grana)。同一基粒中所有类囊体的腔是连通的，各个基粒的空腔又通过管状的基质类囊体彼此连通，共同构成了一个完整的封闭膜囊。在类囊体的膜上，镶嵌着参与光合作用的色素和蛋白质。叶绿体内膜与类囊体之间，充盈着液态的胶体物质，称为基质 (stroma)。基质中含有进行光合作用所需的酶。

思考

一个叶绿体通常含有40~60个甚至更多的基粒，每个基粒由5~30层类囊体组成。基粒类囊体的直径为0.25~0.8 μm。一个叶肉细胞中用来捕获光能的类囊体膜面积可以达到多大呢？

线粒体能分解有机物、释放能量

细胞生命活动过程中需要不断消耗能量，细胞的“动力车间”在哪里呢？科研人员利用离心分离技术从破碎细胞中提取出线粒体，发现线粒体在 O₂ 存在时，能够将某些有机物氧化分解，产生细胞需要的直接能源物质并释放 CO₂，从而确定了线粒体是细胞进行有氧呼吸释放能量的主要场所。

不同细胞中线粒体的数量和分布位置有所不同。人体每个肝细胞中有 1 000~2 000 个线粒体，而心肌细胞中线粒体的数量超过 10 000 个。长期训练可以使骨骼肌细胞中线粒体的数量增至原来的 1.5~2.0 倍。在精子中，线粒体紧密围绕着活动的尾部，而在小肠上皮细胞中，线粒体集中在细胞的顶端和基部。线粒体呈颗粒状或短线状，长 1.5~3.0 μm，直径 0.3~1.0 μm。在电子显微镜下，可以观察到线粒体由外膜、内膜、膜间隙和基质四部分组成 (图 2-28)。

与叶绿体相似，线粒体膜也由内、外两层膜组成。线粒体外膜通透性很高，而内膜具有较强的选择透过性，内、外膜之间的间隙充满液体。线粒体内膜向内突起形成嵴，使内膜的表面积大大增加。线粒体基质是富含蛋白质的胶状体。线粒体中有 100 多种与有氧呼吸有关的酶，它们主要分布在线粒体内膜上和基质中。

叶绿体和线粒体基质中都含有 DNA、RNA 和核糖体，能够合成自身所需的某些蛋白质。在细胞生命活动过程中，叶绿体和线粒体都能够通过分裂实现数量的增加 (图 2-29)。

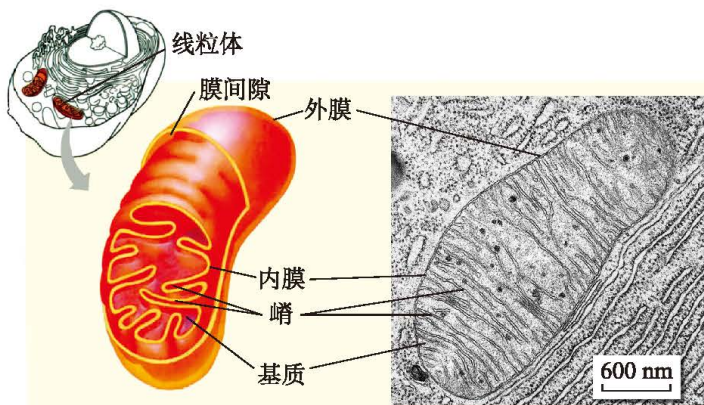


图 2-28 线粒体的结构模式图 (左) 和电镜照片 (右)

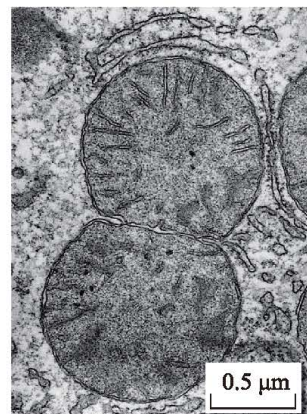


图 2-29 线粒体分裂的电镜照片

叶绿体和线粒体都受到细胞核基因和自身基因的双重调控，因此，它们被称为半自主性细胞器。如果叶绿体 DNA 或线粒体 DNA 中出现基因缺陷，就会导致生物体的性状异常。例如，某些叶绿体基因的突变导致植物白化，人的线粒体 DNA 异常可能导致脑、心脏和骨骼肌等器官或组织的功能缺陷。由于受精卵中的线粒体全部来自卵细胞，人类的线粒体遗传病具有母系遗传的特点。

检测评价

1. 线粒体和叶绿体都是与能量转换有关的细胞器。在精细胞形成精子的过程中，细胞的很多结构退化消失，但保留了大量线粒体。科学家将外源抗虫基因整合到烟草的叶绿体 DNA 中，获得了能产生抗虫蛋白的转基因烟草。请回答下列与线粒体和叶绿体的结构与功能有关的问题：

- (1) 线粒体可以产生精子运动所需的 ()。
- A. 物质 B. 能量 C. 信号 D. 催化剂
- (2) 下列有关能产生抗虫蛋白的转基因烟草叙述不正确的是 ()。
- A. 光合作用受叶绿体 DNA 中遗传信息的控制
- B. 外源基因穿过叶绿体的内膜和外膜才能进入基质
- C. 将转基因烟草的花粉授给普通烟草，产生的后代也能抗虫
- D. 叶肉细胞中有多个叶绿体，有利于增加外源抗虫蛋白的含量

2. 关于线粒体和叶绿体起源的“内共生起源假说”认为，线粒体是由原始真核细胞吞噬的好氧细菌演化而成的，而叶绿体则是由原始真核细胞吞噬的蓝细菌演化成的。请回答下列问题：

- (1) 线粒体和叶绿体在结构上有哪些相似之处？
- (2) “内共生起源假说”能够为线粒体和叶绿体的哪些特征提供合理的解释？
- (3) 线粒体和叶绿体的形成对于真核细胞的进化有什么重要意义？



开阔眼界

“线粒体夏娃”

线粒体 DNA 只进行母系遗传，是开展人类进化历程研究的极好材料。距今约 10 万年前，尼安德特人广泛分布在欧亚大陆上，他们是现代人的祖先吗？科学家从尼安德特人的骨片化石中提取出少量的残留 DNA，因为线粒体 DNA 在细胞中的含量极为丰富，所以这些残留 DNA 中有不少是线粒体 DNA。科学家发现尼安德特人与现代人的线粒体 DNA 序列差异极为显著，说明他们肯定不是现代人的祖先。

从20世纪80年代开始，科学家收集了200多份来自不同种族和民族群体的线粒体DNA样本，先进行DNA测序，然后用能将DNA序列排列成进化树的程序进行分析，结果表明所有的样本DNA都有着共同的起源，进化树的根部是约20万年前居住在非洲的一位女性，这位虚拟的女性被称为“线粒体夏娃”。

二 其他细胞器

在细胞这一微型工厂内的“车间”里，除了叶绿体和线粒体外，科学家又陆续发现了高尔基体、中心体、内质网、核糖体和溶酶体等其他细胞器。这些细胞器承担着什么功能？细胞内的这些“区室”之间有怎样的联系呢？

核糖体、内质网和高尔基体参与大分子物质合成与运输

寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注核糖体、内质网和高尔基体这3种细胞器在分泌蛋白的产生、运输和分泌过程中所发挥的作用。

资料1. 用匀浆技术将细胞破碎后，内质网会断裂成很多小泡。有的小泡膜上附着有核糖体，称为粗面小泡，而没有核糖体附着的小泡则称为滑面小泡。提取附着在粗面小泡上的核糖体，将其与胞质溶胶混合，胞质溶胶中迅速出现了新合成的蛋白质。如果将粗面小泡和胞质溶胶混合，新合成的蛋白质就会进入粗面小泡腔。

资料2. 将豚鼠胰腺组织的切片与含 ^3H 标记亮氨酸的溶液一起温育短暂时间，然后将胰腺组织切片转入不含放射性氨基酸的培养液。在转移后的不同时间，通过显微放射自显影技术观察细胞中的放射性位点，得到的结果如图2-30所示。

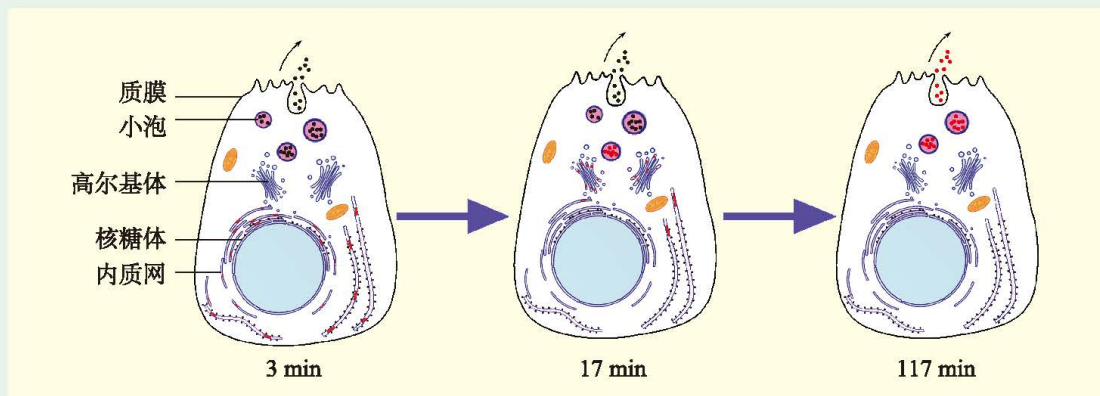


图2-30 分泌蛋白的运输过程示意图（红点示放射性位点）

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 核糖体的功能是什么？新合成蛋白质的去向取决于什么？
2. 消化酶从合成到分泌所经历的运输途径是怎样的？
3. 在消化酶的运输和分泌过程中，内质网和高尔基体的作用可能是什么？

核糖体 (ribosome) 是蛋白质的合成机器，它不具有膜结构，仅由核糖体 RNA (rRNA) 和蛋白质组成。每个核糖体都包含大、小 2 个亚单位，大的称为大亚基，小的称为小亚基 (图 2-31)。有些核糖体游离于胞质溶胶中，有些附着在内质网上。游离核糖体合成的蛋白质或被释放到胞质溶胶中成为胞质溶胶蛋白，或被运送到细胞核、线粒体和叶绿体中。附着核糖体合成的蛋白质则会进入内质网。

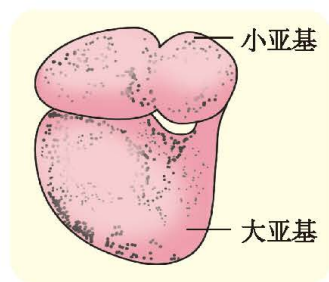


图 2-31 核糖体结构示意图

内质网和高尔基体广泛存在于各种真核细胞中，在分泌蛋白、质膜整合蛋白和溶酶体蛋白的加工和转运过程中承担着重要功能。

内质网是由单层膜及其包被的腔形成的一个完整而连续的立体管腔结构，其体积占细胞总体积的 10% 以上。内质网的一部分膜上附着有大量核糖体，称为粗面内质网；另一部分无核糖体附着，称为滑面内质网。粗面内质网多呈扁囊状，滑面内质网常为分支管状 (图 2-32)。

小资料

核糖体的装配

新合成的核糖体蛋白质进入细胞核，与 rRNA 装配成亚基，再回到细胞质中。

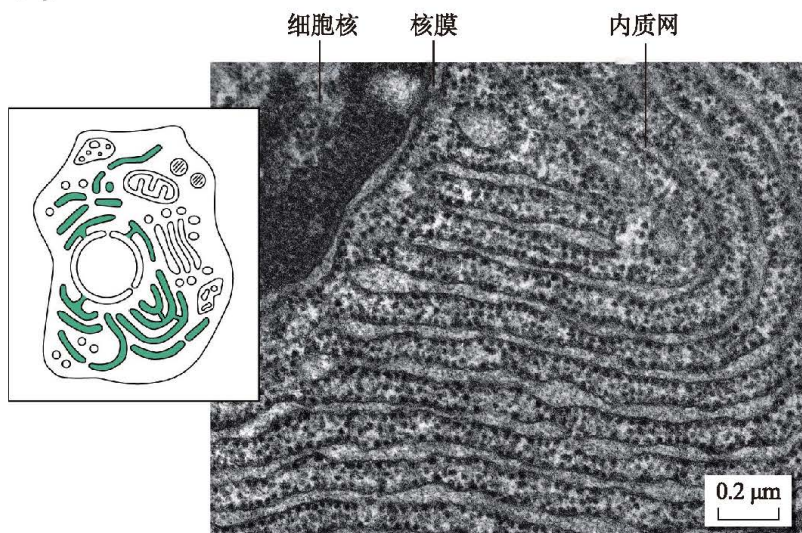


图 2-32 内质网的结构模式图 (左) 和电镜照片 (右)

粗面内质网能够对附着核糖体合成的蛋白质进行加工和转运，加工好的蛋白质嵌在膜上或者进入内质网腔，有的成为内质网驻留蛋白，有的则通过囊泡转运到高尔基体。滑面内质网是细胞中脂质的合成场所，通常体积很小，但在某些细胞中非常发达。例如，在负

责合成雄激素的睾丸间质细胞中，滑面内质网占据了细胞的大部分体积。

高尔基体的主体由排列整齐的扁平膜囊堆叠而成。由单层膜构成的膜囊直径为 $0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$ ，数量为 $4 \sim 8$ 个。膜囊周围有许多大小不等的囊泡（图 2-33）。与内质网不同，高尔基体的多个膜囊的内腔并不相互连通。

高尔基体是高度动态的结构。内质网发出的囊泡与高尔基体“形成面”的膜囊融合，其中的“半成品”蛋白质进入高尔基体，并依次经过多个膜囊。高尔基体对“半成品”蛋白质进行加工和分类，然后在“成熟面”的膜囊中，将“成品”蛋白质包装在囊泡中出芽释放。这些囊泡有的参与溶酶体的形成，有的则与质膜融合，为质膜提供膜整合蛋白或者完成分泌蛋白的释放。植物细胞的高尔基体还负责合成和分泌组成细胞壁的多糖。

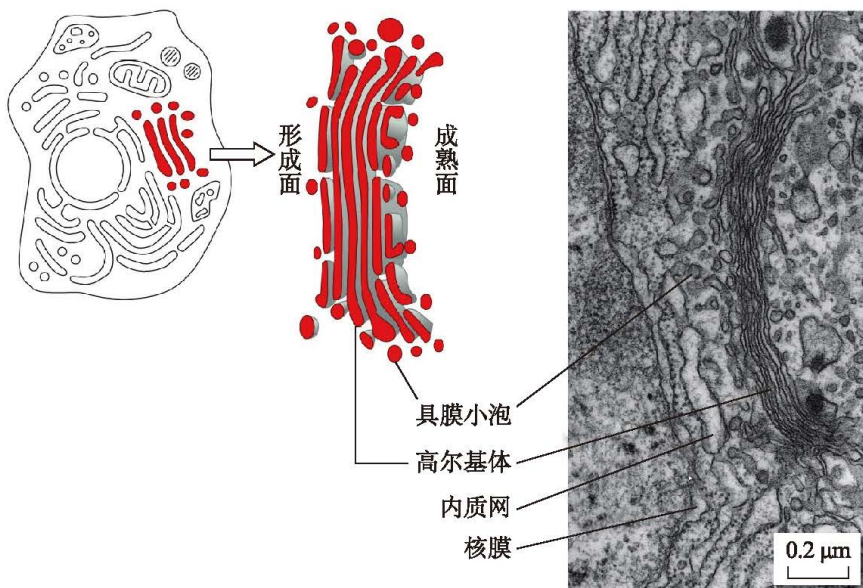


图 2-33 高尔基体的结构模式图（左）和电镜照片（右）

溶酶体和液泡是大分子物质水解的场所

溶酶体是由单层膜包裹的囊泡状细胞器（图 2-34），几乎存在于所有的动物细胞中，数量常多达数百个。刚从高尔基体上出芽生成的溶酶体直径为 $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ ，而已经开始行使水解功能的溶酶体直径可达几微米。

溶酶体腔内的液体 pH 为 5.0 左右，含多种酸性水解酶，能够水解蛋白质、核酸、多糖、脂质等多种物质。溶酶体是细胞内的“消化器官”，它既可以水解细胞吞噬的各种大分子物质，也可以降解细胞内衰老的细胞器和多余的生物大分子。产物小分子通过膜上的载体蛋白转运到胞质溶胶中，供细胞代谢利用。

植物细胞没有溶酶体，但是液泡中含有酸性水解酶，能够行使溶酶体的功能。液泡是由单层膜包围而成的结构。未成熟的植物细胞含有许多由内质网出芽形成

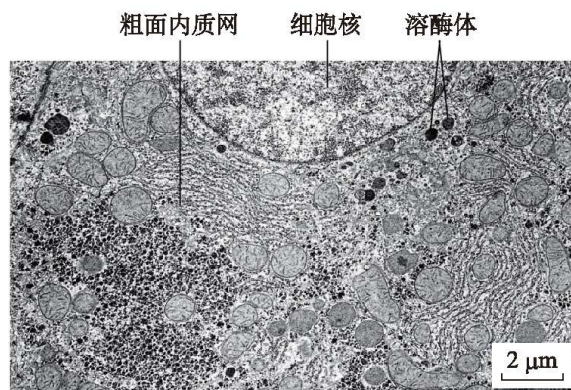


图 2-34 电镜下的溶酶体

思考

为什么溶酶体自身的蛋白质和磷脂不会被水解呢？

的小液泡，随着细胞的生长，这些小液泡彼此融合，形成一个巨大的中央大液泡。在成熟的植物细胞中，90%以上的体积被大液泡所占据。

液泡内的细胞液中含有无机盐离子、糖类、氨基酸、蛋白质等多种成分，有的植物细胞液泡中还含有色素。液泡可谓是植物细胞的“储藏室”，不仅储存营养物质，还可以储存某些代谢副产物。通常细胞液的渗透压较高，使得植物细胞能够从胞外吸水，保持膨胀状态，质膜紧贴在细胞壁上，由此产生的压力使柔软的植物组织得到支撑。

中心体参与细胞有丝分裂

中心体存在于动物细胞中，由2个互相垂直的中心粒及外周物质组成（图2-35）。中心粒是直径约0.2 μm、长约0.4 μm的圆筒状结构。中心体通常位于细胞核附近，是细胞的微管组织中心，在有丝分裂中发挥着重要作用。

从20世纪40年代至今，科学家利用电子显微镜技术、细胞内组分的离心分离和化学分析等技术对细胞不断进行研究，揭示了胞质溶胶和各种细胞器的结构和功能，绘制出细胞的亚显微结构模式图（图2-36）。细胞内具有多个相对独立的结构，担负着物质运输、合成与分解、能量转换和信息传递等生命活动。

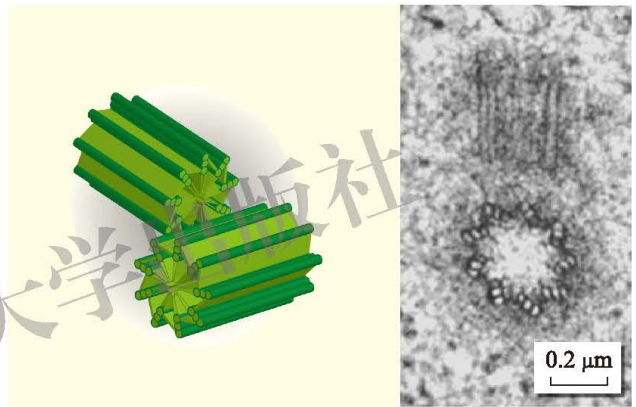


图2-35 中心体的模式图（左）和电镜照片（右）

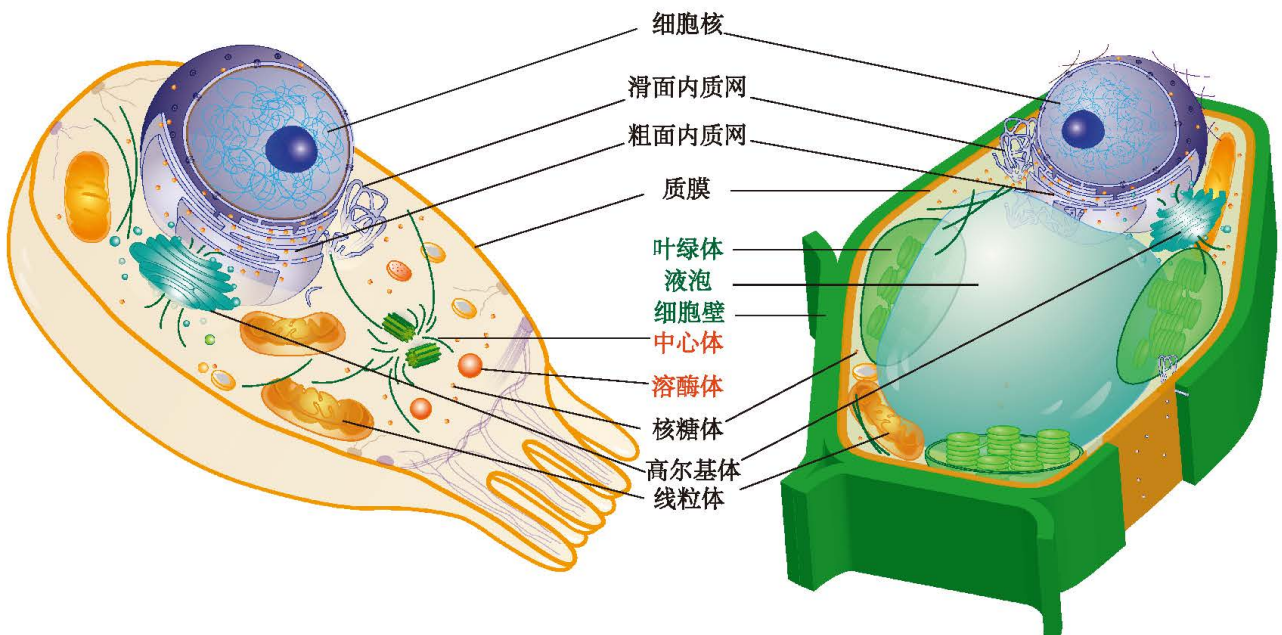


图2-36 动物细胞（左）和植物细胞（右）的亚显微结构模式图

实践应用 观察

观察细胞质的流动

● 目的要求

1. 熟练制作植物叶临时装片。
2. 用高倍镜观察植物细胞质的流动。
3. 说明细胞质流动在细胞生命活动中的意义。

● 材料用具

新鲜的水蕴草(或黑藻、黄瓜嫩茎表皮、大白菜幼叶表皮等); 清水; 滴管, 镊子, 培养皿, 台灯, 载玻片, 盖玻片, 吸水纸, 显微镜等。

● 方法步骤

1. 在洁净的载玻片上滴一滴清水, 用镊子取一片幼嫩的水蕴草叶片, 在载玻片上的液滴中展平, 盖上盖玻片。

2. 先在低倍镜下找到位于叶脉附近的叶肉细胞, 然后换用高倍镜观察细胞中叶绿体随着胞质溶胶流动的方向和速率。

3. 用台灯的强光照射载物台上的装片, 观察在较强光照下细胞中叶绿体的分布情况。再关闭台灯, 将视野亮度调高, 观察叶绿体分布情况的变化(图2-37)。

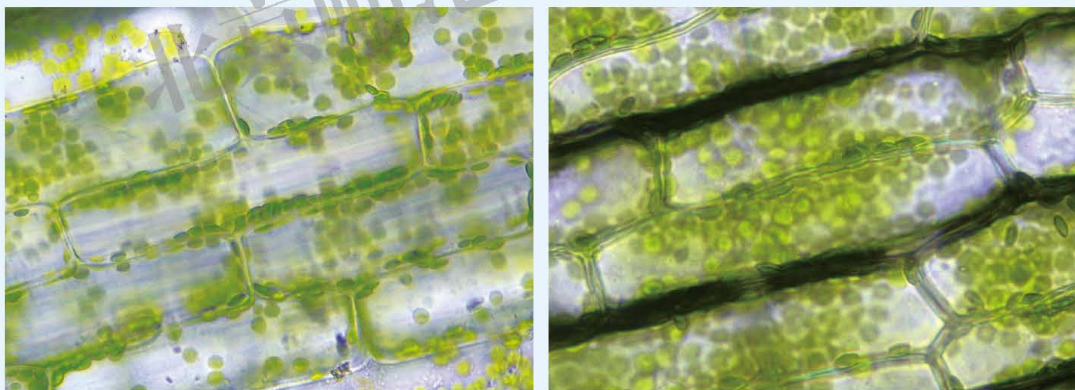


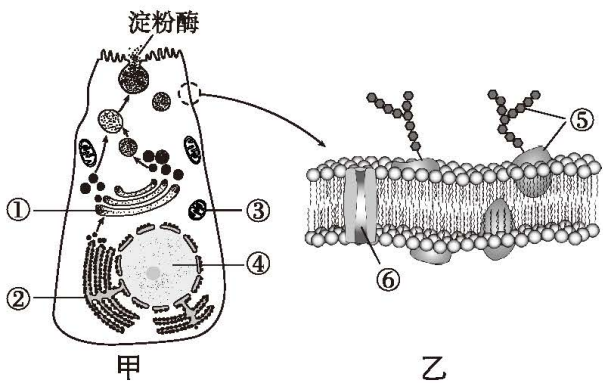
图 2-37 水蕴草叶肉细胞中叶绿体在强光(左)和弱光(右)条件下的分布(400×)

● 思考讨论

1. 不同细胞中细胞质的流动速率是否一致? 哪些因素会影响细胞质的流动速率?
2. 在光照较弱和较强时, 叶绿体在细胞中的分布有什么不同? 这种分布方式的变化有什么意义?
3. 细胞质的流动在活细胞的生命活动中有什么意义?

检测评价

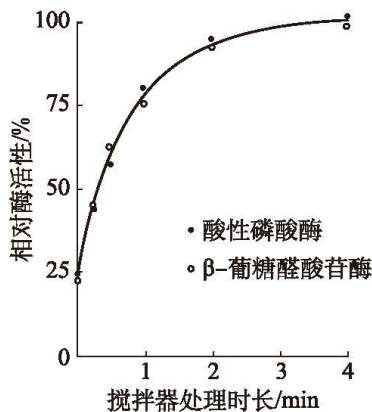
1. 下面图甲为唾液腺细胞合成与分泌淀粉酶的过程示意图，图乙为该细胞的质膜结构示意图，图中序号表示细胞结构或物质。



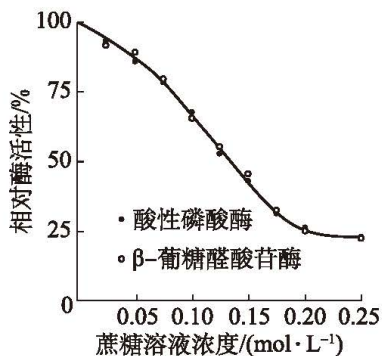
请回答下列问题：

- (1) 淀粉酶是一类蛋白质，图甲中唾液淀粉酶合成的场所是 ()。
 - A. ① B. ② C. ③ D. ④
- (2) 有关图乙膜结构和功能的叙述正确的是 ()。
 - A. 蛋白分子⑤是物质跨膜运输的载体
 - B. 蛋白分子⑥是淀粉酶分泌出细胞的通道
 - C. 结构①上的磷脂分子可以转移到质膜
 - D. 结构③膜随着淀粉酶分泌与质膜融合

2. 科学家德迪夫将大鼠肝组织置于搅拌器中研磨，获得肝组织匀浆，然后检测匀浆中几种酸性水解酶的活性。酶活性与溶液中能接触到反应物的酶量成正比，因此可作为溶液中酶量的反应指标。检测结果如下图所示。德迪夫推断这些水解酶位于一种具膜小泡内。1956年，他的发现得到了进一步的实验证实，这种具膜小泡被命名为溶酶体。



搅拌器处理不同时长后肝组织匀浆中两种酸性水解酶活性



用不同浓度的蔗糖溶液作为提取液时肝组织匀浆中两种酸性水解酶活性

请回答下列问题：

(1) 溶酶体内酸性水解酶的化学本质是蛋白质，它们是在什么细胞器上合成的？合成后经由哪些细胞器进入溶酶体？

(2) 请根据溶酶体的结构，对德迪夫的实验结果进行解释。

(3) 你能否提出一种新的实验方法，为“酸性磷酸酶位于具膜小泡内”提供证据？



开阔眼界

青蒿素的抗疟作用机制

我国药学家屠呦呦带领团队成功从黄花蒿中分离出用于治疗疟疾的青蒿素，为世界抗疟事业做出了卓越的贡献。屠呦呦继 2015 年获得诺贝尔生理学或医学奖之后，又于 2016 年获得国家最高科学技术奖。

疟疾是一种严重危害人类健康的传染性疾病，仅 2015 年全球就有 2.14 亿起感染病例，其中 43.8 万人死亡。青蒿素复方药物对恶性疟疾的治愈率高达 97%，是治疗疟疾的首选药物。为什么青蒿素能够有效治疗疟疾呢？

疟疾的病原体是寄生于人体红细胞内的疟原虫。青蒿素能够与疟原虫细胞内积累的血红素反应，生成氧化性自由基，破坏虫体内的各种蛋白质。青蒿素还可以直接作用于疟原虫的线粒体，诱导线粒体肿胀，损害线粒体的功能。另外，青蒿素还能够与疟原虫内质网膜上的某种蛋白质特异性结合，抑制其向内质网腔转运 Ca^{2+} 的功能，导致疟原虫胞质溶胶 Ca^{2+} 水平升高，从而引发细胞死亡。



屠呦呦获 2015 年诺贝尔生理学或医学奖

第三节 细胞核

对于一个开放、复杂的系统而言，要在多变的环境中维持稳定的秩序，往往需要有一个高效运作的控制中心。例如，一个铁路网上车辆的运行需要调度室，一个计算机系统的工作需要中央处理器。细胞也是一个开放、有序的复杂系统，它也有自己的“控制中心”吗？

细胞核是真核细胞的控制中心



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注相关实验所反映出的细胞核功能。

伞藻是固着生活在浅海海底的单细胞藻类，分为伞帽、柄和假根三部分，假根中有一个细胞核。科学家用伞藻进行了切割、嫁接和核移植实验。将伞藻的伞帽切下，伞帽不能独立存活，但剩余的部分能够存活，而且会在柄上再生出一个跟原来形状相同的伞帽。利用伞形帽伞藻和菊花形帽伞藻进行嫁接实验，将菊花形帽伞藻的柄嫁接到伞形帽伞藻的假根上，结果长出了伞形帽伞藻的“帽”（图 2-38）。在伞藻的核移植实验中，将菊花形帽伞藻的核移植到去核并去“帽”的伞形帽伞藻的假根中，最终新生长出来的伞帽呈菊花形。

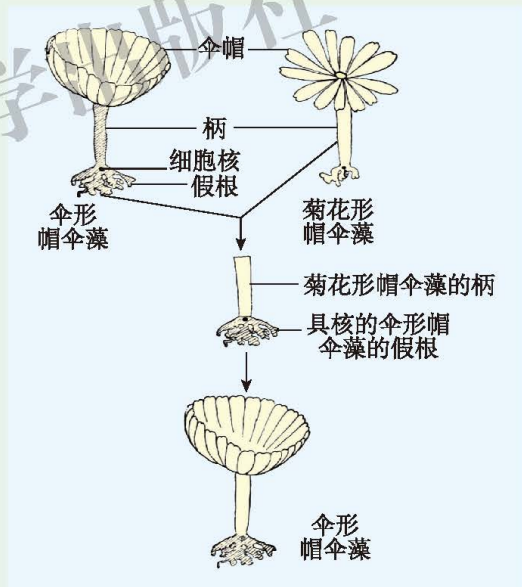


图 2-38 伞藻的嫁接实验示意图

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 伞藻切割实验中切下的伞帽不能独立存活，剩余部分则可以，说明了什么？
2. 伞藻的“帽”的形状是由细胞的什么结构决定的？

伞藻切分成两部分后，无核部分无法存活。科学家将大变形虫切割成有核和无核的两部分，结果同样是只有有核的部分能够存活。这两个实验与其他一些证据共同证明细胞的生命活动离不开细胞核。在伞藻的嫁接和核移植实验中，新生伞帽的形状取决于细胞核。科学家将羊的乳腺细胞核植入另一只羊的去核卵细胞，结果重组细胞发育成的小羊与供核

母羊性状几乎完全一致。这些证据都表明，遗传信息主要储存在细胞核中。

细胞核通常位于细胞中央，呈球形或卵形，占细胞总体积的 5%~10%。自然界中只有极少数细胞有多个细胞核或者没有细胞核。例如，草履虫有大、小 2 个细胞核；脊椎动物的骨骼肌细胞有几十个甚至几百个细胞核；哺乳动物成熟的红细胞和被子植物的筛管细胞没有细胞核，红细胞的寿命只有约 120 天，筛管细胞的代谢与功能发挥高度依赖于与其相邻的伴胞，这也体现了细胞核对细胞的控制功能（图 2-39）。

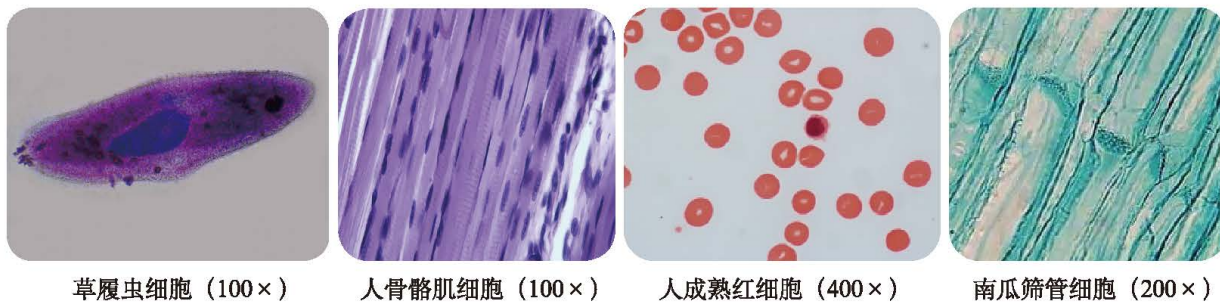


图 2-39 几种多核和无核细胞

细胞的分裂、分化、生长、衰老和凋亡等各种生命活动，都受到细胞核的控制。为什么细胞核具有如此重要的功能呢？

用电子显微镜观察细胞核，可见细胞核具有核膜、染色质、核仁和核基质等结构（图 2-40）。

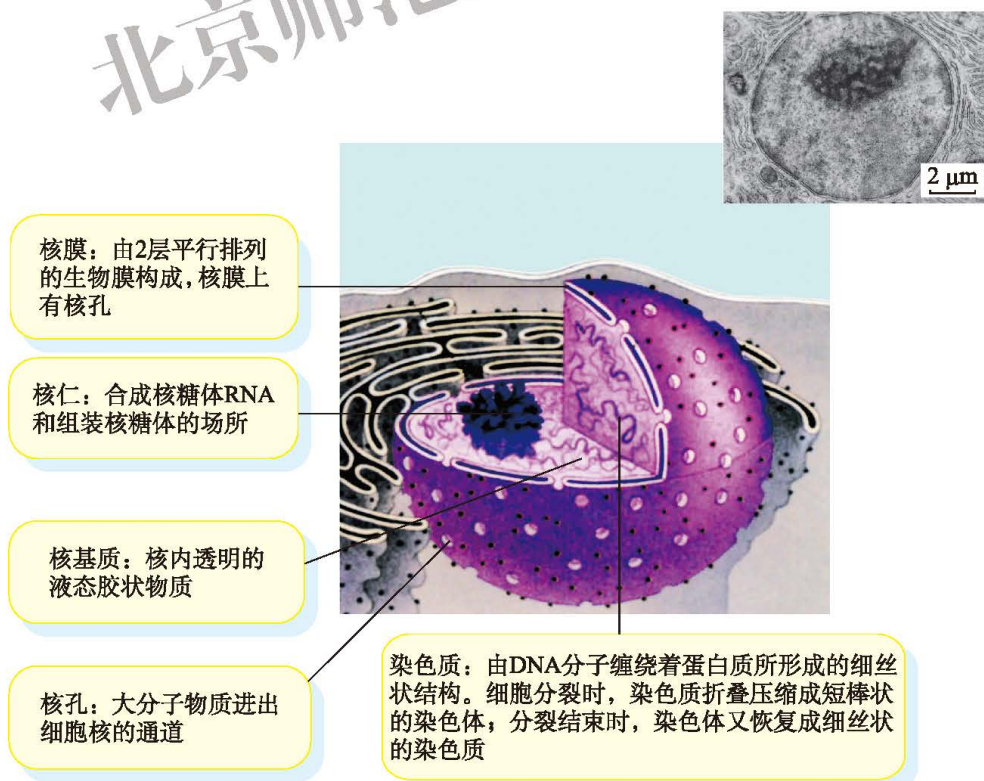


图 2-40 细胞核的结构模式图和电镜下的细胞核（右上）

细胞中的遗传物质是 DNA，细胞核中的染色体是细胞中 DNA 的主要载体。DNA 中储存的遗传信息能够通过控制蛋白质的合成调控细胞的生命活动。在伞藻的切割实验中，无核部分无法继续合成新的蛋白质，因此不能长期存活。在伞藻的嫁接和核移植实验中，DNA 控制产生了新的伞帽蛋白，决定了新伞帽的形状。可见，正是因为 DNA 主要储存在细胞核中，细胞核才成了细胞的控制中心。

有无核膜是区分真核细胞与原核细胞的主要依据

动物、植物、真菌和原生生物的细胞中都具有由核膜包被的细胞核，这样的细胞统称为真核细胞。真核细胞的直径为 $10 \sim 100 \mu\text{m}$ 。由真核细胞构成的生物叫作真核生物。

大肠杆菌的细胞中没有由核膜包被的细胞核（图 2-41），这样的细胞称为原核细胞。原核细胞的直径为 $0.2 \sim 10.0 \mu\text{m}$ 。原核细胞不仅没有成形的细胞核，也不具有内质网、高尔基体等具膜结构的细胞器。原核细胞具有与真核细胞结构相似的质膜，细胞质中有核糖体，细胞的控制中心是一个裸露的环状 DNA 分子，该 DNA 分子所处的区域叫作拟核。原核细胞与真核细胞的最大区别是原核细胞没有由核膜包被的细胞核。由原核细胞构成的生物叫作原核生物。原核生物的代表有细菌（图 2-42）、蓝细菌（又称蓝藻）（图 2-43）等。



图 2-41 电镜下的大肠杆菌

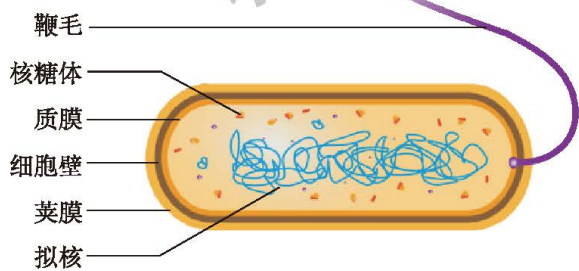


图 2-42 细菌结构模式图

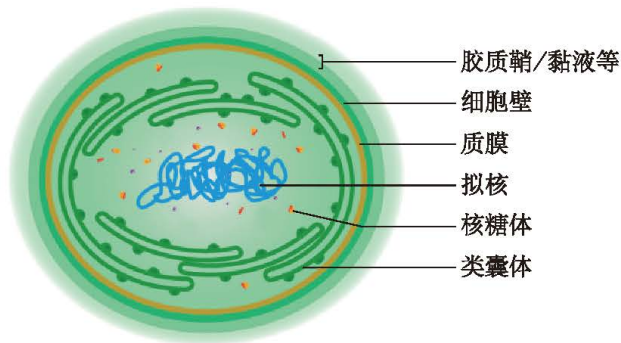


图 2-43 蓝细菌结构模式图

绝大多数原核细胞具有细胞壁。细菌细胞壁的主要成分是肽聚糖，有的细菌细胞还具有鞭毛、荚膜等特殊结构。

原核细胞虽然结构简单，但依然能通过 DNA 控制蛋白质的合成。各种蛋白质有的溶解在胞质溶胶中，有的镶嵌在质膜上发挥作用。因此，原核细胞也能够完成新陈代谢、生长繁殖等各种生命活动。如果说真核细胞像一家各车间有明确分工的现代化工厂的话，那么原核细胞就更像是一间原始的多面手作坊。

细胞核是细胞的遗传信息库，科学家不仅能够利用体细胞核移植技术克隆哺乳动物，

而且还在此基础上开发了一项辅助生殖领域的新技术——“三亲婴儿”技术。医生将患有线粒体遗传病的女性卵母细胞的细胞核取出，植入捐助者提供的去核卵母细胞中，受精后发育成的婴儿就是“三亲婴儿”。“三亲婴儿”既保留了该女性卵母细胞细胞核所含有的全部遗传信息，又避免了将线粒体遗传病基因传给下一代。2016年，世界上第一个“三亲婴儿”顺利出生。以细胞学原理和技术为基础的辅助生殖技术近年来发展迅速，为无数家庭带来了幸福和希望。

实践应用 观察 (选做)

观察淡水生态系统中的浮游生物

● 目的要求

1. 比较不同单细胞浮游生物的细胞结构。
2. 描述真核细胞或原核细胞的结构特点。
3. 关注淡水生态系统的水质保护。

● 材料用具

蒸馏水；水样采集器，离心机，滴管，载玻片，盖玻片，吸水纸，显微镜等。

● 方法步骤

1. 用水样采集器在淡水湖泊或池塘的不同深度采集水样，采样时间最好为上午8:00—10:00。
2. 将采集的水样置于离心机中2 500 g离心10 min。
3. 弃去上清液，用少量蒸馏水将沉淀制成悬浮液。
4. 将悬浮液制成临时装片，在显微镜下观察其中的浮游生物。

● 思考讨论

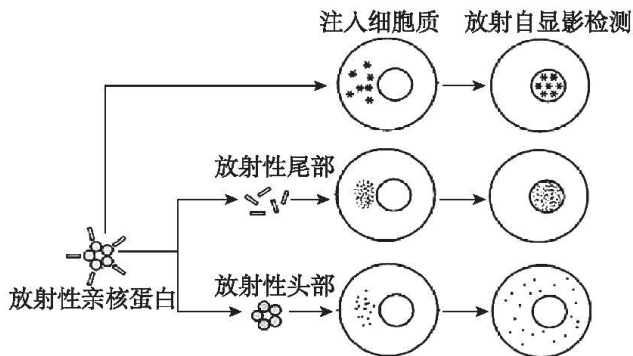
1. 怎样判断你看到的浮游生物是真核生物还是原核生物？
2. 如果已确定某浮游生物属于真核生物，如何辨别它属于浮游植物还是浮游动物？

检测评价

1. 细胞核是细胞的控制中心。在细胞核、细胞质之间有着频繁的物质、能量和信息交流，细胞内参与组成染色体的组蛋白、与DNA复制有关的酶等亲核蛋白需进入细胞核发挥功能。

请回答下列问题：

(1) 下图所示为非洲爪蟾卵母细胞亲核蛋白注射实验，下列相关叙述不正确的是 ()。

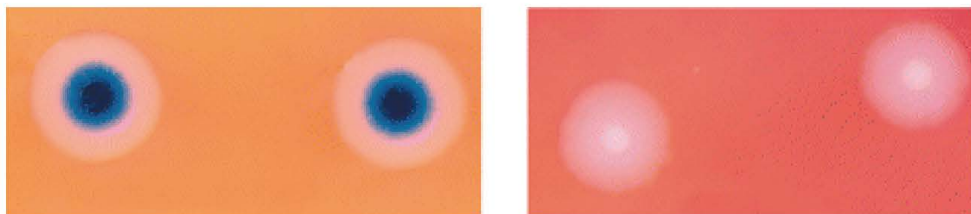


- A. 亲核蛋白能否进入细胞核是由其尾部决定的
- B. 亲核蛋白是通过核孔进入细胞核的
- C. 亲核蛋白进入细胞核需要消耗能量
- D. 亲核蛋白是细胞核内的遗传物质

(2) 真核细胞单位面积的核孔数目与细胞类型和代谢水平密切相关，以下细胞中核孔数目最少的是 ()。

- A. 胰岛细胞
- B. 造血干细胞
- C. 唾液腺细胞
- D. 口腔上皮细胞

2. 2010年，美国科学家文特尔的研究团队以野生型丝状支原体的必需基因为范本，人工合成了一个DNA分子，并将其导入去除DNA的支原体细胞，筛选获得了人工生命“辛西娅”——其细胞中所有蛋白质均由人工DNA控制合成。



“辛西娅”（左）与野生型丝状支原体（右）的菌落

请回答下列问题：

(1) “辛西娅”是_____ (原核生物/真核生物)，判断依据是_____。

(2) 在含有显色剂的同种培养基上，“辛西娅”和野生型丝状支原体形成的菌落颜色不同，根本原因是什么？

(3) 科学家认为人造细胞有着广阔的应用前景，你认为可以尝试利用这一技术来解决人类社会中的哪些问题？人造细胞是否会给人类社会带来风险？为什么？



细胞学研究的模式生物

在进化历程中，祖先细胞的一些本质特征保守不变或者变化很小，因此我们可以选出一些在实验室中易于培养和研究的生物，利用对它们的研究结果来理解各种细胞的共有工作方式，这些具有代表性的研究对象就是模式生物。

原核生物界的模式生物是大肠杆菌。大肠杆菌能在成分简单的培养液中快速繁殖，它的拟核 DNA 仅含有 460 万个核苷酸对，能控制合成 4 300 多种蛋白质。我们对于 DNA 复制和蛋白质合成等生命过程的分子机制的认识，大部分都来自以大肠杆菌为材料进行的研究。

真核细胞研究的常用模式生物是酿酒酵母。酿酒酵母具有真核细胞的典型结构和基本功能，它的细胞核 DNA 总长度仅为大肠杆菌的 2.5 倍，易于进行基因分析。在对真核细胞内膜系统的工作机制、细胞分裂的调控机制等生命活动进行研究时，酵母菌是最佳的实验材料。

在多细胞生物的研究领域中，植物界的常用模式生物有拟南芥等。它是典型的双子叶植物，植株较小，2 个月左右即能繁殖一代，细胞内染色体 DNA 的总长度约为酵母菌的 8 倍。动物界常用的模式生物有果蝇、线虫和小鼠等。小小的果蝇在经典遗传学和胚胎发育生物学研究中做出了巨大贡献。小鼠则是开展哺乳动物遗传、发育、脑功能及内环境调节机制等多方面研究的最常用对象。

第四节 细胞骨架与内膜系统

我们曾经在显微镜下观察过植物细胞的细胞质流动。事实上，每一个真核细胞中都有这样一幅繁忙而有序的动态景象：细胞器附着在细胞内的“梁柱”上变形、移动；具膜小泡沿着细胞内的“公路”来来往往；各种大分子物质不间断地产生、运输、相互作用、分解……是什么机制协调着这些生命活动，使细胞成为结构与功能上的统一体呢？

细胞骨架由微管、微丝与中间纤维共同构成



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注细胞骨架的组成及功能。

资料 1. 科研人员分别用能与微管蛋白、微丝蛋白和中间纤维蛋白特异性结合的荧光物质处理细胞后，在细胞质内观察到由这些蛋白质聚集成成的纤维状网络结构（图 2-44）。

资料 2. 变形虫利用伪足捕获和吞噬食物颗粒（图 2-45）。在光学显微镜下观察变形虫的伪足，可以看到一系列细胞质向细胞前进方向流动，推动细胞的表面部分向外突出。用荧光物质对微丝蛋白染色，可观察到伪足中聚集了大量微丝蛋白。将特异性阻断微丝蛋白组装成微丝网络的药物注射到细胞内，能够阻止伪足的形成。

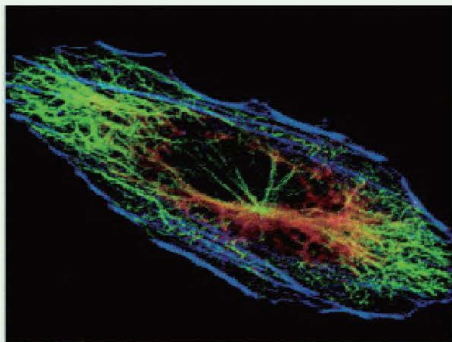


图 2-44 人肝细胞细胞骨架蛋白荧光显色结果 图 2-45 变形虫吞噬食物颗粒（100×）

资料 3. 研究人员将枪乌贼神经元突起中的细胞质挤压出来，铺开，在显微镜下观察，发现细胞质中有很多根长长的微管，具膜小泡不是漂浮在细胞质中，而是沿着微管以 $5 \mu\text{m/s}$ 的速度移动（图 2-46）。进一步用电镜观察，可以看到具膜小泡被特定的蛋白质连接在微管上（图 2-47）。

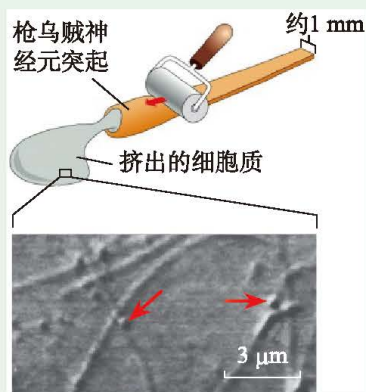


图 2-46 具膜小泡沿微管移动
箭头示具膜小泡

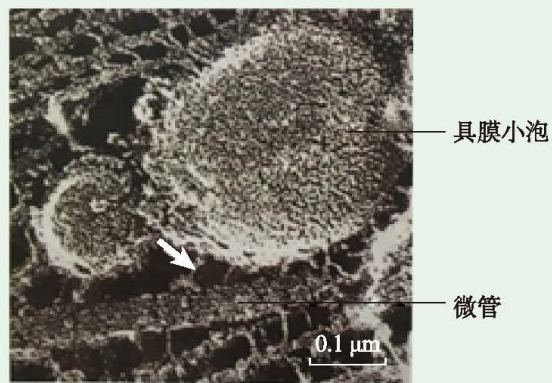


图 2-47 具膜小泡连接在微管上
箭头示连接蛋白

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 细胞的形状是由什么结构维持的？
2. 变形虫的变形运动是怎样实现的？
3. 细胞中的具膜小泡是怎样实现定向运动的？

在真核细胞中，具有由微管、微丝和中间纤维 3 种结构组分所构成的纤维状网架结构，这种结构称为细胞骨架（cytoskeleton）。微管、微丝和中间纤维是由蛋白质组装成的中空管状或绳索状结构（图 2-48）。细胞骨架是高度动态的系统，各种骨架纤维的长度和分布状态随着细胞骨架蛋白的组装和解聚而不断发生改变。大变形虫的细胞直径为 200~600 μm，在变形移动的过程中，细胞后端和前端始终伴随着这样的消长变化。

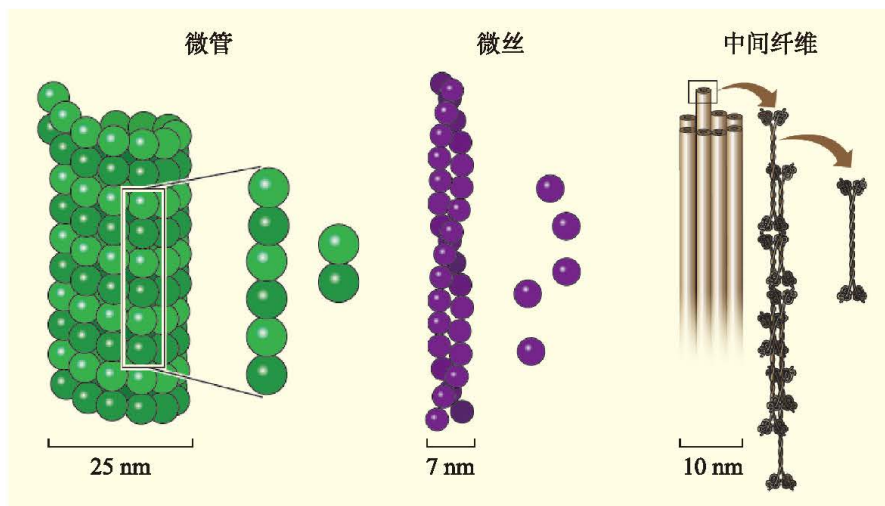


图 2-48 构成细胞骨架的 3 种结构示意图

细胞骨架为细胞提供动态的结构支撑，决定了细胞的形状。细胞骨架也为细胞内各种结构的合理排布提供了定位框架。细胞器通过蛋白质锚定在细胞骨架上，胞质溶胶中的蛋白质等物质也有序地结合在细胞骨架上，使得各种代谢反应能在微空间中高效进行。细胞骨架还

为细胞器和大分子物质的定向移动提供了运输轨道。线粒体、小泡等结构和胞质溶胶中的大分子物质通过特殊的蛋白质连接在微管或者微丝上，在蛋白质的拖曳下前进（图 2-49）。

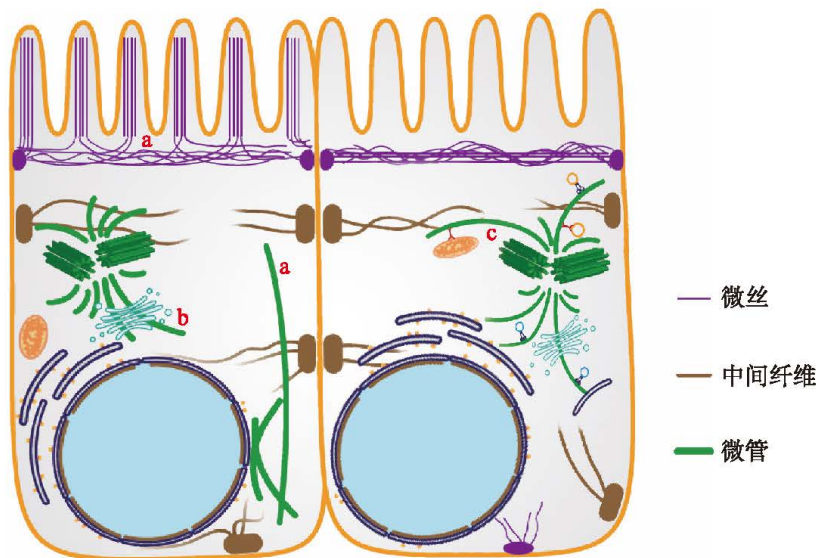


图 2-49 小肠上皮细胞的细胞骨架功能示意图

a. 支撑功能；b. 定位功能；c. 运输功能

另外，肌细胞的收缩、鞭毛和纤毛的运动、细胞分裂过程中染色体运动和细胞缢裂等重要生命活动的实现都离不开细胞骨架。

细胞的内膜系统由核膜与各种细胞器膜共同构成



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注质膜与具膜细胞器之间的关系。

科学家把变形虫培养在含有标记物的培养液中，观察到标记物首先出现在质膜内侧的吞噬泡中，之后吞噬泡与溶酶体融合。一段时间后，完成了消化作用的溶酶体与质膜融合，排出残渣。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 变形虫吞噬的食物颗粒是怎样被消化的？
2. 变形虫溶酶体的形成过程和食物颗粒的消化过程表明细胞中哪些结构的膜可以相互转化？

细胞中的各种生物膜之间在结构上有着密切的联系。内质网膜与外层核膜相连，有时还会与向内折叠的质膜相连，在合成代谢旺盛的细胞中，内质网膜甚至还会与线粒体外膜通过特定的蛋白质相关联。不同部位的生物膜可以相互转化。例如，内质网膜与高尔基体

膜之间，高尔基体膜与质膜、溶酶体膜之间都可以借助于囊泡的形成和融合相互转化。

各种生物膜在功能上也有着密切的联系。例如，在细胞吞噬和分解胞外异物的过程中，高尔基体膜的“成熟面”转变成溶酶体膜，并与质膜内陷形成的囊泡融为一体，随着水解作用完成后的胞吐，质膜得到恢复；同时，也有另一部分膜结构回到内质网的扁平囊膜上（图2-50）。如果是细胞内物质的分解和排出，形成特殊囊泡结构的膜则来自内质网，完成水解后回到内质网的膜结构会更多（图2-51）。

思考

在分泌蛋白的合成、加工、转运和分泌过程中，有哪些具膜结构参与？它们是怎样分工合作的？

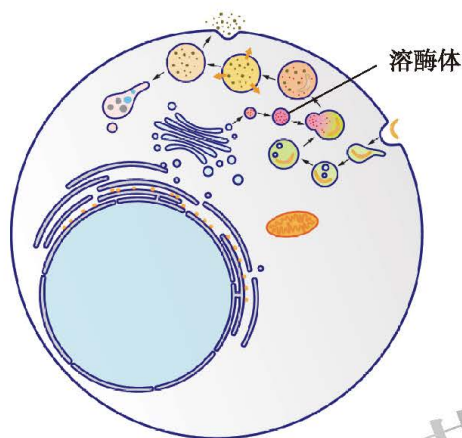


图 2-50 细胞吞噬胞外异物的处理过程

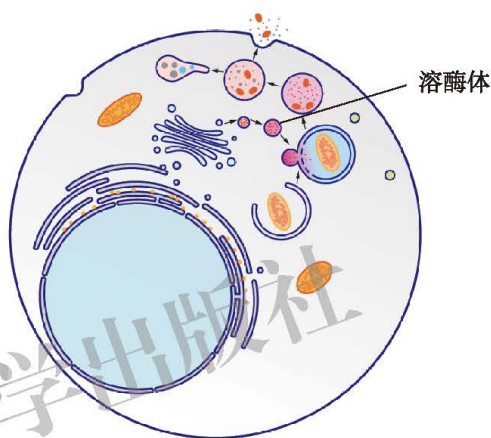


图 2-51 细胞吞噬胞内异物的处理过程

真核细胞中的核膜和各种具膜细胞器的膜在结构上可以相互转化，在功能上协调配合，共同组成了一个动态的整合网络——细胞内膜系统。

在真核细胞中，细胞内膜系统分隔形成一个个小区室，把完成不同代谢反应所需的蛋白质限制在特定区室内，并营造出适于反应进行的微环境，使得各种代谢反应互不干扰地独立进行，从而提高新陈代谢的效率。细胞中很多重要的化学反应是在生物膜上进行的，这是因为很多酶需要附着在膜上才能有序地催化一系列生化反应，细胞内广阔的膜面积为这些酶提供了大量的附着位点。细胞各部分结构之间相互联系、协调一致，共同执行细胞的各项生命活动。

原核细胞不具有细胞骨架和细胞内膜系统。一般来说，真核细胞的体积远大于原核细胞，内部成分和结构也更加复杂，细胞骨架和细胞内膜系统为真核细胞提供了精密的支架和合理的细胞内部空间，使整个细胞成为结构与功能上的统一整体，保证了细胞生命活动的高度程序化与自控性。

细胞内膜系统的缺陷或损伤对细胞危害极大。硅肺病的发病机理与此有关。硅肺病是我国法定职业病中发病率最高的疾病，患者在矿场、车间或者建筑工地工作时，吸入了大量含有二氧化硅（ SiO_2 ）的粉尘。粉尘微粒在肺部被吞噬细胞吞噬，形成吞噬泡。但是吞噬泡与溶酶体融合之后，溶酶体内的酶无法降解 SiO_2 晶体，导致溶酶体膜破裂，大量消化酶泄漏到细胞质中，最终导致细胞死亡。死亡细胞释放的内容物又给邻近的其他细胞带

来危害。此外，受危害的吞噬细胞还会释放一些细胞因子，使肺组织纤维化，导致肺的弹性降低，功能受损。目前硅肺病尚无有效的治疗措施，只有严格控制工作场所的粉尘含量和做好个人防护，才能降低该病的发病率。

实践应用 建模

制作真核细胞的亚显微结构模型

构建模型是科学研究中的常用方法之一。当研究的对象太大或太小，过程进行得太快或太复杂的时候，简化和抽象的“模型”是一个非常有用的工具。生物学研究中也常用模型来描述、解释和预测事物。结合功能和表现形式，模型可分为：尺度模型，如草履虫模型、眼球模型；类比模型，如生态瓶、胸廓运动模型；数学模型，如人口增长曲线；系统模型，如生物圈中的水循环示意图、生物质膜“流动镶嵌模型”模式图……当然，人们对模型的运用并不拘泥于分类框架，重要的是采用恰当的表现形式发挥模型各自的作用。

真核细胞是一个微小而又极其复杂的系统。制作真核细胞的三维亚显微结构模型，能够清晰而直观地展示细胞内的各种结构以及它们之间的相互联系，帮助我们理解细胞的结构与功能之间的关系。

● 方法建议

1. 分小组讨论活动目标，确定本小组的模型模拟的是何种细胞，要重点展示细胞的什么生命活动。

2. 制订设计方案，明确模型的形式，可以是手工制作或3D打印的尺度模型，也可以是计算机制作的动态系统模型。商定如何选择制作材料，如何制作各种细胞结构，如何编辑动画脚本，以及小组成员之间如何分工等问题。

3. 按照设计方案完成模型的制作。

4. 与其他小组进行交流。展示和讲解本小组的模型（图2-52），从科学性、艺术性等各个方面对其他小组的模型进行评价，根据其他小组的建设性意见修改和完善本小组的模型。

注意

使用尖锐物品要小心，切割时不要将材料拿在手上。



动画演示具膜小泡沿微管移动



用橡皮泥制作的细胞模型

图 2-52 细胞模型样例

● 思考讨论

1. 如果要制作“胰腺腺泡细胞分泌消化酶”的结构模型，需要重点呈现哪些细胞结构？
2. 细胞模型中各种结构的大小、形态、数量和位置都要符合被模拟细胞的特点，但是这可能又会影响模型的直观性，你们小组是怎样解决这一问题的？
3. 你们小组的模型是怎样表现出真核细胞是一个结构与功能高度统一的生命系统的？

检测评价

1. 内膜系统和细胞骨架系统是真核细胞的共有结构，它们的存在使真核细胞成为结构与功能上的统一整体。请回答下列问题：

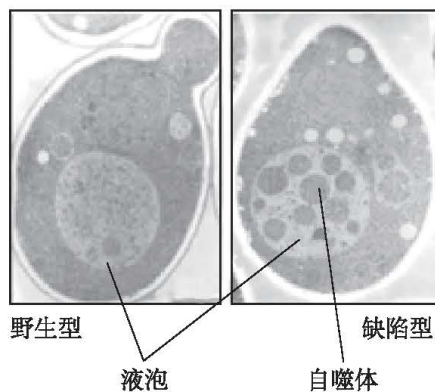
(1) 研究人员在检测细胞中某种蛋白质含量时，常使用一种在各种细胞中都存在，且含量丰富而稳定的蛋白质作为参照物，下列蛋白质适合作为参照物的是()。

- A. 血红蛋白 B. 细胞骨架蛋白
C. 淀粉酶 D. 胰岛素

(2) 白细胞吞噬和水解细菌的过程与细胞内的多种结构有关，下列相关叙述不正确的是()。

- A. 白细胞的吞噬泡和溶酶体都能够沿着细胞骨架移动
B. 白细胞的高尔基体膜、溶酶体膜和质膜成分可以相互转化
C. 白细胞的质膜和各种细胞器膜结构相似，且都具有流动性
D. 白细胞的内膜系统为细胞提供结构支撑，决定细胞形状

2. 细胞自噬过程中，内质网产生膜泡包围细胞内容物，形成自噬体。之后，自噬体与溶酶体或液泡融合，自噬体内物质被水解。科学家观察野生型酵母菌与液泡水解酶缺陷型酵母菌在饥饿状态下的区别，得到右图所示结果。请回答下列问题：



(1) 与液泡水解酶缺陷型酵母菌相比，野生型酵母菌细胞内的自噬体数目较少，是未产生自噬体吗？

(2) 上述两种酵母菌，哪一种能在饥饿状态下存活更长时间？为什么？

(3) 图中酵母细胞形成芽状突起，以及细胞中的自噬体和液泡准确地定位、移动和相互融合，这些过程依赖于细胞中的什么结构？

(4) 研究人员用致癌物 A 诱发大鼠肝癌的同时, 在肝癌发展期用自噬抑制剂 B 对大鼠进行处理, 一段时间后观察大鼠的肿瘤发生情况, 得到下表所示结果。

肿瘤检测项目	对照组	A 处理组	B 处理组	A+B 处理组
肿瘤发生率 / %	0	90	0	60
最大肿瘤体积 / mm ³	0	312.0 ± 132.9	0	8.3 ± 6.0
肿瘤数量 / 个	0	3.6 ± 0.7	0	1.6 ± 0.6

你能对实验结果做出合理的解释吗? 据此可以给癌症的治疗提出什么建议?

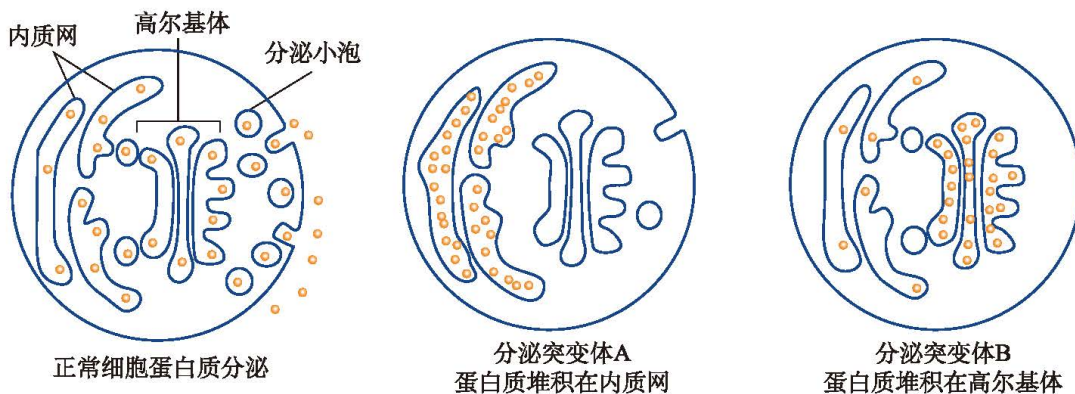


开阔眼界

细胞内囊泡定向运输和细胞自噬的研究

2013 年和 2016 年诺贝尔生理学或医学奖的获奖研究项目分别是细胞内囊泡的定向运输机制和细胞自噬的机制。这两种生命现象都与细胞内膜系统和细胞骨架密切相关, 两个获奖项目的研究方式也颇有异曲同工之妙。

细胞内的囊泡能够附着在细胞骨架上定向转移。科学家筛选出一些突变型酵母菌, 这些酵母菌在 25℃ 时分泌功能正常, 但在 35℃ 下培养时, 本应分泌到胞外的蛋白质会异常堆积在细胞内某处。科学家将这些突变型酵母菌与正常酵母菌进行基因比对, 发现至少有 25 个基因与囊泡的定向运输有关。科学家在此基础上进一步研究这些基因所控制的蛋白质的功能, 初步破解了囊泡定向运输的分子机制。



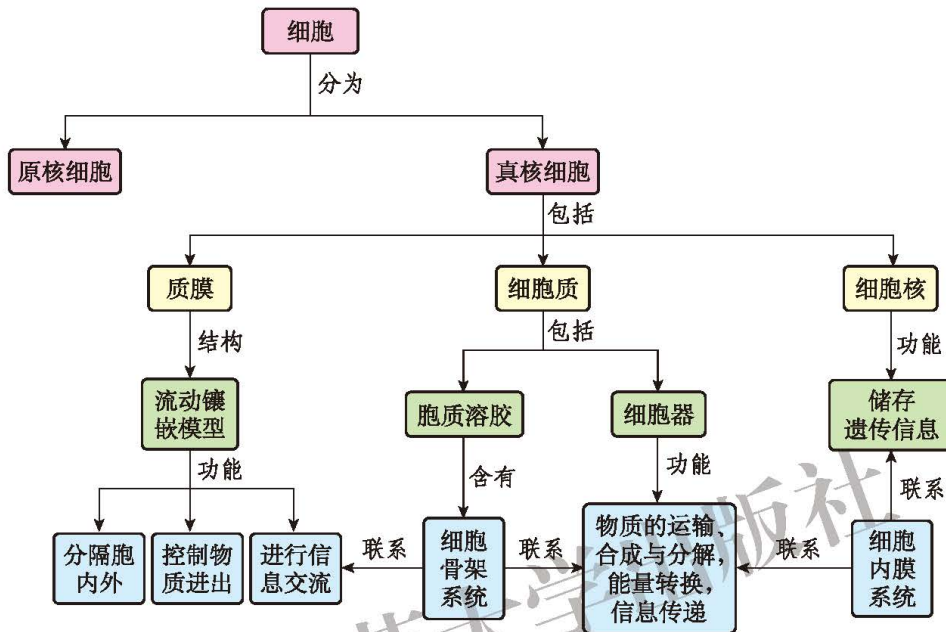
正常酵母菌和突变型酵母菌的蛋白质分泌途径示意图

1949年，科学家意外发现肝组织匀浆在放置5天后，匀浆中酸性水解酶活性大大提高，如果用低渗溶液处理新鲜肝组织匀浆，也能使其酸性水解酶活性提高。据此，科学家推测细胞内有一种储存酸性水解酶的“容器”——溶酶体。之后，科学家在显微镜下观察到了溶酶体，并发现溶酶体能够水解细胞自身的物质。从20世纪90年代初期开始，科学家经过长期的研究，揭示了酵母细胞自噬的生理过程，同时还筛选出上千种忍耐“饥饿”能力较差的酵母菌突变体，从中找到了15个与细胞自噬有关的基因，初步阐明了细胞自噬的分子机制。

北京师范大学出版社

本章小结

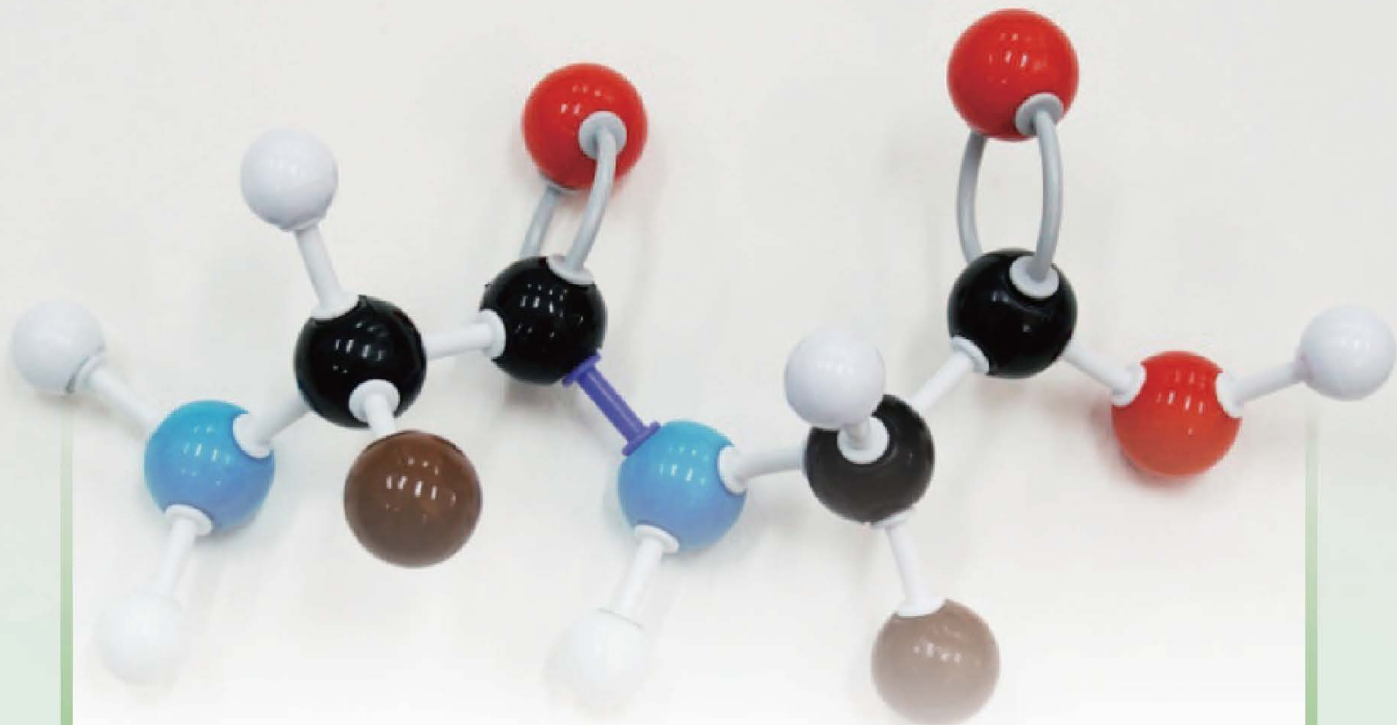
● 基础知识梳理



细胞是最基本的生命系统。质膜是细胞的边界，具有一定的流动性。质膜既能将细胞与其生活环境分开，又能以主动运输、被动运输等方式选择性地控制物质进出细胞，还能介导细胞间的信息交流。细胞质由胞质溶胶和各种细胞器组成，细胞器各有其独特的结构，分别承担着物质的运输、合成与分解以及能量转换等功能。细胞的遗传信息主要储存在细胞核中，细胞核是系统的控制中心。在细胞核的调控下，细胞的各种组分以细胞骨架系统和细胞内膜系统为依托，分工合作、协调配合，共同完成细胞的各项生命活动。真核细胞是由原核细胞进化形成的，二者的主要区别是原核细胞没有由核膜包被的细胞核，缺乏复杂的具膜细胞器。

● 学科素养提示

基于临时装片制作和显微镜观察，可以比较、归纳和概括细胞的结构特征。通过构建并使用细胞模型，以及对标记物示踪等研究资料的分析，运用结构与功能观，表征和阐明细胞各部分通过分工与合作形成相互协调的有机整体，实现细胞水平的生命活动。结合对叶绿体和细胞质流动、植物细胞质壁分离和复原等动态过程的观察和分析，尝试为灌溉、施肥、盐碱地改良等提出合理建议。



第 3 章

细胞的物质基础

伴随着机体的每一次呼吸和心跳，氧气穿过肺泡细胞质膜的磷脂分子层，进入血液与红细胞中的血红蛋白结合，血浆中的葡萄糖和其他物质也随着血液到达组织细胞间隙，质膜上转运蛋白正忙着将氨基酸运进细胞、将钠离子泵出细胞……生物细胞能够进行复杂而有序的生命活动是基于什么样的物质基础呢？这些物质又在细胞中发挥怎样的作用？让我们从分子水平来一探究竟吧！



学习目标

1. 在理解细胞由多种多样的分子组成，其中蛋白质和核酸是两类重要的生物大分子的基础上，形成物质与能量观、结构与功能观等生命观念，说明这些分子在各项生命活动中发挥的作用。
2. 基于不同细胞都由相同的元素构成等事实，能运用对比或归纳等科学思维方法，说明各种化合物的结构和功能，从物理、化学的角度审视生命的物质本质。
3. 针对生物组织中的还原糖、蛋白质和脂肪的检测实验，能够选用合适的材料和试剂，设计实验，分析实验结果，得出结论，并阐述细胞的物质组成及其功能。
4. 主动关注自己及家人营养物质的均衡摄入，能运用物质与能量观、结构与功能观，为家人的健康饮食提供合理的方案。

第一节 水与无机盐

人体细胞以及地球上其他生物的细胞都离不开水。水在细胞结构的维持和物质的运输过程中发挥了重要作用，几乎所有细胞内的代谢过程都需要在水环境下进行。水为什么对生物如此重要？这与水分子的哪些独特性质有关呢？

水在生命体中具有重要作用



寻找证据 阅读

阅读表 3-1 至表 3-3 中化合物的比例及含量，重点关注其中水的含量。

表 3-1 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	其他
所占比例 /%	70	1	15	2	3	7	2

表 3-2 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 3-3 人体中几种不同器官或组织中水的含量

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

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 活细胞中含量最多的化合物是什么？
2. 不同生物体以及人体不同器官或组织的含水量情况如何？
3. 人体的心肌和血液含水量大体相似，但状态明显不同，你能尝试给出合理的解释吗？

大肠杆菌细胞中水所占的比例为 70%，大多数生物体中水的含量都在 60% 以上，人体中多数器官或组织中水的含量也都大于 70%。所以说，水是所有生物体的重要组成部分，大约占细胞重量的三分之二。不同生物体的含水量不同，同一生物体的不同组织细胞的含水量也不同，这与细胞中水的存在形式和重要作用密切相关。

水分子是极性分子(图3-1),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,如脂质分子是质膜的主要成分,由于它具有疏水性,质膜才能存在而不被水溶解。水分子的极性还可以使水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。



小资料

水分子的极性

由于在氢、氧形成的共价键中,氧原子核对共用电子的吸引力比氢原子强,因此水分子中氧侧略带负电荷,而氢侧略带正电荷,水分子具有极性。水分子的内聚力以及水作为良好溶剂都与其极性有关。

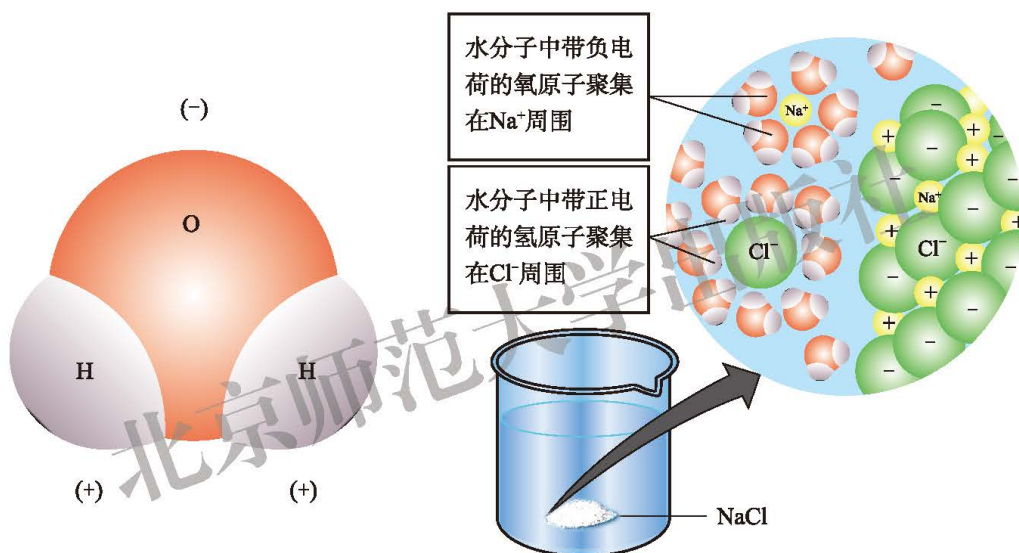


图3-1 水分子具有极性

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以水作为反应原料。例如,水是光合作用的一种原料,所有的水解反应都需要水参与。

水在细胞中以自由水和结合水的形式存在

血液是流动的组织,血浆中存在大量可以自由流动的水,它们是自由水。实际上,细胞内和其他组织间隙也有自由水。自由水在运输、溶解、参与化学反应时承担了重要作用。自由水的含量制约细胞代谢的强度,一般来说,自由水占总含水量的比例越大,细胞

代谢越旺盛。

由于水分子具有极性，不仅水分子之间可以形成氢键，而且水分子与其他极性分子之间也容易形成氢键。与蛋白质和糖类等物质结合在一起的水是结合水，这样的水分子很难流动，不能再溶解其他物质。结合水含量的高低与植物的抗性大小有密切关系。

水在细胞中以自由水和结合水两种状态存在。水由于存在状态不同，赋予了细胞许多特性。

自由水和结合水在细胞中的含量并不是固定不变的，二者在一定条件下可以相互转化，从而保证细胞在不同情况下的代谢需要。通常，细胞中自由水的含量远高于结合水。

无机盐与生命活动密切相关



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注分子中的无机盐成分与其功能的关系。

人和哺乳动物血液中的红细胞具有携氧能力，细胞因其中血红蛋白上的血红素分子而呈现红色。有趣的是，在绿色植物的叶肉细胞中，叶绿体类囊体膜上进行光合作用的叶绿素分子与血红素具有极为相似的结构。不同之处主要是其中的无机盐离子有差异。在构成细胞的物质中还有很多其他的无机盐起着重要作用。观察图 3-2，你能得到哪些有关无机盐的信息？

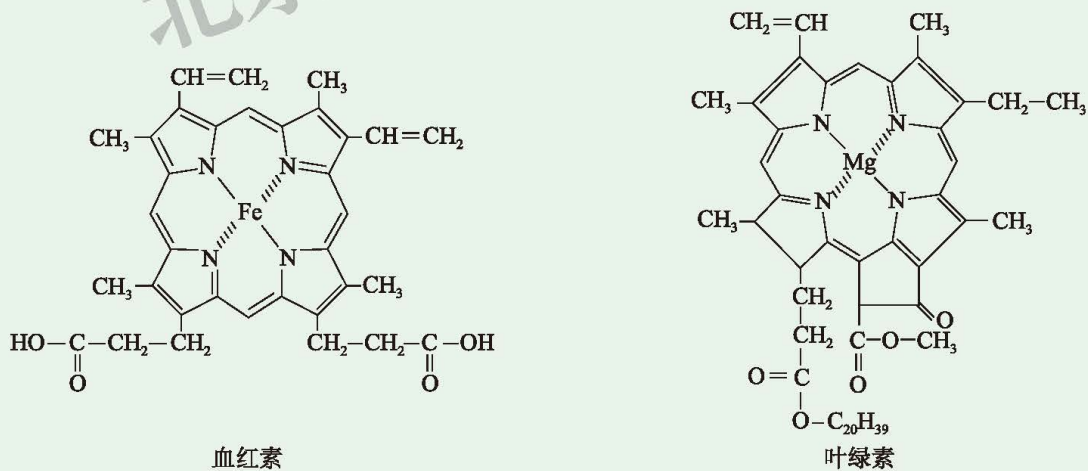


图 3-2 血红素、叶绿素分子结构图

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 缺铁性贫血是贫血中常见的一种类型，缺铁会导致贫血的原因是什么？
2. 植物生长过程中缺镁会使植物的老叶出现变黄的现象，补充镁后症状缓解，植物缺镁失绿的原因是什么？

一段动物的扁骨中可以形成血细胞，一片植物绿叶可以制造有机物，扁骨和绿叶燃烧后都会化为“灰烬”，剩余的成分就是铁、镁等无机盐。所有细胞中都含有无机盐。无机盐在细胞中主要以离子的形式存在，含量很少，占1%~1.5%，但具有非常重要的作用。例如， Fe^{2+} 是血红蛋白的组成部分， Mg^{2+} 参与构成叶绿素；甲状腺激素的合成离不开 I^- ，植物生长素的合成需要 Zn^{2+} ；神经冲动的传导需要 Na^+ 和 K^+ ；细胞分裂、血液凝固和肌肉收缩均需要 Ca^{2+} ；体液的酸碱平衡则需要 HCO_3^- 等。

无机盐不仅参与构成许多化合物，还参与维持细胞的形态和功能、维持细胞的渗透压和酸碱平衡等重要的生命活动。可见，无机盐在细胞内含量虽少，但与生命活动密切相关。

人体大量出汗或腹泻后，适当饮用淡盐水能够及时补充水分及无机盐。青少年在生长发育过程中，需要注意 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 等无机盐离子的摄入。如果缺乏某些无机盐，需明确原因再采取适当措施进行补充，切忌盲目补充。

检测评价

1. 如果说我们这个星球上存在什么奇迹的话，那么这个奇迹一定与水有关。生物在不同的环境条件下及不同的生长发育时期，含水量及水的存在形式有差异。请结合对水的了解，回答下列问题：

(1) 下列有关叙述与水没有直接联系的是()。

- A. 黑藻细胞中叶绿体围绕液泡环流
- B. 变形虫的质膜上的分子流动
- C. 血浆运输营养物质和代谢废物
- D. 吊兰的绿叶在光下释放出氧气

(2) 刚收获的麦粒在晒干的过程中水分会减少。若把干燥麦粒放在干燥的试管中进行烘烤，试管壁会出现水珠。下列叙述正确的是()。

- A. 晒干过程中减少的主要是自由水，烘烤过程中减少的主要是结合水
- B. 晒干过程中减少的主要是结合水，烘烤过程中减少的主要是自由水
- C. 晒干和烘烤过程中减少的都是自由水
- D. 晒干和烘烤过程中减少的都是结合水

2. “焦边”是由缺钾所引起的植物叶片边缘出现枯黄色的现象。某同学欲探究钾对植物生长情况的影响，配制了两种培养液进行实验，培养液主要成分的配方如下表所示。

组别	培养液类别	培养液所含主要成分的质量浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)			
		KNO_3	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
A组	完全培养液	25 000	150	150	134
B组	缺素培养液	0	150	250	134

请回答下列问题：

- (1) 试说明 Mg^{2+} 和 K^+ 对植物生命活动的作用。
- (2) 在配制培养液时，为什么需要注意培养液的浓度不能过高？
- (3) 该实验设计存在什么问题？应该如何完善？
- (4) 基于所学知识，尝试为出现缺钾症状的植株提供合理的栽培改善建议。



开阔眼界

碘盐，吃还是不吃？

碘缺乏病是一种世界性地方病，我国曾是世界上碘缺乏病高发的国家之一。

甲状腺位于喉与气管上部的两侧，分左右两叶，能够分泌甲状腺激素。如果缺少甲状腺激素，会出现代谢缓慢、婴幼儿生长发育迟缓、中枢神经系统发育不全、智力低下等症状。由此可见，甲状腺激素对人体生长发育具有重要作用。而碘是甲状腺激素合成时的必要原料。缺碘会导致甲状腺这一“加工厂”因为“原料”不足而“减产”，同时机体会通过“扩大厂房”应对“产品不足”，即出现甲状腺肿大。但是由于缺少“原料”，“厂房”建得再大，“产品”仍旧无法正常合成。

如何预防碘缺乏病呢？食用加碘盐是最经济有效的方法。我国从1994年开始实施强制食盐加碘制度，大大降低了我国地方性甲状腺肿发病率。

现在人民生活水平提高，对富含碘的食物的摄入增加，食盐是否还需要加碘又成了新热点。科研人员对不同地区碘含量的调查表明，有些高碘地区碘含量远远超出平均水平，患有甲状腺结节的患者也需要食用无碘盐。于是，从2012年3月15日起，我国开始执行新的食用盐碘含量标准，食盐平均加碘量由原来统一的35 mg/kg，下调为20~30 mg/kg，并提供了3种标准，允许各省自主加碘。是否食用碘盐还需考虑实际情况，切忌盲目决定。

第二节 糖类与脂质

人们感到饥饿时，会出现乏力、大脑反应速度下降的现象，这是身体向我们发出的信号，提示我们需要补充能量了。食物中哪些物质可以提供能量？这些物质对生命活动还有哪些重要的作用呢？

糖类是生命活动的主要能源物质

马铃薯、玉米等富含淀粉和纤维素，葡萄、苹果等富含葡萄糖、果糖，甘蔗茎中含有的糖主要是蔗糖，这些都是常见的糖类。有些糖类是生命活动所需的能源物质，有些糖类则是细胞结构的重要成分。

糖类分子一般以 $(\text{CH}_2\text{O})_n$ 表示。因为其中氢、氧的比例和水分子中氢、氧的比例同为 2:1，所以糖类也被称为碳水化合物。糖类可以分为单糖、二糖和多糖。

单糖

单糖是不能再水解的糖，通常含有 3~6 个碳原子，是构成二糖和多糖的基本单位。

核糖和脱氧核糖均含有 5 个碳原子，称为五碳糖（图 3-3），二者的差别在于核糖第 2 位碳上连接的是羟基（—OH），脱氧核糖上连接的是氢。它们分别参与构成核糖核酸和脱氧核糖核酸。

葡萄糖、果糖和半乳糖都含有 6 个碳原子，称为六碳糖（图 3-4），它们的分子式都是 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ，但结构式不同，在水溶液中它们都呈环式结构。它们是构成二糖、多糖以及其他一些有机大分子的原料。葡萄糖是细胞中的主要能源物质，常被称为“生命的燃料”。

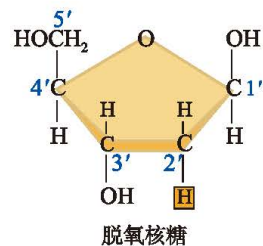
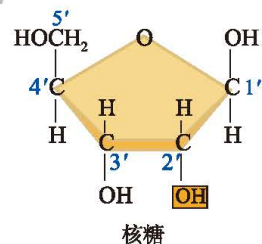


图 3-3 核糖与脱氧核糖的分子结构式

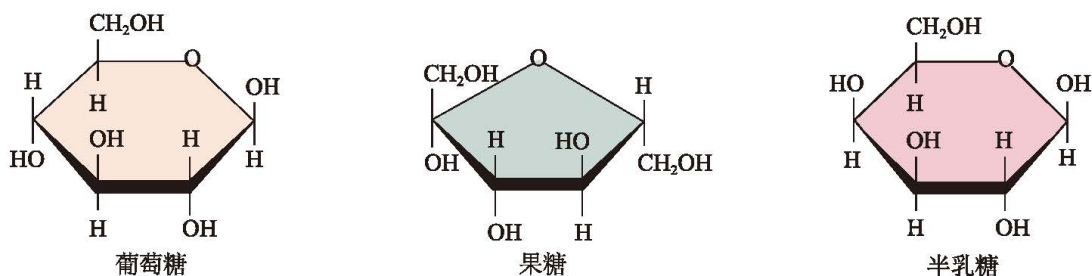


图 3-4 葡萄糖、果糖和半乳糖的分子结构式

二糖

二糖是由两分子单糖脱去一分子水缩合形成的，可以水解成两个分子的单糖。蔗糖由葡萄糖和果糖组成，是食品和饮料业最常用的原料。麦芽糖（图 3-5）是由两分子葡萄糖脱水缩合形成的，一般存在于发芽的种子中。乳糖则是由葡萄糖和半乳糖组成的，存在于人和其他动物的乳汁中。

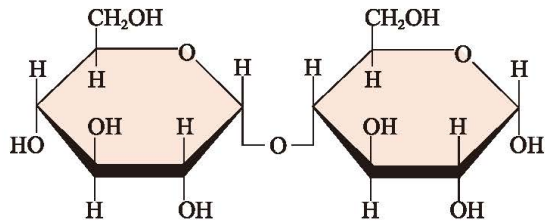


图 3-5 麦芽糖的分子结构式

多糖

多糖是由多个单糖分子脱水缩合形成的，常见的多糖包括淀粉、纤维素和糖原（肝糖原和肌糖原）。淀粉是植物细胞中储存能量的多糖，植物的种子和块茎、块根中富含淀粉。哺乳动物体内的糖原存在于肝脏（肝糖原）和肌肉（肌糖原）中，也是重要的储能物质。此外，植物细胞壁的主要成分之一是纤维素，为植物细胞提供支撑骨架。

淀粉、纤维素和糖原的基本构成单位都是葡萄糖（图 3-6）。淀粉由葡萄糖脱水缩合形成的长链构成。纤维素由葡萄糖长链互相交织成网状，如同篱笆一样。哺乳动物自身无法产生纤维素酶，不能水解纤维素，但对食草动物来说，其肠道内的一些微生物能够分泌纤维素酶，帮助食草动物将纤维素水解为葡萄糖。构成糖原的葡萄糖的排列则更为复杂。

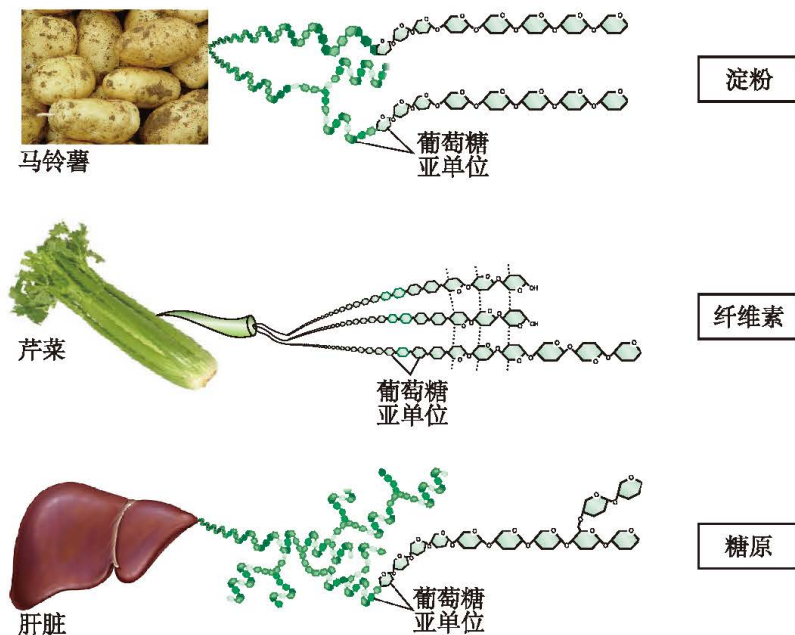


图 3-6 淀粉、纤维素和糖原

糖类有多种类型，它们既是细胞的重要结构成分，又是生命活动的主要能源物质。

健康人在大量进食淀粉类食物、水果等情况下，体内的葡萄糖含量增加，在满足能量供应的前提下，有些葡萄糖会合成糖原储存起来，有些则转化为脂肪等非糖物质。糖原和某些非糖物质也可以在机体血糖被不断消耗后，再转化为葡萄糖，以满足机体的需求。

脂质对维持细胞结构与功能有重要作用

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。脂质的元素组成主要是 C、H、O，有些脂质还含有 P、N。和糖类不同的是脂质分子中 O 的含量较低，而 H 的含量较高。常见的脂质有脂肪、磷脂和固醇，它们的分子结构差异很大，通常不溶于水而溶于有机溶剂（如丙酮、乙醚等）。

脂肪

脂肪（甘油三酯）是常见的脂质，由甘油和脂肪酸组成。脂肪是非极性化合物，具有疏水性，不溶于水，可溶于非极性溶剂，因此可以利用非极性溶剂从生物组织中提取。脂肪大量储存于植物种子（图 3-7）、果实细胞和动物脂肪细胞中，是生物体内主要的储能物质。相同质量的脂肪比糖类所储存的能量大约多一倍。此外，高等动物及人体的脂肪还有减少身体热量散失，维持体温稳定，减少内部器官之间的摩擦和缓冲外界压力等作用。如果脂肪在体内积累过多，会使体重增加，引起肥胖。肥胖会增加脂肪肝、动脉硬化、高血压等疾病的患病风险。因此，重视合理的营养，保持健康的体重，对防治疾病有重要意义。

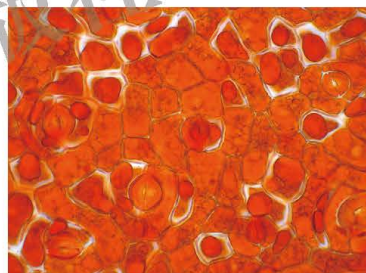


图 3-7 经苏丹Ⅲ染色的花生子叶表皮中的脂肪滴（400×）

磷脂

所有的细胞都含有磷脂，磷脂是构成生物膜的主要成分，在动物的脑、神经、肝脏中含量特别高，大豆的种子也含有较多的磷脂。卵磷脂是膳食中和体内含量最丰富的磷脂之一。

固醇

固醇包括胆固醇、性激素和维生素 D 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。

胆固醇是构成动物细胞质膜的成分，还参与血液中脂质的运输，但如果过多地摄入胆固醇，体内过量的胆固醇会在血管壁堆积，阻碍血液的正常流动，引起一些心血管疾病。性激素能促进人和动物生殖器官的发育和生殖细胞的形成。维生素 D 能够促进 Ca、P 的吸收。

不同种类的脂质对维持细胞结构和功能有重要作用。从营养膳食的角度出发，从食物中摄取足量的脂质，对于细胞以及人体的生命活动正常进行是十分重要的，但是过多地摄取脂质则存在一定的风险。

检测评价

1. 正常情况下，血液中各种成分的含量相对稳定，保障细胞的生命活动。在生病时，有些成分的含量会发生变化，医生可以通过检查血液的各项生化指标，为进一步诊断疾病提供有用线索。通常在健康体检时也包括血液生化检查。

下表是某糖尿病患者的血液生化化验单的部分信息。

项目	代号	检测结果	参考范围	单位
葡萄糖	Glu	8.30 ↑	3.90 ~ 6.10	mmol / L
总胆固醇	TC	5.88 ↑	3.60 ~ 5.69	mmol / L
* 高密度脂蛋白胆固醇	HDL-C	1.55	1.00 ~ 1.70	mmol / L
** 低密度脂蛋白胆固醇	LDL-C	3.60 ↑	2.00 ~ 3.10	mmol / L
甘油三酯	TG	1.31	0.65 ~ 1.70	mmol / L
*** 谷丙转氨酶	ALT	11.60	5.00 ~ 40.00	U / L
总蛋白	TP	68.30	60.00 ~ 80.00	g / L
钙	Ca	2.34	2.00 ~ 2.64	mmol / L

* 高密度脂蛋白：能够驱动胆固醇逆转运，通过逆转运作用把血液和组织中多余的胆固醇等经肝脏分解排出体外。

** 低密度脂蛋白：运载胆固醇进入外周组织细胞的脂蛋白。低密度脂蛋白浓度升高可能形成动脉粥样硬化斑块，如果斑块破裂可能引发冠心病、心肌梗死、中风等严重的心脑血管疾病。

*** 谷丙转氨酶：主要存在于肝细胞内的一种酶，催化谷氨酸与丙酮酸之间的氨基转化。

请结合化验单回答下列问题：

(1) 该患者的生化指标中正常的是 ()。

- A. 血糖 B. 血脂 C. 血钙 D. 血红蛋白

(2) 结合该患者的血液生化指标，除了必要的临床治疗外，医生通常还会给出一些饮食方面的建议。下列建议合理的是 ()。

- ① 主食应该以粗粮为主，多吃蔬菜
 ② 不宜吃肥肉和含油脂多的食物
 ③ 加强锻炼，控制体重
 ④ 需要长期服用鱼肝油补钙
 ⑤ 少吃鸡蛋，不宜喝豆浆

- A. ①②③ B. ②③④ C. ③④⑤ D. ①②⑤

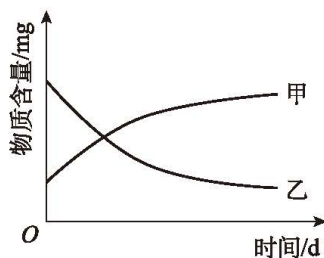
2. 右图表示玉米籽粒在暗处萌发初期淀粉和葡萄糖含量的变化情况，在此环境中经过20天左右幼苗死亡。

请回答下列问题：

(1) 图中表示葡萄糖变化情况的曲线是_____，判断依据是什么？

(2) 种子萌发过程中有机物总量的变化趋势应为_____，原因是什么？

(3) 为保证实验结果准确有效，在该实验过程中需注意哪些操作？



开阔眼界

几丁质的妙用

纱布是一种常用的伤口敷料，其主要成分是纤维素。普通纱布的缺点是只能吸收已经流出的血，但阻止血液继续流出的效果有限。现在市场上有一种新型的伤口敷料，虽然也是一种多糖，但它可以阻止血液继续流出并启动凝血，这种敷料就是由自然界广泛存在的几丁质加工而成的。

几丁质又名甲壳素、壳聚糖。几丁质不仅是甲壳动物以及昆虫、蜘蛛的外骨骼的基本成分，还存在于真菌的细胞壁中，在生物功能和结构上与纤维素十分相似。

在自然界中，几丁质资源非常丰富，其含量仅次于纤维素。几丁质很容易从虾壳中制备，由它制成的敷料在市场上已有销售，相信将来的应用会越来越广。

第三节 蛋白质

我国组织实施的“贫困地区儿童营养改善项目”，为贫困地区婴幼儿每天提供1个富含蛋白质、维生素和矿物质的营养包。该项目自实施以来有效降低了婴幼儿低体重、生长迟缓和贫血的发生率。蛋白质是细胞最重要的结构成分，对人体细胞的正常生命活动具有重要作用。在人体的细胞内和细胞外有多种多样的蛋白质，这些蛋白质主要具有什么功能？蛋白质功能多样的原因又是什么呢？

细胞的功能主要由蛋白质完成



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注相关蛋白质的功能。

1968年，第19届夏季奥林匹克运动会在墨西哥城举行。那里的海拔超过2 200 m，这使得那些平时只在低海拔地区训练的运动员无法获得理想的成绩，尤其是在像10 000 m耐力赛这样的比赛项目中。高海拔地区空气中的 O_2 比较稀薄，人从低海拔地区进入高海拔地区后，身体将会发生如下反应：释放脾中储存的红细胞；加速制造红细胞；使血红蛋白更容易释放氧。在高海拔地区，血液循环中的血红蛋白含量会明显升高。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 为应对 O_2 稀薄的环境，身体做出了哪些反应？
2. 红细胞有什么功能？与哪种蛋白质有关？

在 O_2 稀薄的环境中，人体会释放脾中储存的红细胞，同时产生更多的红细胞。红细胞的重要功能是携氧，而红细胞携氧的功能是通过血红蛋白（图3-8）实现的。19世纪60年代，科学家就已经发现血红蛋白具有可逆结合 O_2 的能力。

人在运动过程中，催化葡萄糖氧化分解供能的相关酶是蛋白质；位于质膜上负责将葡萄糖转运进入细胞的葡萄糖载体也是蛋白质；而能调节血糖的激素——胰岛素同样也

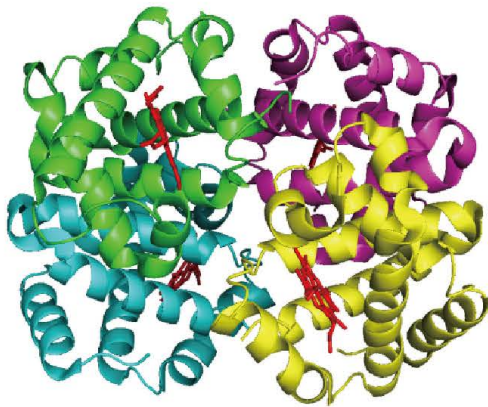


图3-8 血红蛋白分子结构示意图

属于蛋白质。此外，抵御外来抗原侵入的抗体（免疫球蛋白）、肌肉细胞中与肌肉收缩有关的肌动蛋白等都是蛋白质，所以蛋白质是细胞中重要的有机化合物，细胞的功能主要由蛋白质完成。

人体中有数万种不同的蛋白质，各自执行其特定的功能。蛋白质功能的多样性取决于其结构的多样性。蛋白质具有怎样的结构呢？

蛋白质通常由 20 种氨基酸分子组成



寻找证据 阅读

阅读下面资料中氨基酸的分子式（图 3-9），重点关注氨基酸结构的异同点。



图 3-9 5 种氨基酸的分子结构式

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 5 种氨基酸的结构有哪些异同点？
2. 试写出氨基酸的分子结构通式。
3. 从化学角度分析，存在差异的部分会使该物质有怎样的化学性质？

分析以上氨基酸的分子式，可见每种氨基酸分子至少都含有一个氨基（ $-\text{NH}_2$ ）、一个羧基（ $-\text{COOH}$ ）和一个氢原子，三者都连接在同一个碳原子上，这个碳原子上还有一个可变的侧链基团，称为 R 基，用“ $-\text{R}$ ”表示。由此可总结出氨基酸的分子结构通式（图 3-10）。

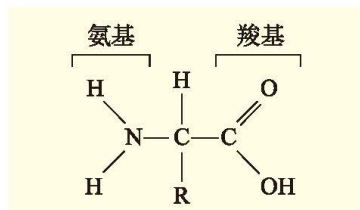


图 3-10 氨基酸分子结构通式



小资料

氨基酸的名称及缩写

以甘氨酸为例，其英文名称是 Glycine。英文名称较长，在表示肽链时书写起来不方便，因此通常用英文名称的前 3 个字母或首字母表示，甘氨酸可表示为“Gly”或“G”。

参与组成天然蛋白质的氨基酸通常有 20 种。不同的氨基酸具有不同的 R 基，使得不同的氨基酸亲水性不同，酸碱性也有差异。

氨基酸是蛋白质的基本组成单位，这些氨基酸是怎样形成不同的蛋白质的呢？

氨基酸有序连接形成蛋白质的一级结构

蛋白质由许多氨基酸分子相互连接而成。氨基酸分子相互结合的方式是：一个氨基酸分子的氨基（ $-\text{NH}_2$ ）和另一个氨基酸分子的羧基（ $-\text{COOH}$ ）相互连接并脱去一分子水。这个过程称为脱水缩合（图 3-11）。连接 2 个氨基酸分子的化学键（ $-\text{NH}-\text{CO}-$ ）叫作肽键。

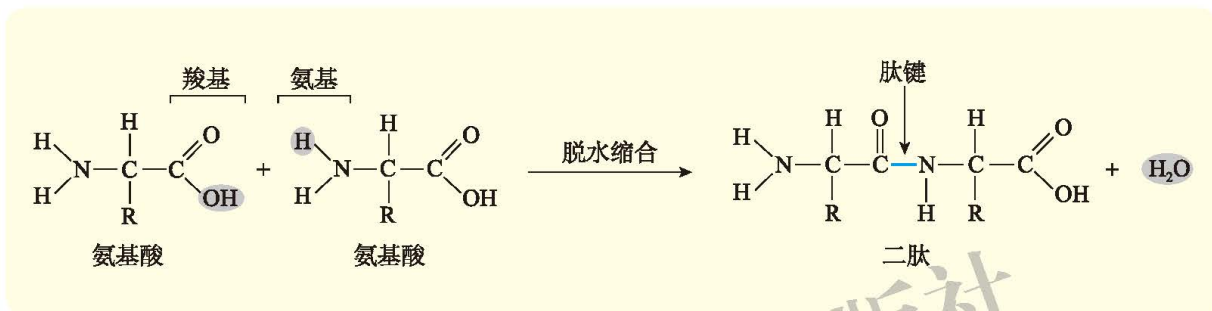


图 3-11 氨基酸分子脱水缩合形成二肽的图解

两个氨基酸分子脱水缩合而成的化合物，叫作二肽。由多个氨基酸分子脱水缩合而成的，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。其中含有游离的氨基的一端称为氨基端或 N 端，含有游离的羧基的一端称为羧基端或 C 端。构成蛋白质的每一个氨基酸单位称为氨基酸残基。氨基酸在肽链上的排列顺序就是蛋白质的一级结构。

多肽可以由数个至成千上万个氨基酸脱水缩合形成。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，每一种多肽有其独特的氨基酸序列，包含了决定其高级结构的所有信息，而高级结构又与蛋白质的功能直接相关。

然而大多数刚合成的多肽是不具备生物活性的，怎样才能形成有功能的蛋白质呢？

蛋白质的一级结构是空间结构形成的基础



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注蛋白质的空间结构与一级结构的关系。

1961 年，美国化学家在研究牛胰核糖核酸酶 A (RNase A) 的去折叠（变性）和重折叠（复性）时发现，蛋白质的功能与其三维结构密切相关。

RNase A 是由 124 个氨基酸残基组成的 1 条肽链 (图 3-12), 分子中 8 个半胱氨酸残基的巯基 ($-SH$) 形成 4 个二硫键, 肽链进一步折叠成为具有特定三维空间结构的生物大分子。

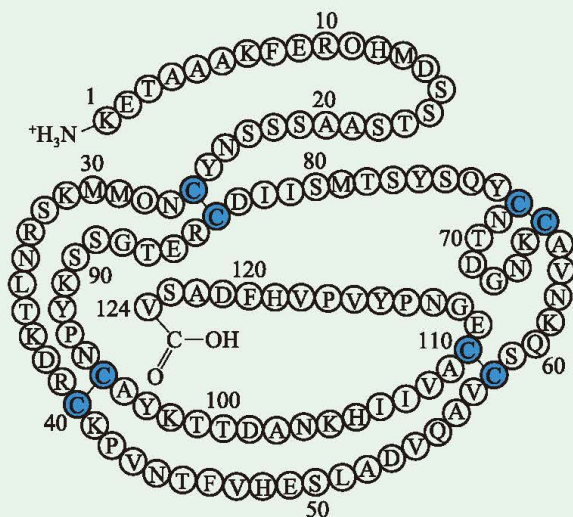


图 3-12 RNase A 的一级结构

图中●—●代表 2 个半胱氨酸之间含有一个二硫键

在天然的 RNase A 溶液中加入适量变性剂尿素和还原剂 β -巯基乙醇, 分别破坏氢键和二硫键, 使蛋白质空间结构被破坏, 酶即变性失去活性。由于肽键未受影响, 蛋白质的一级结构仍存在。将尿素和 β -巯基乙醇经透析除去, 酶活性及其他一系列性质均可恢复到与天然酶一样。

根据阅读获得的信息, 思考下列问题:

1. 蛋白质的一级结构与三维结构有怎样的关系?
2. 蛋白质的结构与功能之间存在怎样的联系?

RNase A 的变性、复性及其酶活性变化充分说明, 蛋白质的一级结构是空间结构形成的基础, 而只有具备了特定空间结构的蛋白质才具有生物学活性。

蛋白质的一级结构形成后, 肽链的主链部分 (不包括 R 基) 在局部形成一种有规律的折叠或螺旋, 这就是蛋白质的二级结构。二级结构的形成主要是由主链上原子间形成的氢键决定的。蛋白质的三级结构是指构成蛋白质的肽链在二级结构的基础上, 进一步盘绕、弯曲和折叠形成的特定空间结构。有些蛋白质由一条以上肽链组成, 这些具有三级结构的肽链之间相互作用, 形成蛋白质的四级结构 (图 3-13)。

肽链的氨基酸组成, 盘曲、折叠方式及其形成的空间结构千差万别, 造成了蛋白质三维结构的多种多样。

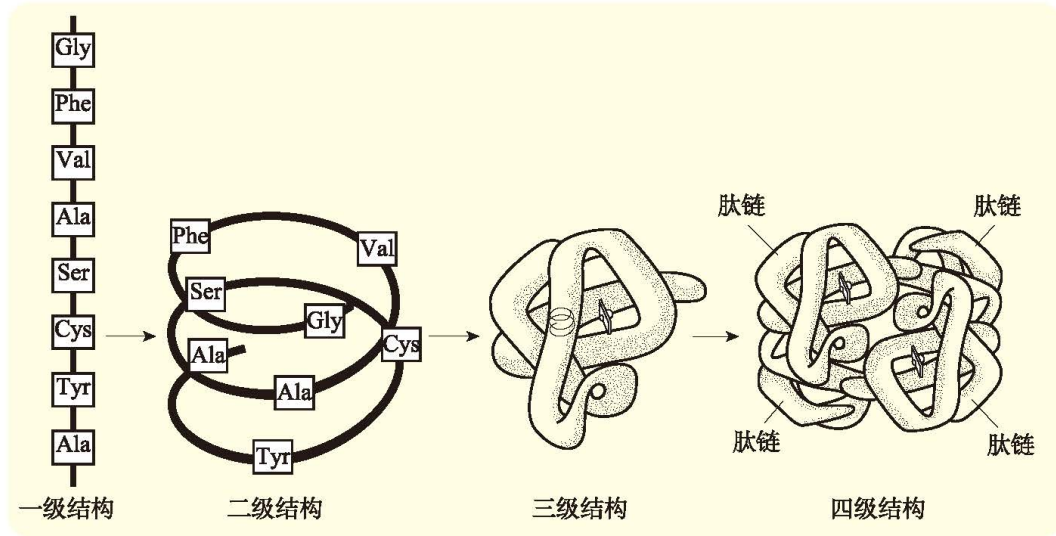


图 3-13 蛋白质的空间结构

蛋白质的结构决定其功能



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注血红蛋白的功能与结构之间的关系。

1910年，人们发现一个严重贫血的患者其红细胞是镰刀状的，该病被称为镰状细胞贫血。1945年，鲍林（Linus Pauling, 1901—1994）等人应用电泳技术发现镰状细胞贫血是由细胞中含有异常的血红蛋白引起的。异常血红蛋白与正常血红蛋白在一级结构上只有一个氨基酸不同，即其中的一个谷氨酸变为了缬氨酸。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 血红蛋白功能异常的原因是什么？
2. 镰状细胞贫血患者的血红蛋白携氧能力降低，说明蛋白质的结构与其功能之间有怎样的联系？

镰状细胞贫血患者的血红蛋白功能的异常是由于构成蛋白质的一级结构发生了改变，其中的一个氨基酸由谷氨酸变为了缬氨酸，因为这个氨基酸的变化是从亲水性氨基酸残基变成疏水性氨基酸残基，使得血红蛋白在这个位置相互结合，不能形成正确的空间结构，从而导致红细胞不能正常携带 O_2 。

此外，前面提到的 RNase A 在变性时，虽然一级结构没有改变，但其空间结构完全被破坏，导致酶活性丧失。可见，蛋白质的功能不仅与一级结构有关，还依赖于蛋白质的空间结构。没有适当的空间结构，蛋白质就不能发挥它的生物学功能。

一直以来人们都认为蛋白质结构的变化来自氨基酸序列的变化，但是一级结构完全相同的蛋白质也会有不同的空间结构，这与蛋白质的能量和稳定性有关。因此，蛋白质的功

能取决于氨基酸序列及其形成的空间结构，细胞的功能主要由蛋白质完成。

疯牛病是由一种被称为朊病毒的蛋白质感染引起的，这种蛋白质也可以感染人从而引起神经系统疾病。致病的朊病毒与维持机体正常神经活动所需要的某种蛋白质的一级结构完全相同，只有空间结构不同。朊病毒会通过蛋白质分子间的作用，导致该正常蛋白质转变为致病的折叠状态。

随着蛋白质折叠研究的深入，人们会发现更多疾病的真正病因和更有针对性的治疗方法，并设计出更有效的药物。

实践应用 实验

检测生物组织中的还原糖、蛋白质和脂肪

● 目的要求

1. 尝试用化学试剂检测生物组织中的还原糖、蛋白质和脂肪。
2. 设计和评估对照实验方案，并根据实验结果得出结论。
3. 举例说明常见的生物组织材料中含有的物质，并解释细胞由多种有机分子组成。

● 实验原理

某些化学试剂能够与生物组织中的某些有机化合物发生特定的颜色反应。可溶性还原糖（如葡萄糖、果糖、麦芽糖）能与斐林试剂（或本尼迪特试剂）在热水浴中生成砖红色沉淀；蛋白质可以与双缩脲试剂发生紫色反应；细胞中的脂肪可被苏丹Ⅲ（或苏丹Ⅳ）染液染成橘黄色（或红色）。因此，可以利用这些颜色反应，检测生物组织中的还原糖、蛋白质和脂肪的存在。

● 材料用具

苹果或梨匀浆液，花生种子，牛奶，白萝卜汁，番茄汁（或其他自备的生物组织材料）；斐林试剂（甲液是质量分数为10%的NaOH溶液，乙液是质量分数为5%的CuSO₄溶液），双缩脲试剂（A液是质量分数为10%的NaOH溶液，B液是质量分数为1%的CuSO₄溶液），苏丹Ⅲ或苏丹Ⅳ染液，葡萄糖溶液，蒸馏水；量筒，试管，滴管，恒温水浴锅，载玻片，盖玻片，显微镜等。

⚠ 注意

如果检测试剂不慎滴到皮肤或衣服上，要马上用自来水冲洗。实验结束后必须洗手。

● 方法步骤

1. 还原糖的检测

步骤	试管		
	①号	②号	③号
(1) 向试管内注入	2 mL 葡萄糖溶液	2 mL 蒸馏水	2 mL 待测样液
(2) 向试管内注入	1 mL 斐林试剂（甲液和乙液等量混合均匀后再注入）		
(3) 水浴加热	将试管放入 50~65℃ 水中水浴加热 2~3 min		
(4) 观察记录	观察并记录试管中的颜色变化		

2. 蛋白质的检测

步骤	试管		
	①号	②号	③号
(1) 向试管内注入	2 mL 牛奶	2 mL 蒸馏水	2 mL 待测样液
(2) 向试管内注入	双缩脲试剂 A 液 1 mL, 摇匀		
(3) 向试管内注入	双缩脲试剂 B 液 4 滴, 摇匀		
(4) 观察记录	观察并记录试管中的颜色变化		

3. 脂肪的检测

将花生种子在水中浸泡后撕取子叶表皮细胞, 用苏丹Ⅲ (或苏丹Ⅳ) 染液进行染色, 制作临时装片后在显微镜下观察。

● 思考讨论

1. 实验中, 设置①号和②号两支试管的作用是什么?
2. 能否选择用番茄汁作为待测样液检测还原糖? 为什么?
3. 你预测的实验结果和实际结果是否一致? 如果不一致请分析原因。
4. 该实验能否测定待测样液中含有的某种化合物的含量? 请阐述理由。

检测评价

1. 鸡蛋既是人们餐桌上富有营养的食品, 又可用于提取绿色天然的酶制剂。鸡蛋清中含有的溶菌酶, 是一种催化肽聚糖水解的酶, 可破坏细菌的细胞壁, 使细菌裂解, 有很大的开发应用价值。请回答下列问题:

(1) 鸡蛋中含量最多的有机化合物是 ()。

- A. 水 B. 糖类 C. 蛋白质 D. 核酸

(2) 我们吃鸡蛋后, 摄入的蛋白质不能够直接被人体利用, 需要经过消化水解成基本单位氨基酸后才能够被细胞吸收。下面与此相关的叙述正确的是 ()。

- A. 煮熟的鸡蛋因蛋白质水解而无法发育成小鸡
 B. 吃鸡蛋能够补充溶菌酶, 有益于身体健康
 C. 鸡蛋清中有机物的种类和含量高于鸡蛋黄
 D. 只有新鲜的鸡蛋才可用于提取和生产溶菌酶制剂

2. 胰岛素是由胰岛 B 细胞分泌的一种蛋白质激素, 由 A、B 两条链组成, 共含有 51 个氨基酸残基, 胰岛素参与调节糖代谢, 在促进全身组织细胞对葡萄糖的摄取和利用方面, 发挥着举足轻重的作用。请回答下列问题:

(1) 在胰岛 B 细胞内合成胰岛素时, 形成 _____ 个肽键。

(2) 生长激素和胰岛素都是人体内对生命活动起重要调节作用的激素, 但是

功能不同，下列叙述中与蛋白质功能无关的是（ ）。

- A. 氨基酸的数目、种类和排列顺序
- B. 构成蛋白质的肽链的数目
- C. 构成蛋白质的肽链的空间结构
- D. 每个氨基酸至少含有一个氨基和一个羧基

(3) 1965年，中国科学家在全球首次人工合成了与天然胰岛素结构相同且功能完全一致的蛋白质。这项成果获1982年国家自然科学奖一等奖。人工合成蛋白质为什么对于蛋白质化学的研究具有重要意义？这对于人类解读细胞生命活动的秘密具有怎样的价值？



开阔眼界

合成蛋白质

人工合成蛋白质是蛋白质化学的重要研究方向。无论是在理论上，还是在实践上，蛋白质在生命系统中的地位使得其合成在研究领域广受关注。第一个成功的范例是胰岛素的人工合成。

1965年9月17日，中国科学家完成了结晶牛胰岛素的全合成。经过严格鉴定，它的结构、生物活性、物理化学性质、结晶形状都和天然的牛胰岛素完全一样。这项成果获1982年国家自然科学奖一等奖。

如今，我们可以按照需要设计并制造更多的蛋白质，这些蛋白质有可能实现多种神奇的功能。设计的过程是这样的，首先确定一种能解决某个具体问题或实现某种特定功能的蛋白质结构，然后反过来确定这种结构的氨基酸序列，通过对细菌进行基因改造，使细菌的DNA能控制产生特定的氨基酸序列，进而合成相应的蛋白质。

合成蛋白质，不仅在清洁能源和医药催化剂、新型超强材料的研究方面发挥重要作用，而且在药物的靶向传递、新型疫苗的研发等医疗领域具有重要意义。蛋白质的研究是一个交叉学科研究的典范，涉及化学、生物学以及物理学等方法。研究方法和研究手段上的重大突破，是推动人们认识蛋白质的组成和结构，并且能够人工合成蛋白质的关键因素。



在进行人工合成牛胰岛素研究的科研团队



纪念人工合成结晶牛胰岛素50周年发行的邮票

第四节 核 酸

细胞核是遗传信息储存和复制的场所，是细胞遗传和代谢的控制中心。细胞核之所以具有如此重要的功能，是因为在细胞核中藏有携带遗传信息的“生命图纸”——核酸。为什么核酸能够作为生命的图纸，携带遗传信息呢？

核酸由核苷酸聚合而成

细胞中的核酸有两类，分别是脱氧核糖核酸（deoxyribonucleic acid, DNA）和核糖核酸（ribonucleic acid, RNA）。核酸由核苷酸聚合而成。一分子的核苷酸由一个磷酸基团和一个核苷连接而成，核苷包括一分子五碳糖和一分子含氮碱基（图 3-14）。

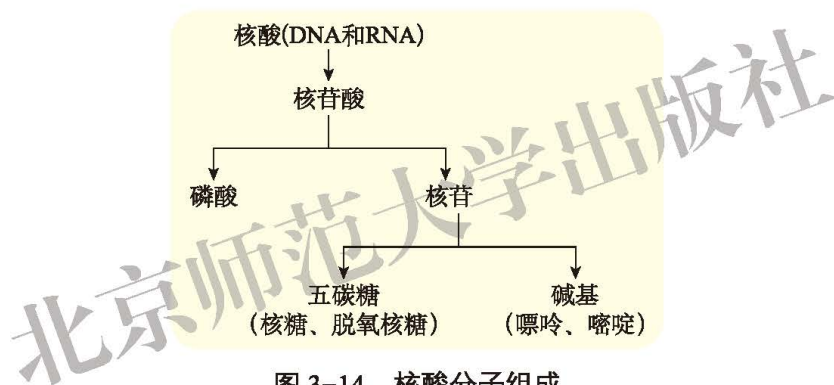


图 3-14 核酸分子组成

根据核苷酸中五碳糖的不同，核苷酸可分为脱氧核糖核苷酸和核糖核苷酸（图 3-15）。由多个脱氧核糖核苷酸连接形成的大分子是 DNA，由多个核糖核苷酸连接形成 RNA。DNA 和 RNA 各含有 4 种含氮碱基（图 3-16），二者共有腺嘌呤（A）、鸟嘌呤（G）、胞嘧啶（C）3 种碱基，DNA 特有胸腺嘧啶（T），RNA 特有尿嘧啶（U），因此组成 DNA 的脱氧核糖核苷酸和组成 RNA 的核糖核苷酸各有 4 种。

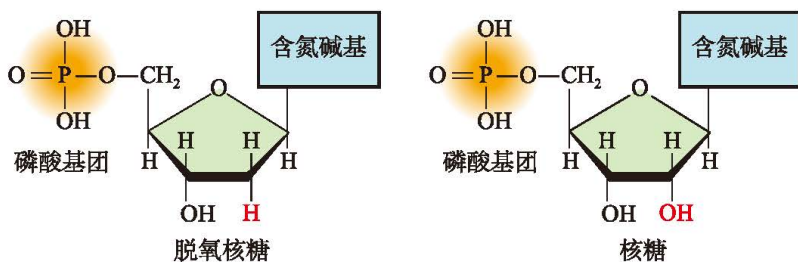


图3-15 脱氧核糖核苷酸（左）和核糖核苷酸（右）的分子结构

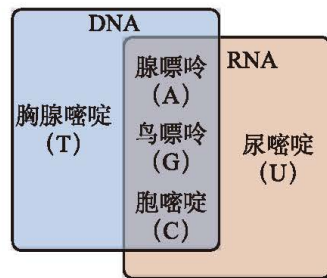


图 3-16 生物体内常见碱基在 DNA 与 RNA 中的分布

DNA 是大多数生物的遗传信息携带者，一般为双链；有些病毒的遗传信息则由 RNA 携带，一般为单链（图 3-17）。

核酸是储存和传递遗传信息的生物大分子

虽然核苷酸的种类有限，但是在连接成长链时核苷酸的数量庞大，核酸的相对分子质量一般比蛋白质还要大。核苷酸的排列顺序也是极其多样的，特定的核苷酸排列顺序就代表了特定的遗传信息。核酸可以通过复制将自身所携带的遗传信息传递下去。核酸是储存和传递遗传信息的生物大分子。

随着科技的发展，“DNA 条码技术”应运而生。DNA 条码技术是利用生物体中一段特殊的 DNA 片段对物种进行快速、准确鉴定的新兴技术，通过识别每种生物的独特 DNA 序列，帮助确定生物的种类、来源。这就好比通过扫描图书封底的条形码，可以获得这本书的简要信息一样。

DNA 条码技术可以从成千上万的生物标本中，通过比对 DNA 序列快速地确定生物的种类，在生物分类、生物多样性保护等方面具有重要作用。

细胞中含有 DNA 和 RNA 两种核酸。真核细胞的 DNA 主要分布在细胞核中，线粒体、叶绿体内也含有少量的 DNA；原核细胞的 DNA 主要分布于拟核中。RNA 主要分布在细胞质中。

DNA 与 RNA 的结构差异以及在细胞中分布的不同，与二者在细胞内的功能存在着密切的联系。对于绝大多数生物来讲，DNA 储存并携带遗传信息，能够通过指导蛋白质的合成来控制生物的性状。每个生物的“生命图纸”都不同，这是生命多样性的根本原因，使得生命具有绚丽多彩、独一无二的魅力！



图 3-17 DNA (左) 和 RNA (右) 的分子结构示意图

检测评价

1. DNA 指纹技术在案件侦破工作中有着重要作用，从案发现场获取的生物组织材料中提取 DNA 样品，可为案件侦破提供证据。请回答下列问题：

(1) 同一个人的不同组织中提取的 DNA 是一样的，能够提取到 DNA 样品的生物组织材料有_____。

- ①血痕 ②精液 ③唾液 ④指甲

(2) DNA 分子可以为案件侦破提供证据的原理是()。

- A. 不同人体内的 DNA 所含的碱基种类不同
 B. 不同人体内的 DNA 所含的五碳糖和磷酸不同
 C. 不同人体内的 DNA 的空间结构不同
 D. 不同人体内的 DNA 所含的脱氧核糖核苷酸排列顺序不同

2. 20世纪四五十年代,奥地利生物化学家查盖夫分析了来自不同生物的DNA。他发现,每种碱基的百分比在不同生物中各不相同,但腺嘌呤与胸腺嘧啶、鸟嘌呤与胞嘧啶的含量总是相同的。请回答下列问题:

(1) 从携带遗传信息的量来看,下列生物中DNA分子数量最少的应该是()。

A. 细菌 B. 海胆 C. 鱼 D. 人

(2) 代表胸腺嘧啶的英文字母是 _____, 如果胸腺嘧啶的百分比在海胆和鱼的细胞中不同,意味着二者的DNA分子序列 _____ (相同/不相同)。

(3) 什么情形会导致腺嘌呤和胸腺嘧啶的含量总是相同? 请尝试做出合理的解释。

(4) 结合查盖夫的发现,试分析尿嘧啶会不会与某个碱基的含量总是相同,并说明原因。



开阔眼界

基因测序与基因芯片

基因测序一般指的是在获取细胞的DNA样本后,通过一定的技术手段,分析特定DNA片段的碱基序列,也就是测定特定DNA分子上A、T、C、G的排列顺序。得到测序结果后,通过比对数据库中已知基因的碱基序列,分析测序结果,可推测罹患某种疾病的概率。

近几年来,单分子测序和超高通量测序技术蓬勃发展,测序速度不断加快,价格也在不断降低。这些变化给生命科学研究带来更多的资源和便利,也将对改善人类健康及生活质量起到巨大的作用。

目前,用一种带USB插头的微芯片设备做DNA检测,只需30 min即可查清受试者是否携带某种疾病风险基因,价格也越来越低廉。这种微芯片称为“芯片实验室”。

每个“芯片实验室”都预先内置一种来自易患某种疾病的人的基因序列,以此来识别能与这种基因匹配的人。如受试者的样本DNA序列和芯片中原有的基因序列匹配,引起芯片中的 H^+ 释放,芯片会产生一种信号,显示出受试者可能存在易患某种疾病的风险,并且通过数据库计算出患病概率。这项技术有望在整个公共卫生领域普及,使医学研究的重点从治疗疾病转向早期预防。

第五节 元素与生物大分子

生物体的元素来源于周围环境。植物从周围环境中摄取 C、H、O、N、P、S 等元素，动物直接或间接以植物为食，也获取了相同的元素。人体细胞所含有的元素在地壳中都能找到，没有一种元素是人体细胞特有的。作为生命活动基本单位的细胞主要含有哪些元素？它们在细胞内的含量如何？有哪些生物大分子在生命活动过程中发挥着重要的作用？

细胞主要由C、H、O、N、P、S等元素组成



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注不同生物细胞中元素的种类与含量。

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？表 3-4 显示了人体细胞和玉米植株的元素组成。

表 3-4 人体细胞和玉米植株的元素组成（占细胞干重的百分比/%）

元素	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
⋮	⋮	⋮

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 人体细胞和玉米植株的元素种类与含量有哪些异同？
2. 表 3-4 中的数据，能否为“生物体存在共同的祖先”这一观点提供证据？请说明理由。

表 3-4 中的这些元素组成各种物质，包括水、无机盐、糖类、脂质、蛋白质、核酸等。这些物质又构成生命活动的基本单位——细胞，从而完成各种生命活动。

在 90 多种天然元素中，约有 25 种为生命所需。从表 3-4 中可以看出，在人体细胞和玉米植株中 C、H、O 和 N 是 4 种基本元素，所占的干重百分比超过 85%，其余的则由 Ca、P、K、S、Fe、Cl、Mg 以及其他微量元素所构成。微量元素（少于 0.01%）包括 B、Cu、F、I、Mn、Mo、Se、Si、Sn、Zn 等，是生物体需求量极少却不可或缺的元素。因此，细胞主要由 C、H、O、N、P、S 等元素构成。

构成细胞的元素来自无机环境，但形成了比非生物界更加多种多样的化合物，从而在细胞构成和生物体生命活动调节中发挥作用。从元素组成来看，无论是人还是玉米植株，虽然元素含量差异很大，但含有的元素种类相同，这也为“生物体存在共同的祖先”提供了证据。

以碳链为骨架形成生物大分子

在活细胞中，除了水分子和无机盐离子，几乎所有分子都是以碳元素为基础构建的。因为碳原子小，其最外层电子层有 4 个电子和 4 个电子空位，故 1 个碳原子可以与其他原子形成 4 个共价键。最重要的是，碳原子之间可用高度稳定的 C—C 共价键结合形成链或环（图 3-18）。组成细胞的元素以碳链为骨架形成复杂的生物大分子。

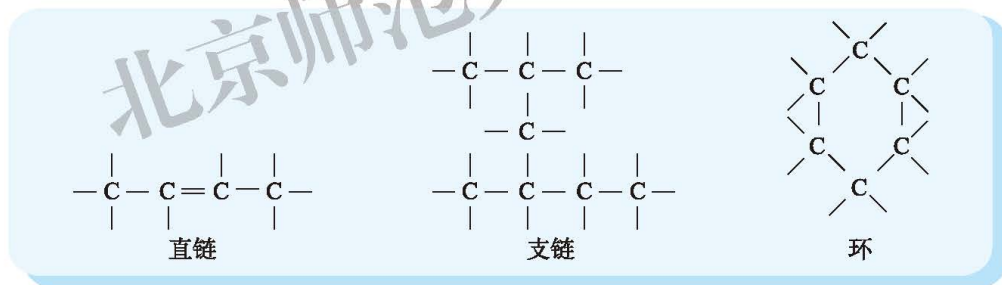
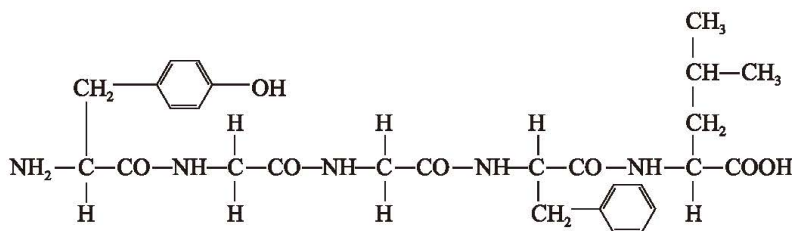


图 3-18 碳原子的连接方式

除了碳骨架外，有机化合物的性质还取决于与碳骨架相连的某些含 H、O、N、P 和 S 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。

检测评价

1. 脑啡肽是一种具有镇痛作用的药物，下面是脑啡肽的结构简式。



请回答下列问题：

(1) 脑啡肽与质膜上的磷脂分子比，缺少的元素和含量显著较多的元素分别是()。

A. S 和 N B. S 和 O C. P 和 N D. P 和 O

(2) 形成脑啡肽的氨基酸分子数以及缩合过程中生成的水分子数分别是()。

A. 3 和 2 B. 4 和 3 C. 5 和 4 D. 6 和 5

2. 科学家在探究 DNA 和蛋白质谁是遗传物质的时候，运用了同位素标记法进行研究。科学家选择了一种病毒作为实验材料，该病毒只含有 DNA 和蛋白质两种成分，其中蛋白质含有 C、H、O、N、S 五种元素。该病毒侵染细菌后，在细菌细胞内繁殖产生子代病毒。请回答下列问题：

(1) DNA 和蛋白质是两种重要的生物大分子，二者共有的元素有_____，在运用同位素标记法进行研究时，需要分别观察 DNA 和蛋白质能否由亲代遗传给子代，此时应该分别选择哪种元素进行标记？请简述理由。

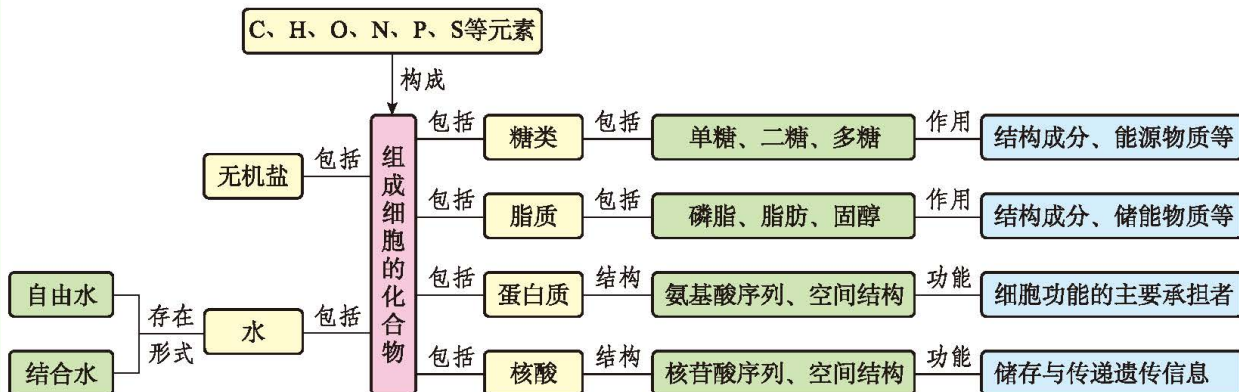
(2) 科学家在掌握了一定实验结果的基础上推测蛋白质是遗传物质，请你结合遗传物质的功能，从蛋白质结构的角度分析其能否作为遗传物质。

(3) 分别对亲代病毒的 DNA 和蛋白质进行标记后，让该病毒侵染没有放射性同位素标记的细菌，若观察到_____的实验结果，则说明该病毒的遗传物质是 DNA。

(4) 由单体聚合形成生物大分子对于复杂生命的出现具有怎样的重要意义？请简要说明。

本章小结

● 基础知识梳理



生物与无机环境之间、不同生物之间组成元素的种类具有统一性，只是在元素含量上具有差异性。以碳链为骨架形成的生物大分子是细胞结构及细胞执行各项生命活动的重要物质基础。糖类有多种类型，它们既是细胞的重要结构成分，又是生命活动的主要能源物质。不同的脂质对维持细胞结构、储能和调节生命活动具有重要作用。蛋白质是细胞功能的主要承担者，通常由 20 种氨基酸分子组成，氨基酸序列及其形成的空间结构决定蛋白质的功能。核酸由核苷酸聚合而成，是储存与传递遗传信息的生物大分子。

● 学科素养提示

基于对细胞的组成物质的分离和检测，从结构与功能相适应的视角，解释细胞由多种多样的分子组成，这些分子是细胞执行各项生命活动的物质基础，举例说明水、无机盐和有机分子在细胞和生物体的生命活动中的重要作用。论述改造核酸、蛋白质的结构和调控糖类、脂肪的含量等技术对改善人们健康水平的理论意义和应用前景。

糖代谢

氨基酸代谢

能量代谢

第 4 章

细胞的代谢

会不会有那么一天，原本空旷的荒漠，或者城市的楼顶都可以成为“制造”食物的工厂？只要在类似于太阳能电池板的装置下面输送水分和无机盐，再让天然镶嵌的“人工叶片”在微风中时时调整方向朝向太阳，有机营养就会从流水线的末端汨汨淌出……这是人类试图模仿细胞代谢的大胆“梦想”。细胞的物质合成和分解是如何发生的？能量是如何输入、输出细胞，在细胞中又发生了怎样的转化呢？让我们一起来了解主要的细胞代谢过程及其机理吧！



学习目标

1. 在理解细胞的功能绝大多数基于化学反应的基础上，形成物质与能量观、局部与整体观等生命观念，阐明细胞生命活动过程中贯穿着物质与能量的变化，分析细胞各部分结构分工与合作的过程。
2. 基于酶的特性、ATP 的结构特点、细胞呼吸的机理以及光合作用的机理，能运用归纳、演绎等科学思维方法，用图示、模型等方式，说明细胞代谢的规律。
3. 通过酶的特性、细胞呼吸的方式、光合色素的提取和分离、影响光合作用的因素等学习实践活动，加深对细胞代谢的理解；提出解决特定问题的方案，通过实验与探究等方式探讨相关问题。
4. 主动关注生产和生活实践，能运用细胞代谢的相关知识，为农业生产和健康生活实践提出合理建议。

第一节 酶

进餐后，食物中的淀粉会在消化道中很快水解成葡萄糖，而葡萄糖被细胞摄取之后，又会迅速氧化分解或者转化为其他物质。然而，事实上淀粉和葡萄糖都是非常稳定的化合物，即使储存在富含 H_2O 和 O_2 的环境中，它们也几乎不会发生任何变化，为什么在人体内它们就能够快速发生化学反应呢？

一 酶的化学本质及作用

细胞中每时每刻都在进行着复杂多样的化学反应，我们将其统称为细胞代谢。细胞代谢是细胞生命活动的基础。细胞内的数千种反应中，某一反应的产物往往是另一反应的原料，这些反应相互关联、高效有序地进行着，保证了细胞结构与功能的稳态。为什么细胞代谢如此高效而有序呢？



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注酶的来源、化学本质和功能。

资料 1. 19 世纪 30 年代，人们已经认识到酿制葡萄酒的原理是葡萄汁中的糖类在酵母菌的作用下分解，产生 CO_2 和酒精（图 4-1）。1857 年，法国微生物学家巴斯德（Louis Pasteur, 1822—1895）认为葡萄酒的发酵是一个生理过程，只能发生在完整的酵母活细胞中。而德国化学家李比希（Justus Liebig, 1803—1873）则认为发酵是一种化学过程，酵母颗粒起着催化剂的作用，类似于铂粉颗粒催化过氧化氢（ H_2O_2 ）的分解。后来有科学家提出假说，认为微生物中含有某些化学物质，是它们引起了发酵，并把这些化学物质命名为酶，然而当时许多科学家从酵母菌中分离酶的尝试都失败了。



图 4-1 葡萄汁在酵母菌的作用下发酵成葡萄酒

资料 2. 1897 年，德国化学家布赫纳（Eduard Buchner, 1860—1917）将酵母细胞用沙粒磨碎后进行过滤，得到了酵母汁。为了保存新鲜的酵母汁，他把蔗糖作为防腐剂加入其中，结果他惊奇地发现，蔗糖被发酵转化成了酒精和 CO_2 。在后续的研究

究中，他发现高温、酸、碱和很多有机溶剂处理后都会使酵母汁的这种功能丧失。

资料 3. 1917 年，美国科学家萨姆纳（James Sumner, 1887—1955）开始尝试从刀豆种子中提取脲酶。1926 年，他以丙酮为溶剂，成功地获得了高纯度的结晶体，结晶体溶于水后能够催化尿素分解成 CO_2 和 NH_3 的反应。萨姆纳发现脲酶晶体的组分几乎全是蛋白质，因此推断所有酶都是蛋白质。20 世纪 30 年代，其他科学家相继结晶出胃蛋白酶等各种消化酶，并发现它们都是蛋白质。萨姆纳的观点被广泛地接受了。

资料 4. 1982 年，美国科学家切赫（Thomas Cech, 1947— ）发现原生动物的四膜虫新合成的核糖体 RNA 在溶液中不存在蛋白质的情况下，能够成功地催化自身剪切和重新连接，变成成熟的核糖体 RNA。后来，科学家又发现了多种能够催化自身或其他 RNA 剪接的 RNA，并将它们统称为核酶。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 巴斯德和李比希争论的焦点是什么？他们的争论对酶的后续研究有什么积极意义？
2. 布赫纳的实验能否证实资料 1 中关于“酶”的假说？
3. 萨姆纳的观点历经数年才被广泛接受，其原因是什么？
4. 结合资料 1、2、3 的研究成果，说明切赫的研究对前述问题做出了什么补充。酶的来源、功能和化学本质是什么？

巴斯德和李比希都不否认酵母菌在发酵中的重要作用，然而巴斯德强调酵母菌必须保持存活和结构的完整才能发挥作用，而李比希则不认同这一点。他们的争论引起了科学界对发酵机理的关注，实验证明起催化作用的不是酵母颗粒，而是酵母细胞内的一类物质，而且这类物质易被高温、酸、碱等条件破坏。科学家的研究揭示了酶的本质，为进一步研究酶的作用机理奠定了基础。在众多科学家的共同努力下，人们认识到酶是活细胞产生的具有催化功能的有机物，绝大多数酶的化学本质是蛋白质，少数酶的化学本质是 RNA。

细胞代谢的各种反应中，有些反应的产物自由能水平高于反应物，这样的反应属于吸能反应，如光合作用和氨基酸的脱水缩合。有些反应的产物自由能水平低于反应物，这样的反应属于放能反应，如糖的氧化分解。然而即使是放能反应，也不一定能够快速发生，因为已有化学键的断裂和新键的形成都需要使化学键发生扭曲，形成一种比反应物和产物自由能水平更高的过渡态。过渡态是反应分子经历的一个短暂瞬间，旧键的断裂、新键的形成和电荷的变化等事件都发生在这一刻。因此，任何反应的发生都需要反应物首先获得一定能量，达到过渡态，这一能量称为活化能。

小资料

自由能

自由能指的是在一个体系中，能够用来做有用功的那部分能量。

给反应体系加热能够提高反应物分子的能量水平，因此能够提高反应速率。酶和无机催化剂都是通过降低化学反应的活化能来加快反应速率的（图4-2）。

细胞代谢中几乎所有的反应都是酶促反应，酶促反应中受到酶催化作用的分子称为底物。目前，科学家已经发现了4 000多种酶，并根据这些酶催化的反应类型，把它们分为氧化还原酶、水解酶和合成酶等，并赋予了每种酶一个系统名称，名称中明确标明酶的底物及催化反应的性质。例如，催化脂肪水解的酶名称是“脂肪水解酶”。很多酶还具有习惯名。水解酶往往以其来源和底物为名。例如，唾液腺分泌的催化淀粉水解的酶叫作唾液淀粉酶，胰腺分泌的催化蛋白质水解的酶叫作胰蛋白酶。还有一些酶的习惯名反映其功能。例如，ATP合成酶是催化ATP合成的酶，溶菌酶则是催化细菌细胞壁中肽聚糖水解的酶。

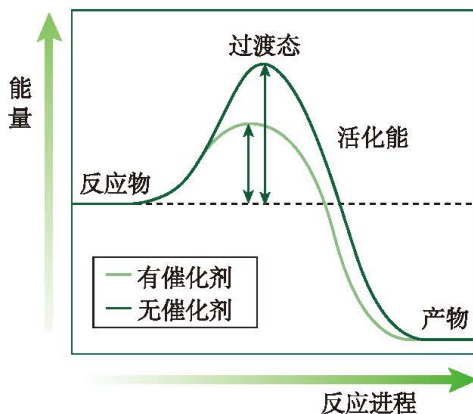


图4-2 催化剂降低化学反应的活化能示意图

检测评价

1. 厨房中常用的干酵母粉推荐用法为：用35℃左右的温水将酵母溶解后倒入面粉，揉成光滑的面团；置于温暖处发酵40~60 min；待面团体积增大或内部出现蜂窝状，即可蒸制。请回答下列问题：

- (1) 关于干酵母粉的叙述不正确的是()。
- A. 干粉中的酵母细胞是死细胞
 - B. 酵母细胞在面团中会快速繁殖
 - C. 酵母细胞中存在能够分解糖类的酶
 - D. 酵母细胞中的酶分解糖类产生了气体
- (2) 关于酵母细胞内酶的叙述正确的是()。
- A. 所有的酶都是蛋白质
 - B. 酶与无机催化剂的作用原理相同
 - C. 酶总是在高温加热的情况下才有活性
 - D. 酶在催化生化反应时结构不会发生改变

2. 粗糙脉孢菌中精氨酸的合成途径如下图所示，其中精氨酸是细胞生活的必需物质，而鸟氨酸等中间代谢产物都不是必需物质。科学家发现了四种脉孢菌突变体，它们因为某种酶发生缺陷，都不能自己合成精氨酸，但都能在含有精氨酸的培养基上生长，因此被统称为精氨酸缺陷型突变体。



请回答下列问题：

- (1) 上图中四种酶的功能分别是什么？它们的化学本质最可能是什么？
- (2) 某种脉胞菌突变体只能在添加了精氨酸的培养基上生长，在分别添加了鸟氨酸、瓜氨酸和精氨酰琥珀酸的培养基上都无法生长，该突变体的哪种酶一定是有缺陷的？
- (3) 请设计一个实验，鉴定出某种精氨酸缺陷型突变体的缺陷酶。



开阔眼界

超级细菌的“武器”

在现代医疗卫生领域中，抗生素是常用的抗感染药物。青霉素是人类最早发现的抗生素，它能与细菌转肽酶的活性中心结合，特异性抑制转肽酶的活性，阻止细菌形成正常的细胞壁，使其很容易因吸水过多而死亡。

早在1940年，就有研究者发现一些细菌含有 β -内酰胺酶，能够破坏青霉素分子的结构，使青霉素失去效力。当青霉素首次作为药物使用时，其治疗效果显著。然而由于青霉素的广泛使用杀灭了敏感型细菌，少数含有 β -内酰胺酶的抗性细菌存活下来并迅速增殖，导致如今很多致病菌都具有青霉素抗性。

万古霉素通过与转肽酶的底物结合从而抑制细菌细胞壁形成，细菌需要获得多种新的酶活性才能抵抗万古霉素，因此万古霉素不容易让细菌产生抗性。遗憾的是，近年来已有多种万古霉素的抗性病原体被发现，它们被称为超级细菌。超级细菌的出现很可能与在动物饲料中广泛使用与万古霉素的作用模式相同的阿沃菌素有关。

在与细菌性病原体的对抗中，抗生素是我们最得力的武器，然而由于人类的滥用，这种法宝正在逐渐失去它的力量。滥用抗生素除了引发细菌耐药问题以外，还会破坏人体正常菌群，危害人类健康。因此，我们在临床医疗中应慎用抗生素，在家禽、家畜饲养中也应严格控制添加抗生素的种类和用量。



酶的特性

酶具有催化剂的共性特点，如不为化学反应供能，不改变化学反应的平衡点，反应前后的总量和化学性质不发生改变等。作为一类化学本质是生物大分子的生物催化剂，酶又有哪些不同于无机催化剂的特性呢？

酶催化具有高效性



寻找证据 实验

比较过氧化氢酶和 Fe^{3+} 的催化效率

● 目的要求

1. 运用特定方法测定 H_2O_2 的分解速率。
2. 比较过氧化氢酶和 Fe^{3+} 的催化效率。
3. 探究酶的催化是否具有高效性。

● 实验原理

细胞代谢过程中会产生对细胞有害的 H_2O_2 ，细胞中存在过氧化氢酶，能及时催化 H_2O_2 分解成 O_2 和 H_2O 。新鲜肝脏细胞中过氧化氢酶的含量比较丰富。

质量分数为 3.5% 的 FeCl_3 溶液中 Fe^{3+} 的摩尔浓度约为质量分数为 20% 的肝脏研磨液中过氧化氢酶摩尔浓度的 25 万倍。

分别用一定量的过氧化氢酶和 Fe^{3+} 催化 H_2O_2 的分解，通过观察溶液中产生气泡的速率可以比较二者的催化效率。

● 材料用具

质量分数为 20% 的新鲜肝脏研磨液；体积分数为 3% 的 H_2O_2 ，质量分数为 3.5% 的 FeCl_3 溶液，蒸馏水；量筒，试管，滴管，试管架，卫生香，火柴等。

● 方法步骤

1. 取 3 支洁净的试管，分别标注为①号、②号、③号，各注入 2 mL H_2O_2 。
2. 向①号试管加入 2 滴蒸馏水，向②号试管加入 2 滴肝脏研磨液，向③号试管加入 2 滴 FeCl_3 溶液，振荡混匀，观察 3 支试管中产生气泡的数量。
3. 把带火星的卫生香分别放在 3 支试管内液面的上方，观察卫生香的燃烧情况。

根据实验获得的信息，思考下列问题：

1. ①号试管中有气泡产生吗？这说明什么？
2. 哪支试管中产生的气泡数量最多，反应最快？
3. 根据上述实验结果可以得出什么结论？

有的化学反应既可以被无机催化剂催化，又可以被特定的酶所催化。 H_2O_2 的分解既可以被 Fe^{3+} 等无机催化剂所催化，又可以被过氧化氢酶所催化。 H_2O_2 自发分解放氧的速率很低，加入 Fe^{3+} 后，产生气泡的速率明显增加，而加入过氧化氢酶后，气泡的产生速率远高于在 Fe^{3+} 催化下的速率，这表明过氧化氢酶的催化效率比 Fe^{3+} 等无机催化剂的催化效率高得多。通常，无机催化剂能够使反应速率提高 100~1 000 倍，而酶可以使反应速率提高 $10^8 \sim 10^{12}$ 倍。可见，酶的催化作用具有高效性。

酶催化具有专一性

淀粉和各种二糖的水解都可以被酸催化，但无机催化剂没有专一性，人体消化道中有各种各样催化糖类水解的酶，如淀粉酶、麦芽糖酶、蔗糖酶和乳糖酶等，其中淀粉酶只能催化淀粉的水解，而蔗糖酶则只能催化蔗糖的水解。

通常，一种酶只能催化一种或一类化学反应，这叫作酶的专一性。

为什么酶的催化作用具有高效性和专一性呢？为了解释这一现象，科学家先后提出了很多假说，其中的“诱导契合（induced fit）”学说得到了大量的实验证据支持。

作为生物大分子，酶的体积相对较大，在酶分子中有一个能够与底物结合的部位，叫作活性中心（active center）。活性中心与底物在形状上互补，能够通过离子键和氢键等与底物发生特异性结合。中国科学家邹承鲁的研究表明，酶的活性部位与整个分子相比更具柔性。酶与底物结合之后，自身也发生微小的构象变化，使活性中心上一些特殊的带电荷的氨基酸 R 基团作用于底物，促进底物旧键的断裂和新键的形成。底物分子一旦转化成产物，就会与酶脱离，释放到溶液中（图 4-3）。随之，酶的构象也得以恢复。

思考

如果你把一些螺栓和螺母混放在袋子中，随机摇晃 10 s，二者容易紧密嵌合吗？如果你左手拿着螺栓，右手拿着螺母，并将二者对准呢？这与酶的作用机制有什么相似性？

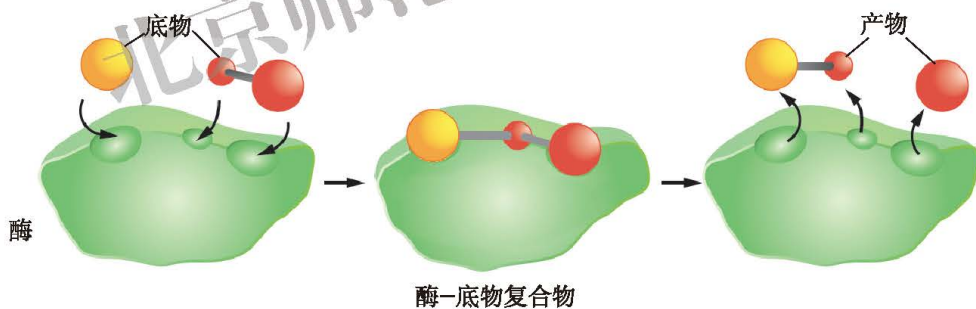


图 4-3 酶作用机制的“诱导契合”学说示意图

实践应用 实验

验证酶催化的专一性

● 目的要求

1. 利用本尼迪特试剂检测还原糖。
2. 比较淀粉酶对淀粉和蔗糖的不同作用效果。
3. 阐明酶的催化具有专一性。

● 实验原理

淀粉酶只能催化淀粉水解，不能催化蔗糖水解。淀粉和蔗糖都是非还原糖，它们都能水解成还原糖。还原糖能够与本尼迪特试剂发生反应，生成砖红色沉淀。用淀粉酶分别处理淀粉溶液和蔗糖溶液，再用本尼迪特试剂鉴定溶液中有无还原糖的生成，就可以判断淀粉酶能否催化这两种物质的水解。

● 材料用具

质量分数为2%的 α 淀粉酶溶液，质量分数为3%的可溶性淀粉溶液，质量分数为3%的蔗糖溶液，蒸馏水，本尼迪特试剂；滴管，量筒，试管，试管架，计时器，恒温水浴锅等。

● 方法步骤

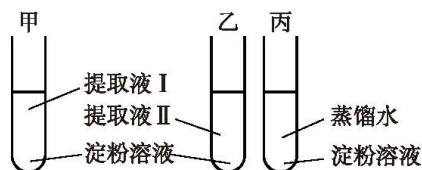
1. 取4支洁净的试管，分别标注为①号、②号、③号、④号。
2. 向①号、②号试管各加入2 mL淀粉溶液，向③号、④号试管各加入2 mL蔗糖溶液。
3. 向①号、③号试管各加入2 mL α 淀粉酶溶液，向②号、④号试管各加入2 mL蒸馏水。
4. 将4支试管置于60℃水中水浴5 min。
5. 向4支试管分别加入本尼迪特试剂2 mL，置于50~60℃水中水浴2~3 min。
6. 观察试管中溶液颜色的变化。

● 思考讨论

1. 该实验的自变量是什么？因变量是什么？有哪些无关变量？
2. 哪支试管中出现砖红色沉淀？这意味着反应生成了什么样的产物？
3. ①号和③号试管中现象有无差异？这说明什么？
4. 在本实验中能否将检测试剂由本尼迪特试剂换为碘液？为什么？

检测评价

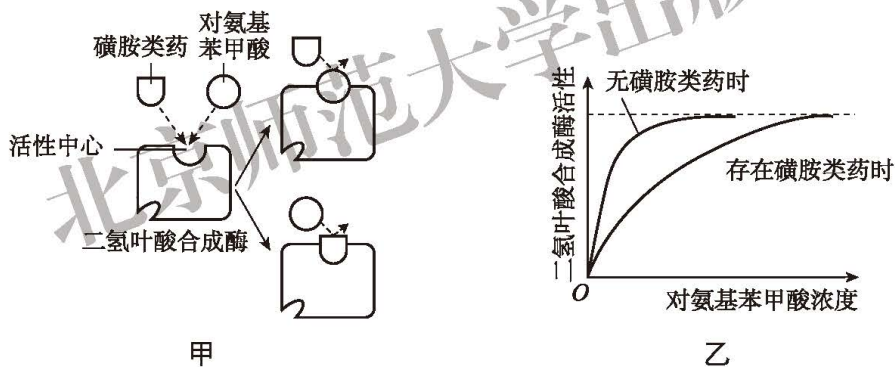
1. 为了研究酶的特性，研究者将小麦种子分别置于20℃和30℃恒温培养箱中培养4天，依次取等量的萌发种子分别制成提取液I和提取液II。取3支试管甲、乙、丙，分别加入等量的淀粉溶液，随后向3支试管加入等量的提取液I、提取液II和蒸馏水，45℃水浴保温5 min，立即在3支试管中加入等量斐林试剂并置于65℃水浴中加热2 min，摇匀观察试管中液体的颜色。



请回答下列问题：

- (1) 3支试管中液体的颜色分别可能为()。
- A. 甲呈蓝色, 乙呈砖红色, 丙呈无色
 B. 甲呈无色, 乙呈砖红色, 丙呈蓝色
 C. 甲、乙皆呈蓝色, 丙呈砖红色
 D. 甲呈浅砖红色, 乙呈砖红色, 丙呈蓝色
- (2) 提取液中所含的酶及上题实验结果出现的可能原因为()。
- A. 淀粉酶, 种子萌发的天数
 B. 麦芽糖酶, 种子萌发的温度
 C. 淀粉酶, 在适宜温度下萌发的种子合成的酶较多
 D. 麦芽糖酶, 在适宜温度下保温提取液中的酶更高效

2. 对氨基苯甲酸是细菌合成二氢叶酸的原料。磺胺类药物与对氨基苯甲酸结构相似, 与其竞争二氢叶酸合成酶的活性中心, 从而抑制二氢叶酸的合成, 起到杀菌作用, 这一作用机理如图甲所示, 为竞争性抑制。科研工作者测定对氨基苯甲酸浓度对二氢叶酸合成酶活性的影响, 得到图乙所示结果。



请回答下列问题：

- (1) 图乙中酶活性随着底物浓度升高而增加, 但底物浓度达到一定数值后, 酶活性不再增加, 如何解释这一现象?
- (2) 当对氨基苯甲酸浓度足够高时, 磺胺类药的作用效果变得不明显。请根据磺胺类药的作用机理对此进行解释。
- (3) 人体摄入的甲醇在肝脏乙醇脱氢酶的作用下转化为甲醛, 甲醛能损害多种组织、器官, 尤其对眼睛危害最大。乙醇是乙醇脱氢酶的正常底物, 你能利用竞争性抑制的原理, 提出一种治疗甲醇中毒的方法吗?

三 环境因素对酶活性的影响

绝大多数酶是在细胞内发挥催化作用的，而细胞内的温度和 pH 条件是比较温和的。我们日常生活中常用的加酶洗衣粉，往往在包装上注明产品适用的温度范围。这是否意味着酶的催化效率受到温度和 pH 等环境因素的影响呢？



寻找证据 实验

探究pH对过氧化氢酶活性的影响

● 目的要求

1. 比较不同 pH 条件下过氧化氢酶的活性。
2. 尝试构建过氧化氢酶活性受 pH 影响的数学模型。
3. 阐述 pH 对酶活性的影响。

● 实验原理

酶活性指的是酶催化化学反应的能力，用一定条件下酶催化化学反应的速率来表示。过氧化氢酶能催化 H_2O_2 分解成 O_2 和 H_2O ，通过记录不同 pH 条件下一定时间内 O_2 的生成量，计算出酶促反应速率，可知 pH 对酶活性的影响。

● 材料用具

质量分数为 20% 的新鲜肝脏研磨液；体积分数为 3% 的 H_2O_2 ，pH 分别为 5.0、6.0、7.0、8.0 的缓冲液；小圆形滤纸片，细胞培养瓶，带孔橡皮塞，玻璃弯管，水槽，温度计，量筒，计时器，镊子等。

● 方法步骤

1. 向水槽加入 37°C 的水，并保持水温相对稳定。
2. 左手持细胞培养瓶，上壁在下，用镊子在细胞培养瓶上壁内侧小心贴上 4 张浸有肝脏研磨液的小圆形滤纸片，彼此不要重叠。
3. 翻转培养瓶，使贴有滤纸片的上壁在上，小心倒入 pH 5.0 的缓冲液 2 mL，再加入 5 mL H_2O_2 ，切勿使上述混合液与上壁的滤纸片接触。
4. 用连有玻璃弯管的橡皮塞塞紧瓶口（图 4-4）。
5. 将量筒灌满清水，倒置在水槽中。
6. 将培养瓶平放在水槽中，玻璃弯管管口伸到倒置的量筒内（图 4-5）。
7. 堵紧培养瓶的瓶塞，将培养瓶旋转 180° ，使 H_2O_2 接触滤纸片（图 4-6）。同时开始计时，每 30 s 读取并记录量筒中气体的体积，共读取 4 min。

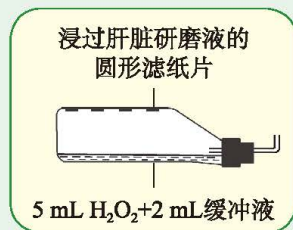


图 4-4 第 2~4 步图示

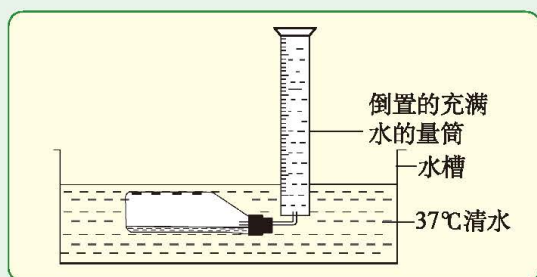


图 4-5 第 5、第 6 步图示

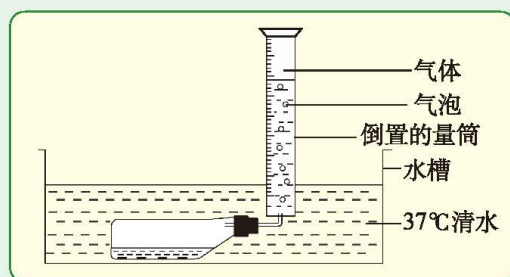


图 4-6 第 7 步图示

8. 换用其他 pH 的缓冲液，重复第 2~7 步操作。

9. 以时间为横坐标，以释放的 O_2 量为纵坐标，将不同 pH 条件下 H_2O_2 随时间推移分解产生的气体体积标记在坐标图中，并绘制成曲线。

根据实验获得的信息，思考下列问题：

1. 不同 pH 下过氧化氢酶的催化能力是否相同？pH 对过氧化氢酶的活性是否有影响？
2. 分析第 9 步中获得的曲线，可以得出什么结论？
3. 除了 pH 外还有哪些因素会影响酶活性？

根据实验结果可知，过氧化氢酶在 pH 为 7.0 时，活性最高，pH 升高或者降低，过氧化氢酶的活性都会降低。温度和 pH 等环境因素都会对蛋白质的空间结构产生一定的影响，从而影响酶活性。每种酶都有自己的最适温度和最适 pH，酶在最适条件下活性最高，当温度和 pH 偏离最适条件时，酶活性变化如图 4-7 所示。

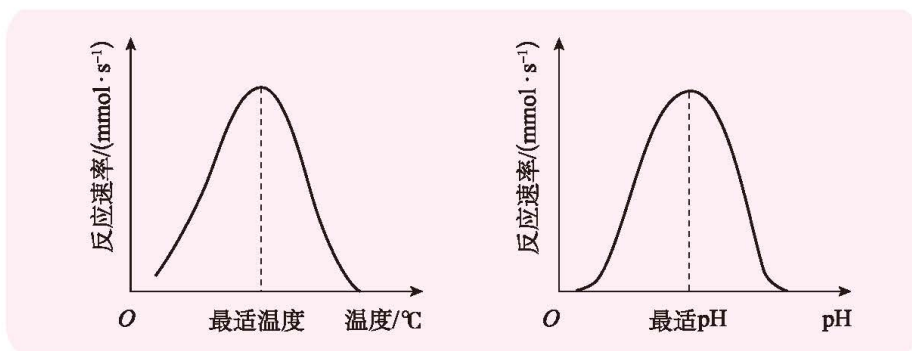


图 4-7 温度（左）和 pH（右）对酶活性的影响示意图

酶促反应通常是在比较温和的条件下进行的，过高的温度、过高或者过低的 pH 都会破坏蛋白质的空间结构，使酶发生不可逆的活性丧失。低温下酶的空间结构稳定，因此酶溶液往往保存在 $0\sim 4^\circ\text{C}$ 的温度条件下，但是低温条件下反应物分子的能量状态较低，因此反应速率较低。

不同酶的最适温度和最适 pH 条件是有差异的。人体内大多数酶的最适温度是 37°C 左右，最适 pH 为 $6.5\sim 8.0$ ，但也有少数例外。例如，溶酶体中各种水解酶的最适 pH 是 5.0

左右，胃蛋白酶的最适 pH 是 1.6 左右。细菌和真菌细胞内酶的最适条件往往与它们的生活环境相关。例如，某种生活在热泉中的细菌的 DNA 聚合酶最适温度可高达 72℃。

除了温度和 pH 之外，重金属盐离子等能够影响蛋白质结构的因素都会对酶的活性产生影响。

此外，细胞代谢中很多酶的活性受到特定的调节物质的影响。例如，大肠杆菌中以苏氨酸为原料合成异亮氨酸的反应途径分为五步，每一步反应都由特定的酶催化，异亮氨酸可以与其中的酶 1 发生可逆性结合，降低其活性（图 4-8）。如果大肠杆菌产生的异亮氨酸超过了其蛋白质合成的需求，未被利用的异亮氨酸就会积累，对酶 1 产生显著的抑制作用，从而降低异亮氨酸的产量，避免细胞内物质和能量的浪费。



图 4-8 大肠杆菌中异亮氨酸合成途径示意图

活细胞中数以千计的酶促反应组成若干代谢途径，每个代谢途径中都包含多种酶。这些酶往往有序地附着在细胞骨架或者生物膜上，构成多酶体系，体系中前一个酶的催化产物立即作为底物与后一个酶结合，保证了代谢途径的高效运行。在每一个代谢途径中，至少有一个酶的活性受到细胞内信号物质的调节，从而使整个代谢途径的反应速率受到调控。

通过对酶活性进行调节，活细胞中的各种代谢途径能够根据细胞的需求按照精确比例进行，从而使活细胞在变化的环境中维持稳态和最大的效益。

我们在日常生活中经常会用到酶。例如，加酶洗衣粉（图 4-9）、治疗消化不良的多酶片等都是酶制剂；乳糖不耐受的人群也可以放心享用的低乳糖牛奶是用乳糖酶处理过的产品。在化工、食品加工和农业生产等领域中，酶也作为一种重要的工具发挥着作用。用酶法生产葡萄糖、苹果酸等产品，能大幅降低成本、提高产量；在果蔬汁的生产过程中，用果胶酶处理果蔬泥，可以显著提高出汁率。

思考

细胞生命活动过程中，个别溶酶体的破裂和水解酶的释放并不会给细胞带来大的危害，这是为什么呢？

思考

代谢途径中活性受调节的酶往往是系列反应的第一个酶，而且它的活性一般比多酶体系中其他酶的活性低，这有什么意义呢？



图 4-9 加酶洗衣粉

对酶的认识也有助于医学工作者了解疾病的发病机理，不断寻找新的药物。例如，要诊断人类的白化病、苯丙酮尿症等遗传病，测定特定酶的活性是非常必要的；阿司匹林通过抑制前列腺素合成中相关酶的活性起到止痛的作用；在治疗艾滋病的药物中，某些特定的酶抑制剂是非常重要的成分。在现代分子生物学研究和基因工程中，酶也是不可缺少的工具。

实践应用 实验 (选做)

制作“姜汁撞奶”

● 目的要求

1. 探索利用姜汁中的凝乳酶制作奶制品小吃的最佳条件。
2. 分析温度、pH 等因素对酶活性的影响。

● 实验原理

牛奶中富含蛋白质胶体，新鲜生姜根茎中的一种凝乳酶能够水解胶体颗粒中外层的亲水性蛋白质，使其他蛋白质暴露出来，与某些盐离子相互作用，形成网状的凝胶体，导致牛奶凝固。

● 材料用具

生姜，全脂纯牛奶，白砂糖；天平，刀，搅拌机，纱布，碗，锅，勺子，温度计等。

● 方法步骤

1. 称取生姜 70 g，去皮，切成小块，用搅拌机搅拌成姜末。
2. 用纱布裹住姜末，将姜汁挤入碗中。
3. 将 200 mL 牛奶倒入锅中边加热边搅拌，温度达到 80℃ 时停止加热，加入适量白砂糖。
4. 待牛奶冷却到 70℃ 时，将牛奶快速倒在姜汁上。
5. 静置 5~10 min，牛奶凝固后即可食用（图 4-10）。



图 4-10 姜（左）和姜汁撞奶（右）

● 思考讨论

1. 牛奶温度超过 80°C 或者过低时，与姜汁混合后都不会发生凝固，原因是什么？
2. 能否设计一个实验，测定生姜中凝乳酶活性达到最高时的温度或 pH？

检测评价

1. 食物在加工的过程中，“火候”会影响风味。除了食物中蛋白质和糖类分子本身的变化外，酶的活性受到温度的影响也是改变食物品质的重要因素。请回答下列问题：

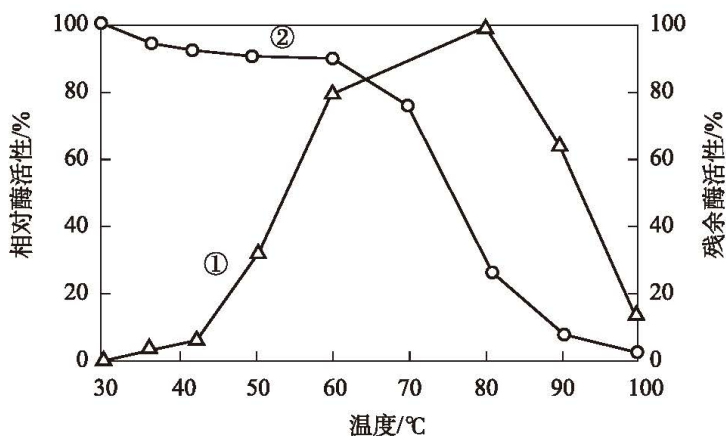
(1) 刚采摘的玉米立即放入沸水中片刻，可保持甜味。这是因为加热会（ ）。

- A. 提高淀粉酶活性
- B. 改变可溶性糖的分子结构
- C. 防止玉米粒发芽
- D. 破坏将可溶性糖转化为淀粉的酶

(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，下列使用方法最佳的是（ ）。

- A. 炒肉的过程中加入
- B. 肉炒熟后起锅前加入
- C. 用沸水溶解后与肉片混匀，炒熟
- D. 室温下与肉片混匀，放置一段时间，炒熟

2. 科研工作者对某种淀粉酶的最佳使用温度范围进行测定，下图中的曲线①表示该酶在各种温度下酶活性相对最高酶活性的百分比。将酶在不同温度下保温足够长的时间，再在酶活性最高的温度下测其残余酶活性，由此得到的数据为酶的热稳定性数据，即图中的曲线②。



请回答下列问题：

- (1) 为什么温度能够影响酶的活性？
- (2) 根据曲线①分析，该酶的最适温度是多少？
- (3) 曲线②中各个数据点的残余酶活性是在什么温度条件下测得的？
- (4) 根据图中数据，工业生产中该酶使用的最佳温度范围是多少？为什么？



开阔眼界

寻找耐高温和耐酸碱的酶

在人类的工业生产和科学研究中，有时需要使用一些耐高温或者耐酸、耐碱的酶。例如，利用聚合酶链式反应（polymerase chain reaction, PCR）技术能进行DNA体外大规模复制，但是每一轮复制都需要将反应体系加热到90~95℃，如果使用普通的DNA聚合酶，那么每轮复制结束时都不得不加入新酶，这样不仅步骤繁琐，而且费用昂贵。如果有能耐高温的DNA聚合酶，这一问题不就解决了吗？

科学家把目光投向了极端环境中的微生物——嗜热菌可在温泉、堆肥等高温环境中生长，嗜酸菌能在pH低于0.5的环境中存活，嗜碱菌则可在pH 11~12的环境中生长。这些微生物的特殊本领是由其细胞内蛋白质的功能所决定的，从这些微生物中分离出来的酶往往具有耐热、耐酸、耐碱等特性。科学家从美国黄石公园热泉里的一种嗜热菌细胞内成功分离出了耐高温的Taq DNA聚合酶，该酶被应用于PCR技术，一举解决了之前的难题。来自嗜热菌的酶制剂还有淀粉酶、纤维素酶、脂肪酶等，这些酶热稳定性好，催化能力强，还易于在室温下保存，在发酵工业和污染治理中都立下了汗马功劳。来自嗜碱菌体内的蛋白酶在碱性条件下活性高而且热稳定性强，常被用作洗涤剂的添加剂。世界各地分布着多种多样的极端环境，生活于其中的微生物是酶的自然宝库，积极地开发应用这一资源，将会给人类社会带来更多福利。

第二节 ATP

夏末秋初的夜晚，星光灿烂，流萤点点，令人心旷神怡。萤火虫腹部细胞的发光反应需要消耗能量吗？如果需要，其直接的供能物质是什么？该供能物质在细胞内是如何合成的呢？

ATP是驱动细胞生命活动的直接能源物质



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注 ATP 的分子结构和功能。

资料 1. 1929 年，费斯克（Cyrus Fiske, 1890—1978）和罗曼（Karl Lohmann, 1898—1978）分别在肌肉中发现了一种焦磷酸盐与腺苷酸联系的化合物。1934 年，罗曼又发现，1 份这种化合物会被分解成 1 份一磷酸腺苷（AMP）和 2 份磷酸（Pi）。1935 年，罗曼进一步确定了这种化合物的分子结构为三磷酸腺苷（adenosine triphosphate, ATP）。1948 年，托德（Alexander Todd, 1907—1997）首次用化学方法人工合成了 ATP。

资料 2. 萤火虫的发光器在离体后一段时间内可以继续发出荧光。研究人员将荧光已经消失的萤火虫发光器研磨液分成两组，分别滴加等体积的 ATP 溶液和葡萄糖溶液后，ATP 组立即重新出现荧光，而葡萄糖组需要经过一段时间才会重新出现荧光。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 有同学对 ATP 到底是“物质”还是“能量”感到困惑，你怎么认为呢？
2. 萤火虫发光器离体一段时间后荧光消失的原因是什么？萤火虫发光的直接能源物质是 ATP 还是葡萄糖？

ATP 是由 1 个腺苷和 3 个磷酸基团组成的化合物（图 4-11），其结构式可以简写成 A-P~P~P，其中 A 代表腺苷，P 代表磷酸基团，“~”代表磷酸基团之间的一种特殊化学键，叫作磷酸酐键。

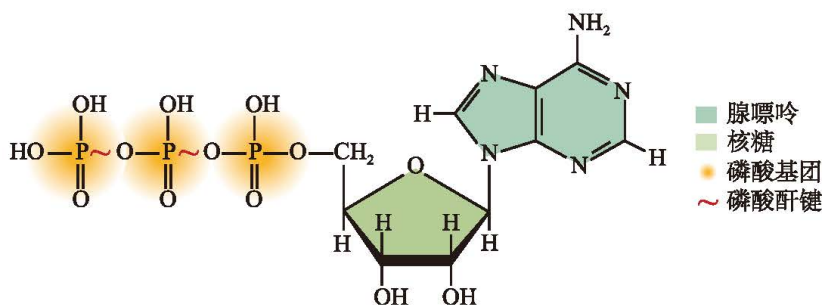


图 4-11 ATP 的结构式

在 ATP 酶的催化作用下，ATP 末端的磷酸酐键水解断裂，1 mol 磷酸基团脱落下来，放出约 30.5 kJ/mol 的能量，ATP 转化为二磷酸腺苷（ADP）（图 4-12）。ATP 的水解反应释放能量较多，因此 ATP 被称为高能磷酸化合物。

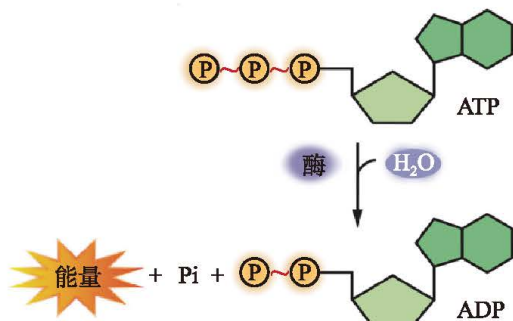


图 4-12 ATP 的水解反应

萤火虫发光器离体之后，随着能源物质的耗尽而逐渐失去发光能力，滴加 ATP 溶液后立即恢复发光，说明 ATP 是给发光反应供能的直接能源物质。葡萄糖在氧化分解过程中能够生成 ATP，因此给萤火虫发光器提供葡萄糖，一段时间后发光器细胞内 ATP 浓度增加，也能恢复发光能力。

ATP 为细胞中绝大多数需要能量的生命活动直接提供能量。例如，在主动运输中，ATP 直接将磷酸基团转移到载体上使其活化，改变了载体蛋白的空间结构，从而驱动载体主动运输特定物质，运输完成后释放磷酸基团（图 4-13），随后载体恢复原状。细胞内的化学反应有些是需要吸收能量的，吸能反应常常与 ATP 水解的反应相联系，由 ATP 水解提供能量。

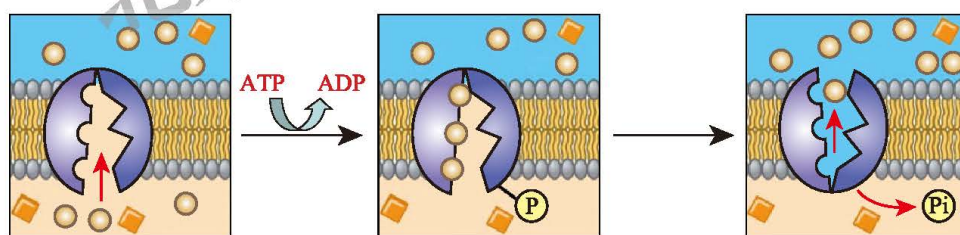


图 4-13 ATP 水解为细胞的主动运输供能

细胞中绝大多数生命活动都是由 ATP 直接提供能量的。因此，ATP 是驱动细胞生命活动的直接能源物质。可以形象地把 ATP 比作细胞内流通的能量“通货”。正是由于细胞内具有 ATP 这种能量“通货”，细胞才能及时而持续地满足各项生命活动对能量的需求。

ATP 主要是在细胞呼吸和光合作用中合成的

细胞对 ATP 的需求量很大，人体在剧烈运动状态下，每分钟约消耗 0.5 kg ATP。然而肌细胞中 ATP 的量却很少，通常情况下，每千克肌肉中 ATP 的量不超过 5.1 g，仅能维持 2~5 s 的剧烈收缩，可见 ATP 水解为 ADP 和 Pi 后要迅速再生。肌肉收缩等生命活动的持

续，伴随着耗能部位 ATP 的水解和供能部位 ATP 的不断再生。

ATP 主要是在细胞呼吸或光合作用中合成的，催化 ATP 合成的酶主要分布在线粒体内膜和叶绿体类囊体膜上。ADP 接受细胞呼吸中有机物氧化分解释放的能量或光合作用中捕获的光能，与游离的 Pi 结合，重新合成 ATP (图 4-14)。

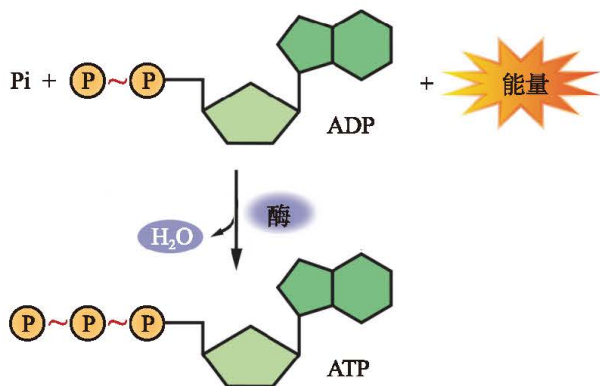


图 4-14 ATP 的合成反应

在细胞内部，释放能量和消耗能量的过程通常在不同部位发生。ATP 这样的载能分子，能够将能量从放能反应发生的部位转移到吸能反应发生的部位。绿色植物在光合作用过程中捕获光能，用于处于低能状态的 CO_2 和 H_2O 合成高能状态的有机物；有机物在生物的细胞呼吸过程中氧化分解，释放能量用于细胞的各项耗能活动：这些过程都离不开 ATP 与 ADP 的相互转化 (图 4-15)。

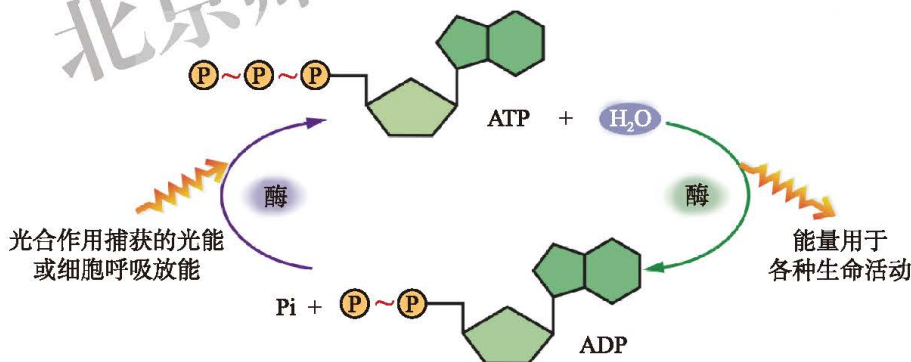


图 4-15 ATP 是细胞中吸能反应与放能反应的纽带

萤火虫能够发光是由于萤火虫腹部细胞内的荧光素酶催化荧光素与 O_2 反应，生成激发态的氧化荧光素，激发态的氧化荧光素回到基态的过程会发出光子，催化过程中消耗的能量由 ATP 水解提供。在荧光素和荧光素酶足量的情况下，荧光强度与 ATP 的供应呈正相关。所有生物活细胞中都含有 ATP，而且不同细胞中 ATP 浓度差异不大，基于萤火虫的发光原理，可以利用 ATP 荧光检测仪检测食品、药品和等待测物中微生物和其他生物残余的数量 (图 4-16)。



图 4-16 ATP 荧光检测仪

检测评价

1. 生物学研究中, 常用 ^{32}P 来标记大分子。ATP 上三个磷酸基团所处的位置可以用 α 、 β 、 γ 表示 (即 $\text{A}-\text{P}_\alpha \sim \text{P}_\beta \sim \text{P}_\gamma$)。请回答下列问题:

(1) ATP 分子分解时无法放出能量的磷酸基团是 ()。

- A. α 位
- B. β 位
- C. γ 位
- D. α 位和 β 位

(2) 蛋白激酶能将 ATP 上的一个磷酸基团转移到特定蛋白质的某些氨基酸残基上, 同时产生 ADP。若用该酶把带有 ^{32}P 的磷酸基团转移到载体蛋白上, 那么该磷酸基团应在 ATP 的 ()。

- A. α 位
- B. β 位
- C. γ 位
- D. β 位和 γ 位

2. 磷酸肌酸是一种高能磷酸化合物。它能在肌酸激酶的催化下, 将自身的磷酸基团转移到 ADP 分子中, 合成 ATP, 从而在一段时间内将细胞中的 ATP 量维持在正常水平。研究者对蛙的肌肉组织进行短暂电刺激, 检测对照组和实验组 (肌肉组织用肌酸激酶阻断剂处理) 肌肉收缩前后 ATP 和 ADP 的量, 结果如下表所示。

磷酸腺苷	对照组 / ($10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{g}^{-1}$)		实验组 / ($10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{g}^{-1}$)	
	收缩前	收缩后	收缩前	收缩后
ATP	1.30	1.30	1.30	0.75
ADP	0.60	0.60	0.60	0.95

请回答下列问题:

- (1) 请根据题中信息写出合成 ATP 的反应式。
- (2) 对照组数据表明肌肉组织中的 ATP 有什么特点?
- (3) 实验组中消耗的 ATP 量与产生的 ADP 量相等吗? 请根据 ATP 的结构特点推测其可能的原因。
- (4) 为什么在长期进化过程中, 各种生物最终都选择了 ATP 作为直接能源物质?



注射ATP能为细胞补充能量吗？

ATP注射液是一种用于心功能不全、脑出血后遗症等疾病的辅助治疗药物，注射ATP能够为细胞提供能量吗？事实上，细胞内的ATP是自给自足的，每个成年人每天细胞内合成的ATP总计有几十千克之多，因此注射的ATP量相对于人体自身合成量来说微不足道，而且细胞内的ATP浓度远高于胞外，所以胞外的ATP几乎不可能进入细胞。20世纪50年代，研究者发现ATP在神经系统的信息传递中可以作为一种兴奋性的神经递质发挥作用，并且在内脏、中枢及外周神经系统等多个部位的细胞质膜上发现了ATP受体，可见ATP还是一种能在细胞间传递信息的信号分子。目前，ATP作为药物，主要利用的是其信号分子的作用。



ATP 药剂

北京师范大学出版社

第三节 细胞呼吸

当你剧烈运动时，往往会气喘吁吁，上气不接下气，这是呼吸系统在加速 O_2 的吸收和 CO_2 的排出。那么，机体细胞是如何消耗 O_2 的，又为什么会释放 CO_2 呢？当运动状态改变时，这一代谢过程又会发生怎样的变化呢？

一 细胞呼吸的类型

有的家庭有自制葡萄酒的习惯。在密闭容器中加入葡萄汁至容器容积的一半并加入少量酵母菌，几天后葡萄汁中就会产生气泡，在这个过程中还需要间或拧松瓶盖排气。一段时间后，美味的葡萄酒就酿好了。葡萄酒的酿制依赖于酵母菌的细胞呼吸，密闭容器中由最初有 O_2 到之后 O_2 耗尽的过程中，酵母菌的细胞呼吸方式有无变化呢？



寻找证据 实验

探究酵母菌的呼吸方式

● 目的要求

1. 运用特定方法鉴定细胞呼吸产物。
2. 探究酵母菌在不同 O_2 条件下的细胞呼吸方式。
3. 分析两种细胞呼吸类型的条件和产物。

● 实验原理

酵母菌是一种兼性厌氧型的单细胞真菌，在有氧和无氧环境中都能够生存。

$NaOH$ 溶液能够吸收 CO_2 。葡萄糖能够与本尼迪特试剂发生反应，生成砖红色沉淀。酸性重铬酸钾溶液能够与酒精发生反应，溶液由橙色变为灰绿色。

● 材料用具

干酵母；质量分数为 1% 的葡萄糖溶液，质量分数为 10% 的 $NaOH$ 溶液，稀盐酸，本尼迪特试剂，体积分数为 95%~97% 的浓硫酸，重铬酸钾，掺有红墨水的蒸馏水，大理石颗粒；恒温摇床培养箱，500 mL 烧瓶，带有玻璃弯管的单孔橡胶塞，乳胶管，U 形管，锥形瓶，带有玻璃弯管的双孔橡胶塞，分液漏斗，试管，滴管，量筒，烧杯，酒精灯，火柴，铁架台，脱脂棉，刻度尺，纸板等。

● 方法步骤

1. 制备酵母菌液

量取 250 mL 质量分数为 1% 的葡萄糖溶液，加入 5 g 干酵母，置于 34℃ 恒温摇床培养箱内培养 1 h。

2. 设置有氧条件和无氧条件的对比组

(1) 安装有氧组实验装置：向 500 mL 烧瓶内加入 100 mL 制好的酵母菌液。取带有玻璃弯管的单孔橡胶塞，在胶塞下方的玻璃管口处固定一团蘸有 NaOH 溶液的脱脂棉，并用胶塞盖紧酵母菌液烧瓶。用乳胶管将胶塞上方的玻璃弯管与固定在纸板上的 U 形管（内置掺有红墨水的蒸馏水）连通（图 4-17 左）。

(2) 安装无氧组实验装置：取 100 mL 制好的酵母菌液加到 500 mL 烧瓶内，然后向烧瓶中通入用稀盐酸和大理石颗粒新制的 CO_2 气体，直至 CO_2 充满烧瓶。取带有玻璃弯管的单孔橡胶塞，在胶塞下方的玻璃管口处固定一团蘸有蒸馏水的脱脂棉，并用胶塞盖紧烧瓶。用乳胶管将胶塞上方的玻璃弯管与固定在纸板上的 U 形管（内置掺有红墨水的蒸馏水）连通（图 4-17 右）。

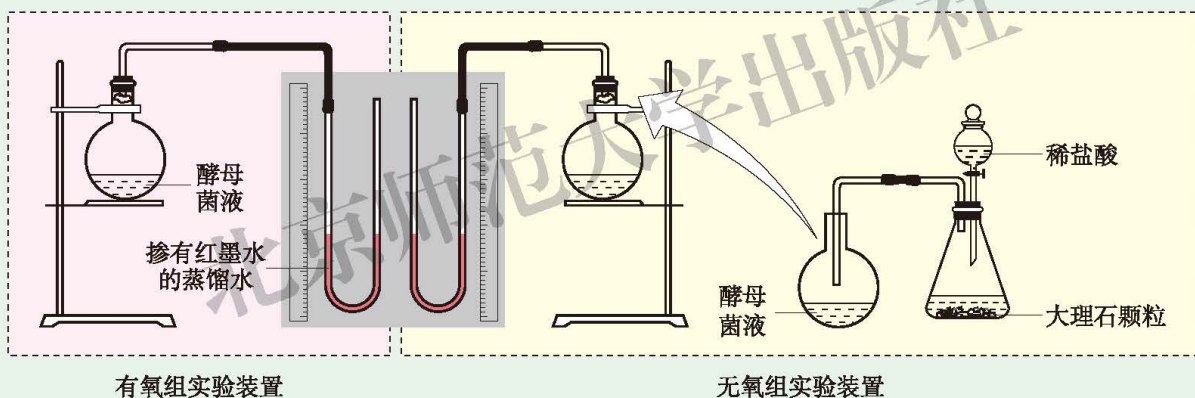


图 4-17 有氧组（左）和无氧组（右）实验装置示意图

3. 检测反应物的消耗和产物的生成

(1) 在装置连接刚完成时记录 U 形管中液面的位置。观察液面的移动，当液面停止移动时，再次记录两组 U 形管中液面的位置，计算两组烧瓶中气体体积的变化量。

(2) 在安装实验装置时，取 2 mL 剩余的酵母菌液，用本尼迪特试剂检测菌液中是否有葡萄糖。在两组装置中液面停止移动后，打开装置，分别取出 2 mL 酵母菌液，再次用本尼迪特试剂检测菌液中是否有葡萄糖。

(3) 在两组装置液面停止移动后，打开装置，分别取出 2 mL 酵母菌液置于试管中。向试管中分别加入 0.5 mL 溶有 0.1 g 重铬酸钾的浓硫酸，振荡混匀，观察溶液颜色的变化。

⚠ 注意

浓硫酸具有强腐蚀性，必须严格规范操作。使用时，如果少量浓硫酸不慎接触到皮肤，应立即用大量自来水冲洗。如果装有浓硫酸的试剂瓶不慎被打翻，应马上用干布沾干后再用水冲洗。

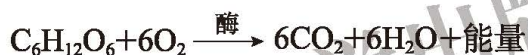
根据实验获得的信息，思考下列问题：

1. 酵母菌在有氧和无氧条件下都能进行细胞呼吸吗？判断依据是什么？
2. 酵母菌在有氧和无氧条件下是否都生成酒精呢？
3. 酵母菌在有氧和无氧条件下消耗等量葡萄糖生成的 CO_2 量相同吗？
4. 尝试写出酵母菌在有氧和无氧条件下细胞呼吸的总反应式。

酵母菌在有氧和无氧条件下都能消耗葡萄糖，进行细胞呼吸。有氧组烧瓶内消耗 O_2 ，生成的 CO_2 被 NaOH 溶液吸收，因此气体体积减小，而无氧组烧瓶内在不消耗 O_2 的情况下生成 CO_2 ，导致气体体积增加。有氧组酵母菌液中没有产生酒精，而无氧组酵母菌液中产生了酒精。由此可见，酵母菌在有氧和无氧条件下细胞呼吸的方式是不同的。

细胞呼吸分为有氧呼吸（aerobic respiration）和无氧呼吸（anaerobic respiration）两种类型。酵母菌在有氧条件下进行有氧呼吸，在无氧条件下进行无氧呼吸。

有氧呼吸是细胞消耗氧气，将有机物彻底氧化分解为 H_2O 和 CO_2 ，并释放出能量的过程。自然界中大多数生物都依赖有氧呼吸获得能量。有氧呼吸的反应式可以简写如下。



除酵母菌之外，苹果果肉细胞等很多植物细胞也能在缺氧条件下进行无氧呼吸，产生酒精和 CO_2 。动物的骨骼肌细胞在有氧呼吸产生的 ATP 不足以满足细胞需求时，也会进行无氧呼吸，但是其产物是乳酸（ $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ ）。这两种无氧呼吸方式的反应式可以概括如下。



有氧呼吸是在无氧呼吸的基础上进化产生的。与无氧呼吸相比，有氧呼吸能够更充分地将有机物中的能量释放出来供细胞使用，因此有氧呼吸的出现使生物进化历程中出现更多样复杂的生命成为可能。

自然界中微生物种类繁多，其细胞呼吸的方式也是多种多样的。有的微生物属于好氧型微生物，有的微生物则属于厌氧型微生物。破伤风杆菌是专性厌氧型微生物，当皮肤破损较深时，可能在伤口内大量繁殖，引发破伤风。遇到这种情况，要及时就医、清创并注射破伤风抗毒血清。

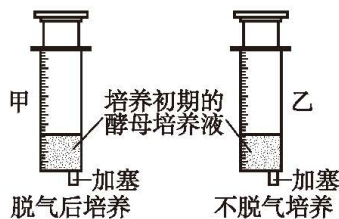
微生物细胞内有机物不彻底氧化分解的过程常被称为发酵。酒精发酵和乳酸发酵是最常见的微生物发酵形式，酵母菌的酒精发酵可用于酿酒和发面，乳酸菌的乳酸发酵可用于制作酸奶和泡菜。现代工业生产中，人们用发酵罐（图 4-18）大规模培养特定的微生物，生产有价值的发酵产物，如甲醇、甘油、甲酸等。



图 4-18 大型发酵罐

检测评价

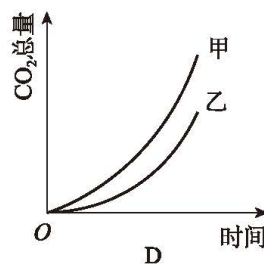
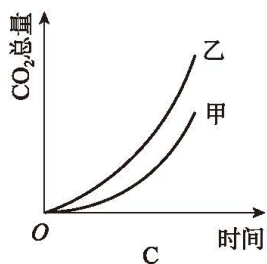
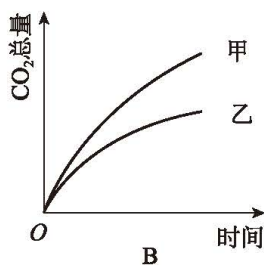
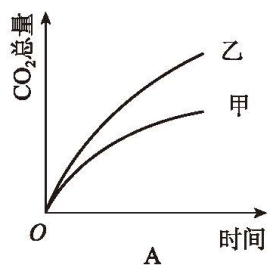
1. 不同生物在不同 O_2 条件下细胞呼吸的产物可能有差异。请回答下列问题：
- (1) 以葡萄糖为呼吸底物，在细胞呼吸前后会发生气体体积变化的是 ()。
- A. 乳酸菌在完全无 O_2 条件下
 - B. 动物肌肉在 O_2 充足条件下
 - C. 马铃薯块茎在 O_2 不足条件下
 - D. 苹果组织在 O_2 不足条件下
- (2) 剧烈运动的过程中，肌肉细胞进行细胞呼吸的特点是 ()。
- A. 只有有氧呼吸
 - B. 只有无氧呼吸
 - C. 既有有氧呼吸，又有无氧呼吸
 - D. 既能产生酒精，又能产生乳酸
2. 某小组为研究脱气对酵母菌在培养初期产气量的影响，进行了甲、乙两组实验，实验装置如下图所示，除图中实验处理不同外，其余条件相同。



请回答下列问题：

- (1) 请写出甲组中酵母菌细胞呼吸的反应式。

(2) 一段时间内产生 CO_2 总量的变化趋势是 ()。



(3) 分析上述实验结果, 尝试对酿酒过程中的通气处理提出合理建议。



开阔眼界

有氧运动和无氧运动

体育运动大体可以分为有氧运动和无氧运动。有氧运动是强度较低的较长时间的运动, 运动过程中骨骼肌主要靠有氧呼吸供能, 如慢跑、游泳、做韵律操。无氧运动则是高强度的剧烈运动, 运动过程中骨骼肌除进行有氧呼吸外, 还会进行无氧呼吸, 产生乳酸, 这样的运动有短跑、举重和力量训练等。有氧运动能够增强心肺功能, 提高肌肉的耐力, 还能增加胰岛素敏感性, 预防糖尿病的发生。无氧运动能够增加肌肉体积, 增强肌肉力量, 但是无氧运动产生的乳酸会导致肌肉酸痛, 内环境 pH 下降, 使人体产生疲劳不适感。不管是运动员的训练, 还是普通人的体育锻炼, 都要根据锻炼目的和个人身体状况科学安排运动项目。

二 细胞呼吸的过程

葡萄糖是可以燃烧的。葡萄糖的燃烧是一种剧烈的氧化反应, 全部自由能都以热和光的形式释放。在细胞中, 葡萄糖中的能量通过细胞呼吸释放出来。细胞呼吸的实质与燃烧是相同的, 其过程有哪些区别呢?

葡萄糖在胞质溶胶中通过糖酵解释放能量



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注葡萄糖分解过程中能量的去向。

资料 1. 1904 年，英国生物化学家哈登（Arthur Harden, 1865—1940）发现，酵母汁液中一种耐高温的小分子物质是完成葡萄糖发酵过程的必需物质，将其命名为辅酶 I。20 世纪 30 年代，科学家分离出辅酶 I，发现它有 NAD^+ 和 NADH 两种状态， NAD^+ 能够接受 H^+ 和高能电子，转化为 NADH ，而 NADH 能将 H^+ 和高能电子转移给其他分子。葡萄糖发酵过程必需的是 NAD^+ 。

资料 2. 20 世纪 30 年代，科学家发现细胞中的一种脱氢酶能够与葡萄糖分解产生的三碳糖结合，催化其氧化生成三碳酸。三碳糖氧化过程中脱落的 H^+ 、电子与 NAD^+ 结合，生成 NADH ，同时释放的部分能量使其与一个磷酸基团形成磷酸酐键。最后磷酸基团连同磷酸酐键一起转移给 ADP ，生成一分子 ATP 。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. NAD^+ 在葡萄糖的发酵过程中起什么作用？如果细胞中的辅酶 I 均以 NADH 的形式存在，葡萄糖的发酵还能否继续进行？原因是什么？
2. 在上述葡萄糖的氧化过程中，葡萄糖释放的能量转移到了哪些物质中？

有机物的还原是“加氢”的过程。与此对应，有机物氧化的实际效应就是失去氢原子。葡萄糖的氧化分解过程是一个逐步“脱氢”的过程，在这一过程中 NAD^+ 能够接受葡萄糖释放的电子和 H^+ ，将这部分能量暂时储存起来。若细胞中缺乏 NAD^+ ，葡萄糖的氧化分解就无法进行了。

1 个葡萄糖分子由胞质溶胶中的一系列酶所催化，脱去一部分氢，生成 2 分子的丙酮酸（ $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ ）和少量 NADH （ $[\text{H}]$ ），同时生成少量 ATP ，这一过程称为糖酵解。任何细胞中，糖酵解过程都是葡萄糖氧化分解的必经途径。糖酵解过程使葡萄糖中的能量转化为丙酮酸、 $[\text{H}]$ 和 ATP 中的能量。

对于好氧型生物而言，丙酮酸和 $[\text{H}]$ 将进入线粒体，彻底氧化分解，生成 CO_2 、 H_2O 和氧化型辅酶。在厌氧型生物或 O_2 供应不足的好氧型细胞中，为了避免氧化型辅酶的缺乏导致糖酵解停止，胞质溶胶中的一系列酶会催化 $[\text{H}]$ 与丙酮酸反应，将丙酮酸还原成乳酸或酒精等可从细胞中分泌出去的物质，而 $[\text{H}]$ 再生为氧化型辅酶。由此可见，无氧呼吸的过程包含糖酵解和氧化



小资料

[H]

$[\text{H}]$ 是 NADH （烟酰胺腺嘌呤二核苷酸）和 FADH_2 （黄素腺嘌呤二核苷酸）的统称，属于还原型辅酶，是由氧化型辅酶获得电子和 H^+ 转化而成的，是一类携带氢和电子的有机载体。

型辅酶的再生 2 个阶段（图 4-19），葡萄糖中的能量只有一小部分释放出来供细胞利用，大部分能量都浪费了。

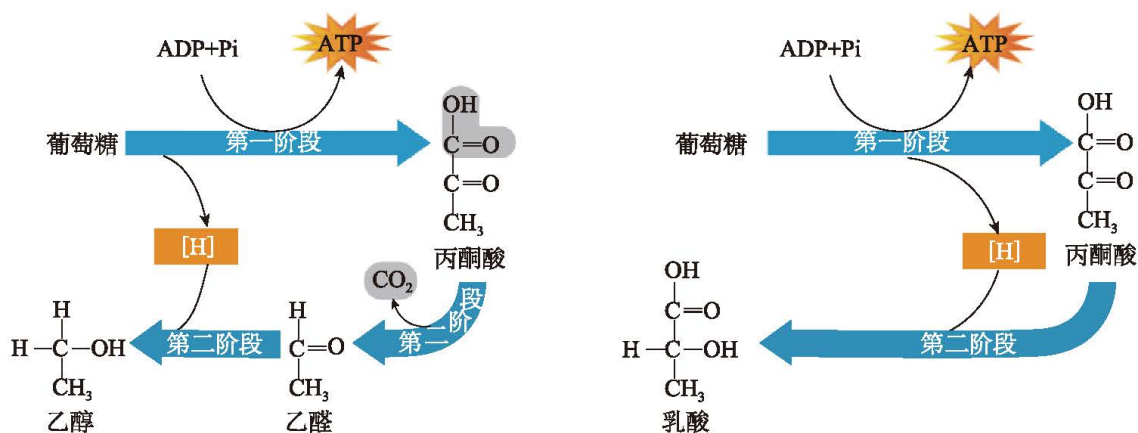


图 4-19 无氧呼吸的过程

丙酮酸和[H]在线粒体中彻底分解并释放大量能量



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注丙酮酸和 [H] 彻底氧化分解过程中物质和能量的变化。

资料 1. 丙酮酸在线粒体中氧化分解生成 CO_2 和 [H]。20 世纪 30 年代，克雷布斯（Hans Krebs, 1900—1981）等科学家发现，向鸽子胸肌悬浮液中加入柠檬酸、 α -酮戊二酸、琥珀酸和草酰乙酸等有机酸（图 4-20），都能大大提高丙酮酸的氧化分解速率，而且线粒体中存在柠檬酸 \rightarrow α -酮戊二酸 \rightarrow 琥珀酸 \rightarrow 草酰乙酸的反应途径。如果向悬浮液中加入一种能与琥珀酸竞争琥珀酸脱氢酶的物质，阻断琥珀酸向草酰乙酸的转化，则琥珀酸堆积，丙酮酸的氧化分解停止。令科学家意外的是，在这一情况下向悬浮液中加入草酰乙酸，也会使琥珀酸的堆积量增加。



图 4-20 参与丙酮酸氧化的几种有机酸

资料 2. 糖酵解和丙酮酸氧化分解生成 CO_2 的过程都只能产生少量 ATP，有氧呼吸中大量 ATP 是伴随 O_2 对 [H] 的氧化生成的，这是一个怎样的过程呢？20 世纪 60 年代，米切尔（Peter Mitchell, 1920—1992）在研究细菌的跨膜质子运输

过程中获得灵感，提出 [H] 氧化过程中释放的能量会用于将线粒体基质中的 H^+ 泵到线粒体内膜和外膜的间隙中， H^+ 再沿着一种特殊的酶流回线粒体基质，推动该酶催化 ATP 的合成。之后，科学家测到线粒体内膜外侧的膜电位明显高于内侧。当将提取自线粒体内膜的蛋白质 A 嵌到人工脂质体上，人为控制脂质体膜内、外两侧形成 H^+ 浓度梯度时，脂质体所在溶液中的 ADP 和 P_i 转化成了 ATP。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 根据资料 1 的结果可以推出丙酮酸氧化分解生成 CO_2 和 [H] 的过程是一个多种有机酸参与的循环过程，请尝试写出这个过程，并根据各种有机酸的结构式，写出该过程的哪些环节有 [H] 和 CO_2 生成。
2. [H] 氧化过程中释放的电子和 H^+ 的最终受体是什么物质？线粒体内膜在生成 ATP 的过程中起什么作用？资料 2 中的蛋白质 A 对应米切尔假说中的什么物质？

在真核细胞中，丙酮酸是在线粒体基质中氧化分解的。丙酮酸首先脱去一个 CO_2 和部分 [H]，生成一个二碳化合物。该化合物会加入一个多种有机酸参与的循环途径，在这个途径中逐步脱氢，最终生成 CO_2 和大量 [H]，同时还生成了少量 ATP。这一阶段被称为有氧呼吸的第二阶段，不需要 O_2 直接参与。

糖酵解和丙酮酸氧化过程中生成的 [H] 是在线粒体内膜上继续氧化的。[H] 在酶的催化下释放电子和 H^+ ，电子被镶嵌在线粒体内膜上的一系列特殊蛋白质捕获和传递，最终与 O_2 和 H^+ 结合，生成了 H_2O ，而线粒体内膜上的这些特殊蛋白质则利用电子给予的能量将线粒体基质中的 H^+ 泵入内膜和外膜的间隙，构建了跨膜的 H^+ 浓度梯度。最终， H^+ 沿着线粒体内膜上 ATP 合成酶内部的通道流回线粒体基质，推动了 ATP 的合成（图 4-21）。这一阶段被称为有氧呼吸的第三阶段，需要 O_2 的参与，是有氧呼吸过程中产生 ATP 的主要阶段。

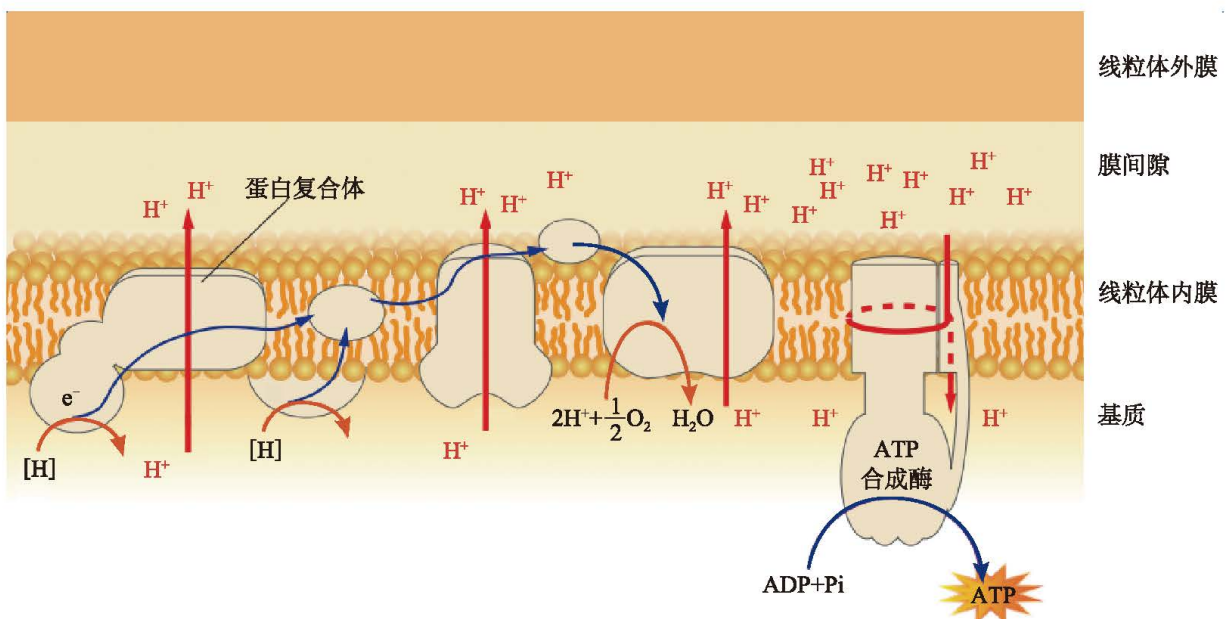


图 4-21 有氧呼吸的第三阶段

有氧呼吸的全过程历经胞质溶胶和线粒体 2 处场所，有几十步反应，十分复杂。通常，我们将其分为 3 个阶段（图 4-22）。与有机物的燃烧相比，有氧呼吸是在温和的条件下由酶催化进行的，有机物中的能量经过一系列的化学反应逐步释放，而且这些能量有相当一部分储存在了 ATP 中，其他的则转化为热能。

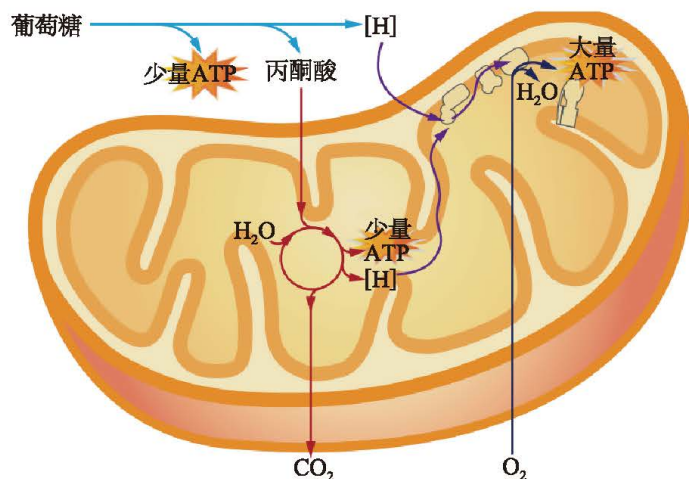


图 4-22 有氧呼吸的全过程

思考

1 个葡萄糖分子通过有氧呼吸产生约 30 个 ATP，而通过无氧呼吸仅能产生 2 个 ATP。高等植物和动物的细胞呼吸方式主要是有氧呼吸，但依然保留了进行无氧呼吸的能力，这有什么意义呢？

以上过程说明，生物通过细胞呼吸将储存在有机分子中的能量转化为生命活动可以利用的能量。所有细胞都要通过细胞呼吸来获得 ATP，以满足生命活动的能量需求。细胞呼吸过程中还会产生热能，这对生物的体温维持有着重要意义。因此，任何破坏细胞呼吸的因素都对细胞有害。例如，氰化物能够与线粒体内膜中传递电子的蛋白结合，阻断电子传递和 ATP 的生成，因此是一种剧毒物质。有的减肥药物能够增加线粒体内膜对 H^+ 的通透性，使得 H^+ “渗漏”回线粒体

基质，推动 ATP 合成酶生成的 ATP 量减少，这样的药物虽然能够加快体内有机物的消耗，却会导致细胞供能不足和体温过高，严重危害健康。

有氧呼吸不仅是细胞的能量之源，还是细胞合成代谢和分解代谢的枢纽。除了糖类之外，脂肪酸和各种氨基酸都能够加入有氧呼吸的第二阶段，氧化分解供能，有氧呼吸第二阶段的各种有机酸也可以转化成脂肪酸、氨基酸、碱基等物质（图 4-23）。因此，糖类和蛋白质摄入过量，会转化为脂肪储存起来，导致肥胖等健康问题。

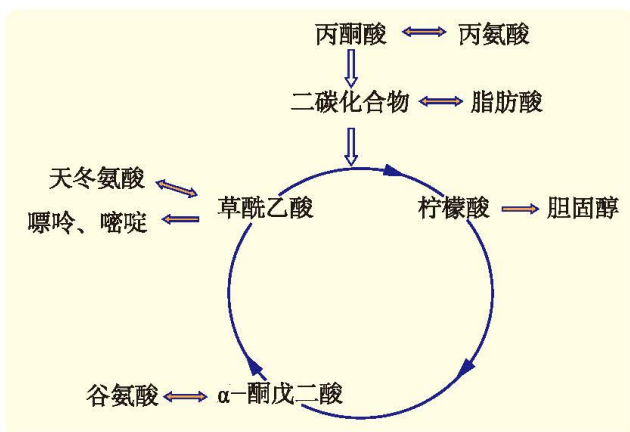


图 4-23 有氧呼吸第二阶段某些有机酸与其他物质的转化关系

实践应用 **实验** (选做)

注射器“酿酒”

● 目的要求

1. 比较酵母菌在不同 O_2 条件下的细胞呼吸速率。
2. 尝试用不同方法检测细胞呼吸产物。

● 实验原理

CO_2 可使溴麝香草酚蓝溶液由蓝色变为绿色再变为黄色；酒精具有特殊气味。

● 材料用具

干酵母；质量分数为 5% 的葡萄糖溶液，质量分数为 0.1% 的溴麝香草酚蓝溶液，蒸馏水；100 mL 注射器，硅胶管，止水夹，量筒，烧杯，玻璃棒，恒温水浴锅，天平等。

● 方法步骤

1. 在烧杯中倒入 50 mL 水浴加热至 $50^\circ C$ 左右的质量分数为 5% 的葡萄糖溶液，称取 5 g 干酵母倒入烧杯中混合，用玻璃棒搅拌均匀。

2. 取 1 支 100 mL 注射器，标记为①号。拉动活塞缓慢吸取酵母菌液，轻轻敲击注射器壁，将气体缓慢推出，保留 10 mL 溶液，连接硅胶管后用止水夹封口，注射器平置（图 4-24）。



图 4-24 吸入酵母菌液并封口

3. 取另 1 支 100 mL 注射器，标记为②号。吸取酵母菌液步骤同上，保留 10 mL 溶液，再缓缓吸入 10 mL 空气，连接硅胶管后用止水夹封口，注射器平置。

4. 将 2 支注射器放在温水中静置观察现象。

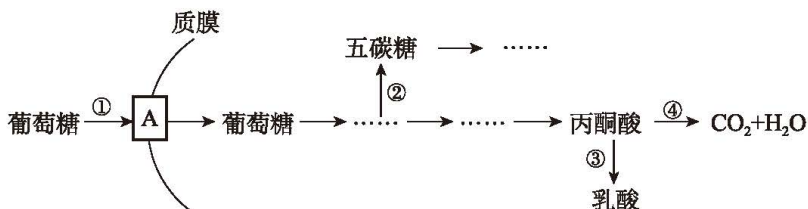
5. 20 min 后，用这 2 支注射器分别吸取 5 mL 蓝色的溴麝香草酚蓝溶液，观察溴麝香草酚蓝颜色的变化。轻轻推出 2 支注射器中的气体，辨别气味。

● 思考讨论

1. 2 支注射器中哪支有明显的气体体积变化？
2. 若 2 支注射器内均有酒精产生，如何解释？

检测评价

1. 研究表明,癌细胞和正常分化细胞在有氧条件下产生的 ATP 总量没有明显差异,但癌细胞从内环境中摄取并用于细胞呼吸的葡萄糖是正常细胞的若干倍。下图显示了癌细胞在有氧条件下葡萄糖的部分代谢过程。



请回答下列问题:

(1) 下列相关叙述正确的是 ()。

- A. ①过程必须消耗 ATP B. ②过程为糖酵解
C. ③过程产生大量 ATP D. ④过程发生在线粒体

(2) 若要研制药物来抑制癌症患者细胞中的异常代谢途径,不宜选为作用位点的是 ()。

- A. ②④ B. ②③ C. ①④ D. ③④

2. 2, 4-二硝基苯酚 (DNP) 并不影响有氧呼吸产生的 [H] 在线粒体内膜上与氧结合形成水,但会使该过程所释放的能量都以热的形式耗散。天南星科某些植物的花序在成熟时耗氧速率是一般植物的 100 倍以上,但单位质量葡萄糖生成 ATP 的量却只有其他细胞的 40%, 花序温度比周围空气温度高出十几摄氏度到二十几摄氏度。请回答下列问题:

- (1) DNP 使分布在何种细胞器中的酶无法合成 ATP?
(2) 天南星科这些植物花序的有氧呼吸主要在哪一个阶段与一般情况不同?
(3) 存在 DNP 的情况下,葡萄糖的氧化分解能否继续进行?

影响细胞呼吸速率的因素

秋去冬来,我国北方地区的蛙和小鼠同时遭遇了环境温度的急剧下降,蛙的细胞呼吸速率下降,而小鼠的细胞呼吸速率却有所升高。这两种截然相反的生理变化背后的机制是怎样的呢?



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注细胞内、外因素对细胞呼吸速率的影响。

资料 1. 科学家发现糖酵解过程中催化第三步反应的酶的活性是可控的：该酶既可以与 AMP、ADP 和 Pi 结合，活性升高；也可以与 ATP 结合，活性下降。

资料 2. 科研工作者检测某种植物的果实在不同环境 O₂ 含量下 CO₂ 释放量与 O₂ 吸收量的变化，得到右图所示的结果（图 4-25）。

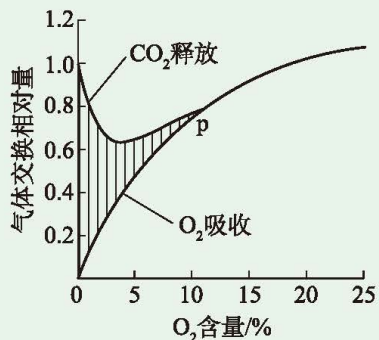


图 4-25 某种植物果实在不同 O₂ 含量下 CO₂ 释放量与 O₂ 吸收量的变化

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 人体由安静状态进入运动状态时，相应骨骼肌细胞的细胞呼吸速率会明显升高，导致这一变化的主要原因是什么？

2. 资料 2 中的果实最适宜储存于何种 O₂ 含量下？你做出这一判断的理由是什么？除了 O₂ 含量外，还有哪些环境因素会影响果实的细胞呼吸速率？

ATP 的浓度可影响糖酵解过程中催化第三步反应的酶的活性，进而影响细胞呼吸的速率。骨骼肌细胞由静息状态进入工作状态，ATP 的消耗加快，ATP/ADP 迅速下降，导致细胞呼吸速率升高。当细胞内 ATP 供应充足时，ATP/ADP 升高，细胞呼吸过程中关键酶的活性下降，细胞呼吸速率下降；反之，ATP/ADP 下降，细胞呼吸速率升高。因此，细胞内 ATP/ADP 是调节细胞呼吸速率的关键因素。这种调节机制使细胞能迅速地对 ATP 的需求做出响应，调节 ATP 的生产速率，满足细胞的能量需求。

细胞呼吸实质上是一系列的酶促反应，因此温度等影响酶活性的因素和 O₂ 等反应物的浓度都会影响细胞呼吸速率。在某温度条件下，细胞呼吸速率最大，该温度即为细胞呼吸的最适温度。当温度低于最适温度时，细胞呼吸速率会随着温度的升高而升高；当温度高于最适温度时，细胞呼吸速率会随着温度的升高而下降（图 4-26）。

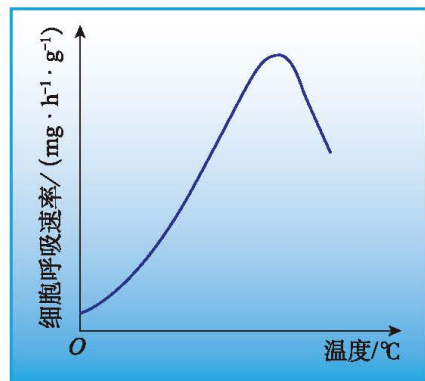


图 4-26 温度对细胞呼吸速率的影响

细胞所处环境的氧浓度既会影响有氧呼吸的速率，也会影响无氧呼吸的速率。对于既能进行无氧呼吸又能进行有氧呼吸的细胞而言，当环境氧浓度为 0 时，细胞只能进行无氧呼吸，随着氧浓度的升高，细胞无氧呼吸速率逐渐下降，而有氧呼吸速率逐渐升高，最终细胞只靠有氧呼吸供能。生物体的细胞呼吸速率受到细胞内、外多种因素的影响。

在生产和生活中，常常需要调节动植物或者微生物的细胞呼吸速率。例如，冬季养殖

动物不易增重，因为鸡、牛等动物在低温环境中会通过特定的调节系统来加快细胞呼吸，以增加产热量，维持体温的相对稳定，所以有机物消耗加快，不易在体内积累。因此，在畜牧业生产中，冬季要注意给动物防寒保暖，以降低其细胞呼吸速率，提高饲料利用率。

在农业生产中，有时需要促进农作物的细胞呼吸。例如，在作物生长期进行中耕松土，可以增加土壤通气量，促进作物根部的有氧呼吸，有利于作物吸收矿质元素。有时则需要利用各种措施来降低作物或农产品的细胞呼吸速率，以减少有机物的消耗，如在夜间适当降低栽培温室的温度，粮食收获后及时晒干，将粮食和果蔬储存在低温、低氧的环境中等。

利用微生物生产各种发酵食品时，也要严格控制微生物的细胞呼吸速率。例如，利用酵母菌酿酒时，往往先向发酵液中通气，促进酵母菌的有氧呼吸，使酵母菌迅速增殖，之后再控制发酵液为无氧条件，促进酵母菌的无氧呼吸，从而积累酒精。

实践应用调查

调查农产品的保鲜措施

调查可参考以下提示开展。

1. 选择一种在当地有较大经济价值或生活中经常食用的农产品。
2. 通过对相关从业者进行访谈或者从网络等渠道搜集资料的方式，了解这种农产品在储存过程中有哪些保鲜措施。
3. 思考这些措施与细胞呼吸的关系，并与老师和同学进行交流。

检测评价

1. 某小组同学为延长苹果的储存时间，测得了不同温度和 O_2 含量条件下新鲜苹果的 CO_2 释放量，结果如下表所示（表中数据为相对值）。

温度 /°C	CO_2 释放量					
	O_2 含量 0.1%	O_2 含量 1%	O_2 含量 3%	O_2 含量 10%	O_2 含量 20%	O_2 含量 40%
3	6.2	3.6	1.2	4.4	5.4	5.3
10	31.2	53.7	5.9	21.5	33.3	32.9
20	46.4	35.2	6.4	38.9	65.5	66.2
30	59.8	41.4	8.8	56.6	100.0	101.6

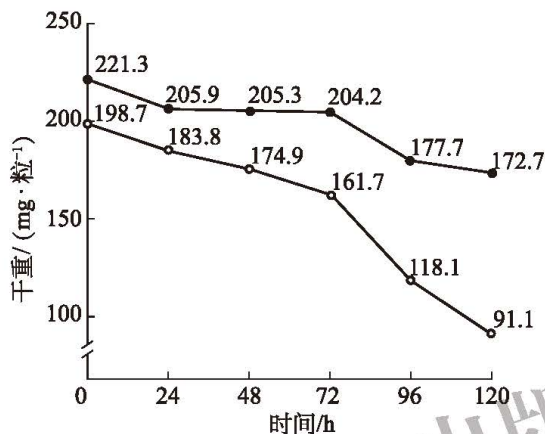
请回答下列问题：

- (1) 依据实验结果做出的判断，不正确的是 ()。
- A. 本实验需要在黑暗条件下进行
 - B. O_2 含量不是本实验唯一的自变量
 - C. O_2 含量为 0.1% 时 CO_2 主要来自有氧呼吸
 - D. 适宜的低温和低氧环境有利于苹果储存

(2) 为延长苹果的储存时间, 常常将采摘后的苹果放入保鲜袋内冷藏, 并控制袋内 O_2 的体积分数为 1.6%。上述措施的主要目的是 ()。

A. 促进无氧呼吸 B. 促进有氧呼吸 C. 促进细胞代谢 D. 抑制细胞呼吸

2. 将玉米籽粒置于 $25^\circ C$ 、黑暗、水分适宜的条件下萌发, 每天定时取相同数量的萌发籽粒, 一半直接烘干称重, 另一半切取胚乳烘干称重, 计算每粒的平均干重, 结果如下图所示。



若只考虑籽粒萌发所需的营养物质来源于胚乳, 请回答下列问题:

(1) 请在图中标注哪条折线代表“胚乳干重”, 哪条折线代表“完整籽粒干重”。

(2) 萌发过程中在 _____ 时间段籽粒的呼吸速率最大, 在该时间段内每粒籽粒呼吸消耗的平均干重为 _____ mg。

(3) $0 \sim 24$ h, 两条线近乎平行, 表明 _____ 没有发生显著变化。在随后的萌发过程中, 胚乳的部分营养物质转化成幼苗的组成物质, 其最大转化速率为 _____ $mg \cdot 粒^{-1} \cdot d^{-1}$ 。



开阔眼界

果蔬呼吸测定仪

果蔬呼吸测定仪是近些年新出现的产品, 专门用于常温、冷藏库、气调库、超市冷柜等储藏条件下的果品和蔬菜呼吸强度的测定和研究。该仪器可以根据果蔬的大小来选择不同体积的呼吸室, 缩短了平衡和测定时间。仪器可以同时显示呼吸室的 CO_2 浓度、 O_2 浓度、温度和湿度, 可以采用 CO_2 浓度和 O_2 浓度两种呼吸表示方法, 非常适合于各类学校和科研院所以及各公司企业用于各类果品和蔬菜的呼吸测定。

第四节 光合作用

我国首创的水稻杂交技术已向 20 多个国家推广，超级杂交稻每公顷产量已经突破了 17 吨。水稻利用太阳能，将太阳能转化为化学能储存在有机物中，这一过程就是光合作用。光合作用的物质和能量代谢是如何进行的？又有哪些因素会影响光合作用呢？

一 光反应

银杏的叶片通常是绿色的，但是当叶片衰老时或到了秋天，我们会看到叶片变为黄色（图 4-27）。这是什么原因造成的？叶片中到底有哪些种类的色素？这些色素如何利用光能呢？

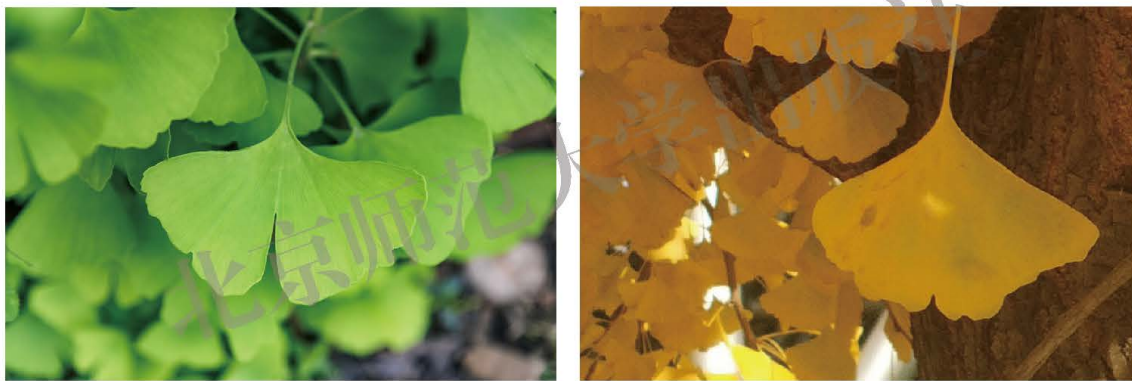


图 4-27 夏天的银杏叶（左）和秋天的银杏叶（右）

叶绿体通过光合色素捕获光能



寻找证据 实验

叶绿体中色素的提取和分离

● 目的要求

1. 尝试提取和分离叶绿体中的色素。
2. 列举叶绿体中含有的色素种类。

● 实验原理

叶绿体中含有多种色素，这些色素均可溶于有机溶剂，但不同色素在层析液中的溶解度不同。当层析液沿滤纸自下而上扩散时，溶解度大的色素随层析液移动得快，而溶解度小的色素因更易被滤纸中纤维素分子结合的水所吸附而移动得慢，最终不同色素在滤纸上彼此分离开来。

● 材料用具

新鲜的绿色叶片（如菠菜叶片）；无水乙醇，层析液（石油醚、丙酮、苯体积比20:2:1）， SiO_2 ， CaCO_3 ；干燥的定性滤纸，试管，棉塞，研钵，玻璃漏斗，尼龙布，载玻片，盖玻片，剪刀，药匙，10mL量筒，天平，层析管，胶塞，刻度尺，铅笔等。

● 方法步骤

1. 提取叶绿体中的色素

(1) 称取5g绿叶，剪碎，置于研钵中。

(2) 向研钵中加入 SiO_2 （有助于研磨更充分）和 CaCO_3 （可防止叶绿素被破坏）各1/2药匙，再加入5mL无水乙醇，将绿叶充分研磨成匀浆。

(3) 在玻璃漏斗中放一块单层尼龙布，对绿叶匀浆进行过滤。将滤液收集到试管中，用棉塞塞住试管口。分别在顺光、逆光方向观察叶绿素溶液的颜色。

2. 分离叶绿体中的色素

(1) 将干燥的定性滤纸剪成恰好能置于层析管中的滤纸条。将滤纸条的一端剪去两角，在这一端离边缘1cm处用铅笔画一条细横线。

(2) 将滤液在载玻片上摊成一薄层，用盖玻片的边缘蘸取色素滤液，印在滤纸条上的横线处。待滤纸上的印痕干燥后，再印一两次。

(3) 将适量层析液倒入层析管。将滤纸条剪角的一端朝下，轻轻插入层析液，注意不要让滤液细线触及层析液，随后用胶塞塞紧层析管管口。

(4) 观察层析液在滤纸条上的扩散，在迁移速度最快的色素带到达滤纸上沿之前将滤纸条取出，观察色素带的条数、位置、颜色和宽度。

3. 光合色素吸收光谱的观察

(1) 向比色皿中加入色素提取液。

(2) 将装有色素提取液的比色皿置于光谱仪前端支架上。

(3) 使光谱仪前端狭缝抵近光源，从光谱仪后部观察孔进行观察。

根据实验获得的信息，思考下列问题：

1. 逆光观察看到的是透射光，顺光观察看到的是反射光。两种情况下叶绿素溶液的颜色有何不同？

2. 层析分离后滤纸条上先后排列几条色素带？比较其颜色和宽度。

▲ 注意

层析液具有挥发性，层析装置必须加盖，并在通风良好的场所操作。

叶绿体中的色素在滤纸条上形成了 4 条色素带（图 4-28），说明叶绿体中含有 4 种色素。这 4 种色素的颜色、含量可归纳如下：

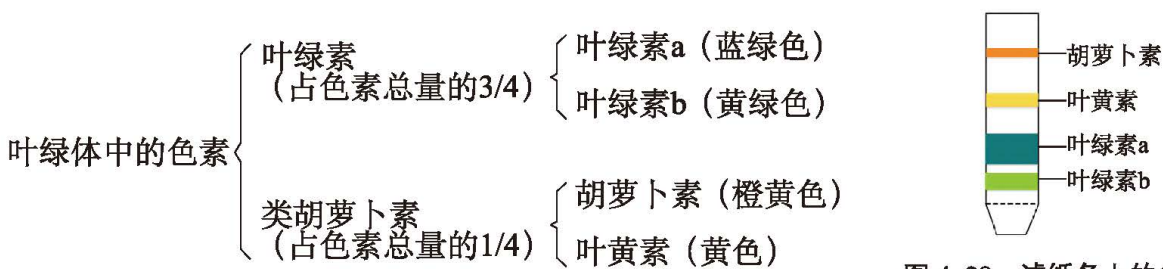


图 4-28 滤纸条上的色素带

阳光色散会形成 380~780 nm 的七色可见连续光谱。如果将装有色素滤液的比色皿置于光源和棱镜之间，会发现 450 nm 左右的蓝紫光、680 nm 左右的红橙光消失了（图 4-29）。可见，叶片中的色素会吸收光能，而且是吸收特定波长范围的光。实际上，叶绿素主要吸收蓝紫光和红橙光，而类胡萝卜素主要吸收蓝紫光（图 4-30）。叶片之所以呈现绿色，正是因为叶绿体中的色素对绿光吸收最少，绿光被反射了出来。叶绿素的合成需要光照和适宜的温度，秋季温度降低，光照强度变弱，再加上叶片自身衰老的原因，叶绿素逐渐降解，类胡萝卜素的颜色便显现了出来。

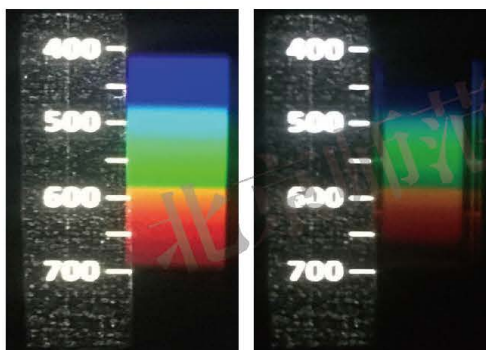


图 4-29 光谱仪观察色素溶液的结果（左为对照）

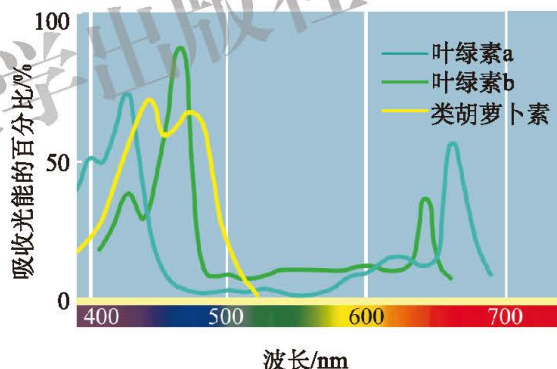


图 4-30 叶绿体中色素的吸收光谱

实验中，色素滤液在透射光下和叶片一样因绿光未被吸收而呈绿色，然而色素滤液反射出的光线却不同于叶片的反射，呈现出暗红色。这是因为离体的色素无法将吸收的光能用于光合作用，只能把光能重新释放出来，发出荧光。在此过程中由于能量的损失，色素溶液发出光的波长长于吸收光的波长，故呈暗红色（图 4-31）。这也说明，只有在完整的结构中，叶绿体中的色素才能够吸收光能，驱动光合作用的发生。



图 4-31 色素滤液在透射光（左）和反射光（右）下的颜色

光能在类囊体膜上转化为活跃的化学能



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注光合作用的场所和物质、能量变化。

资料 1. 1881 年，德国科学家恩格尔曼 (Theodor Engelmann, 1843—1909) 为了确定光合作用的发生场所，将水绵和好氧细菌置于没有 O_2 的临时装片中。他发现当临时装片整个暴露于光下时，好氧细菌聚集在叶绿体上 (图 4-32 左)；当在黑暗环境中用极细的白光光束照射装片时，好氧细菌会聚集在叶绿体被光照射到的部位 (图 4-32 右)。

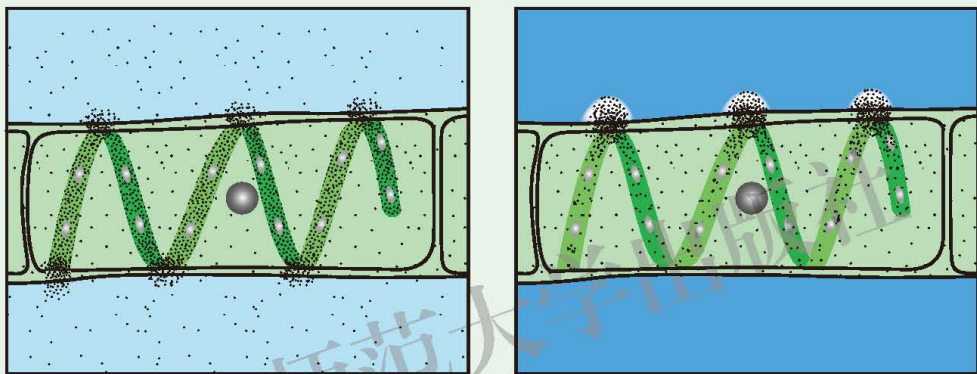


图 4-32 恩格尔曼实验示意图

资料 2. 1939 年，英国科学家希尔 (Robert Hill, 1899—1991) 将植物细胞破碎，获得离体叶绿体。他发现即使不提供 CO_2 ，只要在光照条件下给离体叶绿体提供足量的草酸亚铁等电子受体，离体叶绿体虽然不能合成有机物，也能够放出 O_2 。20 世纪 50 年代中期，科学家发现叶绿体中具有天然的电子受体 $NADP^+$ ，在光照下 $NADP^+$ 得到电子和 H^+ ，生成 $NADPH$ 。

资料 3. 1941 年，为了确定光合作用释放的 O_2 的来源，美国科学家鲁宾 (Sam Ruben, 1913—1943) 和卡门 (Martin Kamen, 1913—2002) 用 ^{18}O 作为标记物，制备出 $H_2^{18}O$ 和 $C^{18}O_2$ 。他们将小球藻分成 3 组，供给掺有 $H_2^{18}O$ 的 H_2O 和掺有 $C^{18}O_2$ 的 CO_2 ，发现各组释放的 O_2 中 ^{18}O 所占比例均与本组供给的 H_2O 中 $H_2^{18}O$ 所占比例相同。

资料 4. 1966 年，美国科学家雅根多夫 (André Jagendorf, 1926—2017) 在黑暗条件下将叶绿体置于 pH 为 4 的缓冲液中 15 s 后，再将叶绿体转移至含有 ADP 和 P_i 、pH 为 8 的缓冲液中，此时类囊体膜内侧 pH 为 4，外侧 pH 为 8 (图 4-33)。随后类囊体膜两侧这一 pH 梯度逐渐减小，同时还伴随有 ATP 的生成。

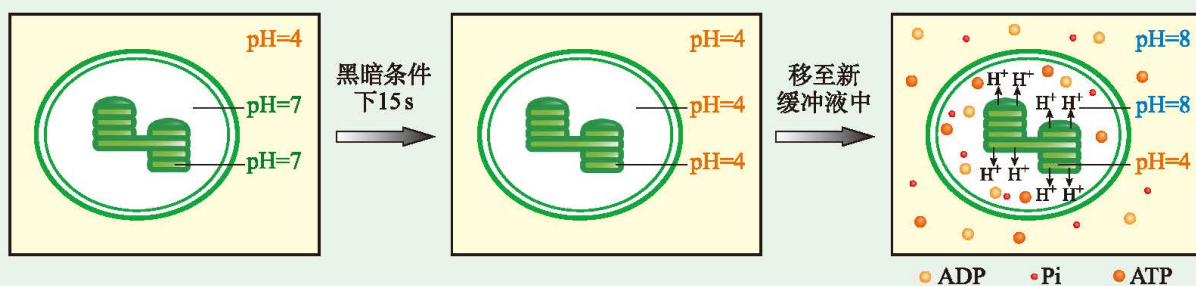


图 4-33 离体叶绿体由低 pH 溶液转移至高 pH 溶液中

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 恩格尔曼在实验中选用水绵作为实验材料的原因是什么？好氧细菌的作用是什么？该实验说明光合作用发生在细胞内的什么结构中？
2. 资料 2 说明光合作用中 O_2 的生成和有机物的生成是两个相对独立的反应还是一个完整不可分割的反应？
3. 资料 2 和资料 3 说明光合作用释放的 O_2 来自 H_2O 还是 CO_2 ？ H_2O 分解后释放的电子和 H^+ 的受体是什么物质？
4. 资料 4 说明叶绿体中 ATP 生成的直接驱动力是什么？这与有氧呼吸中线粒体内膜上 ATP 的生成机制有什么相似之处？

恩格尔曼实验中，生物材料的选择非常巧妙，水绵细胞中只有少数几个长带状的叶绿体，便于观察，而好氧细菌的分布位置可以准确指示 O_2 的释放场所。好氧细菌集中分布在光下的叶绿体上，表明叶绿体是光合作用的场所。

资料 2 和资料 3 的研究使人们认识到光合作用可以分成两个相对独立的阶段：一个阶段是光下进行的 H_2O 的分解和 O_2 的释放，称为光反应；另一个阶段则是以 CO_2 为原料的有机物合成，称为碳反应（也称为暗反应）。资料 4 的研究表明光反应中除了生成 O_2 和 NADPH（可简写为 [H]）之外，还有 ATP 的生成，而 ATP 的生成依赖于光照条件下类囊体膜两侧 H^+ 浓度梯度的形成。

光反应的过程如图 4-34 所示。镶嵌在类囊体膜上的光合色素分子整齐地排列在一起，它们能够捕获光能，将光能传递给位于反应中心的色素分子，该色素分子被激发，释放出一个高能电子。失去电子的色素分子有很强的夺电子能力，它们从水分子中夺取电子，使水分解成 H^+ 和 O_2 ， O_2 扩散进入大气。色素分子失去的电子被类囊体膜上的特殊蛋白质捕获，这些蛋白质利用电子携带的能量将 H^+ 从叶绿体基质泵入类囊体腔，并最终把电子传递给了 $NADP^+$ ， $NADP^+$ 获得电子后与 H^+ 结合，生成 [H]。类囊体膜上镶嵌有 ATP 合成酶，类囊体腔中的 H^+ 顺浓度梯度经 ATP 合成酶返回叶绿体基质，推动了 ATP 的生成。

小资料

NADPH

NADPH 是烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸的简称，也称辅酶 II。NADPH 是还原型辅酶 II，由氧化型辅酶 II $NADP^+$ 获得电子和 H^+ 转化而成。

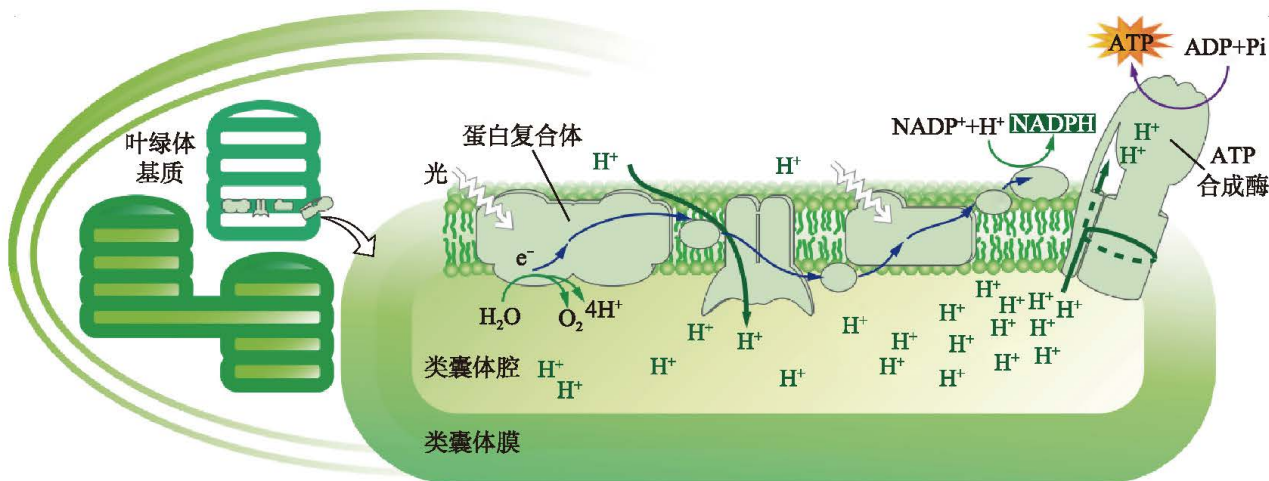


图 4-34 光反应的过程

总之，光反应可概括为水的光解、[H] 的生成和 ATP 的生成这 3 组反应。光能在光反应中被捕获，转变成了 ATP 和 [H] 中活跃的化学能。

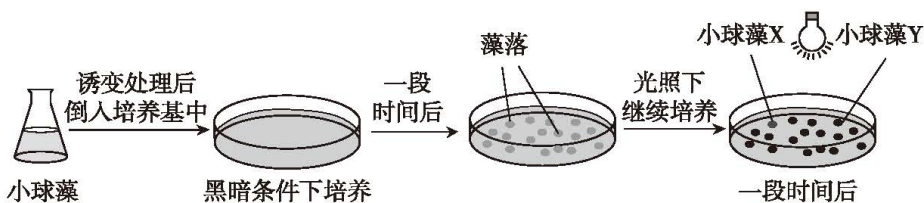
检测评价

1. 为缓解能源危机这一全球性问题，开发和利用新能源受到广泛关注。研究发现，小球藻在高氮条件下光合作用强，油脂积累少；在低氮条件下生长较慢，但能积累更多油脂。为获得油脂生产能力强的小球藻，制造生物质燃料，科研人员进行了实验。请回答下列问题：

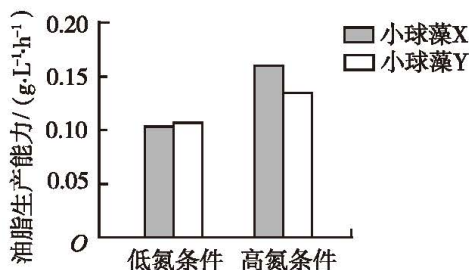
(1) 右图锥形瓶中是在光下培养的小球藻藻液，侧壁可见的气泡可能是_____。小球藻通过光反应将_____转变成_____和 [H] 中活跃的化学能，水的光解形成 [H]，并释放该种气体。



(2) 科研人员进行了下图所示的实验，发现培养基上的藻落（由一个小球藻增殖而成的群体）中，只有一个为黄色（其中的小球藻为 X），其余均为绿色（其中的小球藻为 Y）。小球藻 X 的出现可能是无法合成_____，因而呈黄色。为初步检验上述推测，可使用_____观察并比较小球藻 X 和 Y 的叶绿体颜色。



(3) 为检测油脂生产能力, 研究者进一步实验, 得到下图所示结果。据图分析, 小球藻 _____ (X/Y) 更适合用于制造生物质燃料, 理由是 _____。



2. 中国的饮食讲究“色、香、味”, 颜色会影响消费者对食品的综合评价。某同学拟研究“绿色”食用色素, 他以生长很快的水葫芦为材料进行如下实验:

I. 提取叶绿素



II. 探究 pH 对叶绿素稳定性的影响

取一些叶绿素粗产品, 配成一定浓度的溶液, 于室温 (约 25℃) 下进行实验, 方法和结果如下表:

实验组号	叶绿素溶液 / mL	调 pH 至	处理时间 / min	溶液颜色
①	3.0	Y	10	绿色
②	3.0	7.0	10	绿色
③	3.0	6.0	10	黄绿色
④	3.0	5.0	10	黄褐色

注: 叶绿素被破坏后变成黄褐色。

请根据所学知识和实验结果, 回答下列问题:

- (1) 提取食用叶绿素时应该加入 CaCO_3 和 SiO_2 , 目的分别是什么?
- (2) 表中 Y 处的 pH 应该为多少? 原因是什么?
- (3) 若用作食用色素, 天然叶绿素不适用于什么食品? 为什么?
- (4) 若想了解叶绿素粗产品中是否含有其他色素, 请提供检测方法和主要步骤。

二 碳反应

在一些植物的叶片上, 时常会有蚜虫趴附着, 从叶脉中吸取富含蔗糖的汁液。这些蔗糖是叶片光合作用的产物, 最终要运输到果实、种子、根等器官中。在光合作用中, 糖类是如何生成的呢?

CO₂被还原为糖类等有机物并储存了能量



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注 CO₂ 转化为糖类的过程中物质和能量的变化。

资料 1. 从 1946 年开始，卡尔文 (Melvin Calvin, 1911—1997) 等科学家用放射性同位素标记技术对光合作用中糖类的合成过程进行研究。卡尔文给小球藻提供 ¹⁴CO₂，然后在不同的时间提取小球藻代谢产物，利用纸层析技术将代谢产物分离，并对有放射性的化合物进行鉴定。卡尔文发现，当把反应时间缩短为几分之一秒时，小球藻中只生成一种有放射性的物质——一种三碳酸，而随着反应时间延长，生成的放射性物质种类不断增加。如果在光照下突然中断 CO₂ 的供应，三碳酸的量急剧减少，而一种五碳化合物的量增加。如果反应过程中突然停止光照，则三碳酸的浓度急速升高，而五碳化合物的浓度急速降低。

资料 2. 科学家发现光反应生成的 ATP 和 [H] 会在碳反应中被消耗。我国科学家曾经尝试在光照不变的条件用药物提高光反应中 ATP 的生成效率，发现碳反应中有机物的生成速率也随之大幅提高。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 碳反应中 CO₂ 转化成的第一个产物是什么？CO₂ 是与什么物质发生反应生成第一产物的？
2. 卡尔文认为碳反应涉及一个物质循环过程，请你尝试写出这一过程。
3. 光反应生成的 ATP 和 [H] 是在碳反应的哪个环节被消耗的？如果 ATP 和 [H] 不被消耗，光反应能否持续不断地进行？

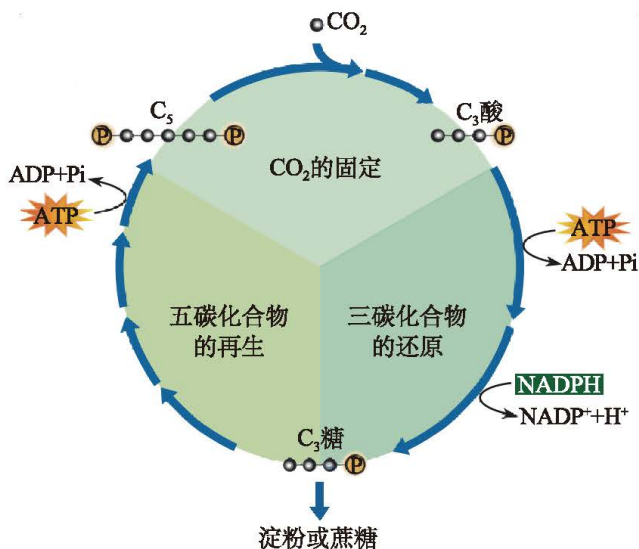


图 4-35 碳反应的过程

卡尔文等科学家的实验结果表明，在碳反应中，CO₂ 首先与一种五碳化合物（用 C₅ 表示）结合，生成 2 个三碳酸（用 C₃ 酸表示），这个过程叫作 CO₂ 的固定。之后 C₃ 酸获得 ATP 提供的能量，被 [H] 还原成三碳糖（用 C₃ 糖表示），这一过程叫作三碳化合物的还原。大部分 C₃ 糖经过一系列复杂的变化，重新生成了 C₅，以保证 CO₂ 的固定能够源源不断地进行，小部分 C₃ 糖被合成淀粉，或者转移到胞质溶胶中合成蔗糖（图 4-35）。碳反应是在叶绿体基质中进行的，每一阶

段的化学反应都需要特定的酶催化。碳反应的最终结果是使 ATP 和 [H] 中活跃的化学能转化成糖类中稳定的化学能。

[H]与ATP是联系光反应与碳反应的纽带

光合作用的光反应和碳反应是两个相对独立的过程。光反应高度依赖于光照，碳反应不需要光照，但依赖于光反应提供的 ATP 和 [H]，碳反应消耗 ATP 和 [H] 后生成的 ADP 和 NADP^+ 又是光反应不可缺少的原料（图 4-36）。由此可见，光反应和碳反应既有所区别，又密切联系，二者缺一不可，共同构成了生物圈中最重要的化学反应——光合作用。光合作用的实质是植物细胞的叶绿体从太阳光中捕获能量，这些能量在二氧化碳和水转变为糖与氧气的过程中，转换并储存为糖分子中的化学能。

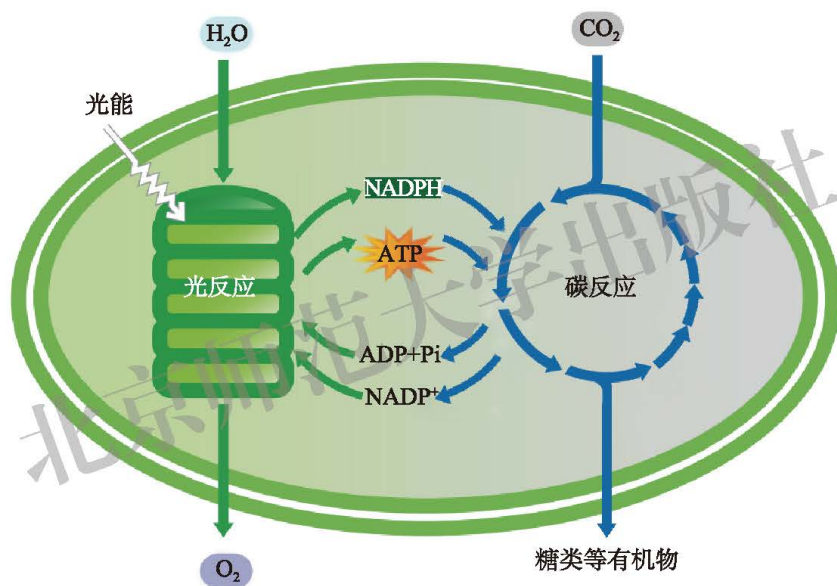


图 4-36 光反应与碳反应之间的关系

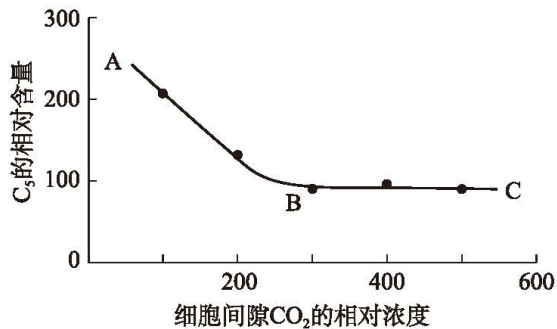
实践应用 搜集

光合作用过程的研究进展

光合作用的过程一直是生命科学研究的前沿领域。近几十年来，科学界在这一领域又取得了许多进展，揭示了光反应系统的结构和工作机制、光呼吸过程、 CO_2 固定的 C_4 途径等问题，其中每一个问题的解决对于指导农业生产都具有重大意义。请你搜集资料，了解关于光合作用过程的一项研究进展的研究方法、研究成果和它对农业生产的意义。

检测评价

1. 在适宜的光照和温度条件下，向豌豆植株供应 $^{14}\text{CO}_2$ ，测定不同的细胞间隙 CO_2 浓度下叶肉细胞中 C_3 的含量，得到下图所示的结果。



请回答下列问题：

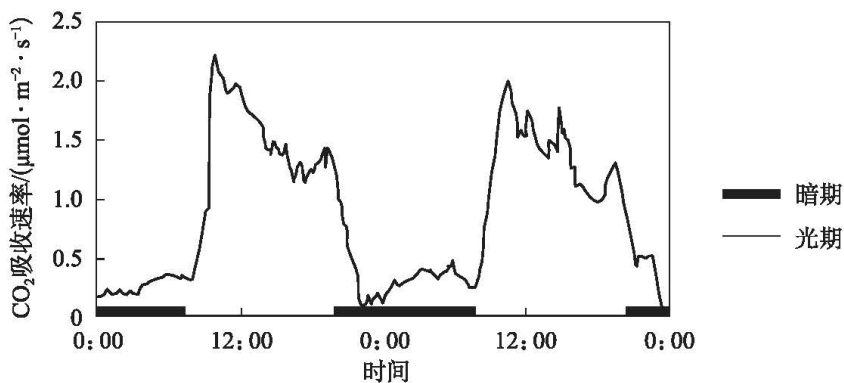
(1) 最初测得的含 ^{14}C 的化合物及其产生的场所分别是 ()。

- A. C_3 ，细胞间隙
- B. C_5 ，细胞质基质
- C. C_3 ，叶绿体基质
- D. C_5 ，类囊体薄膜

(2) 据上图做出的推测不合理的是 ()。

- A. A → B，叶肉细胞吸收 CO_2 速率增加
- B. B → C，叶片的光合速率等于呼吸速率
- C. A → B，碳反应消耗 ATP 的速率增加
- D. B → C，叶肉细胞中的酶量限制了光合速率

2. 为研究铁皮石斛的光合特性，研究人员测定了铁皮石斛在有光和黑暗条件下的 CO_2 吸收速率，结果如下图所示。



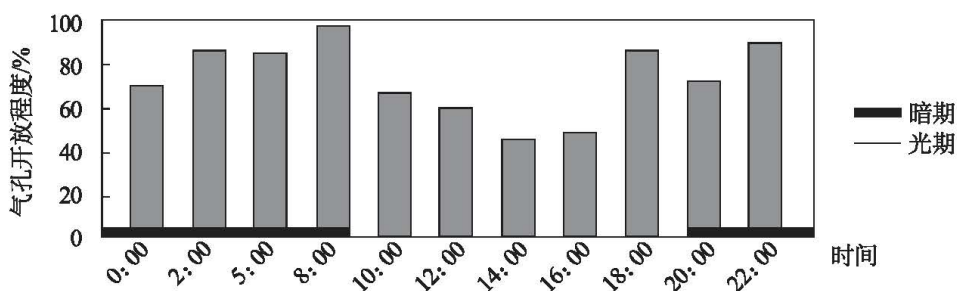
请回答下列问题：

(1) 在有光条件下，铁皮石斛吸收的 CO_2 在 _____ 中被固定为 _____，然后生成糖类等有机物。

(2) 虽然黑暗条件下，铁皮石斛通过 _____ 产生并释放 CO_2 ，但实验结果显示，暗期铁皮石斛 CO_2 吸收总量始终 _____，这不同于一般植物。

(3) 科研人员进一步测定了铁皮石斛中酸性物质的含量变化,发现酸性物质在暗期上升、光期下降,推测 CO_2 能够在暗期转化为_____储存起来,在光期_____。但是在暗期,铁皮石斛并不能将 CO_2 转化为糖类等光合产物,原因是_____。

(4) 为了探究这种作用的生理意义,科研人员测定了铁皮石斛气孔开放程度变化情况,结果如下图所示。



科研人员发现,暗期气孔开放程度_____光期。综合上述结果,科研人员推测铁皮石斛在光期条件下吸收 CO_2 不足,而暗期可以_____,进而提高光合速率。

影响光合作用的因素

走进一座现代化的温室,你可能会发现用于补充光照的LED灯发出的光并非白光,还可能注意到田间散布着一台台 CO_2 发生器,这些措施有何意义呢?

光照强度、 CO_2 浓度和温度等环境因素影响光合速率



寻找证据 实验

探究光照强度对光合速率的影响

● 目的要求

1. 说明不同环境因素对光合作用的影响。
2. 尝试改变光照强度观察植物光合速率的变化。

● 实验原理

光合速率可以通过测定一定时间内原料消耗或产物生成的数量来定量表示。

例如，测定叶片质量变化时，按照下列公式可计算出在不同光照强度下植物叶片的光合速率。

$$\text{光合速率} = \frac{\text{叶块干重增加总数 (mg)}}{\text{切取叶块面积总和 (dm}^2\text{)} \times \text{光照时间 (h)}}$$

● 材料用具

天竺葵叶片；质量分数为5%的三氯乙酸；棉签，锡箔纸，剪刀，金属模板，称量皿，烘箱，天平等。

● 方法步骤

1. 选取3盆生长旺盛的盆栽天竺葵，每盆选定嫩绿且肥大的5片叶片。
2. 用棉签蘸取5%的三氯乙酸，点涂于选定的15片叶片的叶柄上，造成明显的灼伤，达到环割的效果（图4-37左）。
3. 用锡箔纸包裹处理过的叶柄，扶持叶片，保持原来的着生角度。
4. 以每片叶片的主叶脉为界，把每片叶片的一半用锡箔纸遮住（图4-37右）。对这样处理过的3盆天竺葵分别进行不同强度的光照处理。



图4-37 叶柄环割（左）与叶片遮光（右）

5. 5 h后，剪下叶片，以主叶脉为界，将每片叶片见光和遮光部分重叠，用剪刀按照金属模板的面积剪下2块叶块，分别放在标有“见光”和“遮光”标记的称量皿中，置于85℃左右的烘箱中，烘干叶块，大约需要5 h。

6. 取出烘干的叶块，冷却后，将每盆“见光”叶块和“遮光”叶块分别用天平进行称量，记录称量数据并计算光合速率（每盆叶块干重增加总数 = 每盆见光叶块质量 - 每盆遮光叶块质量）。

根据实验获得的信息，思考下列问题：

1. 影响光合速率的因素有哪些？
2. 在实践中有哪些人为提高光合速率的措施？

在一定范围内，光合速率随着光照强度的增加而升高，几乎成正比。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。随着光照强度的减弱，光合速率逐渐降低，在某一光照强度下，有机物的产生速率和消耗速率相等，这时的光照强度称为光补偿点（图 4-38）。植物正常生长所需的最低光照强度必须高于光补偿点。

不同植物的光饱和点不同，这是因为它们的叶片厚度、光合色素含量等有所差异。根据植物对光照强度的需求程度，可把植物分为阳生植物和阴生植物两类。对于单叶而言，阴生植物的光饱和点比阳生植物的低。

植物出现光饱和点的实质是在强光下碳反应跟不上光反应，从而限制了光合速率的提高。如果在光饱和点提高 CO_2 浓度，往往会引起光合速率上升，由此可以看出， CO_2 浓度也是影响光合速率的一个重要外界条件（图 4-39）。

当光合作用吸收 CO_2 的速率与呼吸作用释放 CO_2 的速率相等时，外界的 CO_2 浓度称为 CO_2 补偿点。随着 CO_2 浓度增加，光合速率逐渐增大，使光合速率达到最大值的最小 CO_2 浓度则称为 CO_2 饱和点。

光合作用的一系列反应离不开酶的催化，而温度直接影响了酶的活性，因此温度对于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 $10 \sim 35^\circ\text{C}$ 条件下正常进行光合作用，其中以 $25 \sim 30^\circ\text{C}$ 为宜。

光合作用还直接或间接地受到矿质元素的影响。N、Mg、Fe 等是合成叶绿素所必需的矿质元素；P、K 等参与了糖类代谢，当植物缺乏 P、K 时会影响糖类的转化和运输，这样也就间接地影响了光合作用；P 还参与 ATP 与 ADP 的相互转化过程和能量传递，所以 P 对光合作用的影响非常明显。

光合色素含量等植物自身特性影响光合速率

即使在相同的环境条件下，不同植物的光合速率也是有差异的。

植物的光合作用能力由其遗传特性决定。例如，阳生植物和阴生植物在叶片的形态结构、光合色素含量和酶活性等各个方面都有所不同，适应各自的生活环境。阳生植物叶片厚，叶肉细胞层数多，参与碳反应的酶含量高，能够充分利用光反应产生的 ATP 和 [H]；阴生植物叶片大而薄，叶绿体中类囊体膜面积更大，光合色素含量更高，有助于在较弱的光照下充分吸收光能。

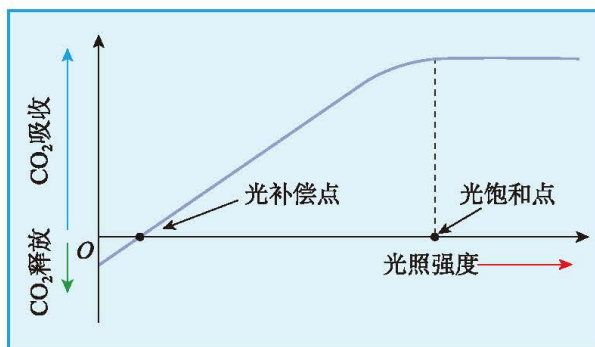


图 4-38 光合速率与光照强度的关系

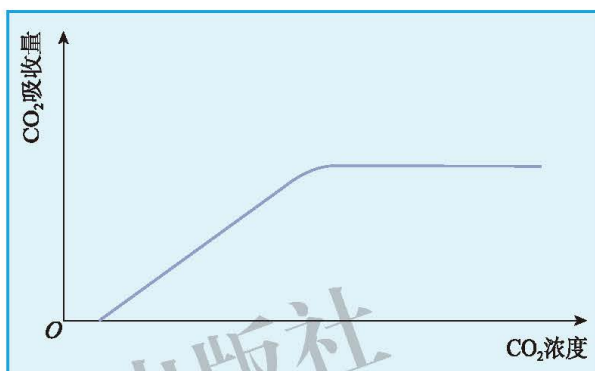


图 4-39 光合速率与 CO_2 浓度的关系

一些植物在进化中形成了一种特殊的固定和浓缩 CO_2 的机制，能够在高温、干旱导致气孔开放度下降的情况下，有效利用叶肉细胞间隙低浓度的 CO_2 进行光合作用。

同一植株在生长发育不同阶段的光合速率也是有差异的。例如，玉米进入开花期后植株整体光合速率会明显升高。不同叶龄叶片的光合速率也有所不同，通常幼叶光合色素含量较低，光合速率也较低，随着叶片生长，光合速率逐渐升高，而叶片衰老后光合速率又会下降。

在农业生产中，作物的产量直接取决于植株的光合速率和作物群体的光能利用率，因此一方面要培育光合作用能力更强的新品种，另一方面则要通过田间管理为作物提供适宜的环境条件，促进其光合作用。

农作物在生长过程中，光合作用积累的有机物中的化学能占投射到土地上的总光能的百分比称为光能利用率。合理密植可以增加单位面积土地上的总光合面积，是提高光能利用率的重要措施之一。我国古代农学著作《齐民要术》中提到，作物种植要“正其行，通其风”，表明古代的农学家已经发现作物过密会导致群体郁闭，通风不良，下部叶片无法正常进行光合作用，使总产量下降。

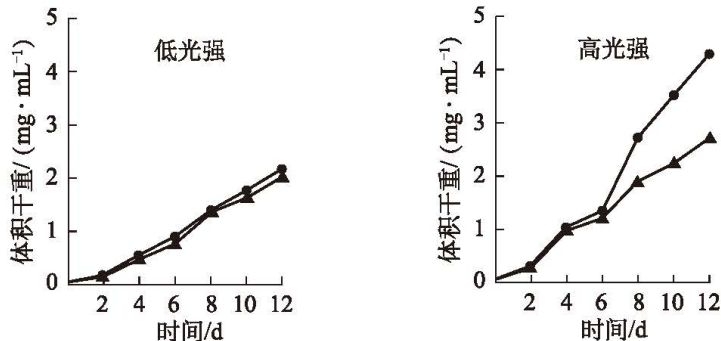
正常情况下大气中 CO_2 含量约为 0.03%，在光照充足的情况下，植物往往处于 CO_2 “饥饿”状态。将 CO_2 含量提高到 0.064% 时，棉花的光合速率会增加 1.5 倍，而玉米的光合速率会增加 15%。农田中施用有机肥，温室大棚中使用 CO_2 发生器，都能有效提高小环境中的 CO_2 含量，提高光能利用率。

我国传统的间作技术将高秆与矮秆、喜阳与喜阴的作物搭配种植，也能有效提高光能利用率，增加产量。

检测评价

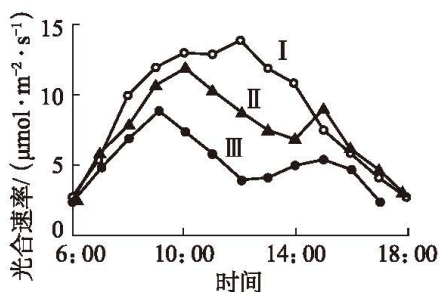
1. 光照强度和 CO_2 浓度是影响光合作用的重要因素，请回答下列问题：

(1) 研究者探究不同光强条件下，两种 CO_2 浓度对某种蓝藻生长的影响，结果如下图所示。下列关于实验的叙述，不正确的是 ()。



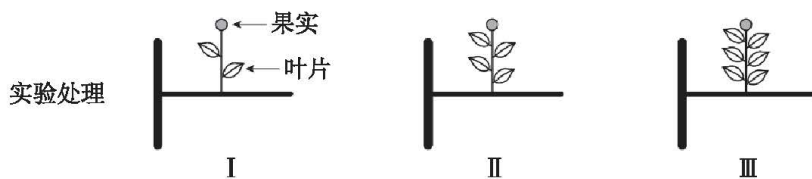
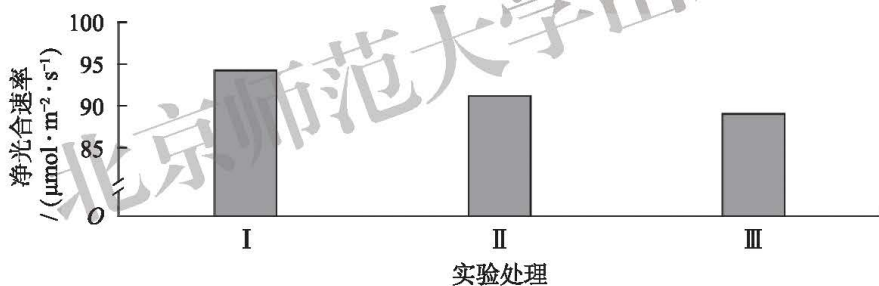
- A. “●”和“▲”分别表示高浓度和低浓度 CO_2 下的测量结果
- B. 若相同条件下测量 O_2 释放量，可得到相似的实验结果
- C. 低光强下，不同的 CO_2 浓度对干重增加的影响不显著
- D. 高浓度 CO_2 时，不同的光强对干重增加的影响不显著

(2) 下图为桑叶光合速率随土壤水分减少的日变化曲线图, 图中曲线 I、II、III 分别为降雨后第 2、第 8、第 15 天测得的数据。若光照强度的日变化相同, 则据图判断不正确的是 ()。



- A. 在水分充足时桑叶没有出现“午休”现象
- B. 曲线 II 双峰的形成与光照强度的变化有关
- C. 导致曲线 III 日变化的主要因素是土壤含水量
- D. 适时进行灌溉可以缓解桑叶“午休”现象

2. 为研究油茶叶片与果实关系对叶片光合作用及果实产量的影响, 研究人员对油茶植株进行了处理, 处理方法及结果如下图所示。



请回答下列问题:

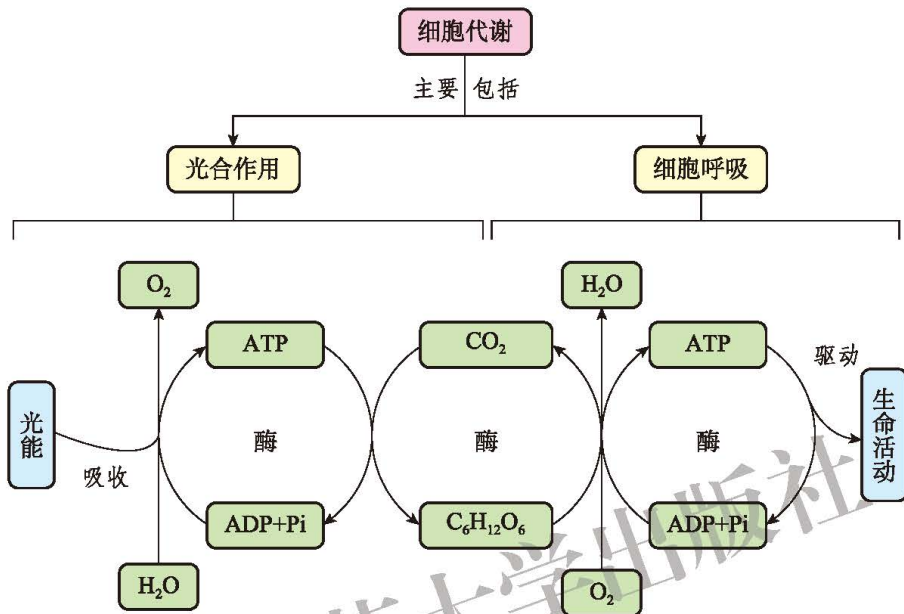
(1) 进行实验时, I、II、III 组要选取相同高度、南面生长的树冠外层枝条作为实验材料, 目的是什么?

(2) I、II、III 组结果表明, 库源比 (果与叶数目比) 与叶片的净光合速率有什么关系?

(3) 研究人员推测, 摘除部分叶片后, 剩余叶片的光合产物运输和分配到果实中的比例升高。为确定符合生产需求的最佳库源比, 研究人员还需要测定 3 组实验的什么指标?

本章小结

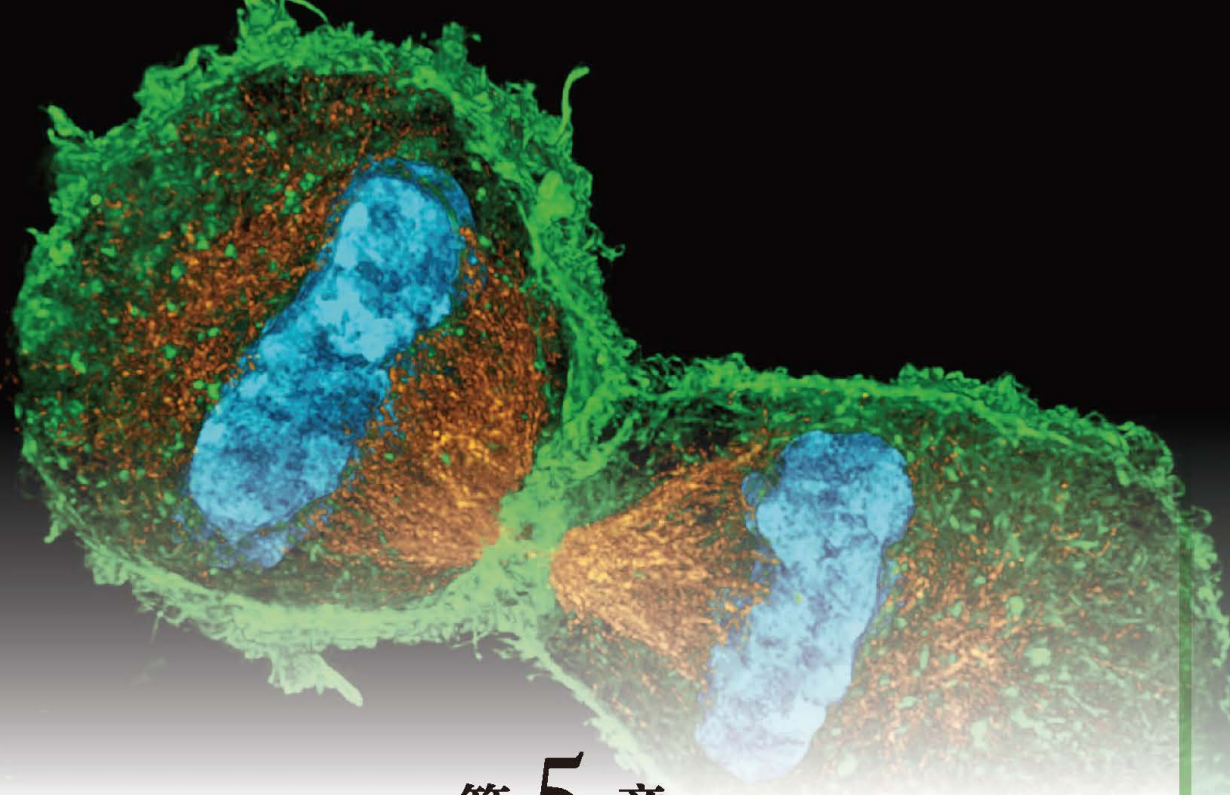
● 基础知识梳理



细胞的生命活动过程贯穿着物质与能量的变化。植物细胞的叶绿体从太阳光中捕获的能量，在 CO_2 和 H_2O 转变为糖类和 O_2 的过程中，转化为化学能并储存在糖分子中。生物圈中主要的物质和能量源于光合作用的光反应和碳反应。生物体通过细胞呼吸将储存在有机分子中的能量转化为生命活动可以利用的能量。其中，发生在胞质溶胶和线粒体中的有氧呼吸可以放出大量能量，但分解和放能的过程复杂且相对缓慢；发生在胞质溶胶中的无氧呼吸可以较快释放能量，但放能较少。光合作用和细胞呼吸的代谢过程都以 ATP 作为能量“通货”，ATP 是驱动细胞生命活动的直接能源。细胞代谢的过程需要多种酶进行催化，绝大多数的酶是蛋白质。

● 学科素养提示

从物质与能量视角，分析经典实验材料、实施对照实验，探索酶和 ATP 在细胞代谢过程中的作用，阐释光合作用与呼吸作用的代谢过程。通过分析科学探究所获取的事实、证据，阐明细胞生命活动过程中贯穿着物质与能量的变化。尝试利用细胞代谢原理，通过改变环境因素、调控动植物不同生长发育期的代谢途径和水平等手段，为相应生产和生活实践服务。



第 5 章

细胞的生命历程

寒来暑往，你可以看到银杏的叶片慢慢变黄飘落，也会看到迎春的花蕾由小长大最终吐露芬芳。或粗壮或纤细的茎秆中其实都有不断分裂、生长的新细胞。无论是斑驳的树皮，还是鲜艳的花朵里，也都有逐渐衰老和死亡的老细胞。作为生物体的基本结构单位，细胞是不是也像我们看到的生物个体一样有着生老病死？不同的细胞会经历怎样特定的生命历程呢？让我们一起展开这幅细胞生命动态的画卷吧！



学习目标

1. 在理解细胞分裂基本过程和细胞分化、衰老及死亡等进程原因的基础上，形成生命活动是在内外因素综合作用下发生的复杂过程的概念，并在此观念的指导下，对生命现象进行全面和综合的分析。
2. 基于观察细胞分裂过程中获得的事实，能运用归纳与概括、模型与建模等科学思维方法，选用图文结合的方式，说明细胞周期的基本过程和细胞分裂中各种变化之间的关系，审视通过抑制有丝分裂过程来治疗癌症的可行性。
3. 针对动植物细胞的有丝分裂过程的研究，能选用适当的实验材料，正确完成实验操作，并通过比较研究的方案，分析动植物细胞有丝分裂过程的异同。
4. 主动关注干细胞、细胞衰老等方面的相关研究，运用辩证分析的手段，提出技术发展有利于解决人类社会中的一些问题，但也会随之产生新的挑战的观点，形成正确利用技术服务社会的意识。

第一节 细胞的增殖

生物体生长发育的过程，必然伴随着细胞数量的变化。在多细胞生物体正常的组织中，新细胞会不断出现来补充衰老、死亡的细胞；同时，多细胞生物体个体的生长、发育也要以新细胞的不断产生为基础。而对单细胞生物而言，新细胞的产生就是个体的繁殖。显然，细胞增殖对生物体的生长、发育、繁殖具有重大意义。新细胞是如何产生的？细胞有哪些不同的增殖方式呢？

一 细胞周期

大多数多细胞生物个体来自一个单细胞——受精卵，受精卵必须通过细胞增殖才能形成多细胞生物个体。生物个体是如何实现细胞数目不断增多的？这种变化过程又可以划分为哪些阶段呢？



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注细胞增殖过程的周期性。

资料 1. 许多动物的卵体积较大，如爪蟾的卵直径大于 1 mm。受精卵在形成早期胚胎时，可以在较短的时间内不断分裂产生很多较小的细胞。

资料 2. 在体外动物细胞培养液中加入足量的 DNA 合成抑制剂，增殖的细胞会停止分裂。移除抑制剂，更换新的培养液后，所有细胞可以同步继续进行分裂。

资料 3. 将处于分裂中细胞的提取物注入未分裂的细胞，可以观察到未分裂的细胞立即进入分裂阶段，而其他时期细胞的提取物无此效果。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 受精卵较大的体积和较快的分裂速度之间存在什么联系？
2. DNA 合成抑制剂可以使细胞分裂停止，说明什么？
3. 当加入 DNA 合成抑制剂时，虽然有些细胞已经完成了 DNA 合成，但它们依然可以与其他细胞在移除抑制剂后实现同步分裂。这个事实说明了什么？
4. 处于分裂过程中细胞的提取物对细胞分裂的进程起到了什么作用？

细胞在分裂前需要一定的时间合成各种物质。受精卵体积较大，在前期已经积累了很多物质，故分裂速度较快。细胞增殖过程可以分为物质准备阶段和细胞分裂阶段。物质准备阶段的核心事件是 DNA 的合成（复制），所以当 DNA 合成被抑制时，细胞的分裂将

停止，这说明物质的准备和细胞的分裂是密切相关的。当加入 DNA 合成抑制剂时，即使有些细胞已经完成了 DNA 合成，也依然可以实现所有细胞的同步化。这说明那些完成了 DNA 合成的细胞还会再次进行 DNA 合成，在下一次合成 DNA 时实现分裂的同步。可见细胞的连续增殖是通过物质准备、细胞分裂的周期性变化来实现的，这被称作细胞周期。

通常把一次细胞分裂结束作为新的细胞周期的开始。一个细胞周期中的物质准备阶段被称作间期（interphase），而细胞分裂的阶段被称作分裂期（M 期，mitotic phase）（图 5-1）。在间期的核心事件是 DNA 的合成（复制）和有关蛋白质的合成，细胞适度长大。DNA 分子的合成时期只是间期的中间阶段，被称作 S 期（synthesis phase）。在 S 期与上一次分裂及下一次分裂之间都存在着一段间隔期（gap），分别被称作 G_1 期和 G_2 期。 G_1 期主要进行一些与 DNA 复制有关的蛋白质合成，而 G_2 期主要进行与分裂期有关的一些蛋白质的合成以及一些细胞器的增殖。在 M 期，间期复制的 DNA 及中心体等细胞器平均分配到 2 个子细胞中。

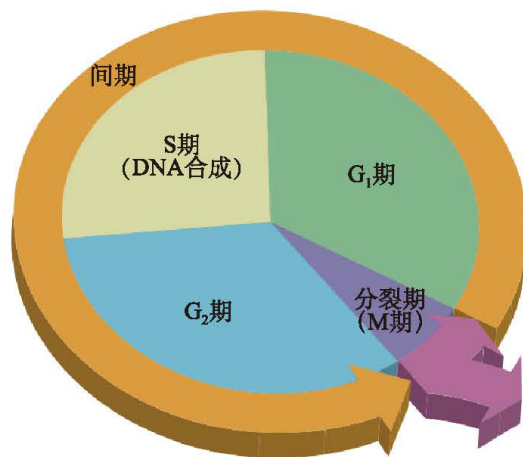


图 5-1 细胞周期

在一个细胞周期内间期和分裂期所占时间相差较大。通常间期时间占整个细胞周期的 90%~95%，而分裂期只占 5%~10%。不同类型的细胞之间，其细胞周期的时间差别很大（表 5-1）。同时，一些环境因素也会影响细胞周期的时间长短。有研究表明一定程度的低温会减慢细胞的增殖速度。一些化学药物也会对细胞周期的进程产生影响。

表 5-1 不同细胞的细胞周期时间

细胞类型	适宜条件下的细胞周期时间
非洲爪蟾早期胚胎细胞	30 min
酵母细胞	90 min
小鼠十二指肠上皮细胞	15 h
蚕豆根尖分生区细胞	17 h
人的肝脏细胞	20 h

在一个多细胞生物个体中，有些细胞会按照细胞周期的各个阶段持续运转（如各种干细胞），不断地增殖。有些细胞通过分化的过程形成了具有特定功能的细胞就不再进行分裂（如骨骼肌细胞），这些细胞脱离了细胞周期。还有些细胞可以暂时停止分裂，但受到特定信号的诱导，又会进入连续增殖的周期性变化，通常将这些细胞称作 G_0 期细胞。例如，结缔组织中的成纤维细胞，平时并不分裂，一旦组织受到损伤，它们会立即返回细胞周期，大量增殖来修复伤口。

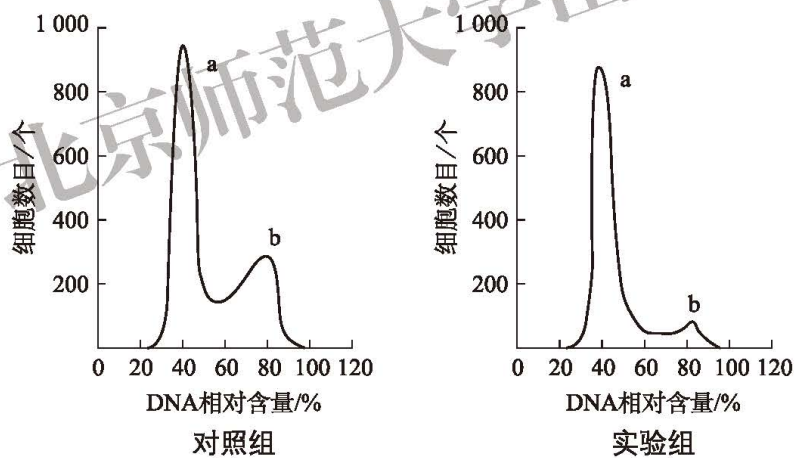
分裂过程中的细胞产生的物质，可以诱导其他细胞快速进入分裂过程。这说明细胞周

期是一个被精确控制的过程。细胞周期的准确运转对生物体的生存、繁殖、发育和遗传都是十分重要的。对简单生物而言，调控细胞周期主要是适应自然环境的需要，以便根据环境状况调节繁殖速度，保证物种顺利繁衍。复杂生物体的细胞要面对更复杂的信号反馈，做出正确的应答，保证组织、器官和个体的生长、发育以及自我更新正常进行。

对细胞增殖调控的研究具有很多实践应用价值。在利用核移植技术克隆动物的过程中，只有核供体细胞和卵细胞实现细胞周期的同步化，在核移植之后重组的细胞才能继续完成正常的分裂。研究人员利用 G_0 期乳腺细胞作为核供体细胞，与受体细胞保持细胞周期同步，从而成功得到了“多莉”羊——第一只通过体细胞核移植克隆成功的哺乳动物。目前，通过低血清浓度培养等方法可以将更多的细胞阻滞在 G_0 期，以提高核移植和克隆动物的成功率。

检测评价

1. 在体外培养细胞的条件下，常通过测定细胞中遗传物质（DNA）的含量来判断细胞所处细胞周期的不同阶段。一种被称作流式细胞仪的设备可根据细胞中DNA含量的不同对细胞分别计数。研究人员用某抗癌药物处理体外培养的癌细胞。24 h后用流式细胞仪检测，结果如下图所示。



请回答下列问题：

(1) 实验结果显示DNA相对含量的a峰DNA含量与b峰DNA含量之比为_____。由此推测，a峰细胞处于细胞周期中的_____期，b峰细胞处于细胞周期中的_____期。

(2) 无论是实验组还是对照组，a峰均明显高于b峰，这个结果不能说明（ ）。

- A. 尚未进行DNA复制的细胞较多
- B. 是否添加该药物对细胞周期没有影响
- C. 在一个细胞周期中分裂间期比分裂期时间长
- D. 在一个细胞周期中DNA复制后经历的时间较短

(3) 根据实验结果分析, 该抗癌药物 _____ (有/无) 抑制癌细胞增殖的效果。该药物可能的作用机制是什么?

2. 2001年诺贝尔生理学或医学奖颁发给了哈特韦尔等3位研究者, 以表彰他们在细胞周期调控机理方面所做的研究工作。他们发现细胞周期中每一事件都是有规律、精确地发生的, 并且在时间与空间上受到严格调控, 细胞中的一些基因和蛋白质等一系列调控因子起到了关键的作用。请回答下列问题:

(1) 细胞内的一些关键因子对细胞周期起到调控作用, 这与细胞周期受环境因素的明显影响是否矛盾? 为什么?

(2) 细胞周期调控机制的研究有什么应用意义? 谈谈你的看法。

二 细胞的分裂

在由受精卵发育成完整生物个体的过程中, 细胞数目的增多主要是通过细胞的有丝分裂实现的。这种分裂方式可以很好地保证亲子代细胞间的遗传稳定。有丝分裂的过程是如何进行的? 在细胞周期的间期已经完成了物质的准备, 复制的遗传物质又将如何分配呢?

有丝分裂保证了遗传物质平均分配



寻找证据 实验

观察植物和动物细胞的有丝分裂

● 目的要求

1. 练习制作洋葱根尖细胞有丝分裂临时装片。
2. 识别有丝分裂中的不同时期。
3. 比较动植物细胞有丝分裂过程的异同。

● 材料用具

洋葱, 洋葱根尖细胞永久装片, 马蛔虫受精卵永久装片; 固定解离液(体积分数为15%的HCl和体积分数为95%的乙醇1:1混合), 质量分数为1%的龙胆紫溶液; 显微镜, 载玻片, 盖玻片, 吸水纸片(滤纸片), 培养皿, 剪刀, 镊子, 解剖针, 滴管, 烧杯(或广口瓶)等。

● 方法步骤

1. 洋葱根尖的培养

在实验之前的3~4天,将洋葱放在盛满清水的烧杯上,使其底部接触水面,置于温暖处培养(图5-2)。经常换水,待根的长度长到2 cm左右时,即可剪取根尖制成临时装片观察。通常中午前后取材,可以观察到更多处于分裂期的细胞。

2. 临时装片的制作

(1) 固定解离:用剪刀剪下3~5 mm长的根尖,置于培养皿中,加入少许固定解离液,浸泡5~10 min。

(2) 漂洗:待根尖酥软后,用镊子将根尖取出,置于盛有清水的培养皿中,漂洗3 min。

(3) 染色:用镊子取出根尖,置于盛有质量分数为1%的龙胆紫溶液的培养皿中,染色3~5 min。

(4) 压片:用镊子取出根尖,置于载玻片上,滴加一滴清水,盖上盖玻片,用手指将盖玻片轻轻按平。覆盖上吸水纸片,用解剖针柄轻轻垂直敲击,使细胞分散。



图5-2 水培洋葱根尖

3. 根尖分生区细胞有丝分裂的观察

(1) 将临时装片置于显微镜下观察,先用低倍镜根据形态特征找到分生区细胞。

(2) 换用高倍镜观察,在分生区细胞集中的区域,寻找处于有丝分裂不同时期的细胞(图5-3)。

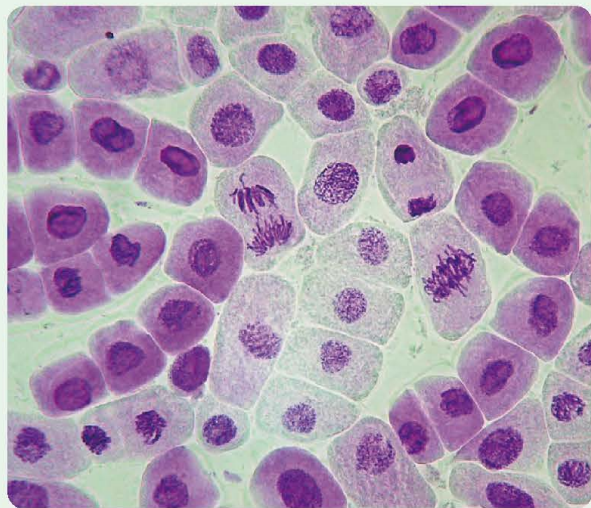


图5-3 洋葱根尖分生区细胞的有丝分裂(400×)

4. 动植物细胞永久装片观察

用高倍镜观察洋葱根尖细胞和马蛔虫受精卵永久装片,分析动植物细胞有丝分裂的异同点。

根据实验获得的信息，思考下列问题：

1. 观察到的细胞中，什么形态的细胞最多，它们处于细胞周期的什么时期？
2. 细胞中被染成深色的部分是什么结构？有几种不同的形态？
3. 动植物细胞有丝分裂的过程主要有哪些区别？

在上述实验中，我们不能直接观察到一个细胞的动态分裂过程，需要通过观察不同类型的细胞来还原有丝分裂的连续过程。其中，被碱性染料染成深色的核物质（染色体或染色质）是我们关注的重点。

在分裂期，细胞形态和结构将发生显著的变化，动植物细胞有丝分裂的主要过程是一致的。传统上，人们将有丝分裂划分为前期、中期、后期和末期4个阶段。

前期 细胞核膜解体，核仁消失，核内丝状的染色质逐渐螺旋化，浓缩成棒状的染色体。每条染色体包含2条姐妹染色单体，它们通过着丝粒连接在一起。除了细胞核的变化之外，从细胞两极发出由许多蛋白质构成的纺锤丝（图5-4a），形成梭形的纺锤体。纺锤丝连接在染色体的着丝粒上，牵引染色体移动。

中期 在纺锤丝的牵引下，各个染色体的着丝粒排列到细胞中央的平面（赤道板）上（图5-4b）。纺锤丝和染色体清晰可见。此时染色体收缩至最短，是计数染色体数目的最好时期。

后期 染色体的着丝粒一分为二，姐妹染色单体分开，由纺锤丝牵引着逐渐移向细胞两极（图5-4c）。

末期 两组染色体分别到达细胞两极，纺锤丝逐渐消失，染色体又解旋成松散的染色质细丝，核仁和核膜重新建立，形成了2个新的细胞核。植物细胞在赤道板的位置出现了由高尔基体小泡融合形成的细胞板，细胞板向四周扩展，逐渐形成新的细胞壁，将细胞质完全分割开来，最终细胞一分为二（图5-4d）。

动物细胞和植物细胞有丝分裂的核心过程是一致的，但也存在着一些差异。有丝分裂开始时，动物细胞的中心体移向细胞两极，发出星射线形成纺锤体；此外，动物细胞不形成细胞板，而是通过质膜内陷缢缩形成2个子细胞（图5-5）。

小资料

碱性染料

碱性染料是指那些在水溶液中能够电离成阳离子色素的染料，并不是指染料的pH大于7。核酸分子由于在水溶液中可以电离出 H^+ ，主体结构部分是阴离子，易被碱性染料染色。

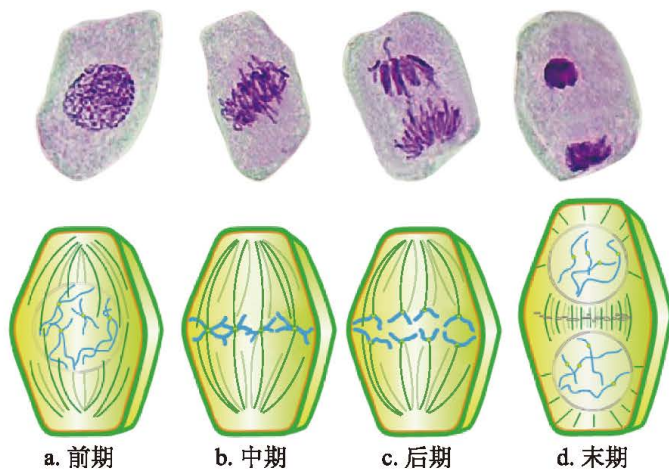


图5-4 植物细胞的有丝分裂

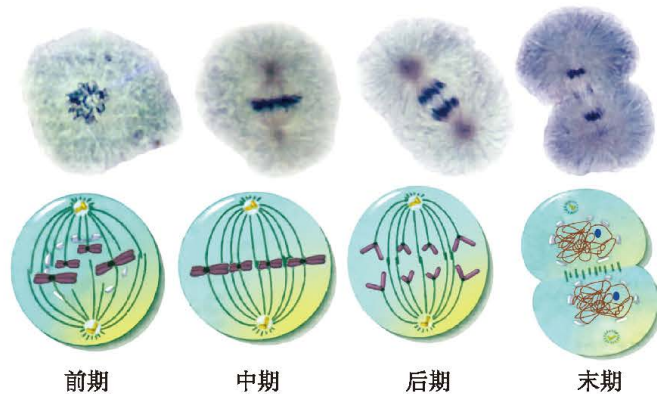


图 5-5 动物细胞的有丝分裂

在细胞周期的间期，细胞中的遗传物质经复制加倍；在有丝分裂期，细胞核中的遗传物质被平均分配到 2 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组成的染色体，与亲代细胞具有相同的遗传信息，从而保证了遗传的稳定性。对于单细胞生物而言，有丝分裂保证了生物亲子代之间的遗传稳定性。多细胞生物个体从受精卵开始的生长发育是以有丝分裂为基础的。有丝分裂保证了遗传信息在亲代和子代细胞中的一致性。

有丝分裂的过程会受到各种环境因素的影响。例如，紫外线或激光照射可以打断纺锤丝；一些化学药品，如紫杉醇等可以抑制纺锤丝的形成。目前，人们在利用这些因素控制有丝分裂方面取得了一定的进展。例如，在育种方面，利用秋水仙素阻止纺锤体的形成，使得复制得到的染色体不能平均分配到 2 个子细胞，从而得到染色体数目加倍的细胞。在癌症治疗方面，紫杉醇作为一种化疗药物被广泛使用，它可以通过阻断癌细胞的正常分裂来抑制癌症的发展；但同时，由于纺锤体的形成被抑制，正常细胞的有丝分裂也会受到不利影响，因而具有较大的副作用。

细胞还有其他多种分裂方式

除有丝分裂以外，有些真核细胞，如蛙的红细胞可以通过无丝分裂的方式实现增殖（图 5-6）。在此过程中，细胞核不解体，没有纺锤丝出现，也不形成染色体结构。无丝分裂前染色质也经过了复制，在分裂过程中遗传物质如何进行分配，还有待进一步研究。有些真核细胞可以通过减数分裂产生配子。另外，原核细胞（如细菌）可以通过简单的二分裂的方式实现增殖（图 5-7）。由此可见，细胞可通过不同的方式进行分裂。

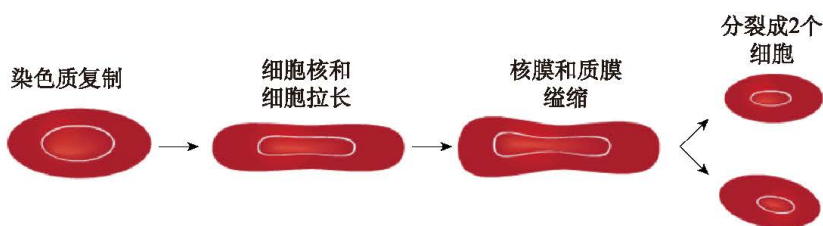


图 5-6 蛙的红细胞的无丝分裂

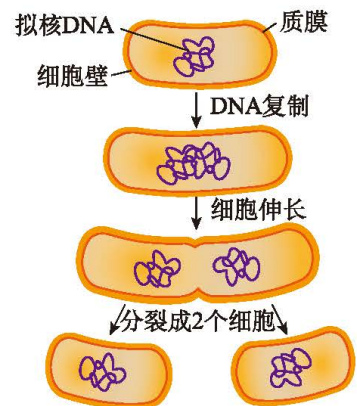
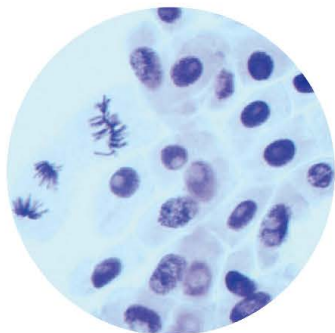


图 5-7 细菌的二分裂

检测评价

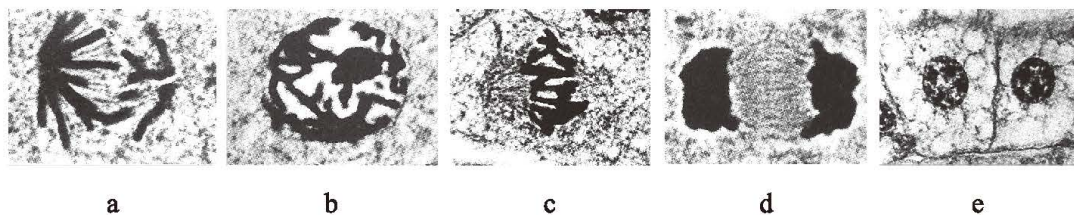
1. 有位同学制作了洋葱根尖细胞的临时装片，观察细胞的有丝分裂。他在显微镜中观察到的图像如下图所示。



请回答下列问题：

- (1) 在图示视野中，找到典型的分裂期细胞和间期细胞，并说明判断的依据。
- (2) 视野中细胞分散良好，说明实验中哪些步骤操作正常？
- (3) 利用现有的装片，为了看到更多分裂期的细胞，可以()。
 - A. 转换成更高倍数的目镜
 - B. 适当加热，促进细胞进行分裂
 - C. 改变视野，寻找更多分裂期的细胞
 - D. 加大力度，垂直敲击临时装片

2. 图 a 至图 e 为某植物细胞有丝分裂分裂期的照片。



请回答下列问题：

- (1) 在一个细胞周期中正确的排序为 _____ (填字母)。
- (2) 若该植物体细胞有 8 条染色体，则图 a 中的细胞有 _____ 条染色体、
_____ 条染色单体。
- (3) 秋水仙素诱导染色体加倍，主要发生在 _____ (填字母) 时期。
- (4) 与植物细胞相比，动物细胞的有丝分裂在图 e 时期不形成 _____。

第二节 细胞的分化

人的胚胎发育从一个受精卵开始。历经 280 天左右，婴儿伴随着阵阵哭声来到人间。据统计，人体的细胞有 200 多种。由一种细胞是如何形成这么多细胞的？这些细胞存在什么样的差异？形成这些差异的原因是什么呢？

细胞分化是同一来源的细胞发生稳定差异化的过程

人的血液含有多种不同类型的细胞。例如，红细胞呈两面凹的圆饼状，内含血红蛋白，负责运输 O_2 ；多种白细胞形态大小区别很大，共同承担免疫功能；血小板是巨核细胞的碎片，与血液的凝固过程密切相关。虽然这些细胞在形态、结构和功能上存在明显差异，但它们都来自骨髓中的造血干细胞（图 5-8）。由来源相同的细胞形成各种形态、结构和功能差异的细胞的过程就是细胞分化（cell differentiation）。

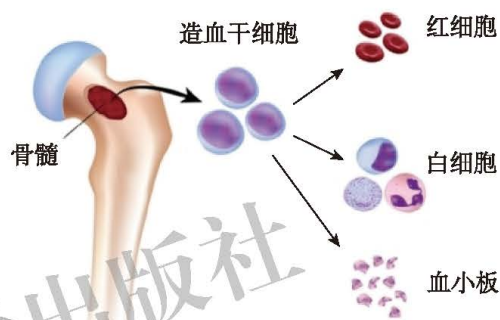


图 5-8 由造血干细胞分化形成多种血细胞

细胞分化的过程是逐步实现的。由受精卵形成末端分化细胞的过程会经历不同分化程度的干细胞（stem cell）状态。干细胞是指那些继续保持分化潜能的细胞。干细胞根据来源不同可以分为胚胎干细胞和成体干细胞。与成体干细胞相比，胚胎干细胞具有更大的分化潜能，可以形成多种不同的组织和器官。早期胚胎干细胞甚至是全能的，可以发育成完整的生物个体。而成体干细胞一般只能继续分化形成特定的细胞或组织，如造血干细胞一般只能分化形成各种血细胞。

细胞分化对于个体的生长发育和组织更新具有重大的意义。胚胎发育的阶段，是细胞分化的活跃时期。在细胞增殖的基础上，通过细胞分化，新类型的细胞不断产生，进而形成各种组织和器官，最终形成完整的生物个体（图 5-9）。个体出生之后，细胞分化依然在进行，以满足已有的组织细胞的自我更新和损伤修复等方面的需要。细胞分化贯穿生命全过程。在个体发育过程中，细胞在形态、结构

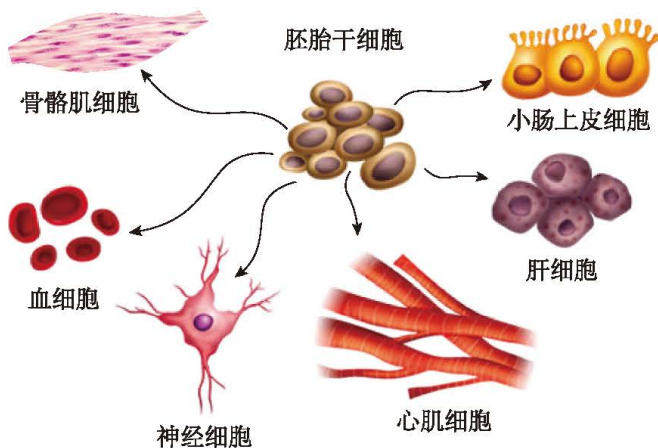


图 5-9 通过细胞分化形成多种细胞

和功能方面发生特异性的分化，形成了复杂的多细胞生物体。

来源相同的细胞，在形态、结构和功能上产生差异，是基因选择性表达的结果。虽然通过有丝分裂，由受精卵分化形成的各种细胞都具有相同的遗传信息（基因），但在不同的细胞中发挥作用（表达）的基因是存在差异的。不同类型的细胞中都含有一些特定种类的蛋白质，来表现出特定的生物学功能。例如，平滑肌细胞中具有维持细胞形态并可以发生相对滑动的细胞骨架蛋白，胰岛 B 细胞内不断合成具有降血糖功能的胰岛素，小肠上皮细胞的质膜上富含吸收营养物质的一系列载体蛋白。这些特定种类的蛋白质都是特定基因表达的产物。基因选择性表达的产物不断地塑造着细胞，使其朝着特定的方向完成细胞分化。细胞的分化状态是稳定的，细胞分化的进程一般不可逆。

已分化的细胞依然具有全能性

由于有丝分裂的缘故，已分化的细胞从受精卵那里继承了全部的遗传信息，这是生命的“蓝图”。理论上任何一个具有完整细胞核的细胞都具有形成一个完整生物个体的潜在能力，这就是细胞的全能性。细胞的这种潜能，已经被实验研究所证实。

1958 年，美国科学家斯图尔德（Frederick Steward, 1904—1993）创立了植物组织培养技术。他把胡萝卜的一小块经过消毒的韧皮部组织放在人工培养基中，在无菌条件下培养出了能够开花、结果的完整胡萝卜植株（图 5-10）。目前，植物组织培养技术已被广泛应用于优良植物品种的快速繁殖，实现花卉、蔬菜等植物的工厂化生产。

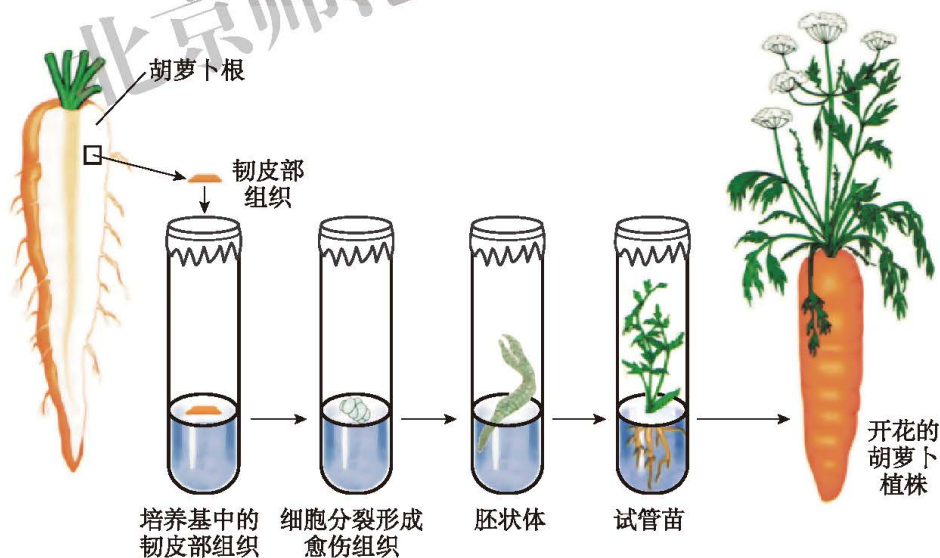


图 5-10 植物组织培养过程示意图

英国科学家戈登（John Gurdon, 1933—）在 1962 年将蛙的已分化肠细胞的细胞核，植入去掉细胞核的未成熟卵细胞，部分重组卵发育成蝌蚪。随后，各国科学家先后克隆出多种动物。2017 年，中国科学家成功突破了克隆灵长类动物的世界难题，首次利用体细胞核移植技术培育出两只克隆猴（图 5-11）。这项工作不仅因突破动物克隆的技术局限而广受关注，更重要的意义在于促进人类疾病治疗新方案的开发，推动

中国率先发展出基于非人灵长类疾病动物模型的全新医药研发产业链。



图 5-11 克隆猴“中中”(左)和“华华”(右)

随着技术的发展,已分化的动物细胞具有全能性得到了更有力的证实。2006年,日本研究者山中伸弥(Shinya Yamanaka, 1962—)通过转基因诱导的方法,使小鼠已分化的成熟细胞被“重新编程”,逆转成未成熟的干细胞。这种细胞被称为诱导多能干细胞(iPS细胞)。2009年,中国科学家首次证实 iPS 细胞可被独立培育成完整的动物个体,动物细胞的全能性再次得到了证实。

通过体细胞克隆哺乳动物的成功率很低,而且“多莉”等克隆动物出现早衰等不良状况,这些都限制了哺乳动物克隆技术的应用。同时,核移植技术和 iPS 细胞的应用还可能带来“克隆人”等伦理问题。目前,全世界各主要国家政府均明确表示反对和禁止克隆人。但很多国家的政府支持以获得胚胎干细胞为目的,并以此为基础进一步实现组织器官替代的治疗性克隆研究。通过核移植技术或 iPS 细胞,人们可以获得丰富的干细胞来源,为研究相关疾病治疗提供材料。

检测评价

1. 白血病是一种恶性血液病,原因是造血干细胞异常增殖,而且不能分化出正常血细胞。目前主要通过正常干细胞的移植治疗白血病。干细胞可以来自自体的脐带血,也可以来自他人的捐献。这两种获取干细胞的方法都面临着挑战。请回答下列问题:

(1) 通过干细胞的来源分析,造血干细胞属于_____干细胞。它具有分化成多种血细胞能力的原因是_____。

(2) 除通过自体脐带血和他人捐献以外,正常的造血干细胞还可能有哪些来源?

(3) 干细胞技术的应用面临的挑战不包括()。

- A. 来源受限,较难获得
- B. 定向诱导分化困难
- C. 移植后有癌变的风险
- D. 自体来源发生免疫排斥

2. 秀丽隐杆线虫的成熟个体长度仅约 1 mm,含有 959 个细胞,常作为发育

生物学的模式生物。它的整个发育过程包括4个幼虫期和1个成虫期，每个幼虫期均要经过一次蜕皮。研究发现，一个被称为 *lin-14* 的基因与蜕皮过程的调控有关。若该基因过量表达，会导致线虫多次额外蜕皮；若该基因表达不充分，线虫会出现不正常早熟。该基因的表达量又与另外一个基因 *lin-4* 密切相关。



请回答下列问题：

- (1) 秀丽隐杆线虫作为模式生物具有哪些优点？
- (2) 关于 *lin-14* 基因“表达量”的含义说法正确的是 ()。
 - A. *lin-14* 基因数量越多，表达量就越大
 - B. *lin-14* 基因表达量过大，会使成虫期滞后
 - C. *lin-4* 基因表达量增加，会导致 *lin-14* 基因表达量增加
 - D. *lin-14* 基因表达量减少，会导致发育迟缓
- (3) 秀丽隐杆线虫蜕皮过程是否发生了细胞分化？请说明理由。

开阔眼界

“小小”的诞生

2009年7月，关于一只黑色小鼠的报道登上了全球诸多科技媒体的头版头条。它名叫“小小”，是第一个通过iPS细胞克隆出的活体动物。“小小”诞生于中国科学院动物研究所，它的不凡之处在于首次证明了iPS细胞是具有全能性的干细胞。这个发现为干细胞研究提供了丰富的全能干细胞来源，而且极大地避免了伦理上的争议。“小小”的诞生堪比当年“多莉”的出现。与以往的克隆动物需要通过核移植技术构建重组卵细胞不同，利用iPS细胞技术完成动物体的克隆保证了遗传物质的唯一来源，而且避免了获取动物卵(母)细胞带来的技术和伦理问题。“小小”的诞生使我们确信，一个已分化的体细胞经诱导可以被培育成一个完整个体。这是中国的研究者对世界做出的卓越贡献。



利用 iPS 细胞获得的克隆鼠“小小”

第三节 细胞的衰老与死亡

人体的红细胞平均 100~120 天更新一次，小肠上皮细胞的更新周期甚至小于 7 天。其实，生物体的绝大多数细胞都必然经历新生、成熟、衰老和死亡的过程。细胞衰老和死亡的过程是如何发生的？它们都有哪些特征呢？

绝大多数细胞都会经历衰老的过程



寻找证据 阅读

阅读下面资料，重点关注衰老细胞的特征及细胞衰老的原因。

资料 1. 科学家利用显微观察等手段，比较了体外培养的小鼠胚胎成纤维细胞在正常状况下和衰老状况下的形态差异（图 5-12）。

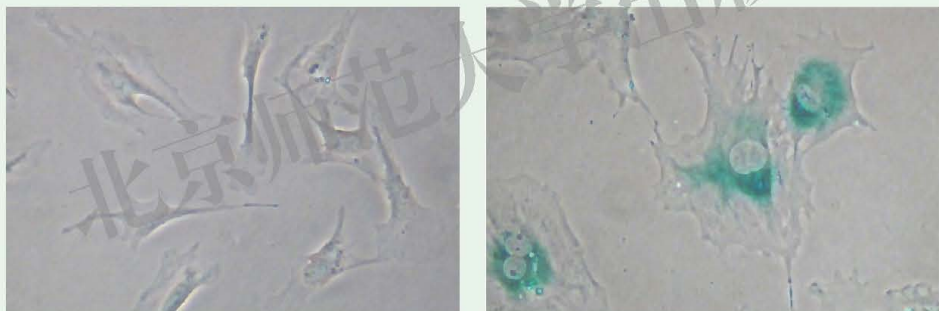


图 5-12 正常细胞（左）和衰老细胞（右）的对比（100×）

绿色表示 β -半乳糖苷酶出现

资料 2. 诺贝尔生理学或医学奖获得者卡莱尔（Alexis Carrel, 1873—1944）曾声称在自己实验室里培养的鸡心脏成纤维细胞持续分裂了 34 年，由此认为细胞可以永生不死。但是没有人能够重复卡莱尔的实验。

资料 3. 海弗里克（Leonard Hayflick, 1928— ）等人将在体外已经分裂 40 次的正常男性成纤维细胞和已经分裂 10 次的正常女性成纤维细胞混合培养，同时用单独培养的细胞作为对照。当单独培养的男性成纤维细胞停止分裂，出现衰老特征时，混合培养的细胞中也只剩下女性的成纤维细胞在继续增殖。

根据阅读获得的信息，思考下列问题：

1. 对比观察图 5-12 中正常细胞和衰老细胞，你能发现哪些区别？
2. 有人怀疑卡莱尔在每天向培养液中添加鸡胚提取物时混入了鸡胚细胞。你

是否赞同这种看法？卡莱尔的实验不能被重复的原因可能是什么？

3. 海弗里克等人的实验结果支持卡莱尔的观点吗？

由图 5-12 可以观察到，衰老细胞的膜流动性降低，细胞体积增大，细胞间连接减少。 β -半乳糖苷酶是溶酶体内的水解酶，在偏中性条件下的染色能明显区分正常细胞和衰老细胞。除此之外，衰老的细胞还会表现出水分减少，膜的通透性降低，线粒体数量减少导致细胞呼吸速率下降，蛋白质合成速率降低等特征。总之，衰老细胞呈现出全面的生命机能衰退，最终走向死亡。

在卡莱尔的实验中，可能由于细胞培养条件控制不够严格，在更换培养液时混入了新的细胞，从而出现了细胞不死的假象。由海弗里克等人的实验结果可以看出在混合培养条件下，分裂较少次数的细胞较晚出现衰老、死亡现象，这说明细胞本身存在着分裂的限度，该限度后来被称为“海弗里克极限”。随着细胞分裂次数的逐渐增多，细胞就必然会出现衰老的现象，不能持续分裂下去。目前的研究表明，除干细胞和大多数癌细胞之外，其他在体外培养的细胞都会出现衰老的现象。随着培养时间的延长，各种细胞都会出现不可逆的生长停滞，并在形态和生理代谢上发生显著改变，这个现象被称为细胞衰老（cell senescence）。

细胞为什么会经历衰老而死亡呢？有科学家提出“端粒学说”，认为细胞的衰老与染色体的端粒结构有关。端粒（图 5-13）是位于染色体末端的特化结构，由 DNA 和蛋白质构成。端粒随着细胞分裂次数的增加而逐渐缩短，当端粒长度缩短到一定程度时，细胞就会停止分裂，经历衰老与死亡。

事实上，“端粒学说”并不能说明所有的细胞衰老现象，甚至端粒变短是细胞衰老的原因还是细胞衰老的结果也存在着争议。目前，关于细胞衰老的原因还有很多其他的假说和理论。例如，“自由基学说”认为，生物氧化代谢的过程会产生自由基，而自由基会损伤细胞结构，引起细胞衰老；“程序控制学说”则认为，细胞的衰老受特定的基因控制。

以上学说都只是从某个角度（侧面）对细胞衰老的原因进行探索。实际上，细胞衰老应该是一个多因素相互作用的过程，其确切的原因仍在深入研究中。同时需要注意，几乎所有关于细胞衰老的研究都以体外培养的细胞为材料，我们对多细胞生物体内细胞衰老的过程了解得很少。虽然很多个体衰老的特征能够找到细胞衰

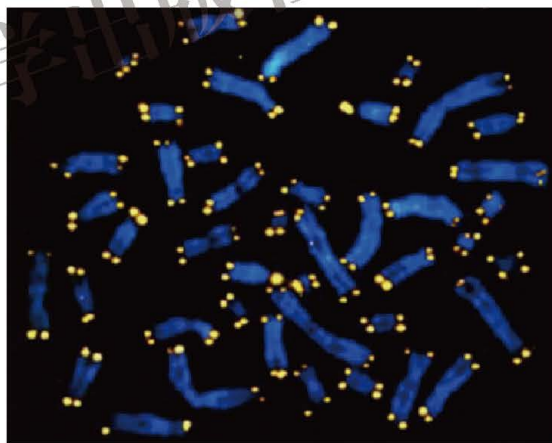


图 5-13 染色体的端粒（1 000×）

荧光标记显示黄色的结构为端粒，
显示蓝色的结构为染色体



小资料

自由基

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。

老的基础，如老年斑的出现和毛发变白都与特定酶活性的降低有关，但是多细胞生物个体的衰老和细胞衰老的确切关系尚待探索。

细胞死亡是一种自然的生理过程

细胞的正常死亡对多细胞生物体而言意义重大。细胞的死亡方式是多样的。例如，蝌蚪在发育成青蛙的过程中，尾部的细胞逐渐死亡、消失（图 5-14）。秋天，很多植物叶柄基部的细胞衰老死亡，从而使整片叶子从枝条上脱落下来。在正常情况下，细胞衰老和死亡是一种自然的生理过程。这种细胞衰老死亡的过程是如何发生的呢？



图 5-14 青蛙发育过程中尾巴消失

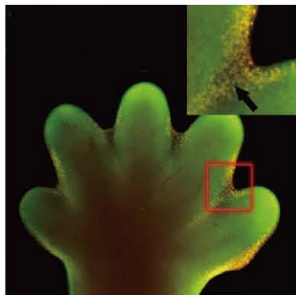


图 5-15 小鼠趾间隙的细胞凋亡

对小鼠胚胎发育过程的研究显示，特异标记的荧光物质集中分布在趾间隙（图 5-15），表明处于死亡过程的细胞中合成了大量特异性的蛋白质，而这个过程是基因选择性表达的结果。这种由基因控制的细胞死亡过程被称作细胞凋亡（apoptosis）。

凋亡过程中的细胞会发生一系列有序的变化，包括染色质断裂，质膜向内褶皱，细胞解体成凋亡小体，被邻近的巨噬细胞吞噬（图 5-16）。这都是在基因控制下完成的，因而细胞凋亡又被称为细胞的程序性死亡。

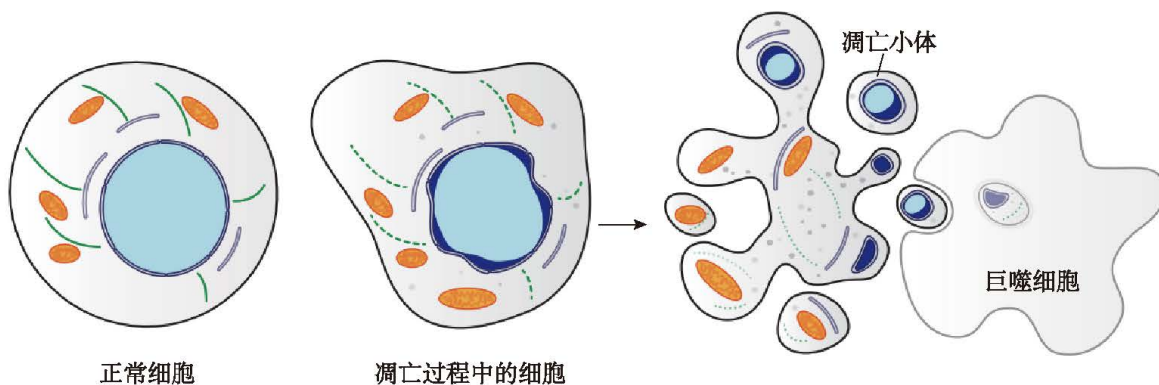


图 5-16 细胞凋亡过程示意图

除凋亡外，当细胞受到极端刺激，如物理、化学损伤或严重的病原体入侵时会发生细胞坏死（necrosis）。与细胞凋亡不同，长期以来，研究者认为细胞坏死是一种被动的、病理的死亡方式。近年来，在一些细胞坏死过程中，研究者也发现了基因控制的痕迹。有人开始认为某些细胞坏死也可能是程序性死亡的一种形式。

细胞的特异性死亡对于个体发育、组织更新、抵御病原体入侵都具有重要的积极意

义。例如，小鼠胚胎发育过程中趾间隙细胞的死亡消失，有助于特定器官的形态建成；有些组织中衰老的细胞会启动凋亡程序，迅速死亡消失，由新生细胞替代；机体可以通过诱导细胞凋亡来清除受到环境伤害或被病原体感染的细胞。

研究细胞的死亡机制不仅可以帮助我们了解个体生长发育的机制，而且对于很多疾病的治疗也具有重大应用价值。科学家可以通过诱导癌细胞的凋亡来治疗癌症。2011年，研究者通过在小鼠上的实验发现，如果一个名为 *DCC* 的基因发生突变而丧失功能，小鼠会患上结肠癌。对 *DCC* 基因作用机制的进一步研究表明，如果通过该基因启动相关途径可以诱发癌细胞凋亡。目前，已有了若干种激发 *DCC* 基因来治疗人类结肠癌的药物正在试验中。

检测评价

1. 细胞衰老是个体衰老的基础，虽然二者并不同步，但是很多关于细胞衰老的研究，会在很大程度上支持延缓个体衰老的应用，这方面的集中体现就是种类繁多的“抗衰老”护肤品。请回答下列问题：

(1) 衰老的细胞会表现出一系列形态、结构和功能上的变化，以下变化不属于衰老细胞特征的是 ()。

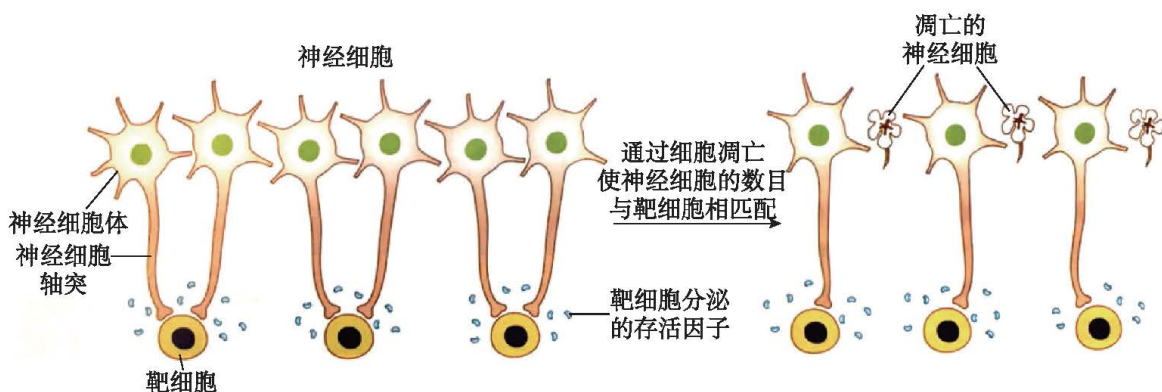
- A. 细胞内水分减少 B. 细胞代谢缓慢
C. 酶的活性降低 D. 细胞能够在体内转移

(2) 根据现有的细胞衰老理论，在延缓皮肤衰老方面切实可行的是 ()。

- A. 防晒，减少紫外线伤害 B. 减少摄入营养物质，抑制细胞分裂
C. 口服多种酶，提高细胞代谢水平 D. 减少运动，降低有氧代谢强度

(3) 你认为具有“抗衰老”功能的护肤品，可能的作用机制是什么？

2. 某些与神经细胞相连接的细胞(靶细胞)会分泌出一定量的“存活因子”，没有接收到“存活因子”信号刺激的神经细胞会启动凋亡程序，如下图所示。如果这种神经细胞的死亡过程过多发生，会造成神经系统的退行性病变。研究表明阿尔茨海默病可能与这种机制有关，该病目前还没有很好的治疗手段。



请回答下列问题:

(1) 下列关于“存活因子”和“凋亡程序”的说法正确的是()。

- A. 只要有存活因子就会启动凋亡程序
- B. 凋亡程序是否启动与存活因子无关
- C. 存活因子可以清除具有凋亡程序的细胞
- D. 存活因子的存在可以抑制凋亡程序的表达

(2) 为什么说神经细胞的死亡过程是一个正常的生理过程?

(3) 结合所学知识提出阿尔茨海默病可能的治疗途径。



开阔眼界

早衰的“多莉”

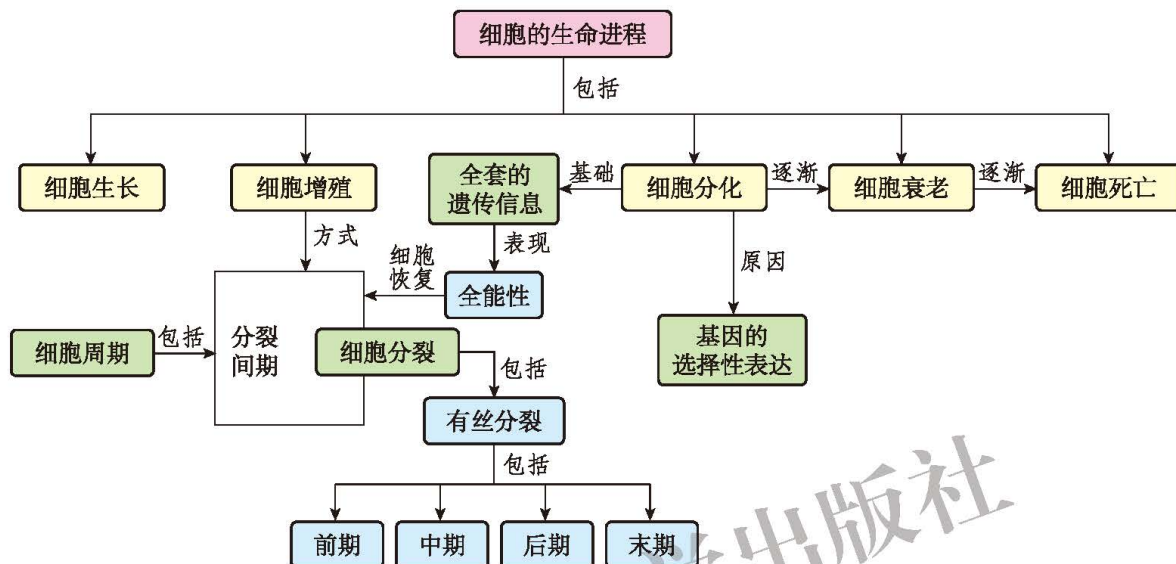
1996年7月诞生的克隆羊多莉,在全世界范围内引起了轰动。作为一种技术上的突破,体细胞克隆动物的出现为人类疾病的治疗、濒危动物的繁殖提供了新的途径,但同时也带来了一些争议。除了必须考虑的伦理问题,“多莉”很快出现的各种早衰症状不免让人担心这种技术的应用前景。2002年,壮年的“多莉”就患上了老年病关节炎,很快由于肺部感染过重,在2003年2月被实施安乐死。通常绵羊的寿命为10~15岁,但“多莉”只活了6年半。

有观点认为,体细胞克隆动物的供体细胞核来自成熟的体细胞,由于细胞分裂了多次,体细胞中染色体的端粒较短,形成了关于年龄的记忆。据此可以说,“多莉”出生时就已经是一个成年个体了。

2016年7月,也就是“多莉”诞生20年之后,《自然通讯》(*Nature Communications*)上的一则报道引起了大家的注意——“多莉”的4个妹妹已经快10岁了,她们依然比较健康。这4只绵羊是科学家利用克隆“多莉”时所剩的(冻存)同一母羊的乳腺细胞成功克隆的。体检结果表明,“多莉四羊组”在肌肉骨骼、新陈代谢和血压情况等方面基本健康。虽然此次报道中并没有涉及分子或染色体方面的检测,关于克隆动物细胞中端粒长度的问题有待进一步研究,但至少该研究提供了更丰富的证据,可以使人们更全面地认识细胞和个体衰老的问题。

本章小结

● 基础知识梳理



细胞会经历生长、增殖、分化、衰老和死亡等自然的生命进程。细胞的分裂使细胞的数目增加，细胞的分化使细胞的种类增多。细胞可以通过不同的方式进行分裂，其中有丝分裂能够保证遗传信息在亲代细胞和子代细胞中的一致性。在生物个体发育过程中，细胞的形态、结构和功能方面发生特异性的分化，形成了复杂的多细胞生物体。细胞分化的本质是基因的选择性表达。已经分化的细胞依然具有全能性。

● 学科素养提示

通过制作根尖细胞有丝分裂装片、观察处于细胞周期不同阶段的细胞特征，结合有丝分裂模型，描述细胞增殖的主要特征，举例说明细胞的分化、衰老、死亡等生命现象。倡导通过健康的生活方式或者通过科学手段优化细胞的生命历程，预防疾病，提高健康水平。

后 记

北师大版普通高中教科书《生物学》是根据经全国中小学教材审定委员会 2004 年初审通过的普通高中课程标准实验教科书《生物》(主编:刘植义 付尊英)修订而成的。本次修订以教育部制定的《普通高中生物学课程标准(2017 年版)》为依据,力图在落实课程标准要求的基本理念,完成课程标准中课程目标、课程内容和学业质量等要求的基础上,全面提升教科书的水平。编写组着力围绕培养学生生物学核心素养、帮助学生构建生物学大概念进行总体设计,注重从真实情境出发,引导学生通过科学探究获取证据,再通过科学思维构建概念,进而形成生命观念,力求在解决实际问题中培养学生的社会责任意识,最终做到培养并提升学生的生物学学科核心素养。

本套教科书由付尊英和刘广发担任主编,潘紫千、白文忠、李连杰和乔文军担任副主编,乔文军、朱正歌、白文忠、万五星、边艳青(以教科书模块前后为序)担任分册主编。本套教科书的核心编写人员有(以教科书模块前后为序):刘欣、张斌、胡彬、肖振龙、朱正歌、侯金海、刘彤、王梦奇、白文忠、裴柳、张雪倩、乔萌萌、宋洁莲、陈华、闫白洋、边艳青、毕诗秀、周春江、周予新、齐永平、李冰。

本册教科书由乔文军担任主编,主要编写人员有刘欣、张斌、胡彬、肖振龙。参与本册教材编写、讨论的人员还有尹惠芳、李红敏、陆强、王梦奇、乔萌萌、张静洁、翁永良、王亚琴。

特别感谢清华大学现代生命科学实验教学中心李鹏对本册教科书照片及插图做出的极大支持和贡献。感谢杨茂君、张立勤、田树青、孙天子、卢晓华、周有祥、张双凤、张如良、沈璟、李婷婷、高雅丹、方子祺、李姍泽以及清华大学现代生命科学实验教学中心、清华大学生物医学测试中心为本册教科书提供图片。

在教科书编写过程中,许多学科专家、教研员以及一线教师对教科书的修改给予了热情的帮助,同时也提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示感谢!

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。欢迎来电来函与我们联系:北京师范大学出版社基础教育一分社(100088), (010) 58802799, shengwu2@bnupg.com。