

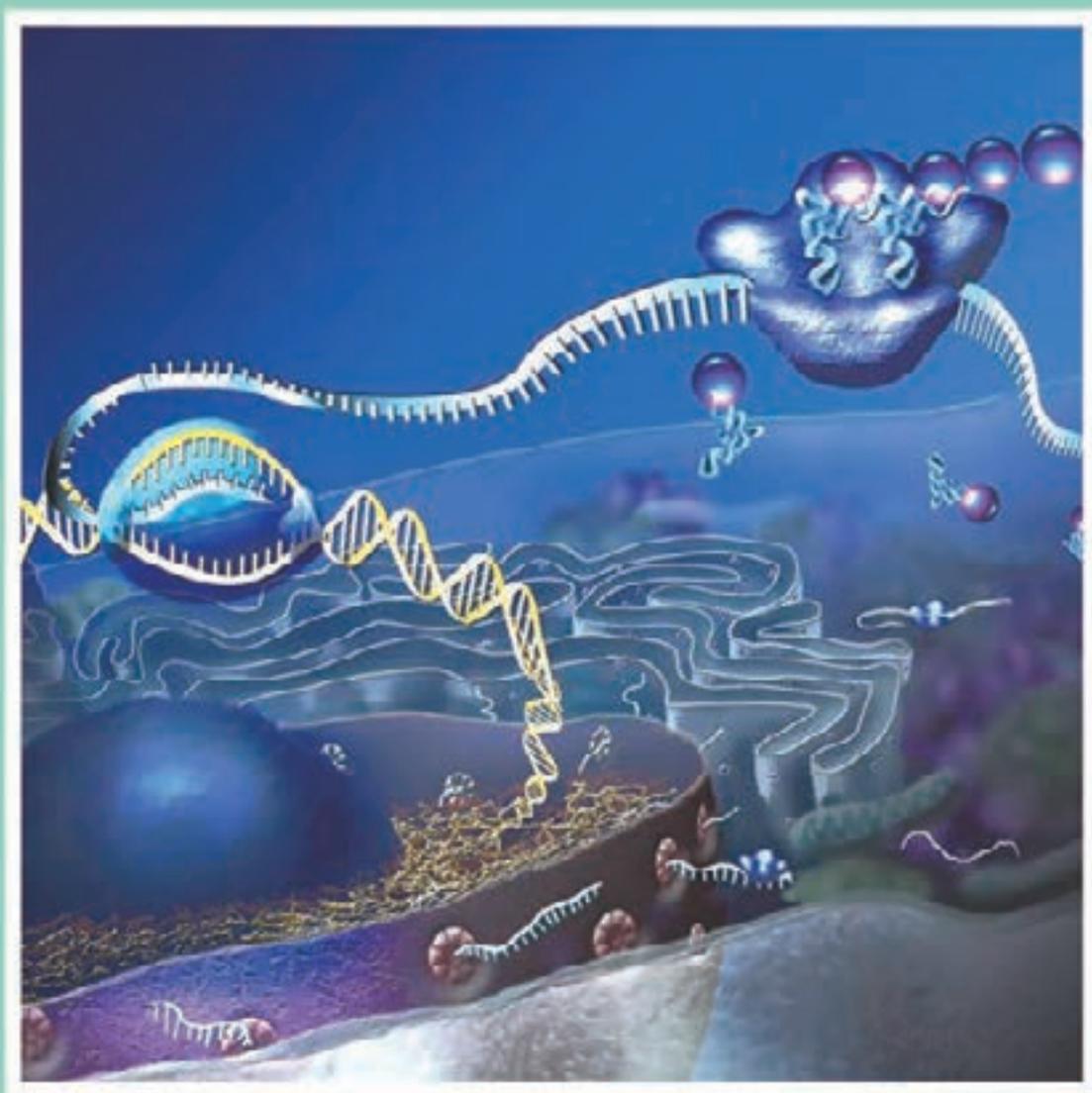


普通高中教科书

生物学

必修1

分子与细胞



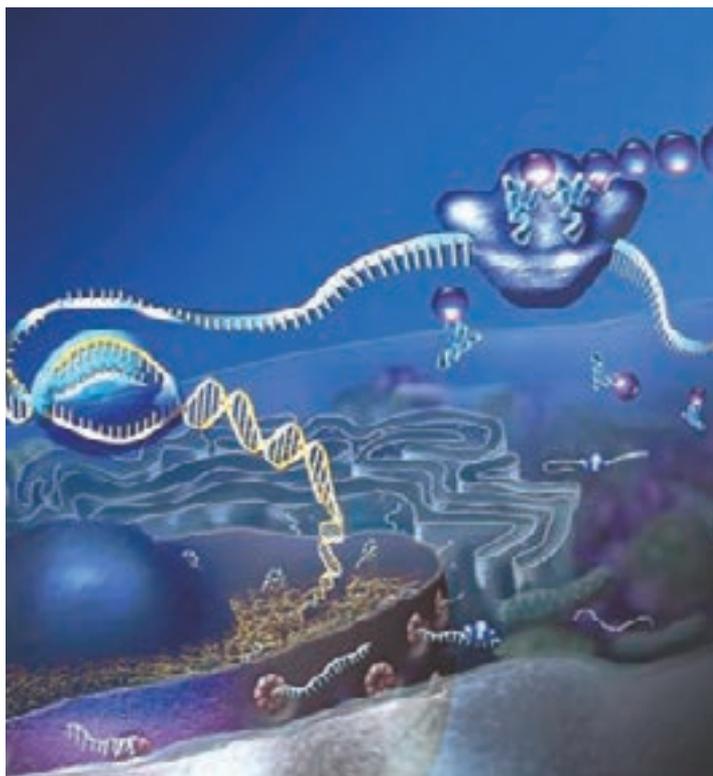
 上海科技教育出版社

普通高中教科书

生物学

必修 1

分子与细胞



上海科技教育出版社

编写人员名单

主 编 张新时

执行主编 张可柱

分册主编 密守军

编著者 (以姓氏笔画为序)

王永田 王传文 陈善蕊 窦福良

审 读 王仁卿 李文军

致同学们

“看万山红遍，层林尽染”“鹰击长空，鱼翔浅底，万类霜天竞自由”。我们生活的地球，正如毛泽东同志在《沁园春·长沙》中所描绘的那样，是一个生机盎然、自由奔放的生命世界。

生物学是探索生命现象和生命活动规律的科学，是自然科学中的一门基础学科，其研究对象是地球上形形色色的生物。科学家在 20 世纪曾经预言，生物学在 21 世纪将会对人类社会产生巨大影响。

如今，克隆动物的诞生、DNA 在身份鉴定中的运用、人类基因组计划的实施、转基因食品的出现等已成为社会关注的热点和焦点，克隆、DNA、基因图谱、生物工程等词汇也已成为人们耳熟能详的日常用语。近年来，以分子设计、基因组编辑技术为核心的技术突破，以及云计算、大数据、人工智能等信息技术与生物技术的结合，正迅速而深刻地改变着我们周围的一切，人类获得了改造自然和自身的巨大力量，也让整个人类社会遭遇了有史以来最大的挑战。

本模块是高中生物学必修 1《分子与细胞》，围绕着细胞是生物体结构与生命活动的基本单位展开，内容包括细胞由多种多样的分子组成、细胞具有分工合作的复杂结构、细胞的生存需要营养物质和能量、细胞经历从生到死的生命进程等。细胞生物学是生命科学的重要基础学科，生物化学和分子生物学的飞速发展促使细胞生物学的研究进入分子水平。本模块选取了细胞生物学方面最基本的知识、研究的新进展及相关的实践应用，是学习其他模块的基础。通过学习，同学们将从分子水平了解细胞生命活动的机理，更深入地理解生命的本质，了解生命的物质性和生物界的统一性，细胞生命活动中物质、能量和信息变化的统一，细胞结构与功能的统一，生物体部分和整体的统一等，有助于科学自然观的形成。

为了大家更好地学习，这一模块精心设立了如下栏目：

第三章 细胞具有分工合作的复杂结构



霍夫曼 (H. Hofmann) 在《万物生长》中有这样的描述：“每个细胞都是自然界的一个奇迹。即便是最简单的细胞，其构造的精巧程度也是人类的智慧难以企及的。”细胞结构与功能的复杂程度远远超出人们的想象。细胞内一刻不停地进行着规模巨大的化学反应，貌似拥挤不堪、纷繁混乱，实则秩序井然、有条不紊……小小的细胞内究竟具有哪些精细结构？它们之间能如何协调配合，成就自然进化的最高形式——生命的呢？

章首页 精美的图片和富有深意的章引言，让同学们带着问题出发，逐步学习一章的主要内容；以时间轴形式呈现的科学史，一目了然地展现出与本章学习内容有关的重要科学发现。





课题研究

课题研究 通过一个探究实验、调查研究活动或者模型制作活动实现任务驱动，引领全章内容的学习。



探究活动

探究活动 通过实验探究、资料探究、社会考察、经典再现、模型建构、方案设计、观点碰撞等形式引领同学们针对特定的主题进行观察提问、实验设计、方案实施、分析讨论，逐步增强对自然现象和社会现实的好奇心与求知欲，掌握科学探究的基本思路和方法，培养主动学习与思考的品质。



阅读空间

阅读空间 提供一些趣味性的自主阅读资料，既与正文相呼应，又引领同学们将学习与生活实际密切联系。

思维训练

思维训练 通过模型建构、曲线解读等形式，认识事物，探讨、阐释生命现象及其规律，进一步发展科学思维。

学业检测

学业检测 每节正文之后，以核心素养为指向，围绕本节内容精心设计一组自评自测题，促进学习目标内化和巩固，便于同学们自我反馈、自我评价、主动发展。



学业要求

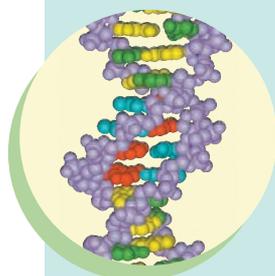
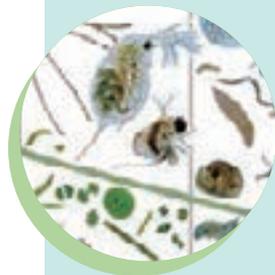
学业要求 聚焦生物学大概念，关注生物学学科核心素养，以表格的形式，简洁明了地将本章有关的课程标准内容要求和活动要求按一定逻辑呈现出来，有助于同学们将学习内容结构化联结，以提升本章内容学习水平。

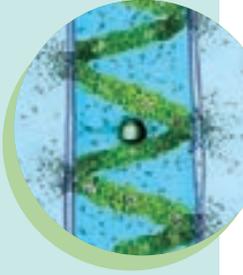


视野拓展

视野拓展 包括时代亮点、历史长河、榜样人物、科学生活和绿色视野等，展现与本章内容有关的最新研究进展，回顾重大历史发现，介绍榜样人物的高贵品质，为同学们提供更多的学习意义启发。

第一章 细胞构成生物体	2
课题研究——发现一滴水中的生命世界	3
第一节 人类认识细胞的历程	4
一、细胞的发现	4
二、细胞学说的创立	5
三、细胞生物学研究进展	7
第二节 生物体由多种多样的细胞构成	9
一、细胞的形态和功能是多种多样的	9
二、原核细胞与真核细胞的主要区别	11
第二章 细胞由多种多样的分子组成	16
课题研究——探究化学元素对植物生命活动的影响	17
第一节 细胞由多种元素和化合物组成	18
一、细胞含有多种化学元素	18
二、细胞由多种化合物组成	20
第二节 水和无机盐在生命活动中具有重要作用	24
一、水是细胞内含量最多的化合物	24
二、无机盐在生命活动中的重要作用	28
第三节 糖类和脂质对细胞的结构和功能具有重要作用	31
一、糖类是生命活动的主要能源物质	31
二、脂质对细胞的结构和功能具有重要作用	34
第四节 细胞的功能主要由蛋白质完成	39
一、蛋白质的基本组成单位是氨基酸	39
二、蛋白质由氨基酸分子缩合而成	41





第五节 核酸是储存与传递遗传信息的生物大分子 47

- 一、核酸的发现历程 47
- 二、核酸包括 DNA 和 RNA 49
- 三、核酸由核苷酸聚合而成 49

第三章 细胞具有分工合作的复杂结构 54

课题研究——制作细胞模型 55

第一节 细胞都由质膜包裹 56

- 一、质膜主要由脂质和蛋白质构成 56
- 二、质膜具有多种功能 59

第二节 细胞内具有许多相对独立的结构 62

- 一、细胞质基质是透明的胶状物质 62
- 二、细胞内存在多种细胞器 63

第三节 遗传信息主要储存在细胞核中 68

- 一、细胞核是细胞生命活动的控制中心 68
- 二、细胞核是具有特殊界膜的重要结构 70

第四节 生物膜系统和细胞骨架 72

- 一、细胞具有相互联系的生物膜系统 72
- 二、细胞骨架参与许多重要生命活动 74

第四章 细胞的生存需要营养物质和能量 80

课题研究——构建渗透系统模型 81

第一节 质膜参与物质交换和信息交流 82

- 一、离子和小分子以穿膜运输方式进出细胞 82
- 二、大分子以囊泡转运方式进出细胞 85
- 三、细胞通过质膜进行信息交流 86

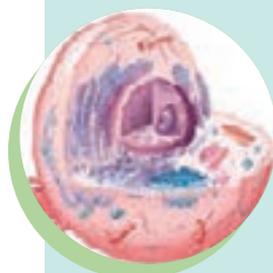
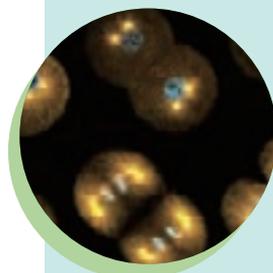
第二节 酶是细胞生化反应的催化剂 90

- 一、酶具有高效性和专一性等特点 90
- 二、绝大多数酶是蛋白质 93

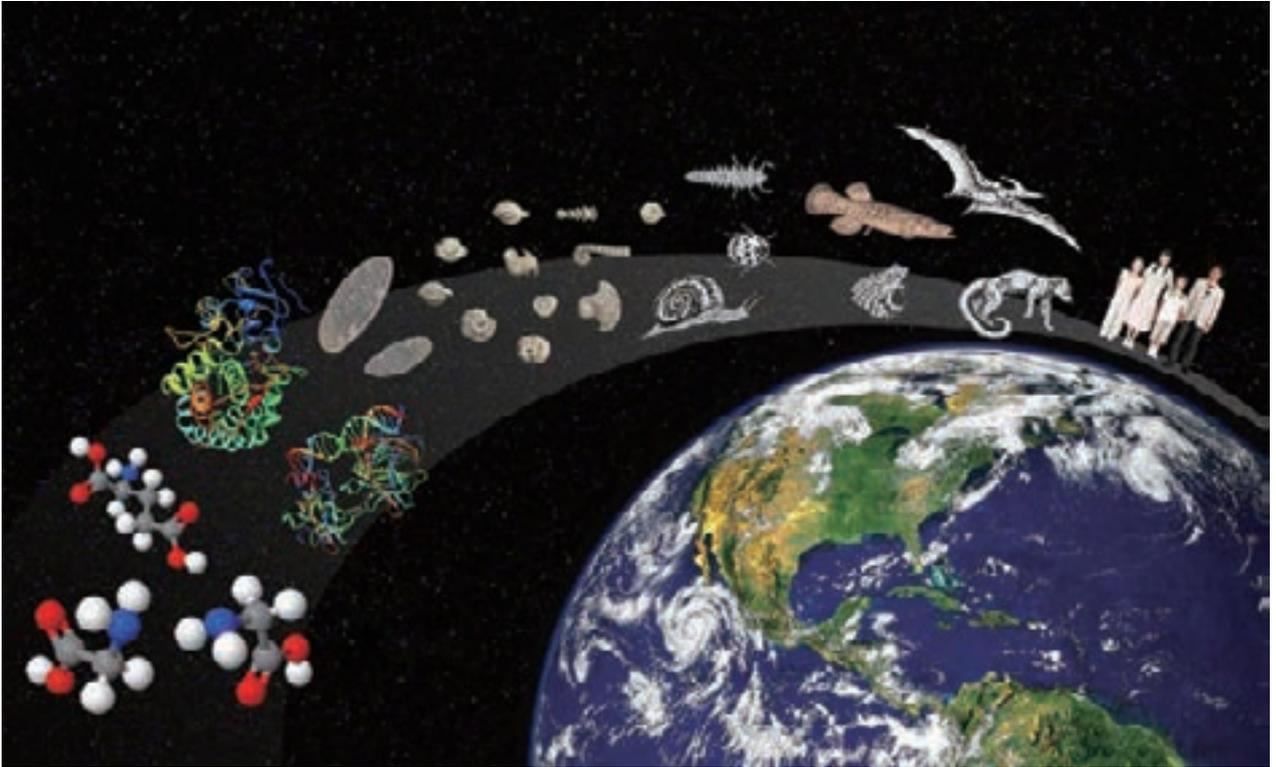
第三节 ATP 是驱动细胞生命活动的直接能源物质 96

- 一、ATP 是一种高能化合物 96
- 二、ATP 与 ADP 可以相互转化 98

第四节	光能的捕获、转换和储存	100
	一、光合作用的探究历程	100
	二、叶绿体从太阳光中捕获能量	102
	三、光能的转换和储存	104
	四、光合作用受环境因素影响	106
第五节	细胞能量的供应和利用	110
	一、细胞呼吸包括有氧呼吸和无氧呼吸	110
	二、化学能转化为细胞可以利用的能量	112
第五章	细胞经历从生到死的生命进程	118
	课题研究——分身有术的涡虫	119
第一节	细胞通过不同的方式进行增殖	120
	一、有丝分裂是细胞增殖的主要方式	120
	二、细胞增殖的其他方式	124
第二节	细胞会发生特异性分化	126
	一、个体发育过程中发生细胞分化	126
	二、细胞具有全能性	128
第三节	细胞衰老是自然的生理过程	131
	一、人类对细胞衰老的认识	131
	二、衰老细胞具有显著特征	133
	三、细胞衰老与人类健康密切相关	134
第四节	细胞凋亡是自然的细胞死亡方式	136
	一、细胞凋亡是程序性细胞死亡	136
	二、细胞凋亡具有积极的生物学意义	139
	三、细胞凋亡异常影响人类健康	139



第一章 细胞构成生物体



天地玄黄，宇宙洪荒。35 亿年前的地球没有生命，也没有蔚蓝的天空，原始海洋里一个小小“细胞”的诞生彻底改变了这颗星球。如今地球上几乎每一个角落都有生命生存和繁衍，细胞构筑了生机勃勃的生命世界。对细胞的深入观察和研究，直接而强有力地影响和改变着人类的生活。1925 年，著名美国生物学家威尔逊(E. B. Wilson) 就提出：“一切生命的关键问题都要到细胞中寻找答案。因为所有生物体都是或曾经是一个细胞。” 重温这句名言，至今仍感意蕴深远。细胞是什么？它具有怎样的形态结构？又怎样构筑了生命世界？





课题研究

发现一滴水中的生命世界

波澜不惊的湖泊、清澈见底的小溪、水草丛生的池塘、浩瀚无边的大海……形式多样的水体是水生生物的生活环境。

提出问题

从一滴水中你能发现怎样的生命世界？

制订并实施研究计划

1. 怎样采集水样？

- ◆ 查阅资料，预测不同的水体中可能有哪些不同的生物。
- ◆ 研究小组共同商定采集水样的时间和场所（鱼缸、池塘、河流、湖泊等）。

2. 怎样观察水样？

- ◆ 用滴管吸取少量水样，滴一滴在载玻片上，然后盖上盖玻片。
- ◆ 依次使用显微镜的低倍镜和高倍镜观察装片，仔细辨认视野中的各种生物，并绘制简图或拍摄显微照片。
- ◆ 如果水样中的生物过少，可以使用离心机将水样离心处理，用底层液制作装片。在载玻片上的水滴中加少许棉纤维，能够减缓视野中生物的运动速度。

3. 怎样分析结果？

- ◆ 描述视野中各种生物的特征。
- ◆ 查阅资料，咨询老师或专家，将这些生物大致归类。

成果交流

1. 展示并交流各种生物的结构简图或显微照片，尝试说出所观察水样中存在的生物类别以及判断依据。

2. 比较不同水体中的生物，说明它们在形态和结构上的异同点。

3. 比较各组观察到的生物种类和数量，结合采集水样的场所，尝试分析水生生物与其生活环境的关系。



图 1-1 水体中的一些微小生物

第一节 人类认识细胞的历程



图 1-2 列文虎克绘制的显微镜下的微小生命

科学发现往往和技术发明相携而行。16 世纪末到 17 世纪初，人们几乎同时发明了显微镜和望远镜。仰望星空，望远镜让人感受到了宇宙的浩瀚；俯首凝眸，显微镜下一滴池塘水中竟也包藏着一个丰富多彩的生命世界。

显微镜帮助人类打开了微观世界之门（图 1-2）。但是在技术落后的过去，要看到这个世界并不是一件容易的事情。细胞的发现经历了哪些艰难的历程？显微镜的发明和使用让人类对生命世界获得了哪些崭新的认识？

一、细胞的发现

在 17 世纪之前，人们推测生物体是由某种基本结构构成的，却并不知道这种基本结构是什么。



资料探究

细胞的发现

绝大部分动植物细胞的直径都不足 $100\mu\text{m}$ ，是人类肉眼无法看到的。在显微技术发明之前，人类对细胞这个微观的生命世界一无所知。

[资料 1] 1604 年，荷兰人詹森（Z. Jansen）把两块凸透镜安装在一个适当长度的长管两端，制成了世界上第一台显微镜。这台显微镜能将物体放大 10~30 倍，可以观察一些小昆虫的整体形态，又被称为“跳蚤镜”。但詹森的发明并没有引起世人的重视。

[资料 2] 半个多世纪后，英国物理学家胡克（R. Hooke）制造的显微镜，放大倍数达到了 40~140 倍（图 1-3）。1665 年，他在观察软木切片后写道：“能非常清楚地看到软木片充满了空洞，是一个多孔的结构，形如蜂房……”软木片中除了围绕空洞的四壁之外，几乎什么物质都没有，他就把发现的这种“小空洞”命名为“cell”，并把观察结果发表在《显微图谱》一书中。

[资料3] 1674年，荷兰生物学家列文虎克（A. Leeuwenhoek）用自己制作的放大倍数近300倍的显微镜，观察了池塘水中的原生生物、牙垢中的细菌、鲑鱼的红细胞以及人和哺乳动物的精子等。他看到了别人从未见识过的奇妙的微观世界（图1-2）。列文虎克最初只是荷兰德尔夫市的市政厅看门人，但是强烈的好奇心、日复一日的辛勤工作和钻研，让他为世人留下了无比珍贵的科学财富。他在给英国皇家学会的最后一封信中写道：“一个人要有所成就，必须呕心沥血，孜孜不倦。”



图1-3 胡克制作的显微镜（模型）和他观察到的软木切片

分析讨论

1. 詹森发明的显微镜并没有观察到细胞，你认为他的贡献是什么？
2. 胡克观察到的“小空洞”是真正的细胞吗？为什么？
3. 在当时的情境下，列文虎克的观察具有什么重要意义？

胡克和列文虎克的发现开创了细胞研究的新领域。尽管当时使用的显微镜放大倍数和清晰度都不够、分辨率不高，但是仍然陆续观察到了很多细胞。人们被显微镜下这个多姿多彩的微小世界迷住了，列文虎克家里一度门庭若市，前来参观的人络绎不绝。

在发现细胞后的一个半世纪里，由于无法清楚地观察细胞的内部结构，人们只关注了细胞形态上的差异，没有认识到这些大小各异、千姿百态的“微小生物体”的共同结构特点。



图1-4 施莱登（上）和施旺（下）

二、细胞学说的创立

19世纪30年代，显微镜制作技术有了明显的改进，分辨率达到 $1\mu\text{m}$ ，同时由于切片机的发明和使用，人们才逐渐了解了细胞的内部结构，对细胞的认知日渐丰富。1838年，德国植物学家施莱登（M. Schleiden，图1-4上）对多种植物组织做了详尽的研究，逐渐认识到不同的细胞虽然形态各异，却具有共同的基本结构。通过对前人和自己工作的总结，利用科学归纳的方法，施莱登提出了所有植物体都由细胞构成的推论。1839年，受到施莱登的启发，德国动物学家施旺（T. Schwann，图1-4下）观察到多种

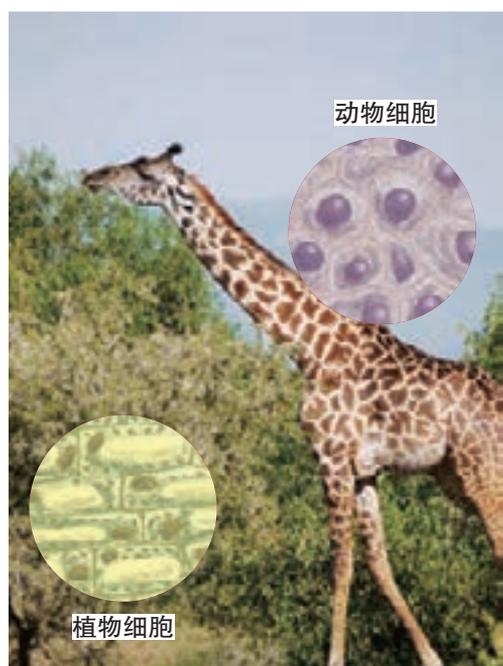


图 1-5 长颈鹿和它所吃的树叶都是由细胞构成的

动物体也是由具有共同基本结构的细胞构成的。他运用类比推理的方法，推断所有的动物体应该都是由细胞构成的，并正式提出了细胞学说（cell theory）。在阐述新细胞产生方式时，他们认为新细胞是从老细胞核中长出的，或者新细胞是在老细胞的细胞质中像结晶那样产生的。由于细胞学说的巨大影响，没有人对此结论产生怀疑，致使这一错误观点持续了很长时间。

后来，瑞士植物学家内格里（K. Nageli）利用显微镜观察了多种植物分生区，发现了植物细胞的分裂。还有一些学者观察到了动物受精卵的分裂。1858年，德国病理学家菲尔绍（R. Virchow）确认新细胞来自已存在的细胞，并总结出“细胞通过分裂产生新细胞”。经过进一步的修正和完善，细胞学说的主要内容被归纳如下：一切动物和植物都是由一个或多个细胞构成的（图 1-5），细胞是生物体结构和功能的基本单位，所有的细胞都是已存在的细胞通过分裂产生的。细胞学说的提出和不断完善，深刻证明了科

阅读空间

电子显微镜的发展

电子显微镜是将电子流作为“光源”的新型放大工具，简称电镜。其放大倍数目前可达 200 万 ~ 300 万倍，分辨率比光学显微镜高出 1000 倍，能够达到 0.1~0.2nm，是氢原子直径的 2 倍。在电子显微镜下，可以看到亚显微结构甚至分子结构，这极大地推进了细胞研究的进程。

近年来冷冻电镜技术异军突起，该技术通过对样品进行超低温冷冻，可实现对液体、半液体及对电子束敏感样品的直接观察。2017 年度诺贝尔化学奖授予对冷冻电镜技术发展作出原创性贡献的 3 位科学家。

在冷冻电镜技术的应用方面，中国科学家取得了优异的成绩。2015 年 8 月，清华大学

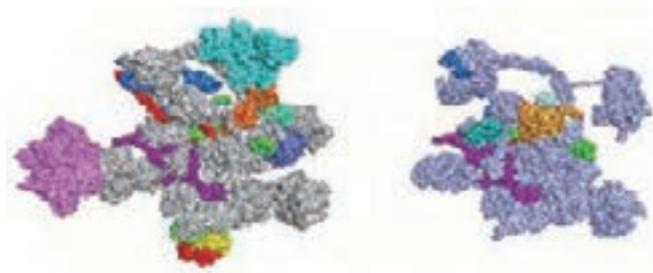


图 1-6 人源剪接体（左）与酵母菌剪接体（右）结构示意图

施一公研究组在世界上率先解析了酵母菌剪接体（进行 RNA 剪接时形成的多组分复合物，主要由 RNA 和蛋白质组成）的高分辨率结构，2017 年 5 月该研究组在《细胞》杂志首次报道了高分辨率的人源剪接体结构，这是首次在近原子分辨率的尺度上观察到酵母菌以外的、来自高等生物的剪接体结构（图 1-6）。

学工作依赖于观察和推论，科学知识可能随着研究的深入而不断改变。

细胞学说揭示了整个生物界在结构上的统一性，使丰富多彩的生物界在“细胞”这个结构基础上统一起来。细胞学说还使人们第一次认识到人类本身与其他动植物甚至那些毫不起眼的微小生物都具有共同的基本结构，揭示了不同生物间存在着一定的亲缘关系。在那个年代，这一认识具有划时代的意义，从根本上动摇了神创论。细胞学说为生物具有共同起源的进化思想提供了极为重要的理论支持，是 20 年后诞生的达尔文进化论的重要理论基础之一。细胞学说与进化论、能量守恒和转化定律一起，被恩格斯誉为“19 世纪自然科学的三大发现”。对细胞结构的了解是一切生命科学、医学及其各个分支学科不可缺少的认知基础。

三、细胞生物学研究进展

细胞学说的创立激发了人们对多种细胞进行广泛观察与描述的热情，主要的细胞器和细胞分裂活动被相继发现。随着观察和描述的深化，人们对细胞内部结构及细胞的变化规律有了进一步的了解。该时期的研究，主要是在光学显微镜下对细胞形态进行观察和描述，属于细胞水平的研究。

进入 20 世纪以来，随着染色方法的改进、高速离心技术的发展、放射性同位素的应用，特别是电子显微镜与超薄切片技术的结合等，让人们观察到了更加复杂精细的细胞结构，不仅已被认知的结构以崭新面貌展示在人们面前，而且还发现了更多前所未见的结构，从而将细胞研究推进到亚细胞水平。

从 1953 年开始，以 DNA 双螺旋结构模型的建构为标志，人们开始致力于在分子水平上探讨细胞的奥秘，并取得一

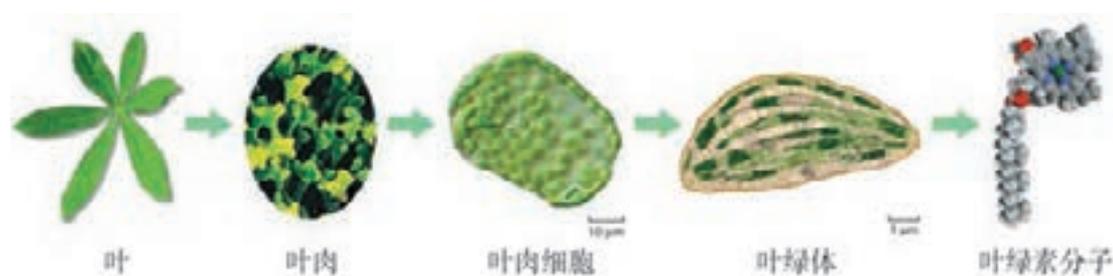


图 1-7 叶的结构层次

第二节 生物体由多种多样的细胞构成

从白雪皑皑的南极到热浪滚滚的撒哈拉沙漠，从海平面 10 000 m 以下的马里亚纳海沟到海拔超过 8000 m 的珠穆朗玛峰之巅，地球上几乎到处都有生物存在。虽然这些生物或动或静、或大或小，形态特征和生活方式各不相同，但是它们都具有生命，都是由细胞构成的（图 1-8）。你是否想过，不同生物个体的细胞种类和细胞数量是否相同？各种细胞的形态和功能又有哪些相似和不同之处？



图 1-8 生机盎然的非洲草原

一、细胞的形态和功能是多种多样的

由于生物的进化、遗传变异和细胞分化，导致构成各种生物体的细胞种类繁多，形态和功能复杂多样。



实验探究

观察多种多样的细胞

多种多样的细胞构成了丰富多彩的生命世界。借助显微镜深入观察各种生物的细胞，比较不同细胞在形态、结构等各方面的特点。

目的要求

1. 通过观察酵母菌、水绵和多种动植物细胞，认识形态、结构各异的细胞。
2. 练习使用高倍镜，制作植物组织徒手切片。

材料器具

酵母菌培养液，水绵，新鲜植物根、茎、叶，多种动物组织永久切片、涂片或装片，萝卜或马铃薯块，稀碘液、清水，吸水纸、载玻片、盖玻片、培养皿、探针、显微镜等。

活动程序

1. 吸取一滴酵母菌培养液，滴在载玻片中央，盖上盖玻片，在盖玻片一侧滴一滴稀碘液，在另一侧用吸水纸吸引进行染色。先使用低倍镜观察，找到酵母菌。移动装片，将物像移至视野中央，转动转换器换成高倍镜，观察并用细准焦螺旋调焦，直到物像清晰。画出所观察到的酵母菌形态结构简图。

2. 用探针挑取少许水绵放在载玻片上，轻轻将成团的水绵分开，盖上盖玻片制成临时装片，在显微镜下依次用低倍镜和高倍镜进行观察，并画出水绵细胞形态结构简图。

3. 选取植物的根、茎、叶等部位的幼嫩部分，用左手大拇指和食指夹住材料，让材料的上端超出手指约 2~3mm（如果材料太软或太小可以嵌入萝卜块或马铃薯块中）。右手大拇指和食指紧握刀片右角，刀口向内，刀背向外。先削平材料的顶面，刀口与材料保持垂直，从外向内，连续切几片薄片。把切成的薄片轻轻移到盛有清水的培养皿中，选择薄而均匀的切片制成临时切片，在显微镜下依次用低倍镜和高倍镜进行观察，并画出所观察的植物细胞形态结构简图。

4. 分别用低倍镜和高倍镜观察动物上皮组织、结缔组织、肌肉组织、神经组织的永久切片、涂片或装片。

分析讨论

1. 比较所观察到的各种生物细胞的形态，它们有什么相似和不同？
2. 根据观察和比较，推测不同组织中细胞的形态和功能之间有什么关系。

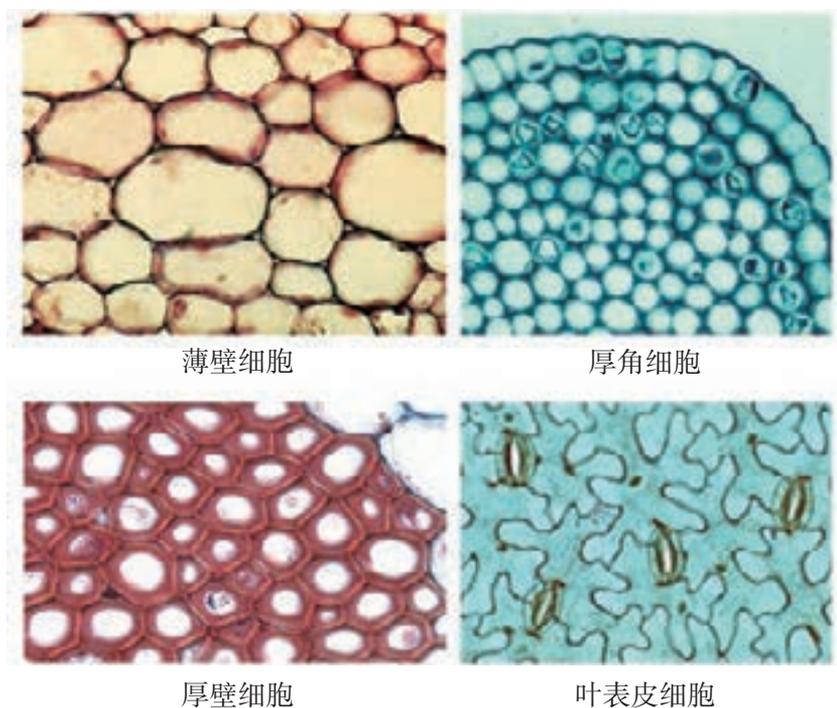


图 1-9 不同组织中的植物细胞（放大倍数：400×）

单细胞生物一般是单个细胞独立生活，它们往往有自己特有的形状，如酵母菌大多数呈卵形、圆形或椭圆形。在多细胞生物中，常见的细胞形状有圆形、椭圆形、方形、扁形、梭形、多角形等，也有的形状很不规则（图 1-9）。

绝大多数细菌细胞的直径为 0.2~10 μm ，而大多数动植物细胞的直径则为 20~30 μm 。不同生物的同种器官或组织，细胞大小总在一个恒定范围之

内，不会因生物大小而改变。如人、牛、马、鼠、象的肝细胞大小基本相同。生物体的大小主要取决于细胞的数量，而不是细胞的大小。

细胞形态与功能的统一是细胞的一个重要特征，分化程度较高的细胞尤为明显。例如，动物体内具有收缩功能的肌肉细胞呈长条形或长梭形；人体内有一种神经元，胞体本身的直径一般不超过 $10\mu\text{m}$ ，但它伸出去的突起却可达 1m 以上，大大提高了神经冲动传递的效率（图 1-10）。高等植物中，对茎部起支持作用的木纤维细胞呈梭形；叶表皮的保卫细胞呈半月形，两个细胞围成一个气孔，有利于控制气体的进出。

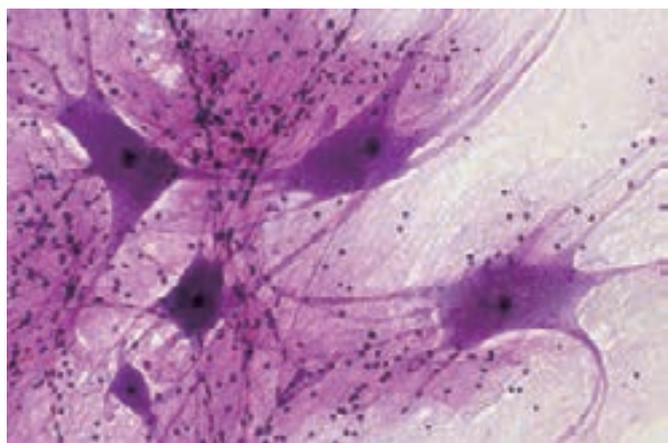


图 1-10 神经组织涂片
(放大倍数: $200\times$)

二、原核细胞与真核细胞的主要区别

绝大多数生物的细胞，都具有由核膜包被的结构复杂的细胞核，这样的细胞称为真核细胞 (eukaryotic cell)。除了细胞核外，真核细胞内还存在大量结构精巧、功能各异的内部结构，保证了细胞的生命活动有序而高效地进行。由真核细胞构成的生物称为真核生物 (eukaryote)。现存真核生物种类繁多，一部分是单细胞生物，大多数是多细胞生物。

有些单细胞生物的遗传物质没有核膜包被，只是集中分布于一个没有明确界限的区域，该区域称为拟核 (nucleoid)，这种细胞称为原核细胞 (prokaryotic cell)。由原核细胞构成的生物称为原核生物 (prokaryote)。它们通常只有普通动植物细胞大小的 $1/100\sim 1/10$ ，质膜外大多具有细胞壁，细胞质内部结构比较简单。

原核生物在 30 多亿年前就在地球上出现了，与真核生物相比，原核生物在地球上分布更广、适应性更强。细菌 (图 1-11) 与蓝细菌 (图 1-12) 是原核生物的典型代表。细菌在自然界分布最广，与人类关系极为密切，在生物圈的物质

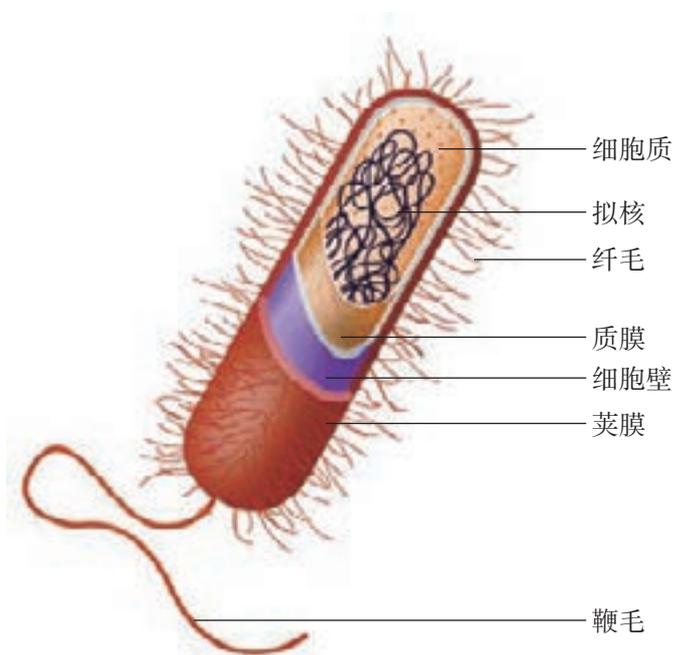


图 1-11 细菌结构示意图

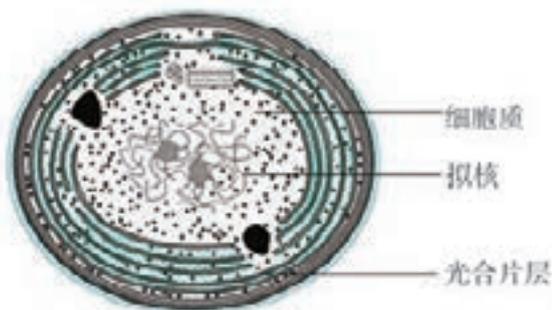


图 1-12 蓝细菌结构示意图

循环过程中处于重要地位。蓝细菌能进行光合作用，产生的 O_2 改变了原始地球大气的组成，为后来真核生物起源和进化创造了条件。

细胞的发现距今已有 300 多年的历史，细胞学说使人类认识到自然界几乎所有的生物都是由细胞构成的，构成生物体的细胞形态和功能多样，但都具有相似的基本结构，细胞是生物体结构与生命活动的基本单位。

阅读空间

生物的五界分类

真核细胞和原核细胞的概念提出后，美国科学家惠特克根据生物细胞的结构特征和能量利用方式，将生物分为五界（表 1-1）。原核生物界、原生生物界的绝大多数生物和真菌界的一部分生物以单细胞的形式存在，而植物界、动物界的所有生物及大型真菌则是由多细胞构成的。病毒属于一类特殊的生物，没有细胞结构。如何对病毒进行生物学分类尚存在争议。随着分子生物学技术的发展，有学者提出原核生物界因为分子水平的差异还可分为古细菌界和真细菌界。

表 1-1 生物的分界及代表种类

五界分类系统	类别	代表生物
原核生物界		细菌、蓝细菌等
原生生物界		原生动物、单细胞藻类和黏菌
真菌界		酵母菌、霉菌和蘑菇等
植物界		苔藓、蕨类、裸子植物和被子植物
动物界		腔肠动物、环节动物、昆虫、鸟和哺乳动物

学业检测

1. 几乎所有肉眼可见的生物都是多细胞生物。与单细胞生物相比，多细胞生物的巨大优势是细胞出现专业分工。

(1) 蓝鲸和蜂鸟大小的不同主要取决于()。

- A. 构成生物体的细胞的数量
- B. 构成生物体的细胞的质量
- C. 构成生物体的细胞的种类
- D. 构成生物体的细胞的大小

(2) 人体细胞虽然来自受精卵这一个细胞，但随着个体的发育，细胞的形态、大小和结构不再一样。发生这些变化的意义是什么？

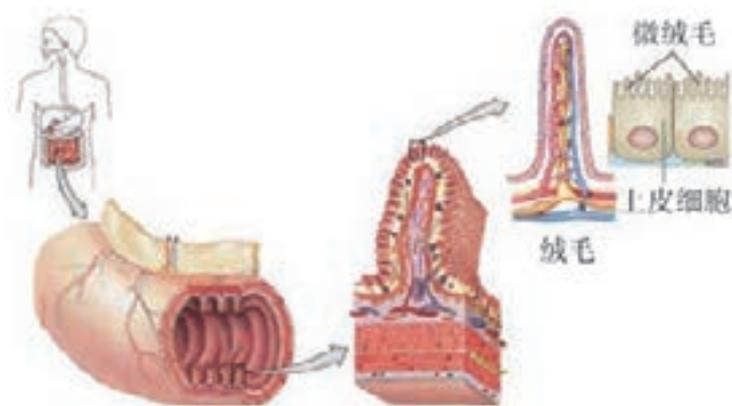
(3) 作为单细胞生物，草履虫可以独立完成运动、摄食、消化、呼吸、繁殖等生命活动。对比人体相应的生命活动，说明多细胞生物比单细胞生物具有更大生存优势的原因。

2. 人体肠道细菌数量庞大，种类繁多，对人体健康意义重大。正常情况下，肠道菌群能合成多种维生素、氨基酸，并参与糖类和蛋白质的代谢等。肠道菌群失衡与人的很多疾病相关，肠道菌群研究已经成为一系列代谢疾病防控的新方向。

(1) 与肠道上皮细胞相比，肠道菌细胞最明显的结构特点是什么？

(2) 小肠绒毛上皮细胞具有大量的微绒毛(如下图所示)，这对其完成吸收功能有什么意义？

(3) 据有关资料显示，目前真正需要抗生素治疗的患者不足 20%，而抗生素的使用率竟然达到了 70%。滥用抗生素是否会通过影响肠道菌群而影响人体的健康？



 学业要求

重要概念	节次	学科素养
绝大多数生物都是由细胞构成的，细胞在形态与功能上有所差异。	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 简述人类认识细胞的主要历程，认同科学发现是一个长期的进程，加深对科学研究过程和本质的理解。 ◆ 通过学习细胞学说的建立过程，体验归纳与概括的科学思维方法。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 举例说出生物都是由一个或多个细胞构成的，初步形成细胞是生物体结构和功能的基本单位的生命观念。 ◆ 描述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。 ◆ 举例说明细胞形态和功能的多样性，初步形成形态与功能相适应的观点。

 时代亮点

人类细胞图谱计划

人类对细胞的研究虽然已持续了 300 多年，但对细胞的了解仍然不够完善。人体由约 40 万亿~60 万亿个细胞构成，而我们缺乏对细胞类型和细胞状态的严格定义，就像一张非常模糊的世界地图，上面只有陆地和海洋的轮廓。人类细胞图谱将会提供更详细的内容，为每种细胞在人体空间中标定特定的“坐标信息”。

人类细胞图谱计划于 2016 年 10 月启动，首批拟资助的 38 个项目来自包括中国在内的 8 个国家。这些项目作为预研究，将对人类细胞图谱计划的关键问题进行探索（图 1-13）。该计划将根据独特的分子信息对人类所有细胞进行分类，给每个细胞一个身份，将每一个细胞在体内定位，分析细胞之间怎样进行关联才能使其所属组织或器官行使独特的功能。该项目的目的是发现并揭示人体所有细胞的状态，提供不同类型细胞组成人体组织的三维图谱，并生成人类所有发育阶段的细胞图谱。

从某些方面来说，人类细胞图谱计划和人类基因组计划非常相似。两者均致力于创建生物学的“元素周期表”，综合性地将细胞和基因进行“定位”，并由此为生物学研究和医学应用打造坚实基础。

人类细胞图谱计划意义重大。首先，它将为生物医学的发展提供基础性的资源和工具。人类细胞图谱将会列出各种细胞的每一个亚型，帮助我们了解人体是如何构成的。其次，它将有有助于为目前的一些不治之症提供细胞治疗方案。比如帕金森病，未来一种可能的治疗方

案是在实验室生产新鲜的能够产生多巴胺的细胞，然后注入人脑。第三，它将为基因技术的利用提供细胞学基础。目前人类对于自身细胞的认识还很有限，要想利用基因技术治疗一些基因突变引起的疾病，首先需要搞清楚正常情况下哪些基因被表达，细胞为什么会发生病变等。如某些白血病患者，其造血干细胞是正常的，但无法分化形成正常的血细胞。分析细胞分化过程中出现的过渡状态的细胞在整个发育过程中有哪些变化，表达什么基因，可以将疾病追本溯源到特定阶段的细胞，从而彻底改变研究人员对疾病的理解。

人类细胞图谱计划将把我们对解剖学、生理学、病理学、细胞周期调控、细胞通讯等的认识提升到一个新的高度，还将为基础研究和临床应用提供宝贵的标志、特征和工具，必将对生物学和医学产生深远的影响。

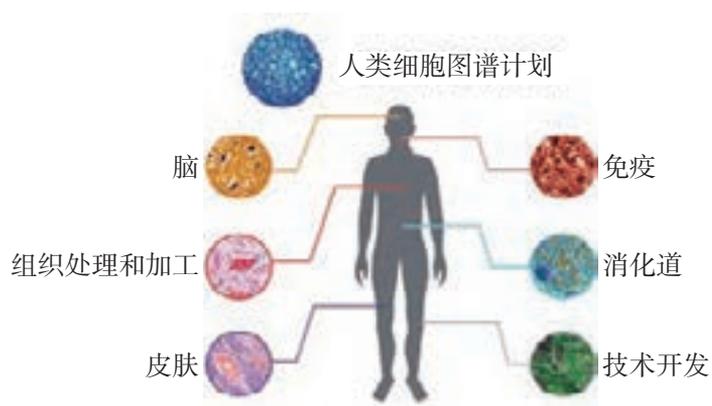
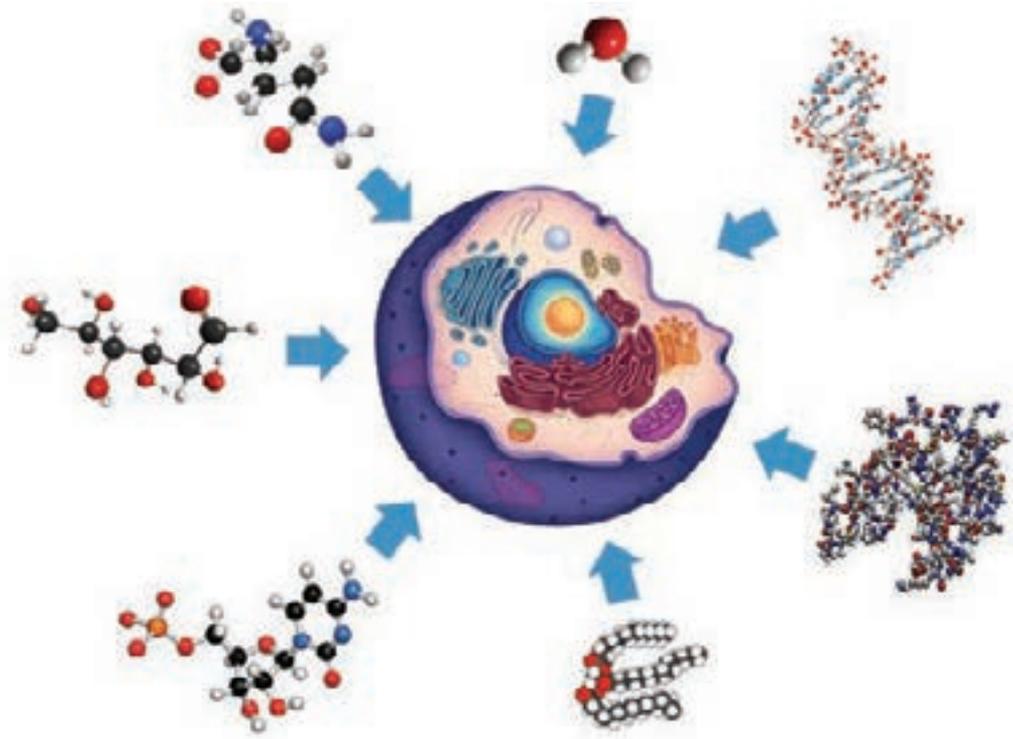
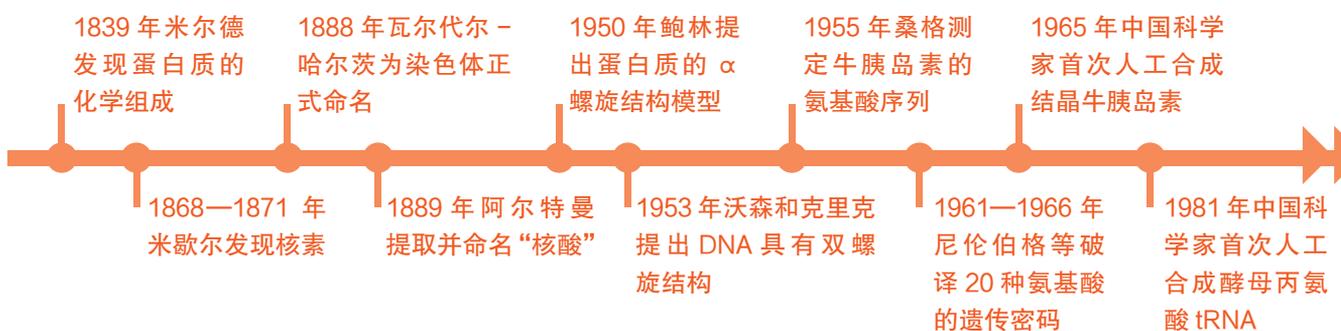


图 1-13 人类细胞图谱计划的 38 个项目主要分布在 6 个领域

第二章 细胞由多种多样的分子组成



自由翱翔的飞鸟，苍翠欲滴的草木，以及我们肉眼看不到的细菌，都是由细胞构成的。细胞中，在以磷脂双分子层为支架的膜结构和以水为主要介质的细胞质基质共同搭建的“舞台”上，糖类在不断地“燃烧”供能，结构精密的核酸在台前幕后“指点”或“遥控”，种类繁多的蛋白质一波又一波地上演着美妙的“分子舞蹈”，而细胞骨架分子既夯实了其他蛋白质表演舞蹈的“舞台地基”，同时又构建了细胞王国内的“高铁运输线”……细胞或生物体所表现的生命现象和自然现象的本质相同，都是物质的运动，只不过生命的物质运动形式更高级更精妙。那么，构成细胞的物质分子究竟有哪些？它们各自具有怎样的结构？为什么它们在生命活动中所承担的“角色”是不可替代的？





课题研究

探究化学元素对植物生命活动的影响

细胞是由多种多样的分子组成的，这些大大小小的分子含有相同或不同的化学元素，是细胞执行各项生命活动的物质基础。用适当种类的无机盐按一定比例配制含有全部或部分营养元素的培养液，用它们培养植物，可以探究特定化学元素对植物生命活动的具体影响。

提出问题

某种化学元素的缺失对植物的生命活动有什么影响？

制订并实施研究计划

1. 怎样配制培养液？

- ◆ 查阅植物的水培方法以及全素培养液、缺素培养液的配制方法。
- ◆ 准备材料器具并配制（或购买）各类培养液。

2. 怎样培养植物？

- ◆ 各实验小组选择缺素种类，确定所培养的植物种类并育苗。
- ◆ 设置实验组（缺素培养）和对照组（全素培养），分别对幼苗进行缺素和全素培养（图 2-1）。
- ◆ 待缺素培养幼苗出现明显的缺素症状后，将缺素培养液更换为全素培养液，继续培养并观察缺素症状的变化情况。

3. 如何进行观察和记录？

- ◆ 设计表格，记录培养过程中叶的数量、根系投影面积、叶色及株高的变化等，在实验结束后分别称量叶与根的鲜重。
- ◆ 详细记录各组植物的生长状况。重点记录缺素培养的植物缺素症状出现的时间和部位，并拍照存档。

成果交流

1. 各组以表格、照片或观察日志等方式展示研究结果。
2. 分析缺素培养导致植物产生相应症状的原因。
3. 根据当地作物或公园花卉的生产和土壤情况，向管理者提出合理化的施肥建议。



图 2-1 缺素培养（左）和全素培养（右）的对照

第一节 细胞由多种元素和化合物组成



图 2-2 紫荆花

早春时节，香港的紫荆花含苞初绽，灿若云霞；到了初夏，花雨随风飞扬，落英缤纷（图 2-2）。“落红不是无情物，化作春泥更护花。”像花瓣一样，生物的遗体 and 残落物被分解后“归还”给无机环境，而分解产物又被生物有选择地从无机环境中“回收”利用，如此循环往复，生生不息。那么，地球上的化学元素都是细胞的组成成分吗？生物体内究竟有没有在无机环境中找不到的特殊“生命元素”？构成细胞的主要元素和化合物有哪些呢？

一、细胞含有多种化学元素

细胞是生命活动的基本结构单位，但细胞是由没有生命特性的化学元素组成的。细胞与非生命物体最关键的区别是细胞能利用各种化学元素构建自身的结构并维持代谢活动。细胞内各种复杂的生命活动，都是以一定的化学元素为基础，化学元素在细胞内的相互作用和运行方式，均遵循化学的基本原理和规律。



资料探究

探索生物体中的化学元素

追踪并分析细胞的代谢过程可以发现，生物体内物质变化的最小单位是一系列元素的原子。科学家对构成生物体的化学元素进行了细致的分析和研究。

[资料 1] 从太空遥看，地球是一个美丽的蔚蓝色星球。它是目前已知的唯一能“孕育”生命的星球。地球表面约 70% 的面积被水体覆盖，在水体中和陆地上，生活着形形色色的生物。分析生物及其生存环境中不同元素所占的质量分数（%），结果如图 2-3 所示。

[资料 2] 绿色植物和高等动物的代谢类型不同，即使生活在同样的环境中，它们也能利用环境中不完全相同的“资源”来获取构成机体的化学元素。在玉米植



图 2-3 海水、人体、南瓜和地壳中不同化学元素的质量分数 (%)

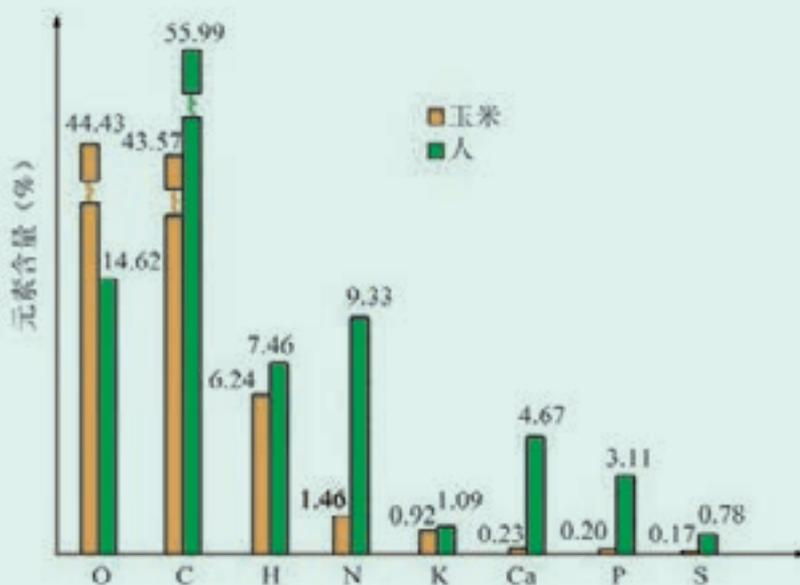


图 2-4 玉米和人体细胞 (干重) 中元素的含量比较

株和成人体内, 含量较多的化学元素占细胞干重的质量分数 (%) 如图 2-4 所示。

[资料 3] 化学元素周期表不仅反映了元素的原子结构, 也显示了元素性质的递变规律和元素之间的内在联系。图 2-5 显示了组成人体的化学元素在元素周期表中的分布情况。

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57-71 La-Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra																

图 2-5 组成人体的元素在元素周期表中的分布

分析讨论

1. 海水、地壳、南瓜和人体细胞的元素种类和含量有何不同？
2. 比较玉米和人体细胞(干重)中的几种主要元素含量的差异, 尝试解释其原因。
3. 原子序数是指元素在周期表中的序号, 在数值上等于原子核的核电荷数(即质子数)或中性原子的核外电子数。和人体一样, 其他生物体中含量超过体重万分之一的元素, 其原子序数均在 20 以内, 这对构建生命物质有何意义？

目前已知地球上天然存在的化学元素有 90 多种, 而在生物体内常见的化学元素只有 20 多种。在人体内, 有些元素的平均含量在万分之一以上, 称为大量元素 (macroelement), 如 C、H、O、N、P、S、K、Ca、Na、Cl、Mg, 其中, C、H、O、N 4 种元素约占 96.3%; 还有些元素在人体中的含量低于万分之一, 称为微量元素 (microelement), 如 Fe、Mn、B、Zn、Cu、Mo、Ni。虽然各种元素在生物体内的含量不同, 但对细胞的代谢和生物体的生命活动都起到了特定的不可替代的作用。

组成细胞的化学元素都能无机自然界中找到, 没有一种元素是生物体特有的, 这说明生物界和非生物界的物质组成具有统一性。生物体和地壳、海洋、大气等非生命的无机环境相比, 各种元素的相对含量却又差异很大, 这说明了生命物质的特殊性。



图 2-6 细胞的一般化学组成

二、细胞由多种化合物组成

组成细胞的化学元素大多以化合物的形式存在, 不同细胞中各种化合物的组成大致相同(图 2-6)。细胞中的化

阅读空间

同位素与同位素示踪技术

同位素是质子数相同而中子数不同的原子的总称。例如，氢元素有 3 种同位素：氕、氘和氚，它们的原子核内都只有 1 个质子，但中子数却分别为 0、1 和 2，所以彼此互称同位素。自然界中许多元素都有同位素，有的是天然存在的，有的是人工制造的，有的有放射性，有的没有放射性。放射性同位素能够发生衰变而产生放射性，因此易于检测。虽然原子质量不同，但因为中子不带电荷，同一元素的各种同位素间质子数相同，核外电子排布也相同，所以其化学性质几乎相同。例如，具有放射性的物质（如 $^{14}\text{CO}_2$ ）和普通的不具有放射性的相应物质（如 $^{12}\text{CO}_2$ ）在细胞内所发生的代谢过程完全相同，因此通过对其放射性的探测，能追踪研究该元素在生物体内的运行和变化规律，这种技术称为同位素示踪技术。

化合物可以分为两大类：无机化合物和有机化合物。

无机化合物简称无机物，通常是指不含碳的化合物。细胞中的无机物主要是水和各种无机盐。含碳和氢的化合物大都是有机化合物（不包括碳的氧化物、碳的硫化物、碳酸、碳酸盐、氰化物等），简称有机物。细胞中的有机物主要包括糖类、脂质、蛋白质与核酸等。

有机物种类繁多，这是由碳原子的结构决定的（图 2-7）。碳原子最外层有 4 个电子，既不易失电子，也不易得电子。因此，碳原子通常会和其他原子通过共用电子对形成 4 个共价键，既可以形成单键，也可以形成双键或三键。自然界中最简单的有机物是甲烷（图 2-8）。

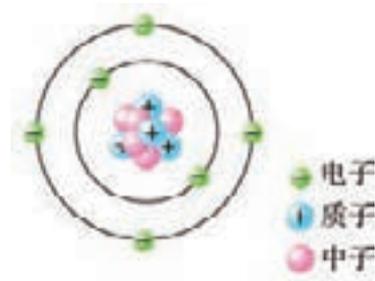


图 2-7 碳原子结构示意图

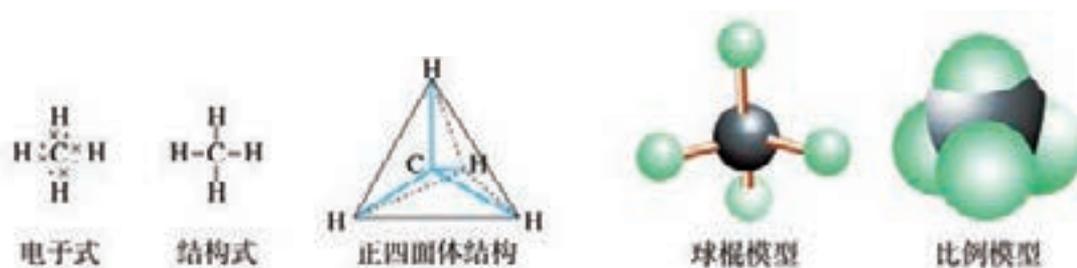


图 2-8 甲烷的分子结构

在细胞中，碳原子与碳原子之间通过高度稳定的共价键相互连接，构成了各种复杂有机物的骨架结构即碳链（carbon chain）。这些碳链长短各异，有线状、分支状、环状等多种形状，碳链上的碳原子还可以与 H、O、N、P、S 等原子或原子团通过共价键相结合，进而组成结构和功能千差万

别的有机物（图 2-9）。碳链的结构、长度以及与碳链相连接的原子团，决定了有机物的基本性质。

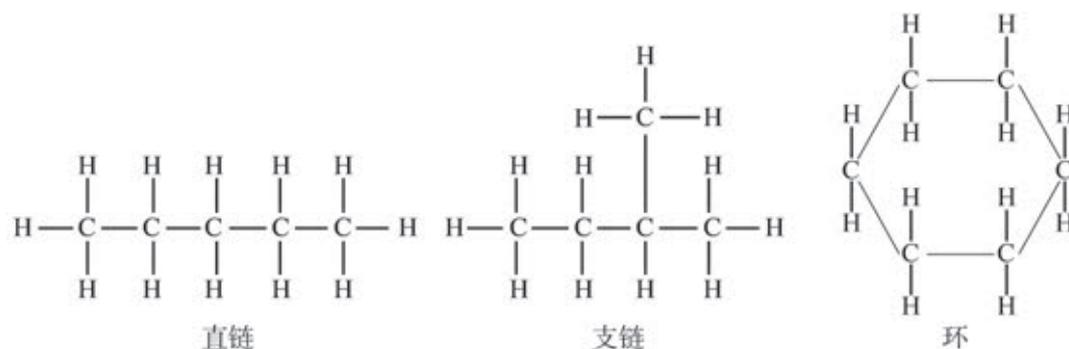


图 2-9 碳原子形成的几种结构示意图

阅读空间

官能团

官能团是有机物中化学性质比较活泼、容易发生化学反应的原子或原子团。例如，醇的官能团是羟基（—OH），氨基酸的官能团是羧基（—COOH）和氨基（—NH₂）等。含有相同官能团的分子具有相似的化学性质。有机小分子按照官能团进行分类命名。官能团限定了有机分子的主要理化性质，并往往能引发有机物之间特定的化学反应。

葡萄糖、氨基酸、核苷酸等生物体中的有机物，相对分子质量较小，结构简单，属于有机小分子。由众多结构相同或相似的有机小分子（单体），通过缩合反应所生成的结构复杂、相对分子质量非常大的有机物（多聚体），就属于生物大分子，如蛋白质、核酸、淀粉、糖原、纤维素等。这些生物大分子都可以通过水解反应再分解成许多有机小分子（图 2-10）。

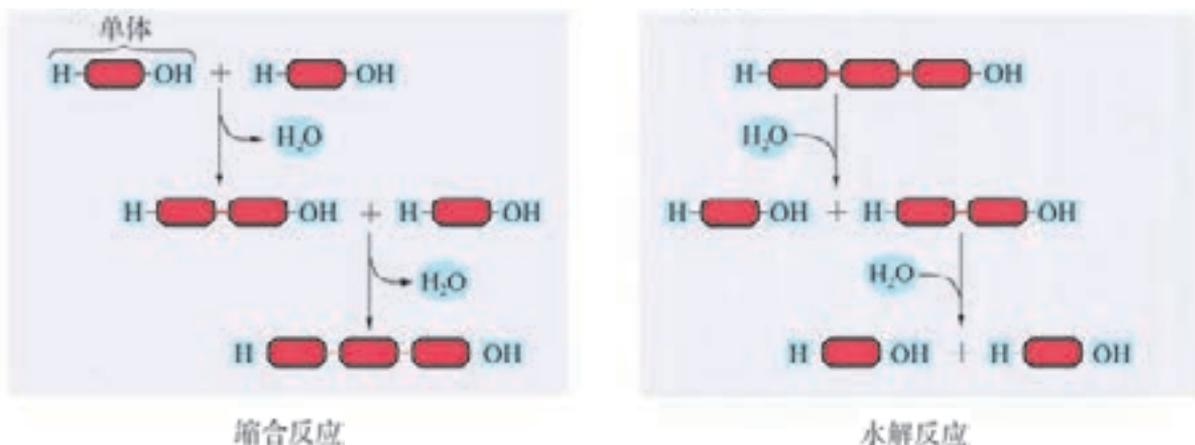


图 2-10 缩合反应和水解反应示意图

细胞主要由 C、H、O、N、P、S 等元素组成，这些元素组成了种类繁多的化合物，其中以碳链为骨架形成了复杂的生物大分子，承担了细胞的大部分生命活动，所以 C 是组成细胞的最基本元素。细胞中的元素和化合物是细胞生命活动的物质基础。

学业检测

1. 丰富多彩的生物界在表现出多样性的同时，也具有很多共性，例如，新陈代谢是生物体最基本的特征，在此基础上才能表现出生长、发育、繁殖、应激性等特征。可见，生命与非生命具有本质的区别。请对下面相关的判断及其判断的理由进行连线：

生物体的生命活动具有共同的物质基础	组成生物体的化学元素，没有一种是生物界所特有的
与非生命物质相比，生命物质具有特殊性	生命物质与非生命物质中各种元素的相对含量差别很大
生物界和非生物界在物质组成上具有统一性	组成生物体的化学元素和化合物大致相同

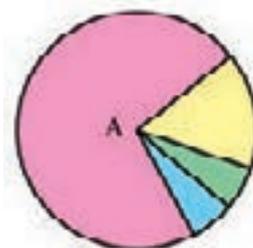
2. 元素是由具有共同特点的原子组成的。不同的原子又通过各种形式的化学键生成了大大小小的分子。组成细胞的元素和各种化合物是细胞生命活动的物质基础。下图表示人体细胞中主要元素或化合物所占细胞质量的比例关系。

(1) 若该图表示活细胞中各种化学元素的含量，则 A 应该为_____元素；若该图表示细胞的各化学元素占细胞干重的质量百分数，则 A 应该为_____元素。

(2) 若该图为活细胞中化合物组成情况，则 A 中所含有的化学元素为_____；若该图表示已经完全脱水后细胞中各种化合物组成情况，则 A 是_____。

(3) 活细胞中含量最多的元素不是碳元素，为什么碳却是构成细胞的最基本元素？

(4) 细胞是构筑生命大厦的基石。作为一个复杂的生命系统，细胞需要不断地与外界环境发生物质、能量和信息上的交流。组成细胞的化学元素和化合物是否都能够在无机环境中找到？这说明了什么？



第二节 水和无机盐在生命活动中具有重要作用



图 2-11 农业灌溉

“有收无收在于水，收多收少在于肥。”这句农谚形象地说明了植物的生长和发育过程离不开水和无机盐，适时适量地灌溉和追施各种肥料是农作物高产、稳产的保障（图 2-11）。同样，对于动物的生存和代谢来说，水和无机盐也不可或缺。为什么水和无机盐对于生命如此重要？在细胞的生命活动中它们分别起到了怎样的作用？

一、水是细胞内含量最多的化合物

水是生命之源，地球上最早的生命诞生在距今大约 35 亿年前的原始海洋里，因而所有的生命形式都被烙上了永远的“水的印记”。



实验探究

植物组织中含水量的测定

植物组织中的含水量以及水的存在状态是植物代谢活动和抗逆性强弱的重要生理指标。称量一定量的植物组织，鲜重为 W_1 ；将其烘干再称重，干重为 W_2 ； $(W_1 - W_2) / W_1$ 即为该植物组织的含水量。

目的要求

尝试用烘干称重法测定植物组织中的含水量（以质量分数表示）。

材料器具

不同种类的植物叶片、同一植物的嫩叶和老叶，称量瓶、干燥器（图 2-12）、打孔器（外径 0.6cm）、电子分析天平、恒温烘箱、坩埚钳、刀片。

活动程序

1. 取 2 个称量瓶，编号，洗净后放入 105℃ 恒温箱中，烘烤 2h，用坩埚钳取出放入干燥器冷却至室温后，在分析天平上称重，如此重复 2 次（两次称重误差不超过 0.002g），求得空瓶质量平均值后，放入干燥器中待用。



图 2-12 称量瓶和干燥器

2. 将采集来的植物叶片用打孔器钻取叶圆片(注意避开主叶脉),随机选取 10 片,立即放入称量瓶中,加盖,准确称出被测样品鲜重。

3. 将样品放入烘箱,打开称量瓶盖,先在 100~105℃条件下烘烤 30min,然后把烘箱的温度调至 70~80℃烘烤 2~4h(注意防止材料焦化)。用坩埚钳夹取瓶盖,盖上称量瓶,取出放在干燥器中冷却至室温,在分析天平上称重。然后再放入烘箱,在 70~80℃条件下烘烤 1~2h,盖上瓶盖,放在干燥器中冷却至室温,称重。如此重复几次,直至恒重为止。记录被测样品干重。

4. 计算不同植物组织的含水量。

▲ 安全警示

用打孔器对植物材料取样时,应垫在橡胶皮或白纸板上操作。使用烘箱烘烤及取样时,戴棉线手套,防止烫伤。

分析讨论

1. 在本实验的操作过程中,要注意哪些问题才能减少误差?
2. 通过比较不同生物材料的含水量,可以得出什么结论?
3. 农民收获的种子在入仓前要充分地晾晒风干,在这个过程中丢失的水分是种子所含的全部水分吗?

不同种生物的细胞含水量不同;同种生物处于不同发育阶段或者生活在不同环境中,细胞的含水量也会发生变化;同一生物个体的不同器官,细胞含水量也会有差异。卷柏属于蕨类植物,其含水量为 50%~65%,多生长在缺少土壤、不能蓄积水分的山坡石缝中。天气干旱时,小枝就卷缩成一团并失去绿色,含水量可降至 5% 以下。失去大量水分的卷柏就像枯死了一样,可一旦得到雨水滋润,就能悠悠“转醒”并恢复生机,所以常被称为“九死还魂草”(图 2-13)。



图 2-13 失水卷柏（左）与吸水卷柏（右）

一般来说，在细胞的各种化学成分中水的含量是最多的，约占细胞鲜重的 $2/3$ 。水在细胞生命活动中的重要作用与水的特性密切相关。

阅读空间

氢键和水分子的极性

氢键是分子间或分子内的一种特殊的相互作用。当氢原子与电负性大、半径小的原子 X（氟、氧、氮等）形成极性很强的共价键时，它们共用的电子对就偏向于这些电负性大的原子，而使氢原子成为几乎“裸露”的带有正电的氢核。若这一氢原子再与另外的电负性大的原子 Y 靠近，两者之间就会产生较强烈的静电作用，这样，就以氢为媒介在 X 与 Y 之间生成一种特殊的吸引力，称为氢键。

在水分子中，氢原子和氧原子通过共价键结合后，原子之间不均等地共用最外层电子。氧略带负电性，而氢略带正电性，因而每个水分子就像一个小小的“磁铁”般具有了极性（图 2-14）。由于水分子的极性，相邻的分属不同水分子的氢原子和氧原子会相互吸引而形成氢键（图 2-15）。氢键使得水体中的水分子不同程度地结合起来，这种分子间的内聚力使水体具有很高的抗张强度、高比热、高蒸发热和良好的热传导性，从而使水成为生物体内良好的溶剂和温度调节剂。

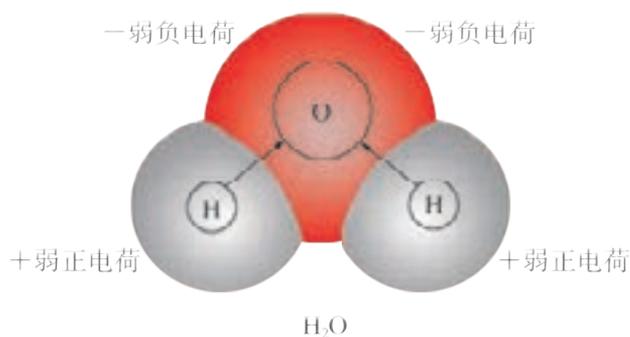


图 2-14 水分子的极性

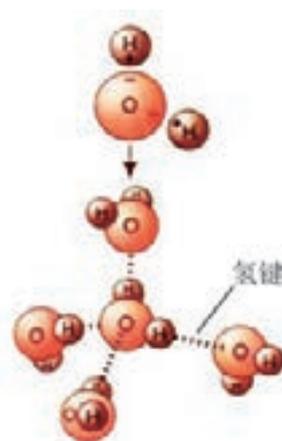


图 2-15 水分子之间的氢键示意图

细胞内的一部分水通过氢键与细胞内的蛋白质、多糖等亲水性物质相结合，不易蒸发和结冰，失去了流动性和溶解性，称为结合水（图 2-16）。结合水约占细胞全部水分的 4.5%，是细胞结构的重要组分，也是形成和维持生物大分子三维空间结构的必要因素。

细胞中的大部分水以游离的形式存在，可以自由流动，称为自由水。自由水是生物体内良好的溶剂和运输“工具”。

葡萄糖、氨基酸、核苷酸等各种极性分子和 NaCl 等离子化合物都能够溶于水中（图 2-17）。自由水在生物体内的流动，可以将营养物质运送给各个细胞，也可将细胞代谢产生的废物运送到排泄器官或者直接排出体外。

植物细胞中自由水与结合水的含量和比例常与植物的生长及抗逆性有密切的关系。自由水较多时，代谢活动较强，生长速度也较快，但抗逆性往往降低；而结合水含量相对较高时，则情况相反。例如，干燥成熟的植物种子丧失了大部分自由水，生理活性降至极低水平，但干种子还保持了全部结合水及少部分自由水，因而细胞的基本结构得以保持，并能抵抗干旱、严寒等不良环境，在环境适宜时可重新获得足够的自由水而萌发。倘若干种子在烘烤过程中失去了结合水，就会导致细胞结构的破坏及生物活性的丧失。细胞中水的存在状态不是一成不变的，自由水和结合水在一定条件下可以相互转化。

水分子与亲水物质相结合，与脂质等非极性分子相疏离，这对于形成和维持细胞中特定的生物膜结构等具有极其重要的意义。

细胞中的物质只有在水溶液中才会有足够多的相互“碰撞”机会而发生反应，因而绝大多数的代谢反应也都必须以水为介质。

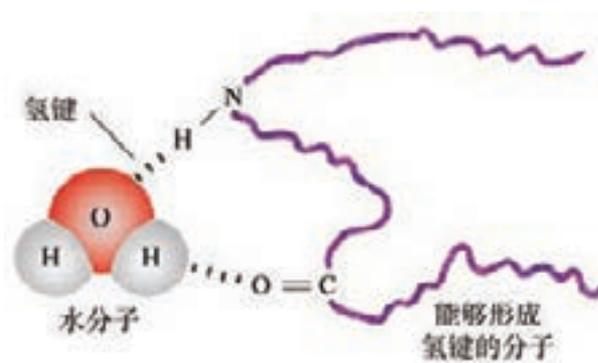


图 2-16 结合水

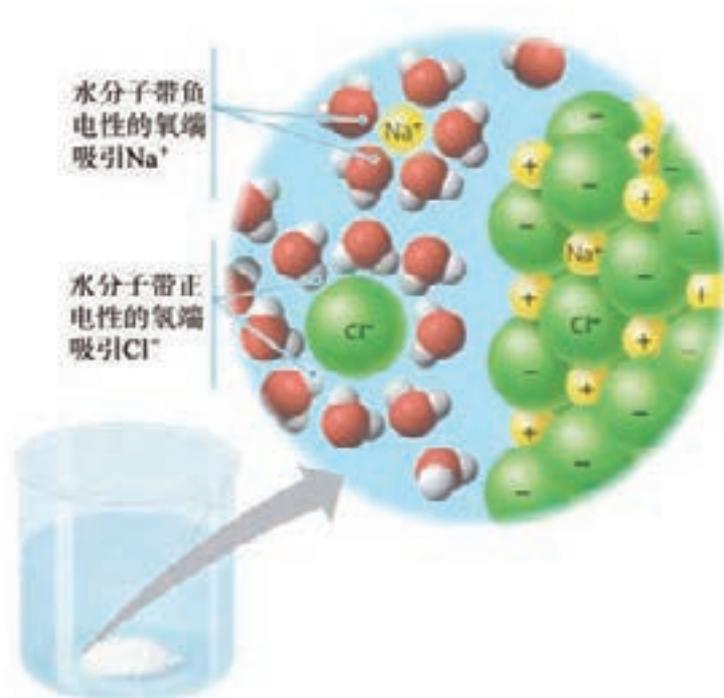


图 2-17 NaCl 在水中的溶解机制示意图

另外，水分子还可作为反应物直接参与光合作用、细胞呼吸等多种细胞代谢过程。

二、无机盐在生命活动中的重要作用

动物的遗体或植物的枝叶充分燃烧后剩下的少量灰烬，其主要成分就是无机盐。细胞中的无机盐大多以离子形式存在，少数以不溶或难溶性化合物分子的形式存在，如骨骼、牙齿中的钙盐。细胞中含量较多的阳离子有 Na^+ 、 K^+ 、 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等，含量较多的阴离子有 H_2PO_4^- 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 等。无机盐在细胞中含量虽少，但与生命活动密切相关。

有些无机盐是细胞中某些重要化合物的组成成分。例如，N 是构成蛋白质的必需元素，P 是构成核酸的必需元素。如果植物体缺少 Mg^{2+} ，叶绿素就会合成不足，进而影响光合作用的进行（图 2-18）。如果人体缺少 Fe^{2+} ，血红蛋白的合成就会受到影响，导致缺铁性贫血（图 2-19）。

无机盐离子能维持细胞和生物体的正常渗透压，从而使细胞保持一定的形态，保证了细胞生命活动的正常进行。例如，医生在给需要静脉注射的病人输入药物时，常将药物溶解在生理盐水中，原因就是质量分数为 0.9% 的 NaCl 溶液的渗透压与人体细胞赖以生存的细胞外液渗透压相当。

有的无机盐离子还能维持生物体或细胞内的酸碱平衡。例如， $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ 和 $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ 这两对离子在溶液中能够缓冲 pH 的变化，这对于维持细胞的正常代谢同样是非常必要的。还有一些无机盐离子对酶具有活化或辅助作用，参与生物体的代谢活动。

“水善利万物而不争”，没有水，就没有生命。“盐随水行”，参与细胞生命活动的无机盐，也常常需要溶解在水中才能发挥其应有的功能。水和无机盐都是生物体不可缺少的无机组成成分，对维持生物体的正常生命活动具有重要作用。

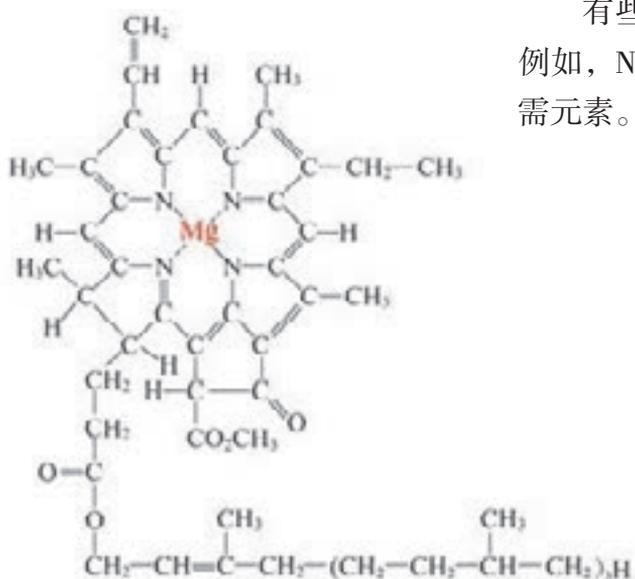


图 2-18 叶绿素分子结构示意图

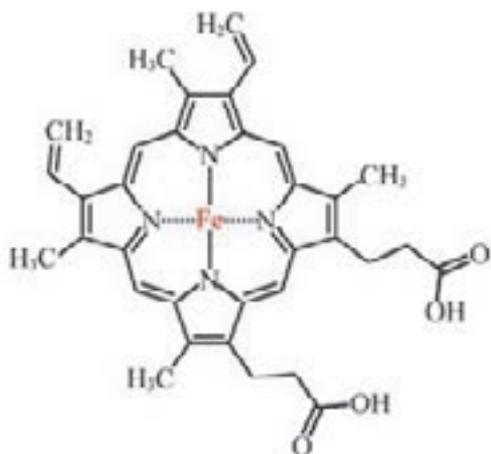


图 2-19 血红蛋白中血红素分子结构示意图

科学实践

有机蔬菜种植

遵循自然规律和生态学原理，根据生长季节及生活习性的差异，利用学校的生物园、教室一隅、走廊、自家小院或阳台（露台）等可以利用的空间，选择几种蔬菜进行间作或轮种。在种植过程中，要因地制宜，进行合理布局，采用微型温室大棚、种植箱或培养架等种植技术，合理调节光照、温度、湿度和水肥等环境条件，对病虫害进行有效的无公害防治，不使用农药、化肥、生长调节剂、抗生素等化学品，以保证收获到无污染、无毒害、安全优质的有机蔬菜（图2-20）。

培养架（适合阳台、露台等）



种植箱
（适合室内）



温室大棚（适合大的园区）



培养架（适合
走廊或连廊）

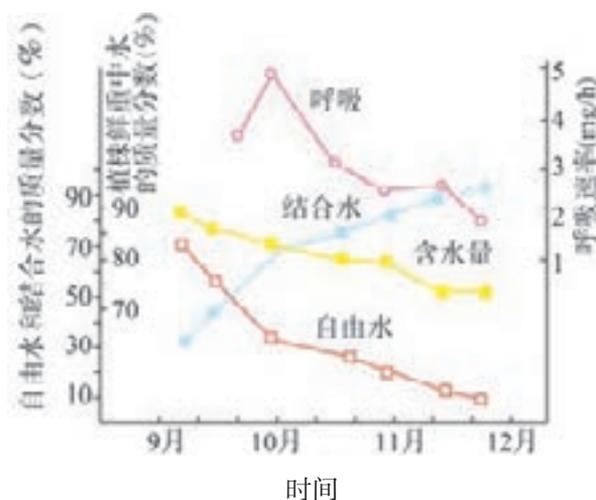
图 2-20 采用不同方式种植有机蔬菜

学业检测

1. 生长在干旱、含盐量高的土壤中的盐生植物，通过液泡中储存大量的 Na^+ 而促进细胞吸收水分，该现象说明液泡中的 Na^+ 参与（ ）。

- A. 调节渗透压
B. 提供能量
C. 维持正常的 pH
D. 组成体内的化合物

2. 某农科所对冬小麦抗寒生理性状展开基因定位研究，为抗寒育种提供理论依据。下图是培育的某冬小麦品种在不同时期的含水量、自由水量、结合水量和呼吸速率随时间的变化情况。



请据图完成下列问题：

(1) 在9—12月间，随着气温和土壤温度的不断下降，冬小麦根系的吸水量 _____，组织的含水量 _____，自由水与含水量的比值不断 _____。

(2) 大约从10月中旬开始，冬小麦的呼吸速率 _____，细胞消耗的糖分少，有利于糖分积累，这样就提高了小麦细胞中 _____ 的浓度。

(3) 冬小麦的上述一系列适应性生理变化对于其顺利越冬起到了哪些作用？

3. 地球表面大部分被液态水覆盖，美丽的水圈成为生命诞生的“摇篮”。水赋予了细胞许多重要特性，几乎所有生物的生命活动都离不开水。

(1) 与其他常见的液体相比，吸收或放出同样的能量，水的温度变化几乎是最小的，从这一角度分析，细胞“持有”足量的水对其生命活动有何重要意义？

(2) “热胀冷缩”是物体的基本性质，但是水在低于 3.98°C 逐渐结冰的过程中，体积会变大、密度会变小。水的这种特性对于水生生物的生存有何益处？

(3) 探索太空，人类的终极梦想之一就是寻找到地外生命，而寻找液态水则是最关键的一步。持这种观点的理由是什么？

第三节 糖类和脂质对细胞的结构和功能具有重要作用

传统的节日文化常常伴随着美食在一代代传承。“小饼如嚼月，中有酥和饴。”(图 2-21)在苏轼的这句诗中，“饴”指的是麦芽糖，属于糖类；“酥”指的是酥油，属于脂质。糖类和脂质是我们食物中主要的营养成分，也是细胞中的重要化合物。细胞中常见的糖类和脂质种类有哪些？它们对维持细胞的结构和功能有哪些具体的作用？



图 2-21 以饴糖、果仁和酥油为馅的月饼

一、糖类是生命活动的主要能源物质

糖类(carbohydrate)在生物组织中普遍存在，但种类和含量存在差异。糖类分子大都是由 C、H、O 3 种元素组成的，多数分子中氢原子和氧原子之比是 2:1，因而糖类又常被称为“碳水化合物”。依据能否水解及水解产物的多少，糖类可以分为单糖、寡糖和多糖。

单糖是不能水解成更小分子的糖，其碳链可以含有 3 个碳到 7 个碳。核糖($C_5H_{10}O_5$)和脱氧核糖($C_5H_{10}O_4$)的碳链都含有 5 个碳原子，是五碳糖，它们是核酸的重要组成成分。葡萄糖、果糖、半乳糖是六碳糖，分子式均为 $C_6H_{12}O_6$ ，但它们的结构并不相同，其中葡萄糖是细胞生命活动中最常利用的能源物质，能被人体直接吸收并利用，被称作“生命的燃料”(图 2-22)。

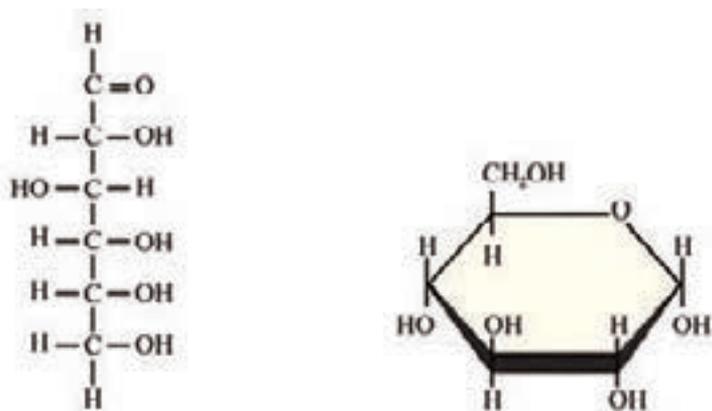


图 2-22 葡萄糖的链式和环式结构

寡糖一般是指水解后能生成 2~10 个单糖的低聚糖。最简单的寡糖是由两个单糖分子缩合形成的二糖，常见的二糖包括麦芽糖、蔗糖和乳糖等，它们的分子式都是 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 。蔗糖在甘蔗和甜菜里含量丰富；麦芽糖俗称饴糖，在发芽的麦粒和谷粒中较多；人和动物的乳汁中富含乳糖。这些二糖水解后均可形成两个单糖分子：麦芽糖水解生成两个葡萄糖分子，蔗糖水解生成葡萄糖和果糖，而乳糖水解生成葡萄糖和半乳糖。

多糖大都是由几百个到几千个葡萄糖分子缩合形成的生物大分子。淀粉、纤维素是植物体中常见的多糖，在一定条件下，彻底水解后形成葡萄糖。淀粉主要存在于植物的种子、果实、块根和块茎中，是植物细胞中储存能量的物质。纤维素是自然界中分布最广、含量最多的多糖，高等植物细胞的细胞壁主要由纤维素和另外一种多糖——果胶组成；棉纤维是棉花种子上的表皮毛，其纤维素含量接近 100%。动物细胞中的多糖是糖原，通常呈颗粒状，广泛分布在动物细胞中，尤以肝和肌肉细胞中的储存量最为丰富。肝糖原的合成、分解与血糖浓度的平衡密切相关（图 2-23）。

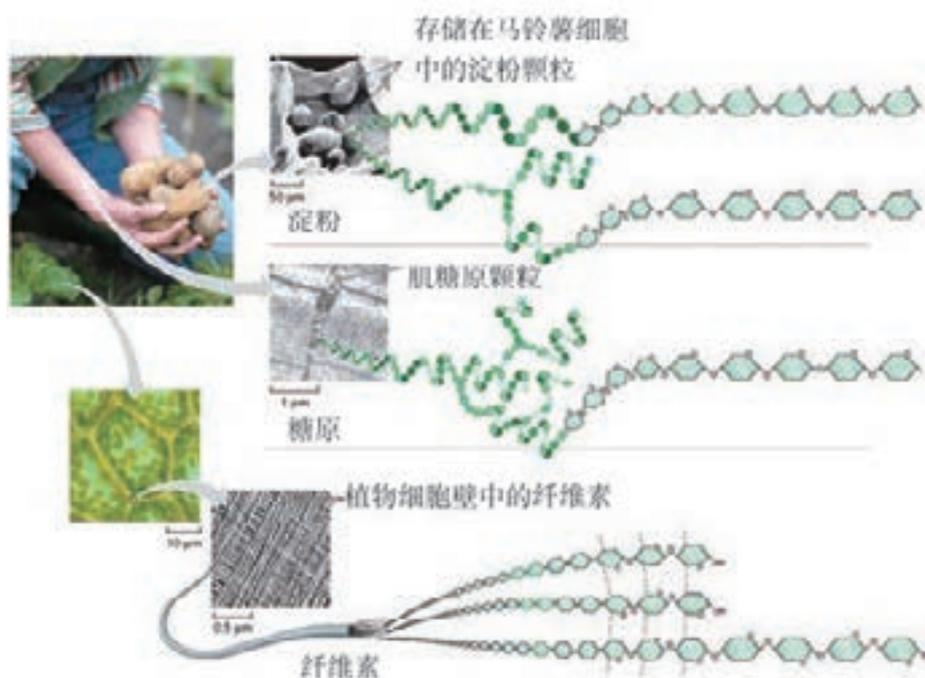


图 2-23 淀粉、糖原和纤维素示意图



实验探究

检测生物组织中的糖类

麦芽糖、葡萄糖、果糖等可溶性还原糖，能与斐林试剂在 50~65℃ 水浴条件下发生氧化还原反应，生成砖红色沉淀。淀粉不具有还原性，用斐林试剂处理不变色；但淀粉与碘液作用，碘分子被包在淀粉分子的螺旋结构中，会改变淀粉的吸光性质从而使淀粉显示出蓝紫色。将新鲜生物组织制成匀浆，可以用特定的颜色反应来鉴定生物组织中是否含有相应的糖类。

目的要求

掌握生物材料中还原糖和淀粉的鉴定方法。

材料器具

白萝卜、梨、甘蔗、马铃薯、葡萄糖溶液、可溶性淀粉溶液，碘液、斐林试剂（甲液：质量浓度为 0.1g/mL 的 NaOH 溶液；乙液：质量浓度为 0.05g/mL 的 CuSO_4 溶液）、蒸馏水，榨汁机、烧杯、量筒、滴管、酒精灯、温度计、吸水纸。

活动程序

1. 将白萝卜、马铃薯等生物材料洗净，去皮、切块、榨汁，收集榨取的汁液。
2. 取 3 支试管，编号为 A、B、C，分别加入 2mL 待测的两种组织样液和葡萄糖溶液，各加入 1mL 斐林试剂（甲液和乙液等量混匀后再注入），摇匀，放入 50~65℃ 的温水中，水浴加热 2min。
3. 另取 3 支试管，编号为 D、E、F，依次加入 2mL 待测的两种组织样液和淀粉溶液，各滴加 1~2 滴碘液，摇匀。
4. 以 C、F 试管颜色变化作对照，分别观察 A、B 和 D、E 试管的颜色变化。

▲ 安全警示

水浴加热时，试管不要接触烧杯底部，试管口不要朝向人。

分析讨论

1. 能否使用斐林试剂鉴定胡萝卜、番茄、西瓜或新鲜小油菜等生物材料中的还原糖？为什么？
2. 比较不同生物组织样液颜色的变化，可以得出什么结论？
3. 糖尿病是以高血糖和糖尿等为主要特征的代谢性疾病，检测尿中是否含有葡萄糖是诊断糖尿病的辅助手段。本实验的原理和方法能否用于尿糖的检测？

日常生活中，一提到糖，我们总会和甜味联系起来。在生物组织中检测到的还原糖，以果糖的甜度最高。但是，淀粉、纤维素虽然属于糖类，却没有甜味。木糖醇、蛇菊苷等不属于糖类，甜度却很高。

二、脂质对细胞的结构和功能具有重要作用

细胞中的脂质 (lipid) 主要包括脂肪、类脂和固醇。不同的脂质分子在化学组成和结构上有较大的区别,但它们大都是疏水的非极性分子,不溶于水,极易溶于非极性的有机溶剂(图 2-24)。



图 2-24 鸭用喙蘸取尾脂腺的分泌物涂抹羽毛

脂肪由 C、H、O 3 种元素组成,它是经甘油和脂肪酸反应形成的,因此又称为甘油三酯(图 2-25)。在动物皮下、大网膜、肠系膜等处的脂肪细胞中,常常会储存大量脂肪。

脂肪是生物体内很重要的储能物质。许多植物种子中储存大量脂肪,能满足萌发过程中的能量供应(图 2-26)。骆驼近一个月不进食也可以生存下来,原因之一就是骆驼峰中储备了大量脂肪。海豹的皮下脂肪层可厚达 60mm,能减少体内热量的散失,维持体温恒定,同时还具有缓冲外界机械压力的作用(图 2-27)。

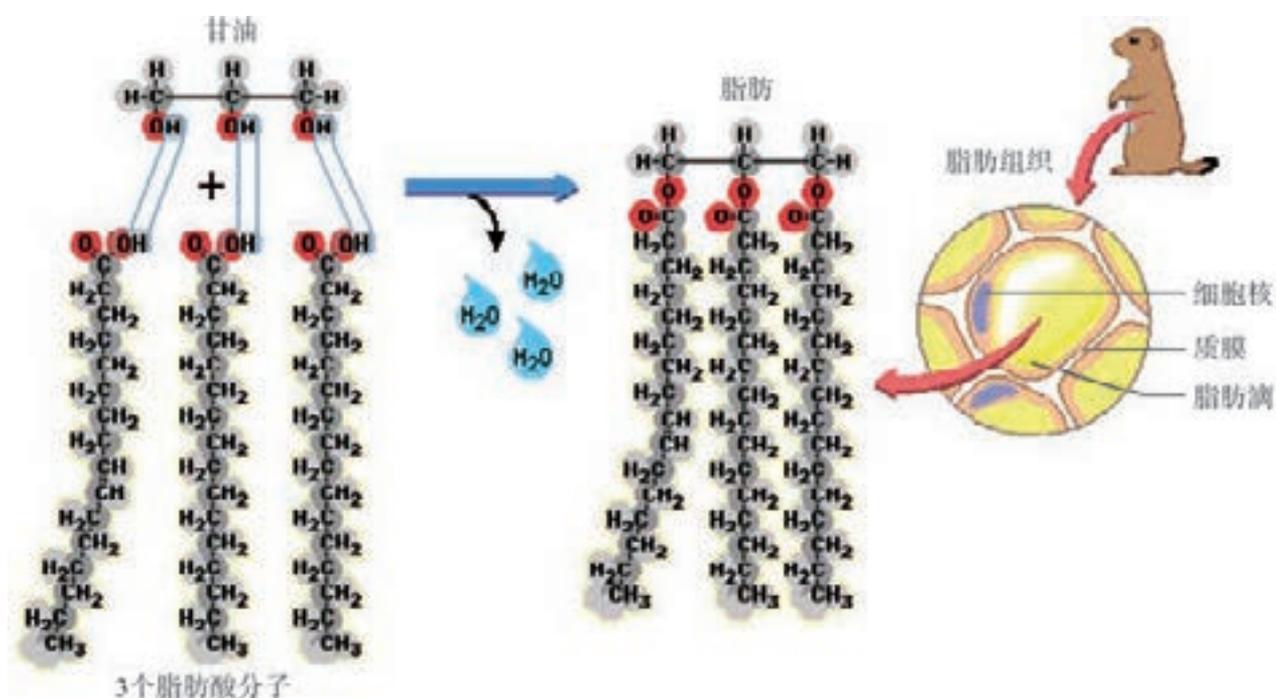


图 2-25 甘油和脂肪酸反应生成脂肪



图 2-26 花生种子富含脂肪



图 2-27 海豹的皮下富含脂肪

阅读空间

脂肪与人类健康

脂肪不仅可以提供能量，还能帮助人体吸收维生素，并与一些激素的合成有关，对维持人体正常代谢和健康发挥着不可或缺的作用。营养学家认为，人体摄入脂肪的数量和质量都非常重要，在饮食中脂肪摄入量过多或过少都是不科学的。组成脂肪的脂肪酸包括饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸。牛、羊等常见家畜的脂肪中主要是饱和脂肪酸，通常认为人体过量摄取饱和脂肪酸更容易导致心血管等方面的疾病。单不饱和脂肪酸（如油酸）在坚果和各种植物油中含量较高。多不饱和脂肪酸是人体不能合成的必需脂肪酸，在玉米油、菜籽油等大多数植物油以及深海鱼油中含量较多。食物摄入过多或机体代谢的改变会导致体内脂肪细胞数目增加、体积增大，进而使体内脂肪含量异常增高并沉积在身体某些部位。超重、肥胖不仅影响形体，还会诱发高血压、脂肪肝、糖尿病等多种疾病。通过合理膳食和适量运动，可以预防超重、肥胖等现象的发生。

在常温下，动物脂肪是固态的，因为构成它的脂肪酸以饱和脂肪酸（不含双键的脂肪酸）为主；而花生油、豆油、芝麻油等植物脂肪在常温下是液态的，因为植物脂肪中含有较多的不饱和脂肪酸（含有双键的脂肪酸）（图 2-28）。



图 2-28 我国古代民间制作小磨芝麻油的场景



实验探究

鉴定生物组织中的脂肪

苏丹Ⅲ（或苏丹Ⅳ）粉剂能溶于酒精，更易于溶解在脂肪中。苏丹Ⅲ穿过质膜并溶于细胞内的脂肪滴中，可使脂肪滴呈橘黄色（或红色）。如果将生物组织制成足够薄的临时装片，就能在显微镜下观察到细胞中一个个被染色后的脂肪滴。

目的要求

熟练使用高倍显微镜，初步掌握细胞中脂肪的鉴定方法。

材料器具

核桃或花生种子，苏丹Ⅲ染液（用 0.2g 苏丹Ⅲ加入 10mL 体积分数为 95% 的酒精中，充分搅拌溶解后再加 10mL 甘油，混匀后用定性滤纸过滤，保存在棕色瓶中备用）、清水、蒸馏水、体积分数为 50% 的酒精，刀片、载玻片、盖玻片、毛笔、吸水纸、培养皿、显微镜。

活动程序

1. 取一粒浸泡好的核桃或花生种子，去掉种皮。
2. 取种子的一瓣子叶，在子叶横断面上平行切下若干薄片，放入盛有清水的培养皿中。
3. 用毛笔小心蘸取最薄的切片放到载玻片中央，滴加 2 滴苏丹Ⅲ染液，染色 3min。
4. 用吸水纸吸去切片周围多余的染液，滴加 1~2 滴体积分数为 50% 的酒精洗去浮色，再迅速用吸水纸吸去酒精，在切片上滴加 1~2 滴蒸馏水，盖上盖玻片，制成临时装片。
5. 在低倍显微镜下找到子叶切片最薄处，换用高倍镜，观察细胞中的染色情况（图 2-29）。

▲ 安全警示

苏丹Ⅲ是人工合成的一种脂溶性染料，有一定的毒性，使用时应小心。一旦沾染皮肤，马上用体积分数为 50% 的酒精冲洗。

分析讨论

1. 脂肪滴在子叶细胞中的分布有何特点？
2. 如果用酒精洗去浮色的时间太长，观察到的实验现象会有什么不同？
3. 植物体虽然没有专门的脂肪组织，但核桃、花生、芝麻等很多植物会在种子的子叶细胞中储存丰富的脂肪，其意义是什么？

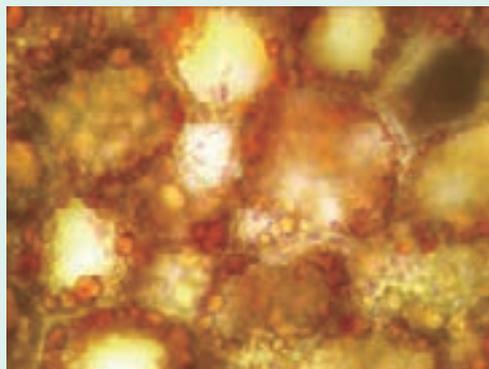


图 2-29 花生子叶细胞中的脂肪滴
(放大倍数: 200×)

类脂的物理性质与脂肪相似，但两者的化学结构却有较大的差别。类脂普遍存在于生物组织中，种类较多，主要包括磷脂（图 2-30）、糖脂等。磷脂是构成质膜等生物膜的主要成分，对维持生物膜的正常形态和功能具有重要作用，在动物的脑、肝和植物种子中含量丰富。糖脂也是构成质膜的成分，与细胞的识别和信息交流有关。

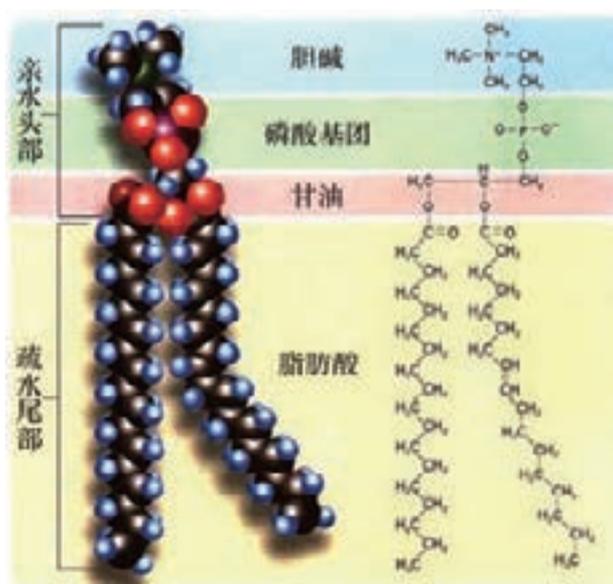


图 2-30 磷脂分子结构示意图

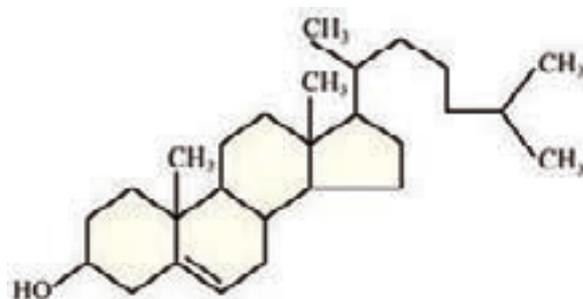


图 2-31 胆固醇分子结构示意图

固醇主要包括胆固醇、性激素和维生素 D 等。胆固醇是质膜的重要成分，也是人体合成性激素和维生素 D 所必需的前体物质（图 2-31）。人体内的胆固醇主要来自肝的合成，部分来自摄食。性激素主要由性腺合成，能促进人和动物生殖器官发育及生殖细胞的形成，激发并维持第二性征。维生素 D 能促进动物小肠对钙和磷的吸收。

一粒花生种子从吸水萌发到幼苗出土，一个苹果由幼嫩酸涩到甘甜芬芳，细胞中的糖类和脂质等化学成分在悄然变化——脂肪的水解，磷脂的合成，单糖的氧化分解，多糖的转运积累……糖类既是细胞的重要结构成分，又是生命活动中的能源物质；不同种类的脂质对维持细胞结构和功能起到了重要作用。

学业检测

1. 2015年10月，中国科学家屠呦呦因发现青蒿素获得诺贝尔生理学或医学奖。青蒿素是从黄花蒿中分离的一种抗恶性疟疾的脂质，分子式为 $C_{15}H_{22}O_5$ 。青蒿素与其他脂质分子都具有的特点是（ ）。

- A. 都只含有C、H、O 3种元素
- B. 都是生物大分子
- C. 是细胞中常见的能源物质
- D. 不溶于水而易溶于有机溶剂

2. 研究人员定期测量某油料作物种子成熟过程中可溶性糖、淀粉和脂肪等的含量变化，结果如图a中曲线1、2、3所示。他们又将收获后的种子放在适宜的黑暗环境中培养，测量萌发种子（含幼苗）的干重变化，曲线如图b所示。

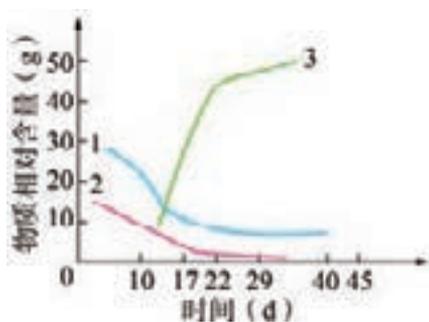


图 a

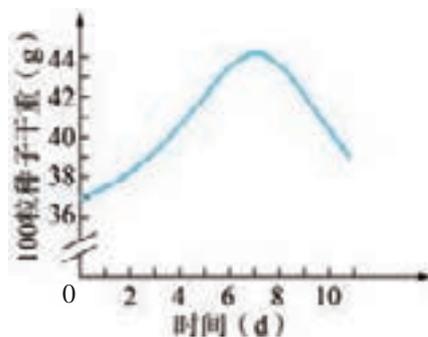


图 b

(1) 研究人员欲通过斐林试剂探究该油料作物种子在成熟过程中可溶性还原糖的含量变化，于是将处于成熟过程中第5天和第20天的等量种子制成组织样液，各取2mL加入A和B两支试管中，然后按照正确的鉴定操作要求进行实验。预期的实验现象是怎样的？结合图a分析这种现象产生的原因。

(2) 为了观察种子子叶中的脂肪，用苏丹Ⅲ染液对种子的_____染色，染色后须滴加体积分数为50%的酒精，目的是_____；之后，在显微镜下观察，可见_____色的脂肪微粒。

(3) 尝试解释图b中种子在萌发过程中干重先增后减的变化原因。

(4) 花生油色泽清亮、气味芬芳，富含对人体健康有益的不饱和脂肪酸，但不饱和脂肪酸容易发生“氧化”而使其营养价值受损。查阅资料或咨询家长，了解新榨的花生油应当怎样保存。

第四节 细胞的功能主要由蛋白质完成

1965年9月17日，以王应睐为首的中国科学家协作小组，历经数载艰辛探索，终于在世界上第一次人工合成了结晶牛胰岛素。牛胰岛素是一种蛋白质，与天然胰岛素分子相比，人工合成的这种蛋白质在化学结构和生物活性上完全相同。这一成果轰动了国际学术界，标志着人类在探索生命奥秘的征途上迈出了激动人心的一大步（图 2-32）。人工合成结晶牛胰岛素的过程是艰辛曲折的，因为蛋白质是生物大分子，结构异常复杂。那么，组成蛋白质分子的单体是什么？这些单体是如何连接成蛋白质的？蛋白质有哪些功能呢？



图 2-32 “人工合成结晶牛胰岛素五十周年”纪念邮票

一、蛋白质的基本组成单位是氨基酸

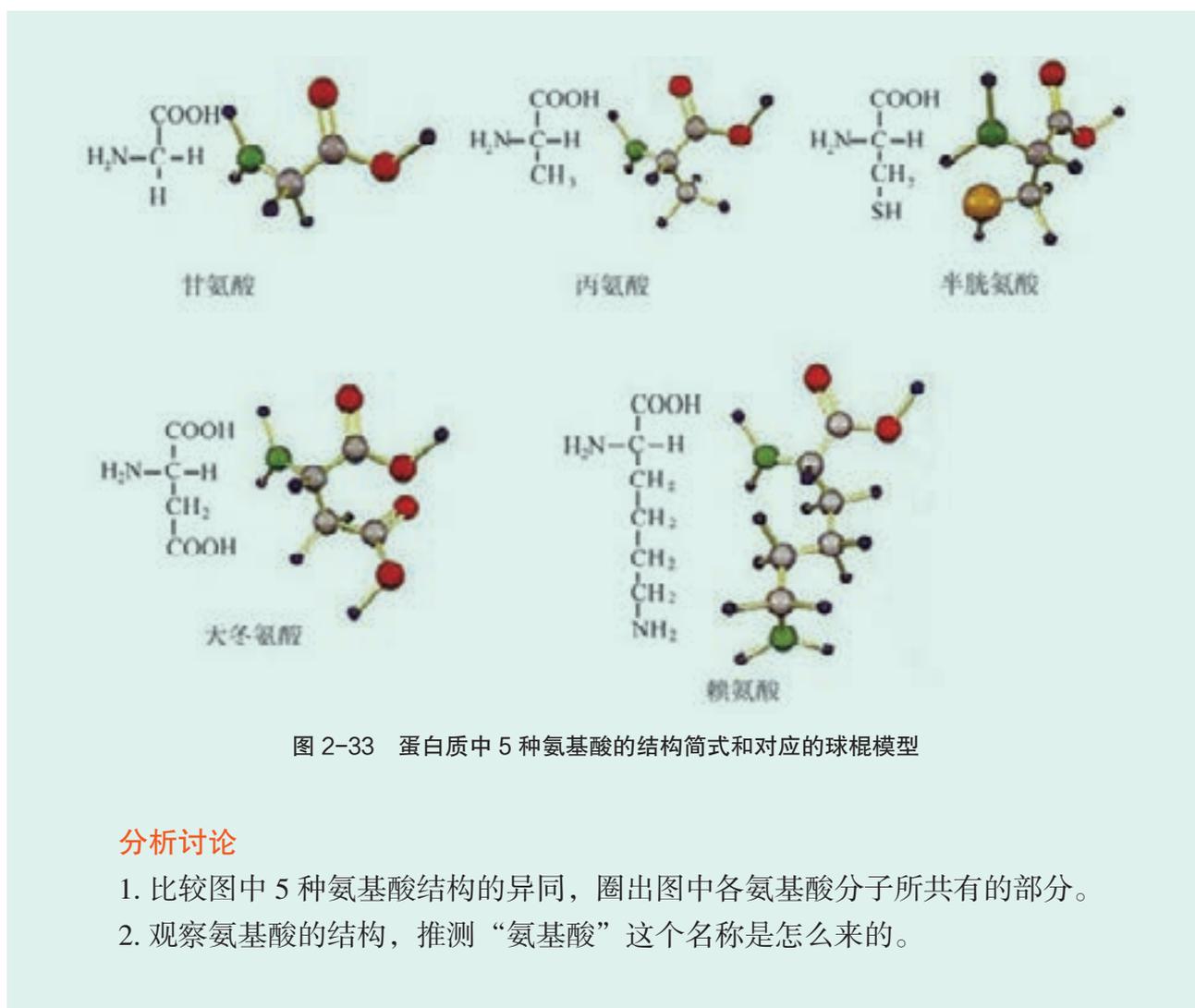
蛋白质在酸、碱或酶的作用下会发生水解反应。研究发现，蛋白质水解的最终产物都是氨基酸（amino acid）。天然蛋白质水解生成的氨基酸通常有 20 种，这些氨基酸都具有相似的结构特征。



模型建构

探究氨基酸分子结构的共同点

球棍模型是一种用来表现物质分子三维空间分布的空间填充模型，其中的“棍”代表共价键，“球”表示某种原子的中心。图 2-33 是天然蛋白质中 5 种氨基酸分子的结构简式和对应的球棍模型。



组成蛋白质的氨基酸都至少含有一个氨基（ -NH_2 ）和一个羧基（ -COOH ），并且都有一个氨基和一个羧基连接在同一个碳原子上。如果把氨基酸中各不相同的侧链基团称为 R 基（ -R ），则氨基酸的结构通式可以用图 2-34 来表示。

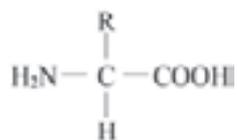


图 2-34 氨基酸结构通式

阅读空间

α 氨基酸和必需氨基酸

根据氨基连接的碳原子的位置不同，可对氨基酸进行相应的命名。当氨基酸中氨基连接在 α 碳原子上时，称为 α 氨基酸；当氨基连接在 β 碳原子上时，称为 β 氨基酸，以此类推（图 2-35）。研究表明，从各种生物体中发现的氨基酸已有 180 多种，但是参与天然蛋白质组成的氨基酸通常有 20 种，且均为 α 氨基酸。非蛋白质氨基酸多数是组成蛋白质的氨基酸的衍生物，也有一些是 β 氨基酸、γ 氨基酸和 δ 氨基酸。

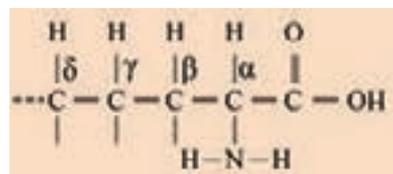


图 2-35 氨基酸的碳位示意图

营养学上将氨基酸分为必需氨基酸和非必需氨基酸两类。因人体自身不能合成或合成量不能满足人体需要，必须从食物中摄取的氨基酸叫作必需氨基酸。对成人来说，必需氨基酸有 8 种，包括赖氨酸、甲硫氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苏氨酸、缬氨酸、色氨酸、苯丙氨酸。对婴幼儿和孕妇来说，组氨酸和精氨酸的合成数量不能满足需求，仍需由食物提供，因此这两种氨基酸又称为半必需氨基酸。非必需氨基酸并不是人体不需要的氨基酸，而是说这些氨基酸人体自身可以有效地合成，不一定必须从食物中获取。

二、蛋白质由氨基酸分子缩合而成

在一定条件下，一个氨基酸的氨基可以和另外一个氨基酸的羧基发生缩合反应，以肽键相连形成肽，同时脱去一分子水（图 2-36），此反应是肽的生物合成或人工合成的分子基础。可以根据氨基酸残基的数目对肽进行分类。例如，由两个氨基酸残基构成的肽称为二肽，由三个氨基酸残基构成的肽称为三肽，以此类推。一般将由 12 ~ 50 个氨基酸残基构成的肽称为多肽，多肽常呈链状结构，叫作肽链。由 50 个以上氨基酸残基构成的肽通常称为蛋白质。

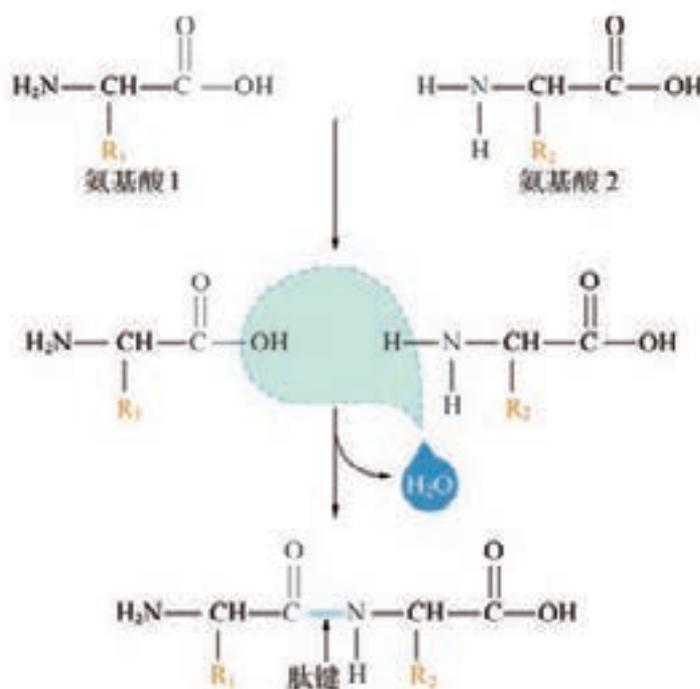


图 2-36 氨基酸缩合反应示意图



实验探究

检测生物组织中的蛋白质

双缩脲试剂因原本是用来检测双缩脲($\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$)而得名。蛋白质或多肽分子中含有很多与双缩脲结构相似的肽键,因此也能和双缩脲一样,与 Cu^{2+} 在碱性溶液中发生反应,生成紫色的化合物。该颜色反应常用于蛋白质的定性检测。

目的要求

尝试用双缩脲试剂检测生物组织中的蛋白质。

材料器具

鸡蛋清(或豆浆),双缩脲溶液、双缩脲试剂(A液:质量浓度为0.1g/mL的NaOH溶液;B液:质量浓度为0.01g/mL的 CuSO_4 溶液)、蒸馏水,试管、烧杯、滴管、量筒等。

活动程序

1. 将少许鸡蛋清置于小烧杯中,加入10倍量的蒸馏水并进行充分搅拌后静置。
2. 取3支试管,编号为甲、乙和丙,分别加入鸡蛋清稀释液、蒸馏水和双缩脲溶液各2mL。
3. 分别向3支试管中滴加双缩脲试剂A液2mL,摇匀,再分别加入双缩脲试剂B液3~4滴,摇匀,观察颜色变化。

⚠ 安全警示

NaOH溶液有强烈刺激性和腐蚀性,如果溅到皮肤上会腐蚀表皮,造成烧伤,使用时要格外小心。如不慎沾染皮肤,立即用大量清水冲洗。

分析讨论

1. 检测蛋白质时,能否先加入双缩脲试剂的B液再加入A液?
2. 检测过程中,双缩脲试剂B液的量只需3~4滴,不能过量,为什么?
3. 乳制品是用牛乳或羊乳等为主要原料加工成的食品,蛋白质的含量高低是衡量其质量的重要参数之一。如何使用双缩脲试剂来检测和比较乳制品等待测样品中的蛋白质含量?

在蛋白质分子中,每条多肽链的氨基酸残基的数目和排列顺序就是蛋白质的基本结构,也被称为蛋白质的一级结构(primary structure)。由于肽链中各种原子和官能团的大小及带电性质不同,氨基酸残基之间会发生相互吸引或排斥,蛋白质的多肽链并不呈线形伸展,而是会发生相应

的扭曲或折叠；在肽链内部或者肽链之间还会通过二硫键、氢键等相互连接，从而使蛋白质在一级结构的基础上形成空间上更为复杂而稳定的二级、三级和四级结构(图 2-37)。

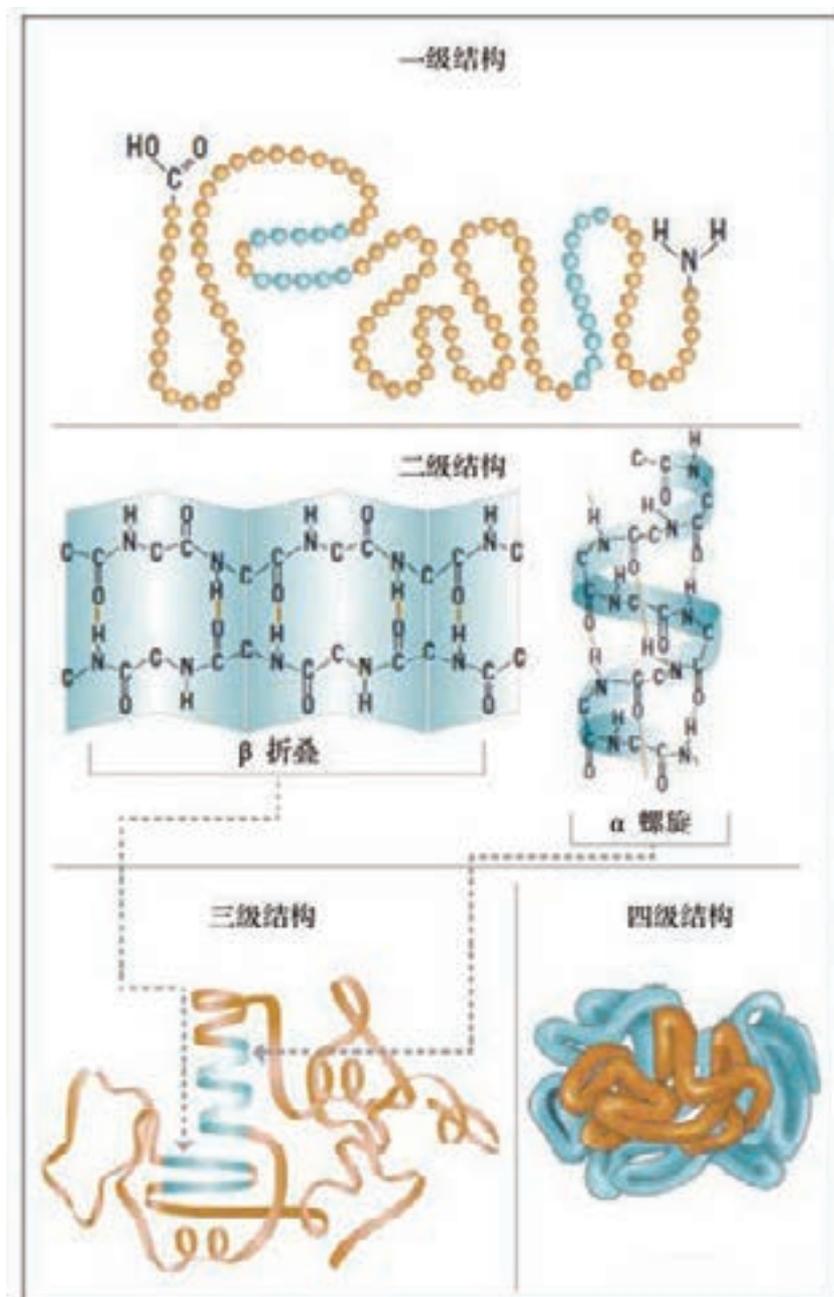


图 2-37 蛋白质分子结构示意图

阅读空间

蛋白质二级结构中的 α 螺旋和 β 折叠

在蛋白质中,形成肽键的氮原子上连有氢原子,N—H 之间的键是一种极性很强的共价键,这个带部分正电荷的氢原子会与另一个肽键中的带部分负电荷的氧原子相互吸引,形成氢键。肽链分子内形成氢键的强烈趋势,使多肽链不再像一条麻绳一样可以摆成任意的形状,而是

盘成螺旋或折叠起来，在此基础上形成更高级的空间结构并执行特定的功能。可见，氢键对维系蛋白质特定的空间结构起到了决定性的作用。

某些肽链的主链沿着“中心轴”盘绕，每一个氨基酸残基都处在合适的位置，第 n 个氨基酸残基的氧原子和氢原子能分别和第 $n+4$ 个氨基酸残基的氢原子以及第 $n-4$ 个氨基酸残基的氧原子之间形成氢键，相邻螺旋间形成的氢键几乎与螺旋的中心轴平行。虽然一个氢键的键能并不大，但由于所有氨基酸都与另外两个氨基酸之间形成氢键，从而形成一种非常稳定的空间结构即 α 螺旋。动物毛发中的角蛋白几乎全部是 α 螺旋构象，使得毛发具有很好的韧性。

两段或两段以上的肽链侧向聚集在一起，相邻多肽链相对应的酰胺氢和羰基氧之间形成氢键，氢键与肽链的长轴接近垂直，肽链通过这种方式连接形成的“片层”结构叫 β 折叠。按肽链的走向可以将 β 折叠分为平行和反平行两种。蚕丝和蛛丝蛋白都有较好的弹性，主要的空间构象就是 β 折叠。

由于组成蛋白质分子的氨基酸种类不同，数目成百上千，排列顺序变化多端，肽链的空间结构也千差万别，并且蛋白质往往由若干条肽链组成，因而蛋白质分子的结构极其多样。但是对于特定的蛋白质来说，氨基酸的种类和排列顺序、肽链的数目和空间结构是特定的，一旦氨基酸序列发生改变，肽链就可能会发生错误的折叠，蛋白质就会因三维空间结构出现异常而无法执行正常的生理功能。

思维训练

利用球棍模型构建三肽

领取 3 种氨基酸分子球棍模型各 3 个，观察这 3 种氨基酸的特点，将其逐一拆解并重新组装复原。利用这 3 种氨基酸的球棍模型，按照缩合的方式任意组合成三肽，在表示肽键的“棍”上贴上标记。

请计算：

1. 缩合过程中脱去的水分子数以及形成的肽键数。
2. 缩合完成后所能形成的三肽有几种？

在某些物理因素（高温、辐射、超声波、剧烈振荡等）和化学因素（强酸、强碱、重金属盐、有机溶剂等）的作用下，蛋白质高度有序的空间结构会被破坏，变为无序松散的伸展状态，从而导致其理化性质的改变和生物活性的丧失，

这种现象称为蛋白质的变性（denaturation）。例如，加热可以破坏维系蛋白质空间结构的氢键，使原来处于分子内部的疏水基团大量暴露在分子表面，而亲水基团在表面的分布则相对减少，蛋白质分子就会失去水溶性而聚集沉淀。灭菌、消毒主要就是利用不同的理化因素使蛋白质发生变性，从而使病原体失去活性。

蛋白质是构建细胞和生物体结构的基础“材料”。生物体内绝大多数的酶是蛋白质，具有催化功能；分布在质膜上或细胞内接受特定信号分子的各种受体主要是蛋白质；高等动物体内的很多激素也是蛋白质，具有调节和信息传递功能；红细胞中的血红蛋白和质膜上的载体蛋白具有物质运输功能；细胞中肌动蛋白、肌球蛋白等都具有运动功能；动物体内的免疫活性物质大都是蛋白质，具有免疫功能，可帮助机体抵御病原体的侵害。

细胞的功能主要是由蛋白质完成的，蛋白质结构的多样性决定了蛋白质功能的多样性，蛋白质是细胞和生物体生命活动的主要承担者。

学业检测

1. 玉米秸秆和叶片是制备青贮饲料的重要原材料。某科研单位培育了一种新的玉米品种（品种1），将该品种与普通玉米（品种2）叶片中粗提取的蛋白质进行水解并对水解产物进行分析，结果见下表（mg/g 干重）：

氨基酸名称	品种 1	品种 2	氨基酸名称	品种 1	品种 2
天冬氨酸	17.05	13.67	异亮氨酸	7.79	6.91
苏氨酸	8.46	6.59	亮氨酸	18.90	15.54
丝氨酸	8.88	7.54	酪氨酸	6.97	6.68
谷氨酸	20.16	15.83	苯丙氨酸	9.09	8.75
甘氨酸	9.72	9.30	赖氨酸	10.82	9.08
丙氨酸	15.70	13.87	组氨酸	4.98	4.83
半胱氨酸	0.80		精氨酸	9.65	6.87
缬氨酸	10.34	9.93	脯氨酸	13.94	10.08
甲硫氨酸	3.62	4.27			

请回答下列问题：

- (1) 不同品种的玉米蛋白质彻底水解后得到的产物均是氨基酸，说明了_____。
- (2) 由于组成蛋白质的氨基酸_____、_____和_____不同，肽链的_____不同，因而同一品种玉米的蛋白质在结构上具有多样性。
- (3) 上述两个玉米品种中，茎叶更适合加工成牲畜饲料的是品种_____，理由是_____。
- (4) 营养学家认为，蛋、奶、肉、鱼中的动物蛋白质大都比植物蛋白质更优质。查阅资料，了解优质蛋白质化学组成方面的特点。

2. 从 1958 年开始，中国科学院上海生物化学研究所、上海有机化学研究所和北京大学三家单位联合攻关，终于在 1965 年人工合成了具有全部生物活性的结晶牛胰岛素。图 a 为牛胰岛素肽链结构示意图，其中的数字为氨基酸序号，二硫键是由两个“—SH”连接而成的；图 b 是胰岛素部分肽链放大图。

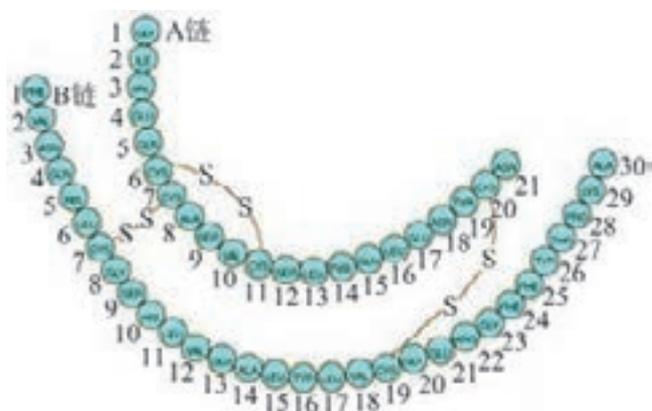


图 a

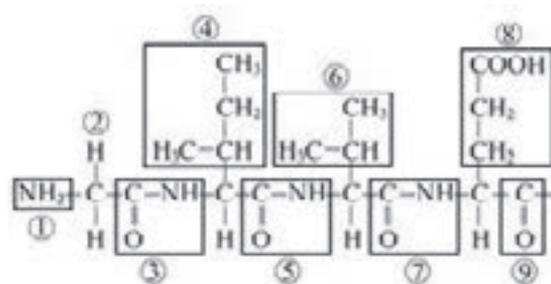


图 b

(1) 生物体中不同的蛋白质具有不同的生物活性和功能。胰岛素是动物胰岛细胞分泌的能够降低血糖的一种蛋白质类激素。与结晶牛胰岛素的生物活性没有直接关系的选项是 ()。

- A. 胰岛素分子中氨基酸的种类和肽键的数目
- B. 胰岛素分子中二硫键的数目和位置
- C. 胰岛素分子两条链的空间结构
- D. 胰岛素分子中氨基酸缩合的方式

(2) 一个牛胰岛素分子由 51 个氨基酸缩合而成。根据图 a 判断，一个胰岛素分子中含有_____条肽链，_____个肽键。氨基酸形成胰岛素后，相对分子质量比原来的总相对分子质量减少了_____。

(3) 图 b 中表示 R 基的序号是_____，含有肽键的序号是_____。

(4) 经过科学家测定，人胰岛素和牛胰岛素只有 3 个氨基酸不同，分别表现在 A 链的第 8 位、第 10 位和 B 链的第 30 位。糖尿病患者注射的胰岛素针剂若用等剂量的牛胰岛素替代，也会有一定的疗效，为什么？

第五节 核酸是储存与传递遗传信息的生物大分子

条形码技术已广泛应用于现代社会的各个领域。超市中大部分商品的产地、质地、配方和价格等专属信息都蕴含在它的条形码中。同样，控制每一个生物个体形态结构和生命活动的遗传信息也有自己独一无二的“条形码”——DNA（图 2-38）。DNA 是一类核酸，它在个体识别、亲子鉴定、物种分类等方面起到了几乎无可替代的作用。核酸为什么具有高度的个体特异性？它具有怎样的基本结构？在生命活动中有什么重要的作用？

一、核酸的发现历程

1868 年，在德国蒂宾根大学的化学实验室里，年仅 25 岁的瑞士籍青年化学家米歇尔（F. Miescher，图 2-39）正在从事脓血中细胞化学成分的研究。他把脓血细胞用特定的化学试剂处理后，发现细胞核中有一种不含硫而含磷量远高于蛋白质的有机酸，其溶解度以及对胃蛋白酶的耐受性都说明这是一种不同于蛋白质的细胞成分，米歇尔将其命名为“核素”。米歇尔的导师、著名德国化学家霍佩-赛勒（E. Hoppe-Seyler）最初对此将信将疑，但后来他自己也在研究酵母菌化学成分的过程中发现了类似的物质。



图 2-39 米歇尔

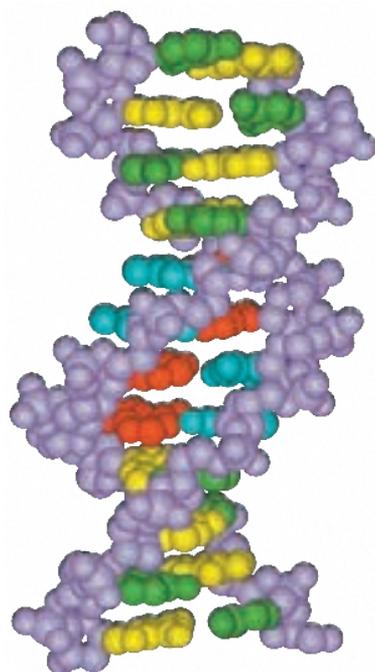


图 2-38 DNA 分子结构模型



经典再现

对“核素”化学组成的探究

米歇尔的研究成果受到当时许多人的批评和质疑，他们认为，“核素”无非是一种不纯净的被磷酸盐污染了的蛋白质而已。但此后的一系列研究表明，“核素”在细胞中是真实存在的。

[资料 1] 从 1879 年开始，霍佩 - 赛勒的另一个学生——德国生物化学家科塞尔 (A. Kossel) 开始用水解的方法系统研究核素的结构，结果发现核素是蛋白质和有机酸的复合物。在核素的水解产物中，他得到了嘌呤和嘧啶两类含氮的碱基、磷酸、具有糖类性质的物质和氨基酸。

[资料 2] 1889 年，米歇尔的学生——德国病理学家阿尔特曼 (R. Altmann) 从酵母菌和动植物组织细胞的细胞核中提取出了纯净的、不含蛋白质的酸性物质，于是他将“核素”更名为“核酸” (nucleic acid)。

[资料 3] 1911 和 1929 年，科塞尔的学生——美国生物化学家列文 (P. Levene) 先后从核酸的水解产物中提取出核糖和脱氧核糖，从而证明了核酸所含糖类的性质和结构。经过多年的核酸水解实验，列文发现每一种核酸可被水解成一系列组合片段，他将其称为核苷酸。列文提出了核酸的一级结构，还根据当时比较粗略的化学分析数据提出了“四核苷酸假说”。

分析讨论

1. 米歇尔被公认为发现核酸的第一人。他所说的“核素”与阿尔特曼所说的“核酸”是同种物质吗？
2. 科塞尔和列文都通过水解的方法研究核素的化学结构，这对分析核素的结构有何帮助？
3. “四核苷酸假说”认为，核酸的基本结构单元是由排列顺序不变的 4 种核苷酸顺次连接成的四核苷酸，以此为基础再聚合成核酸。为什么有人说“四核苷酸假说”在一定程度上阻碍了人们对核酸功能的深入研究？

20 世纪上半叶，学术界已经认识到蛋白质结构的复杂性和功能的多样性，人们大都相信蛋白质可以携带丰富的遗传信息。即使核酸被发现以后，依然被“冷落”了数十年。1944 年，奥地利物理学家薛定谔 (E. Schrödinger) 在《生命是什么》一书中提出了生命密码的概念，并试图用物理学和化学的理论来解释生命的本质。他的思想影响了一代生物学家，并推动了分子生物学的蓬勃发展。后来随着技

术手段的进步和实验研究的不断深入，核酸在生命舞台的核心地位才得以确认。

二、核酸包括 DNA 和 RNA

根据化学组成不同，核酸分为两大类，一类是脱氧核糖核酸（deoxyribonucleic acid），简称 DNA；另一类是核糖核酸（ribonucleic acid），简称 RNA。

早在 1940 年，比利时的布拉舍（J. Brachet）在前人实验成果的基础上，通过研究证明了甲基绿和派洛宁这两种碱性染料对 DNA 和 RNA 的亲合力不同，对核酸分子具有选择性的染色效果，可以显示出 DNA 和 RNA 在细胞中的分布位置（图 2-40）。

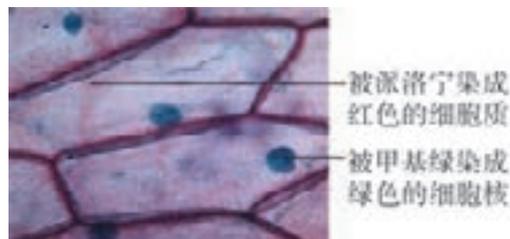


图 2-40 甲基绿—派洛宁混合染液染色后的洋葱内表皮
(放大倍数:400×)

原核细胞的 DNA 主要存在于拟核中，部分原核细胞的细胞质中还有质粒，质粒和拟核中的 DNA 分子都是环状的，但质粒的相对分子质量较小。

对于真核生物来说，细胞中的 DNA 主要分布在细胞核内的染色质上；而 RNA 主要分布在细胞质中，在细胞核的核仁等处也有少量分布。另外，在线粒体和叶绿体中均含有少量的 DNA 和 RNA。

三、核酸由核苷酸聚合而成

核酸水解可得到多个核苷酸（nucleotide）。核苷酸是核酸的基本组成单位，即组成核酸分子的单体。每个核苷酸分子又可彻底水解为一分子磷酸、一分子五碳糖和一分子含氮的碱基（图 2-41）。DNA 和 RNA 的主要区别就在于五碳糖不同，DNA 分子中的五碳糖是脱氧核糖，而 RNA 分子中的五碳糖是核糖。

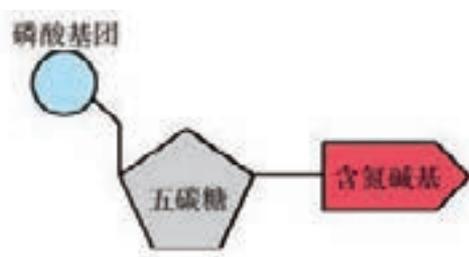


图 2-41 核苷酸构成示意图

一个核苷酸中的五碳糖和另一个核苷酸中的磷酸基团之间，可以通过聚合形成酯键相连，成千上万甚至数百万的核苷酸相互连接，就聚合成了不分支的线性生物大分子，其相对分子质量可达几万、几十万乃至上千万。DNA 一般由两条核苷酸长链组成，而 RNA 一般由一条核苷酸长链组成（图 2-42）。

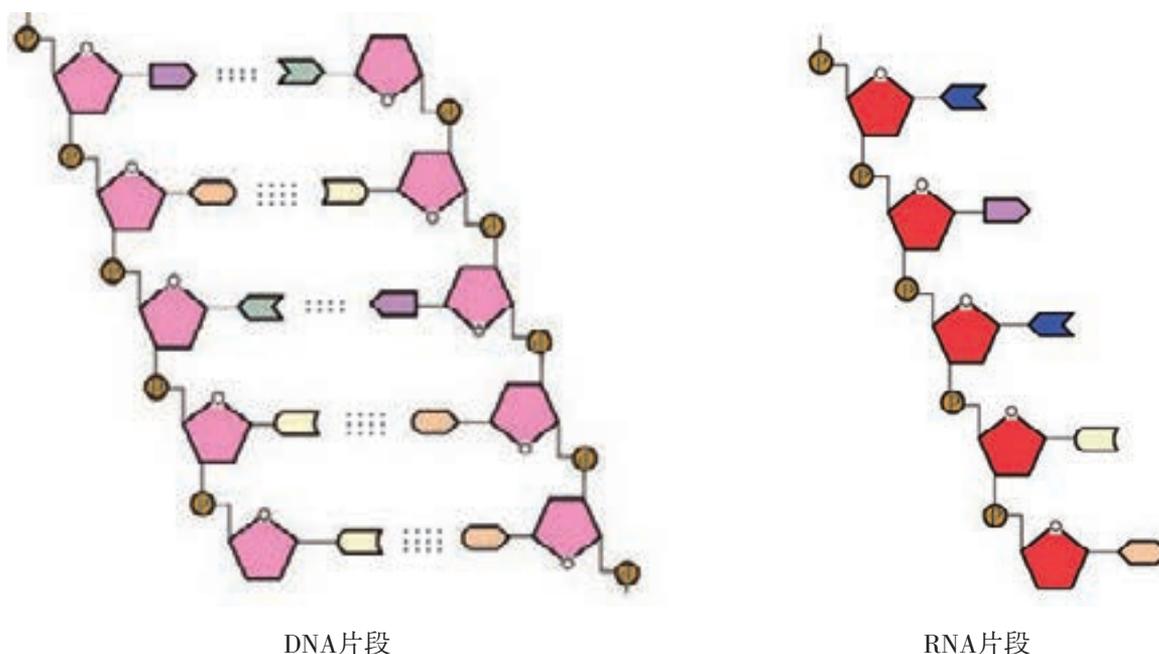


图 2-42 DNA 和 RNA 片段示意图

核酸中核苷酸的排列顺序代表着遗传信息。DNA 中储存的遗传信息经过复制后，会随着细胞分裂传递给子细胞，也会随着生物的繁殖通过生殖细胞传递给下一代。病毒的 DNA 或 RNA 中储存的遗传信息，也能大量复制，传递给子代病毒。由此可见，核酸是储存和传递遗传信息的生物大分子。

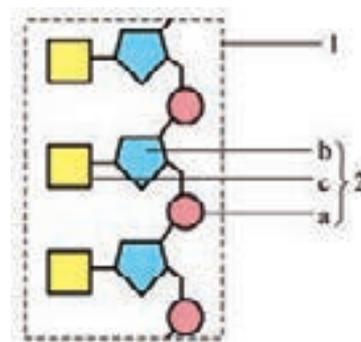
核酸分子如同一本本“生命天书”，一组组的核苷酸就是书写“天书”的“文字”。“生命天书”蕴藏了浩若烟海的关于生命的结构、功能和生老病死的遗传信息，正是核酸指导编码了千差万别的蛋白质，才造就了丰富多彩的生物界！

学业检测

1. 实验室培养蛙受精卵时,在培养液中加入一种被 ^3H 标记的小分子化合物,一段时间后,用放射自显影技术检测到放射性物质主要集中于蛙胚细胞的细胞核中。由此判断该被标记的小分子化合物可能是一种()。

- A. 氨基酸 B. 单糖 C. 组成 DNA 的核苷酸 D. 组成 RNA 的核苷酸

2. 2001年2月22日,78只野生大熊猫的基因身份证在浙江大学制作完成,大熊猫的“户籍”管理将从此进入更为科学的基因时代。大熊猫的基因身份证主要是由代表每只大熊猫性别和个体特征的遗传信息“条形码”构成。右图为大熊猫细胞中某核苷酸长链片段示意图。



(1) 大熊猫遗传信息的“条形码”是什么?它为什么能蕴含每只大熊猫性别等个体的特征?

(2) 图中1和2的关系可以概括为_____ ; 1的初步水解产物是_____, 1彻底水解后的产物是_____ (填图中的标号)。

(3) 从分子水平上研究野外生存的大熊猫个体之间亲缘关系的远近,除了比较基因身份证上的“条形码”的差异之外,还可以分析每个个体细胞中()。

- A. 磷脂等脂质的含量 B. 糖原等糖类的单体序列
C. 氨基酸和核苷酸的种类 D. RNA 和蛋白质的结构

 学业要求

重要概念	节次	学科素养
细胞由多种多样的分子组成，包括水、无机盐、糖类、脂质、蛋白质和核酸等，其中蛋白质和核酸是两类最重要的生物大分子。	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆说出细胞主要由C、H、O、N、P、S等元素构成，其中以碳链为骨架形成复杂的生物大分子。认同生命的物质性，形成生物界在物质组成上的统一性的物质观。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆指出细胞中的水以自由水和结合水的形式存在，在生命中具有重要作用。通过植物组织中含水量的测定，培养实施实验方案以及分析讨论结果的能力，掌握科学探究的基本思路和方法，培养合作意识。 ◆举例说出无机盐在细胞内含量虽少，但与生命活动密切相关。通过对幼苗进行全素和缺素培养的课题研究，掌握科学探究的基本思路和方法，同时培养解决实际问题的担当和能力。
	第三节	<ul style="list-style-type: none"> ◆概述糖类有多种类型，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。确立生命的物质与能量观。 ◆举例说出不同种类的脂质对维持细胞结构和功能有重要作用，形成物质功能的多样性和复杂性的功能观。 ◆通过鉴定生物组织中的糖类和脂肪，提高科学探究的实践能力。
	第四节	<ul style="list-style-type: none"> ◆阐明蛋白质通常由20种氨基酸分子组成，它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。形成结构与功能相适应、物质功能多样性的生命观念。 ◆通过分析氨基酸分子结构的共同点，发展归纳与概括的科学思维方法。 ◆通过鉴定生物组织中的蛋白质，提高科学探究的实践能力。
	第五节	<ul style="list-style-type: none"> ◆概述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，形成生命的物质观。 ◆通过分析“核素”的化学组成，体会科学家的探索历程，养成在科学探究过程中尊重事实和证据的习惯，培养科学的思维方法。



为什么大多数现存生物的遗传物质是 DNA 分子

核酸包括 DNA 和 RNA，为什么大多数现存生物的遗传物质是 DNA 分子？

RNA 是神秘而且富有活力的生物分子之一。随着人们对 RNA 功能多样性认识的不断深化，一些科学家认为 RNA 很可能先于 DNA 出现。20 世纪 80 年代中后期，科学家提出了“RNA 世界”假说：在生命起源早期的某个时期，曾经有过一个由 RNA 组成或由 RNA 控制下的生命世界，即 RNA 世界。这些早期的 RNA 分子既具有类似 DNA 的遗传信息储存和复制功能，又具有类似蛋白质的催化功能。

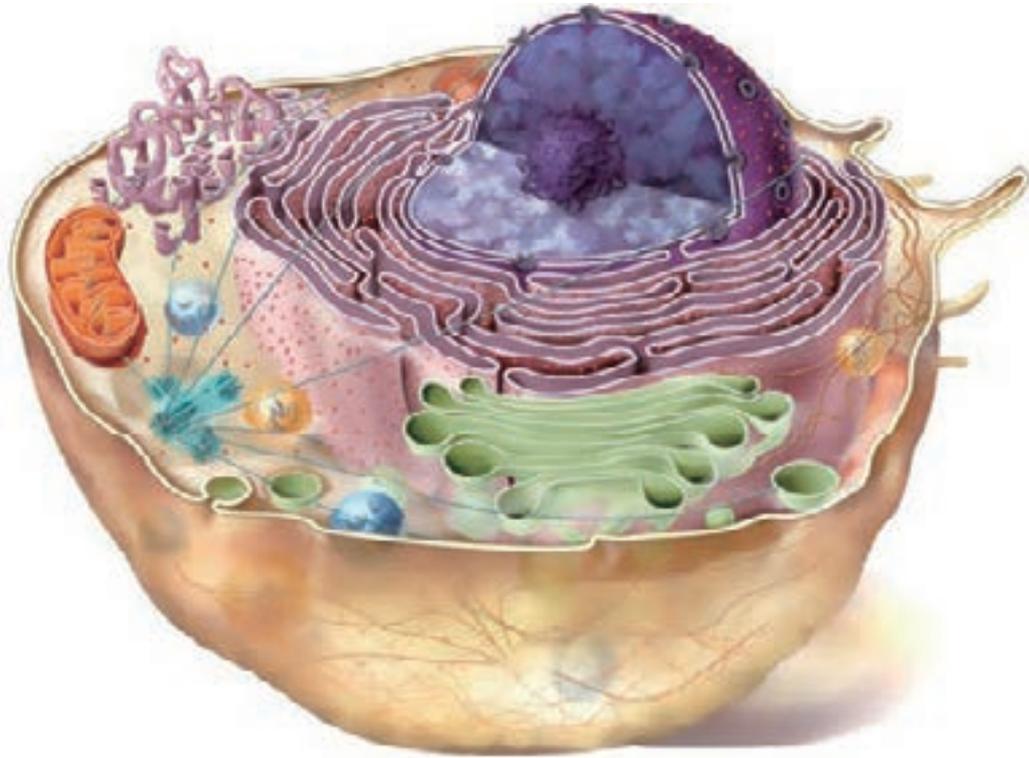
RNA 几乎可以完成蛋白质和 DNA 的所有功能。例如，RNA 能以自身多核苷酸链为模板进行自我复制，满足遗传信息传递的基本要求；RNA 可为核糖体和其他一些亚细胞结构提供支撑或附着的骨架；科学家还在大肠杆菌、四膜虫等生物中发现 RNA 具有酶的活性（被称为核酶）。但是，RNA 的结构很不稳定，容易受到周围环境的影响而发生突变，携带遗传信息的能力不如 DNA，在作为功能分子方面其多样性和催化效率又远不及蛋白质。在“RNA 世界”以后的亿万年进化过程中，RNA 逐渐将其功能转给了 DNA 和蛋白质。

一方面，与 RNA 相比，DNA 的结构和化学性质更加稳定，更适合作为遗传信息长期储存的载体。另一方面，在 DNA 分子中，双链上的对应碱基通过氢键“焊接”配对，就像是拉链的齿牙那样“丝丝入扣”，保证了 DNA 复制能准确无误地进行。同时，氢键在特殊环境条件下（如宇宙射线、化学物质等）容易断开，可能导致 DNA 发生突变，使生物出现新性状。这是生物遗传与变异如此完美和谐的微观解释之一。

大多数生物选定 DNA 作为遗传物质，碱基的种类也是一个重要的原因。DNA 和 RNA 所共有的碱基是腺嘌呤、鸟嘌呤和胞嘧啶，DNA 分子中特有的碱基是胸腺嘧啶，RNA 中特有的碱基是尿嘧啶。尿嘧啶与胸腺嘧啶都能与腺嘌呤配对，可 DNA 为什么不含尿嘧啶呢？原来，胞嘧啶容易与亚硝酸盐反应，也容易自发地脱氨基而转变为尿嘧啶，而细胞无法辨明尿嘧啶是自身原有的还是胞嘧啶突变来的。事实上，DNA 分子中一旦出现尿嘧啶，则一般是胞嘧啶脱氨基转变来的，这样就能被“系统”相关的酶迅速识别并切除，从而保证 DNA 携带的遗传信息相对稳定。

大多数现存生物以 DNA 作为遗传物质，DNA 分子所具备的复制系统和防止变异的“纠错”机制，既保持了生命世界的稳定和谐，又能使其不断地发展进化。

第三章 细胞具有分工合作的复杂结构



布莱森 (B. Bryson) 在《万物简史》中有这样的描述：“每个细胞都是自然界的
的一个奇迹。即便是最简单的细胞，其构造的精巧程度也是人类的智慧难以企及
的。”细胞结构与功能的复杂程度远远超出人们的想象：细胞内一刻不停地进行着
规模巨大的化学反应，貌似拥挤不堪、纷繁混乱，实则疏密有致、有条不紊……小
小的细胞内部究竟有哪些精细结构？它们之间是如何协调配合，成就自然进化的最
高形式——生命的呢？





课题研究

制作细胞模型

精致的玩具汽车，美丽的芭比娃娃，承载着多少儿时美好的记忆！其实这些玩具大都是模型。模型不仅与人们的日常生活联系密切，而且通过构建模型可以发展想象力、训练科学思维和培养动手能力。真核细胞的形体虽然微小，但是其内部结构却非常精密，保证了复杂生命活动的高度有序。尝试利用身边的材料，根据本章所学内容，建立并完善真核细胞模型。

提出问题

怎样制作一个真核细胞模型？

制订并实施研究计划

1. 如何确定建模细胞的形态结构？

- ◆ 查阅资料，了解不同种类真核细胞的形态和结构，并借助显微镜观察与图文资料进行对照。
- ◆ 研究小组共同商定所要制作模型的细胞种类。

2. 如何制作细胞模型？

- ◆ 按照细胞各部分形态结构的比例，绘制出细胞模型的形态结构简图。
- ◆ 选择橡皮泥、泡沫塑料、琼脂等合适的制作材料。
- ◆ 按照简图制作细胞模型。有条件的可以利用电脑制图，通过3D打印制作模型。

成果交流

1. 各小组展示制作的细胞模型，并从科学性和艺术性等方面进行评价。
2. 各小组根据其他组同学的建议进一步完善本组制作的细胞模型。
3. 比较模型细胞与真实细胞的差别，体会细胞结构的复杂性和有序性。



图 3-1 真核细胞模型

第一节 细胞都由质膜包裹



图 3-2 电子显微镜下的质膜

1674 年，列文虎克第一次看到了活细胞。在此后的 200 多年里，人们观察了更多类型的细胞，但却一直未能直接观察到质膜的存在，直到 20 世纪 50 年代末期，伦敦大学的罗伯特森（J. Robertson）才在电子显微镜下观察到质膜的结构（图 3-2）。人类对质膜的认识经历了哪些阶段？作为细胞的界膜，质膜在结构和功能上必须具备哪些特点才能“恪尽职守”呢？

一、质膜主要由脂质和蛋白质构成

无论是真核细胞还是原核细胞，它们的外层都有一层膜结构包围着，为了与细胞内的其他膜结构区分开，我们将其称为质膜（plasma membrane），也称细胞膜。



经典再现

对质膜结构的早期认识

科学家为了研究质膜的结构，设计了许多巧妙的实验。这些实验对于探索质膜的成分和构建质膜的结构模型具有重要意义。

[资料 1] 1895 年，英国生物学家奥弗顿（E. Overton）利用多种化学物质对植物根毛细细胞的透性进行实验，发现脂溶性物质比水溶性物质更容易透过质膜进入细胞中。

[资料 2] 1917 年，美国化学家朗缪尔（I. Langmuir）将磷脂溶于苯中，并与水混合，当苯挥发完以后，磷脂分子在水面上分布散乱，经过推挤，磷脂分子排列成了单层，而且其磷酸基团的极性头部浸入水中，疏水端浮于水面。

[资料 3] 1925 年，荷兰生物学家霍尔特（E. Gorter）和格伦德尔（F. Grendel）用丙酮从人的红细胞中提取脂质，利用朗缪尔的方法，在空气-水界面上将其铺展成单分子层，测得单分子层的面积约为红细胞表面积的 2 倍（图 3-3）。

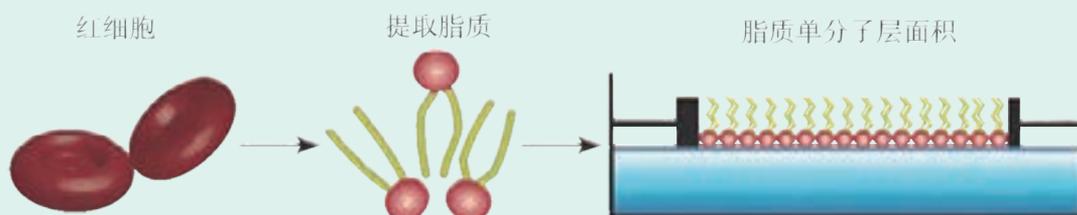


图 3-3 从红细胞中提取脂质并测量分子层面积

分析讨论

1. 奥弗顿的实验可以得出什么结论？
2. 推测一下，红细胞质膜是由几层脂质分子组成的？
3. 质膜内外都是以水为介质的液体环境，请猜测质膜中脂质的排列方式。

1935年，英国生物学家丹尼利（J. Danielli）和达夫森（H. Davson）研究了质膜的张力。他们发现，细胞的表面张力明显低于油-水界面的张力，由此推断质膜除含有脂质分子外，可能还含有其他物质。随着研究的深入，人们认识到质膜主要由脂质和蛋白质组成。

1970年，美国生物学家弗赖伊（L. Frye）和埃迪登（H. Edidin）用绿色荧光染料标记小鼠细胞表面的蛋白质分子，用红色荧光染料标记人细胞表面的蛋白质分子，将小鼠细胞与人细胞融合。两种细胞刚融合时，融合细胞的一半发绿色荧光，另一半发红色荧光。将融合细胞在 37℃环境中培养 40 min，两种颜色的荧光均匀分布（图 3-4）。可见，构成质膜的分子是可以运动的。

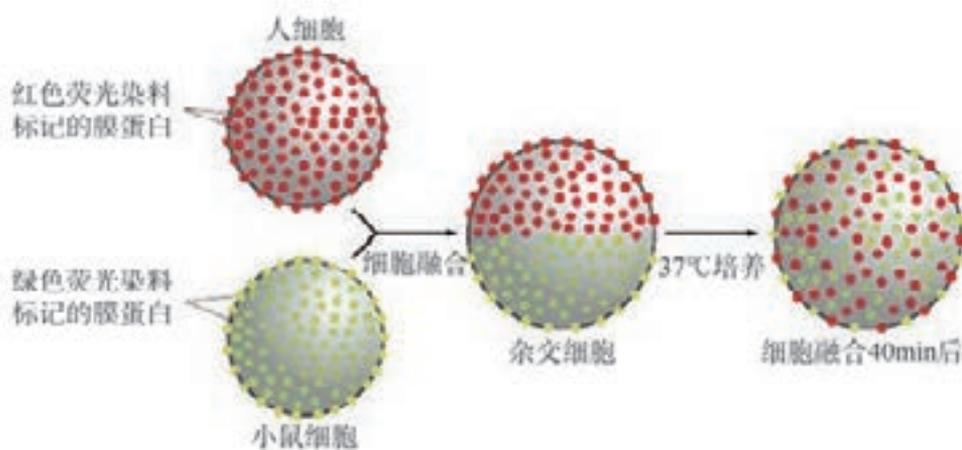


图 3-4 人-鼠细胞融合实验示意图

在探索质膜结构的过程中，科学家陆续提出一些质膜的结构模型。目前被普遍接受的是 1972 年英国生物化学家辛格 (S. Singer) 和美国细胞生物学家尼科尔森 (G. Nicolson) 提出的流动镶嵌模型 (fluid mosaic model) (图 3-5)。

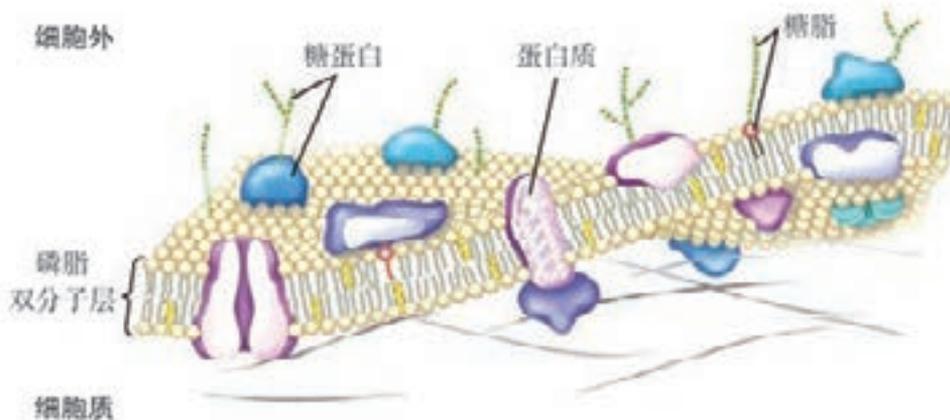


图 3-5 质膜的流动镶嵌模型

流动镶嵌模型认为，质膜主要由脂质和蛋白质组成。构成质膜的脂质主要为磷脂分子，它包括亲水性的头部和疏水性的尾部。磷脂分子以疏水性的尾部相对，亲水性的头部朝向两侧，构成了磷脂双分子层，以此作为质膜的基本骨架。质膜中蛋白质的分布是不对称的，它们以不同深度覆盖、镶嵌或贯穿于磷脂双分子层中。构成质膜的磷脂分子和蛋白质分子大多是可以流动的。

在质膜外侧，有些膜蛋白和磷脂还与糖链结合，形成糖蛋白和糖脂，能帮助细胞识别化学信号和负责细胞间的相互识别。膜蛋白是质膜功能的主要执行者，占膜质量的 40%~50%。质膜中的脂质除磷脂外，还有一些固醇类物质，其中胆固醇可以调节膜的流动性，增加膜的稳定性。

阅读空间

脂筏模型

1997 年德国生物学家西蒙斯等研究发现，质膜的磷脂双分子层并不是完全均匀的结构，内部存在富含胆固醇、鞘磷脂和特定种类膜蛋白的微小区域。由于鞘磷脂具有较长的饱和脂肪酸链，分子间的作用力较强，所以这些区域结构致密，如同漂浮在磷脂双分子层上的“筏”，

称为脂筏。脂筏载着具有生物功能的膜蛋白，就像一个蛋白质停泊的平台，与膜的信号传递、物质的跨膜运输及病原体侵染细胞和蛋白质分选等均有密切的关系。脂筏最初可能在内质网上形成，转运到质膜上后，有些脂筏可在不同程度上与膜下细胞骨架蛋白交联。据推测，一个直径 100nm 大小的脂筏可能载有 600 个蛋白质分子。

二、质膜具有多种功能

细胞与外界环境所发生的一切联系和反应都要通过质膜来完成。

细胞处在水环境中，由于质膜磷脂双分子层的化学特性和结构特点，水溶性物质很难自由通过由磷脂分子的尾部构成的疏水区域，从而可以在一定程度上保护细胞不受外来物质的干扰和有害物质的侵袭。

质膜控制着细胞内外的物质进出。水、无机盐、氨基酸、葡萄糖、甘油、脂肪酸等各种营养物质的吸收，尿素、二氧化碳等代谢废物的排出以及抗体、激素等物质的分泌，都由质膜控制。在质膜受到病原体的侵染或者发生病理性改变时，质膜控制物质进出的能力就会下降。

质膜参与细胞间的信息交流。细胞与周围环境之间以及细胞与细胞之间随时进行着信息交流，质膜表面的信号分子、受体蛋白以及细胞之间的特殊结构，在细胞间的信息交流中发挥着重要作用。

作为细胞的界膜，质膜将细胞与其生活环境分开，并通过控制进出细胞的物质，以及和周边环境的有效信息交流，为细胞的生命活动提供了相对稳定的内部环境。

阅读空间

细胞壁与脱毒苗生产

植物细胞都具有细胞壁（图 3-6）。细胞壁位于质膜外，其主要成分是纤维素和果胶。纤维素分子相互交织呈网状，具有一定的韧性和硬度，使细胞壁具有保护、支持、维持细胞形态的作用，尤其是防止细胞过度吸水导致破裂。溶于水中的物质都能随水透过细胞壁，因此细胞壁是一个全透性的结构。另外，细胞壁在物质吸收和转运、抵御病原体侵害等方面也具有重要作用。细胞壁上常具有一些小空洞，相邻细胞的质膜和少量细胞质以细丝状态穿越其中而形成胞间连丝。胞间连丝是细胞间物质运输和信息交流的通道。

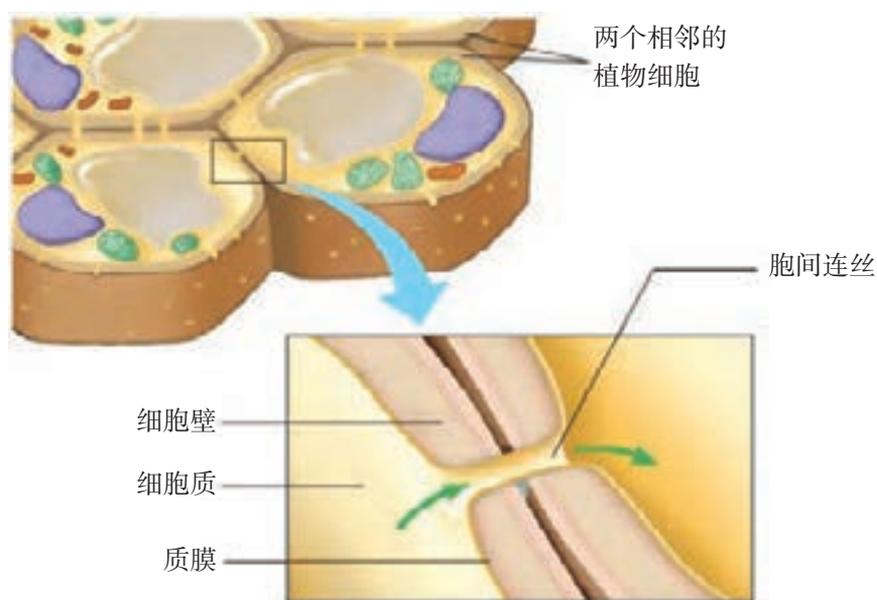


图 3-6 细胞壁结构示意图

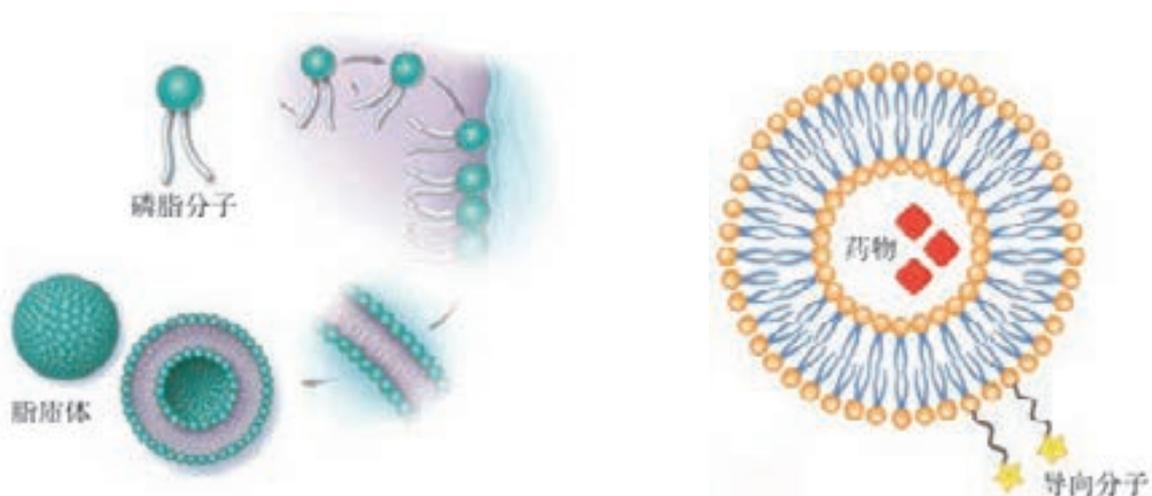
在农业生产中，蔬菜、花卉、果树等一些作物经过几代种植，常因病毒感染而导致产量和品质退化。病毒感染植物后，会借助胞间连丝等结构扩散。因为植物茎尖分生组织内胞间连丝很不发达，所以植株茎尖分生组织的细胞中通常不含病毒，可以利用这些部位的细胞进行组织培养，从而快速生产出脱毒苗。

学业检测

1. 1961 年英国科学家将磷脂和水混合后，施加超声波处理，获得了由磷脂双分子层包被的封闭型囊泡状结构——脂质体（如左下图所示）。

(1) 据图分析：形成脂质体的两层磷脂分子亲水端的分布有什么特点？

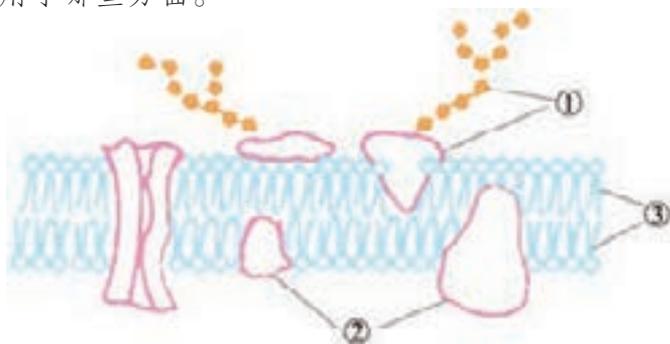
(2) 比较脂质体与质膜的磷脂分子分布，说明为什么质膜能使细胞与其生活的环境有效地隔离开。



(3) 试论述质膜上分布着大量蛋白质具有什么意义。

(4) 如果将药物与磷脂溶液混合，脂质体在形成过程中就可以把药物包被在内。如果在脂质体表面引入导向分子（如前页右下图所示），例如能识别特定癌细胞的特异性抗体，脂质体就可把药物定向输送到_____细胞，从而可以避免误伤_____细胞。根据脂质体的特点，请分析这一技术还可以运用于哪些方面。

2. 质膜的流动镶嵌模型强调了膜结构的流动性和不对称性，对质膜的结构和功能作出了较为科学的解释。据右图回答下列问题：



(1) 在图中标注出①②③的名称，并说出质膜结构具有不对称性的主要方面。

(2) 异体器官移植面临的最大问题是排斥反应，这主要是由于（ ）。

- A. 质膜上的糖蛋白有识别作用
- B. 质膜具有选择透过性
- C. 质膜中的磷脂尾部具有疏水性
- D. 不同个体的质膜流动速度不同

(3) 变形虫在捕食时质膜可以发生形态的变化，这说明质膜具有的结构特点是什么？

(4) 人红细胞的质膜上，蛋白质、磷脂和胆固醇（平均相对分子质量依次为 500 000、8000 和 386）的质量比为 2 : 1 : 1，那么，相对每个蛋白质分子有多少磷脂分子？

(5) 在研究质膜的化学组成时，通常采用哺乳动物成熟的红细胞作为实验材料，为什么？

第二节 细胞内具有许多相对独立的结构

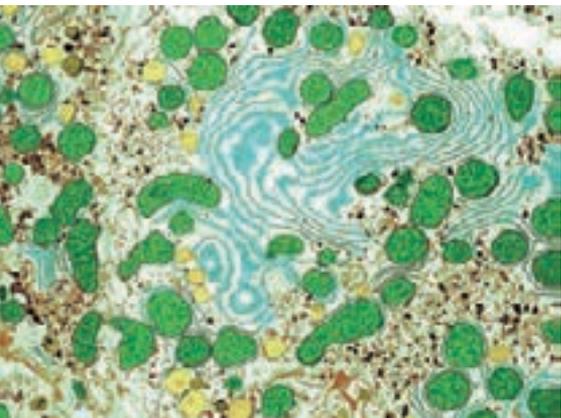


图 3-7 电子显微镜下的人体肝细胞局部 (放大倍数: 4000×)

在 20 世纪 30 年代之前, 人们对于细胞结构的认识比较粗浅, 局限于其外层有质膜, 内部有细胞核 (nucleus), 质膜与细胞核之间的区域称为细胞质 (cytoplasm)。在光学显微镜下观察动物细胞, 这片区域几乎是均匀透明的。通过特殊染色后, 在电子显微镜下观察, 细胞内部复杂而精妙的结构逐渐展现在人们面前 (图 3-7)。我们不禁好奇: 细胞质内有哪些复杂的结构? 它们具有什么生理功能? 各结构通过怎样的分工合作共同完成细胞的各项生命活动?

一、细胞质基质是透明的胶状物质

在细胞质中, 除去可分辨的有形结构以外, 充满了透明的胶状物质, 这就是细胞质基质 (cytoplasmic matrix) (又称胞质溶胶)。细胞质基质具有一定的黏滞性, 呈无定形状态, 主要成分包括水、溶于水中的无机盐离子以及蛋白质等, 是细胞代谢的重要场所。



实验探究

观察叶绿体和细胞质流动

活细胞中的细胞质处于不断流动的状态。细胞质基质是无色透明的, 不容易直接观察其是否流动。叶绿体 (chloroplast) 是绿色植物叶肉细胞中的一种常见结构, 呈绿色, 散布于细胞质基质中。选择叶绿体作为标志物, 可观察植物细胞中细胞质的流动。

目的要求

1. 观察叶绿体的形态、数量和分布特点。
2. 观察细胞质的流动情况。

材料器具

新鲜的黑藻（或藓类的小叶），显微镜、载玻片、盖玻片、滴管、镊子、刀片、培养皿、台灯等。

活动程序

1. 将黑藻置于 25℃ 左右的水中，以较强的光线照射 30min 以上。
2. 向载玻片中央滴一滴清水，用镊子取一片幼嫩的黑藻叶片，放在清水中展平，盖上盖玻片，制成临时装片。在实验过程中，临时装片要始终保持有水状态。
3. 先在低倍镜下找到细胞，然后用高倍镜观察叶绿体的形态、数量和分布特点（图 3-8）。
4. 以叶绿体作为标志物，观察细胞质流动的速度和方向。



图 3-8 高倍显微镜下的黑藻细胞
(放大倍数: 400×)

分析讨论

1. 选用黑藻的幼嫩叶片作为观察材料有什么好处？
2. 显微镜下相邻细胞的细胞质流动方向有什么规律？
3. 哪些因素可能影响细胞质流动的速度和方向？如何设计实验来验证？

细胞质基质并不是静止的，而是持续地在细胞内顺着环形路线流动。细胞质基质的流动，促进了细胞与周围环境以及细胞内部各部分之间的物质交换和信息传递，有利于细胞内代谢反应有条不紊地进行。

二、细胞内存在多种细胞器

在细胞质中具有可辨的形态和能够完成特定功能的结构叫作细胞器（organelle），它们是细胞质的重要组分，细胞的不同功能主要由特定的细胞器来完成（图 3-9）。

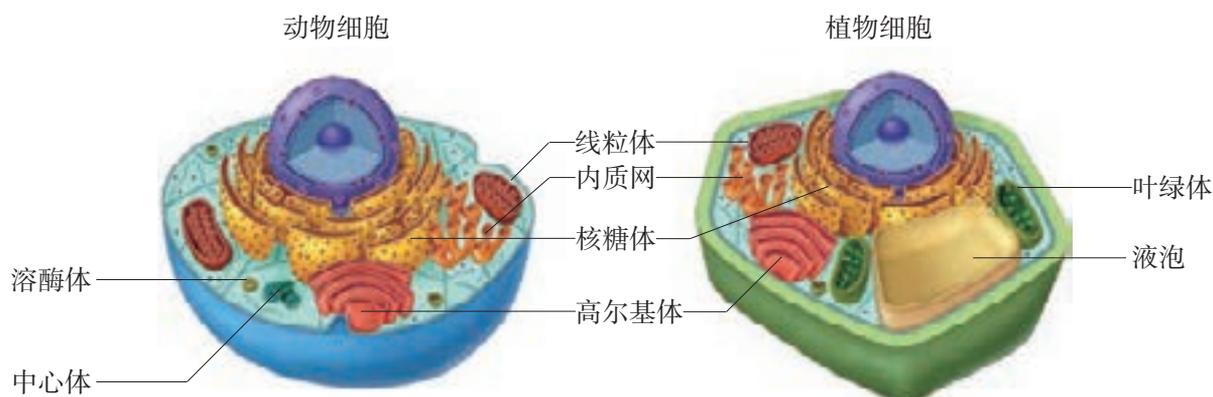


图 3-9 细胞中的主要细胞器示意图

阅读空间

差速离心技术

差速离心技术是采取逐渐提高离心速度，利用不同强度的离心力使不同质量的物体分级分离的方法。起始的离心速度较低，使较大的颗粒沉降到管底，小的颗粒悬浮在上清液中。然后收集沉淀，改用较高的离心速度离心悬浮液，使较小的颗粒沉降，以此类推，达到分离不同大小颗粒的目的。

用一定的方法将质膜破损，形成由细胞核、线粒体、叶绿体、内质网、高尔基体、溶酶体等细胞结构组成的混合匀浆，然后利用差速离心技术将大小不同的细胞结构分离开（图 3-10）。差速离心技术是研究细胞器的化学组成、理化特性及生理功能的主要方法。

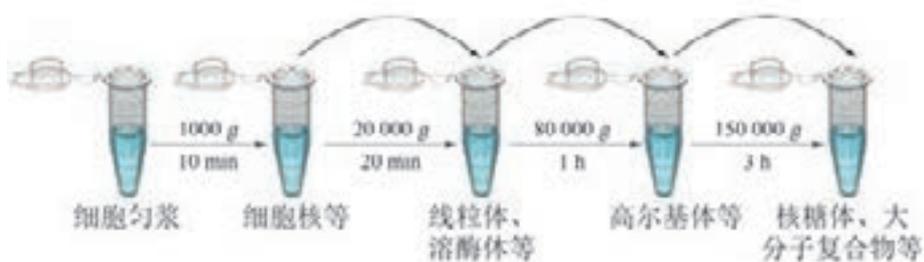


图 3-10 利用差速离心技术分离细胞结构

叶绿体是绿色植物所特有的细胞器，是光合作用的场所。高等植物的叶绿体多呈双凸透镜或单凸透镜状。叶绿体由内外两层膜构成，内部有很多扁平的囊状结构，称为类囊体。许多类囊体有序堆叠成基粒（图 3-11）。一个叶绿体含有几十个甚至更多的基粒，大大增加了叶绿体内的膜面积。在类囊体膜上，分布着与光合作用有关的色素和酶。在内膜和基粒之间充满了基质，基质内除含有与光合作用有关的酶外，还含有少量的 DNA 和 RNA 等。

线粒体 (mitochondrion) 普遍存在于动植物细胞中，形

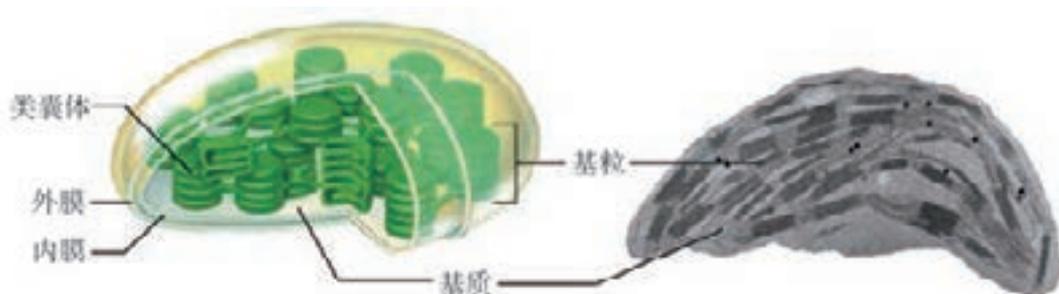


图 3-11 叶绿体结构示意图（左）和电子显微镜照片（右，放大倍数：9000×）

状以棒状和粒状最为常见。线粒体是细胞进行有氧呼吸的主要场所，细胞生命活动所需能量的 95% 来自线粒体。线粒体也有内外两层膜，内膜向内折叠形成嵴，大大增加了内膜的表面积（图 3-12）。内膜包围着基质，内膜和基质中都含有与细胞呼吸有关的酶，基质中还含有少量的 DNA 和 RNA 等。

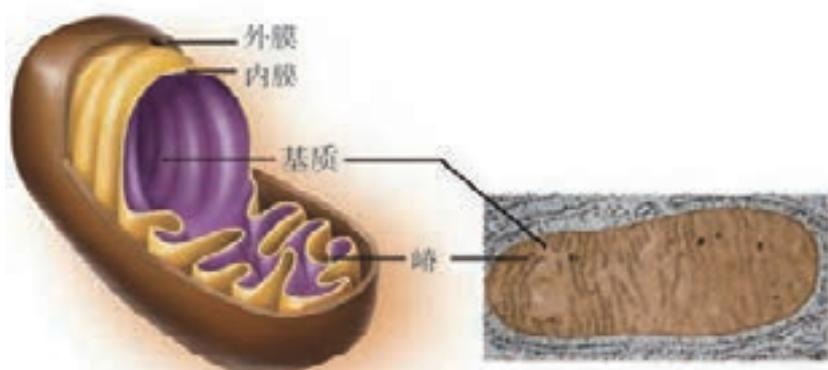


图 3-12 线粒体结构示意图（左）和电子显微镜照片（右，放大倍数：24 000×）

核糖体（ribosome）是细胞内合成蛋白质的场所，广泛分布于真核细胞和原核细胞中。核糖体是一种颗粒状非膜性结构，由大小两个亚基组成。有的核糖体游离在细胞质基质中，有的附着在内质网表面。

内质网（endoplasmic reticulum）是一种由高度折叠的单层膜围成的网状管道系统，广泛存在于动植物细胞内（图 3-13）。折叠结构的存在大大增加了细胞内的膜面积，可

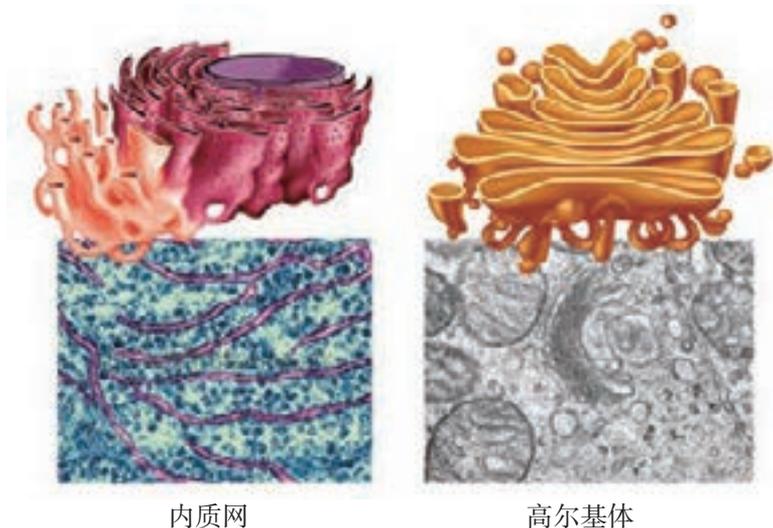


图 3-13 内质网、高尔基体结构示意图（上）和电子显微镜照片（下，放大倍数分别为 20 000× 和 6000×）

为多种酶提供附着位点，有利于细胞代谢高效有序地进行。有的内质网附着有核糖体，有的内质网没有核糖体附着。

高尔基体（Golgi body）常位于细胞核附近，由成摞的扁平囊和其周围大量的囊泡堆叠而成（图 3-13）。高尔基体的主要功能是对多种蛋白质进行加工、分类和包装，然后分门别类地运输到细胞特定的部位或分泌到细胞外。此外，高尔基体还是细胞内糖类合成的场所，在植物细胞中与细胞壁的形成有关。

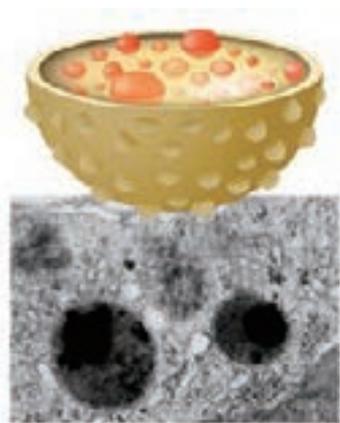


图 3-14 溶酶体结构
示意图（上）和电子显微镜照片
（下，放大倍数：11 000×）

溶酶体（lysosome）是由单层膜围绕成的囊泡状细胞器，内含多种酸性水解酶（pH 为 5 左右），几乎存在于所有动物细胞中（图 3-14）。溶酶体可以将蛋白质、核酸、多糖等大分子水解，及时清除无用的生物大分子、衰老的细胞器及死亡的细胞。此外，免疫细胞吞噬入侵的病毒或细菌后，溶酶体会与吞噬物融合并利用水解酶将病原体杀死进而降解，起到免疫防御作用。

液泡（vacuole）是由单层膜围成的一种囊泡状细胞器，在植物细胞中常见。成熟的植物细胞的液泡体积很大，一般占细胞体积的 1/3，有的甚至达到 90% 以上。液泡内的液体称为细胞液，含有水、无机盐、糖类、蛋白质和色素（花青素）等物质，能调节和维持细胞的渗透压，使植物细胞维持一定的形态。液泡内的蛋白质包括多种水解酶，主要与物质的水解有关。

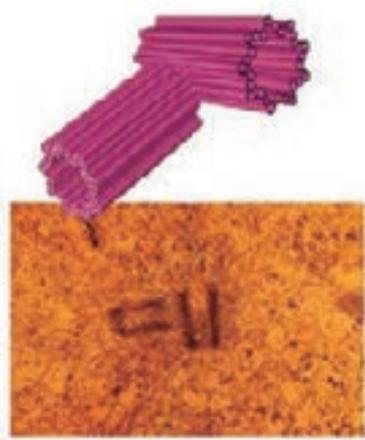


图 3-15 中心体结构
示意图（上）和电子显微镜照片
（下，放大倍数：20 000×）

中心体（centrosome）位于细胞核附近，存在于动物细胞和低等植物细胞中（图 3-15）。每个中心体由两个相互垂直的中心粒及其周围的相关物质共同组成，与细胞分裂中纺锤体的形成有关。

在直径仅有几十微米的细胞里，容纳了数量众多的细胞器，可见细胞内部的结构是极其精密的！在不同生物的细胞中，细胞器的种类和数量有所差别；同一生物不同组织的细胞中，细胞器的种类和数量也往往不同。细胞器以多种形式浸润在细胞质基质中，承担着复杂的生命活动。

学业检测

1. 下图所示的绿叶海蜗牛是一种极为有趣的生物，它分布于大西洋西岸从加拿大到美国佛罗里达的沿海海域。这种海蜗牛能从它的藻类食物中“偷”来叶绿体，并吸收入自己的细胞内。海蜗牛一生进食一次便已足矣。从享用完第一顿绿藻大餐起，这种软体动物体内便充

满了叶绿体，可以进行光合作用，从此便可终生禁食。

(1) 绿叶海蜗牛与藻类植物相比，其细胞结构具有哪些不同？

(2) 将绿叶海蜗牛细胞放在光学显微镜下观察，可以分辨的细胞结构有()。

- A. 叶绿体和核糖体
- B. 叶绿体和细胞壁
- C. 叶绿体和细胞核
- D. 细胞核和细胞壁



(3) 研究人员检查绿叶海蜗牛的基因，发现了与海藻相同的、光合作用正常进行所必需的基因，看来绿叶海蜗牛不仅窃取藻类植物细胞中的叶绿体，它还获得了促使其运转的基因。在自然界中，类似这样两个不同物种间横向的基因转移极为罕见。试讨论：绿叶海蜗牛这个超凡的本领对我们有什么启发？

2. 某兴趣小组利用橡皮泥、泡沫塑料、琼脂等材料，制作了一个真核细胞亚显微结构模型，如图所示。



(1) 该模型是_____细胞模型(填“植物”或“动物”)，判断的理由是_____。

(2) 请用适当方式在图中分别标出该细胞中由单层膜、双层膜构成的细胞器。

(3) 在弥漫二氧化硅等粉尘的环境中长期工作，人肺部的吞噬细胞会在吞噬并处理二氧化硅等粉尘的过程中功能逐渐受损，形成矽肺。吞噬细胞内处理粉尘等有害分子的细胞器是哪一种？

(4) 有关研究表明，硒对线粒体膜具有不可替代的稳定作用，人体缺硒时，患者的心肌细胞比口腔上皮细胞更容易受到损伤。为什么？

第三节 遗传信息主要储存在细胞核中



图 3-16 布朗

1831 年，英国植物学家布朗（R. Brown，图 3-16）用显微镜观察兰花时，发现花朵外层表皮细胞中有一些不透光的近似球形的区域。后来他观察了许多种植物，发现在各种植物细胞中普遍存在一个“核”，这种结构通常位于细胞的中央，他将之命名为细胞核（nucleus），并由此推断这个“核”是细胞中不可或缺的成分。后来，生物学家证实细胞核普遍存在于细胞中。细胞核在细胞生命活动中具有怎样的重要作用？它的结构是怎样的？为什么说细胞核是细胞中不可或缺的成分？

一、细胞核是细胞生命活动的控制中心

除高等植物韧皮部成熟的筛管细胞和哺乳动物成熟的红细胞等极少数细胞外，真核细胞都具有明显的细胞核。一个细胞一般只有一个细胞核，在体积较大的细胞中可同时出现两个甚至多个细胞核。



经典再现

细胞核在生命活动中的重要作用

细胞核被发现后，人们对细胞中普遍存在的这个结构有什么作用感到迷惑。一些生物学家用非常简单的实验材料和巧妙的方法，逐步揭示了细胞核的重要作用。

[资料 1] 伞藻是大型单细胞海生绿藻，长 2~5cm，主要由基部的假根、中间的伞柄以及顶端的伞帽组成。细胞核在基部的假根内，伞帽形状因种类而异。地中海伞藻有一个圆形的伞帽，而细圆齿伞藻则有一个分叉的花盘形伞帽。20 世纪 30 年代，德国生物学家哈默林（J. Hammerling）利用伞藻做了一系列有关细胞核功能的研究实验。他把两种伞藻的伞帽切掉，各切下一段伞柄，相互交换嫁接在假根上，发现均能长出伞帽。重复切除伞帽，结果长出的伞帽形状与提供假根的伞藻一致（图 3-17）。



图 3-17 伞藻的交叉嫁接实验

[资料 2] 变形虫为单细胞动物，多数种类的细胞内只有一个细胞核（图 3-18）。由于细胞质的流动，变形虫身体表面常出现不规则的指状、叶状或针状突起，称为“伪足”，身体即借此而移动。变形虫结构简单、容易培养，是生物学实验的重要材料之一。



图 3-18 大变形虫
(放大倍数: 100×)

1950 年，英国科学家洛奇 (J. Lorch) 和丹尼利发表文章称，他们用两种变形虫完成了一系列细胞核移植实验。用纤细的玻璃探针将变形虫的细胞核移出，这些无核变形虫会在 20d 内陆续死亡。在移出细胞核后的 10min 内，再植入同种或异种细胞核，变形虫会陆续恢复正常形态和运动能力，其中有一些还能继续分裂（表 3-1）。

表 3-1 变形虫细胞核移植实验结果

移植类型 变形虫数量	同种移植		不同种移植	
	大变形虫	盘状变形虫	将盘状变形虫细胞核 植入大变形虫	将大变形虫细胞核 植入盘状变形虫
移植数量 (个)	55	52	60	61
成活数量 (个)	52	42	51	45
分裂一次数量 (个)	37	38	22	3
分裂多次数量 (个)	34	37	0	1

分析讨论

1. 伞藻交叉嫁接实验能否完全证明细胞核决定了伞帽形状?
2. 变形虫细胞核移植实验表明细胞核具有什么功能?
3. 怎样理解细胞核在生命活动中具有不可或缺的地位?

无论是生物体性状的表达，还是各种生命活动的正常进行，都离不开细胞核。细胞核是细胞遗传特性和代谢活动的控制中心，在细胞生命活动中起着决定性作用。

二、细胞核是具有特殊界膜的重要结构

细胞核大多呈球形或卵圆形。细胞核的主要结构包括核膜(nuclear membrane)、染色质(chromatin)、核仁(nucleolus)和核基质(nuclear matrix)(图3-19)。

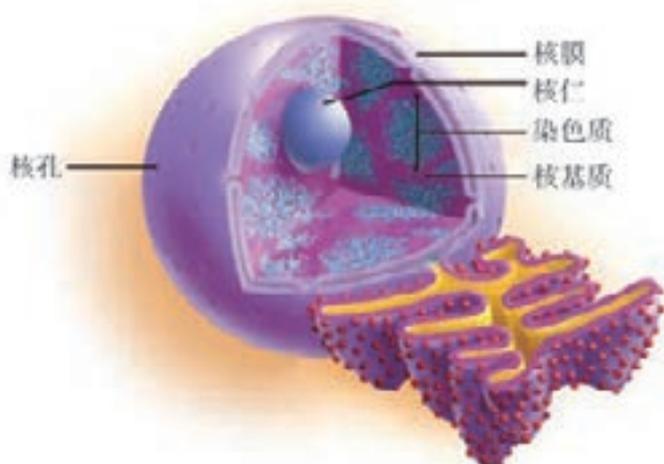


图 3-19 细胞核结构示意图

核膜由内外两层膜构成，位于细胞核的最外层，能保护细胞核内的遗传物质免受损伤。核膜并不是完全连续的。在许多部位，核膜内外两层互相连接，形成了穿过核膜的小孔，称为核孔(nuclear pore)。核孔是细胞质与细胞核之间的物质和信息通道，RNA 和某些蛋白质等大分子物质都是通过核孔进出细胞核的。

染色质最早由德国生物学家瓦尔代尔-哈尔茨(H. Waldeyer-Hartz)命名，是指细胞核内易被碱性染料染成深色的物质。染色质主要由 DNA 和蛋白质组成。在分裂间期的细胞核中，染色质呈细长的丝状，并且交织成网；当细胞进入分裂期时，染色质高度螺旋化，缩短变粗，成为棒状或杆状的染色体(chromosome)(图3-20)。染色质和染色体是同一物质在不同时期细胞中的两种形态。



图 3-20 染色体与 DNA 和蛋白质的关系示意图

核仁是细胞核中存在的一个或多个球形致密小体。核仁是一个高度动态的结构，在细胞分裂过程中周期性地消

失和重建。核仁与核糖体的形成密切相关。蛋白质合成旺盛的细胞中核仁较大，可占细胞核总体积的 25% 左右。

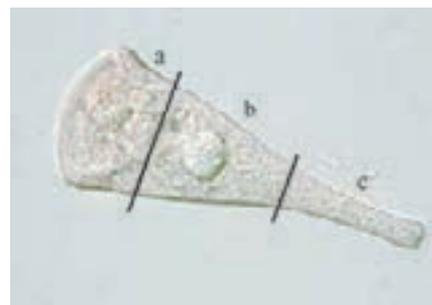
细胞核是遗传物质储存和复制的主要场所。细胞核内染色质上的 DNA 储存着遗传信息，调控着细胞的分裂、生长、分化、衰老和死亡等生命活动。DNA 还可以通过自我复制将遗传信息传递给子细胞，从而实现遗传信息的延续。

学业检测

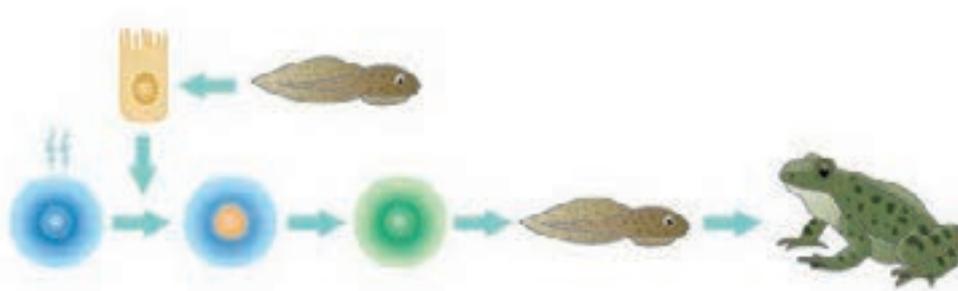
1. 原生动物喇叭虫的再生能力很强，人们常用切割手术研究它的细胞核在再生中的功能以及各种细胞器的发生过程。

(1) 在适宜的环境中，若将喇叭虫切成如图所示的 3 段，你认为哪一段能够再生成喇叭虫？为什么？

(2) 如果要证明细胞质对于喇叭虫的生存也是不可缺少的，应如何设计实验？



2. 20 世纪 50 年代，英国发育生物学家戈登利用非洲爪蟾做过一个划时代的实验：他先用紫外线照射爪蟾的卵细胞，破坏其细胞核，然后将另一只爪蟾蝌蚪肠上皮细胞的细胞核植入其中。结果发现一部分卵细胞可以发育成蝌蚪，其中有几只蝌蚪竟然继续发育成为成熟的爪蟾。



(1) 爪蟾蝌蚪的细胞核从肠上皮细胞取出后，很快失去活性，失去细胞核的细胞质部分在一段时间后也会失活，原因是什么？

(2) 实验中，有几只蝌蚪最后发育成了成熟爪蟾。请预测其体色花纹与提供卵细胞还是提供肠上皮细胞的爪蟾更相似，为什么？

(3) 戈登的实验，尽管只有极少数重组细胞能发育到成体爪蟾，他的技术和方法却开辟了一个崭新的领域，是一项重大突破。为什么？

第四节 生物膜系统和细胞骨架

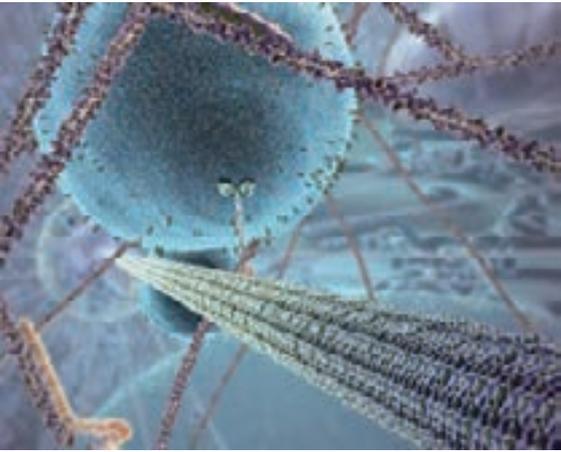


图 3-21 细胞内囊泡
沿细胞骨架传输示意图

现代化的大都市里，鳞次栉比的建筑形成了行政区、住宅区、商业区、工业区等各种功能区，而地面上四通八达的街道，空中畅行无阻的高架桥，地下方便快捷的地铁线，则把城市的各个功能区有机地联系在一起，成为一个统一的整体。作为生物体结构与生命活动的基本单位，细胞内部是否也存在着多种多样的“功能区”和四通八达的“交通线”（图 3-21）？

一、细胞具有相互联系的生物膜系统

真核细胞中，质膜与核膜连同内质网、高尔基体、溶酶体等具膜细胞器，共同构成了真核细胞的生物膜系统（biomembrane system）（图 3-22）。

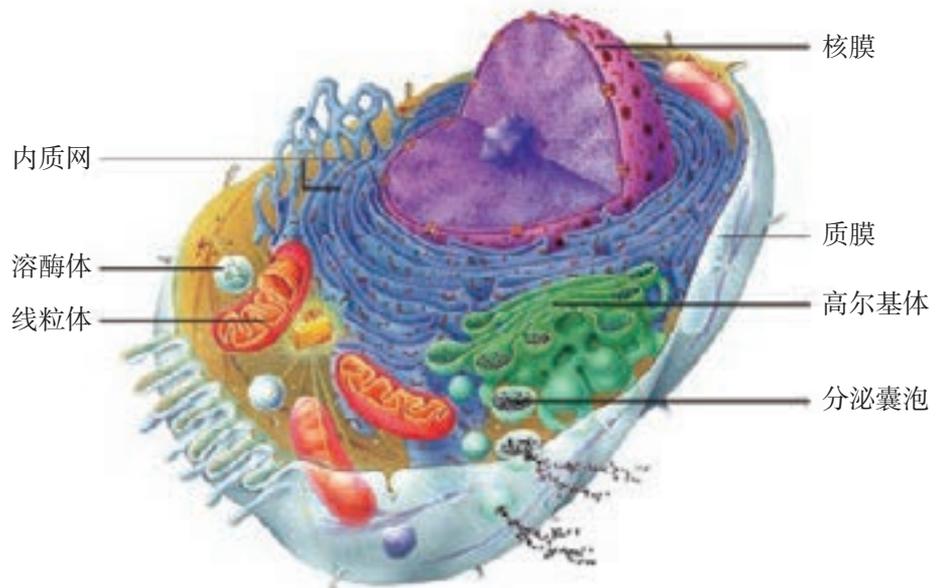


图 3-22 真核细胞的生物膜系统示意图

生物膜系统中的各种膜在结构上具有一定的连续性，彼此间有着直接或间接的联系。内质网膜在细胞内的分布非常广泛，向内与细胞核的外膜直接相连，向外与质膜直

接相连。内质网膜还可以通过出芽形成的囊泡与高尔基体的膜结构发生间接联系，高尔基体膜也通过类似的方式与质膜发生关联。

各种生物膜的化学成分和结构特点非常相似，为彼此功能上的合作提供了有力的支持。



经典再现

豚鼠胰腺泡细胞分泌蛋白的同位素示踪实验

20世纪60年代，美国细胞生物学家帕拉德（G. Palade）及其同事选用豚鼠胰腺作为实验材料，利用同位素示踪技术进行相关实验，研究了蛋白质的合成、运输及分泌途径。

豚鼠的胰腺泡细胞属于外分泌部细胞，能够合成和分泌水解酶。亮氨酸是水解酶的合成原料之一。他们首先在豚鼠的胰腺泡细胞中注射以 ^3H 标记的亮氨酸，然后通过电镜放射自显影技术进行计时追踪（图3-23）。结果发现，在3min后，放射性大量出现在附着有核糖体的内质网中；17min后，放射性又出现在高尔基体中；117min后，在靠近质膜内侧的运输蛋白质的小泡中，以及释放到细胞外的分泌物中检测到放射性。

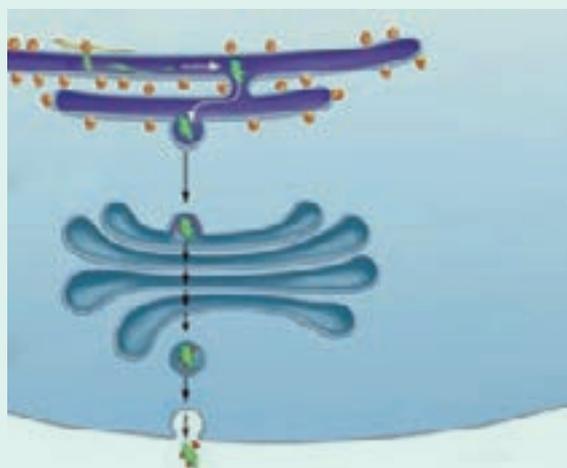


图 3-23 分泌蛋白合成、运输和分泌过程示意图

分析讨论

1. 有哪些细胞结构参与水解酶的合成和分泌过程？
2. 尝试描述水解酶的合成和运输过程中细胞器的分工与合作。

生物膜系统将细胞内部分割成不同的区域，使得不同的代谢活动既相对独立，又协调一致，共同执行细胞的各项生命活动。此外，在细胞与周围环境以及细胞内部的物质运输、能量转换和信息传递过程中，生物膜系统也发挥着重要作用。

二、细胞骨架参与许多重要生命活动

利用免疫荧光染色技术，在电子显微镜下可以发现真核细胞的细胞质内存在一些纵横交错的纤维样结构，这些由纤维蛋白构成的网状结构就是细胞骨架(cytoskeleton)(图3-24)。

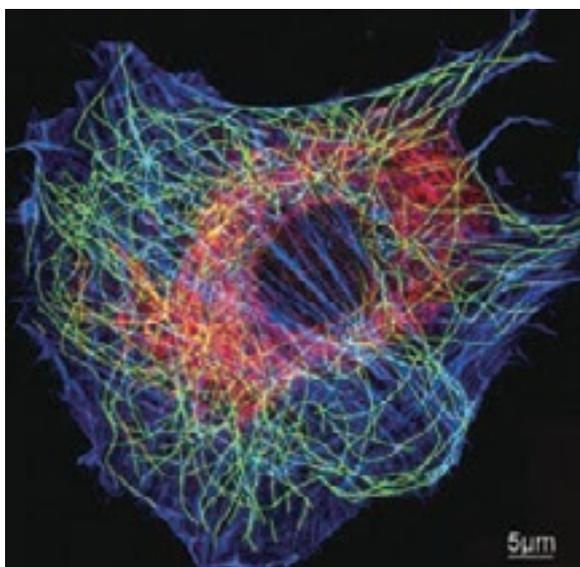


图 3-24 不同荧光标记的细胞骨架

一个活细胞，无论其外部形态还是内部结构，都处于不断的变化之中，这源于细胞骨架不断地形成和解体。在细胞的不同时期，细胞骨架具有完全不同的分布状态。

细胞骨架在维持细胞形态、承受外力方面发挥了重要作用，它不仅保持了细胞内部结构的有序性，而且还参与许多重要的生命活动。在细胞分裂过程中，染色体的移动与细胞骨架密切相关；在细胞物质运输中，各类小泡和细胞器可沿着细胞骨架定向转运；在肌肉细胞中，细胞骨架和它的结合蛋白组成动力系统；白细胞的迁移、精子的游动、神经元轴突和树突的伸展等诸多生命活动都与细胞骨架有关。另外，在植物细胞中，细胞骨架还参与引导细胞壁的合成。

阅读空间

细胞骨架的组成

细胞骨架主要由微丝、微管和中间丝 3 种结构组成（图 3-25）。微管细长且具有一定的刚性，由微管蛋白组装而成，是中空的管状结构，直径为 25nm，能固定膜性细胞器的位置和作为某些物质运输的轨道，在细胞分裂时，微管构成的纺锤丝为染色体移动提供了机械装置。微丝是较小的实心蛋白纤维，直径为 7nm，主要分布在质膜的内侧，能决定细胞表面特征，并与细胞运动、收缩、内吞等功能有关。中间丝呈绳索状，直径约为 10nm，粗细介于微管和微丝之间，具有很强的抗拉强度，主要起机械支撑和加固作用。

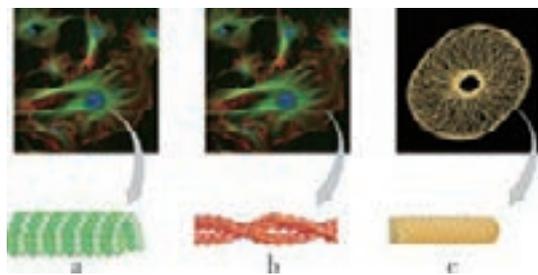


图 3-25 微管 (a)、微丝 (b) 和中间丝 (c) 示意图

由于细胞的生物膜系统和细胞骨架的存在，使得细胞各部分结构不再是孤立和无序的，它们在结构上相对独立，在功能上既分工又合作，使细胞内复杂的生命活动有序而高效。

思维训练

构建真核细胞的概念图

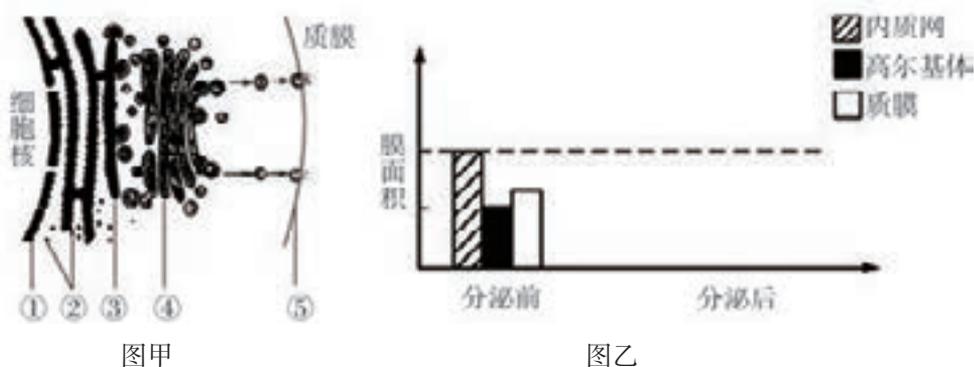
概念图属于概念模型的一种呈现形式，是组织和表征知识的工具。它包括众多的概念以及概念之间的关系。每两个概念之间的关系通过连接线和连接线上的词表示。

根据以下所示的概念图结构三要素的提示，以小组合作的方式，尝试构建真核细胞的概念图。



学业检测

1. 分泌蛋白的合成和分泌是真核细胞内生物膜系统在结构和功能上密切合作的范例，图甲表示某种分泌蛋白合成和分泌的途径，图乙表示分泌蛋白分泌时的几种生物膜的面积。

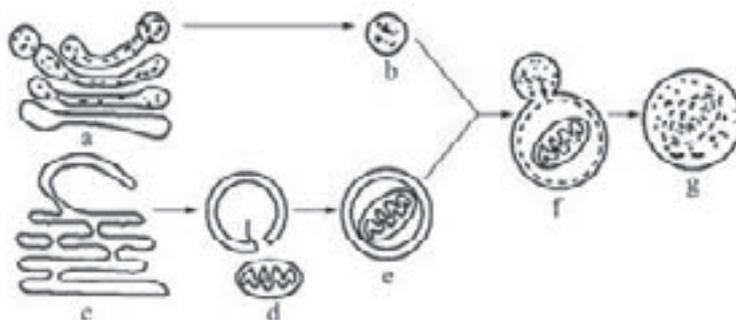


图甲

图乙

- (1) 在分泌蛋白的合成和分泌过程中，起决定作用的细胞结构是_____。
- (2) 将用 ^3H 标记的亮氨酸注射到胰腺泡细胞中进行示踪实验，可以发现放射性物质首先出现在②_____中，然后通过 [] _____产生的囊泡运输到 [] _____中进一步加工。
- (3) 囊泡是一种动态的细胞结构，图示细胞中，能产生囊泡的结构是_____，囊泡在细胞内的定向运输是沿着_____进行的。
- (4) 请在图乙中画出分泌后三种膜的面积变化柱形图。
- (5) 黄曲霉毒素是毒性极强的致癌物质，常藏身于霉变的花生和玉米等植物种子中。研究发现黄曲霉毒素能引起细胞中核糖体不断从内质网上脱落下来，该毒素的这一特点会导致细胞哪些功能受损严重？

2. 2016年的诺贝尔生理学或医学奖授予大隅良典教授，以表彰他在细胞自噬领域作出的卓越贡献。细胞自噬控制着许多重要的生理功能，涉及细胞化学成分和结构的降解和回收利用。细胞还能利用自噬来消灭受损的蛋白质和细胞器。下图表示细胞通过自噬作用，及时清除衰老线粒体的过程。



(1) b 是溶酶体，它起源于_____，包裹衰老线粒体的双层膜来源于_____，b 和 e 的融合体现了生物膜的结构特点是_____。

(2) 溶酶体内含有_____，能够水解_____，清除_____；还可以将侵入人体的_____，起到免疫作用。

(3) g 内物质的去向如何？这对于“饥饿”细胞具有什么意义？

(4) 医学上发现一种遗传性疾病，溶酶体缺乏一种水解糖原的酶，患者出现肝肿大和骨骼肌无力，常在两周岁以前死亡。试解释造成这些症状的原因。

 学业要求

重要概念	节次	学科素养
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。	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆概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。 ◆通过对质膜结构与功能的认识，确立结构与功能观，形成归纳与概括、模型与建模的科学思维方法。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆阐明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。 ◆通过学习细胞器之间的协调配合，形成结构与功能、部分与整体相统一的生命观念。 ◆通过观察叶绿体和细胞质流动，提高科学探究的实践能力。
	第三节	<ul style="list-style-type: none"> ◆阐明遗传信息主要储存在细胞核中。 ◆通过分析细胞核对于控制生物性状和发育的作用，培养基于事实和证据进行演绎与推理的科学思维方法。形成结构与功能相统一的生命观念。
	第四节	<ul style="list-style-type: none"> ◆举例说明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。 ◆通过分析豚鼠胰腺泡细胞同位素示踪实验，认同细胞是基本的生命系统，形成细胞的结构与功能观。

历史长河

真核细胞的起源

关于真核细胞的起源，现在比较一致的看法是：真核细胞是由原核细胞进化而来的。科学家推测，真核细胞的直接祖先很可能是一种巨大的具有吞噬能力的古核生物，它们靠吞噬糖类并将其分解来获得生命活动所需要的能量。真核细胞的起源有多种学说，目前有代表性的是内共生假说（图 3-26）。

1. 细胞核的起源

现在大多数学者都赞同这样一种观点：质膜内折形成内质网，内质网进一步折曲，将核区包围起来，形成核膜。许多研究表明，内质网确实与核膜有密切关系，主要表现为两点：

（1）核膜由双层膜构成，两层膜之间有空隙。核膜外层和内质网相连，内外核膜之间的空腔和内质网空腔相通。

（2）核膜的外膜附着有核糖体，内膜没有，但在细胞分裂时，核膜破裂，核膜的内膜也会与核糖体结合。这说明核膜无论在形态上还是性质上都和內质网相同。

2. 线粒体和叶绿体的起源

1905 年，梅列施克夫斯基正式提出真核生物细胞器的共生起源观点，认为叶绿体起源于细胞内共生的蓝细菌。1922 年沃林提出线粒体来自细胞内共生的需氧菌的假说。1970 年，马古利斯出版了《真核细胞的起源》一书，全面系统地论述了内共生假说。她设想，一种厌氧异养原核生物吞入了自由生活的需氧菌，需氧菌没有被消化，两者形成共生关系，需氧菌逐渐进化为真核细胞的线粒体。叶绿体也通过相同的机制由共生的蓝细菌进化而来。

通过近几十年的研究，人们找到了越来越多的证据支持内共生假说，主要有：

（1）在形态大小和结构方面，线粒体和细菌相似，叶绿体则与蓝细菌相似。线粒体内膜与细菌质膜都有内褶形成的结构。在化学组成上，线粒体外膜与真核细胞的质膜相似，而线粒体内膜则与原核细胞的质膜相似。

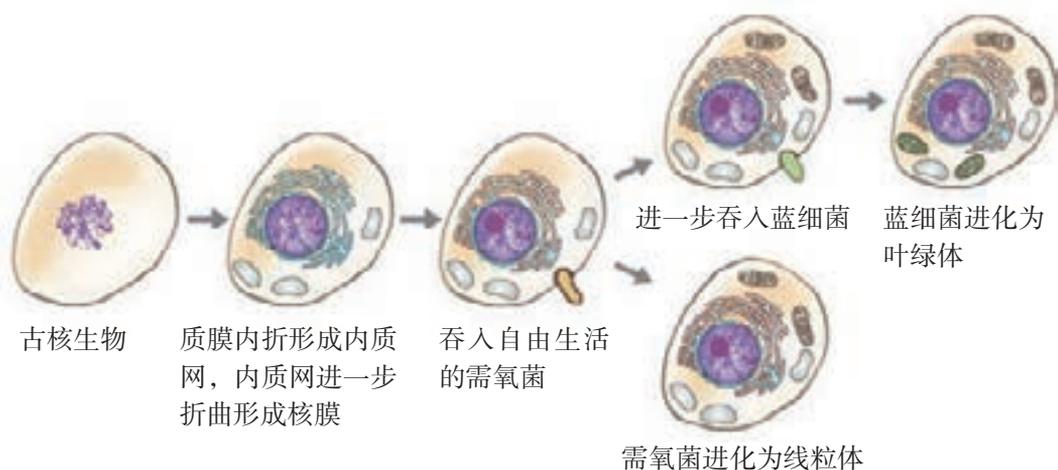


图 3-26 真核细胞起源的内共生假说示意图

(2) 线粒体和叶绿体中都含有 DNA、RNA 和核糖体，是半自主性的细胞器。它们自主生长，都具有合成自身某些蛋白质的能力。

(3) 线粒体、叶绿体和原核细胞中所含的 DNA 均为环状分子，不含组蛋白，而真核细胞的核 DNA 则为线状，并与组蛋白结合形成染色体。

(4) 细菌、线粒体和叶绿体的蛋白质合成均可受氯霉素和红霉素的抑制，而真核细胞的蛋白质合成对这些抗生素不敏感。反之，亚胺环己酮能抑制真核细胞的蛋白质合成，而对线粒体、叶绿体和细菌的蛋白质合成无抑制效应。

(5) 线粒体和叶绿体能以分裂的方式进行增殖，这与细菌的繁殖方式相似，但是它们的分裂与所在细胞的分裂不同步。另外两者均能在异源细胞内长期存在，例如，鸡胚细胞的线粒体引入小鼠体外培养的成纤维细胞后，第四代小鼠细胞内仍可见鸡的线粒体；叶绿体在特殊软体动物细胞内能长期存在。

(6) 叶绿体的基因组和光合系统与蓝细菌等原核生物极为相似。

综上所述，线粒体和叶绿体在细胞内表现出较多的自主性与独立性，很多基本特点与细菌较为相似，这似乎指向它们在起源上的联系。但是反对者认为内共生无法解释细胞核的进化过程，也无法解释叶绿体和线粒体基因结构和原核细胞的差异。因此，关于真核细胞的起源，有待今后进一步的研究。

第四章 细胞的生存需要营养物质和能量



阳光下，叶绿体的光合作用高效进行，才会有“接天莲叶无穷碧，映日荷花别样红”的胜景；碧波里，莲藕细胞选择吸收了生长发育所需的无机盐，才为莲赢得了“出淤泥而不染，濯清涟而不妖”的美誉；微风中，亭亭的莲叶叶柄“中通外直，不蔓不枝”，才使得细胞呼吸顺利进行。在生命绽放的过程中，酶和 ATP 扮演了怎样的角色？信息交流起到了什么作用？物质和能量在生命系统中发生了哪些复杂的转化呢？





课题研究

构建渗透系统模型

细胞通过质膜不停地与周围环境进行着物质交换，不断从环境中吸收营养物质和氧气并排出代谢废物，保证了生命活动的正常进行。然而，并不是所有的物质都能随意进出细胞。选择合适的生物材料，尝试构建一个渗透系统，模拟细胞发生渗透作用的过程，探究渗透作用发生的过程和需要的条件。

提出问题

如何构建一个渗透系统模型？

制订并实施研究计划

1. 如何确定建模材料和实验方案？

- ◆ 查阅资料，了解渗透系统的组成、原理及渗透作用的过程。
- ◆ 选择具有半透膜特点的生物材料，如卵壳膜、鱼鳔、肠衣等。
- ◆ 设计实验程序，确定发生渗透作用的观察指标。

2. 如何制作渗透装置？

- ◆ 利用卵壳膜、铁架台和杠杆等制作一个渗透装置，或利用其他半透膜、漏斗、注射器、烧杯和铁架台等制作一个渗透装置。

3. 如何进行渗透作用实验？

- ◆ 在半透膜两侧设置不同浓度的蔗糖溶液或其他物质的溶液。
- ◆ 根据预先设定的观察指标，观察渗透现象的发生情况。
- ◆ 将卵壳膜、鱼鳔等生物材料换成纱布、塑料薄膜等，重复实验，观察能否发生渗透作用。

成果交流

1. 展示本小组构建的渗透系统模型，并从科学性和严谨性等方面对模型作出评价。

2. 归纳一个渗透系统发生渗透作用必须具备的条件。

3. 给农作物不能一次施肥过多，并且施肥后要及时浇水，否则容易“烧苗”。讨论在农业生产上还有哪些方面运用了渗透作用原理。



图 4-1 渗透装置示意图

第一节 质膜参与物质交换和信息交流



图 4-2 含羞草

当一阵风吹过，或者一滴雨飘落，含羞草的叶片就自动合拢，宛如一个少女害羞地用手遮住了脸庞。含羞草的叶柄基部有一个膨大部位叫叶枕，叶枕内的薄壁细胞对外界刺激很敏感。一旦叶片受到触动，薄壁细胞内的水立即向细胞间隙渗透，叶枕下部细胞间的压力降低，从而出现叶柄下垂的现象。经过 1~2min 水又逐渐渗透进入薄壁细胞，于是叶片恢复原状（图 4-2）。水和其他物质是如何进出细胞的？外界刺激是如何引起细胞响应的？

一、离子和小分子以穿膜运输方式进出细胞

新鲜的蔬菜放置一段时间后会萎蔫，喷洒清水后，又会变得硬挺，这与植物细胞的失水和吸水有关。

离子和小分子物质以被动运输或主动运输方式穿过质膜进出细胞，称为穿膜运输（transmembrane transport），也称跨膜运输。



实验探究

观察植物细胞的质壁分离和复原现象

水分子或其他溶剂分子通过半透膜的扩散称为渗透作用。成熟植物细胞的质膜、液泡膜以及两层膜之间的细胞质称为原生质层，原生质层相当于一层半透膜。当细胞液与外界溶液之间出现浓度差时，细胞就会吸水或失水。由于原生质层和细胞壁的伸缩性不同，从而发生质壁分离（plasmolysis）或质壁分离复原（deplasmolysis）。

选择液泡中富含色素的植物细胞，依次浸入蔗糖溶液和清水中，通过观察液泡大小和颜色的变化，可以推测水进出细胞的情况。

目的要求

用显微镜观察植物细胞质壁分离和质壁分离复原的过程，理解植物细胞发生渗透作用的原理，体会植物细胞吸水、失水和外界物质浓度之间的关系。

材料器具

紫色洋葱或紫鸭跖草，质量浓度为 0.3g/mL 的蔗糖溶液、清水，显微镜、镊子、刀片、载玻片、盖玻片、滴管、吸水纸。

活动程序

1. 制作和观察临时装片

- (1) 在洁净的载玻片中央滴一滴清水。
- (2) 在洋葱鳞片叶的外表皮上，用刀片划一小正方形，用镊子撕取外表皮，放在水滴上展开，盖上盖玻片。
- (3) 用显微镜观察细胞的液泡（图 4-3a）。

2. 观察质壁分离现象

- (1) 从盖玻片的一侧滴加质量浓度为 0.3g/mL 的蔗糖溶液，在盖玻片另一侧用吸水纸吸引，重复几次，使洋葱表皮细胞浸入蔗糖溶液中。
- (2) 用显微镜观察，注意洋葱表皮细胞液泡的变化（图 4-3b）。

3. 观察质壁分离复原现象

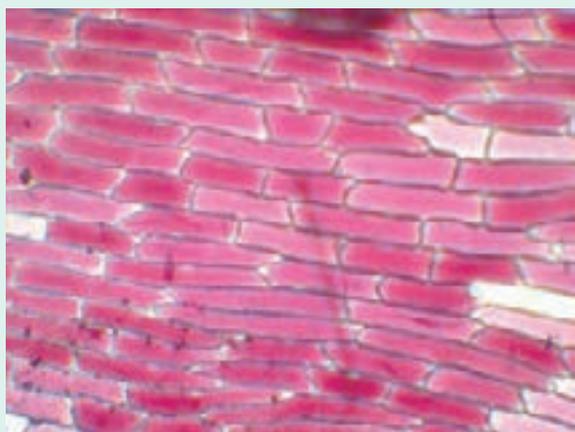
- (1) 观察到洋葱表皮细胞发生质壁分离后，从盖玻片的一侧滴加清水，在盖玻片另一侧用吸水纸吸引，重复几次，使细胞浸入清水中。
- (2) 用显微镜观察洋葱表皮细胞液泡的变化。

▲ 安全警示

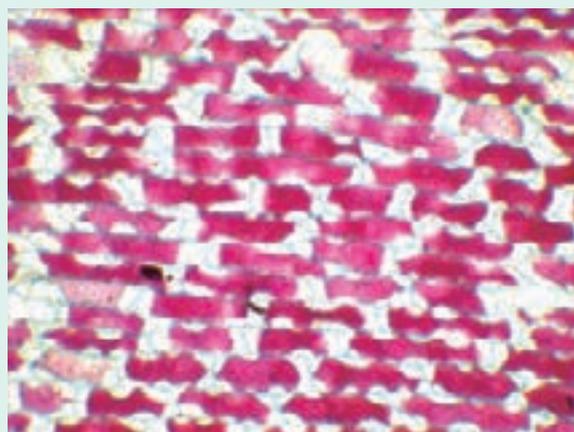
使用刀片时要小心，以免受伤。

分析讨论

1. 本实验为什么要设置 3 次观察？
2. 能否根据质壁分离和复原的实验现象来判断植物细胞的生理活性？
3. 不同植物的细胞吸水能力不同。根据质壁分离复原的实验原理，尝试设计实验比较当地水生植物和陆生植物细胞的细胞液浓度大小。



a 质壁分离前



b 质壁分离后

图 4-3 植物细胞的质壁分离（放大倍数：200×）

氧、二氧化碳等气体分子以及甘油、乙醇、苯、性激素等脂溶性小分子，也能像水分子一样自由地通过质膜。物质通过简单的扩散顺浓度梯度进出细胞，不需要额外提供能量，这种物质进出细胞的方式叫作自由扩散（free diffusion）（图 4-4a）。

有些离子和小分子不能自由地通过质膜，需要质膜上载体蛋白的协助，才能顺浓度梯度进出细胞，这种物质进出细胞的方式叫作协助扩散（facilitated diffusion）（图 4-4b）。载体蛋白可通过改变空间结构，使相应的物质通过质膜，如血浆中的葡萄糖通过载体蛋白进入红细胞。自由扩散和协助扩散统称为被动运输（passive transport）。

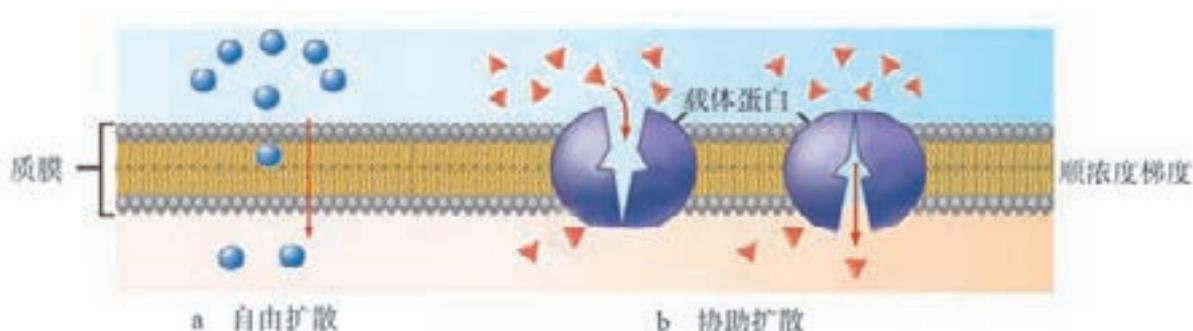


图 4-4 被动运输示意图

正常生理条件下，神经元或肌肉细胞内 K^+ 浓度约为胞外的 30 倍，胞外 Na^+ 浓度约为胞内的 10 倍，但细胞仍能积累 K^+ 、排出 Na^+ 。同样，某些海藻细胞的胞内碘浓度比周围海水中的碘浓度高得多，但仍在摄入碘。 K^+ 、 Na^+ 、碘等物质能逆浓度梯度进出细胞，不仅需要质膜上载体蛋白的协助，还需要细胞代谢提供能量，这种运输方式称为主动运输（active transport）（图 4-5）。

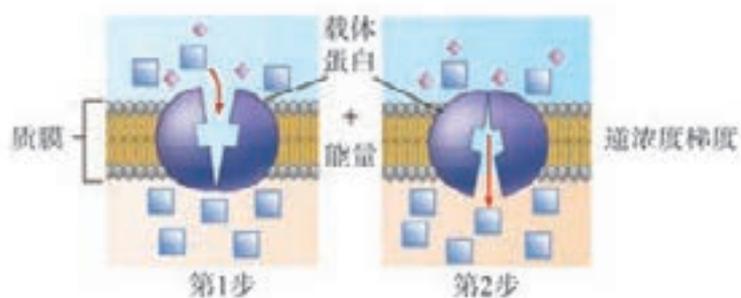


图 4-5 主动运输示意图

细胞通过主动运输的方式有选择地吸收所需要的营养物质，排出代谢废物和对细胞有害的物质，保证了生命活动的正常进行。

阅读空间

水通道蛋白和离子通道蛋白

质膜上的转运蛋白除载体蛋白外还有通道蛋白。通道蛋白主要包括水通道蛋白和离子通道蛋白，通过形成亲水性通道使得某些分子或离子极易顺浓度梯度通过质膜，但不消耗能量。在肾小管、唾液腺和泪腺细胞的质膜上有大量水通道蛋白，保证了水分子能快速地穿膜运输。离子通道蛋白普遍存在于真核细胞质膜上，如神经元轴突质膜上的 K^+ 、 Na^+ 通道蛋白。离子通道蛋白比任何一种载体蛋白的最快转运速率还要高 1000 倍以上。

二、大分子以囊泡转运方式进出细胞

大分子和颗粒物质不能以穿膜运输的方式进出细胞，而是借助于细胞代谢提供的能量，通过胞吞和胞吐两种囊泡转运（vesicle transport）的方式进出细胞。

胞吞的大致过程是：大分子或颗粒物质首先与质膜接触，随着质膜内陷，这些物质被包围起来形成小囊泡，然后小囊泡脱离质膜进入细胞（图 4-6）。

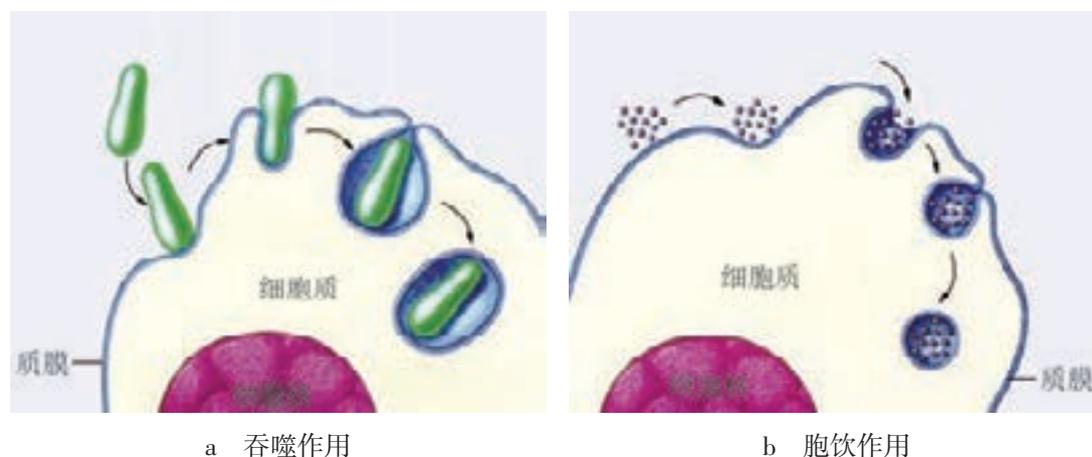


图 4-6 胞吞示意图

如果细胞吞入的是细菌、细胞碎片等较大的固体颗粒，称为吞噬作用（图 4-6a）。例如，变形虫等单细胞真核生物通过吞噬作用从周围环境中摄取营养物质，高等动物的吞噬细胞通过吞噬作用消灭细菌、癌细胞及衰老的红细胞

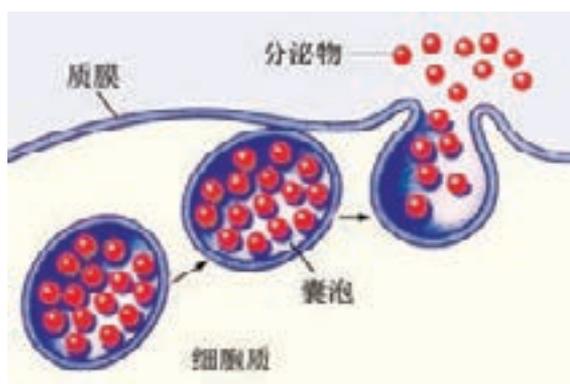


图 4-7 胞吐示意图

等。如果细胞吞入的是较小的颗粒或液体物质，则称为胞饮作用（图 4-6b）。大多数细胞都能连续进行胞饮作用。

像分泌蛋白等一些大分子物质，在细胞内合成后，经过高尔基体的分类、包装，以出芽方式形成囊泡，移至质膜并与之融合，继而释放到细胞外，这一过程叫作胞吐（图 4-7）。细胞分泌活动的最后一步就是胞吐。

三、细胞通过质膜进行信息交流

细胞周围不仅存在着氧气、二氧化碳、水、无机盐和葡萄糖，而且还有激素、生长因子和神经递质等，这些物质有的参与细胞代谢，有的作为信号分子参与细胞的信息交流（cell communication）（图 4-8）。一个细胞发出信号传递给特定

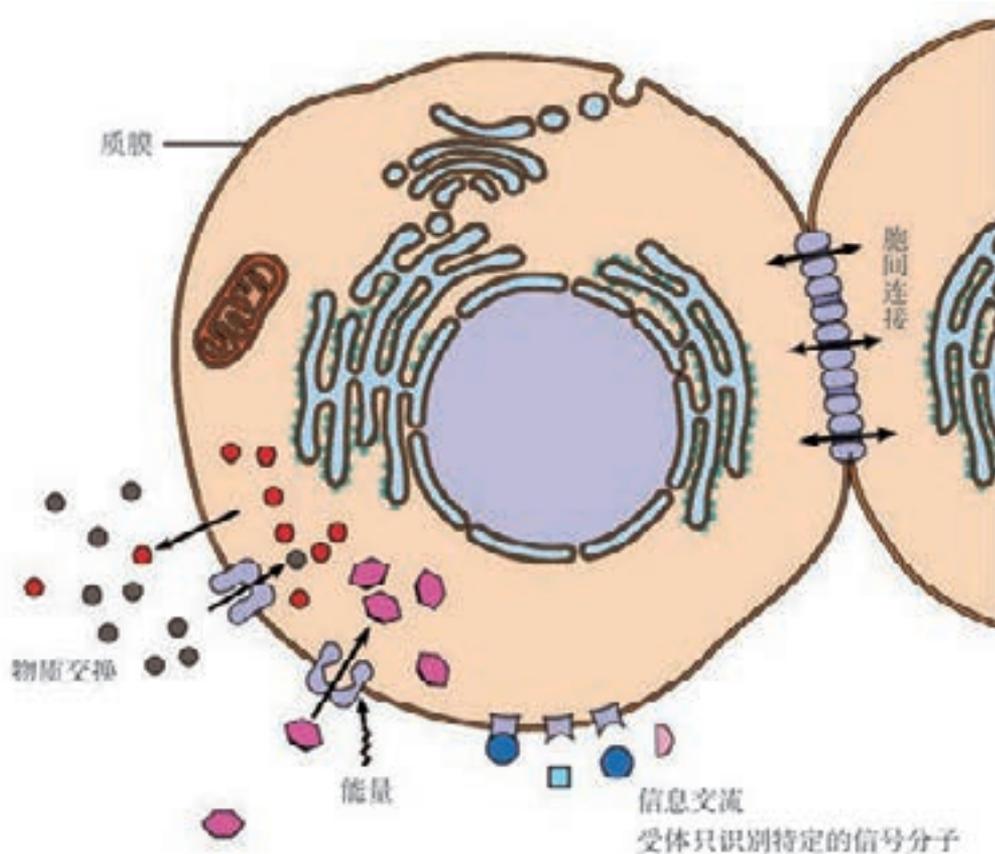


图 4-8 细胞的物质交换和信息交流示意图

的细胞，并通过一系列反应引起该细胞作出响应，这就完成了细胞间的信息交流。

多细胞生物体内存在着多种多样的信号分子。相邻的细胞通过直接接触传递信息，但在多数情况下，这些信号分子被传递到远处的特定细胞，与质膜上的特定糖蛋白等受体（receptor）特异性地结合，再将信息传递到细胞内部。

细胞之间的信号分子含量极低，但是细胞接收信号后通过一系列处理和转化，微弱的化学信号可以被逐级放大。例如，当人受到惊吓或突然遇到紧急情况时，肾上腺会分泌肾上腺素。肾上腺素随血液到达肝或骨骼肌，作为信号分子与质膜表面的受体相互识别并结合，导致受体被激活，进一步启动细胞内的一系列反应。单个肾上腺素分子便可促使很多糖原分解，生成成千上万个葡萄糖分子，最终提高了血液或肌细胞内的葡萄糖浓度。这种“雪崩式”连锁反应，迅速满足了脑组织和肌肉活动对葡萄糖的需要，从而使人体能够采取行动以应对突发事件。

细胞对信号分子作出响应的主要方式包括调节细胞代谢、改变细胞形状和运动以及调节基因的表达等（图 4-9）。细胞的信息交流不仅依赖信号的传递与响应，也依赖于信号的及时解除与终止。

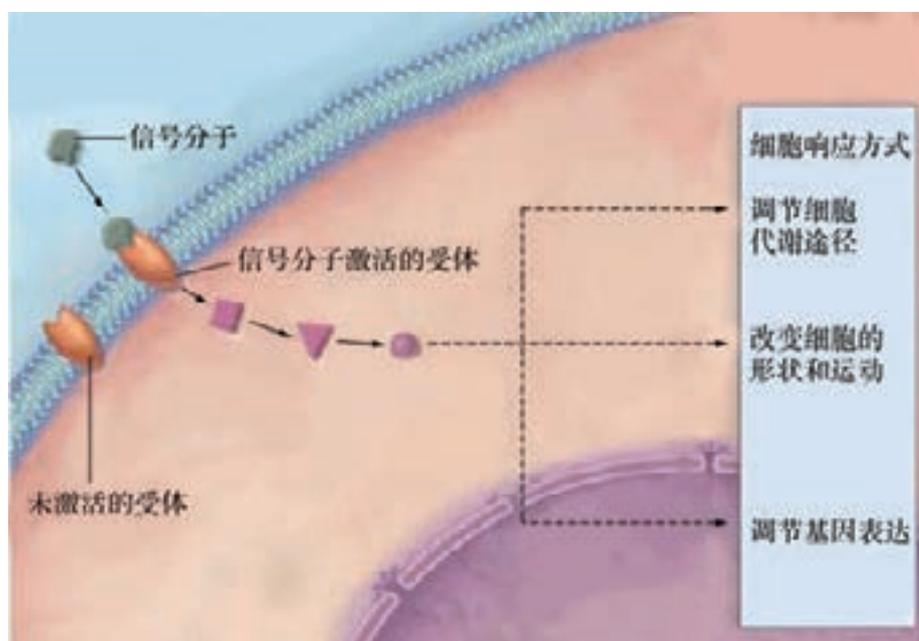


图 4-9 细胞对信号分子作出响应示意图

细胞通过质膜以穿膜运输和囊泡转运方式控制着物质进出细胞，这种选择透过性保证了细胞按照生命活动的需要与周围环境进行物质交换；细胞之间通过频繁的信息交流，及时调整各项生命活动的强度和频度，使细胞的代谢过程精准和谐。

学业检测

1. 在观察植物细胞的质壁分离和复原的过程中，某同学在显微镜视野中看到活的黑藻叶细胞正处于如下图所示状态。



请据图回答下列问题：

(1) 在细胞发生质壁分离的过程中，细胞液的浓度逐渐 _____，细胞的吸水能力逐渐 _____。

(2) 小组内同学 in 比较 a、b 处浓度的大小后，提出了 $a > b$ 、 $a = b$ 和 $a < b$ 共 3 种不同的意见。请说说你的看法，并作出解释。

2. 多细胞生物的每个细胞都处于特定的细胞“社会”中，细胞必须整合不同的信息作出适度的反应，才能维持生命活动的有序性。每个细胞身处多种多样的信号分子之中，尽管仅有一套有限的受体，仍然能够以复杂的方式精确调控细胞的行为。下图表示人体内细胞间信息交流的 3 种方式。



图甲

图乙

图丙

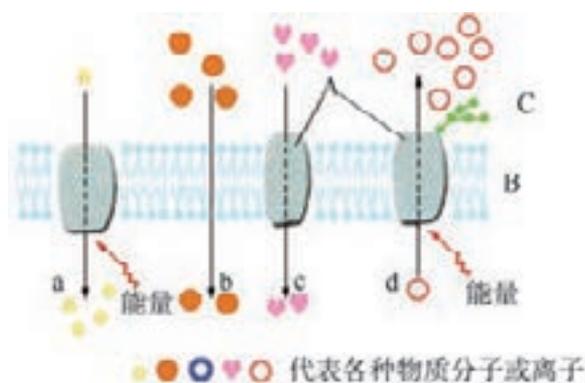
(1) 若图甲中 a 为胰岛素，则 a 从细胞 A 内转运到细胞外的运输过程属于_____。

(2) 若图乙表示精子、卵细胞结合过程，丙表示两个神经元之间的信息交流。图中 b、c 都是质膜上接收信号分子的受体，两者是否相同？受体在细胞间信息交流过程中的作用是什么？

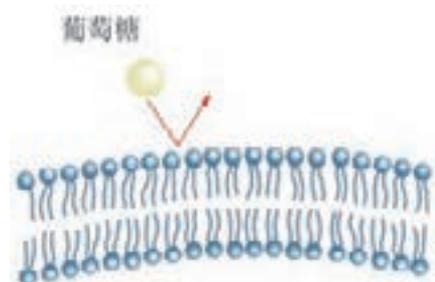
(3) 当人受到惊吓时，会通过神经系统作出肌肉收缩等一系列反射活动；同时有关内分泌腺会合成和分泌激素作为信号分子传递给相应细胞，这些细胞接受信号后会作出一系列连锁反应，迅速提高血糖浓度。上述过程中，肌细胞等对信号分子作出的响应主要包括哪些方式？

(4) 肝细胞的肾上腺素或胰高血糖素受体在结合各自信号分子后，都能促进糖原分解而升高血糖；神经元分泌的乙酰胆碱作用于心肌细胞会降低收缩频率，作用于唾液腺细胞则引起唾液分泌，作用于骨骼肌细胞会引起肌肉收缩。这说明了信号分子和靶细胞作出的响应之间有什么关系？

3. 物质的穿膜运输既有顺浓度梯度的也有逆浓度梯度的，质膜的结构决定了其具有选择透过性的功能特点。图甲为肾小管重吸收时不同物质进出肾小管上皮细胞质膜的示意图，图乙为人工合成的磷脂双分子层示意图。



图甲



图乙

(1) 图甲中的穿膜运输方式有_____种， O_2 、 CO_2 、 H_2O 等通过质膜的方式属于_____。图甲中与根毛细胞吸收 Mg^{2+} 的运输方式相同的是_____，判断的依据是_____。

(2) 葡萄糖分子能穿过质膜却不能穿过人工合成的磷脂双分子层，其原因是什么？

(3) 环境温度的改变会影响物质穿膜运输的速率吗？为什么？

(4) 血液透析器俗称“人工肾”，即将患者血液与透析液分置于人工合成的半透膜两侧，将患者体内多余水及代谢废物排出体外并从透析液中吸收机体需要的物质，从而为尿毒症患者缓解症状。假如你是一位质检员，找出一种检测某公司生产的“人工肾”是否合格的方法。

第二节 酶是细胞生化反应的催化剂



图 4-10 豆科植物的根瘤

氮是植物生长必不可少的元素，大气中约含 78% 的氮气，但不能被农作物直接利用，因此，种植农作物一般都需要施用氮肥。目前，世界上大约有 10% 的能源用于工业固氮，因为工业固氮需要在 20~50MPa、500℃ 的条件下，使用无机催化剂将氮气和氢气合成氨。而与豆科植物共生的根瘤菌却在常温常压下就能够固氮（图 4-10）。我国豆田生物固氮量约为 100kg/hm²，相当于每年节约了 10 多万吨标准煤。根瘤菌轻松固氮的“法宝”是细胞中的生物催化剂——酶（enzyme）。和无机催化剂相比，酶的作用具有哪些特点？酶的化学本质是什么？

一、酶具有高效性和专一性等特点

细胞中的酶能加快化学反应的进行。在常温常压下，生物体中数千种酶的作用，保证了生命活动的高效进行。



实验探究

探究酶催化的高效性、专一性和环境因素对酶活性的影响

细胞中某些化学反应产生的 H₂O₂ 具有很强的氧化性，会伤害细胞。生物组织中的过氧化氢酶和无机催化剂 Fe³⁺ 都能催化 H₂O₂ 分解成 H₂O 和 O₂。比较不同条件下反应中 O₂ 生成的速率，可以探究酶催化的高效性、专一性和 pH 对酶活性的影响。

目的要求

1. 比较酶与普通催化剂的催化效率，探究酶催化作用的高效性。
2. 比较不同条件下过氧化氢酶的催化效率，探究酶的专一性和 pH 对酶活性的影响。

材料器具

质量分数为 20% 的新鲜鸡肝研磨液（或其他动物肝研磨液），体积分数为 3.0% 的 H₂O₂ 溶液、质量分数为 3.5% 的 FeCl₃ 溶液、蒸馏水、胃蛋白酶溶液、pH 分别为 1 和 4 的盐酸、pH 分别为 10 和 13 的 NaOH 溶液，数据采集器、相对压强传感器、

计算机、Y形试管、带导管的单孔橡皮塞、变径转接头、量筒、5mL注射器。

活动程序

1. 连接好相对压强传感器、变径转接头、单孔橡皮塞和Y形试管，双手紧握Y形试管两分叉底管，观察相对压强值是否变化。若示数无变化或变化较小，说明实验装置漏气，需在接口处涂抹适量凡士林密封（图4-11）。

2. 向3支Y形试管的侧管A、B、C中分别加入5滴新鲜鸡肝研磨液、FeCl₃溶液、蒸馏水，侧管D、E、F中各加入2mL H₂O₂溶液，并将3个相对压强传感器通过变径转接头与Y形试管的单孔橡皮塞连接。

3. 打开通用软件“酶的特性”，在实验界面输入催化剂名称，单击“开始实验”后，对传感器进行调零。同时倾斜3支Y形试管，使H₂O₂溶液流入另一侧管，观察并保存相对压强随时间变化的曲线（图4-12）。



图4-11 研究酶催化特性的实验装置

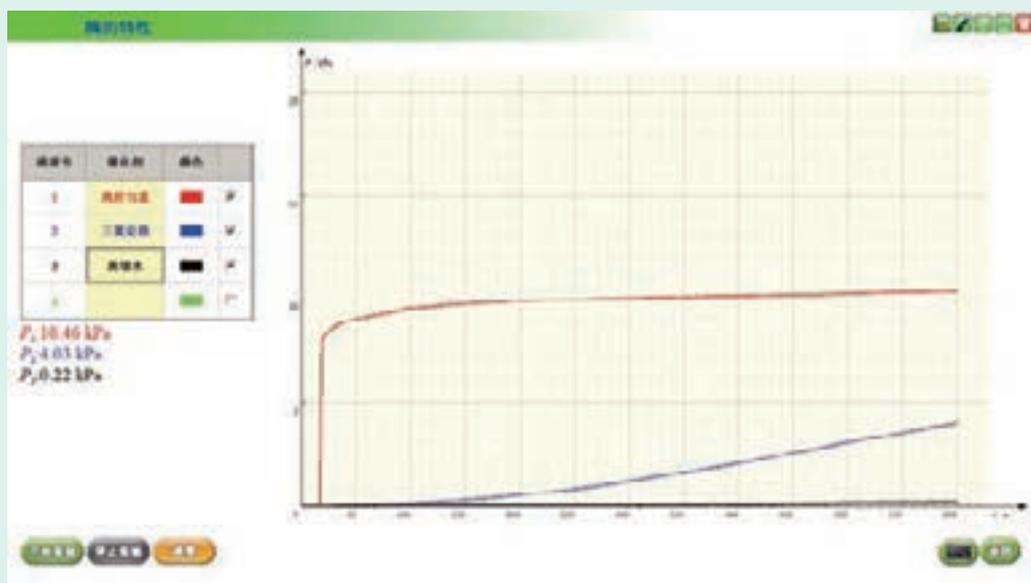


图4-12 不同物质与H₂O₂溶液混合后氧的相对压强变化曲线

按照表4-1要求更换试管中的试剂，重复程序3，完成程序4—6。观察并保存相对压强随时间变化的曲线。

表 4-1 程序 4—6 添加试剂的种类

活动程序	A	B	C	D、E、F
4	5 滴鸡肝研磨液	5 滴胃蛋白酶溶液	5 滴蒸馏水	2mLH ₂ O ₂ 溶液
5	5 滴鸡肝研磨液	5 滴鸡肝研磨液 +2 滴 pH 为 1 的盐酸	5 滴鸡肝研磨液 +2 滴 pH 为 4 的盐酸	2mLH ₂ O ₂ 溶液
6	5 滴鸡肝研磨液	5 滴鸡肝研磨液 +2 滴 pH 为 10 的 NaOH 溶液	5 滴鸡肝研磨液 +2 滴 pH 为 13 的 NaOH 溶液	2mLH ₂ O ₂ 溶液

⚠ 安全警示

盐酸、NaOH 溶液、H₂O₂ 溶液会伤害皮肤，使用时须小心！

分析讨论

1. 分析程序 3 中 3 条曲线的变化趋势，可以得出哪些结论？
2. 程序 4 中有两条曲线几乎重合，为什么？
3. 分别比较程序 5 和 6 中 3 支试管对应的曲线，可以得出什么结论？
4. 唾液淀粉酶能将食物中的淀粉分解为麦芽糖。利用实验室现有材料器具设计实验，探究温度对酶活性的影响。若利用鸡肝研磨液和 H₂O₂ 为实验材料，能得到类似的结论吗？

实际上，每滴 FeCl₃ 溶液中的 Fe³⁺ 数大约是每滴肝研磨液中过氧化氢酶分子数的数万倍。Fe³⁺ 的催化效率为 $6.0 \times 10^{-4} \text{ mol/ (mol} \cdot \text{s)}$ ，而过氧化氢酶的催化效率为 $8.3 \times 10^4 \text{ mol/ (mol} \cdot \text{s)}$ ，过氧化氢酶的催化效率比 Fe³⁺ 高得多。酶的催化效率比一般催化剂高 $10^7 \sim 10^{13}$ 倍。可见，酶的催化作用具有高效性。

过氧化氢酶只能催化过氧化氢的分解，蛋白酶除了催化蛋白质水解外，对其他化学反应不起作用。一种酶只能催化一种或一类化学反应，即酶的催化作用具有专一性。

科学家分别在不同的温度和 pH 条件下测定同一种酶的活性，并根据所获得的数据绘制成曲线（图 4-13）。在适宜的温度和 pH 下，酶的活性最高。酶的种类不同，其发挥作用的最适温度和最适 pH 都会有差异。一定的低温使酶的活性降低，但不会使酶失活；温度过高、pH 过高或过低都会使酶的分子结构遭到破坏而失去活性，即酶活性受温度、pH 等环境因素的影响。

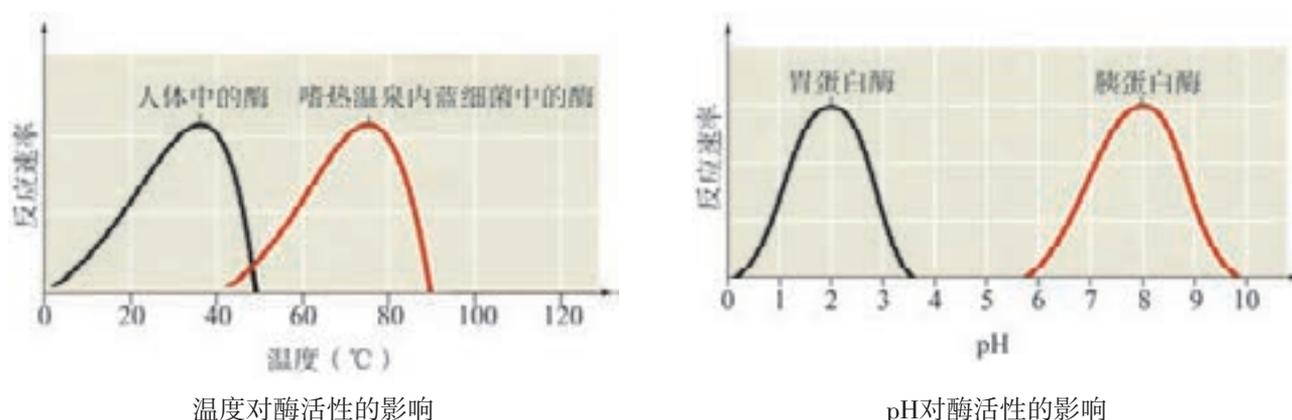


图 4-13 温度和 pH 对酶活性的影响

思维训练

绘制甘薯的还原糖含量随温度变化的曲线

科学探究中记录的原始数据往往数量较多、杂乱无章，难以从中发现规律。通过绘制曲线或运用其他技术对实验数据作进一步的处理和分析，构建模型，就可以初步得出实验结论，在此基础上可以进一步提出问题继续探究。

为探究温度对淀粉酶活性的影响，某兴趣小组将甘薯放在不同温度下（其他条件相同）处理 30min 后，测定其还原糖含量，结果见表 4-2。

请用描点法画出甘薯的还原糖含量随温度变化的曲线，或用 Excel 软件将还原糖含量随温度变化的数据转换成柱状图。

表 4-2 不同温度下甘薯中的还原糖含量

处理温度 (°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
甘薯还原糖含量 (mg/g)	22.1	23.3	25.8	37.6	40.5	47.4	54.7	68.9	45.3	28.6

二、绝大多数酶是蛋白质

德国动物学家施旺不仅是细胞学说的奠基人之一，而且还是一位杰出的生理学家。1834 年，施旺经过实验和分析发现，胃腺中有一种物质，如果将其与酸混合，分解肉类食

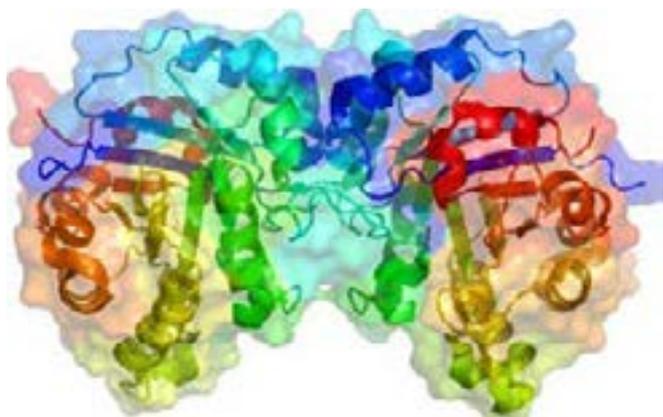


图 4-14 胃蛋白酶的分子结构示意图

物的能力远比酸的单独作用大得多。1836年，施旺将这种物质从胃液中提取出来，并用氯化汞处理，终于制备出一种被证明是有效成分的沉淀物，后来该有效成分被称为胃蛋白酶（图 4-14）。这是人类第一次从动物体内提取出酶。

1926年，美国科学家萨姆纳（J. Sumner）经过多次实验，从刀豆种子中提取到了脲酶的结晶，并用多种方法证明脲酶是蛋白质。此后他与其他科学家又相继证明过氧化氢酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶等几千种酶都是蛋白质。

20世纪30年代，科学家一致认为，酶是一类具有生物催化作用的蛋白质。1978—1982年，美国分子生物学家奥尔特曼（S. Altman）和切赫（T. Cech）发现，在特定条件下某些RNA也具有催化活性。科学家将酶的定义完善为：酶是活细胞产生的一类具有催化作用的有机物，它能使生物体内的化学反应在一定条件下迅速地进行，而酶本身不发生变化。目前，科学家普遍认为绝大多数酶是蛋白质，少数酶是RNA。

一个细胞就相当于一个微型的“化工厂”，其能量的获取和利用都伴随着复杂的物质变化。在常温常压下，正是酶的作用才保证了细胞内复杂的生物化学反应有条不紊地进行。

学业检测

1. 为探究酶催化作用具有高效性，某同学设计了如下图所示的实验装置。先分别将0.5mL质量分数为3.5%的 FeCl_3 溶液和质量分数为20%的鸡肝研磨液注入甲、乙瓶内，用插有60mL注射器的橡皮塞塞紧。同时将注射器内的体积分数为3%的 $4\text{mLH}_2\text{O}_2$ 溶液注入瓶内，观察并记录实验现象。

(1) 根据实验结果，如何计算两个反应的速率？

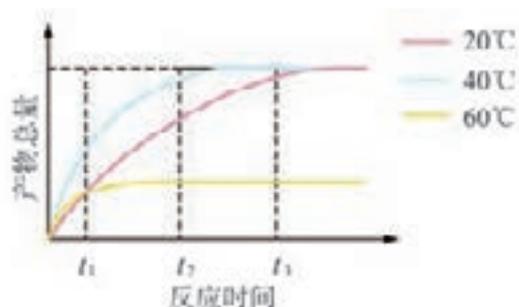
(2) 甲、乙两瓶内反应产生的氧气量最终是否一致，为什么？

(3) 实验结束后，该同学把剩余鸡肝研磨液放入冰箱中冷藏。一天后取出鸡肝研磨液重复上述实验，他能否得到与上次相同的实验结果，为什么？

第二节 酶是细胞生化反应的催化剂



2. 为研究温度对某种酶活性的影响，设置 3 个实验组：A 组（20℃）、B 组（40℃）和 C 组（60℃），在相同条件下，测定各组在不同反应时间内的产物总量，结果如右图所示。



(1) 在 3 组实验中，酶活性最高的是_____组。

(2) 在时间 t_2 时，若向 C 组中增加 2 倍量的底物，其他条件保持不变，当反应时间到达 t_3 时，C 组产物总量_____。

(3) 若此反应在 30℃ 环境下进行，则与 A 组实验比较，酶催化反应的速率会_____。

(4) 在 B 组实验中，若 t_1 时向反应装置中增加 2 倍的酶量，保持其他条件不变，图中曲线会怎样变化？尝试在图中画出。

3. 加酶洗衣粉受到人们的普遍欢迎，是因为其中添加了多种酶制剂，不仅可以有效地清除衣物上的污渍，而且酶制剂及其分解产物容易被微生物分解，减少了对环境的污染。右图所示为某种加酶洗衣粉的使用指南。



(1) 使用洗衣机洗涤等量衣物时，水量相同，使用的加酶洗衣粉量不同，则洗净衣物所用的时间不同，这说明_____会影响酶催化反应的速率。

(2) 洗涤沾有重度污渍的衣物时，需要搅拌衣物，目的是_____；在冬季需要使用温水洗涤衣物，其中的道理是_____。

(3) 该洗衣粉“适用于棉、麻、化纤以及其混纺等衣物”，不能用于洗涤“丝质或毛料衣物”，为什么？

(4) 加酶洗衣粉只是生活用“酶”的一个常见实例，尝试列举生产生活中其他应用“酶”的实例。

第三节 ATP 是驱动细胞生命活动的直接能源物质



图 4-15 车胤囊萤夜读

“胤恭勤不倦，博学多通。家贫，不常得油。夏月，则练囊盛数十萤火以照书，以夜继日焉。”晋朝人车胤“囊萤夜读”的励志故事成了一代又一代莘莘学子苦学乐学的典范（图 4-15）。夏夜里萤火虫发出的点点萤光会引起无数人的美好回忆和遐思。萤火虫发光所需要的能量来自哪种物质？这种物质的结构具有什么特点？它对细胞的生命活动具有哪些意义？

一、ATP 是一种高能化合物

ATP 是腺苷三磷酸（adenosine triphosphate）的简称，其中的“A”表示腺苷，“T”表示三个，“P”表示磷酸基团（图 4-16）。

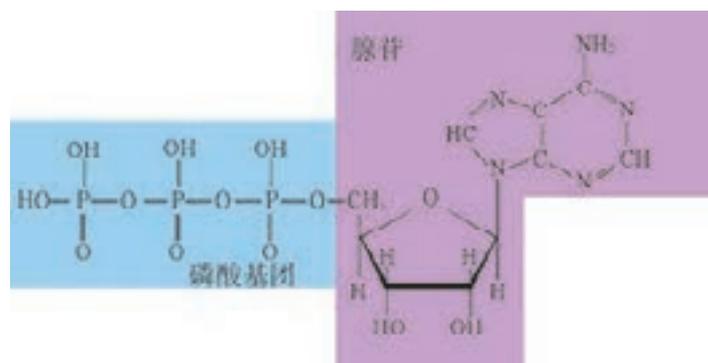


图 4-16 ATP 分子结构式示意图



经典再现

萤火虫发光的研究历程

全世界约有 2000 种萤火虫。萤火虫腹部末端的下方有发光器，可发出萤光。自然界的许多生物都能发光，萤火虫发光是生物发光的一种。生物发光是由化学反应引起的。从探究萤火虫的发光原理到发现 ATP 的结构和功能，持续了 70 多年的科学探索终于揭开了萤火虫发光的秘密。

[资料 1] 1884 年，法国药学家迪布瓦 (R. Dubois) 切取萤火虫的尾部并充分研磨，发现尾部提取物会发出短暂荧光。当荧光消失后，立即添加新的煮沸过的萤火虫尾部提取物，又能恢复发光现象。迪布瓦首次将化学分析技术应用于生物发光研究，推断萤火虫发光是一种荧光物质在某种酶催化下的氧化过程。迪布瓦将这种荧光物质和酶分别命名为荧光素和荧光素酶。

[资料 2] 20 世纪上半叶，美国动物学家哈维 (E. Harvey) 进行了一系列研究，证明荧光素在空气中容易被氧化，是高度不稳定的，经常在提取过程中失去荧光，但是也可以通过加入还原剂进行还原并保持稳定。

[资料 3] 1929 年，德国生物化学家洛曼 (K. Lohmann) 和美国生物化学家菲斯克 (C. Fiske) 等分别独立地从肌肉中分离出 ATP。在随后的十几年间，多位科学家都对 ATP 进行了研究，发现它与多项生命活动相关，但具体机理并不明确。

[资料 4] 美国生物化学家麦克尔罗伊 (W. McElroy) 根据其他科学家对 ATP 的研究，推测 ATP 可能是荧光光能的直接来源。1947 年，麦克尔罗伊在无还原剂条件下提取出分别含有荧光素和荧光素酶的粗提物，二者混合后，并没有荧光产生。然而，在混合粗提物中加入少量 ATP，粗提物立即产生了明亮的荧光，而且荧光持续时间与加入的 ATP 量直接相关 (图 4-17)。

1956 年，麦克尔罗伊等系统地研究了萤火虫发光的生物化学机理，利用高度纯化的荧光素和结晶的荧光素酶，结合光电转换记录技术，阐明了生物荧光产生的生物化学过程。在含有荧光素和荧光素酶的 5mL 总反应体系中 (pH 为 8.0)，分别加入 0.06 $\mu\text{mol/L}$ 和 0.1 $\mu\text{mol/L}$ 的 ATP，并连续记录不同发光时间荧光总量，实验结果如图 4-18 所示。

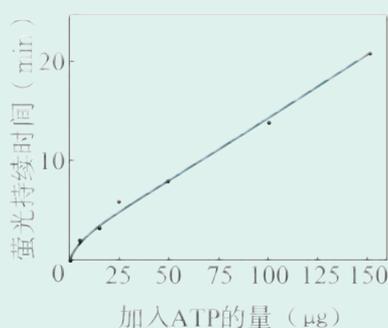


图 4-17 ATP 与荧光持续时间的关系

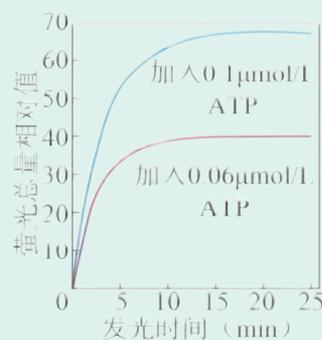


图 4-18 ATP 浓度对荧光总量的影响

分析讨论

1. 根据“加入新的煮沸过的萤火虫尾部提取物导致重新发光”现象，可以推测该提取物中含有哪类发光必需物质？能够排除哪类物质对推论的干扰？
2. 根据图 4-18 分析 ATP 对离体条件下生物发光有哪些影响。
3. 讨论科学家探究 ATP 作为生命活动直接能源的思想和方法。

研究表明，从细菌、真菌直到高等生物，ATP 在活细胞内普遍存在。它不仅容易水解，而且能在水解过程中释放出大量的能量，直接用于物质合成、主动运输、肌肉收缩、生物发光等各项生命活动。ATP 属于高能化合物，是驱动细胞生命活动的直接能源物质。

二、ATP 与 ADP 可以相互转化

在有关酶的催化作用下，ATP 分子可以水解为 ADP（腺苷二磷酸）和 P_i （无机磷酸），释放能量。在另一类酶的催化作用下，ADP 接受能量，同时与一个 P_i 结合，又生成 ATP（图 4-19）。

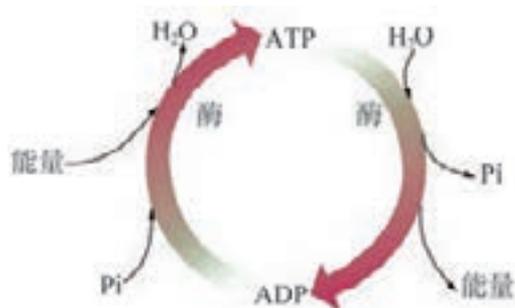


图 4-19 ATP 与 ADP 的相互转化示意图

ATP 在细胞中的含量很少，主要通过 ATP 与 ADP 之间快速地相互转化，保证细胞内能量的持续供应。据测算，一个正常成年人每天要水解并且再合成相当于自身体重的 ATP，以满足正常生命活动的需要。

ATP 含量稳定、移动迅速、供能高效，因而成为细胞内能量释放、转移和利用的关键物质。

自然界的生命活动所需能量大多最终来源于绿色植物固定的太阳光能。在细胞中糖类是主要的能源物质，脂肪是重要的储存能量的物质，蛋白质等其他有机物在氧化分解时也能释放能量，但直接驱动细胞生命活动的能量还是来自 ATP。

阅读空间

能量的“黄金储备”——磷酸肌酸

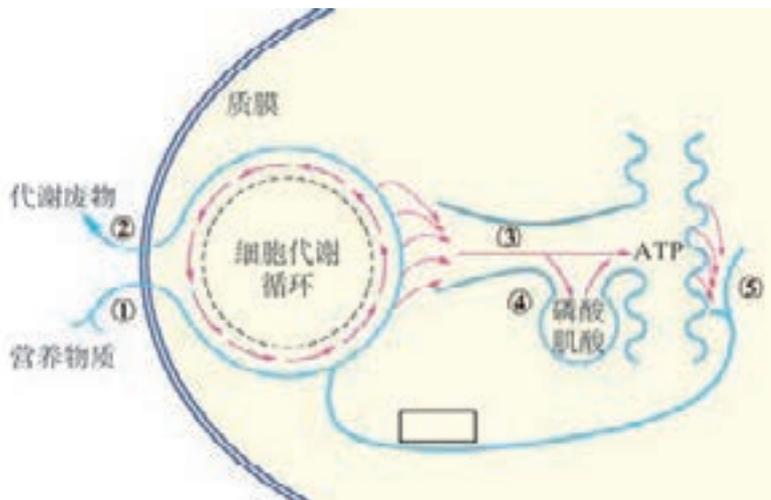
磷酸肌酸是一种主要分布在肌肉组织中的高能化合物，是能量的暂时储存形式。正常人肌细胞中磷酸肌酸的含量是 ATP 含量的 3~4 倍，训练有素的运动员甚至达到 10 倍左右。

100 米短跑比赛中，运动员能量的直接来源是存储在 ATP 分子中的，由于 ATP 的数量有限，只能维持短跑约 3s。这时，肌细胞中的磷酸肌酸在肌酸激酶的作用，将其能量转移给 ADP，补充生成新的 ATP，可以让运动员再跑 5~6s。短跑比赛结束时，运动员体内的磷酸肌酸基本耗尽。在活动后的恢复期，积累的肌酸又可与 ATP 反应，重新生成磷酸肌酸。

剧烈运动时，ATP 的水解速率远远大于重新合成的速率。在生物进化过程中，磷酸肌酸的出现解决了 ATP 的供需矛盾。如果把 ATP 称为“能量货币”，磷酸肌酸就相当于能量的“黄金储备”。

学业检测

1. 1941 年，美国生物化学家李普曼对细胞内 ATP、无机磷酸、磷酸肌酸的关系作了进一步的概括，并用简图展示了高能化合物在细胞代谢中的产生和利用过程（如下图所示）。图中数字表示生理过程，请据图回答：



(1) 图中过程①含 P 的无机盐穿膜运输的方式是_____；过程②所示的细胞内代谢废物穿膜运输方式是否都需要消耗 ATP？

(2) 过程③中，动物和绿色植物体内产生 ATP 的方式有什么区别？

(3) 磷酸肌酸只存在于动物细胞中，过程④的存在说明磷酸肌酸对动物具有什么意义？

(4) 在图中方框内填写出过程⑤的产物名称。

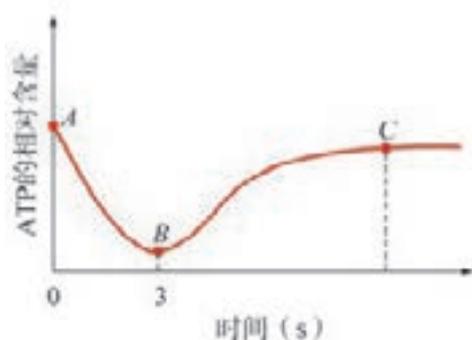
(5) 列举细胞内哪些生命活动发生了过程⑤。这些生命活动受哪些环境因素的影响？为什么？

2. 人骨骼肌细胞中的 ATP 含量仅能维持剧烈运动时 3s 以内的能量供给。在短跑比赛中，运动员肌细胞中 ATP 的相对含量随时间变化的曲线如右图所示。请回答：

(1) 图中 A→B 的变化过程，说明 ATP 水解，释放的能量主要用于_____；

(2) B→C 过程中，大量_____将其能量转移给_____，同时肌细胞的呼吸作用加强，释放更多能量，以补充肌细胞中_____含量的不足。

(3) 不论结构简单的单细胞原核生物，还是结构复杂的多细胞真核生物，都以 ATP 作为驱动细胞生命活动的直接能源物质。这对我们认识生物界的起源和进化有哪些启发？



第四节 光能的捕获、转换和储存



图 4-20 光合作用释放氧气

“青青园中葵，朝露待日晞。阳春布德泽，万物生光辉。”这首古诗描述的景象，可以说是对“万物生长靠太阳”最唯美的诠释。没有植物的光合作用（photosynthesis）就没有草木葳蕤、鸟兽成群的和谐景象，更没有我们人类的生存和发展（图 4-20）。光合作用的机理是什么？光能是如何被捕获并储存的？人们对光合作用的探究经历了怎样的历程？

一、光合作用的探究历程

陆生植物生长在土壤中，人们很自然地想到它们生长所需要的物质可能都来自土壤，亚里士多德当年也是这样认为的。17 世纪上半叶，比利时科学家海尔蒙特（J. Helmont）利用雨水浇灌柳树的实验，证明了植物生长的原料并非主要来自土壤。



经典再现

发现光合作用

1771—1785 年，英国化学家普里斯特利（J. Priestley）和荷兰医生英根豪斯（J. Ingenhousz）先后发现，植物在光下能“净化”空气。在此基础上，科学家又进行了一系列探索，逐步认识了光合作用的过程和本质。

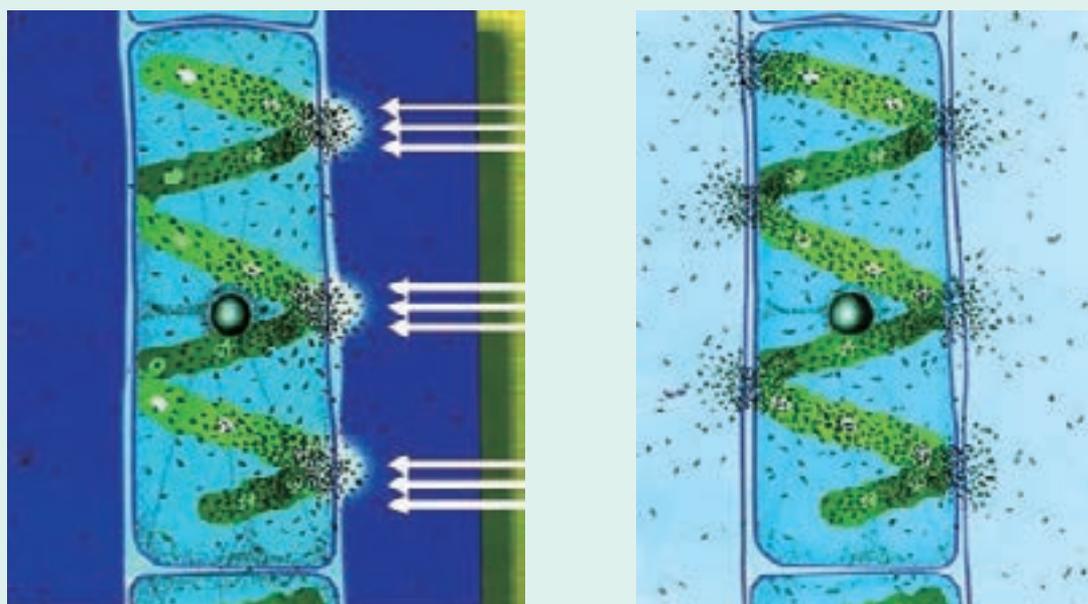
[资料 1] 1864 年，德国植物生理学家萨克斯（J. Sachs）做了一个实验：把天竺葵放在暗处几小时，然后选择一片长势旺盛的叶片，一半叶片曝光，另一半遮光。一段时间后，用碘蒸气处理叶片，发现只有曝光的一半呈深蓝色（图 4-21）。由此证明，植物的光合作用产生了淀粉。萨克斯创新的碘染色测定淀粉、数气泡法测定光合速率等实验技术，至今还在实验室应用。

[资料 2] 1880 年，德国科学家恩格尔曼（C. Engelmann）把载有水绵和需氧菌的临时装片放在无氧的黑暗环境里，然后用极细的光束照射水绵。通过显微镜观察，

发现需氧菌只集中在叶绿体受光照部位附近（图 4-22a）。如果把上述临时装片完全暴露在光下，需氧菌则集中在叶绿体所有受光照部位周围（图 4-22b）。



图 4-21 萨克斯实验示意图



a 需氧菌只集中在叶绿体受光照部位附近

b 需氧菌集中在叶绿体所有受光照部位周围

图 4-22 恩格尔曼实验示意图

[资料 3] 1941 年，美国生物化学家鲁宾（S. Ruben）和卡门（M. Kamen）制备了含有少量同位素 ^{18}O 的水和碳酸氢盐，其中碳酸氢盐能为水生植物提供二氧化碳。在适宜光照下，给 3 组小球藻提供含有不同比率 ^{18}O 的水和碳酸氢盐，一段时间后检测光合产物氧气中含 ^{18}O 的比率，结果见表 4-3。

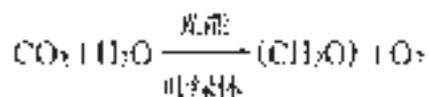
表 4-3 用 ^{18}O 比率不同的水和碳酸氢盐探究氧气的来源

	水中 ^{18}O 比率 (%)	碳酸氢盐中 ^{18}O 比率 (%)	氧气中 ^{18}O 比率 (%)
第 1 组	0.85	0.61	0.86
第 2 组	0.20	0.40	0.20
第 3 组	0.20	0.57	0.20

分析讨论

1. 萨克斯的实验中，把天竺葵放在暗处几小时的目的是什么？
2. 恩格尔曼的水绵叶绿体放氧实验在设计上有哪些巧妙之处？通过实验可以得出哪些结论？
3. 从鲁宾和卡门的实验可以看出，光合作用产生的氧气来自哪种物质？
4. 从海耳蒙特的定量分析、萨克斯的半叶法、恩格尔曼水绵放氧实验，到鲁宾和卡门的同位素标记法，有些实验设计很巧妙，有些为后来的研究奠定了基础。科学家探究光合作用的系列实验对我们有哪些启发？

经历了漫长的探索历程，人们对光合作用的过程逐渐明晰：光合作用是绿色植物通过叶绿体，利用光能，把二氧化碳和水转变为储存着能量的有机物，并且释放出氧气的过程。光合作用的过程可以用下面的反应式表示，其中的 (CH_2O) 表示糖类等有机物。



二、叶绿体从太阳光中捕获能量

从“万条垂下绿丝绦”的明媚春色到“霜前黄叶漫秋山”的深秋景象，树叶的颜色会随季节而改变，这与叶片中色素的种类和含量的变化有关。



实验探究

提取和分离叶绿体色素

层析法是利用不同分子在溶解度、大小、形状或所带电荷等理化性质上的差异，

从混合物中分离提纯物质的方法。纸层析是常用的层析方法之一。叶绿体中的色素都不溶于水而溶于有机溶剂，故可用无水乙醇等有机溶剂提取。各种色素在层析液中的溶解度不同，它们随层析液在滤纸条上的扩散速度也不同，经过一定时间后，就会彼此分离开。

目的要求

1. 尝试提取和分离叶绿体中的色素。
2. 了解叶绿体中色素的种类和含量。

材料器具

新鲜的绿叶（如菠菜叶），无水乙醇（或丙酮）、石英砂、碳酸钙粉、层析液（配方：60~90℃条件下分馏出来的石油醚 20 份、丙酮 2 份、苯 1 份混合），剪刀、研钵、漏斗、烧杯、滴管、培养皿、圆形滤纸、小试管、试管架、毛细吸管、尼龙布、脱脂棉、量筒、天平、药匙。

活动程序

1. 叶绿体色素的提取

（1）称取新鲜绿叶 5g，剪碎并放入研钵。在研钵中加入少量石英砂和碳酸钙粉，再倒入 6~8mL 无水乙醇，在圆形滤纸中心剪一个洞，将杵棒套入洞口，用滤纸盖在研钵上，迅速、充分研磨至糊状。

（2）在漏斗基部放一块单层尼龙布，将研磨液迅速倒入漏斗中进行过滤。将滤液收集到小试管中，用棉塞将试管口塞紧，避光保存备用。

2. 叶绿体色素的分离

（1）取干燥的圆形定性滤纸一张，将其剪成 1cm 宽的滤纸条，在滤纸条的一端剪去两个角，并在距离这一端 1cm 处用铅笔画一条细线。

（2）用毛细吸管吸取色素提取液，沿铅笔细线均匀地画出一条细而直的滤液细线，风干。重复操作 3~4 次。

（3）在烧杯中加入适量的层析液，将滤纸条带有色素的一端插入烧杯中，使滤纸条下端浸入层析液，但是不能让层析液没及滤液细线；将滤纸条上端折叠挂靠但不要贴到烧杯壁上；迅速盖上培养皿（图 4-23a）。

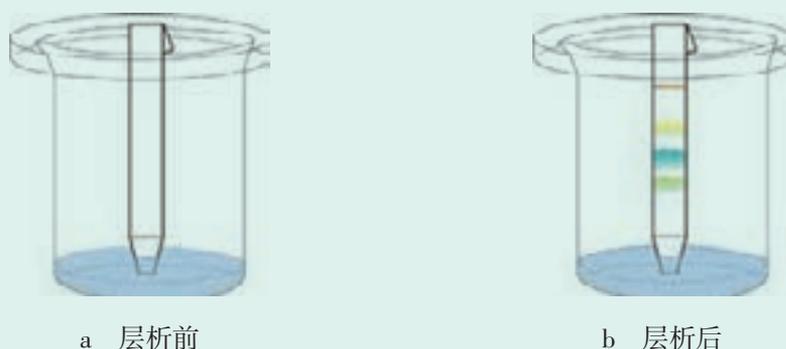


图 4-23 纸层析法分离色素示意图

(4) 待层析液扩散至距烧杯边缘 2cm 左右, 取出滤纸条, 观察滤纸条上色素带的条数及颜色, 风干后避光保存(图 4-23b)。

⚠️ 安全警示

无水乙醇易燃, 须远离火源! 丙酮有毒, 注意通风!

分析讨论

1. 滤纸条上的滤液细线为什么不能触及层析液?
2. 滤纸条上色素带的宽度以及与滤液细线之间的距离都不相同, 分别说明了什么?
3. 用红色、蓝色和绿色激光笔照射试管中的色素提取液, 发现只有绿色激光能透过提取液, 这说明了什么?
4. 除了层析法, 依据蛋白质、核酸等分子的性质可以分离提纯细胞内的多种生物大分子, 差速离心法可以将细胞组分分离开来。以上技术若与显微镜观察相结合, 对研究细胞有哪些意义?

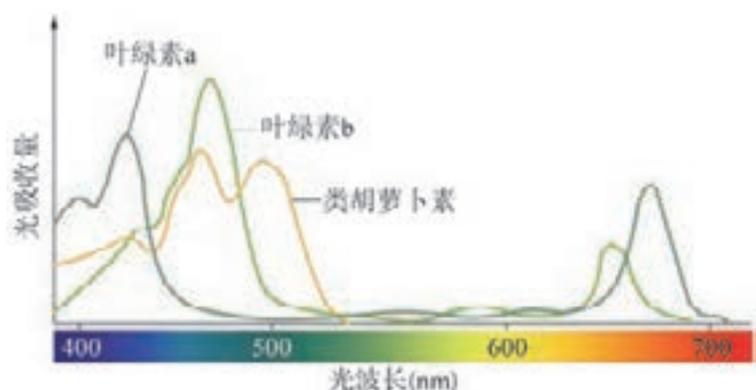


图 4-24 叶绿体色素的吸收光谱

高等植物叶绿体中的色素分为两大类: 叶绿素和类胡萝卜素, 其中叶绿素包括蓝绿色的叶绿素 a 和黄绿色的叶绿素 b, 类胡萝卜素包括橙黄色的胡萝卜素和黄色的叶黄素。通常, 叶绿体中的叶绿素含量是类胡萝卜素的 3 倍, 所以正常叶片呈绿色。秋天, 随着气温逐渐降低, 叶绿素首先分解, 于是叶片就显示出类胡萝卜素的颜色。

各种色素分子之所以具有不同的颜色, 是因为它们的吸收光谱不同: 叶绿素吸收光波较强的区域是波长为 650~680nm 的红光区和波长为 430~450nm 的蓝紫光区。类胡萝卜素的吸收光谱与叶绿素不同, 其吸收光波较强的区域在 400~500nm 的蓝紫光区(图 4-24)。

三、光能的转换和储存

光合作用包括光反应(light reaction)和暗反应(dark reaction)两个阶段。暗反应现在也称为碳反应。

光反应必须在光照下才能进行, 反应场所在叶绿体的类囊体膜上。类囊体膜上的色素分子捕获光能, 将水分解

成氧、 H^+ 和电子，其中，氧以分子状态释放，电子则被一系列物质逐级传递，形成电子流，从而实现了从光能向电能的转换。

伴随着电子传递，在类囊体膜外侧，氧化型辅酶 II ($NADP^+$) 得到电子和 H^+ 形成还原型辅酶 II ($NADPH$)；类囊体膜内侧的 H^+ 浓度逐渐高于外侧，电化学势能促使 ADP 与 P_i 结合形成 ATP。至此，电能转换成活跃的的化学能，储存在 $NADPH$ 和 ATP 中。

暗反应场所在叶绿体基质中。叶片从外界吸收的二氧化碳在酶的作用下与叶绿体内的一种五碳化合物(用 C_5 表示)结合，形成三碳化合物(用 C_3 表示)，这个过程叫作二氧化碳的固定。其中，一部分三碳化合物在 ATP 和多种酶的作用下，被 $NADPH$ 还原，经过一系列复杂的变化形成糖。

这样，ATP 和 $NADPH$ 中活跃的的化学能就转变成稳定的化学能储存在糖分子中。另一部分三碳化合物经过复杂的变化再生为五碳化合物，继续参与二氧化碳的固定，从而使暗反应阶段的化学反应循环往复地进行下去(图 4-25)。

尽管暗反应阶段不需要光，但是停止光照后，暗反应会因为缺乏 ATP 和 $NADPH$ 而很快停止。

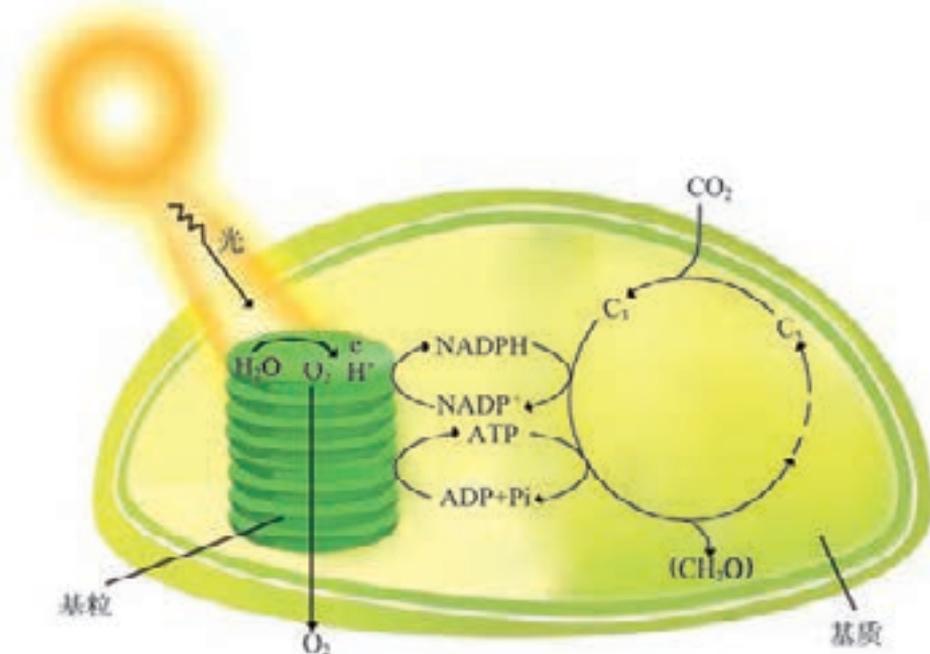


图 4-25 光合作用过程示意图

阅读空间

卡尔文循环

20 世纪 50 年代，美国生物化学家卡尔文开始用小球藻悬液研究光合作用的暗反应。卡尔文给小球藻提供持续的光照和 CO_2 ，一段时间后，加入放射性同位素标记的 $^{14}CO_2$ ，在不同时段(间隔 3s、5s、10s 等)内将细胞悬液迅速倾入煮沸的乙醇中以杀死细胞，使酶失活。最后，使用双相纸电泳和放射自显影分离等方法分析产物，发现了 C_3 等一系列中间产物，最终阐明了暗反应阶段的反应过程——卡尔文循环(图 4-26)。卡尔文的工作促进了人们对光合作用的认识，他因此荣获了 1961 年诺贝尔化学奖。

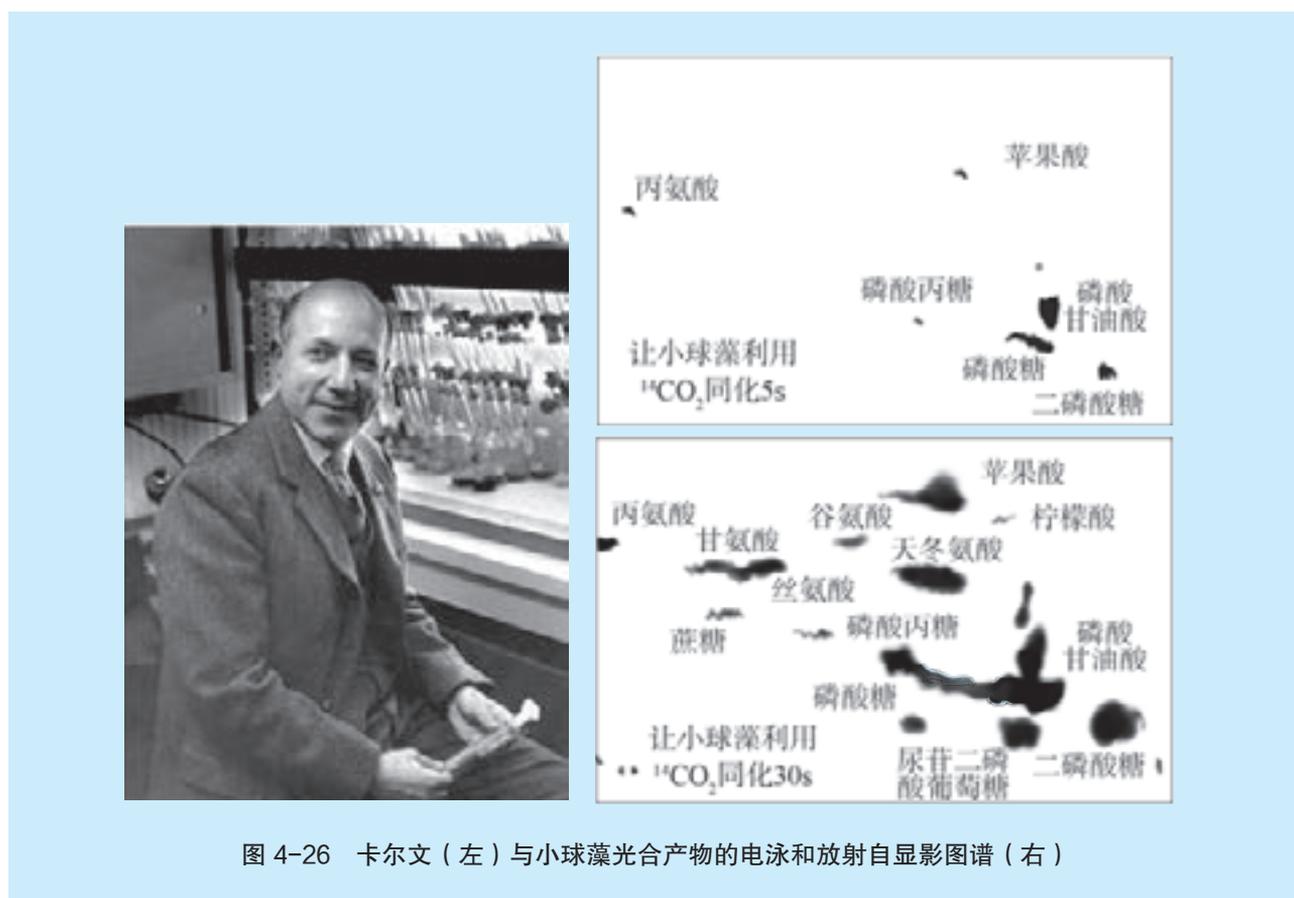


图 4-26 卡尔文（左）与小球藻光合产物的电泳和放射自显影图谱（右）

四、光合作用受环境因素影响

1927 年，我国植物生理学家李继侗和殷宏章对水生植物的光合作用进行了研究。他们发现当光照波长突然改变时，光合速率会发生瞬间调整，然后趋于稳定。这一发现将环境因素对光合作用影响的研究引向深入。



实验探究

探究不同环境因素对光合作用的影响

光照强度、温度、二氧化碳的浓度、土壤中的水分和光的波长等都是影响光合作用强度的环境因素。通过测定一定时间内光合作用原料的消耗或产物的生成，可以探究不同环境因素对光合作用的影响。

目的要求

1. 学会探究不同因素对光合作用影响的方法。
2. 解释不同环境因素影响光合作用的原理。

材料器具

绿萝（或其他绿色植物），清水、制备好的二氧化碳气体，量筒、数据采集器、二氧化碳传感器、袖珍生化密封实验器、60W 白炽灯、25W 白炽灯等。

活动程序

1. 将绿萝放入暗箱内 24~48h，进行预处理。

2. 向两只袖珍生化密封实验器内各加入 5mL 清水，并分别放入等量生长状况相近的绿萝，使茎部断面与水接触，将二氧化碳传感器与实验器连接，并用橡皮对实验器进行密封。

3. 连接二氧化碳传感器与数据采集器、计算机，打开通用软件，单击“组合曲线”，添加两条“二氧化碳-时间”图线，分别表示两个实验器内二氧化碳浓度的变化情况（图 4-27）。

4. 在两套装置间用不透光的隔板隔开。将 60W 白炽灯和 25W 白炽灯分别置于距离叶片 15cm 处，使叶片正面受光。关闭室内光源，打开白炽灯。观察实验曲线的变化（图 4-28）。



图 4-27 光照强度对绿萝光合作用的影响实验装置

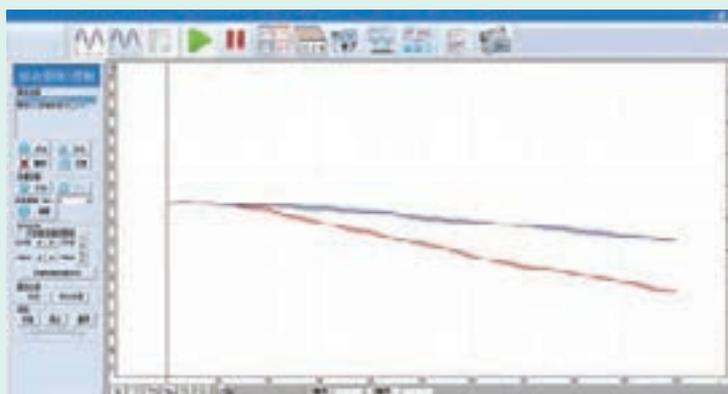


图 4-28 光照强度对绿萝光合作用的影响实验曲线

5. 将 25W 白炽灯换成 60W 白炽灯。使用注射器向其中一个实验器内缓慢注入二氧化碳气体，使实验器内的二氧化碳浓度达到 1mL/L，快速连接实验器与二氧化碳传感器，并用橡皮密封实验器。重复程序 4，观察实验曲线的变化。

分析讨论

1. 不同光照强度和二氧化碳浓度对光合作用分别有什么影响？
2. 在 60W 白炽灯上罩以红、蓝等不同颜色的玻璃纸，对实验结果有影响吗？为什么？
3. 人们常采用人工照明方式提高设施农业的作物产量。你认为，选用什么光质的灯具可以达到节能高效的目的？

植物的光合作用会同时受到多种环境因素的影响：光照强度主要影响光反应，空气中 CO_2 浓度主要影响暗反应，温度通过影响酶的活性影响光合作用的进行，氮、镁等矿质元素和土壤中的水分也会影响光合作用的进行。在农业生产中，必须同时考虑各种因素，采取综合措施，才能有效地提高农作物的产量。

思维训练

解释植物光合速率随光照强度变化的曲线

曲线图是一类利用曲线的升降变化来直观地表示数据信息关系的图形结构。图 4-29 表示在其他条件适宜的情况下测得某植物光合速率（用 CO_2 的吸收速率表示）随光照强度变化的曲线。请明确实验的变量，分析曲线上关键点的含义，解释各段曲线的变化。

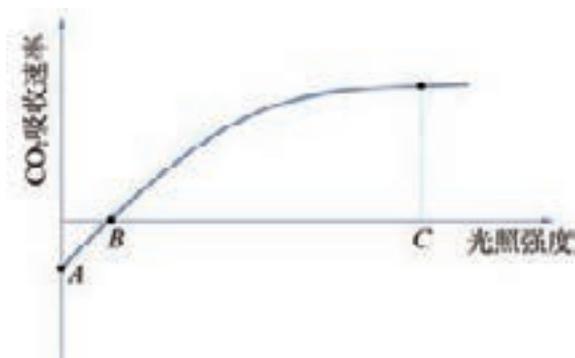


图 4-29 光合速率随光照强度的变化曲线

学业检测

1. 为了研究叶绿体中色素的种类和数量，科学家利用层析法分离出了叶绿体中的各种色素，这种方法一直沿用至今。利用纸层析法能够分离各种色素，所依据的原理是（ ）。

- A. 所有色素分子都是有机物，能溶解在层析液中
- B. 不同色素分子在层析液中的溶解度以及与滤纸的亲合力不同
- C. 不同色素分子的吸收光谱以及在光反应中的作用不同
- D. 不同色素分子在叶绿体中的分布和含量不同

2. 1937 年，英国植物生理学家希尔首次获得了叶片研磨后的离体叶绿体悬浮液，将此悬浮液（含水，不含 CO_2 ）与黄色的高铁（ Fe^{3+} ）盐混合，照光后发现叶绿体有气泡放出、

溶液由黄色变为浅绿色 (Fe^{2+})。在遮光条件下, 则没有气泡冒出, 溶液颜色也没有变化。

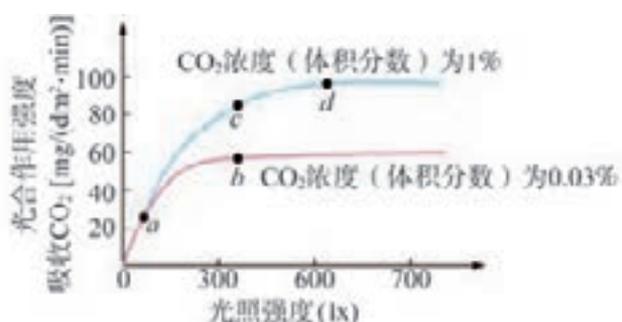
(1) 叶绿体放出的气泡成分是_____，该实验表明光合作用的场所是_____，_____是光合作用的必要条件。

(2) 离体叶绿体悬浮液由黄色变为浅绿色, 说明叶绿体在光照条件下生成了_____，把 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} 。

(3) 希尔实验中并没有检测到糖的生成。若向悬浮液中通入 CO_2 , 在光照条件下就能检测到糖的生成。这说明光合作用生成_____和生成_____是两个相对独立的过程。

(4) 与恩格尔曼的水绵实验相比, 希尔实验采用离体叶绿体研究光合作用, 这有什么意义?

3. 农作物的光合作用强度与其产量直接相关。科研人员研究了光照强度和 CO_2 浓度对某种植物光合作用强度的影响, 绘制出成熟叶片在两种 CO_2 浓度条件下, 光合作用强度随光照强度的变化曲线 (见下图)。



(1) a 点时植物光合作用强度较低, 主要的限制因素是_____; b 点以后, 限制植物光合作用强度继续增加的主要因素是_____。

(2) 当 CO_2 浓度从 c 点调至 b 点的瞬间, 叶绿体中 NADPH 的含量_____ (填“较高”“较低”或“相等”)

(3) 若将植物从光照下突然转入黑暗环境中, 叶肉细胞内 C_3 化合物含量会增加, 为什么?

(4) 根据图中曲线, 你认为采取哪些措施可以提高大田农作物产量?

4. 温室具有防寒、加温和透光等功能, 能控制或部分控制植物的生长环境, 多用于低温季节喜温蔬菜、花卉、林木等植物栽培或育苗等。随着蔬菜大棚建设的快速发展, 温室经历了手动控制、自动控制和智能化控制等发展阶段。

(1) 在建造温室大棚时, 一般选用什么颜色的棚膜, 为什么?

(2) 冬季通常在棚膜上盖草帘, 在棚内增加升温设施, 这样做的目的是什么?

(3) 北魏农学家贾思勰在《齐民要术》中提出: 农作物栽培要“正其行, 通其风”。这对大棚蔬菜种植有什么启发? 为了提高温室内农作物的产量和品质, 你还有哪些建议?

(4) 智能化温室拥有综合环境控制系统, 可以调节室内温、光、水、肥、气等诸多因素, 创造植物生长的良好环境。智能化温室除了提高农作物产量, 还有哪些方面的价值?

第五节 细胞能量的供应和利用

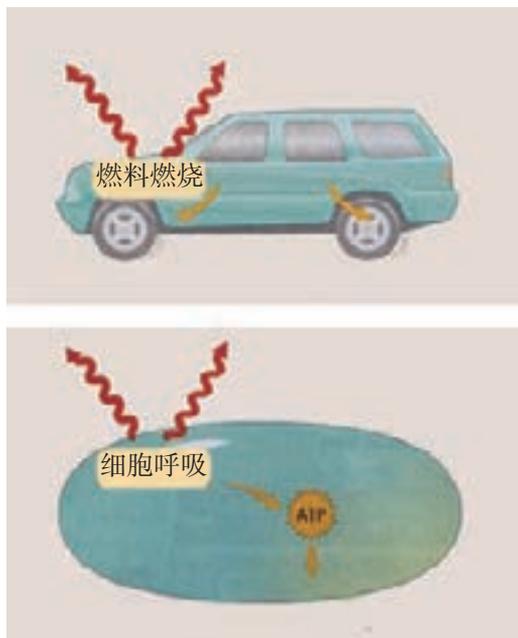


图 4-30 发动机和细胞都需要有机物提供能量

汽车发动机的动力是由汽油等燃料的燃烧提供的，这一剧烈的氧化反应消耗氧气，产生二氧化碳，从而释放大量能量，驱动汽车运行。同样，细胞分裂、肌肉收缩、神经传导等生命活动也需要能量，这些能量来自细胞内特殊的“燃料燃烧”过程——细胞呼吸（cell respiration）（图 4-30）。细胞呼吸有几种方式？细胞呼吸过程中发生了哪些物质和能量的变化？其原理在农业生产和生活实践中有哪些方面的应用？

一、细胞呼吸包括有氧呼吸和无氧呼吸

细胞呼吸是细胞内的有机物经过一系列氧化分解，生成二氧化碳或其他产物，释放能量并生成 ATP 的过程。



实验探究

探究酵母菌的呼吸方式

酵母菌是兼性厌氧的单细胞真菌，在有氧和无氧的条件下均能生存，常用于酿酒和制作发酵食品等。通过检测酵母菌的呼吸产物或消耗氧气的情况，探究酵母菌的呼吸方式。

目的要求

了解酵母菌在不同条件下细胞呼吸的方式。

材料器具

酵母粉,煮沸后冷却水配制的质量分数为5%的葡萄糖溶液、石蜡油(花生油等),锥形瓶、带导管的双孔橡皮塞、500mL烧杯、10mL注射器、温度计、数据采集器、二氧化碳传感器、磁力搅拌器。

活动程序

1. 取2个锥形瓶,编号A、B。均加入0.2g酵母粉和10mL葡萄糖溶液。
2. 测量2个锥形瓶内的温度,并向锥形瓶B中加入少量石蜡油进行油封。
3. 使用带导管的双孔橡皮塞连接二氧化碳传感器与锥形瓶,并将2个锥形瓶置于25~35℃的水浴环境中,启动磁力搅拌器对瓶中溶液进行搅拌(图4-31)。
4. 连接二氧化碳传感器、数据采集器和计算机,打开通用软件,添加“二氧化碳-时间”图线,测定二氧化碳浓度的变化情况(图4-32)。

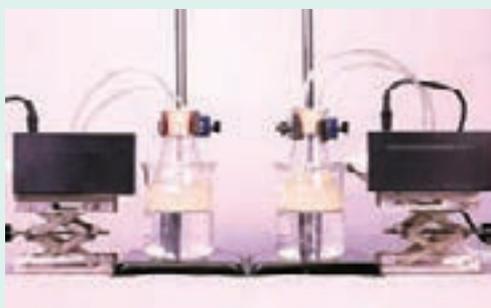


图 4-31 探究酵母菌呼吸方式实验装置

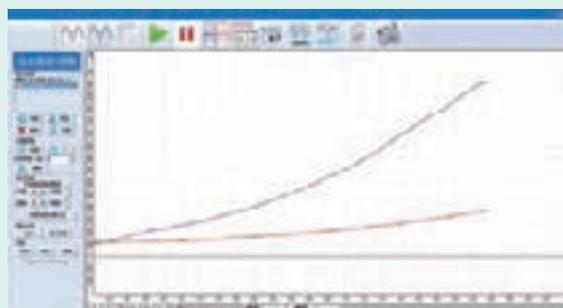


图 4-32 探究酵母菌呼吸方式实验曲线

分析讨论

1. 用煮沸冷却水配制葡萄糖溶液的目的是什么? 实验过程中对两瓶溶液都进行搅拌的目的是什么?
2. 相同时间内A瓶中二氧化碳浓度高于B瓶,为什么?
3. 二氧化碳可使溴麝香草酚蓝水溶液由蓝变绿再变黄,橙色的酸性重铬酸钾溶液与酒精反应变成灰绿色。请设计一个简易实验,根据溶液的变色情况,判断酵母菌的呼吸方式。

在不同条件下,细胞呼吸的方式和特点不完全相同。在氧气充足的环境中,酵母菌进行细胞呼吸的方式是有氧呼吸(aerobic respiration)。有氧呼吸是指细胞在氧的参与下,通过酶的催化作用,把糖类有机物彻底氧化分解,产生二氧化碳和水,同时释放大量能量的过程。在缺氧的环境中,酵母菌又能进行无氧呼吸(anaerobic respiration)。无氧呼

吸是指细胞在无氧的条件下，通过酶的催化作用，把糖类有机物不彻底分解，释放少量能量的过程。微生物的无氧呼吸也称为发酵。绝大多数动植物都需要生活在氧充足的环境中，而破伤风杆菌、乳酸杆菌和动物体内的多数寄生虫等只有在无氧条件下才能正常生存。

二、化学能转化为细胞可以利用的能量

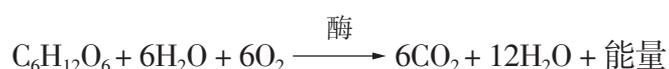
细胞有氧呼吸最常利用的有机物是葡萄糖。在多种酶的作用下，葡萄糖被彻底氧化分解。有氧呼吸过程大致可分为3个阶段（图4-33）：

第一阶段，在细胞质基质中，1分子葡萄糖分解成2分子丙酮酸，产生少量还原氢（通常用[H]表示），释放出少量能量。

第二阶段，丙酮酸进入线粒体，在水的参与下，经过一系列复杂的反应，被彻底分解成二氧化碳，同时产生较多的[H]，释放出少量能量。

第三阶段，前两个阶段产生的[H]，在线粒体内膜上经过一系列传递，最后与氧结合而形成水，同时释放出大量能量。

有氧呼吸的总反应式可表示为：



在生物体内，1mol葡萄糖经过彻底氧化可以释放2870kJ的能量，其中有1161kJ左右的能量储存在ATP中，其余的能量以热能的形式散失。

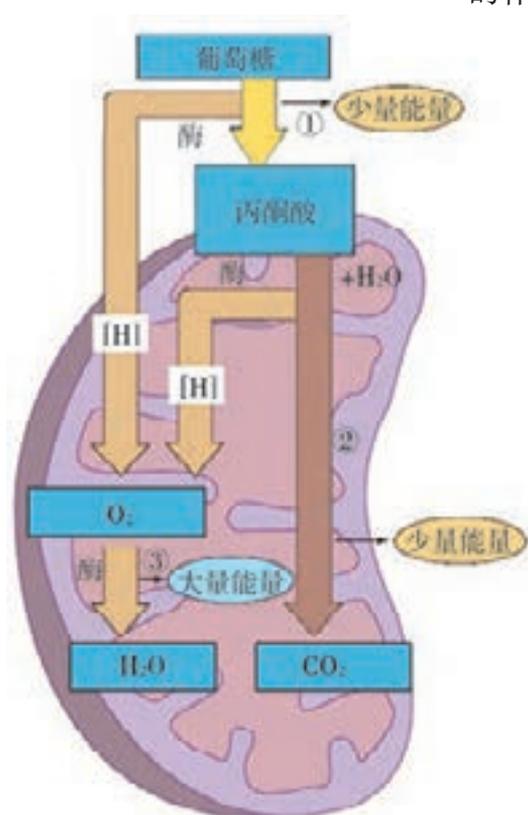


图 4-33 有氧呼吸过程示意图

阅读空间

克雷布斯循环

20世纪30年代，人们陆续搞清了无氧呼吸的具体步骤，但葡萄糖如何彻底分解成水和二氧化碳仍然是个谜。科学家把多种有机物分别投入到组织悬浮液或匀浆中保温，根据氧化速率的变化确定了柠檬酸等有机酸对代谢有促进作用。英国生物化学家克雷布斯（图4-34）认真分析这些似乎毫无关联的物质，就像玩拼图游戏那样，大胆地预测它们在细胞内是按照特定的顺序进行循环反应，并最终氧化成二氧化碳和水。1937年，他选用呼吸速率非常高

的鸽胸肌为实验材料证明了这一预测，该循环反应称为克雷布斯循环。此发现被公认为细胞代谢研究的里程碑，克雷布斯也因此获得了 1953 年诺贝尔生理学或医学奖。

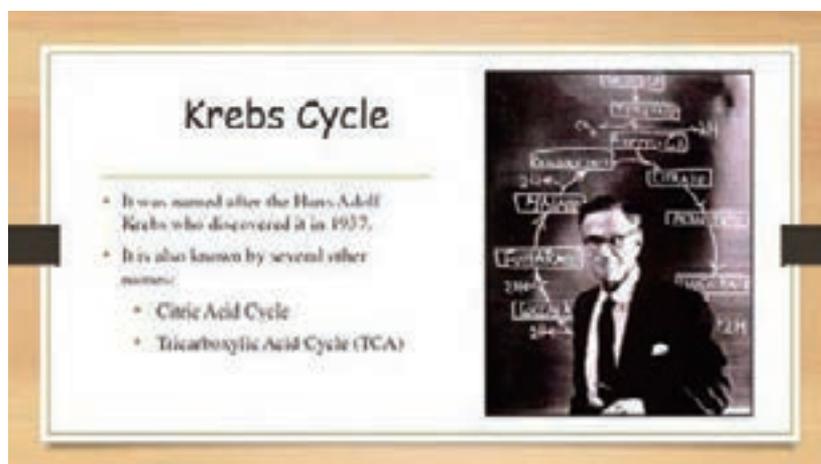


图 4-34 克雷布斯

无氧呼吸过程可分为两个阶段：

第一阶段与有氧呼吸的第一阶段完全相同。

第二阶段，丙酮酸在不同酶的催化下，分解为酒精、二氧化碳，或转化成乳酸。无氧呼吸的两个阶段都是在细胞质基质中进行的。

无氧呼吸的反应式可表示如下：



因为无氧呼吸的产物酒精或乳酸中仍含有大量的能量，所以无氧呼吸释放出的能量比有氧呼吸少得多。1mol 葡萄糖在分解成乳酸后仅释放出 196.65kJ 的能量，其中有 61.08kJ 的能量转移到 ATP 中，其余的能量以热能的形式散失。

高等植物在遭遇水淹的情况下，可以进行短时间的无氧呼吸，将葡萄糖分解为酒精和二氧化碳，并释放能量，以满足缺氧环境下植物对能量的需求（图 4-35）。有些植物的器官如马铃薯的块茎、玉米的胚、甜菜的块根等在进行无氧呼吸时产生乳酸。高等动物和人在剧烈运动过程中，骨骼肌会因供氧不足而进行无氧呼吸，产生乳酸（图 4-36）。

通过细胞呼吸，有机物中的能量释放出来，一部分储

存在ATP中。当ATP在酶的作用下水解时,释放出大量能量,直接用于细胞的各项生命活动。同时,细胞呼吸过程中产生的中间产物,可为其他化合物的合成提供原料。



图 4-35 水淹的农作物



图 4-36 110 米跨栏中的运动员

物质代谢总是伴随着能量代谢,细胞内物质代谢和能量代谢之所以能协调地进行,是由于信息交流起着调节和控制的作用。我国著名生物学家贝时璋院士说:“什么是生命活动?根据生物物理学的观点,无非是自然界三个量综合运动的表现,即物质、能量和信息在生命系统中无时无刻的变化,这三个量有组织、有序的活动是生命的基础。”

学业检测

1. 酵母菌一般生活在 20~30℃ 温度环境中,在低于 0℃ 或高于 47℃ 的环境下都不能生长。某兴趣小组在温室内进行了酵母菌无氧呼吸的探究实验(见右图)。

(1) 试管中加水的主要作用是什么?

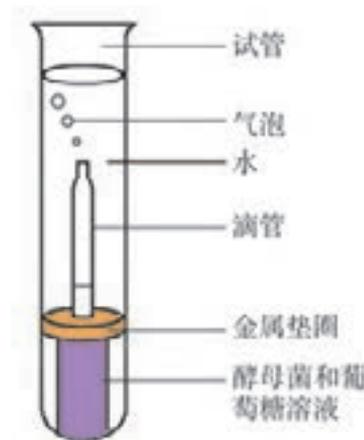
(2) 滴管中冒出气泡,表明酵母菌无氧呼吸产生了_____。

若将试管放在冷水中,气泡释放速率将会_____。

(3) 如何检测酵母菌经过无氧呼吸产生了酒精?

(4) 将酵母菌培养液进行离心处理。把沉淀的酵母菌破碎后,再次离心处理为只含有酵母菌细胞质基质的上清液和只含有酵母菌细胞器的沉淀物两部分,按照下表处理(+表示加入,-表示未加入)。

一段时间后,能通过细胞呼吸产生 CO_2 和 H_2O 的试管是_____,能检测到酒精的试管是_____。

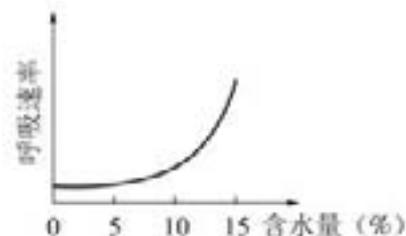


加入成分 试管	酵母菌	酵母菌细胞质基质	只含有酵母菌细胞器的沉淀物	葡萄糖溶液	O ₂
甲	+	-	-	+	+
乙	-	+	-	+	-
丙	-	-	+	+	+

2. 《粮油储藏技术规范国家标准 (GB/T 29890-2013)》为我国粮油储藏安全提供了重要技术保障,对粮温、水分含量、粮堆气体成分及浓度等作出了明确规定。其中部分术语和定义如下:

术语	定义
安全水分	某种粮食或油料在常规储存条件下,能够在当地安全度夏而不发热、不霉变的水分含量。
低氧	粮堆空气中氧气浓度高于2%而低于12%的状态。
低温储藏	平均粮温常年保持在15℃及以上,局部最高粮温不超过20℃的储藏方式。

(1) 为探究某地小麦储藏的“安全水分”,科研人员通过实验,测定了小麦种子的呼吸速率与含水量之间的变化曲线(如右图)。请据图描述小麦种子的呼吸速率与含水量的关系。根据实验结果推测,小麦储藏的“安全水分”应控制在_____以下。为什么?



(2) 与“常规储藏”相比,“低氧、低温储藏”有哪些优势?

(3) 查阅资料或走访当地粮食储备库,找出更多保证粮食长期安全储藏的措施,并讨论制定该措施的依据。

3. 为保持身体健康,越来越多的人开始注重有氧运动。有氧运动是指人体在氧气充分供应的情况下进行的体育锻炼。有氧运动可避免出现骨骼肌无氧呼吸导致的肌肉酸胀乏力现象。

(1) 细胞进行有氧呼吸的场所是_____,产生CO₂的场所是_____,参与反应的O₂用于_____。

(2) 人体剧烈运动时,若有氧呼吸和无氧呼吸消耗的葡萄糖摩尔数的比值为5:1,则细胞呼吸产生的CO₂摩尔数与消耗的O₂摩尔数的比值应为_____,剧烈运动后,人体往往出现肌肉酸胀乏力感,其原因是_____。

(3) 生活在平原地区的人到低压、缺氧的高原旅游,有时会出现头痛、呼吸困难等“高原反应”现象,这是为什么?经过一段时间逐渐适应了高原环境后,血液中的红细胞发生了哪些变化?

(4) 进行有氧呼吸的人体细胞仍保留了无氧呼吸的机能,这具有怎样的意义?

 学业要求

重要概念	节次	学科素养
<p>1. 物质通过被动运输、主动运输等方式进出细胞,以维持细胞的正常代谢活动。</p> <p>2. 细胞的功能绝大多数基于化学反应,这些反应发生在细胞的特定区域。</p>	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 阐明质膜具有选择透过性。 ◆ 举例说明有些物质顺浓度梯度进出细胞,不需要额外提供能量;有些物质逆浓度梯度进出细胞,需要能量和载体蛋白。 ◆ 举例说明大分子物质可以通过胞吞、胞吐进出细胞。 ◆ 通过观察植物细胞的质壁分离和复原,培养设计实验、实施方案的科学探究思路。通过构建渗透系统模型,训练模型与建模的科学思维方法。 ◆ 概述质膜参与细胞信息交流的方式。通过分析信号分子与受体的相互作用,认识生命现象的独特性和复杂性。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 说明绝大多数酶是一类能催化生化反应的蛋白质,酶活性受到环境因素(如 pH 和温度等)的影响。 ◆ 通过阅读分析资料探寻酶的化学本质,培养基于事实和证据的科学思维方法。 ◆ 通过探究酶催化的专一性、高效性及影响酶活性的因素,培养设计实验、实施方案以及交流与讨论结果的能力,形成科学探究的基本思路。
	第三节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 解释 ATP 是驱动细胞生命活动的直接能源物质。通过探究 ATP 的生理作用,掌握科学探究方法。通过认识 ATP 与 ADP 的相互转化过程,形成物质与能量观。
	第四节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 说明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。 ◆ 通过分析光合作用的发现过程,培养归纳与概括的科学思维方法。 ◆ 通过提取和分离叶绿体色素,培养实施实验方案以及分析讨论结果的能力,掌握科学探究的基本思路和方法,培养合作意识。 ◆ 通过探究不同环境因素对光合作用的影响,培养观察、提问、设计及实施实验的科学探究能力和创新意识。
	第五节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 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,形成物质与能量观。 ◆ 通过探究酵母菌细胞呼吸的方式,训练能够基于生物学事实进行归纳与概括的思维方法,关注生物技术在生产生活中的应用。



中国科学家揭示人源葡萄糖载体蛋白的结构及工作机理

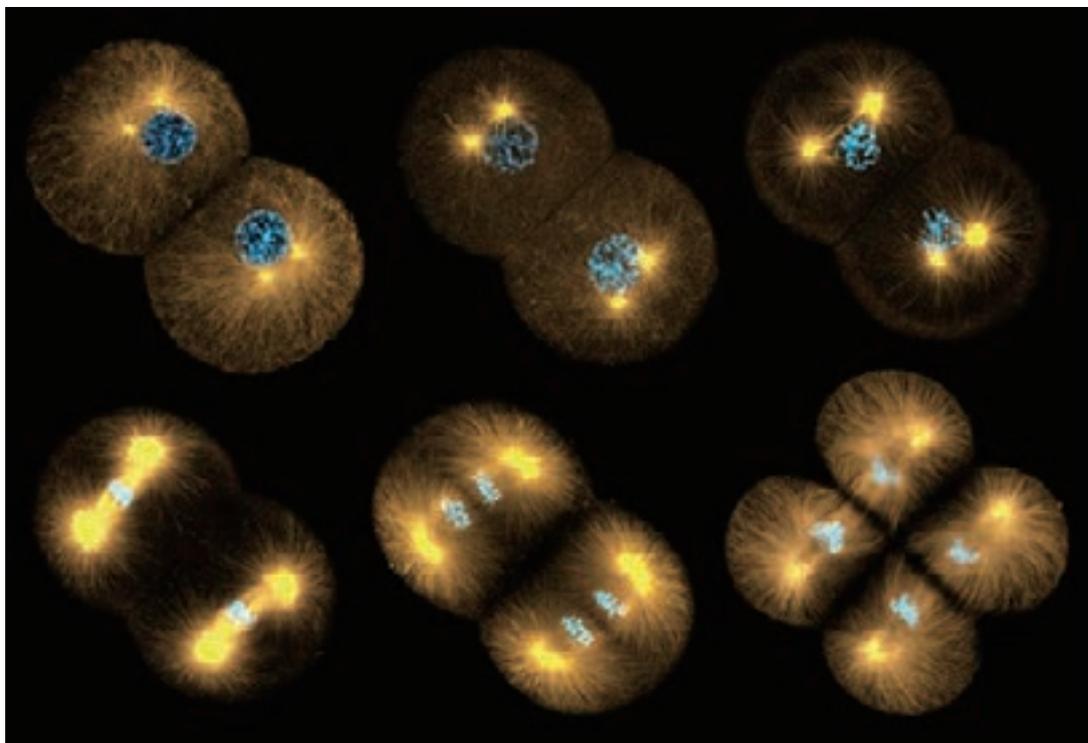
2014年5月18日，清华大学结构生物学研究组在《自然》杂志发表论文，在世界上首次报道了人源葡萄糖转运蛋白 GLUT1 的晶体结构，初步揭示其工作机制以及相关疾病的致病机理。

葡萄糖穿膜运输的研究历史基本上代表了人类理解物质穿膜运输的历史。近 100 年前，就有人观测到红细胞对葡萄糖的饱和性吸收。起初研究者认为葡萄糖是通过自由扩散进入细胞的。随着实验证据的积累，1948 年，美国生物化学家勒费弗尔等首次提出葡萄糖进出红细胞的穿膜运输需要质膜上的特定组分参与。1952 年，英国生理学家维达斯等通过对人体红细胞转运葡萄糖的动力学研究提出了饱和转运体机制，理论上揭示了质膜上转运体的存在。1977 年，日本细胞生物学家笠原和美国细胞生物学家欣克尔从人体红细胞提纯分离出参与葡萄糖转运的膜蛋白，证实了葡萄糖转运蛋白的存在。1985 年，美国哥伦比亚大学罗迪士实验室首次鉴定出人源葡萄糖转运蛋白 GLUT1 的基因序列，并根据氨基酸序列预测了其具有 12 次跨膜区的拓扑结构。1991 年，美国神经生物学家维沃等首次报道了与 GLUT1 突变体相关的疾病症状。

自从获得了大量生理、病理、生化信息之后，获取 GLUT1 的三维结构就成为该领域最值得期待的突破。许多科学家尝试从细胞中直接提取 GLUT1 或通过研究 GLUT1-4 的同源蛋白结构信息来间接理解这些重要的人源转运蛋白，都没有成功。真正的突破发生于 2012 年，清华大学研究组首次解析了 GLUTs 的大肠杆菌同源蛋白与葡萄糖结合的高分辨率晶体结构。人源 GLUT1 的晶体结构的捕获为认识这个转运蛋白掀开了新的一章。

GLUT1 结晶的瓶颈在于其高度动态、不稳定的结构。针对这一问题，清华大学研究组独树一帜，寻找可以将 GLUT1 锁定于某一构象的致病突变体，同时利用低温结晶进一步稳定其蛋白质构象，终于克服了 GLUT1 重组表达、纯化结晶的一系列技术障碍，获得了 GLUT1 的晶体结构，并发现了 GLUT1 与葡萄糖具有专门的结合位点和转运循环中的构象变化。2015 年清华大学研究组又获得了具备更多构象的 GLUT3 结合底物和抑制剂的超高分辨率结构，从而清晰地揭示了葡萄糖穿膜运输过程的分子基础。

第五章 细胞经历从生到死的生命进程



从呱呱坠地的婴儿到天真烂漫的少年，从风华正茂的青年再到鬓发飘霜的老年，生命季节的转换总是能勾起人们无限的遐思和感喟。同样，构成生物体的每个细胞也会经历生长、增殖、分化、衰老和死亡等生命进程。从“精卵结合”到“数量倍增”，从“无所不能”到“各司其职”，从“春秋鼎盛”到“萎缩凋零”，细胞的一生其实就是生物个体生命历程的缩影。

如果领悟了细胞从“生”到“死”的机制和意义，是否就意味着可以延展生物个体生命的宽度和长度呢？





课题研究

分身有术的涡虫

在小溪里的石块下面甚至家中的鱼缸里，经常会发现身体柔软扁平、长 10~15mm 的棕褐色或乳白色的涡虫。涡虫的再生能力惊人，由于它的基因超过 80% 与人类同源，故其再生机制的揭示对研究人体组织修复、器官再生与移植、延缓衰老等具有极其重要的意义。

提出问题

涡虫身体不同部位的再生速度有何差异？再生过程中发生了哪些变化？

制订并实施研究计划

1. 怎样采集涡虫？

- ◆ 查阅资料，了解涡虫的形态结构、生活习性及其饲养方法。
- ◆ 在清澈缓流的溪水里，将石块迅速拿出水面，仔细观察石块底面，发现涡虫后，用毛笔轻轻地将其刷入盛有溪水的采集瓶内。
- ◆ 将采集来的涡虫放置在 8~16℃ 的溪水中，在阴凉处培养，每周饲喂一次煮熟的蛋黄，及时更换新鲜水。在进行切割实验前一周，取出适量涡虫转移到临时容器内禁食培养。

2. 怎样切割涡虫？

- ◆ 用吸管选择体型较大的涡虫，放在载玻片上，滴一滴清水，静置。
- ◆ 待涡虫身体伸直后，用消毒过的刀片将一条涡虫横切成相等的 3 段，分别放在盛有适量清水的不同培养皿中，并做好标记。
- ◆ 尝试将涡虫横切为 4 段以上，观察并记录结果。

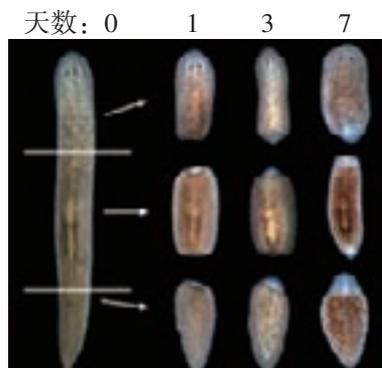
3. 怎样观察记录？

- ◆ 将切割后的涡虫放在阴凉处，继续禁食，用立体显微镜观察伤口愈合及不同部位和相关结构的再生情况。
- ◆ 设计一份记录表，用图文配合的方式详细记录涡虫每天的再生情况。

成果交流

1. 统计涡虫的再生成活率。
2. 尝试比较涡虫不同段的再生情况。
3. 讨论涡虫再生机制的研究对人类延缓衰老和再生医学有何启发和借鉴意义。

图 5-1 涡虫的再生



第一节 细胞通过不同的方式进行增殖



图 5-2 成熟的粟

“春种一粒粟，秋收万颗子。”这一诗句生动描述了一粒小小的种子长成一棵植株以及结出成千上万粒种子的生命现象（图 5-2）。在这一过程中，既有细胞数目的增加，也有细胞体积的增大。其中，细胞数目的增加是通过细胞增殖实现的。细胞增殖有几种方式？分别具有怎样的特点？

一、有丝分裂是细胞增殖的主要方式

细胞增殖是通过细胞分裂实现的。细胞分裂是指原来的一个亲代细胞变为两个子细胞，使细胞数目增加的过程。真核细胞的分裂包括有丝分裂(mitosis)、无丝分裂(amitosis)和减数分裂(meiosis)。其中有丝分裂是大多数动植物细胞分裂的主要形式。

细胞进行有丝分裂具有一定的周期性。连续分裂的细胞，从一次分裂完成到下一次分裂完成之间的过程，称为一个细胞周期(cell cycle)。不同生物的细胞周期时间长短不同。一个细胞周期又可分为分裂间期和分裂期两个阶段(图 5-3)。

分裂间期是一次分裂完成到下一次分裂开始之间的一段时期，主要进行 DNA 的复制和有关蛋白质的合成，为分裂期做准备。这一时期的细胞除体积有所增大外，在光学显微镜下看不到明显变化。

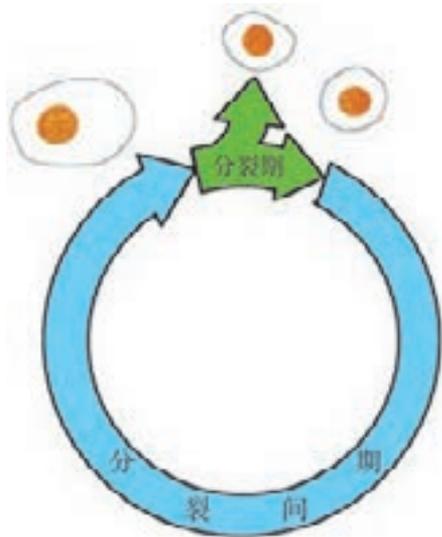


图 5-3 细胞周期示意图

阅读空间

增殖型细胞、暂不增殖型细胞和不增殖型细胞

增殖型细胞是指连续分裂的细胞，这类细胞的分裂维持着组织的更新，如上皮基底层细胞、部分骨髓细胞、原始生殖细胞等。暂不增殖型细胞一般不进行 DNA 复制以及细胞分裂，但受到一定刺激后即可进行分裂，这类细胞对生物组织的再生、创伤的愈合、免疫反应等有重要意义，如肝、肾的部分细胞。不增殖型细胞是结构和功能特化、不再分裂的细胞，如神经元、肌肉细胞、成熟的红细胞等。

分裂间期结束之后即进入分裂期。分裂期是一个连续的过程，为研究方便，人们将其分为前期、中期、后期和末期4个时期。下面以动物细胞有丝分裂过程为例，研究分裂期的过程和特点（图5-4）。

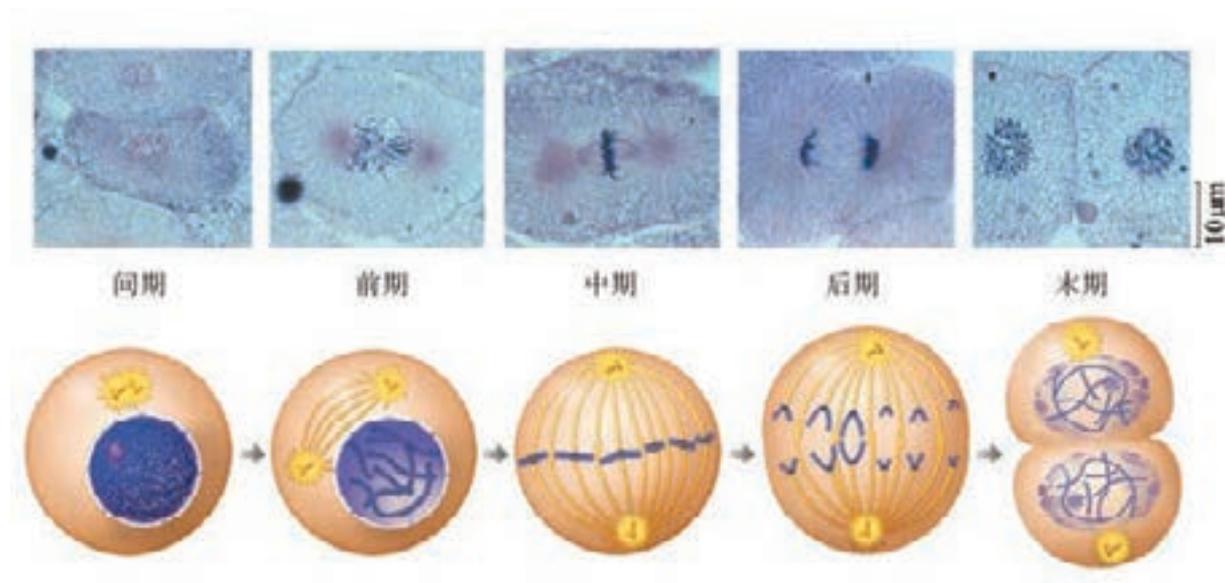


图 5-4 动物细胞的有丝分裂（上排为显微照片，下排为示意图）

前期 核膜消失、核仁解体，染色质高度螺旋化成为染色体，每条染色体由两条姐妹染色单体组成，这两条染色单体通过着丝粒连接在一起。间期已经复制的中心体分别移向细胞两极，在两个中心体的周围发出纺锤丝，形成纺锤体。

中期 在纺锤丝的作用下，染色体的着丝粒整齐地排列在细胞中央的赤道面（类似地球赤道位置的平面）上。此时染色体形态稳定，数目清晰，易于观察。

后期 姐妹染色单体分开成为两条染色体，在纺锤丝的作用下分别移向细胞两极。这样，细胞内就有了两套形态和数目相同的染色体。

末期 染色体解螺旋成丝状染色质。核膜、核仁重新出现，形成两个新的细胞核，纺锤体消失。质膜从细胞中部向内凹陷，将细胞缢裂成两部分，这样一个细胞就分裂成为两个子细胞。连续分裂的细胞进入下一个细胞周期。



实验探究

观察植物根尖细胞的有丝分裂

细胞中的染色体容易被碱性染料着色。在高等植物中，根尖、芽尖等部位的分生组织，细胞分裂旺盛。由于取材方便，细胞内染色体数目较少，便于观察，洋葱根尖是观察植物细胞有丝分裂的适宜材料。

目的要求

1. 学会制作洋葱根尖细胞有丝分裂装片。
2. 观察植物细胞的有丝分裂，识别有丝分裂的各个时期。

材料器具

洋葱（或大蒜），解离液（质量分数为 15% 的盐酸、体积分数为 95% 的酒精等体积混合而成）、质量浓度为 0.01g/mL 的龙胆紫（或醋酸洋红）溶液、清水，显微镜、载玻片、盖玻片、培养皿、剪刀、镊子、滴管、吸水纸等。

活动程序

1. 提前几天用清水培养洋葱，待根长出后，从根尖 2~3mm 处切取数条洋葱根尖。
2. 用镊子夹取根尖，放入盛有解离液的培养皿中，在室温下解离 3~5 min。
3. 将根尖转移到盛有清水的培养皿中漂洗 10 min。
4. 将经过处理的根尖放在滴有一滴质量浓度为 0.01 g/mL 的龙胆紫溶液的载玻片上，用镊子轻轻压碎根尖，染色 3~5 min 后，盖上盖玻片。
5. 轻压盖玻片，把材料压成均匀的薄层。用吸水纸吸干盖玻片周围的染液。
6. 先用低倍镜找到分生区，观察处于不同时期的细胞，然后在高倍镜下观察不同时期细胞的染色体形态和数目（图 5-5）。

⚠ 安全警示

盐酸具有腐蚀性，注意避免直接接触，如果溅到皮肤上需要立即用清水或生理盐水冲洗。实验中要注意通风。

分析讨论

1. 在显微镜视野中如何识别分生区细胞？
2. 通过观察，哪个时期的细胞数目最多？比较各个时期细胞的染色体形态和数目。
3. 依据观察结果，绘制洋葱根尖细胞有丝分裂的中期和后期简图。
4. 如果本小组的实验没有成功，与同学一起分析失败的原因。

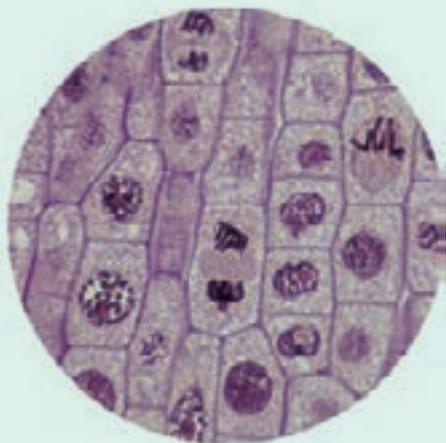


图 5-5 洋葱根尖细胞有丝分裂的一个视野（放大倍数：400×）

植物细胞与动物细胞的有丝分裂过程基本相同。不同点是：第一，高等植物细胞纺锤体的形成没有中心体参与。第二，植物细胞分裂的末期，来自高尔基体的囊泡沿着细胞骨架向赤道面运动，相互融合形成细胞板，并不断向周围扩展，直到与原有的质膜和细胞壁结合，从而将细胞质完全分隔开，形成两个新的子细胞（图 5-6）。

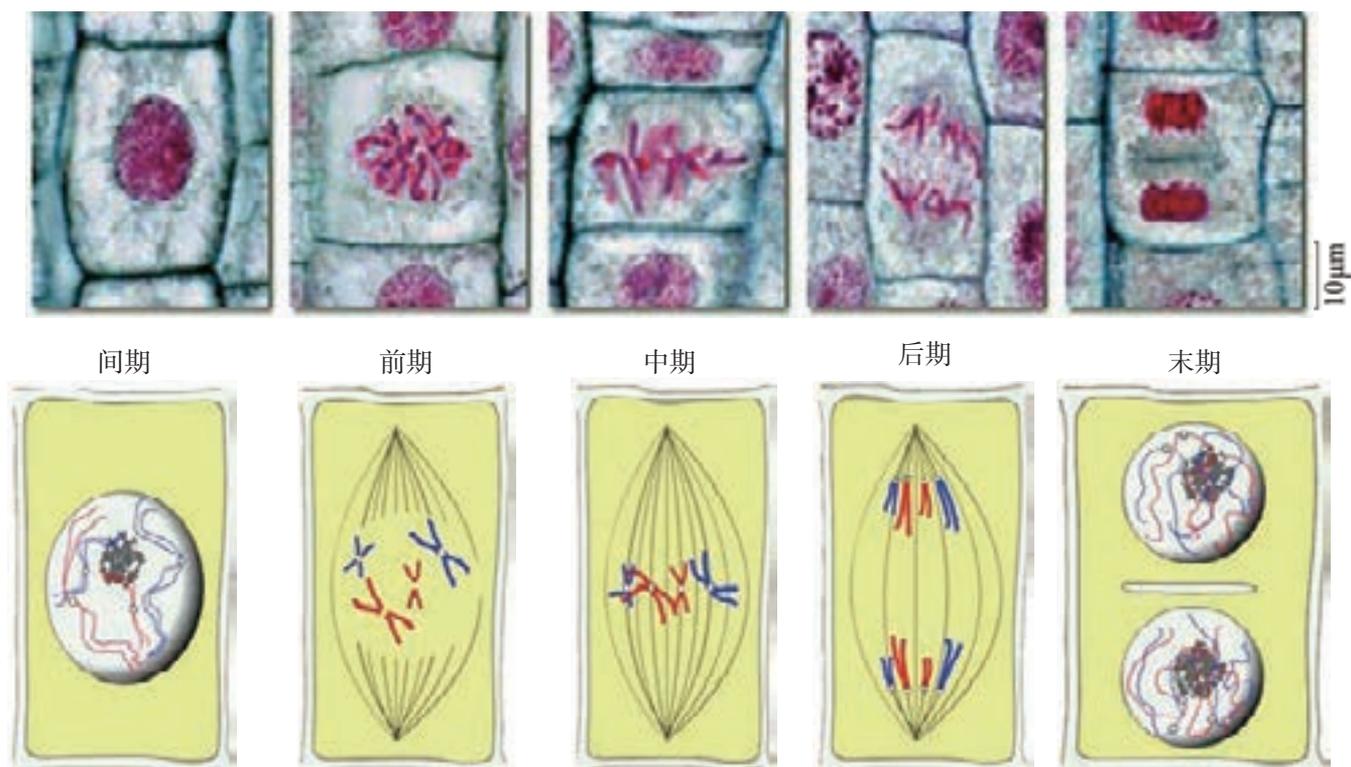
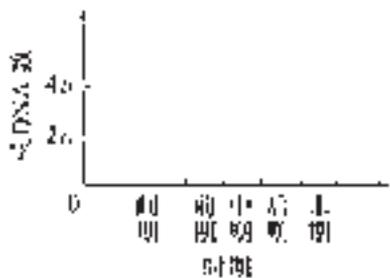


图 5-6 植物细胞的有丝分裂（上排为显微照片，下排为示意图）

无论动物细胞还是植物细胞，在分裂过程中都有染色体的出现和纺锤体的形成，这种细胞分裂方式叫作有丝分裂。通过有丝分裂，亲代细胞的染色体经过复制后，平均分配到两个子细胞中，使亲、子两代细胞中含有相同数目和形态的染色体，维持了遗传物质的稳定，从而保证了遗传信息在亲代和子代细胞中的一致性。



思维训练

绘制细胞周期中 DNA 变化曲线

1. 列表统计洋葱根尖细胞有丝分裂各时期染色体 ($2n = 16$) 和核 DNA 的数目。
2. 以时间为横轴, 以核 DNA 数 ($2a = 16$) 为纵轴, 在左侧空白图上绘制核 DNA 数随时间变化的曲线。

二、细胞增殖的其他方式

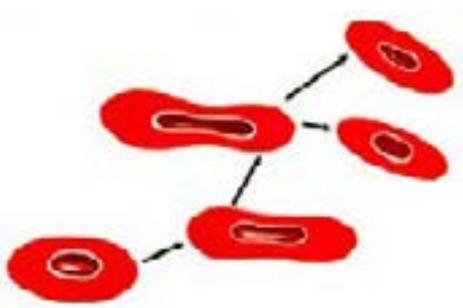


图 5-7 蛙红细胞的无丝分裂示意图

蛙红细胞的分裂方式与有丝分裂不同(图 5-7)。一般情况是, 细胞核先拉长成哑铃形, 中央部分变细断开, 整个细胞从中部缢裂成两部分。在分裂过程中, 细胞内不形成纺锤体, 也不出现染色体, 因此称为无丝分裂。

无丝分裂在低等植物中普遍存在。某些高等植物的胚乳细胞、根冠细胞, 人体内某些高度分化的细胞如部分肝细胞、肾细胞, 也会进行无丝分裂。

还有一种特殊方式的有丝分裂称为减数分裂, 该方式与有性生殖细胞的产生有关。

没有细胞分裂就不会有生命的延续。单细胞生物通过细胞分裂直接完成个体繁殖; 对于多细胞生物来说, 受精卵发育为成体、成体内衰老及死亡细胞的补充更新、损伤的修复以及生殖细胞的产生, 都离不开细胞分裂。

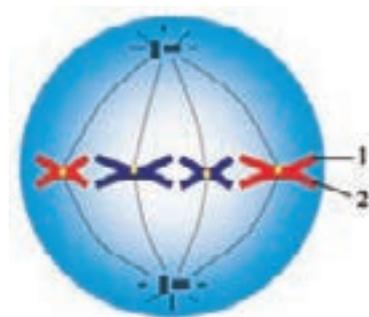
学业检测

1. 右图是某生物体细胞有丝分裂某个时期的示意图。

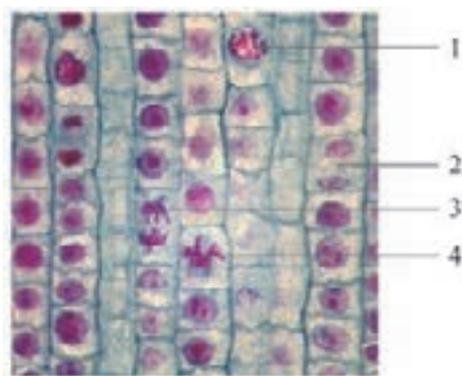
(1) 该图表示动物还是植物细胞有丝分裂的哪个时期? 判断的主要依据是什么?

(2) 该图所示分裂时期之后进入哪一时期? 将主要发生哪些变化?

(3) 该细胞有_____条染色体, 其中 1 和 2 互称_____。细胞分裂期结束时, 每条染色体的两条单体分开后分别分配到两个子细胞中, 其生物学意义是什么?



2. 某兴趣小组利用洋葱的根尖细胞，成功制作了有丝分裂装片并在高倍显微镜下进行观察。右图是该小组观察到的洋葱根尖细胞有丝分裂图像（放大倍数： $200\times$ ），据图分析回答：



(1) 用显微镜观察时，细胞中有一些被醋酸洋红溶液染成红色的结构是_____。

(2) 图中标注的细胞在细胞周期中出现的先后顺序是_____。

(3) 观察和计数染色体的最佳时期是_____期，图中处于该时期的细胞序号是_____；细胞[2]处于细胞分裂的_____期，判断的依据是什么？

(4) 某同学用显微镜观察自制的装片时，发现细胞没有分散开，请分析可能的原因是什么。

3. 为了研究从植物中提取的可可碱是否可以作为除草剂，某科研小组开展了可可碱对鬼针草根尖细胞有丝分裂和种子萌发影响的实验研究，结果如下表。

可可碱浓度 (mmol/L)	根尖细胞有丝分裂			种子发芽率 (%)
	有丝分裂指数 (%)	分裂期细胞占比(%)		
		前期和中期	后期和末期	
0	3.73	3.04	0.69	81.5
0.1	2.90	2.16	0.74	68.1
0.5	2.10	1.72	0.38	18.6
1.0	1.96	1.72	0.24	2.3

说明：有丝分裂指数 = (分裂期细胞数 / 观察细胞的总数) $\times 100\%$

(1) 本实验需要制作根尖细胞有丝分裂装片，制片过程中，根尖解离需要用到的试剂是_____。

(2) 实验结果显示，与对照组相比，当可可碱浓度到达 1.0 mmol/L 时，在分裂期的细胞中，后期和末期的细胞数目相对_____。产生这种结果的原因可能是什么？

(3) 可可碱能否作为除草剂抑制杂草生长？说明你的判断依据。

第二节 细胞会发生特异性分化



图 5-8 青蛙的个体发育

春末夏初，成团的蛙卵漂浮在池塘的水面上，静静地沐浴着温暖的阳光。几天后，一只只活泼可爱的小蝌蚪挣脱了胶膜的束缚，自由自在地生活在水中。再经过一段时间，蝌蚪尾巴消失，形貌大改，成为能游善跳的青蛙（图 5-8）。青蛙的变态发育过程，仅仅通过细胞增殖来增加细胞数目是不能完成的，还必须通过细胞分化增加细胞种类。什么是细胞分化？在这个过程中细胞发生了哪些显著的变化？细胞分化有何特点和意义呢？

一、个体发育过程中发生细胞分化

生物的个体发育是指受精卵经过细胞分裂、组织和器官的形成，直到发育成性成熟个体的过程。多数动物的受精卵不断地进行有丝分裂，细胞数目不断增加，很快就发育成一个内有空腔的球状胚体。随后，在细胞数目不断增加的同时，胚体细胞在空间位置上也会发生有序的移动，形成具有外、中、内 3 个胚层的胚胎，这个阶段是个体发育的一个重要时期。



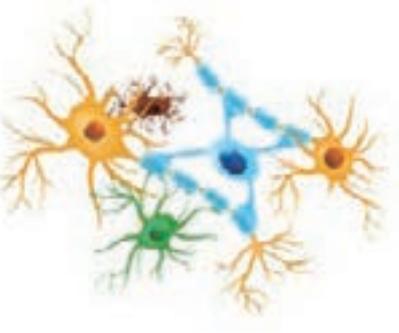
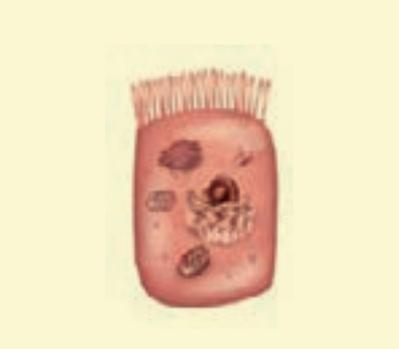
资料探究

个体发育过程中细胞的特异性变化实例

在 3 个胚层的胚胎形成之前，细胞的形态、结构基本相似，但 3 个胚层形成后，位于特定胚层特定位置的细胞，将来必然会发育成特定的细胞类型。对于植物及某些动物来说，个体发育过程中不出现 3 个胚层的胚胎，也会发生细胞的特异性变化。

【资料 1】 人属于哺乳动物，青蛙属于两栖动物，虽然二者的胚胎发育过程不完全相同，但是都要经过一个三胚层的胚体阶段。表 5-1 列举了人体源自 3 个不同胚层的几种细胞的形态结构特点。

表 5-1 人体几种细胞的主要形态结构特点

细胞类型	示意图	主要形态结构特点
<p>神经元 (来自外胚层)</p>		<p>包含胞体和突起两部分，其中树突较短，呈放射状，数量较多；轴突较长，一般只有一条，末端常有分支。质膜上含有丰富的信号分子受体和离子通道。</p>
<p>心肌细胞 (来自中胚层)</p>		<p>呈圆柱形，细胞中肌原纤维占体积的 48%，是心肌细胞的主要组分；细胞质基质含有丰富的糖原颗粒和线粒体。相邻心肌细胞的质膜凹凸有致，以特殊的方式紧密相连。</p>
<p>红细胞 (来自中胚层)</p>		<p>成熟的红细胞体积较小，平均直径为 7~8.5 μm，中央较薄，周缘较厚，呈两面凹的圆饼状；细胞中既没有细胞核，也没有线粒体等细胞器，细胞质中充满了血红蛋白。</p>
<p>小肠绒毛上皮细胞 (来自内胚层)</p>		<p>呈柱状，位于小肠内表面的黏膜层。在质膜朝向肠腔的游离面，每个细胞有 1000~3000 根细小的绒毛状突起，突起的直径约 0.1 μm、长约 1 μm。</p>

[资料 2] 在多细胞生物的个体发育过程中，随着细胞数量越来越多，细胞朝着不同的方向发展变化，逐渐形成了不同的细胞类型。表 5-2 列举了不同生物成体细胞的数目和类型。

表 5-2 几种生物成体细胞数目和类型

物种	细胞数目	细胞类型
团藻	10^2 个	2 种
海绵	10^3 个	5~10 种
水螅	10^5 个	10~20 种
涡虫	10^9 个	约 100 种
人	10^{14} 个	200 多种

分析讨论

1. 根据资料 1 中几种细胞的形态结构特点, 推测这些细胞在人体内的功能, 并思考细胞形态、结构与功能的关系。
2. 从资料 2 看, 多细胞生物体内细胞数目和种类的变化有何规律?
3. 举例说出在“从一粒种子发育成一株幼苗”的过程中, 胚的某些细胞在形态、结构和功能上的变化。

在个体发育过程中, 由相同类型的细胞经细胞分裂, 在子代细胞间产生形态、结构和生理功能稳定性差异的过程称为细胞分化 (cell differentiation)。

细胞分化是生物界中普遍存在的一种生命现象, 贯穿于生物体整个生命进程中, 在胚胎发育后期达到最大程度。通过分化, 使细胞的功能趋向专门化, 提高了生物体各项生理功能的执行效率。细胞分化之后, 具有相同形态、结构和功能的细胞群形成了组织, 各种不同功能的组织增强了生物体适应环境的能力, 推动了生命向更高的层次发展与进化。



图 5-9 通过植物组织培养技术获得的幼苗

二、细胞具有全能性

细胞全能性 (cell totipotency) 是指细胞经分裂和分化以后仍具有形成完整个体的潜能或特性。高度分化的植物体细胞在适宜的条件下, 仍然可培育成完整的植株 (图 5-9)。

至今尚无实验证明分化的动物体细胞具有全能性, 但

许多实验证明了体细胞核的全能性。1978年，我国著名生物学家童第周等将黑斑蛙成体红细胞的核移入未受精的去核卵细胞中，结果重组细胞发育成了正常的蝌蚪。1996年，英国生物学家维尔穆特(I. Wilmut)培育的克隆羊“多莉”，证明了已分化动物细胞的细胞核仍具有全能性(图5-10)。



图5-10 维尔穆特与多莉

阅读空间

脱分化与再分化

分化细胞的形态结构一般需要保持稳定，以执行特定的功能。在某些条件下，分化细胞失去了原有的特征，又回到初始的未分化状态，称为脱分化。脱分化之后的细胞，可以重新形成具有不同形态、结构和功能的细胞，这一现象称为再分化。植物组织培养的过程，就是植物细胞的脱分化和再分化过程。植物组织培养是细胞全能性发挥作用的结果。

生物体通过可控的细胞分裂增加细胞数目，并通过有序的细胞分化增加细胞类型，才能完成个体发育过程。细胞分裂和细胞分化是生物体生长、发育、繁殖和遗传的基础。

学业检测

1. 细胞分化是相同类型细胞分裂，子细胞间形态、结构和生理功能发生稳定性差异的过程。下列过程中没有发生细胞分化的是()。

- A. 断尾壁虎长出新尾巴
- B. 砍伐后的树桩上长出新枝条
- C. 蝌蚪尾巴逐渐消失
- D. 玉米种子萌发长成幼苗

2. 某些植物病毒是影响农作物产量和质量的重要因素之一，甘薯种植多年后易积累病毒而导致品种退化。但是植物分生组织的分生区细胞一般不含病毒，目前生产上常采用茎尖分生组织离体培养的方法快速繁殖脱毒的甘薯苗。

(1) 用茎尖分生组织离体培养，成功获得脱毒苗，说明植物细胞具有_____。

(2) 与一般细胞的生命进程不同, 分生组织离体培养获得脱毒苗的过程主要经过细胞的_____、_____等生命进程。

(3) 尝试举例说明植物细胞全能性在生产实践上的应用。

3. 白血病是一种造血系统恶性疾病, 俗称“血癌”, 致病原因是造血细胞增殖失控、分化障碍等, 临床症状为不同程度的贫血、出血、骨骼疼痛等。目前治疗白血病最有效的方法是进行骨髓移植, 即从配型成功的正常人骨髓中采集造血细胞输入患者体内, 这种造血细胞称为造血干细胞。

(1) 从细胞增殖和细胞分化的角度分析, 白血病的发病机理是怎样的?

(2) 造血干细胞好比人体造血器官的“种子”, 这种干细胞被输入患者体内会发生哪些变化?

(3) 采用直接输血的方式能治疗白血病吗? 为什么?

(4) 依靠骨髓移植治疗白血病是“一劳永逸”的吗? 为什么?

(5) 对健康人来说, 捐献骨髓是非常安全和有意义的, 请结合所学知识加以分析。

第三节 细胞衰老是自然的生理过程

打开家中的老相册，那些精彩的生活瞬间和美好的亲情记忆，会让你倍感家庭的温馨。看到爸爸、妈妈、爷爷和奶奶早年的照片，你会发现照片上的他们曾经和你现在一样年轻，可是现在的他们却和以前大不相同。随着时光的流逝，每一个人都会慢慢地衰老，在容貌和体态上发生很大的变化（图 5-11）。人体衰老是机体的每个细胞都衰老吗？细胞为什么会衰老？衰老的细胞具有哪些特征？



图 5-11 18 岁、35 岁、46 岁、60 岁、75 岁的卞先生

一、人类对细胞衰老的认识

100 多年前，人们发现某些进行无性生殖的原生动物可以持续通过细胞分裂进行增殖，因此断定细胞不会衰老和死亡，细胞的“永生性”观点占统治地位。1912 年，法国科学家卡雷尔（A. Carrel）通过鸡胚心脏成纤维细胞培养，发表文章称已找到生物体组织细胞在体外无限生存下去的培养条件。直到他去世后，他的合作者一直宣称他们将这种细胞连续培养了 34 年，这些细胞仍可以无限制地分裂和生长。他们由此声称细胞本身不会衰老，多细胞生物体内的细胞衰老是由于环境的影响。直到 1961 年，美国科学家海弗利克（L. Hayflick）和同事一起发表了人的体细胞体外培养方面的论文，才彻底动摇了“细胞不死”的观点。



经典再现

海弗利克对“细胞不死性”的否定

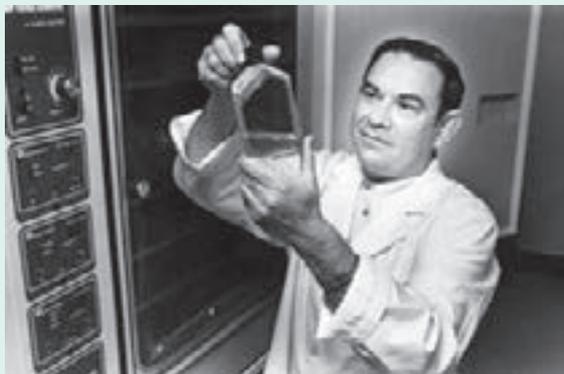


图 5-12 海弗利克

1958年，海弗利克（图 5-12）将癌细胞的提取物加入到正常胚胎细胞的培养基中，希望能看到正常细胞发生癌变。结果事与愿违，细胞非但没有癌变，还停止了生长。

[资料 1] 海弗利克研究发现，人的体细胞在培养过程中发生明显的退化和死亡。在体外平均只能分裂 40~60 次，此后细胞就逐渐解体并死亡，不同年龄

人的肺成纤维细胞培养结果见表 5-3。其他科学家对淋巴细胞、神经胶质细胞等进行体外培养，也得到同样的结果。有趣的是，如果将细胞冻存一段时间后再复苏，细胞仍对其分裂次数保持着记忆，当分裂次数达到最高分裂次数时，即不再分裂。

表 5-3 不同年龄人的肺成纤维细胞分裂次数

细胞来源	胎儿	中年	老年	早衰患儿
分裂次数	40~60	15~30	2~10	2~10

[资料 2] 海弗利克等科学家选取鼠、鸡、龟等寿命不同的动物以及人的体细胞在体外培养，结果发现：动物寿命越短，其细胞分裂次数越少；反之，寿命越长，其细胞分裂次数越多（图 5-13）。

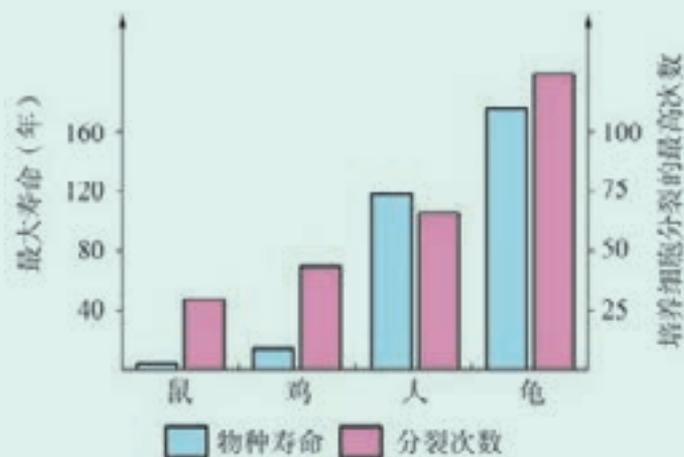


图 5-13 物种寿命与体外培养时细胞分裂次数的关系

[资料 3] 海弗利克设计了一组非常巧妙的实验，将已经分裂 40 次的男性肺成纤维细胞和已经分裂 10 次的女性肺成纤维细胞混合培养，同时用单独培养的细胞作对照，结果发现，混合培养的两类细胞的分裂次数与它们分别单独培养时相同。他还将年轻人体细胞去核后与老年人的完整细胞融合，另将老年人体细胞去核后与年轻人的完整细胞融合，分别在体外培养，结果前者不分裂，后者能够旺盛分裂。

分析讨论

1. 分析以上资料，总结影响细胞分裂次数的因素。
2. 海弗利克起初是相信“细胞不死”的，但是一系列的实验结果改变了他的观点。从科学研究的角度来说，这对你有什么启示？

细胞衰老 (cell aging) 是细胞生命活动过程中的一个阶段，表现为细胞维持自身稳定的能力和适应的能力降低。细胞衰老是生理活动和功能不可逆的衰退过程。无论哪一类细胞，都处于不同程度的衰老过程中，只不过各种组织细胞衰老的速度有快有慢。小肠绒毛上皮细胞的寿命仅为几天，红细胞的寿命为上百天，神经元的寿命则达数十年。即使是终生保持分裂能力的骨髓造血干细胞，其分裂速度也会随着年龄的增加而渐趋缓慢。

对单细胞生物来说，细胞衰老即个体衰老；而多细胞生物的细胞衰老与机体衰老不是同一个概念，机体衰老不等于所有细胞衰老，但机体衰老与细胞衰老是紧密相关的。

二、衰老细胞具有显著特征

细胞衰老主要是由细胞内复杂的生理变化引起的，衰老细胞在形态、结构和功能等方面会表现出一系列衰老的特征 (图 5-14)。

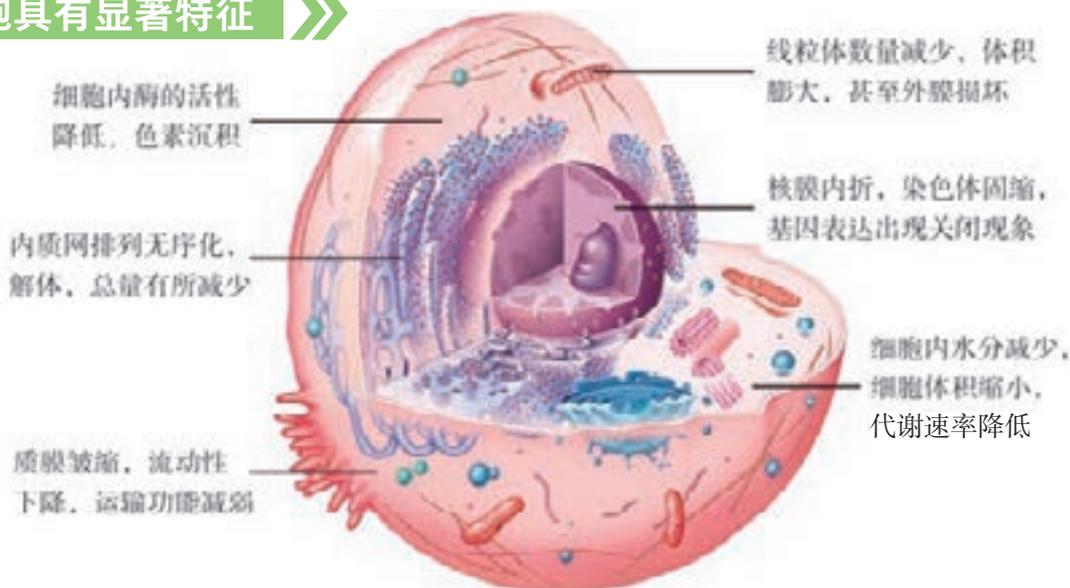


图 5-14 衰老细胞的特征

阅读空间

细胞衰老的机理

自由基学说 细胞代谢会不断产生大量的自由基，空气污染、辐射、某些化学物质等也可加快自由基的产生。自由基会攻击和破坏细胞内的各种生物大分子，同时产生更多的自由基，这种攻击和破坏会影响蛋白质合成、造成溶酶体损伤、改变膜的透性等，从而导致细胞衰老。

端粒学说 每条染色体两端都有一段特殊的 DNA 序列，称作端粒，对染色体有保护作用。在体细胞染色体复制过程中端粒不能完整复制，因此 DNA 每复制一次，端粒就缩短一段，最终正常基因的 DNA 序列受到损伤，从而影响细胞的生理活动，引起细胞衰老甚至死亡。

遗传程序学说 衰老是遗传上的程序化过程，是受特定基因调控的。细胞衰老的程序已经编制在基因组中，特定的遗传信息按时激活，最终导致衰老和死亡。

三、细胞衰老与人类健康密切相关



图 5-15 早衰儿童
(左)与正常儿童(右)

细胞衰老是人体内发生的自然生理过程，细胞的正常衰老有利于机体的自我更新。例如，红细胞的快速更新，使血液中始终有足量的新生红细胞来运输氧气。但是，细胞的异常衰老却会给人类健康带来威胁。儿童早衰症就是细胞过早衰老导致的一种疾病，患者的寿命一般不超过 20 岁（图 5-15）。

细胞衰老与人体的衰老有密切关系。老年人的肌细胞通常要比年轻人的肌细胞更纤细、数量更少，肌细胞的代谢速率降低，造成肌肉萎缩，运动功能减退，行动迟缓。胸腺细胞的衰老会引起胸腺萎缩并造成淋巴细胞的生成能力下降，所以衰老的个体免疫力下降。随着年龄增加，组织中的干细胞也在逐渐衰老，导致其自我更新和多向分化能力衰退，致使损伤组织难以修复，引起组织、器官结构与功能的衰退。机体内大多数细胞的衰老会导致个体的衰老：体内水分减少，皮肤干燥、皱缩；代谢减缓，耗能降低；细胞数目减少；器官功能下降，对疾病的抵抗力减退等。

研究细胞衰老的机理对提高人类的生存质量具有积极意义。衰老不仅与细胞内部的代谢和生理状态有关，同时也与细胞的外部环境有着密切的联系。对人类来说，合理的饮食结构、良好的生活习惯、适当的体育运动和乐观的

人生态度等都有助于延缓衰老。目前针对社会老龄化开展的老年学研究内容之一，就是如何通过外因的作用延缓内在的细胞衰老，从而达到健康长寿的目的。

学业检测

1. “不知明镜里，何处得秋霜。”这一诗句生动描述了岁月催人老的自然现象。老年人的头发逐渐变白，手、面部皮肤上出现“老年斑”，皮肤干燥、皱纹增多，行动迟缓等。

(1) 从细胞衰老的角度，具体分析老年人出现以上现象的原因。

(2) 老年人出现衰老特征，是身体内的所有细胞都衰老吗？为什么？

(3) 器官老化、机体衰老是不可抗拒的自然规律，但从古至今永葆青春一直是无数人的追求和梦想。结合所学知识，搜集资料，针对如何拥有健康的生活方式、提高生命的质量和延展生命的长度提出合理化建议。

2. 科学家选取正常生活状态不同年龄阶段的3只小白鼠，编号为A、B、C。从它们体内相同部位分离出相同大小的3块骨骼肌。测定这3块骨骼肌释放CO₂的量，其比例为1.3:1.2:1。据此分析：

(1) 3只小白鼠中年龄最大的是_____。骨骼肌细胞释放CO₂的量减少，可能是细胞内哪一种细胞器的功能减弱所致？

(2) 3块骨骼肌细胞内，呼吸酶活性最高的是_____，质膜控制物质进出功能最弱的是_____。

(3) 某兴趣小组在上述实验基础上进一步探究：将鼠A体细胞去核后与鼠C的完整体细胞融合，将鼠C体细胞去核后与鼠A的完整体细胞融合，分别在体外培养，并观察细胞分裂情况。推测实验的结果，并尝试作出解释。

3. 无论单细胞生物还是多细胞生物，细胞都要经过生长、分裂、分化、衰老和死亡的基本过程。请分析下图左侧的生物学现象，将其与对应的细胞生命活动过程或原理进行连线。

植物输导组织的形成	动物细胞核具有全能性
克隆羊“多莉”的培育	植物细胞具有全能性
受精卵发育成个体	细胞进行有丝分裂
人的皮肤随年龄增长变得干燥	细胞的分化
用胡萝卜细胞培养出完整植株	细胞的衰老

第四节 细胞凋亡是自然的细胞死亡方式



图 5-16 灵巧的双手飞针走线

“花随玉指添春色，鸟逐金针长羽毛。”这一诗句生动描述了绣花艺人纤纤十指飞针走线、刺绣作品栩栩如生的画面（图 5-16）。很难想象，在胚胎发育初期，我们的手曾经是球拍状的。随着胚胎的继续发育，位于指间部位的细胞死亡，才出现了彼此分开的五指。细胞是如何死亡的？细胞死亡与细胞凋亡是怎样的关系？细胞凋亡对生物体有什么意义？

一、细胞凋亡是程序性细胞死亡

生物体在生长发育过程中，既需要通过细胞分裂不断产生新的细胞，同时也需要通过细胞凋亡（apoptosis）清除机体不需要的或异常的细胞。在正常情况下，细胞凋亡是一种自然的生理过程。



经典再现

细胞凋亡机制的实验研究

20 世纪 60—70 年代，科学家在许多正常组织中观察到有些细胞皱缩后解体，但不伤及其他细胞，就像树叶或花的自然凋落一样。1972 年，澳大利亚病理学家克尔（J. Kerr）等 3 位科学家首次提出了细胞凋亡的概念。

[资料 1] 1966 年，美国科学家桑德斯（J. Saunders）在研究鸡胚发育过程中发现，趾原基发育到一定阶段时，趾间部分细胞死亡并最终形成具有一定形状的爪（图 5-17）。在此发育阶段之前，无论把这些趾间细胞移植到鸡胚的哪一部位，这些细胞仍按时死亡。即使将这些细胞转移到体外培养，在营养等条件适宜的情况下，依然如此。

[资料 2] 秀丽隐杆线虫是一种生活在土壤中的小型动物，在发育过程中共产生 1090 个体细胞，其中 131 个必然凋亡。1986 年，美国科学家霍维茨（R. Horvitz）研究发现，秀丽隐杆线虫的细胞凋亡由 15 个基因共同控制，其中 2 个基因决定凋亡，4 个基因执行凋亡，7 个基因与凋亡细胞被吞噬细胞吞噬有关，2 个基因

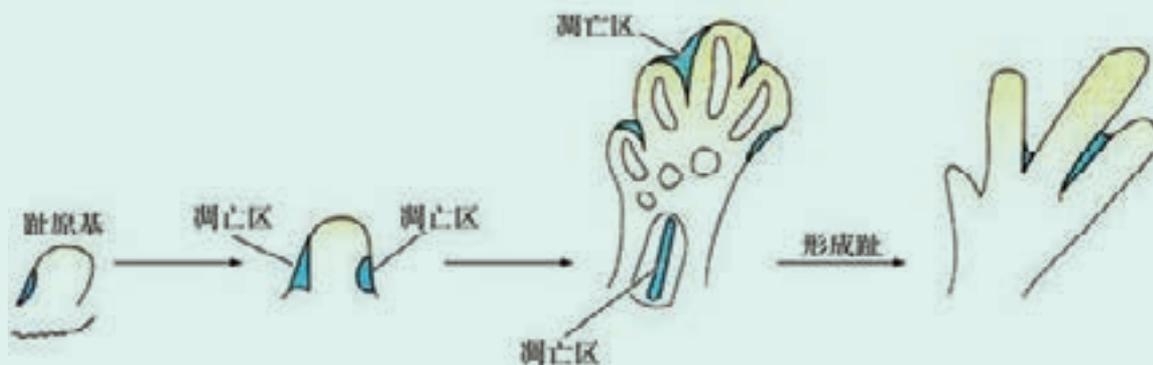


图 5-17 鸡爪发育示意图

与凋亡细胞被降解有关。

[资料 3] 将蝌蚪的尾切下进行体外培养，尾仍可正常存活一段时间；向培养基中加入适量甲状腺激素，尾会像在蝌蚪活体上一样发生退化。另外，在发育早期将蝌蚪的甲状腺原基切除，蝌蚪将不再进行变态发育，而是长成一只大蝌蚪。

分析讨论

1. 说明细胞凋亡在个体发育过程中的意义。你还能举出哪些细胞凋亡的例子？
2. 分析导致细胞凋亡的因素可能有哪些。
3. 资料 3 中的实验设计符合怎样的实验设计原则？这种科学研究的基本思路和方法对你有何启发？

细胞凋亡是在生物个体生长发育过程中，由基因控制的按照一定程序发生的细胞死亡，因而细胞凋亡属于程序性细胞死亡（programmed cell death, PCD）。

细胞凋亡的过程，从形态学上可以大致划分为 3 个阶段（图 5-18）。

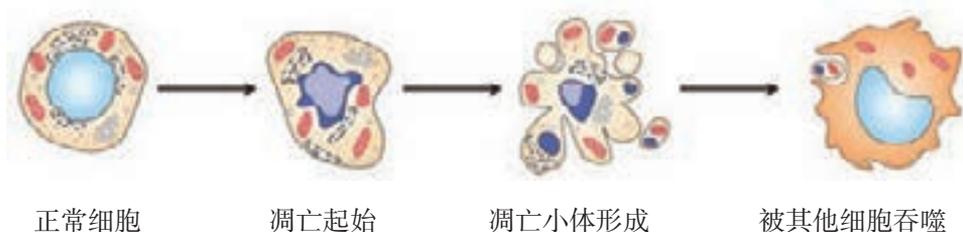


图 5-18 细胞凋亡过程示意图

凋亡起始 细胞皱缩，细胞连接消失，内质网膨胀，染色体固缩并沿着核膜分布，但质膜依然完整。

凋亡小体形成 核膜破裂，染色体断裂为大小不等的片段，与一些细胞器聚集后被内折的质膜包围，在细胞表面形成许多泡状和芽状的突起，这些突起称为凋亡小体。

细胞解体 凋亡小体逐渐与细胞分离，脱落至细胞间隙，最终被周围的细胞吞噬并消化。

在细胞凋亡过程中，质膜始终未破裂，细胞内含物不泄漏到细胞外，因此不引发机体的炎症反应（图 5-19）。



图 5-19 人结肠上皮组织显微照片
(放大倍数: 200 ×)

细胞凋亡现象也广泛存在于植物正常的发育进程中，如导管的分化、通气组织的形成等。与动物细胞相比，植物细胞凋亡的最大差异在于，死亡细胞的残余物被细胞壁固定原位，不是被周围细胞吞噬，而是被自身液泡中的水解酶消化。

阅读空间

细胞自噬与细胞坏死

细胞死亡是被周密调控的复杂过程，可以分为细胞的主动死亡和被动死亡两大类。前者称为程序性细胞死亡，后者即为细胞坏死。

程序性细胞死亡除了细胞凋亡，其中还有一种称为自噬性细胞死亡。细胞自噬是指溶酶体吞噬并降解细胞内受损或衰老的细胞器的再循环过程。细胞自噬是细胞加速新陈代谢的重要手段，在真核细胞中普遍存在。严重或快速的细胞自噬将诱导程序性细胞死亡。细胞自噬

与细胞凋亡之间也存在着复杂的交互调控。日本生物学家大隅良典由于在细胞自噬机制方面的发现而荣获 2016 年诺贝尔生理学或医学奖。

细胞受到机械损伤、辐射、有毒物质、微生物等强烈理化或生物因素作用时，会发生无序变化，表现为细胞胀大，质膜破裂，细胞内容物外溢，核膜破裂，染色质松解呈网状，DNA 降解不充分，引起局部严重的炎症反应（图 5-20），这就是细胞坏死。

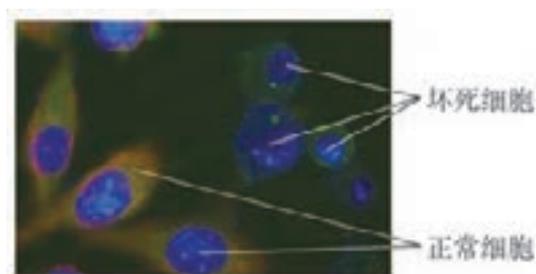


图 5-20 人成纤维细胞
(放大倍数: 630 ×)

二、细胞凋亡具有积极的生物学意义

一个健康人，每小时都有数亿的骨髓细胞和肠黏膜细胞凋亡。对于一个机体来说，细胞的凋亡具有积极的生物学意义。

生物体在生命活动过程中会不断地产生许多衰老的细胞，通过启动细胞凋亡程序，可及时清除完成正常使命的衰老细胞。

生物体内一些被病毒感染的细胞和某些早期的肿瘤细胞也可以通过细胞凋亡的方式被清除掉。这是机体利用细胞凋亡进行自身保护的一种机制。

机体内的器官和组织通过细胞凋亡与细胞增殖这两个既相互对立又相互协调的过程，来维持其细胞数目的相对稳定，以避免器官和组织过分生长或萎缩。如果将大鼠的肝部分切除，肝细胞会加速增殖，修补被切除的部分。给正常的大鼠注射药物，刺激肝细胞增殖，会使肝异常生长，但停止注射药物后，肝细胞随即大量凋亡，一周左右，肝又恢复到原来的大小。

在个体发育过程中，特定部位的细胞会发生凋亡，以清除这些“多余”细胞，这对个体的正常发育是有利的。青蛙是一种无尾两栖类动物，其幼体蝌蚪有尾，尾的存在与蝌蚪的水生生活相适应；在蝌蚪变态成为青蛙的过程中，尾通过细胞凋亡而消失，青蛙可以更好地适应陆地生活。

细胞凋亡是生物界普遍存在的一种生命现象，贯穿于个体生长、发育、衰老和死亡的全过程。

三、细胞凋亡异常影响人类健康

细胞凋亡可以保证人体的正常发育和各个器官功能的正常发挥。而异常的细胞凋亡会导致许多疾病。

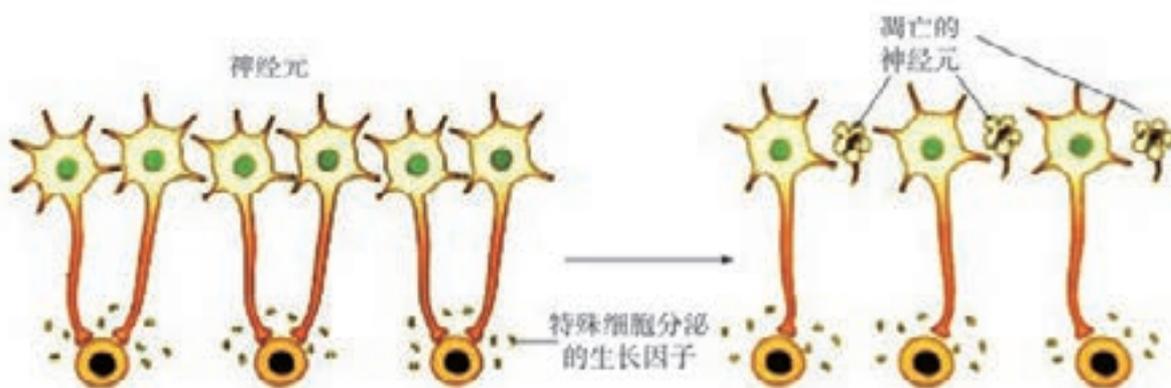
研究发现，细胞凋亡不足或凋亡过度都会导致相关疾病。例如，肿瘤的发生与细胞凋亡不足有关，阿尔茨海默病、再生障碍性贫血等与细胞凋亡过盛有关。针对细胞凋亡与疾病的不同关系，可以采取抑制或增强细胞凋亡的措施治疗有关疾病。例如，通过放射疗法或化学疗法可以激活肿瘤细胞自杀程序，促使肿瘤细胞凋亡；运用神经生长因子

延缓神经元凋亡，可以治疗阿尔茨海默病等神经系统退行性疾病。

细胞凋亡与某些基因的调控作用密切相关，从分子机制上研究细胞凋亡，可以更加有效地治疗与细胞凋亡异常相关的疾病。

学业检测

1. 脊椎动物在胚胎发育中会产生过量的神经元，这些神经元“争夺”并利用一些特殊细胞所分泌的神经生长因子，只有接受了足够量神经生长因子的神经元才能生存，并与特殊细胞建立连接，其他的则发生凋亡（见下图）。请回答：

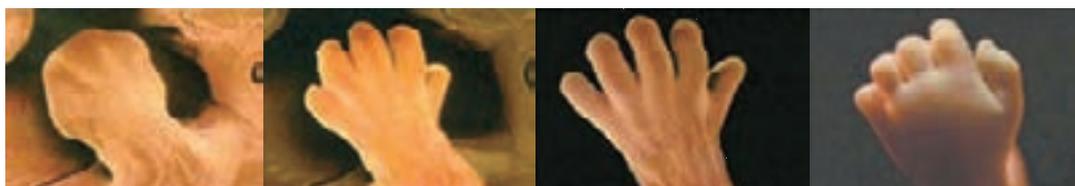


(1) 神经元接受神经生长因子，体现了质膜的哪些功能？只有接受了足够量神经生长因子的神经元才能生存下来，说明了什么？

(2) 某些神经元没有接受足够量的神经生长因子，发生细胞凋亡。在细胞凋亡的过程中神经元的质膜等结构发生哪些变化？凋亡的神经元最终的去向是什么？

(3) 如果人体内该死亡的细胞没有死亡，而不该死亡的细胞大批死亡，人就可能罹患有关疾病。癌细胞被称为“不死”的细胞，请结合细胞凋亡的机理，对如何治疗癌症进行合理的设想。

2. 在胚胎发育的早期，我们的手是呈球拍状的。后来随着胚胎的发育才出现了彼此分开的五指（见下图）。



(1) 在人手的发育过程中，细胞主要发生了哪些自然变化？在以后的胎儿发育和成人阶段还会发生这些变化吗？

(2) 在此过程中，细胞凋亡有哪些积极的生物学意义？

(3) 科学家以酵母菌等为材料研究了细胞自噬现象。细胞自噬与细胞凋亡、细胞衰老一样，是十分重要的生物学现象，参与生物的生长发育等多个过程。查阅资料，了解细胞自噬与细胞凋亡等有关的研究进展及其意义。

 学业要求

重要概念	节次	学科素养
细胞会经历生长、增殖、分化、衰老和死亡等生命进程。	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆描述细胞通过不同的方式进行分裂，其中有丝分裂保证了遗传信息在亲代和子代细胞中的一致性。 ◆通过观察植物根尖细胞的有丝分裂，提高观察能力及分析结果和交流讨论的能力。 ◆通过有丝分裂模型的构建，培养科学思维方法。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆说明在个体发育过程中，细胞在形态、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，确立结构与功能相统一的生命观念。
	第三节	<ul style="list-style-type: none"> ◆列举细胞衰老的内在因素，描述在正常情况下，细胞衰老是一种自然的生理过程。 ◆简述细胞衰老与人类健康的关系，崇尚健康文明的生活方式，担负起健康中国的促进者和实践者的社会责任。
	第四节	<ul style="list-style-type: none"> ◆分析细胞凋亡的研究资料，描述在正常情况下，细胞凋亡是一种自然的生理过程。 ◆简述细胞凋亡与人类健康的关系，崇尚健康文明的生活方式，担负起健康中国的促进者和实践者的社会责任。



模式生物——线虫

为了探索生命的奥秘，科学家往往会找到某些生物，通过对它们的研究，揭示某些生命活动的普遍规律，这类生物称作模式生物。目前，常见的模式生物有大肠杆菌、酵母菌、线虫、果蝇、斑马鱼、小鼠、拟南芥等。科学家在攻克某些难题时，还会开发新的模式生物。例如，中国科学家将起源于中国、几千年来吐丝结茧造福人类的家蚕开发成为模式生物，广泛应用于现代遗传学、发育生物学、生物反应器等方面的研究。可见，科学家在探索发现的同时，还要善于在研究对象、实验材料等方面不断突破创新。正如布伦纳所说：选择合适的生物与找到可解决的、正确的问题同样重要。

2002年，诺贝尔生理学或医学奖授予布伦纳、苏尔斯顿和霍维茨3位科学家，以表彰他们发现了调节器官发育、细胞凋亡的关键基因和机制。他们的工作都与线虫有关。

20世纪60年代，为了研究动物的发育，尤其是神经系统的发育，布伦纳找到一种叫作秀丽隐杆线虫的小动物作为实验材料（图5-21）。这种线虫以土壤中的细菌为食，一只雌雄同体的成年线虫身长只有1mm，由959个体细胞构成，结构简单，生命周期只有约3周，且身体透明，便于用显微镜观察。布伦纳将遗传学分析与观察细胞分裂相结合，研究基因突变对细胞分裂、分化和器官发育的影响，得出许多重要结论。苏尔斯顿1969年加入布伦纳的研究小组。他观察了线虫从受精卵到发育成熟过程中每一个细胞的分裂和分化情况，最终绘制出细胞“家谱”：每一个细胞的“父母”是谁，“子女”是谁，何时诞生、何时分裂。他发现，在发育过程中，线虫共生成了1090个细胞，其中131个必然在固定发育时段、固定位置上凋亡，“流程”之精确令人惊讶。1974年霍维茨也加入了布伦纳的研究小组，他找到了线虫中多个促进或抑制细胞凋亡的调控基因，并发现类似基因在人类等高等动物中也存在。

他们的发现促进了发育生物学的发展，对治疗癌症、神经退行性病变等严重疾病有重大意义。因此，布伦纳的诺贝尔获奖感言以“自然给科学的馈赠”为题，对帮助他们突破科学难题的小小线虫表达了敬意。2006年，诺贝尔生理学或医学奖再度“花落线虫家”：美国科学家法尔和梅洛以线虫为实验材料，发现了RNA干扰机制。

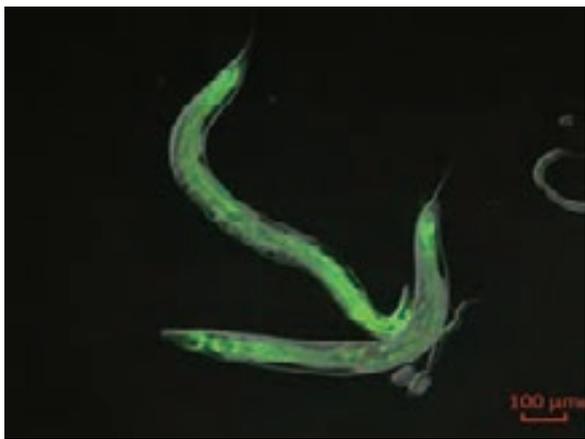


图5-21 秀丽隐杆线虫

2009年美国生物学家科尔曼发现，线虫里 *daf-2* 基因的一个点突变可以使线虫的寿命延长两倍，这一发现验证了衰老是可以受基因调控的。甚至有科学家据此认为，如果将延长线虫寿命的方法应用到人类身上，活到500岁就不会只是一个梦想。

数十年来，小小线虫为科学家揭开生命的奥秘、探索治疗疾病的途径立下了汗马功劳。直到今天，线虫依然是生命科学研究中重要的模式生物。

后 记

本套教科书是根据教育部制定的《普通高中课程方案（2017年版）》和《普通高中生物学课程标准（2017年版）》编写的。教科书突出对学科核心素养的培养，通过创设学习情境实施双重驱动——任务驱动和问题驱动，以每章的研究课题和每节的问题串分级驱动项目式学习和探究式学习，调动学生的学习积极性，引导学生主动学习，主动建构新知。

本套教科书共5册，其中必修教科书2册，选择性必修教科书3册。必修教科书包括《分子与细胞》和《遗传与进化》，选择性必修教科书包括《稳态与调节》《生物与环境》及《生物技术与工程》。

本套教科书是集众人智慧的成果。本书编写过程中，得到了诸多教育界前辈和专家学者的热情帮助和大力支持。在教科书出版之际，我们特别感谢郑光美、刘植义、杨帆、韩贻仁、李子恩、杨晓梅、上官士栋、汲广通、郑敏、王学斌、全先庆、邱奉同、王连翠、廉玉姬、马忠明、胡晓君、尹苗、杜希华、荆玉栋、鲁佳慧、刘志伟、蒋沂蒙等专家、学者、教师和社会各界人士。

声明 按照《中华人民共和国著作权法》第二十三条，关于“为实施九年义务教育和国家教育规划而编写出版教科书，除作者事先声明不许使用的外，可以不经著作权人许可，在教科书中汇编已经发表的作品片段或者短小的文字作品、音乐作品或单幅的美术作品、摄影作品，但应当按照规定支付报酬，指明作者姓名、作品名称”的有关规定，我们已尽量寻找原作者支付报酬。原作者如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

由于水平有限，书中难免有疏漏之处，希望使用本套教科书的师生们能够及时把意见和建议反馈给我们，对此我们将不胜感谢。我们的联系方式如下：

电话：021-64702058

E-mail: office@sste.com

高中生物学教科书编写组

2019年3月

PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU
SHENGWUXUE

普通高中教科书

生物学 必修1

分子与细胞

上海科技教育出版社有限公司出版发行

(上海市柳州路218号 邮政编码200235)

山东省新华书店经销 山东鸿君杰文化发展有限公司印刷

开本890×1240 1/16 印张9.5

2020年1月第1版 2020年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5428-7026-1/G·4008

定价: 10.79元

机读编号:鲁发改价格核(2019)938001 举报电话:12358



此书如有印、装质量问题,请向印厂调换

印厂地址:山东淄博市沂源县寿路14666号 电话:0533-8520001

YOUJ
365优教
大学生共享家教联盟

致力于用榜样的力量提升学生成绩的共享家教平台

中国家庭教育学会荣誉会员单位

985/211 大学生 1对1 上门辅导

找家教就像叫“代驾”一样简单
家长们都在偷偷用的家教预约神器

记得拍照留存哦



扫码关注 预约上门

关注送200元优惠券

小初高全科辅导

学霸云集任您挑

学历真实可担保



与优秀大学生同行，激发孩子无限潜能



微信搜索公众号：365优教网

咨询热线：4000-711-365

YOUJ 优教

既是找老师，更是找榜样

家教老师全国招募中