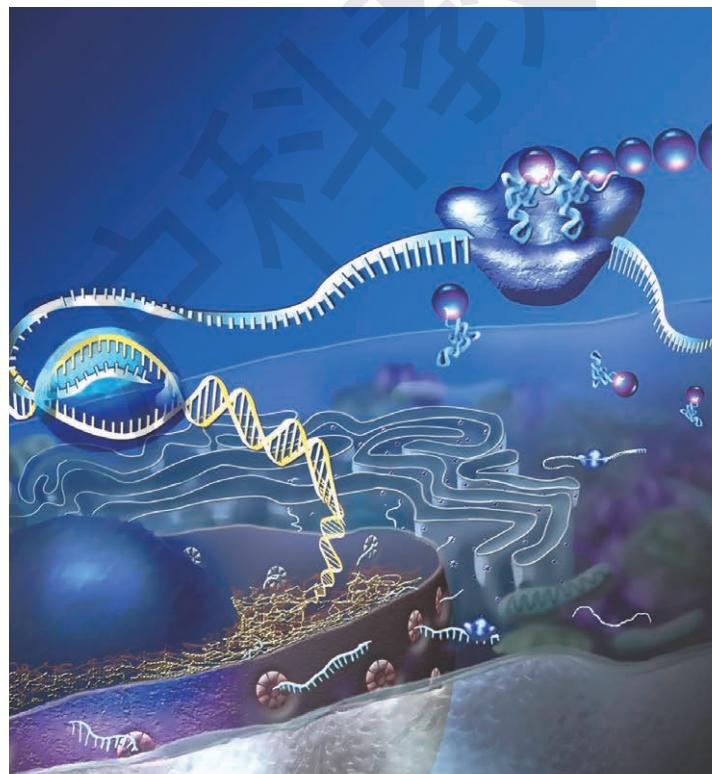


普通高中教科书

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。

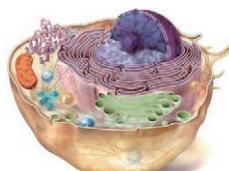
生物学是探索生命现象和生命活动规律的科学，是自然科学中的一门基础学科，其研究对象是地球上形形色色的生物。科学家在 20 世纪曾经预言，生物学在 21 世纪将会对人类社会产生巨大影响。

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



布萊森 (B. Bryson) 在《万物简史》中有这样的描述：“每个细胞都是自然界的一个奇迹。即使是最简单的细胞，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，就似拥挤不堪、纷繁复杂的实时数据库。有条不紊、大小不一的细胞内究竟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？

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



学业要求

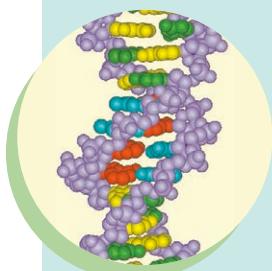
学业检测 每节正文之后，以核心素养为指向，围绕本节内容精心设计一组自评自测题，促进学习目标内化和巩固，便于同学们自我反馈、自我评价、主动发展。

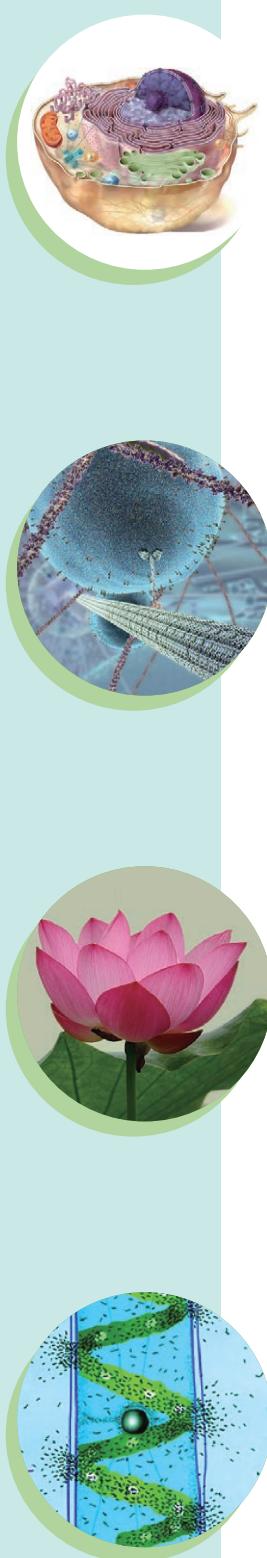


视野拓展

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。

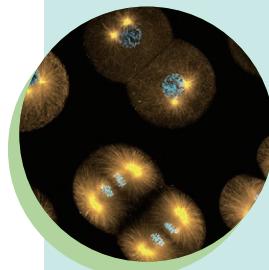
第一章 细胞构成生物体 …	2
课题研究——发现一滴水中的生命世界 …	3
第一节 人类认识细胞的历程 …	4
一、细胞的发现 …	4
二、细胞学说的创立 …	5
三、细胞生物学研究进展 …	7
第二节 生物体由多种多样的细胞构成 …	9
一、细胞的形态和功能是多种多样的 …	9
二、原核细胞与真核细胞的主要区别 …	11
第二章 细胞由多种多样的分子组成 …	16
课题研究——探究化学元素对植物生命活动的影响 …	17
第一节 细胞由多种元素和化合物组成 …	18
一、细胞含有多种化学元素 …	18
二、细胞由多种化合物组成 …	20
第二节 水和无机盐在生命活动中具有重要作用 …	24
一、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



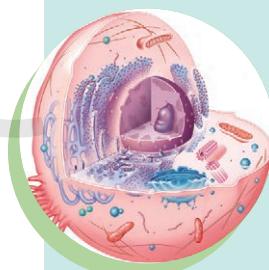


第五节 核酸是储存与传递遗传信息的生物大分子 …	47
一、核酸的发现历程 …	… … 47
二、核酸包括 DNA 和 RNA …	… … 49
三、核酸由核苷酸聚合而成 …	… … 49
 第三章 细胞具有分工合作的复杂结构 … … 54	
课题研究——制作细胞模型 …	… … 55
第一节 细胞都由质膜包裹 …	… … 56
一、质膜主要由脂质和蛋白质构成 …	… … 56
二、质膜具有多种功能 …	… … 59
第二节 细胞内具有许多相对独立的结构 …	… … 62
一、细胞质基质是透明的胶状物质 …	… … 62
二、细胞内存在多种细胞器 …	… … 63
第三节 遗传信息主要储存在细胞核中 …	… … 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

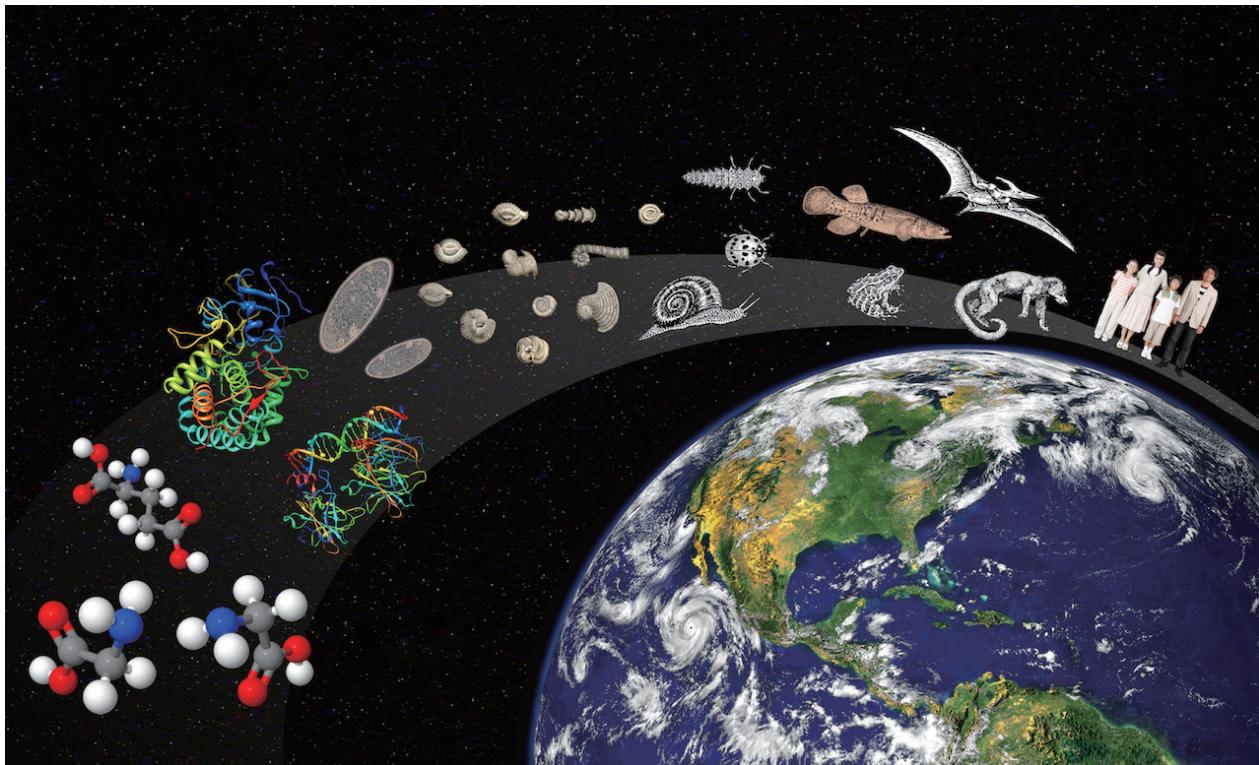
第四节	光能的捕获、转换和储存 …	…	…	100
一、光合作用的探究历程	…	…	100	
二、叶绿体从太阳光中捕获能量	…	…	102	
三、光能的转换和储存	…	…	104	
四、光合作用受环境因素影响	…	…	106	
第五节	细胞能量的供应和利用 …	…	…	110
一、细胞呼吸包括有氧呼吸和无氧呼吸	…	…	110	
二、化学能转化为细胞可以利用的能量	…	…	112	



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			
一、细胞通过不同的方式进行增殖	…	…	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。

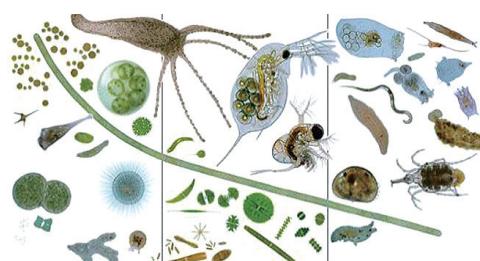


图 1-1 水体中的一些微小生物

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 $100\text{ }\mu\text{m}$ ，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。”

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?



图 1-3 胡克制作的显微镜
(模型) 和他观察到的软木切片

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。

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,对细胞的认识日渐丰富。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 1-4 施莱登 (上) 和施旺 (下)

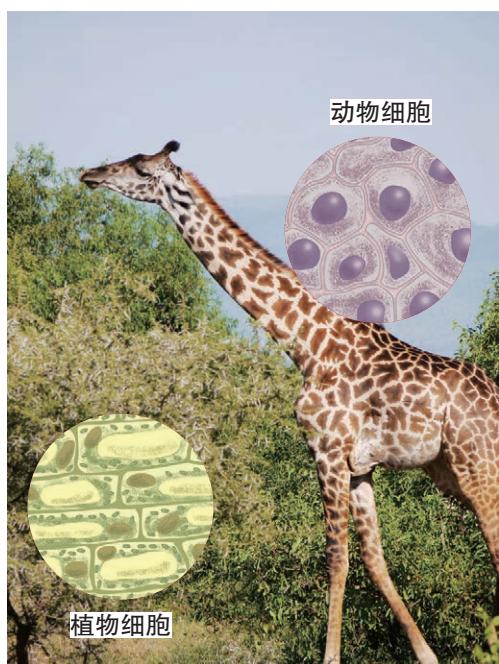


图 1-5 长颈鹿和它所吃的树叶都是由细胞构成的

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

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)。

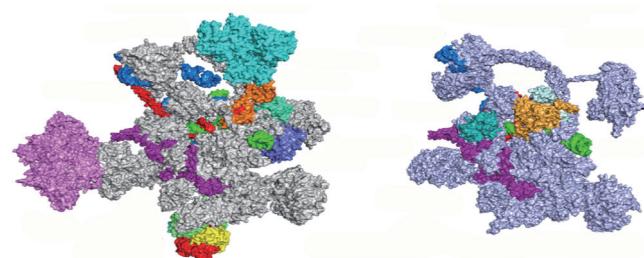


图 1-6 人源剪接体 (左) 与酵母菌剪接体 (右) 结构示意图

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

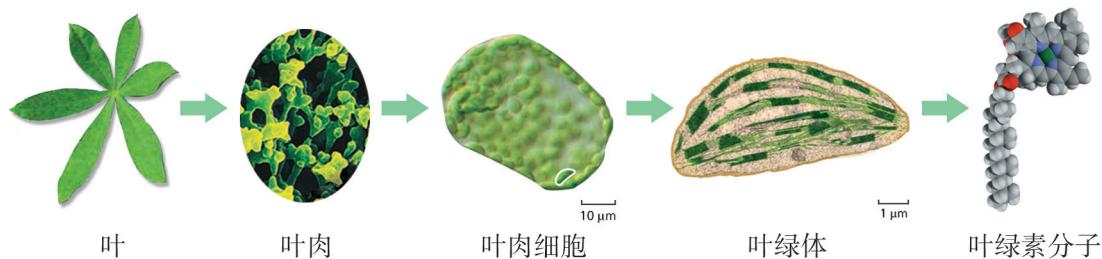


图 1-7 叶的结构层次

系列卓越的成就，强有力地推动了对细胞结构和功能以及生命本质的研究进展（图 1-7）。

随着研究技术和研究手段的不断改进，人们分别从细胞、亚细胞和分子水平上研究细胞的基本生命活动规律，对细胞的形态结构观察得越来越清楚，对细胞功能的研究也越来越深入。

学业检测

1. 人类对细胞的研究已有 300 多年的历史了。“细胞”这个词在当下早已广为人知。结合所学知识，尝试回答下列问题：

（1）在人类历史上，_____是第一个发现活细胞的人，他在观察记录中曾经写道：“一滴水中的小生物要比全荷兰的人还多出许多倍……”你认为他的这句话想说明什么问题？

（2）目前，人们主要从细胞、亚细胞和分子水平 3 个层次上研究细胞的结构、功能和生命活动规律。你认为影响人们未来生活的生物学研究主要集中在这个层次？请举例说明。

（3）“细胞”一词常被引申到非生物学科的语境，例如，“青年之于社会，犹新鲜活泼细胞之在人身”“家庭是社会的细胞”“这孩子真有艺术细胞”等。请对上述类比作出评价。

2. 施莱登和施旺创立的细胞学说将当时人们所熟知的生命世界统一起来，随着研究的进一步深入，细胞学说也在不断地修正和完善。

（1）从现在的生物学观点来看，施莱登和施旺创立的细胞学说能说明的问题是（ ）。

- A. 所有的生物都由细胞构成
- B. 所有的动物和植物都由细胞构成
- C. 构成动物和植物的细胞具有相同的结构
- D. 细胞的结构基础是各种分子

（2）1899 年，人类认知并命名了第一种病毒——烟草花叶病毒，后来陆续发现了近 5000 种病毒。它们不具备细胞结构，仅由核酸和蛋白质外壳构成。它们缺少进行自主代谢的完整机制，单独存在时不能繁殖，也没有生命活动，只能寄生在细胞内。病毒的发现是否推翻了细胞学说中“细胞是生物体结构和功能的基本单位”的观点？为什么？

（3）细胞学说是自然科学史上的一座丰碑，被恩格斯誉为 19 世纪自然科学的三大发现之一。细胞学说为什么具有如此重大的意义？

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

- 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。
- 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。
- 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。
- 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

- 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？
- 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。

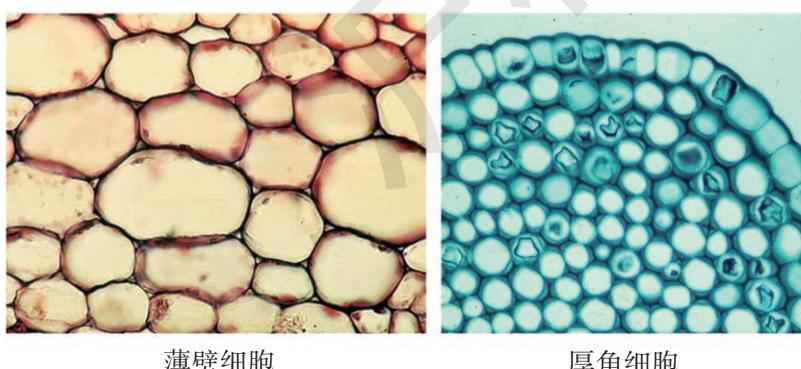


图 1-9 不同组织中的植物细胞（放大倍数：400 \times ）

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 $10\text{ }\mu\text{m}$ ，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。

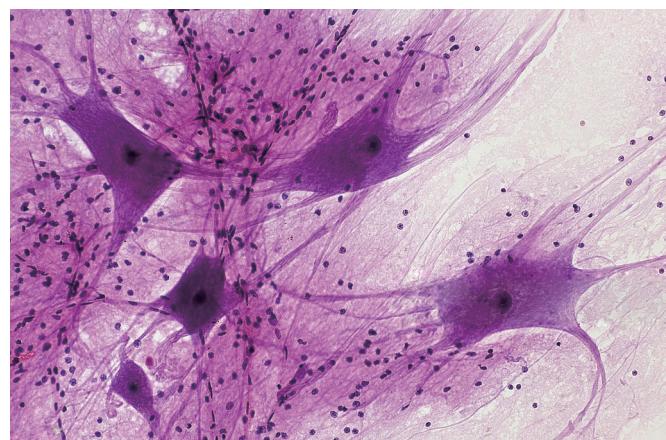


图 1-10 神经组织涂片
(放大倍数: $200\times$)

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

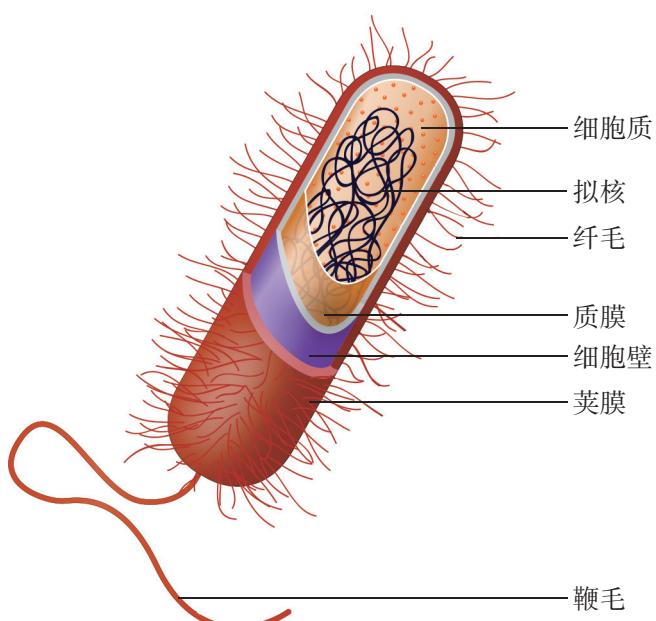


图 1-11 细菌结构示意图

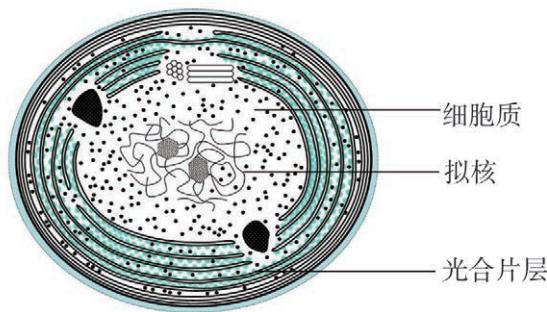


图 1-12 蓝细菌结构示意图

循环过程中处于重要地位。蓝细菌能进行光合作用,产生的O₂改变了原始地球大气的组成,为后来真核生物的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？

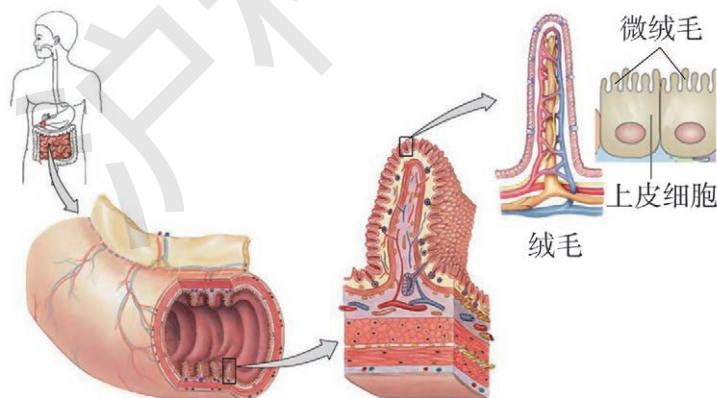
(3) 作为单细胞生物，草履虫可以独立完成运动、摄食、消化、呼吸、繁殖等生命活动。对比人体相应的生活活动，说明多细胞生物比单细胞生物具有更大生存优势的原因。

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。

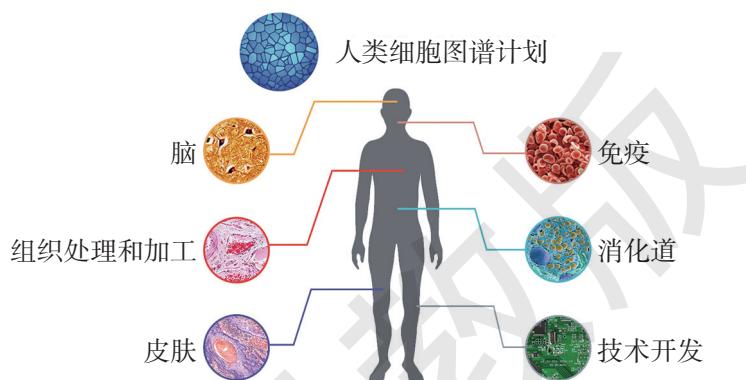
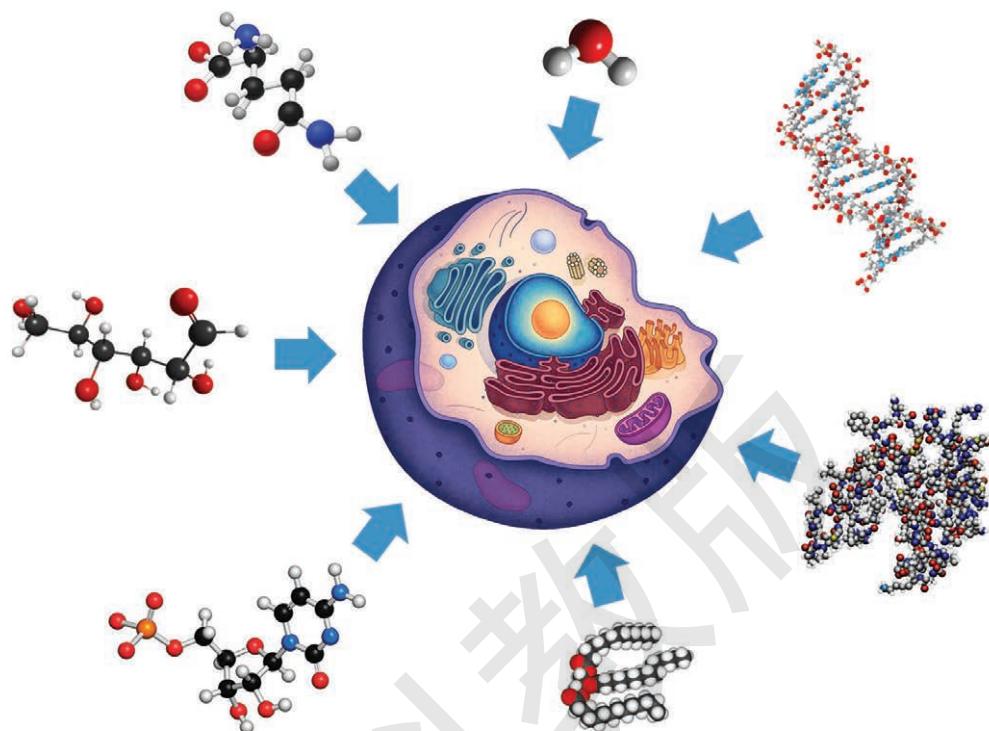


图 1-13 人类细胞图谱计划的 38 个项目主要分布在 6 个领域

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，生物的遗体和残落物被分解后“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 (%)

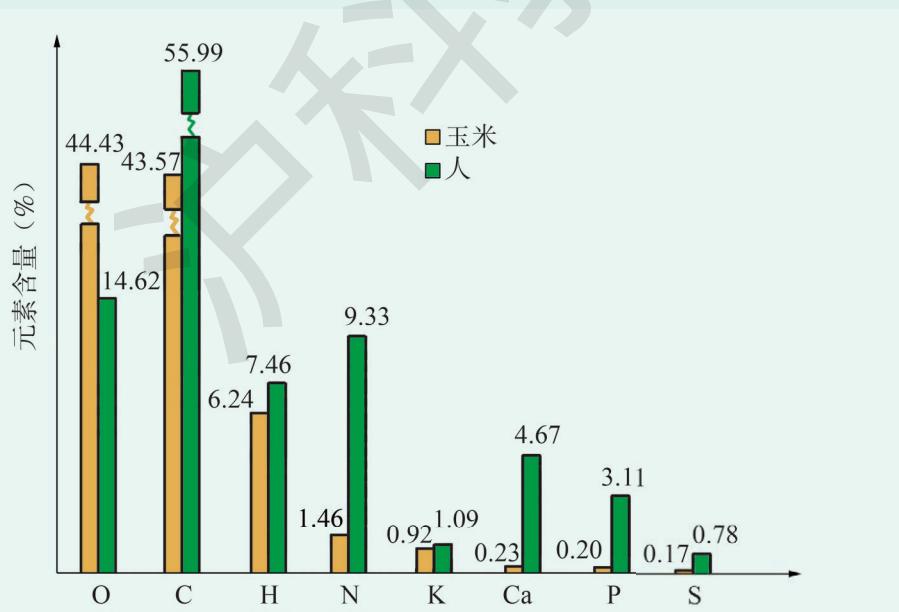


图 2-4 玉米和人体细胞 (干重) 中元素的含量比较

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。

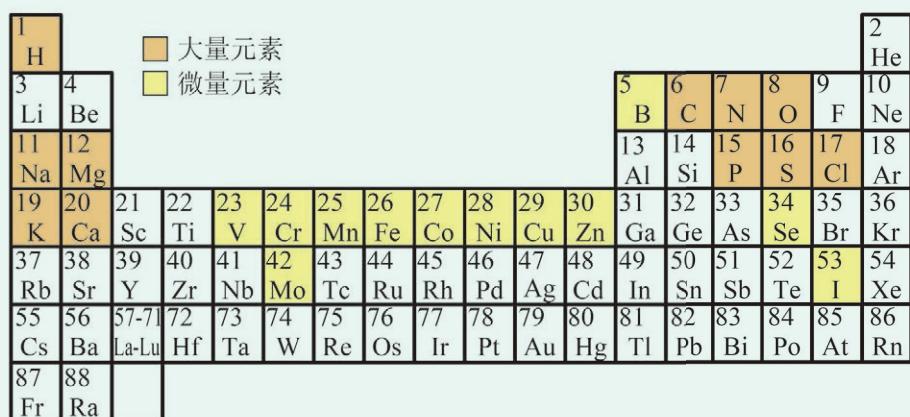


图 2-5 组成人体的元素在元素周期表中的分布

分析讨论

- 海水、地壳、南瓜和人体细胞的元素种类和含量有何不同？
- 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。
- 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%；还有一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在无机自然界中找到，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。

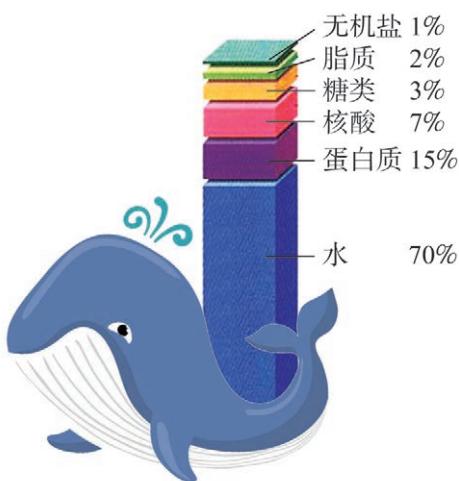


图 2-6 细胞的一般化学组成

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¹⁴CO₂）和普通的不具有放射性的相应物质（如¹²CO₂）在细胞内所发生的代谢过程完全相同，因此通过对放射性的探测，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）。

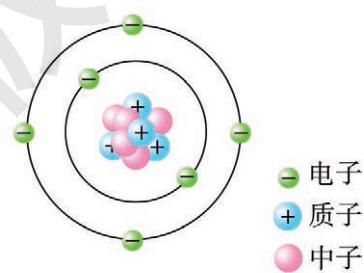


图2-7 碳原子结构示意图

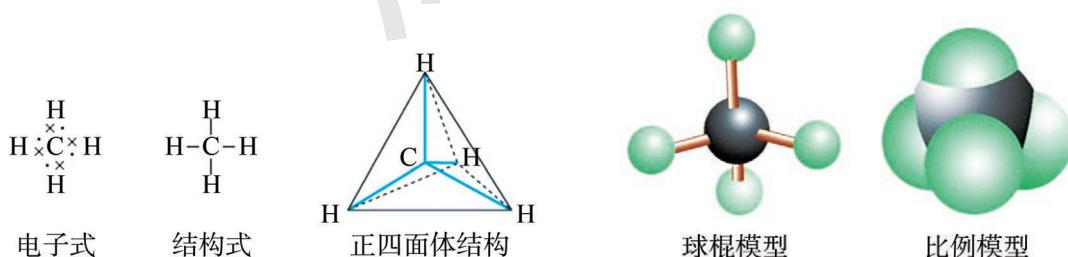


图2-8 甲烷的分子结构

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。

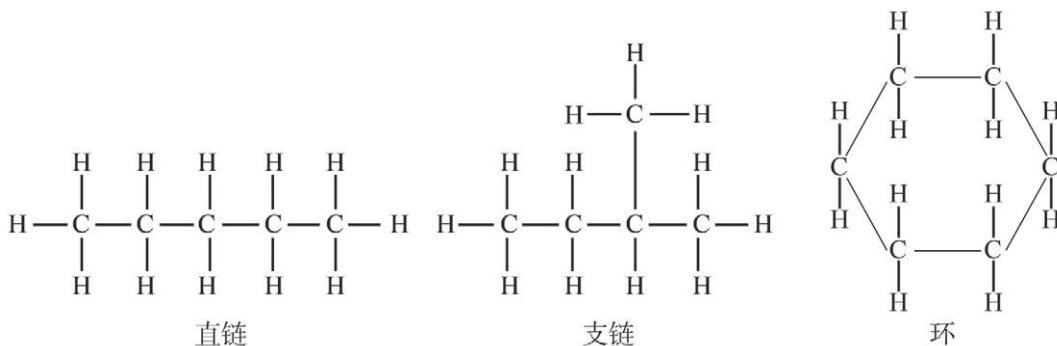


图 2-9 碳原子形成的几种结构示意图

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）。

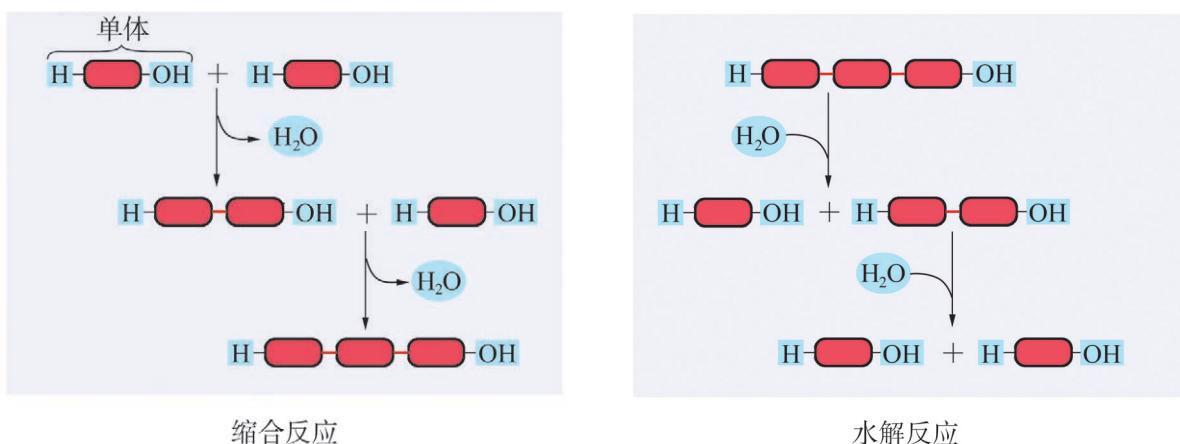
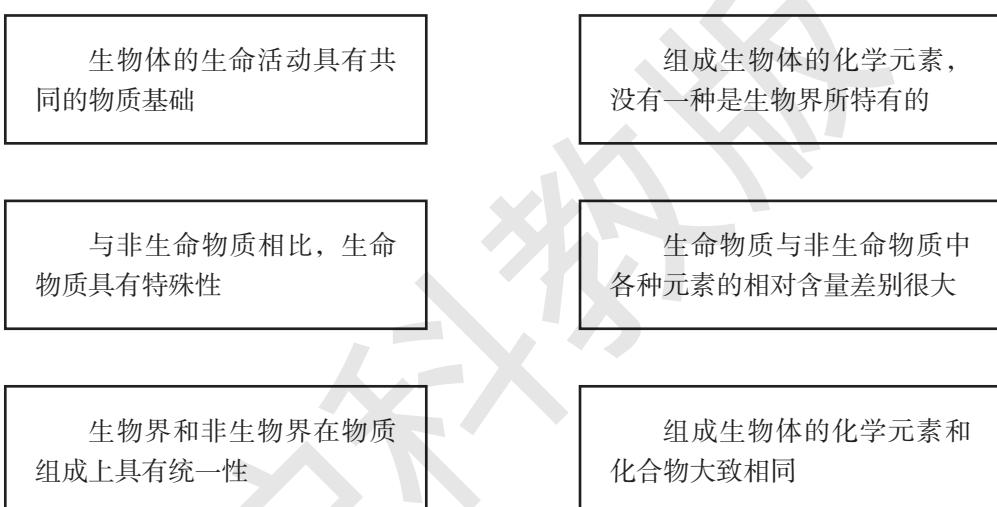


图 2-10 缩合反应和水解反应示意图

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：



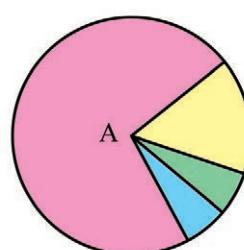
2. 元素是由具有共同特点的原子组成的。不同的原子又通过各种形式的化学键生成了大大小小的分子。组成细胞的元素和各种化合物是细胞生命活动的物质基础。下图表示人体细胞中主要元素或化合物所占细胞质量的比例关系。

(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。

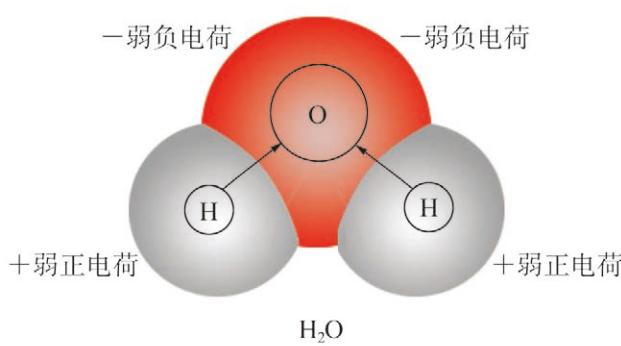


图 2-14 水分子的极性

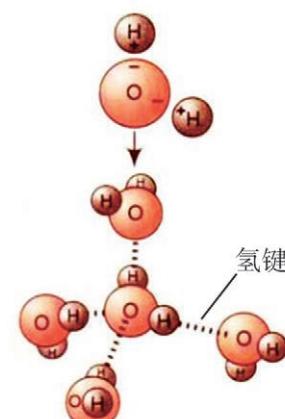


图 2-15 水分子之间的氢键示意图

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。

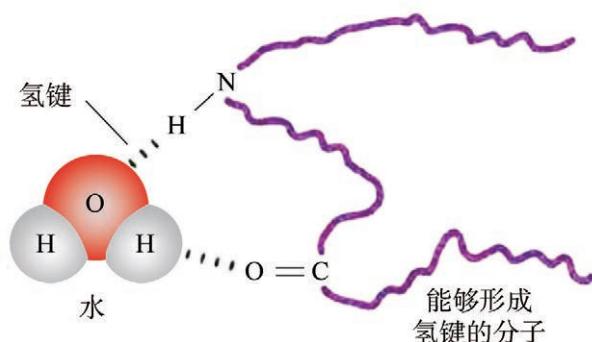


图 2-16 结合水

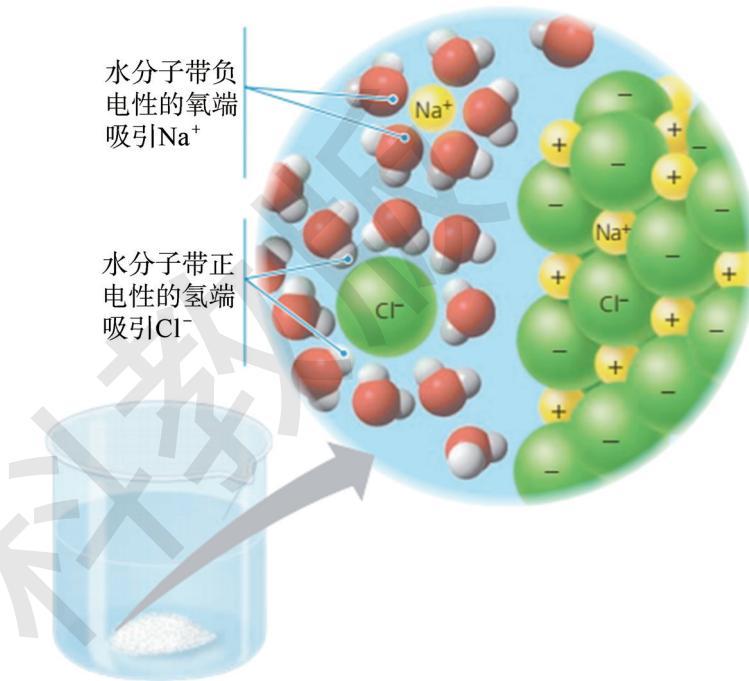


图 2-17 NaCl 在水中的溶解机制示意图

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。

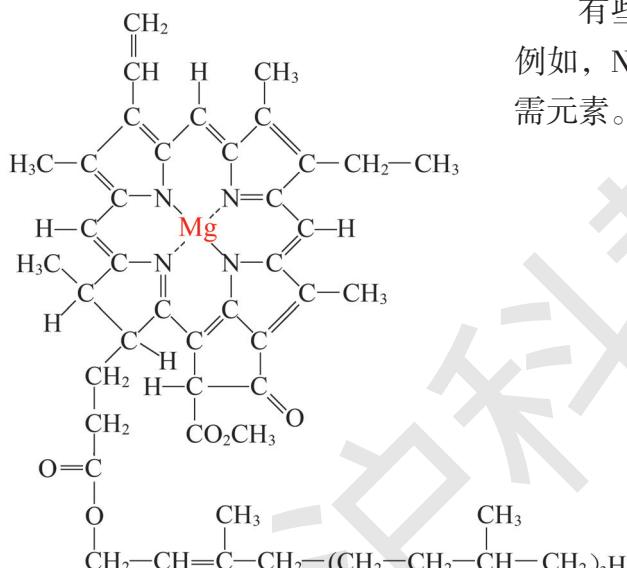


图 2-18 叶绿素分子结构示意图

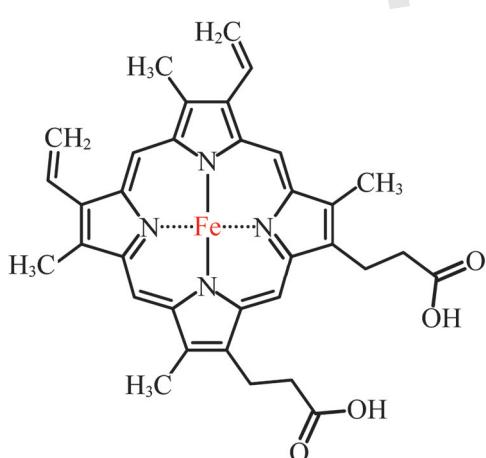


图 2-19 血红蛋白中血红素分子结构示意图

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）。

种植箱
(适合室内)



培养架 (适合
走廊或连廊)



培养架 (适合阳台、露台等)



温室大棚 (适合大的园区)

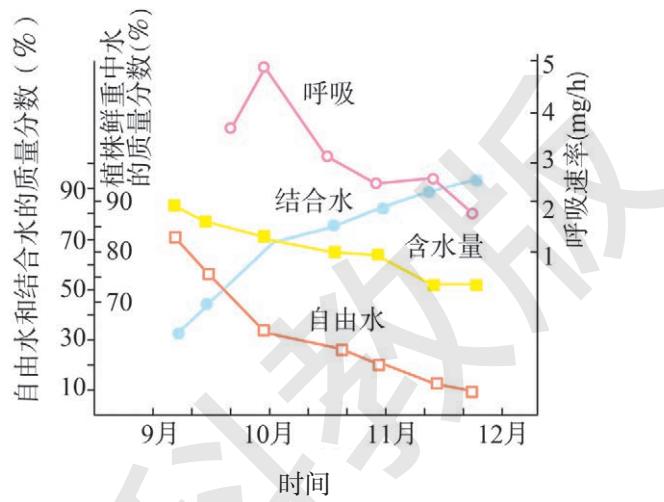
图 2-20 采用不同方式种植有机蔬菜

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)。

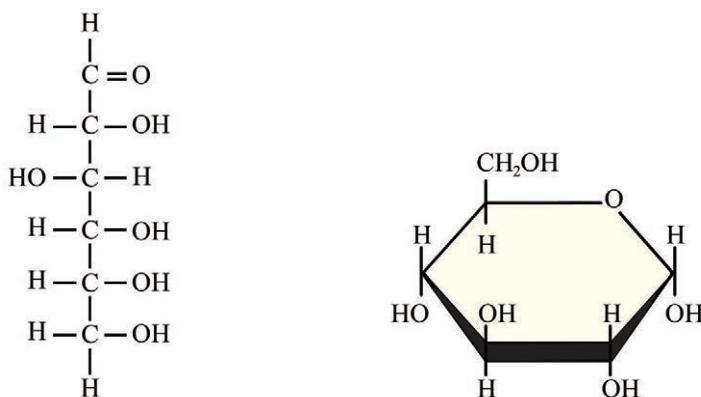


图 2-22 葡萄糖的链式和环式结构

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）。

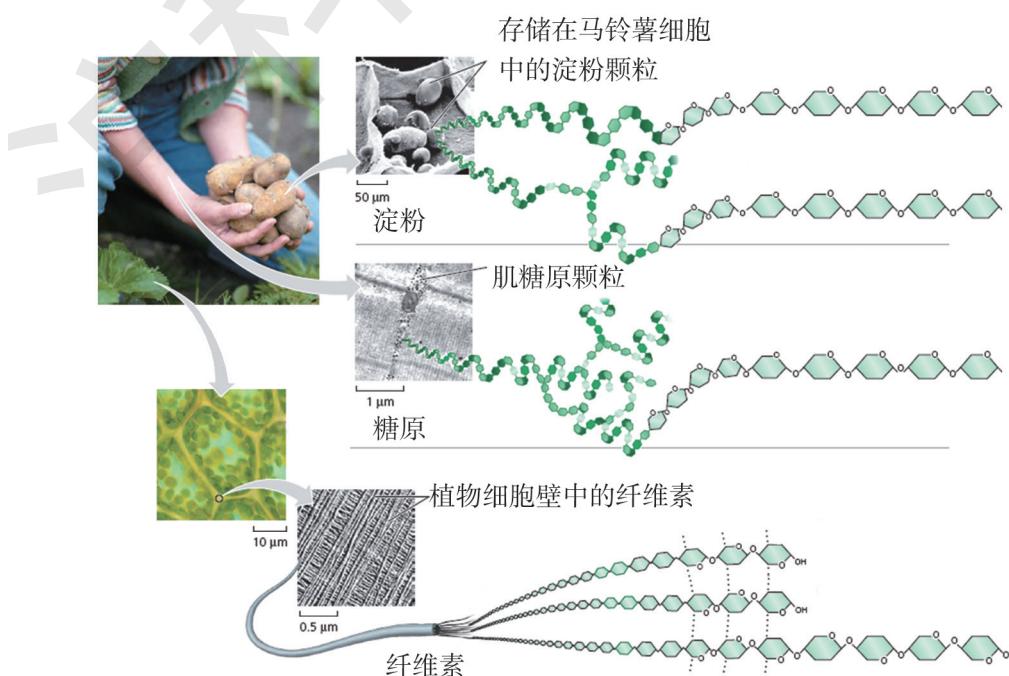


图 2-23 淀粉、糖原和纤维素示意图



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CuSO₄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、蛇菊糖等不属于糖类，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，原因之一就是在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)。

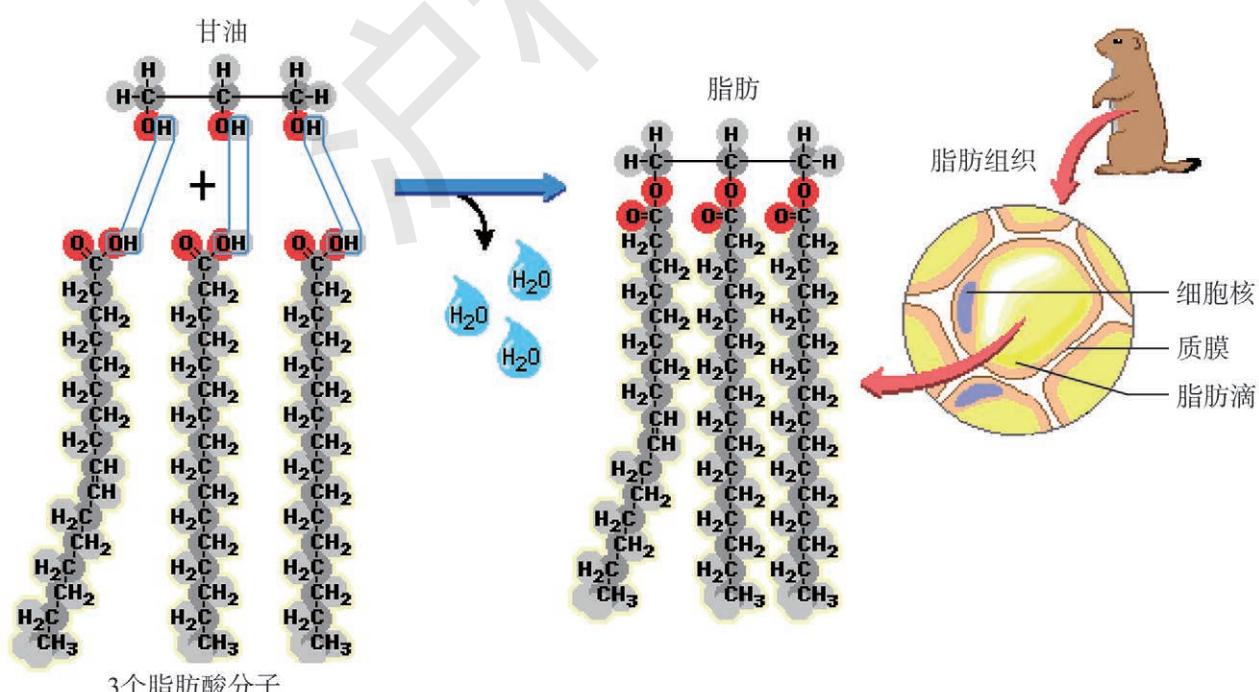


图 2-25 甘油和脂肪酸反应生成脂肪



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、猪等动物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疾病的。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。

在常温下，动物脂肪是固态的，因为构成动物脂肪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）。

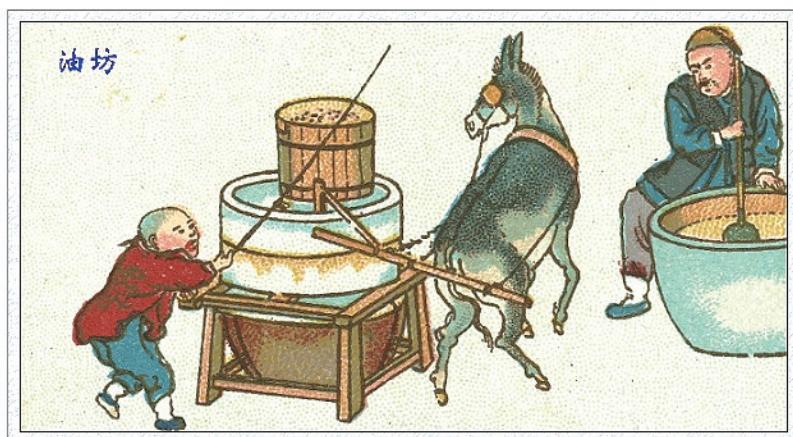


图 2-28 我国古代民间制作小磨芝麻油的场景



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？

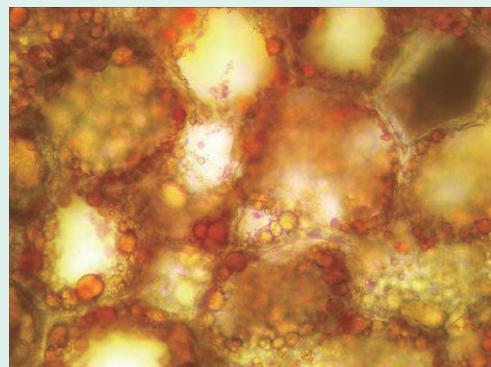


图2-29 花生子叶细胞中的脂肪滴
(放大倍数: 200×)

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。

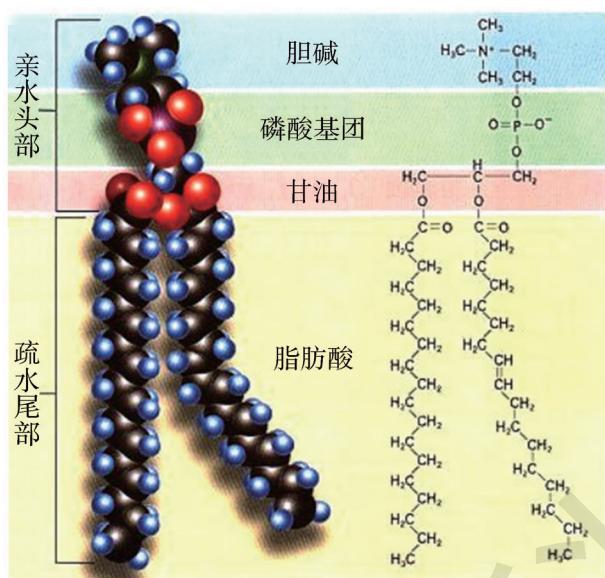


图 2-30 磷脂分子结构示意图

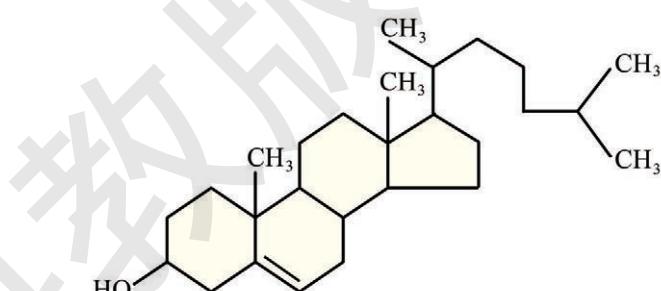


图 2-31 胆固醇分子结构示意图

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，部分来自于摄食。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。

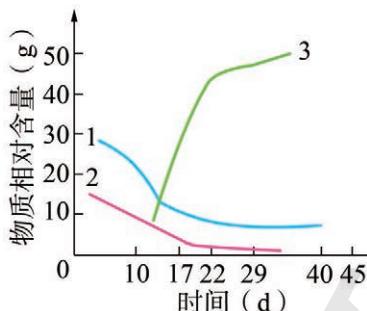


图 a

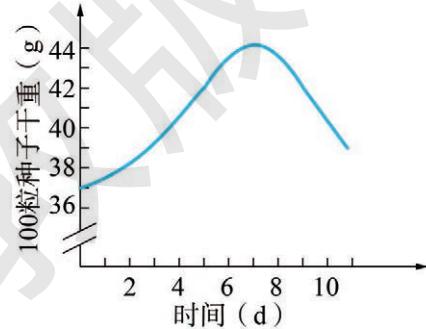


图 b

(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，历经数年艰辛探索，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。

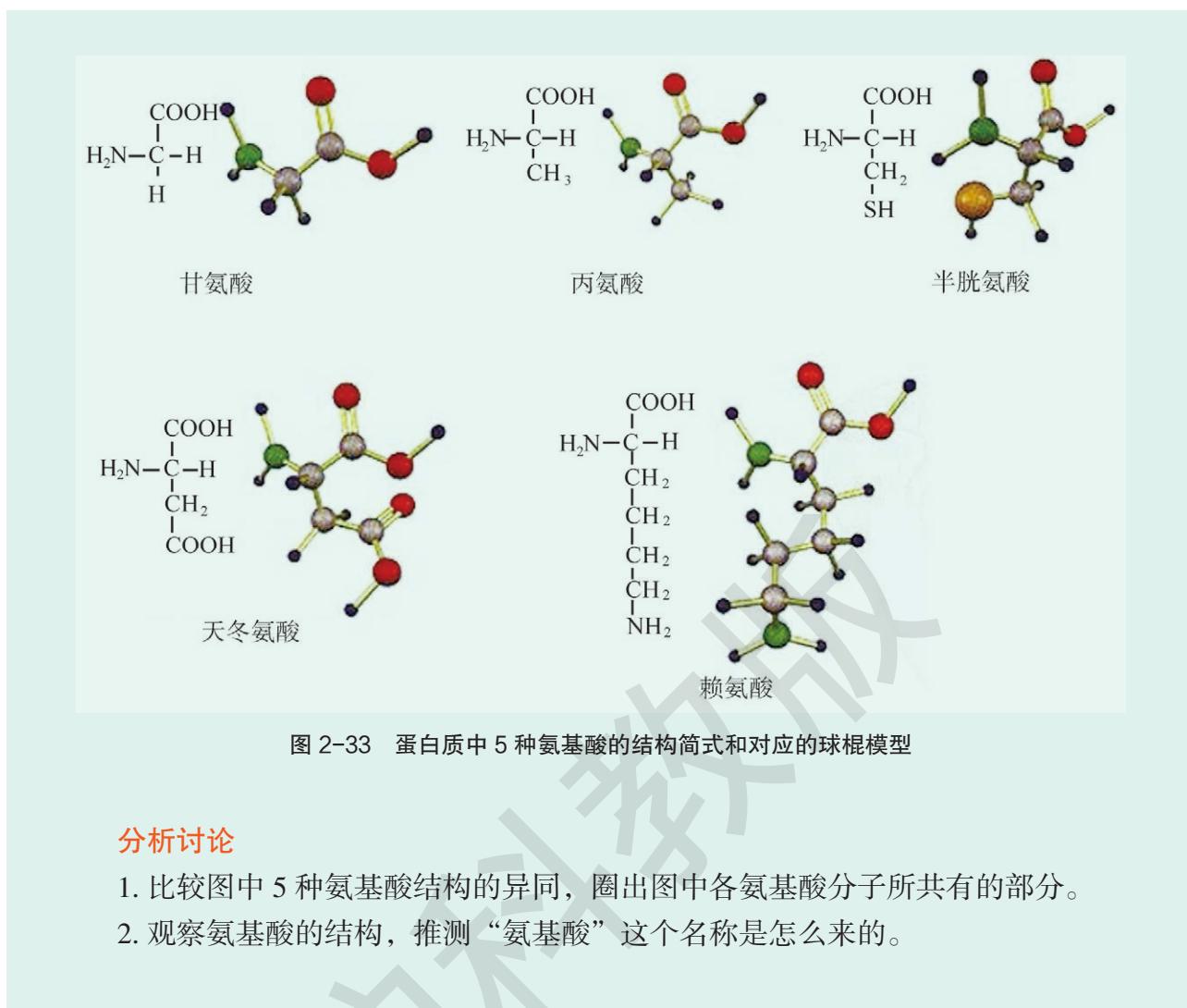


图 2-33 蛋白质中 5 种氨基酸的结构简式和对应的球棍模型

分析讨论

1. 比较图中 5 种氨基酸结构的异同，圈出图中各氨基酸分子所共有的部分。
2. 观察氨基酸的结构，推测“氨基酸”这个名称是怎么来的。

组成蛋白质的氨基酸都至少含有一个氨基 ($-\text{NH}_2$) 和一个羧基 ($-\text{COOH}$)，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 ($-\text{R}$)，则氨基酸的结构通式可以用图 2-34 来表示。

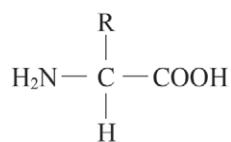


图 2-34 氨基酸结构通式

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。

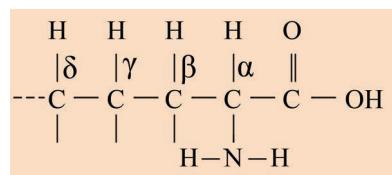


图 2-35 氨基酸的碳位示意图

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。

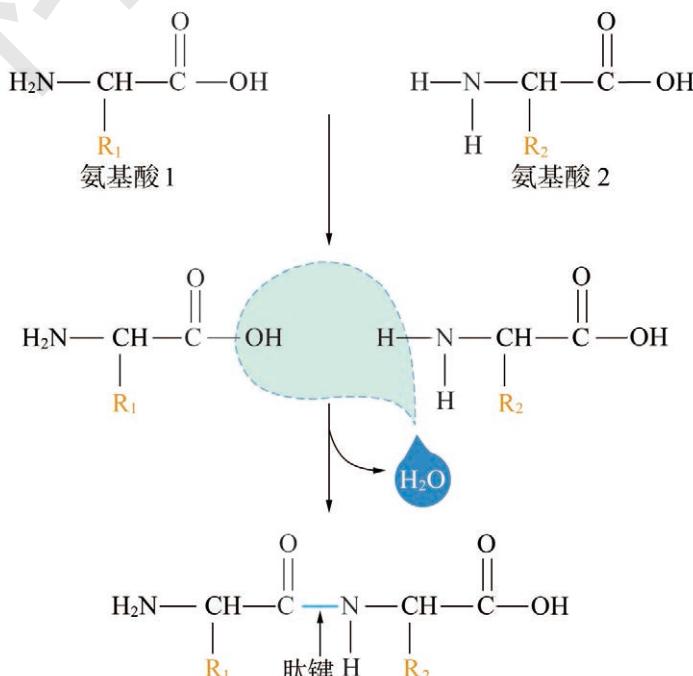


图 2-36 氨基酸缩合反应示意图



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($\text{H}_2\text{N}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}_2$)而得名。蛋白质或多肽分子中含有许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）。

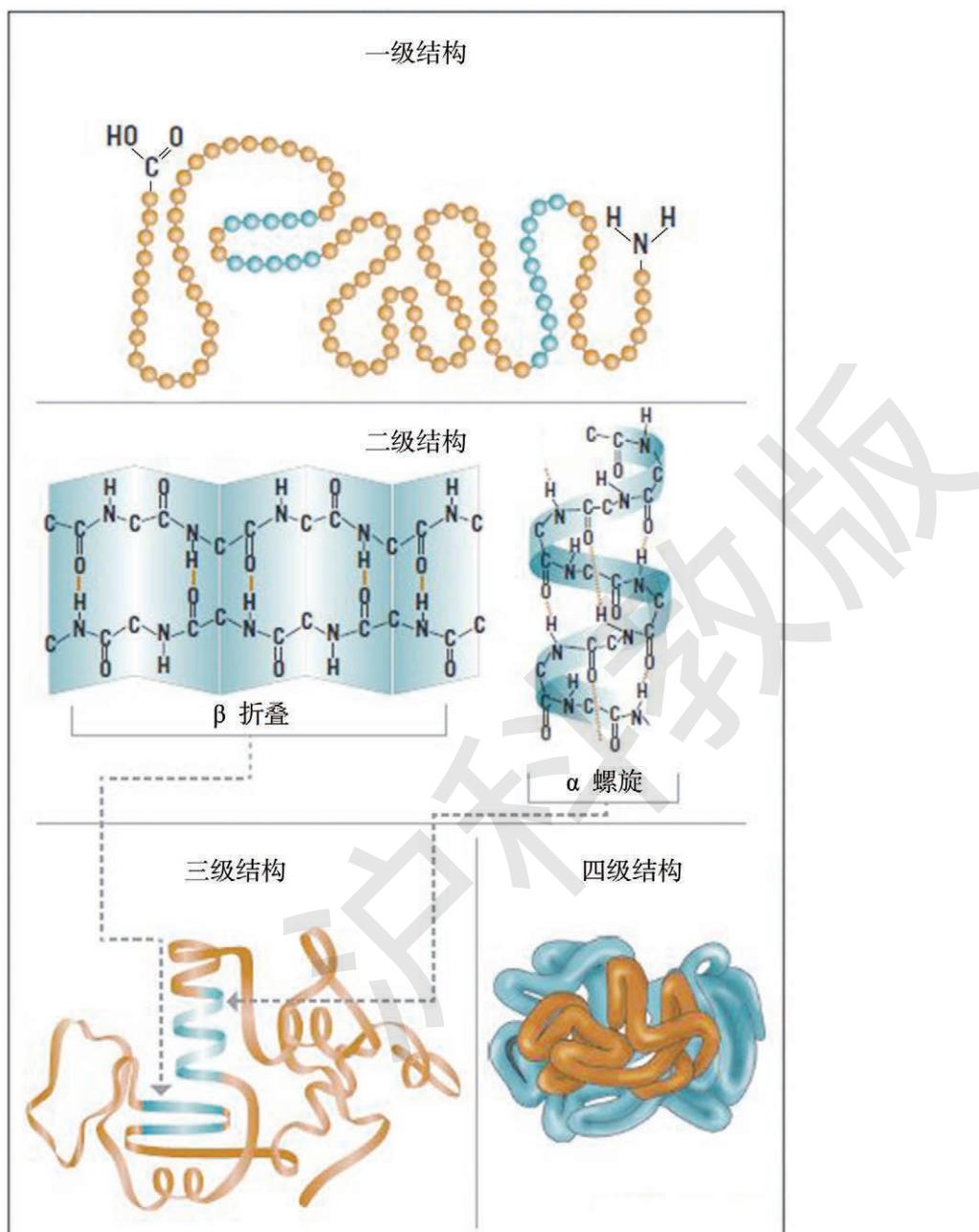


图 2-37 蛋白质分子结构示意图

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。

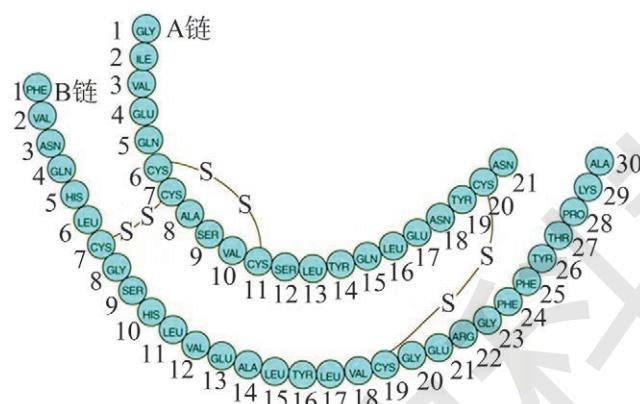


图 a

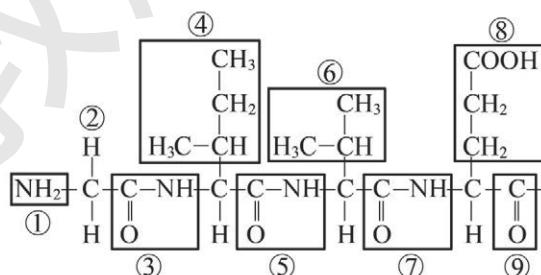


图 b

(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。糖尿病人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

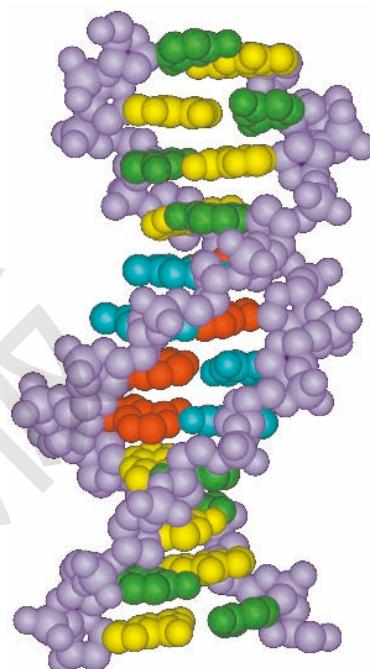


图 2-38 DNA 分子结构模型



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，还根据当时比较粗糙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 的亲和力不同，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）。

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。

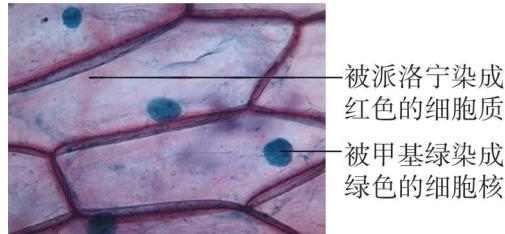


图 2-40 甲基绿—派洛宁混合染液染色后的洋葱内表皮
(放大倍数: 400×)

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。

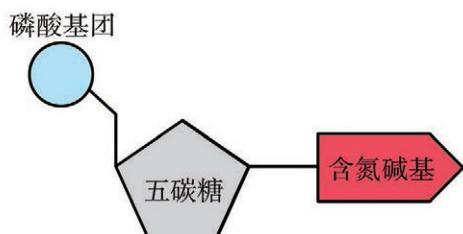


图 2-41 核苷酸构成示意图

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）。

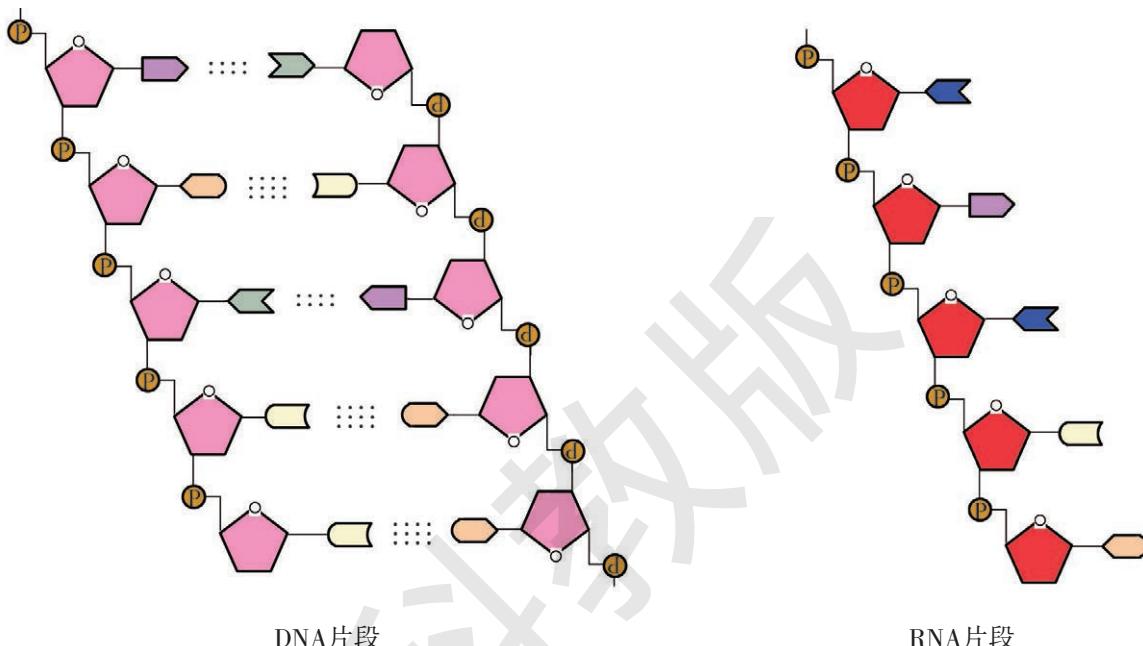


图2-42 DNA和RNA片段示意图

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

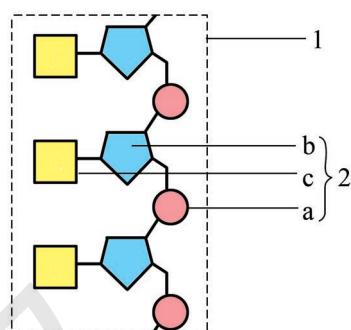
2. 2001年2月22日,78只野生大熊猫的基因身份证在浙江大学制作完成,大熊猫的“户籍”管理将从此进入更为科学的基因时代。大熊猫的基因身份证主要是由代表每只大熊猫性别和个体特征的遗传信息“条形码”构成。右图为大熊猫细胞中某核苷酸长链片段示意图。

(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。