

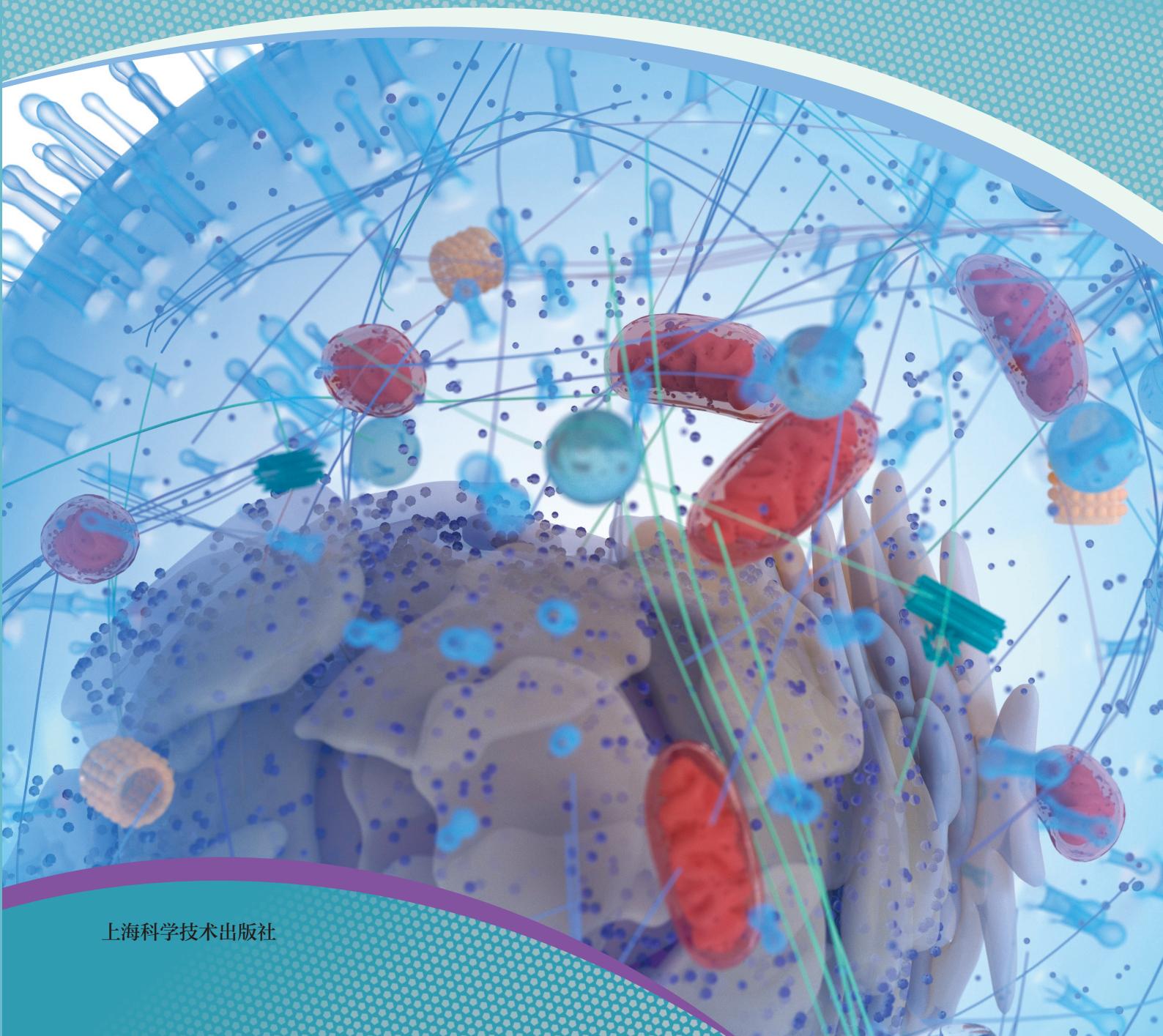


普通高中教科书

# 生物学

必修 1

## 分子与细胞



普通高中教科书

# 生物学

必修 1

## 分子与细胞

上海科学技术出版社

主 编：赵云龙 周忠良

本册主编：周忠良

编写人员：（以姓氏笔画为序）

朱 静 任 华 李小方 张秀珍 鲍晓云

责任编辑：何孝祥 杨 硕

美术设计：蒋雪静

普通高中教科书 生物学 必修1 分子与细胞

上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写

---

出 版 上海世纪出版（集团）有限公司 上海科学技术出版社

（上海市闵行区号景路 159 弄 A 座 9F-10F 邮政编码 201101）

发 行 上海新华书店

印 刷

版 次 2021 年 8 月第 版

印 次 2025 年 8 月第 次

开 本 890 毫米 × 1240 毫米 1/16

印 张 8.25

字 数 182 千字

书 号 ISBN 978-7-5478-5341-2/G · 1043

定 价

---

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分·违者必究

如发现印装质量问题或对内容有意见建议，请与本社联系。电话：021-64848025，邮箱：jc@sstp.cn

全国物价举报电话：12315

**声明** 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条有关规定，我们已尽量寻找著作权人支付报酬。著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

# 致同学们



你还记得《西游记》中的美猴王拔一根毫毛就能变出小猴吗？这个神话故事也许是关于体细胞克隆的最早设想。2017年，中国科学家攻克了“体细胞克隆猴”这一世界难题，首次成功培育出克隆猴，为人类相关疾病的治疗带来了新的希望……当今世界，生物学的发展日新月异，新理论、新技术、新成果不断被发现和运用。生物学正在改变着我们的生活，改变着整个社会。

## 生物学是一门怎样的学科？



任何学科的发展和重大发现都离不开前人的努力。科学家牛顿说过：“如果说我看得比别人更远些，那是因为我站在巨人的肩膀上。”生物学的发展有迹可循：从1665年首次发现细胞，到1839年正式建立细胞学说；从1809年最早阐述生物进化思想，到1859年系统阐述自然选择学说；从1953年成功解析出DNA分子双螺旋结构，到1980年首次培育出转基因动物；从1909年正式提出“基因”的概念，到2001年绘制出人类基因组草图……我们不难看出，生物学就是研究生命现象和生命活动规律的科学。

## 高中生为何要学习生物学？



作为新时代的高中生，学好生物学十分重要。对个人而言，你必须了解自己的身体，了解自身的所需、所能、所限，才能科学地安排自己的学习与生活，同时也为将来从事与生物学相关的医药、工农业等领域的工作打下基础。从人类生存与生态环境角度，你会了解地球上生命体的相互依存关系，树立“绿水青山就是金山银山”的理念。通过高中生物学课程的学习，我们将更加关爱生命，崇尚科学，养成健康文明的生活方式。

## 如何学好高中生物学? ➤

打开我们的生物学教材,你会发现每节内容开始之前都有一个小活动,活动中需要思考和讨论一些生物学问题。其中,有些问题容易回答,有些或许回答不出。希望你能带着这些问题去学习,依据搜集到的事实与证据,通过归纳与概括、演绎与推理等科学思维方法来寻找答案。在教材中,你还会看到实验探究、建立模型和实践调查等活动,这些是获取生物学事实与证据的重要来源,也是学好高中生物学的有效途径。希望你能乐于实践、善于合作、勇于创新!

正如教育家陶行知所言:“学生不应该专读书,他的责任是学习人生之道。”愿同学们将生物学课程中学习到的生命观念、科学思维、科学探究方法和精神、社会责任感,转化为今后成长、成才的钥匙,在开启人生新篇章的同时,为国家和社会作出应有贡献。

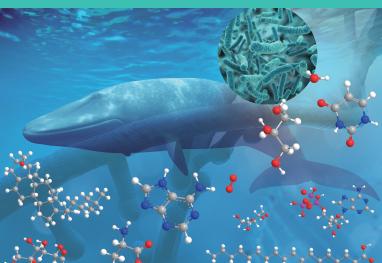
# 目录

## 第1章 走进生物学 1



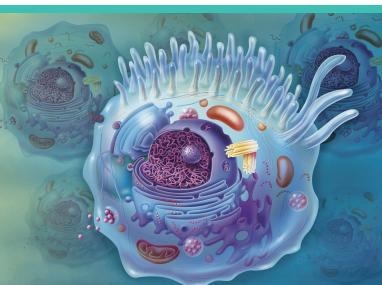
- 第1节 生物学是与人类生活密切相关的自然科学 / 2
- 第2节 实验探究是学习生物学的重要途径 / 8
  - 探究·实验1-1 用高倍镜观察动植物细胞 / 12
- 第3节 细胞是生物体结构的基本单位 / 15

## 第2章 细胞的分子组成 23



- 第1节 C、H、O、N、P、S等元素组成复杂的生物分子 / 24
- 第2节 蛋白质和核酸是重要的生物大分子 / 28
- 第3节 糖类和脂质是细胞的结构成分和能源物质 / 35
  - 探究·实验2-1 检测生物组织中的还原糖、脂肪和蛋白质 / 39
- 第4节 水和无机盐是生命活动的必需物质 / 42

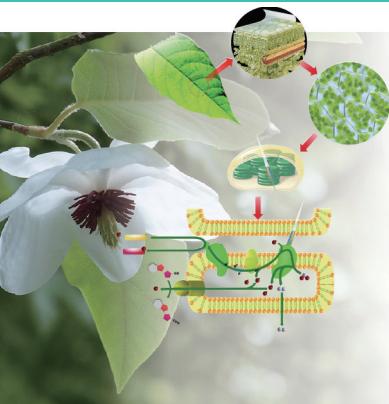
## 第3章 细胞的结构 49



- 第1节 细胞由质膜包裹 / 50
- 第2节 细胞各部分结构既分工又合作 / 55
  - 探究·实验3-1 观察叶绿体和细胞质流动 / 59
  - 探究·建模3-2 制作真核细胞的结构模型 / 63

## 第4章

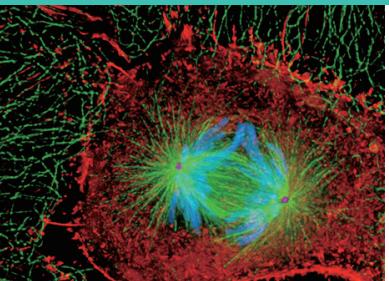
### 细胞的代谢 69



- 第1节 细胞通过质膜与外界进行物质交换 / 70  
探究·实验4-1 观察外界溶液对植物细胞质壁分离和复原的影响 / 74
- 第2节 酶催化细胞的化学反应 / 76  
探究·实验4-2 探究温度对淀粉酶活性的影响 / 79
- 第3节 细胞通过分解有机分子获取能量 / 82
- 第4节 叶绿体将光能转换并储存在糖分子中 / 88  
探究·实验4-3 叶绿体色素的提取分离及叶绿素含量的测定 / 91  
探究·设计4-4 探究影响光合作用强度的环境条件 / 98

## 第5章

### 细胞的生命进程 105



- 第1节 细胞通过分裂实现增殖 / 106  
探究·实验5-1 观察植物根尖细胞有丝分裂 / 109
- 第2节 细胞通过分化形成多细胞生物体 / 114
- 第3节 细胞衰老和死亡是自然的生理过程 / 119

# 第1章 走进生物学

生物学是研究生命现象和生命活动规律的自然科学，它不仅是农业、医学、环境科学等众多相关学科的基础，而且与我们的生活密切相关。进入21世纪，现代生物学发展迅猛，杂交水稻、基因编辑、免疫治疗、生态治理、现代发酵工程等大量研究成果纷纷进入我们的日常生活。立足现代生活以及社会发展，人们需要具备一定的生物学素养。让我们从认识细胞开始，走进生物学，开启探索生命奥秘之旅！



# 第1节

## 生物学是与人类生活密切相关 的自然科学



### 学习目标

- 举例说明生物学研究成果推动人类社会的进步。
- 通过了解现代生物学研究成果与人类的密切关系，感悟学习生物学的价值所在。

### 概念聚焦

- 生物学与人类生活密切相关。

杂交水稻、基因编辑、发酵工程、免疫治疗、生态文明……这些耳熟的词语已经成为了我们日常生活的一部分。有科学家认为，现代生物学的研究成果以空前的广度和深度影响并改变着人类的生活。对此，你是否感同身受？



### 我知道的生物学研究成果

进入21世纪，生物学发展迅速。请在表1-1中列举你所知道近年来生物学领域取得的重大研究成果，并与同学交流分享其学科价值或社会意义。

表1-1 生物学重大研究成果

成果	主要内容	学科价值或社会意义

### 思考与讨论：

1. 请举例说明这些研究成果对你的日常生活产生了哪些影响？
2. 你觉得取得这些成果，需要具备哪些知识或能力？

## 1. 杂交水稻技术的发展为我国乃至世界的粮食供给作出重大贡献

随着人口的不断增长，粮食短缺始终是世界性难题。中国科学家基于遗传学杂种优势原理，不断进行科技创新培育杂交水稻，为确保我国粮食安全作出重大贡献。

中国的杂交水稻研究起始于1964年。1973年，袁隆平（图1-1）带领的研究团队以细胞质雄性不育系为遗传工具，突破实现了三系法配套，培育出第一代杂交水稻。1986—1992年，科学家们又攻克两系法育种关键技术，以光温敏雄性不育系为遗传工具，培育出第二代杂交水稻，极大地简化了育种程序、缩短了育种周期，增产效果明显。之后，科学家们通过不断努力，运用基因工程技术，以遗传工程雄性不育系为遗传工具，推出了第三代杂交水稻，不但提高了性状稳定性和选育效率，还降低了对环境的要求，使其每公顷产量由普通水稻的6 t<sup>\*</sup>提升到15 t，潜在产量更可达18 t。



图1-1 袁隆平在杂交水稻田工作

袁隆平一生致力于杂交水稻技术的研究、应用和推广，创建了超级杂交稻技术体系，为我国粮食安全、农业科学的研究和世界粮食供给作出杰出贡献。2019年，袁隆平荣获国家最高荣誉“共和国勋章”。袁隆平还多次去东南亚等地区讲学、传授技术，培训了来自亚洲、非洲、南美洲30多个国家的学员。联合国教科文组织、世界粮食基金会以及多个国家纷纷表彰袁隆平对世界粮

<sup>\*</sup> t表示质量单位“吨”。

食生产所作出的杰出贡献。

目前，更多的科学家还在继续深入研究新一代的杂交水稻。袁隆平认为，第四代杂交水稻应是正在研究中的碳四（C<sub>4</sub>）型杂交水稻，其光合作用效率高等优势必将使水稻产量潜力进一步提高；而第五代则是利用无融合生殖固定水稻杂种优势，虽然难度很大，但随着分子育种技术的进步，有望在本世纪中期获得成功。

## 2. 基因编辑技术为农业和医学提供了更广阔的发展空间

多年来，科学家一直在尝试能通过各种技术使生物的性状按照理想的意愿进行改变。早期的基因工程技术将设计好的一段外源基因（DNA片段）通过特定的方法转入到靶细胞的细胞核中，使靶细胞获得新的、特定的生物学性状。这在动植物育种方面已经有了很多的成功应用案例，如转基因的棉花、西红柿、马铃薯、大豆、水稻等，在提高农作物产量及抗病能力等方面都取得了很好的效果。但是，通过这种技术插入基因的位置不确定，经常使试验结果难以达到预期。

进入21世纪，在细胞和分子生物学研究基础上建立起来的基因编辑技术，通过特定的“工具”可以重新编辑细胞中DNA的遗传信息，以此改变细胞的生物学性状。例如，通过人工设计，可以使核酸酶在靶细胞DNA上的特定位点进行剪切，实现对细胞内源基因的精准定点编辑（图1-2）。基因编辑技术可广泛应用于生命科学基础研究、疾病模型构建、药物研发等领域。通过对特定基因的定点敲除或替换，建构人类疾病的动物模型，

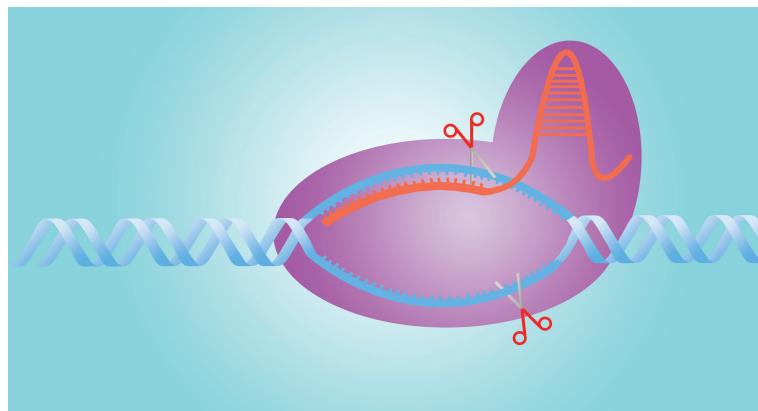


图1-2 基因编辑示意图

可以帮助科学家研究特定基因的功能，或设计出相关疾病治疗的药物。而对于基因突变引起的疾病，如镰状细胞贫血症、血友病等，则有望直接通过对突变基因的修复、改造进行治疗。目前已知的人类遗传病超过 5 000 种，95% 以上的遗传病仍缺乏有效的治疗方法，而基因治疗给这些患者带来治愈的新希望。同时，新一代的基因编辑技术可以不引入外源基因，有望更安全、更广泛地应用于各种农作物和果蔬品种的改良。

### 3. 免疫治疗开启清除肿瘤细胞新途径

肿瘤已成为目前人类健康所面临的最大挑战之一。常见的肿瘤治疗手段为手术切除、放疗、化疗以及靶向治疗等。近年来，科学家通过研究免疫细胞与肿瘤细胞之间“相爱相杀”的复杂关系，开创出刺激人体免疫系统清除肿瘤细胞的新途径。2018 年诺贝尔生理学或医学奖获得者发现：具有人体健康监护作用的 T 淋巴细胞表面的两种膜蛋白（PD-1 和 CTLA-4）会阻止 T 淋巴细胞对肿瘤细胞的杀伤作用。如能研制出阻断这两种膜蛋白功能的靶向药物，就可以借助 T 淋巴细胞来清除肿瘤。

此外，科学家还通过改造患者的 T 淋巴细胞，使其具有更强的识别和杀伤肿瘤细胞的能力（图 1-3），这种技术被称为嵌合抗原受体 T 细胞免疫疗法（CAR-T 疗法）。2012 年，一位五岁的急性淋巴白血病患者在美国接受了 CAR-T 临床治疗后获得治愈，成为世界上首例 CAR-T 疗法治愈的儿童白血病病例。免疫治疗的不断发展与进步，给人们治愈更多类型的肿瘤疾病带来了全新的希望。

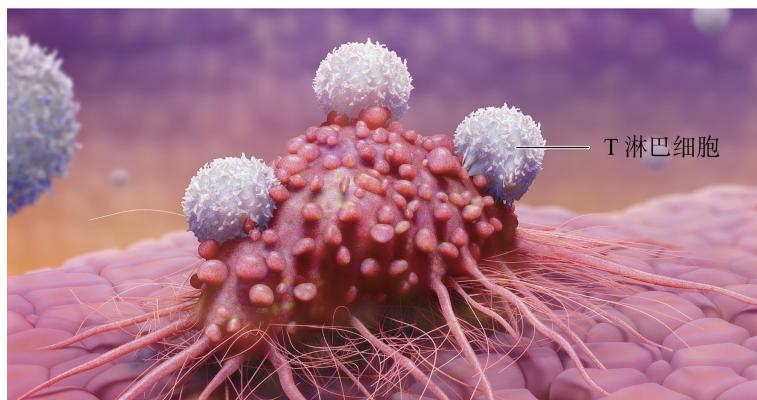


图 1-3 T 淋巴细胞攻击肿瘤示意图

## 4. 现代发酵工程在人类的生产和生活中广泛应用

发酵工程是利用微生物的生命活动来大量生产人们所需生物产品的工程技术（图 1-4）。结合基因工程和细胞工程等技术，现代发酵工程在医药、食品、化工、材料、农业、能源和环境等领域应用广泛，为解决药物规模化生产、能源短缺、环境污染等重大问题提供了全新的思路和途径。通过发酵工程技术生产的人源重组蛋白质药物（如重组人胰岛素、干扰素、白介素等）具有重要的治疗作用；利用非粮资源的木质纤维素作为原料发酵生产可再生能源燃料乙醇；利用微生物发酵法生产生物可降解塑料聚乳酸……随着合成生物学、基因组测序、大数据、人工智能等新兴技术的结合应用，发酵工程还将在人类的生产、生活中发挥更大的作用。



图 1-4 现代发酵工厂设备

## 5. 生态学原理指导人类可持续发展

随着人口的增长、人类对自然资源和环境的不合理开发和利用，气候变化、生物多样性丧失、海洋酸化、土地荒漠化加剧等全球性生态和环境问题，在可预见的未来还将进一步加剧。因此，生态学研究的重点将是如何在维持地球生态系统稳定的前提下，满足人类日益增长的需求。运用生态学原理，将人类活动合理融入地球生态系统（图 1-5），是解决可持续发展问题的有效途径。“绿水青山就是金山银山”，生动形象地阐明了人

类社会发展与环境的“舟水关系”，更是我们加强生态文明、建设美丽中国、构建人与自然生命共同体、推进中国式现代化的努力方向。



图 1-5 上海中心城区的生态公园

综上所述，生物学的研究与发展推动着医学、农业、食品、环境等相关领域的发展。此外，生物学研究还与海洋、空间、能源、材料等涉及国家战略发展的重要领域有着紧密联系，生物技术、绿色环保等新兴产业成为我国现代化产业体系重要组成部分。生命活动极其复杂，它包含着物理变化、化学变化等多种物质运动形式。各领域研究者不断将新的研究方法和技术融汇运用到生物学的研究行列中，使研究生命活动本质和规律的生物学成为 21 世纪的主导学科。面对生物学充满前景与挑战的未来，你准备好了吗？



### 自我评价

1. 用实例说明生物学对人类生活的价值。
2. 找找你生活中遇到的生物学问题。
3. 说说你对生物学课程学习的期望。

## 第2节

# 实验探究是学习生物学的重要途径



### 学习目标

- 说出生物学实验探究活动的基本步骤。
- 学会使用高倍镜观察细胞。
- 尝试运用比较和归纳等方法，以文、图、表等方式说明实验结果。

### 概念聚焦

- 实验探究是学习生物学的重要途径。
- 实验探究需要遵循合理的思路和方法，还需有熟练的技能和安全意识。
- 显微镜是生物学实验探究的重要工具。



### 我做过的生物学实验

请回顾你做过的生物学实验，并按表 1-2 进行汇总。

表 1-2 生物学实验汇总

实验名称	研究的问题	仪器和方法	得到的结论	问题是否解决

### 思考与讨论：

1. 对于做过的实验，表格中的几项内容你是否都能填写完成？为什么？
2. 与小组同学交流，将表格信息进一步完善。
3. 从做过的实验中，你能归纳出生物学实验有哪些基本步骤和要求？

## 1. 实验探究需要合理的思路和方法

从我们做过的生物学实验中可以归纳出实验探究的基本步骤(图1-6)。生物学研究的问题,往往来自生产实践或现实生活中的现象,问题类型通常是“为什么”“是什么”“怎么办”等。例如“小麦在大田可以正常生长,而在海边滩涂或盐碱地却不能生长或生长不良”,根据这一现象,我们可以提出“为什么小麦不能在海边滩涂生长,而芦苇却可以在海边滩涂生长?”“海边滩涂土壤中对于作物生长的影响因素是什么?”等问题。若要探究这些问题,可以先作出假设,设计实验方案并实施,通过获取数据、分析数据,得出结论。在此过程中,可能会发现新的、需要更加深入探究的问题,例如“如果要开发滩涂或盐碱地作为农田,应该怎么办(采取哪些措施)”,可根据实际情况展开进一步探究。

让我们通过以下具体的案例,体验生物学实验探究的完整过程。

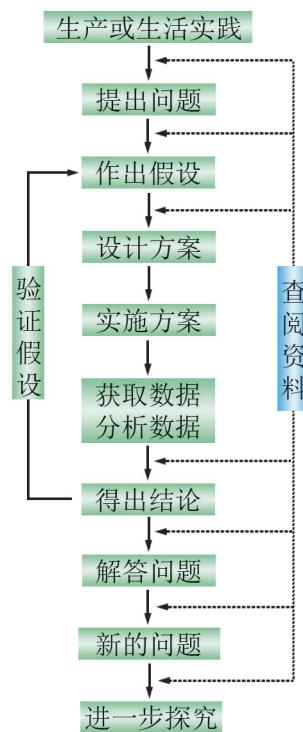


图1-6 实验探究的基本步骤



### 探究·实验(案例)

#### 探究NaCl含量对小麦幼苗生长的影响

土壤盐碱化影响农作物的生长,找出其中的影响因素就可以进行相应改善以提高产量。NaCl含量、pH等因素可能会对农作物生长有影响。

##### ▶ 提出问题:

盐碱化的土壤中,NaCl含量对农作物的生长有怎样的影响?

##### ▶ 作出假设:

土壤中的NaCl含量高会抑制农作物的生长。

##### ▶ 实验原理:

小麦种子是容易获得的实验材料,并且适合在实验室中生长培养;小麦幼苗的生长速率是适合观察和评价生长状况的指标;用水培法能更好地控制NaCl含量(实验变量);每种农作物都有其耐受的盐含量,据查阅资料显示,小麦在低于50 mmol/L的NaCl含量下对生长影响不大。

结合上述原理，可以设计如下实验方案，通过水培观察小麦幼苗在 NaCl 浓度超过 50 mmol/L 条件下的生长状况，验证假设是否成立。

### ► 实验材料：

有活力的小麦种子 300 颗、NaCl、75% 酒精、蒸馏水、0.1% 复合肥营养液、白瓷盘、纱布、尼龙网架、量筒、天平、刻度尺等。

### ► 实验步骤：

#### 1. 小麦种子萌发

先用蒸馏水浮选小麦种子，去掉干瘪的种子，留下的种子在 75% 酒精中浸泡 30 ~ 60 s 进行消毒处理，用蒸馏水反复洗涤 3 ~ 5 次。然后将小麦种子置于温水 (25 °C 左右) 中浸泡 6 h 或过夜 (12 h)，从中挑选颗粒饱满的种子放置在铺了 4 层纱布的白瓷盘中，以蒸馏水浸湿纱布 (指压能出水)，于 25 °C 室温中暗室培养 (可用保鲜膜封盖保湿，但需注意每天揭开保鲜膜通气 10 min)，直至种子萌发。

#### 2. 观察小麦幼苗生长

将上述萌发的小麦种子随机分成大致相同的 3 组，转移到尼龙网架上。在 0.1% 复合肥营养液中，加相应质量的 NaCl 分别配制浓度为 0、80、120 mmol/L 的 NaCl 培养液。在 25 °C、光照条件下的培养室或培养箱中，每组用相应 NaCl 浓度培养液进行水培。培养早期注意培养液液面高度保持与播种种子的尼龙网水平对齐，以防缺水。在培养过程中，保证各组的光照和温度等条件的恒定一致。

### ► 实验记录：

每隔 3 天测定各组植株高度。每次每组测量株高不少于 15 株，记录在相应的数据记录表 (表 1-3) 中，并计算每组浓度下的平均株高。

表 1-3 小麦幼苗在不同 NaCl 浓度中植株高度记录表

培养时间 (d)	测定序号	株高 (cm)		
		0 mmol/L 组	80 mmol/L 组	120 mmol/L 组
3	1			
	2			
	.....			
	平均值			
.....	.....			

## ▶ 分析数据：

实验结果显示，80、120 mmol/L NaCl溶液进行水培的小麦植株高度都低于同期0 mmol/L NaCl溶液水培的小麦植株高度，120 mmol/L条件下的株高最低（图1-7）。

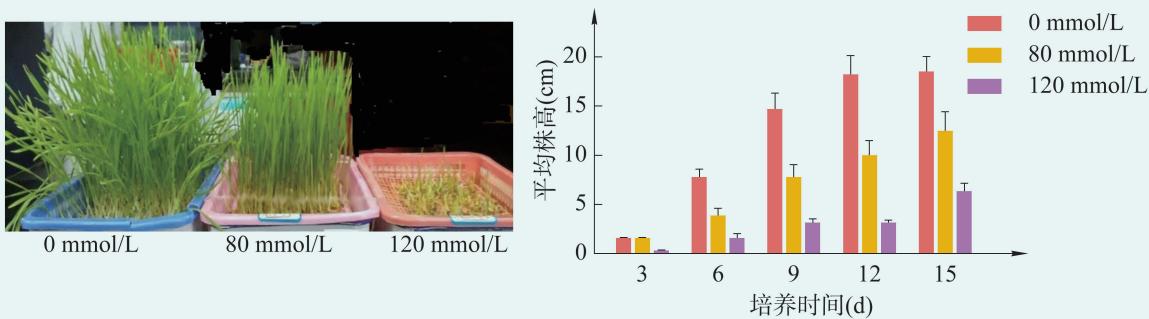


图1-7 小麦幼苗在不同NaCl浓度下培养的株高

## ▶ 实验结论：

在一定浓度范围内，NaCl浓度越高对小麦幼苗生长的抑制效应越大，假设成立。

## ▶ 拓展研究：

虽然以上实验已经验证了所作出的假设，但土壤中其他因素，如土壤酸碱度（pH）等，是否对小麦幼苗生长同样有影响呢？此外，不同农作物的生长是否都和小麦一样受盐离子含量的抑制呢？感兴趣的同学可以尝试设计实验，开展进一步探究。

从以上案例中可以看出，在设计实验时，需要遵守一些基本原则。例如需要设置对照组，通过实验组和对照组之间的比较，用统计学等方法确定是否存在差异，从而得出结论。此外，还要控制无关变量，保证实验组和对照组之间实验条件的一致性，尽可能避免因实验设计或操作引起的误差。同时，实验还需要有一定数量的样本和重复，确保实验数据的可靠。

## 2. 实验探究需要熟练的技能

除了合理设计实验方案外，是否具备熟练的实验操作技能，是否认真对待每一次实验，都会影响实验结果的可靠性。因此进入实验室开展实验前，必须先了解实验室操作规程和注意事

### 学习提示

重新审视表1-2和图1-6，看看实验探究的哪些基本步骤你已经有过经历，哪些是需要进一步提高的。

项，熟悉实验仪器的操作和实验试剂的正确使用，确保实验的安全、可靠。

### 安全提示

生物学实验室是进行科学探究的特殊场所，配置有各类精密仪器、化学试剂、玻璃器皿、加热设备等。在进入实验室前，需先了解实验室安全守则，包括熟悉仪器设备的使用方法，遵守操作规程，做好防护措施，安全用水用电等；同时还要遵守实验室纪律，不在实验室进食，维持实验室清洁卫生，做好废弃物处理和垃圾分类等，遇到问题及时报告指导老师。



## 探究·实验

### 1-1 用高倍镜观察动植物细胞

显微镜是生物学研究的基础工具，可用于观察肉眼不可及的微小结构。细胞是生物体结构的基本单位，让我们通过高倍镜来观察各种细胞的形态结构。

#### ► 实验目标：

学会使用高倍镜；用高倍镜观察不同生物组织的细胞，比较它们形态结构的异同；通过信息检索和归纳分析，初步体会细胞形态结构与其功能之间的关系。

#### ► 实验原理：

普通光学显微镜根据凸透镜的成像原理，通过物镜、目镜两次成像，使物像呈倒立放大的虚像。视野观察到物像的放大倍数是物镜和目镜放大倍数的乘积。

#### ► 材料器具：

蚕豆叶下表皮永久装片、人血涂片永久装片、显微镜、擦镜纸等。

#### ► 实验步骤：

##### (一) 高倍镜的使用

###### 1. 熟悉显微镜各部分的功能

熟悉显微镜构造（图1-8），注意观察：①电源开关和光圈（或光亮度调节旋钮）的位置；②目镜和物镜的放大倍数；③粗准焦螺旋和细准焦螺旋的旋转方向与载物台升降的关系；④片夹旋钮旋转方向与玻片移动方向的关系。

###### 2. 低倍镜和高倍镜之间的转换

取一片蚕豆叶下表皮永久装片放在载物台上，用片夹夹



图 1-8 光学显微镜构造示意图

稳；打开显微镜电源开关，转动转换器，将低倍镜对准通光孔。在低倍镜下观察蚕豆叶下表皮永久装片，先调节粗准焦螺旋，再调节细准焦螺旋，使物像达到最清晰。旋转片夹旋钮移动装片，选取不同的视野进行观察。

将需要放大观察的细胞，通过旋转片夹旋钮，移至视野正中。转动转换器，切换到高倍镜。转动时，两眼须从显微镜侧面注视，避免镜头与装片相碰。然后，用目镜观察视野并微微转动细准焦螺旋，直到物像最清晰。注意：高倍镜观察时，只能使用细准焦螺旋调节焦距。若视野光线较暗，可调节光圈（或光亮度调节旋钮），使视野明亮。

## （二）蚕豆叶下表皮细胞的形态结构观察

### 1. 低倍镜观察

低倍镜下观察到形态不规则的是蚕豆叶下表皮细胞，肾形的是保卫细胞（成对排列）；成对保卫细胞围成的是气孔（图 1-9）。

### 学习提示

片夹移动的方向与你在目镜中看到的移动方向一致吗？为什么？

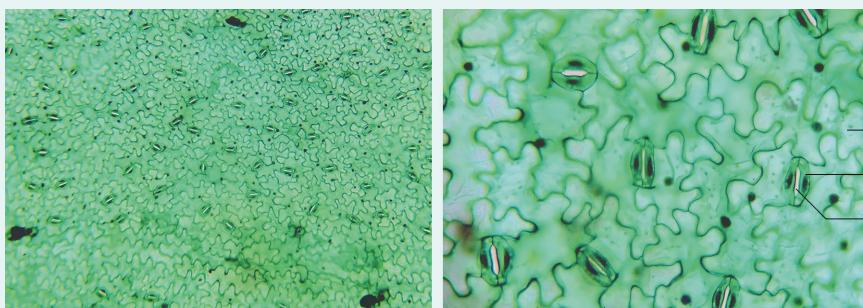


图 1-9 低倍镜（左，10×）和高倍镜（右，40×）下的蚕豆叶下表皮

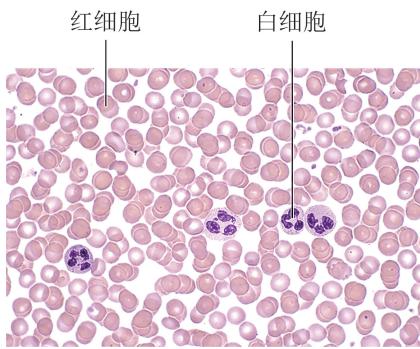


图 1-10 高倍镜下的人血涂片  
(40×)

## 2. 高倍镜观察

在低倍镜视野中, 选择一对保卫细胞, 移到视野中央, 转换高倍镜进一步观察表皮细胞和保卫细胞的形态以及细胞核, 关注这两种细胞与周边细胞的连接形式。绘制细胞简图, 并将观察结果填入表 1-4 中。

### (三) 人血细胞的形态结构观察

根据上述显微镜的操作过程, 观察人血涂片永久装片。高倍镜下可观察到圆饼状的红细胞以及细胞核被染上颜色的颗粒状白细胞 (图 1-10)。分别绘制简图, 并将观察结果填入表 1-4。

### ► 结果分析:

1. 通过信息检索, 查阅相关细胞的功能, 填写完成表 1-4。

表 1-4 结果记录表

细胞名称	细胞形态 (绘制简图)	是否有 细胞核	与周边细胞 连接是否 紧密	主要功能

2. 归纳所观察到的细胞在形态结构上的异同点, 尝试举例说明细胞形态结构与其功能之间的关系。



## 自我评价

1. 实验探究有哪些基本步骤?
2. 当你遇到想探究的问题, 要设计生物学实验进行研究时, 可以通过哪些途径获取必要的实验原理和方法? 同时还需要遵循哪些原则?

# 第3节 细胞是生物体结构的基本单位

20世纪初,美国生物学家威尔逊(E. B. Wilson)曾预测:“一切生物学问题的答案最终都要到细胞中去寻找。”今天,生物学研究的众多重大成果证明了这一预测的正确性。科学家这样预测的依据是什么?



## 显微镜下的细胞

通过显微镜,可以观察到形态各异的细胞(图1-11)。

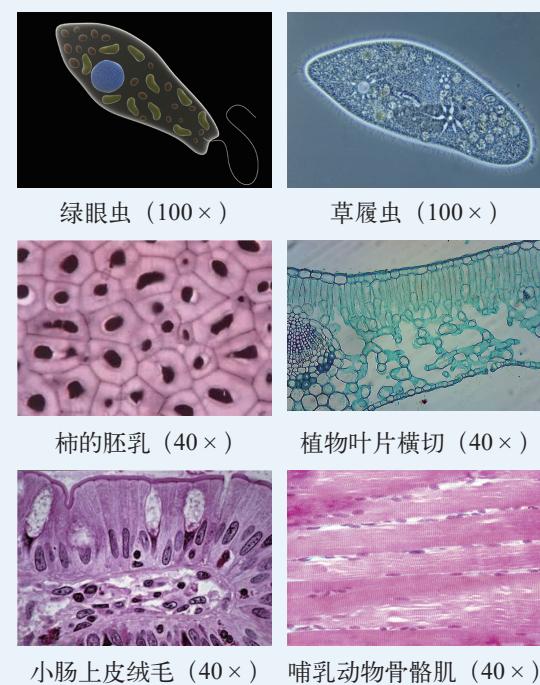


图1-11 几种生物细胞

### 思考与讨论:

1. 以小组为单位,仔细观察各种细胞的形态,并通过信息检索查找它们的功能。选择2~3种细胞,列表写出细胞名称、形态结构和功能,并归纳它们的异同点。

2. 为什么说细胞是生物体结构的基本单位?



### 学习目标

- 举例说明细胞形态与功能的多样性。
- 描述原核细胞与真核细胞的区别。

### 概念聚焦

- 细胞是构成生物体的基本单位。
- 各种细胞有相似的基本结构。
- 原核细胞没有核膜。



### 学习提示

由个别具体的事例推导出一般规律、原理,是生物学研究和学习中常用的方法——归纳推理。

## 1. 生物体由多种多样的细胞构成

从图 1-11 中可以看到, 绿眼虫、草履虫等单细胞生物, 整个生物体由一个细胞构成。细胞直接与外界非生物环境进行物质和信息交换, 生理活动由细胞的不同结构分工完成。例如, 草履虫细胞质膜表面凸起形成的纤毛具有运动功能。

高等植物由不同器官组成, 如根、茎、叶等。人和动物的消化、呼吸、循环等系统也是由相应的器官组成。显微镜下可观察到这些器官都是由无数细胞构成的, 形态相似的细胞排列在一起, 执行特定的功能。例如小肠绒毛中, 柱状的上皮细胞紧密排列在小肠的表面, 构成小肠的内表皮, 既保护小肠, 又可以从肠腔中吸收营养物质; 夹杂在上皮细胞中呈酒杯状的是腺细胞, 分泌的黏液可以保持小肠的润滑。又如植物叶片中, 上表面的栅栏组织细胞排列整齐, 充分吸收阳光; 背面海绵组织细胞排列疏松, 形成空隙, 通过气孔与外界相通。

由此可见, 细胞是生物体结构的基本单位。

## 2. 不同形态和功能的真核细胞具有相似的基本结构

构成成人身体的细胞约有  $10^{14}$  个, 可分为 200 多种类型。这些不同类型的细胞形态各异、功能多样, 但都属于**真核细胞** (eukaryotic cell), 具有一些相似的基本结构特征。每个细胞都由一层非常薄的保护层——质膜包裹。细胞内有一个染色后颜色较深的结构——细胞核 (图 1-12), 核中有控制细胞生命活动的遗传物质。细胞核和细胞质膜之间有细胞质基质, 线粒体、内质网、高尔基体、核糖体等各种细胞器分布于细胞质基质中。通常, 每个细胞都具有细胞核以及完成生命活动所需的各种细胞器。因此, 细胞是生物体完成生命活动的基本单位, 科学家认为“一切生物学问题的答案最终都要到细胞中去寻找”。

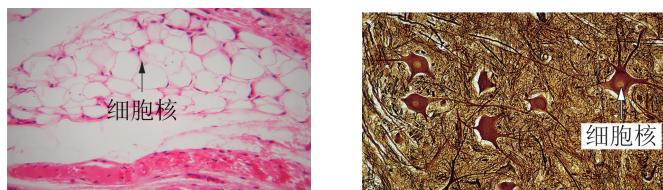


图 1-12 脂肪细胞 (左,  $40\times$ ) 和神经细胞 (右,  $40\times$ )



## 科学史话

### 细胞的研究之路

#### 光学显微镜帮助人们发现细胞

1665年，英国学者胡克（R. Hooke）用自制的能放大30倍的显微镜观察软木（栎树皮）薄片（图1-13），并用“cell”（小室）来描述他观察到的蜂巢状的结构，后来这个词中文译为“细胞”。虽然他观察到的并非活细胞，但却开启了细胞观察之路。1675年后，荷兰学者列文虎克（A. van Leeuwenhoek）用自制的显微镜观察到活的动植物细胞和原生动物（图1-14）。但受当时显微镜制作工艺的限制，在随后长达170多年的历史中，对细胞的研究没有更多进展。

直到19世纪初，玻璃镜片的制作工艺有了大幅提升后，科学家们对细胞的研究兴趣再次兴起。1838年，德国植物学家施莱登（M. J. Schleiden）发表了《植物发生论》，指出细胞是构成植物的基本单位。1839年，德国动物学家施旺（T. Schwann）发表了《关于动植物的结构和一致性的显微研究》。施莱登和施旺提出：一切植物、动物都是由细胞组成的，细胞是一切动植物的基本单位。这标志着“细胞学说”（cell theory）正式建立。

“细胞学说”提出后的十几年中，迅速扩展到更多领域，并不断地被修正。1858年，德国病理学家魏尔肖（R. Virchow）指出“细胞只能来自细胞”，指明了细胞作为一个相对独立单位的重要性质，对“细胞学说”进行了重要的补充。“细胞学说”提出了生物统一性的细胞学基础，极大推动了人类对整个自然界的认识，掀起了对细胞及其内部结构研究的热潮。到1900年之后，细胞核、叶绿体、线粒体、高尔基体等细胞结构都已陆续被发现。但普通光学显微镜的分辨率有限，人们无法清晰地看到细胞内更微小的结构（图1-15）。

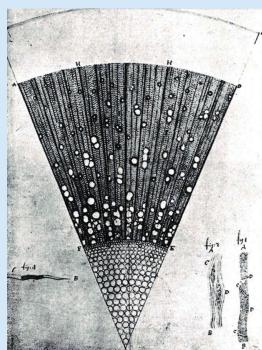


图1-14 列文虎克观察到的细胞

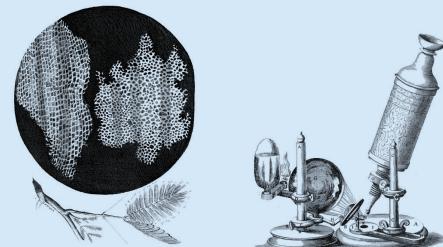


图1-13 胡克用显微镜观察到的软木“细胞”

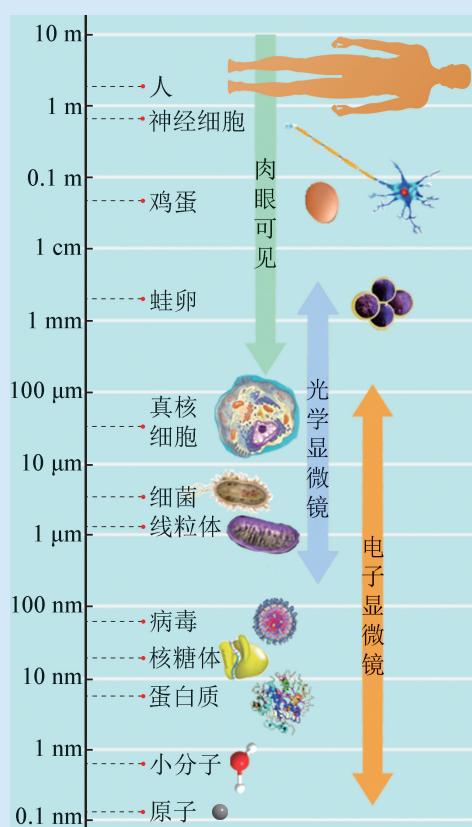


图1-15 分辨率示意图

### 电子显微镜推动细胞结构与功能的探索

1930年,世界上第一台透射电子显微镜诞生,使得显微镜的放大倍数进一步扩大了1000倍;1937年第一台扫描电子显微镜推出,让人们看清了复杂的细胞表面结构。科学家们开始用电子显微镜探索更微小的细胞结构,细胞器的“真面目”开始浮出水面(图1-16)。1945年之后,内质网、核糖体、溶酶体等细胞器被发现,逐渐揭示了细胞内部结构及其功能。1972年,美国科学家辛格(S. J. Singer)和尼克森(G. Nicolson)结合电镜技术的研究成果,提出了细胞质膜的流动镶嵌模型,人们对细胞的结构与功能有了更深的认识。

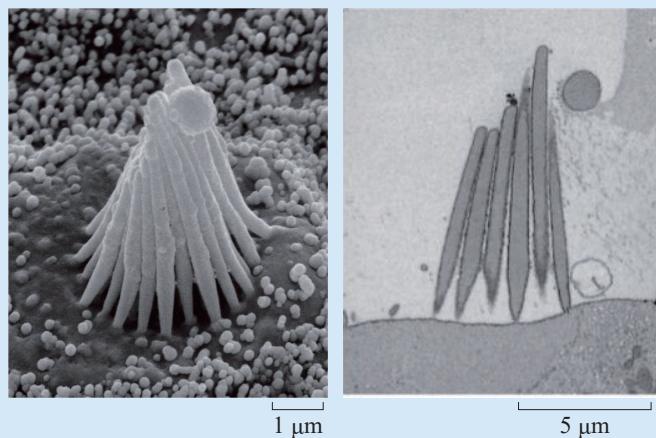


图1-16 扫描电镜下(左)和透射电镜下(右)的内耳细胞表面的硬纤毛

### 生物大分子研究帮助人们探索细胞的生命活动

1953年,美国分子生物学家沃森(J. D. Watson)和英国生物物理学家克里克(F. H. Crick)发现了DNA分子的双螺旋结构,生物学的研究进入到分子生物学时代。1990年,人类基因组计划启动;2003年4月14日,人类基因组测序基本完成,绘制出的人类基因图谱将推动人类疾病研究和治疗的快速发展。

蛋白质结构与功能研究推动了细胞功能研究的发展。1959年,英国科学家佩鲁茨(M. F. Perutz)和肯德鲁(J. C. Kendrew)解析了红细胞内血红蛋白和肌细胞中的肌红蛋白的三维空间结构(图1-17)。如今,利用电镜技术结合计算机分析可越来越方便地解析蛋白质结构。蛋白质结构解析在研究生物大分子物质(如激素、膜蛋白质、新型药物等)的作用原理方面发挥了重要作用,也为人们设计药物提供依据,如CAR-T就是T细胞膜蛋白质结构功能改造的成功案例。

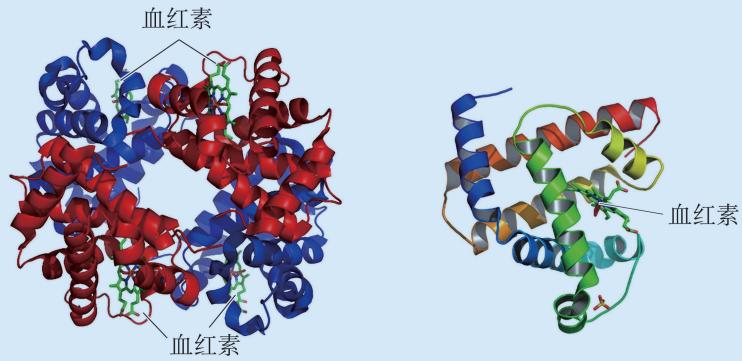


图1-17 人血红蛋白(左)和肌红蛋白(右)三维空间结构模型图

沿着细胞的研究之路,我们可以看到科学家钻研的智慧与执着,也能看出科学技术和仪器的发展在研究中的推动作用。科学研究展现在我们面前的更是多学科合作探究之路。

### 3. 原核细胞没有由核膜包被的细胞核

在自然界中，除了真核细胞外，还有一种细胞模式——**原核细胞** ( prokaryotic cell )。原核细胞与真核细胞相比在结构上有很大不同。

原核细胞结构简单、体积较小，直径一般为  $1 \sim 10 \mu\text{m}$ ，没有核膜包被的细胞核，其遗传物质集中在细胞的中央，我们将这个区域称为拟核。原核细胞中的细胞器一般只有核糖体。由原核细胞构成的生物称为原核生物。细菌是在生物圈内广泛存在的一种原核生物 ( 图 1-18 )。此外，原核生物还包括支原体、衣原体、立克次氏体、蓝细菌等。

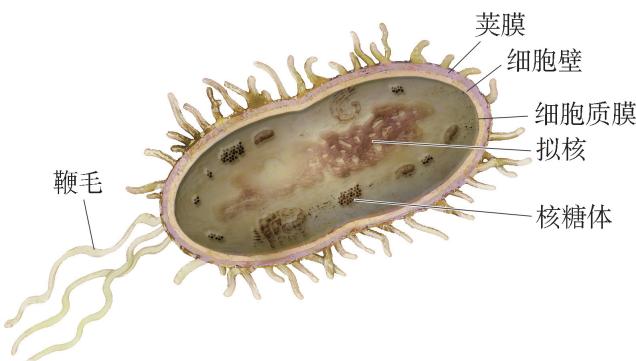


图 1-18 细菌结构模式图

蓝细菌 ( 旧称蓝藻 ) 大多数无鞭毛，含叶绿素，但没有叶绿体，是地球上最早出现的能进行产氧光合作用的原核生物。



#### 自我评价

1. 尝试描述植物叶片横切面的细胞形态和排列特点，分析和解释这些结构特点与功能之间的关系。

2. 举例说明不同形态的细胞具有相似的基本结构。

3. 结核分枝杆菌是引起结核病的致病菌，属于原核生物。

查阅资料，了解结核分枝杆菌的结构特点，分析其与动物细胞的区别，了解结核病的危害及预防措施。

#### 广角镜

##### 支原体和衣原体

支原体是一类已知最小、无细胞壁、能独立生活的原核生物，直径约为  $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 。它们可引起人和禽畜呼吸道、肺部、尿道以及生殖系统的炎症，也是引起植物黄化病、矮缩病等的病原体。

衣原体是一类寄生在活细胞内的致病性原核生物，直径约为  $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 。它们可引起沙眼、小儿肺炎、鹦鹉热等多种疾病。

肺炎支原体等主要通过飞沫传播，沙眼衣原体等可以通过接触传染。因此，注意个人卫生和公共场所的安全防护，可以有效降低感染风险。

# 本章回顾



## 本章小结

生物学是研究生命现象和生命活动规律的自然科学。现代生物学研究已经从观察发现生物内在自然规律发展到设计和改造生物体基因的水平。生物学研究成果已经深入到医学健康、工农业生产、环境保护和绿色生活等各个社会领域，与我们的生活密切相关。生物学发展推动着社会的进步，学习生物学课程能帮助我们了解生命的特征、生命活动的规律，适应社会发展。

实验探究是学习生物学的重要途径。提出问题是进行科学探究的起点，作出假设，并设计合理的实验方案，通过观察、调查、实验来检验假设是否成立，从而获得结论或引发新的问题，进一步探究。同时，熟练的生物学实验技能以及安全意识是进行实验探究的基本保障。

观察比较动植物组织以及微生物结构可以知道：无论是原核生物还是真核生物，单细胞生物还是多细胞生物，生物体的基本结构与功能单位是细胞。不同种类的真核生物细胞形态多样，但都具有细胞质膜、细胞核等完成生命活动所需的基本结构。原核生物细胞没有由核膜包被的细胞核。

生物学发展迅速，学习高中生物学课程有助于我们认识到生物学在坚持人与自然和谐共处、促进科技发展、社会进步和提高人类生活质量等方面的重要贡献。生物学是一门实验学科，经历实验探究的过程，掌握科学探究的基本思路和方法，为尝试解决现实生活中遇到的生物学问题打下基础。通过认识细胞的多样性和统一性，有助于以系统观认识生命世界。细胞发现、细胞学说的建立和发展过程中蕴含着丰富的科学思想、科学方法和科学精神，体现出科学研究与技术进步之间的相互促进发展。



## 学业评价

1. 图1-19是显微镜下观察到的植物组织，左边是柿胚乳，右边是蚕豆叶下表皮。

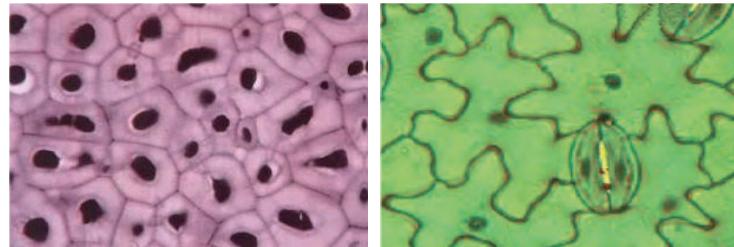


图1-19 显微镜下的植物组织

- (1) 两幅图片中呈现的植物细胞种类共有( )。
- A. 2种      B. 3种      C. 4种      D. 5种
- (2) 从图中可以观察到这些细胞的共同结构特征是都具有细胞核、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- (3) 请就图片中显示的细胞，举例说明细胞形态与功能之间的关系。

2. 图1-20是单细胞生物草履虫和变形虫，请仔细观察并回答问题。

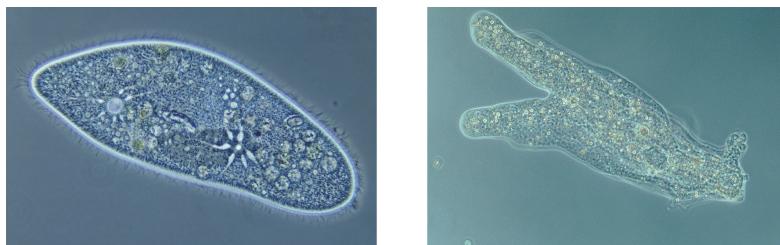


图1-20 草履虫(左)和变形虫(右)

- (1) 以下有关观察描述正确的是( )。
- A. 用肉眼可以清晰观察这两种生物  
B. 能够通过显微镜低倍镜清楚观察这两种生物  
C. 用高倍镜观察时，需调节细准焦螺旋进行聚焦  
D. 用显微镜观察透明细胞时，需调亮光圈才能看得清楚
- (2) 图1-21为显微镜中观察的视野，若要将变形虫甲移至视野中央，下列操作过程中正确的顺序是( )。
- ①转动粗准焦螺旋 ②转动细准焦螺旋 ③调节光圈  
④转动物镜 ⑤转动转换器 ⑥向右上方移动玻片  
⑦向左下方移动玻片
- A. ⑦⑤③②      B. ⑥⑤④③②  
C. ⑥⑤③①②      D. ⑦④③②

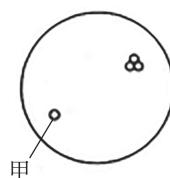


图1-21 显微镜  
下的视野

(3) 下列关于草履虫和变形虫形态描述正确的是( )。(多选)

- A. 草履虫外形固定,似草鞋,故称为草履虫
- B. 变形虫形态不固定,故称为变形虫
- C. 它们共同的特点是都由一个单细胞构成
- D. 它们都有细胞核结构

(4) 你还能列举出哪些单细胞生物? 比较并总结细胞形态与功能之间的关系。

3. 越来越多的学生关注到生活中的生物学相关现象, 提出问题并开展研究。请回答以下几个探究实验中存在的问题。

(1) 小明同学观察到“荷花夏天开,菊花秋天开”的现象后,产生了一个疑问:什么因素影响了花的开放? 根据生物学探究活动的基本步骤,小明同学接下来首先该做的是( )。

- A. 作出假设
- B. 设计实验
- C. 分析数据
- D. 得出结论

(2) 在研究光对某种鸟鸣叫次数影响的实验中,下列设计不符合研究要求的是( )。

- A. 记录一天内不同时间、同一地点该种鸟鸣叫次数
- B. 记录不同天气、同一地点该种鸟鸣叫次数
- C. 记录繁殖季节该种鸟的雌鸟和雄鸟鸣叫次数
- D. 记录不同季节、同一地点该种鸟鸣叫次数

(3) 某同学发现:把含有洗洁精的生活废水直接排入种植麦苗的农田,会对麦苗的生长产生影响。为了通过实验探究洗洁精对麦苗生长的影响,他设计了两个实验组:在浇灌麦苗的清水中,分别加入等量的5%、15%的洗洁精(其他条件相同)。你认为他应该采取的改进方法是( )。

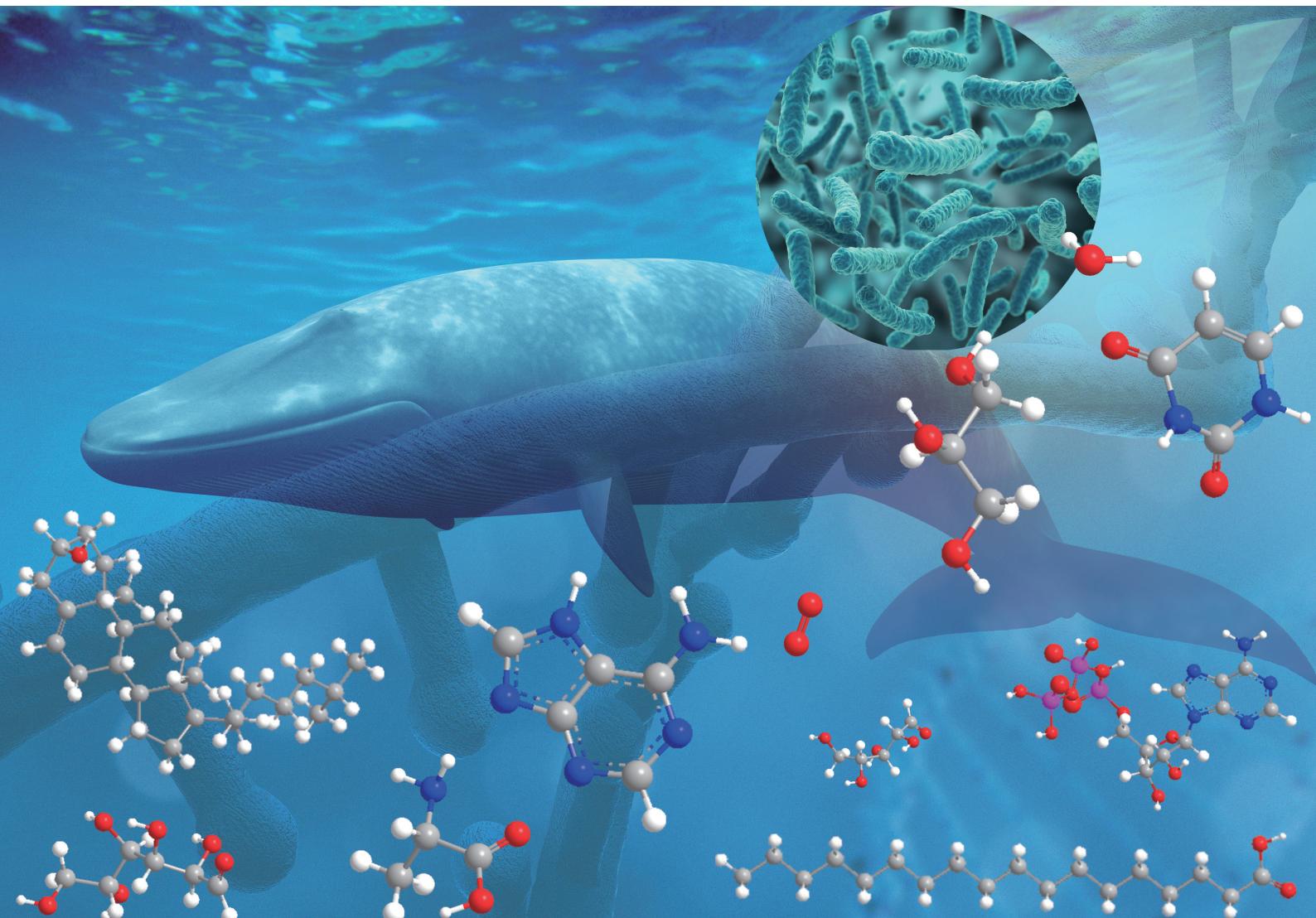
- A. 增加两个用水稻做实验材料的实验组,与麦苗对比
- B. 增加10%的浓度组
- C. 对两组麦苗进行不同强度的光照
- D. 增加浇灌清水组用于对照

(4) 从以上的学生探究实验中,你能总结出实验探究的基本步骤和实验设计的基本原则吗?

4. 在日常生活中会遇到许多与生物学相关的问题,有些你已经明白,有些可能还有疑问,在学习本课程的过程中,请记录你想要了解的生物学问题;到课程结束时,看看哪些已经解决,又新出现了什么问题,能否通过各种途径找出答案或设计实验尝试探究。

# 第2章 细胞的分子组成

细胞的形态和功能是多种多样的。但无论是重达上百吨的蓝鲸，还是小到不足万亿分之一克的细菌，当深入分子层面时会发现细胞都是由蛋白质、核酸、糖类和脂质等生物分子构成的，细胞内充满了水。这些分子具有怎样的结构？它们在生命活动中起着怎样的作用？



# 第1节

## C、H、O、N、P、S等元素组成复杂的生物分子



### 学习目标

- 说出组成细胞的主要元素。
- 初步学会用比较归纳的方法建构生物学概念，认同组成细胞的元素都来自自然界。

### 概念聚焦

- 细胞主要由C、H、O、N、P、S等元素构成，它们以碳链为骨架形成复杂的生物分子。

看到C、H、O、N、P、S这些化学元素，你是否会疑惑将要学习的是生物学还是化学？其实，生物学与化学的联系非常紧密。细胞中发生的所有生命活动的基础是一系列的化学反应。细胞中的生物分子也是由各种化学元素构成的。各种元素怎样形成细胞中的生物分子？探索生命活动的本质需要从认识组成细胞的基本元素开始。



### 比较人体细胞和玉米细胞以及地壳中的元素分布

18世纪开始，科学家们对生命物质的化学组成逐渐有了了解。如今已知地壳中天然存在的90多种元素中，约有30种是生命活动所必需的。表2-1是部分元素在人体细胞、玉米细胞和地壳中的含量。

表2-1 部分元素在人体细胞、玉米细胞和地壳中的含量

(占细胞干重的百分比)

元素	人体细胞(%)	玉米细胞(%)	地壳(%)
C	55.99	43.57	0.087
O	14.62	44.43	48.6
H	7.46	6.24	0.76
N	9.33	1.46	0.03
P	3.11	0.20	极少
S	0.78	0.17	极少
Si	极少	极少	26.3
其他	8.71	3.93	24.2

#### 思考与讨论：

1. 比较分析表中数据，尝试归纳人体细胞和玉米细胞中元素分布的共同特点。
2. 为什么说组成生物体的元素来自自然界？你会怎样解释？

## 1. 细胞主要由C、H、O、N、P、S等元素构成

生物体细胞中的元素组成与非生物环境的元素组成既相似又有差异。组成细胞的元素都可以在地壳中找到，没有一种元素是生物界所特有的，可见生物与环境密不可分，是自然界组成的一部分。但是，细胞与地壳中元素的分布差异很大（表2-1），体现了生命的特殊性。

从表2-1中还可以看到，人体细胞和玉米细胞中主要元素组成基本相似，C、H、O、N、P、S的总质量占到细胞干重的90%以上。这与细胞的分子组成有关。蛋白质、核酸、糖类和脂质等占生物体干重的绝大部分（图2-1），分析它们的元素组成发现，蛋白质主要由C、H、O、N、S构成，核酸主要由C、H、O、N、P构成，糖类和脂质主要由C、H、O构成。可以说，细胞主要由C、H、O、N、P、S等元素构成。不同生物细胞中，蛋白质、核酸、脂质、糖类的含量会有差异，这些元素的含量也不完全相同。

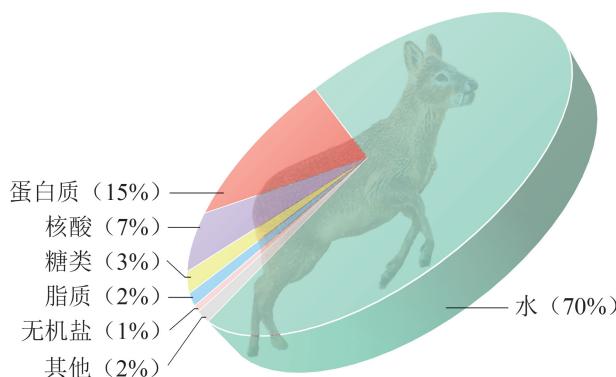


图2-1 陆生动物体化合物组成的大致比例示意图

细胞内还有多种含量甚微的元素，称为微量元素，如Fe、Zn、Cu、I、Mn、B、Cr、Mo、Co、Se、F等。微量元素的总质量仅占细胞干重的1%左右，且仅出现在某些生物分子中，但不可缺少。例如，碘（I）是构成甲状腺激素的重要元素。缺碘或长期碘摄入量不足会导致地方性甲状腺肿（俗称大脖子病）。我国为消除碘缺乏危害，采取了长期供应加碘食盐的措施，有效地防治了这类疾病。

## 2. 元素以碳链为骨架形成生物分子

碳元素占细胞干重的 40% 以上。蛋白质、核酸、糖类和脂质等组成细胞的生物分子都可以看成是碳的化合物。生物分子中，碳原子与周边的碳或其他原子通过化学键结合，形成相对稳定的分子结构。碳与碳之间能以单键 (C—C)、双键 (C=C) 相连接，形成长短不一、形状不同的碳骨架 (图 2-2)。

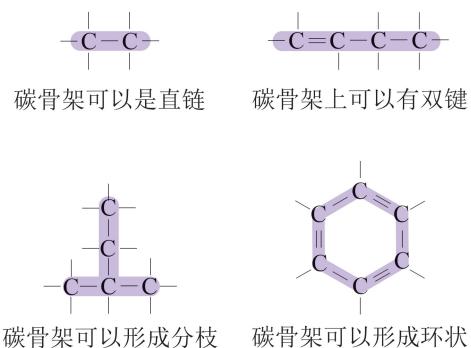


图 2-2 碳骨架示意图

细胞中的许多生物分子是大分子，一般由小分子组成，如蛋白质由氨基酸组成，多糖由单糖 (如葡萄糖) 组成。从氨基酸、葡萄糖等生物分子的结构来看，其碳骨架周边连接着不同基团 (图 2-3)。这些基团都有自己的化学特性，使生物分子具有一定的空间结构，并能进行特定的化学反应。这也正是生物分子具有特定生物功能的物质基础。

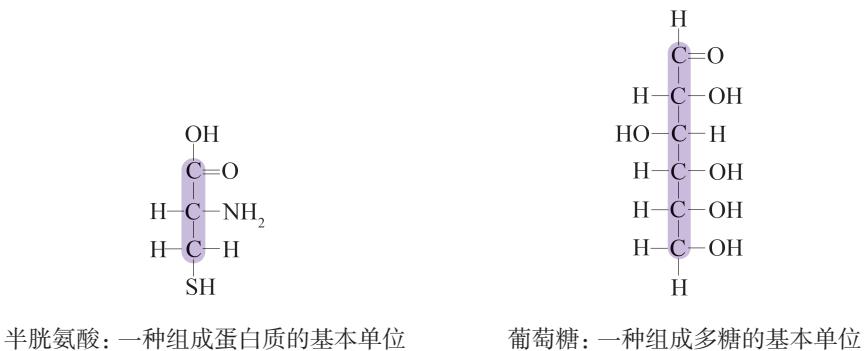


图 2-3 生物分子的基本组成单位分子结构示意图



## 广角镜

### 元素与人体健康

科学研究表明，元素在人体中作用的大小不能以其含量的多少来决定。有许多微量元素的含量微乎其微，但作用却不可忽视。人体摄入微量元素不足会对机体产生不利的影响，甚至导致某些疾病的发生。例如，锰（Mn）是一类超氧化物歧化酶（Mn-SOD）的激活剂，在人体抗氧化过程中发挥着重要作用。硒（Se）是谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）的组成部分，当机体缺硒时，衰老速度明显加快。微量元素不但维持人体的正常生理功能，也影响着人的智力、情绪等，是人类身心健康的物质基础。然而，微量元素“过量”同样会打破机体元素平衡，可能会拮抗另一些必需元素的吸收或直接造成细胞中毒。无论何种元素的摄入都应特别强调“适量”，这样才能起到应有的效果。



### 自我评价

1. 依据表 2-1 所提供的数据，简要说明生物体内与自然环境中的元素具有统一性的理由。
2. 举例说明 C、H、O、N、P、S 等是构成细胞的主要元素，以及生物分子是以碳链为骨架的。

## 第2节

# 蛋白质和核酸是重要的生物大分子



### 学习目标

- 通过分析归纳，认识细胞中蛋白质的主要功能。
- 通过比较分析，概括出氨基酸分子在结构上的共同特点。
- 举例说明蛋白质的功能与其空间结构、氨基酸序列之间的关系。
- 说出核酸由核苷酸组成，能储存与传递遗传信息。

### 概念聚焦

- 蛋白质由氨基酸分子组成。
- 细胞的功能主要由蛋白质完成。蛋白质的功能取决于氨基酸序列及其形成的空间结构。
- 核酸由核苷酸分子聚合而成。
- 核酸是储存与传递遗传信息的生物大分子。



胰岛素是一种调节血糖浓度的激素蛋白，血红蛋白是高等动物体内负责运载氧气的蛋白质……生物体内的蛋白质种类繁多，功能各异；而核酸能储存与传递遗传信息。蛋白质和核酸是细胞中重要的两类生物大分子。蛋白质和核酸分子由什么组成？它们的功能与结构之间有怎样的关系？

### 蛋白质的结构与功能

生物体内的蛋白质种类繁多，功能各异。在表2-2中，列出你所知道的蛋白质名称，查阅资料，找出它们所含氨基酸的数目、三维空间结构图和主要功能。

表2-2 一些蛋白质的结构与功能

序号	蛋白质名称	所含氨基酸的数目	三维空间结构图	主要功能
1	胰岛素	51		调节血糖浓度的激素
2				
3				
4				

### 思考与讨论：

1. 与小组同学交流找到的信息，归纳总结出蛋白质主要有哪些功能。
2. 比较不同蛋白质分子的氨基酸数目与三维空间结构，你能得出哪些结论？

## 1. 蛋白质是生命活动的主要承担者

通过归纳检索到的信息,我们发现生物体中**蛋白质**(protein)的种类、结构和功能具有多样性。生物界的蛋白质种类多达 $10^{10} \sim 10^{12}$ 种。在大多数细胞中,蛋白质占到干重的50%以上。在生物体内,蛋白质不仅参与细胞的结构组成,还承担着物质、能量和信息的转换与传递等多种多样的生命活动(图2-4)。

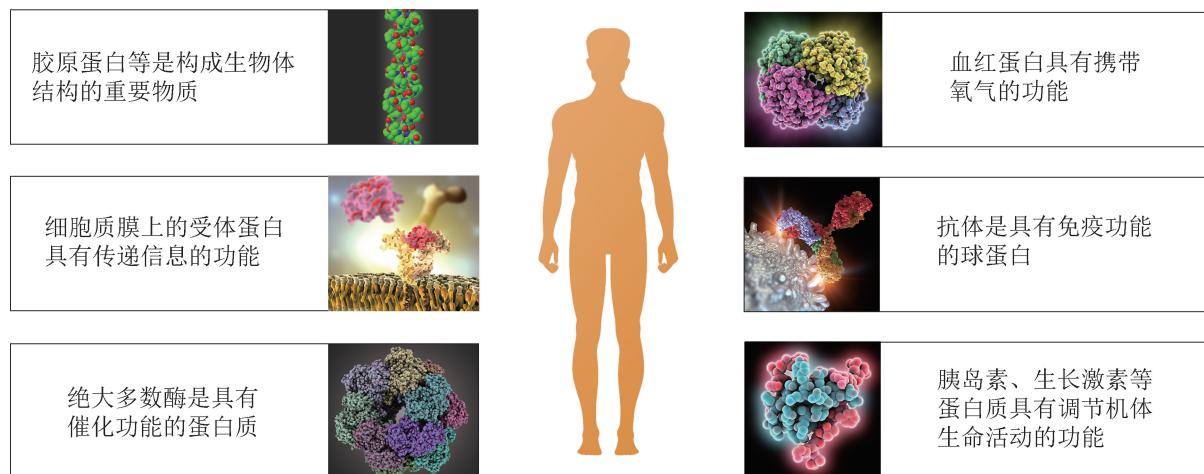


图2-4 人体中的几种蛋白质及其功能示意图

动物结缔组织中的胶原蛋白含量非常丰富,起支持和保护作用;细胞膜上的转运蛋白参与水、离子和小分子的运输;各种受体蛋白参与细胞间信息的传递和转换;细胞中的酶绝大多数是蛋白质,催化生物体内的各种化学反应;血液中的血红蛋白负责氧气的运输;免疫球蛋白(抗体)是机体防御系统的重要组成;还有一些蛋白质作为激素,调节生命活动……生物体几乎每一项生命活动都需要蛋白质的参与、执行,因此,可以认为蛋白质是生命活动的主要承担者。

## 2. 蛋白质由氨基酸组成

蛋白质种类很多,但是将蛋白质水解后会发现,所有的蛋白质都是由**氨基酸**(amino acid)组成的。地球上氨基酸的种类很多,但组成生物体蛋白质的氨基酸分子已知的有22种,其中常

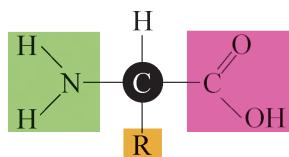


图 2-5 氨基酸的结构通式

常见的有 20 种。它们在结构上的共同特点是：中心碳原子通过四个共价键分别连接一个羧基（—COOH）、一个氨基（—NH<sub>2</sub>）、一个氢原子（—H）和一个侧链（R 基）（图 2-5）。不同种类氨基酸的区别就在于 R 基的不同，如甘氨酸上的 R 基是一个氢原子（—H），丙氨酸上的 R 基则是甲基（—CH<sub>3</sub>）等（图 2-6）。每种氨基酸的侧链 R 基具有独特的化学性质，可分为极性（亲水）和非极性（亲脂）两大类。

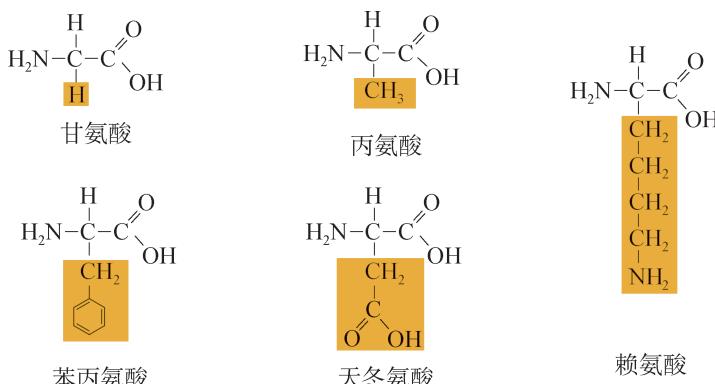


图 2-6 不同种类氨基酸的结构式



### 人体必需氨基酸

有些氨基酸是人体自身不能合成的，必须从食物中获取，因此称为必需氨基酸，如苏氨酸、色氨酸、赖氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸、异亮氨酸和甲硫氨酸。

氨基酸通过脱水缩合连接形成肽。一个氨基酸分子的氨基（—NH<sub>2</sub>）和另一个氨基酸分子的羧基（—COOH）脱水缩合，形成肽键（图 2-7）。两个氨基酸分子通过肽键连接形成二肽。

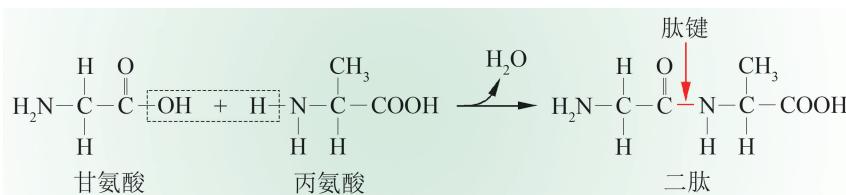


图 2-7 氨基酸分子脱水缩合形成二肽

（参与肽键形成的只能是中心碳原子上连接的氨基和羧基）

多个氨基酸分子通过肽键连接，可形成不同长度的肽链。每条肽链的一端是氨基，另一端是羧基。肽链上氨基酸的组成与排列顺序称为该肽链的氨基酸序列（图 2-8）。不同的蛋白质的氨基酸序列不同。可以想象，类似 26 个英文字母可以组合成无数英语单词那样，20 种常见氨基酸的不同组合可以使每一种

蛋白质带有独特的氨基酸序列。理论上，一个由 50 个氨基酸组成的肽链可能有  $20^{50}$  种不同的氨基酸序列。这正是生物体中蛋白质种类繁多的基础。

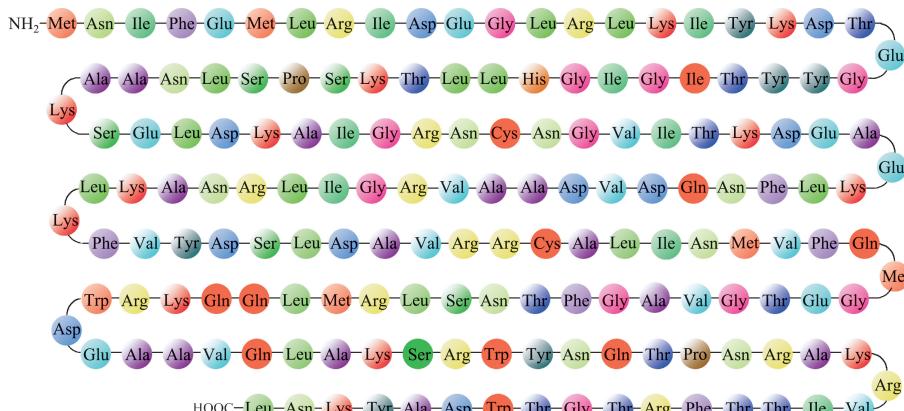


图 2-8 T4 溶菌酶的氨基酸序列示意图  
(图中圆圈内字母代表氨基酸缩写)

### 3. 蛋白质的功能与其结构密切相关

在自然状态下，每种蛋白质都具有特定的空间结构，这是由肽链通过折叠等多种形式形成的。蛋白质的空间结构取决于肽链的氨基酸序列。有些蛋白质只由一条肽链构成，如细胞色素 *c*；有些蛋白质由多条肽链构成，如血红蛋白由四条肽链相互作用形成（图 2-9）。

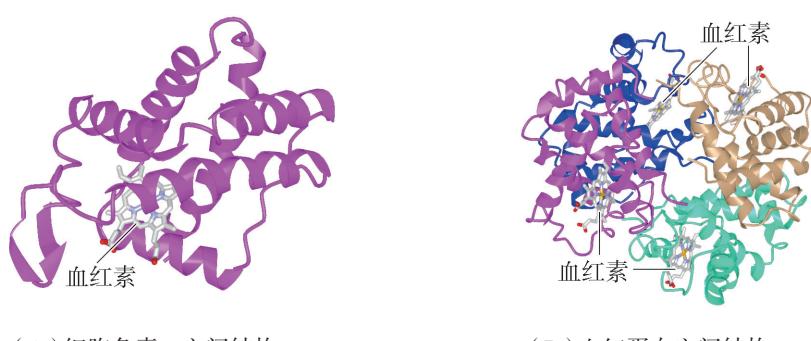


图 2-9 蛋白质空间结构模型图

#### 广角镜

### 蛋白质空间结构的测定

蛋白质的功能与其空间结构密切相关。科学家主要通过 X 射线衍射等方法测定蛋白质空间结构，获得相关图谱，并通过系列计算处理构建蛋白质空间结构模型（图 2-10）。随着现代生物技术的发展，人们可以根据氨基酸序列，通过计算机模拟预测可能的空间结构。若要了解更多蛋白质空间结构，可以通过蛋白质数据库（Protein Data Bank，简称 PDB）查询。

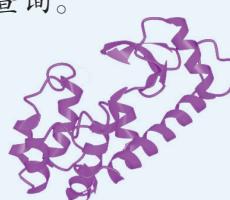


图 2-10 T4 溶菌酶空间结构模型图

蛋白质的功能与其特定的空间结构紧密相关。例如，乳糖酶的特定结构使它能够识别乳糖分子并与其结合，催化乳糖水解（详见第4章）。由于蛋白质的空间结构与其氨基酸序列密切相关，在肽链中某一个关键位点上氨基酸的改变，会使蛋白质功能发生巨大变化。例如，镰状细胞贫血就是因为血红蛋白中一个氨基酸被其他氨基酸替换，使蛋白质在脱氧状态下容易聚集形成纤维，导致红细胞变形、易破裂、堵塞毛细血管，从而造成组织缺血。

高温、强酸、强碱等一些物理或化学因素会引起蛋白质空间结构发生变化，导致蛋白质的功能受到影响，甚至完全丧失。体温过高会导致生命危险的原因之一就是某些蛋白质功能的丧失。

#### 4. 核酸由核苷酸聚合而成

**核酸** (nucleic acid) 最早是在真核细胞的细胞核中发现的，是细胞中最长的生物大分子，主要包括两大类：一类是脱氧核糖核酸，简称 DNA；另一类是核糖核酸，简称 RNA。真核细胞中的 DNA 主要分布在细胞核中，线粒体和叶绿体内也含有少量的 DNA；RNA 则主要分布在细胞质中。

**核苷酸** (nucleotide) 是组成核酸的基本单位，由五碳糖、碱基和磷酸基团组成（图 2-11）。DNA 与 RNA 中组成核苷酸的五碳糖不同：DNA 中为脱氧核糖，RNA 中为核糖。组成 DNA 的核苷酸称为脱氧核糖核苷酸（简称脱氧核苷酸），组成 RNA 的核苷酸称为核糖核苷酸。

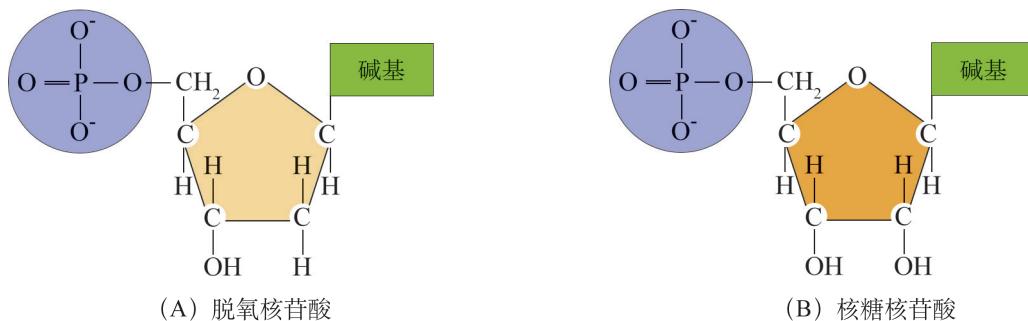


图 2-11 核苷酸分子结构示意图

不同的脱氧核苷酸（或核糖核苷酸）分子，其磷酸基团和脱氧核糖（或核糖）都是相同的，区别在于碱基种类不同。DNA和RNA分子中各有4种碱基（图2-12）。

### 学习提示

你能发现组成DNA与RNA的核苷酸分子的不同点吗？请注意不同碱基的名称。

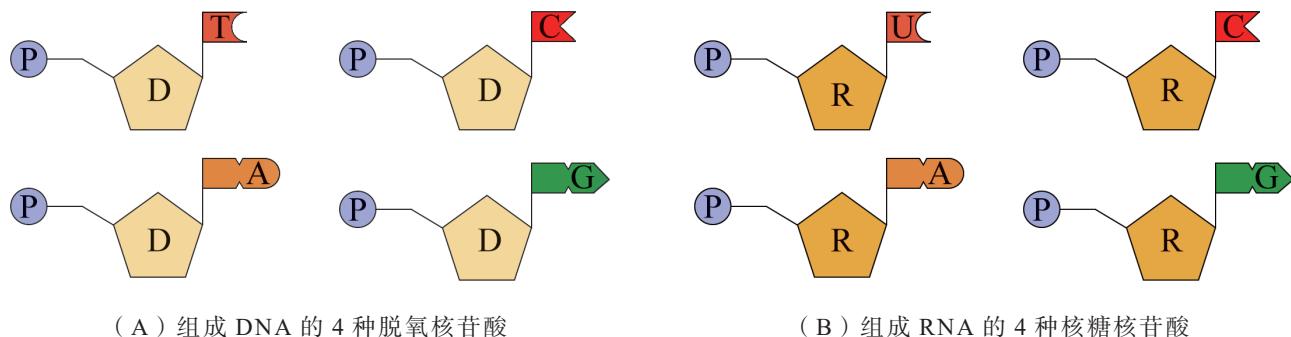


图2-12 组成DNA和RNA的核苷酸结构示意图

（D表示脱氧核糖，R表示核糖，P表示磷酸基团；T表示胸腺嘧啶，C表示胞嘧啶，A表示腺嘌呤，G表示鸟嘌呤，U表示尿嘧啶）

核酸是由几十个乃至上亿个核苷酸分子组成的。核酸分子中，一个核苷酸的五碳糖与相邻核苷酸的磷酸基团脱水缩合，如此重复，形成了“磷酸—糖—磷酸—糖……”的链状结构，碱基位于该链的一侧。

## 5. 核酸是储存与传递遗传信息的生物大分子

DNA分子通常是由两条核酸单链上的碱基相互配对结合在一起形成的双链（图2-13）。在DNA分子中，脱氧核苷酸的排列顺序蕴含了遗传信息。虽然脱氧核苷酸只有4种，但组成DNA的脱氧核苷酸数量众多，排列顺序多样。因此，DNA分子可以储存的遗传信息容量非常大。

RNA分子通常是单链，在细胞中参与遗传信息的传递与表达，在蛋白质的合成过程中起着重要作用（详见《遗传与进化》分册）。部分病毒的遗传信息储存在RNA分子中，如艾滋病病毒、SARS病毒、新型冠状病毒等。

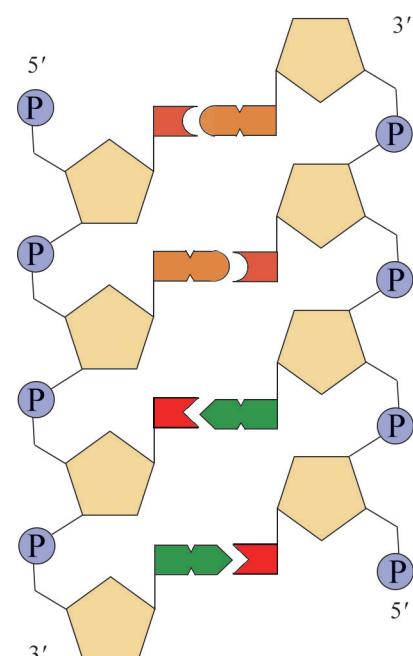


图2-13 DNA双链的结构示意图



## 自我评价

- 请归纳不同氨基酸分子的异同点，并写出其结构通式。
- 虽然人与蚊子的DNA所携带的遗传信息差异巨大，但其基本组成单位和结构是相同的。请列出组成DNA分子的基本单位的种类和名称。
- 有三种氨基酸（甘氨酸、丙氨酸和赖氨酸），最多能形成多少种二肽？请列出可能的二肽。
- 经氨基酸自动分析仪测定发现：组成降钙素和胰高血糖素样肽-1（一种降糖药）的氨基酸数目相同，都由34个氨基酸组成，但两者的生理功能截然不同。试分析可能的原因。



## 前沿视窗

### 细胞内多余的蛋白质如何被降解？

细胞内的蛋白质寿命长短不一，有些合成后几分钟就完成了其功能使命，随即被降解。细胞是如何准确降解多余蛋白质的呢？以色列科学家切哈诺沃（A. Ciechanover）、赫什科（A. Hershko）和美国科学家罗斯（I. Rose）发现并提出了泛素-蛋白酶体途径（图2-14），并由此获得了2004年诺贝尔化学奖。

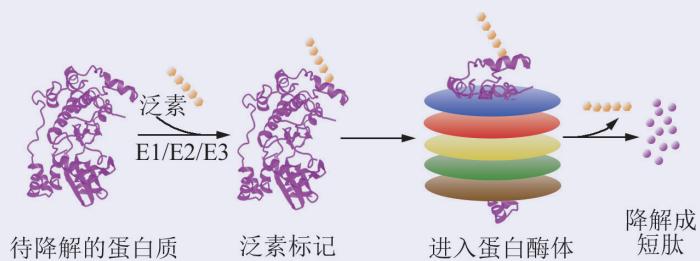
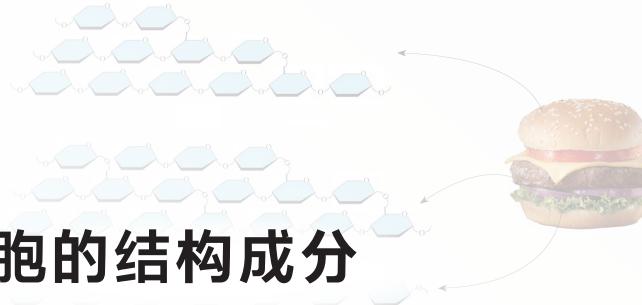


图2-14 泛素-蛋白酶体降解蛋白质过程示意图

泛素是一种由76个氨基酸组成的肽链，最初是从小牛胸腺中分离得到的，随后在多种不同的组织和器官中也发现该分子。泛素介导的蛋白质降解过程需要一系列与泛素相关的酶参与。1981—1983年，切哈诺沃等三位科学家及其团队在细胞内发现了与泛素相关的三种酶，分别是：泛素活化酶（E1）、泛素偶连酶（E2）、泛素-蛋白连接酶（E3）。三种酶协作完成对需要降解的蛋白质标记上一串泛素。这些被标记的蛋白质进入蛋白酶体复合物，被降解成7~9个氨基酸长度的短肽片段。通过对这种蛋白质降解系统的解析，人们更好地理解了细胞是如何控制细胞分裂周期、DNA修复、基因转录、新合成蛋白的质量控制等过程。如果细胞内蛋白质泛素化降解系统出错或缺失将导致多种疾病产生，包括一些免疫类疾病及癌症。



## 第3节 糖类和脂质是细胞的结构成分和能源物质

糖类和脂质是我们生活中每天都能接触到的两大营养物质。你能准确说出日常生活中遇到的哪些物质属于糖类，哪些属于脂质吗？糖类和脂质在细胞中又有着怎样的作用呢？



### 生活中的糖类和脂质

表2-3中的物质，有些是你熟悉的，有些可能是你陌生的。请根据自己的生活经验和已学的知识，结合资料查阅，将它们进行分类。

表2-3 物质分类表

序号	物质名称	所属分类		
		糖类	脂质	其他
1	脱氧核糖			
2	阿斯巴甜			
3	葡萄糖			
4	糖原			
5	橄榄油			
6	木糖醇			
7	胆固醇			
8	淀粉			
9	磷脂			
10	纤维素			

#### 思考与讨论：

1. 你对以上物质进行分类的依据是什么？
2. 糖类和脂质在元素组成上有哪些特点？它们在细胞中分别有哪些作用？

#### 学习目标

- 通过分析归纳，概述糖类的类型及其在细胞中的作用。
- 通过实例分析，说出不同脂质对维持细胞结构及在生命活动中的作用。
- 通过探究实验，学会检测生物组织中还原糖、脂肪和蛋白质的方法。

#### 概念聚焦

- 糖类有多种类型，既可以组成细胞结构，又是生命活动的能源物质。
- 不同的脂质对维持细胞结构与功能有重要作用。

#### 学习提示

归类是研究和学习生物学的基本方法之一。

## 1. 糖类既是能源物质也是结构成分

**糖类** (carbohydrate) 俗称碳水化合物, 由 C、H、O 元素组成, 分子式一般可写成  $C_n(H_2O)_m$ 。糖类是光合作用的产物, 在地球上含量非常丰富, 不仅是维持生物体生命活动所需能量的主要来源, 也是组成生物体结构的基本原料。按其组成可分为单糖、双糖和多糖。

**单糖** 单糖是指不能水解的最简单的糖。葡萄糖、果糖、半乳糖都是含 6 个碳原子的单糖, 分子式都是  $C_6H_{12}O_6$ 。葡萄糖是细胞生命活动的主要能源物质; 葡萄糖溶解于水, 在水溶液中常常会形成更加稳定的环状结构 (图 2-15)。核糖和脱氧核糖是含 5 个碳原子的单糖, 是构成核酸的重要成分。

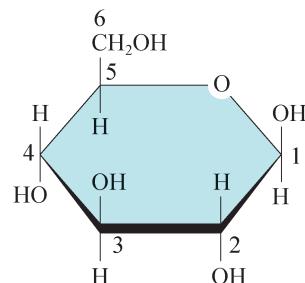


图 2-15 葡萄糖环状结构

**双糖** 双糖是指由两个单糖经脱水缩合而连接在一起的糖类 (图 2-16)。常见的双糖有蔗糖 (葡萄糖 + 果糖)、乳糖 (葡萄糖 + 半乳糖) 和麦芽糖 (葡萄糖 + 葡萄糖) 等, 虽然组成它们的单糖种类有所不同, 但分子式都是  $C_{12}H_{22}O_{11}$ 。

日常食用的砂糖主要成分就是蔗糖, 是从甘蔗或甜菜中提炼得到的; 动物的乳汁中含有乳糖; 发芽的小麦种子中含有麦芽糖。蔗糖、乳糖和麦芽糖都易溶于水, 双糖在酶的催化下可以水解成单糖 (图 2-16)。

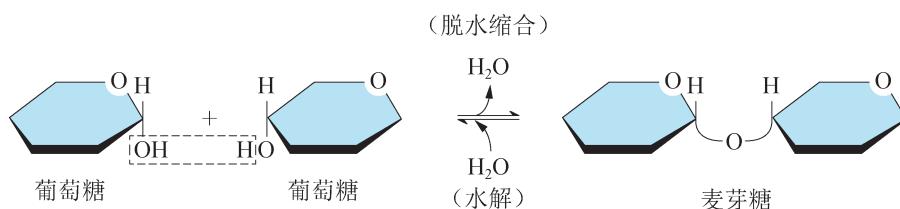


图 2-16 麦芽糖的合成与水解示意图

**多糖** 多糖是指由许多（10个以上）单糖分子经脱水缩合后连接形成的大分子。生物体内的糖类大多数以多糖形式存在，如植物体中的淀粉、纤维素以及动物体中的糖原等都是由葡萄糖组成的（图2-17）。

淀粉是植物体内糖类能源物质的储存形式，呈颗粒状，储存在叶绿体、块根、块茎和种子中。

糖原是动物体内糖类能源物质的储存形式。消化道吸收的葡萄糖，经血液运输至肝脏和肌肉，合成难溶于水的糖原进行储存。储存在肝细胞中的称为肝糖原，储存在肌细胞中的称为肌糖原。肝糖原的合成和分解与血糖（血液中的葡萄糖）水平有关。血糖低时，肝糖原降解为葡萄糖补充到血液中；血糖高时，则合成糖原储存。

纤维素不溶于水，是构成植物细胞壁的主要成分，在自然界中分布最广、含量最多。

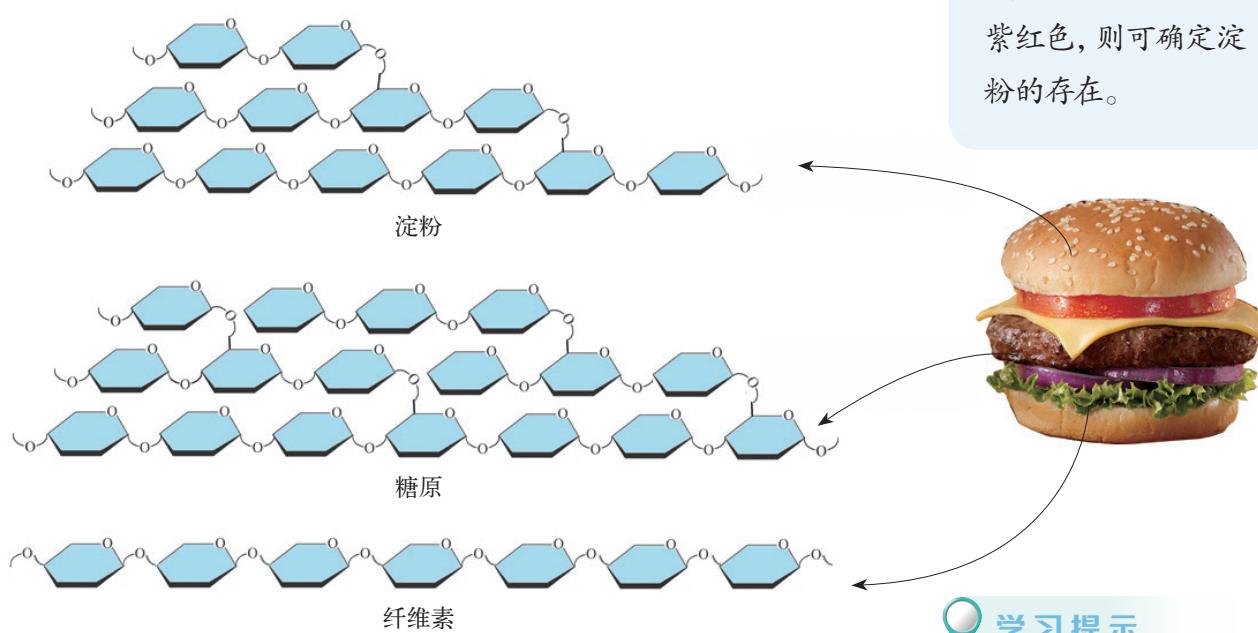


图2-17 多糖种类及结构示意图

## 2. 脂质对维持细胞结构与功能有重要作用

**脂质**（lipid）俗称脂类，生物体中常见的有脂肪、磷脂和固醇等，其共同特性之一是难溶于水。

### 广角镜

#### 如何检测生物组织中的淀粉

淀粉通常有直链淀粉和支链淀粉两类。直链淀粉分子长而不分支，与碘分子形成的复合物通常显示蓝色。支链淀粉存在很多分支，遇碘呈现紫红色。检测时，将棕黄色的碘溶液滴加在待测的固体或液体物质中，如果显示蓝色或紫红色，则可确定淀粉的存在。

### 学习提示

食物中的多糖要水解成单糖后才能被细胞吸收、利用。

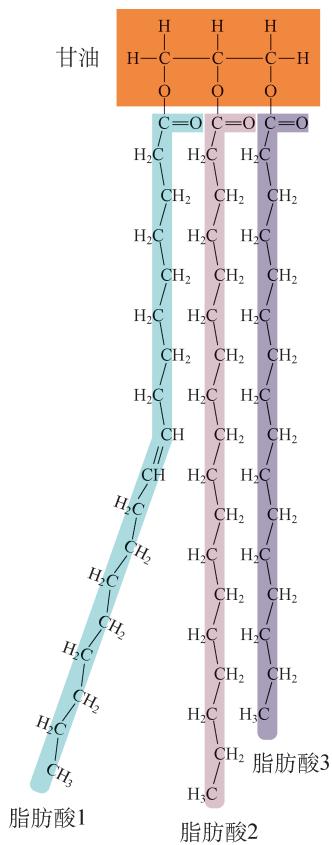


图 2-18 脂肪分子的结构示意图

**脂肪** 脂肪是由甘油和脂肪酸分子构成的，通常是1个甘油分子上连接3个脂肪酸，也称为甘油三酯（图2-18）。脂肪酸是由碳为骨架构成的长链状分子，碳与碳之间有单键，也有双键。脂肪酸长链呈疏水性。脂肪是细胞中储能效率最高的物质，每克脂肪在人体内彻底氧化分解可产生约37.6 kJ能量，约为每克葡萄糖彻底氧化分解产生能量（约16.4 kJ）的两倍。此外，高等动物和人体内的脂肪还具有减少身体热量散失、维持体温恒定的作用，如生活在南极寒冷环境中的企鹅，皮下脂肪可厚达4 cm。分布在内脏器官周围的脂肪还能保护内脏器官，具有缓冲和减压的功能。

**磷脂** 磷脂分子是两性分子，由亲水头部和疏水尾部组成。当被水分子包围时，亲水头部朝向水分子，疏水尾部远离水分子，呈现出微团或双分子层结构（图2-19）。细胞质膜的基本骨架就是磷脂双分子层。

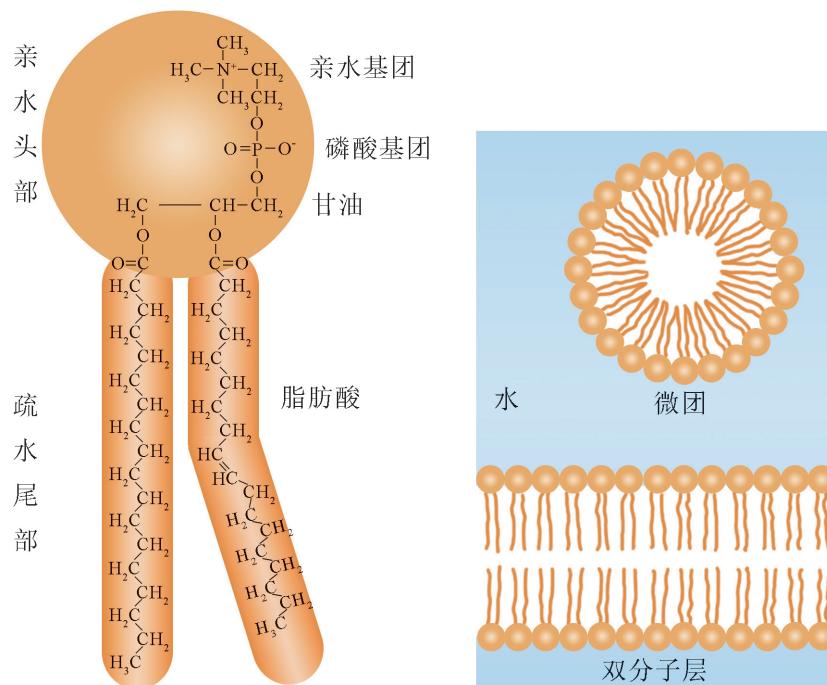


图 2-19 磷脂分子结构及其在水溶液中的排列方式示意图

**固醇** 细胞中的固醇类物质主要包括胆固醇、植物固醇和酵母固醇等。胆固醇是动物细胞质膜的重要结构成分，也是合成性激素、维生素D等物质的原料。性激素能促进人和动物生殖器官的发育以及生殖细胞的形成。维生素D能有效促进动物肠道对钙和磷的吸收。植物固醇是植物细胞的重要结构成分，酵母固醇存在于酵母中。



## 探究·实验

### 2-1 检测生物组织中的还原糖、脂肪和蛋白质

构成生物体的生物分子种类繁多，不同生物组织中生物分子的种类、含量是否一样？让我们通过以下实验进行检测。

#### ► 实验目标：

学会检测生物组织中还原糖、脂肪、蛋白质的方法；初步学会使用分光光度法进行定量测定。

#### ► 实验原理：

葡萄糖等还原糖中的醛基与班氏试剂中的 $\text{Cu}^{2+}$ 反应，加热后会出现黄红色沉淀；蛋白质遇双缩脲试剂后会呈紫色；脂肪遇苏丹IV染液后会呈红色。分光光度计可对颜色变化进行定量分析。

#### ► 材料器具：

1% 葡萄糖溶液，植物油，10 mg/mL 牛血清白蛋白标准溶液，食物样品（如梨、黄豆、萝卜、结球甘蓝），班氏试剂（柠檬酸钠、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{CuSO}_4$ ），双缩脲试剂（主要成分为酒石酸钾钠、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{CuSO}_4$ ），苏丹IV染液，蒸馏水，试管，试管架，试管夹，酒精灯，分光光度计等。

#### ► 实验步骤：

##### 1. 已知成分的鉴定

（1）还原糖的鉴定：在盛有2 mL 1% 葡萄糖溶液的试管中加入1 mL 班氏试剂，摇匀后在酒精灯上加热至沸腾，观察并记录溶液发生颜色变化。

（2）脂肪的鉴定：在盛有2 mL 植物油的试管中逐滴加入苏丹IV染液，振荡至颜色不再变化为止，观察并记录溶液发生颜色变化。

（3）蛋白质的鉴定：在盛有2 mL 10 mg/mL 牛血清白蛋白标准溶液的试管中加入2 mL 双缩脲试剂，摇匀，观察并记录溶液发生颜色变化。



#### 广角镜

##### 分光光度法

许多反应会有颜色变化，生成的产物在特定波长下具有一定吸光度。通常，物质浓度越大，吸光度越大。在分光光度计中，通过测定待测物质在特定波长处的吸光度，可对该物质进行定量分析。在测定待测物质浓度前，通常需要先测定标准浓度物质的吸光度，找出浓度与吸光度的对应关系（即标准曲线）。然后测定待测物质吸光度，根据标准曲线计算其浓度。

## 2. 食物样品中的营养成分鉴定

(1) 样品处理: 每个小组在梨、黄豆、萝卜、结球甘蓝四种食物中选取1~2种作为检测样品, 研磨、过滤后取滤液待用。

(2) 营养成分鉴定: 取三支试管并编号, 分别加入你所选取的食物样品滤液2 mL, 参照前面的方法分别测定还原糖、脂肪和蛋白质, 记录检测结果。实验完成后, 各小组间进行交流。

## 3. 食物中蛋白质含量的测定

(1) 标准曲线制作: 取6支试管, 编号0~5, 按表2-4分别加入不同量的牛血清白蛋白标准溶液及蒸馏水。然后, 各试管中加入4 mL双缩脲试剂, 立即混合摇匀。静置20 min后, 以0号管为空白对照, 在分光光度计中于540 nm波长处调零后, 测定其他各试管中样品于540 nm处的吸光度值。在电子表格中以蛋白质含量为横坐标, 吸光度值为纵坐标, 绘制出标准曲线。

表2-4 各试管加样及对应蛋白质含量

各管加入试剂及蛋白质含量	试管编号					
	0	1	2	3	4	5
10 mg/mL牛血清白蛋白标准溶液(mL)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
蒸馏水(mL)	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0
双缩脲试剂(mL)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
蛋白质含量(mg/mL)	0	2	4	6	8	10

(2) 样品蛋白质含量的测定: 将待测样品滤液稀释N倍(一般需稀释至蛋白质含量范围在1~10 mg/mL)。取1 mL稀释液, 按上述方法加入双缩脲试剂, 测定吸光度, 根据标准曲线得出蛋白质含量D。则被测样品的蛋白质含量(mg/mL)=D×N。

### ► 结果分析:

1. 列表归纳检测还原糖、脂肪、蛋白质的方法, 以及产生的颜色变化。
2. 你所检测的食物中含有的主要营养物质是什么?
3. 标准曲线中, 蛋白质含量与吸光度之间有怎样的关系?



## 生物学与社会

### 胆固醇与人体健康

胆固醇又称胆甾醇（图2-20），是人体细胞不可缺少的营养物质。近年来发现，许多心血管疾病与胆固醇有关。由此对胆固醇“功”和“过”的讨论成为社会热点。

一个体重70 kg的成年人，体内大约有胆固醇140 g，每日大约更新1 g，其中仅1/5需从食物中补充，4/5在体内代谢产生。肝是体内胆固醇合成和转化的主要场所。

在肝细胞中，大部分胆固醇被转化为胆汁酸，并随胆汁排入肠腔，有助于油脂和脂溶性维生素的消化吸收。正常情况下，人体内胆固醇的合成与转化处于相对稳定状态。膳食中胆固醇量过高，可能会引起血液中总胆固醇量升高。

胆固醇在血液中以与脂蛋白结合的形式运输，主要包括低密度脂蛋白（LDL）和高密度脂蛋白（HDL）。低密度脂蛋白能将胆固醇由肝脏运输到全身组织细胞，而高密度脂蛋白则将组织细胞中多余的胆固醇运输到肝脏。医学研究表明，动脉粥样硬化发病率与血液中低密度脂蛋白超标密切相关；而高密度脂蛋白偏高，可能对血管有保护作用。现在你知道血脂检查报告中高密度脂蛋白和低密度脂蛋白的意义了吧。

胆固醇水平升高可能从儿童期就开始了，从小就养成良好的饮食习惯和健康的生活方式相当重要。低脂饮食（多吃水果、蔬菜和全麦食品）有助于降低低密度脂蛋白水平；保持恰当的体重，定期锻炼能使高密度脂蛋白保持较高的水平。

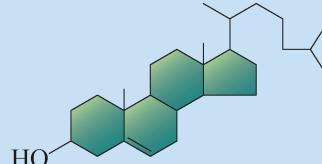


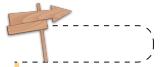
图2-20 胆固醇分子结构式



### 自我评价

1. 对糖类和脂质进行列表归纳，并说明其在细胞中所起的作用。
2. 通过本节学习，你对表2-3所列生活中常见物质的分类有哪些新的认识？
3. 人们对于形体与健康的关系有各种观点，如“体态以自然健康为美”“为了保持良好的体形，应拒绝摄入脂类物质”等，试从物质的结构与功能角度，谈谈你的观点。
4. 食品安全监管部门接到举报，有不法商家用淀粉来生产假冒婴幼儿奶粉。如果你是检测人员，会选用什么方法对可疑产品进行质量检测呢？

# 第4节 水和无机盐是生命活动的必需物质



## 学习目标

- 说出水在生命活动中的重要作用。
- 举例说明无机盐与生命活动有着密切关系。

## 概念聚焦

- 水构成细胞的内外环境，大部分生命活动在水中进行。
- 无机盐在细胞中的含量虽少，但不可或缺。

水是地球生命之源，倘若缺水，生命活动就无法正常进行。水是细胞中含量最多的化合物，约占细胞总质量的70%。无机盐在细胞中的含量很少，但其作用却不可或缺。水和无机盐在细胞中以怎样的形式存在？它们在生命活动中发挥着什么作用呢？



## 生物体中水的分布

生活在不同环境中的生物，其体内含水量有所差异；人体不同组织器官中的含水量也存在一定差异（表2-5）。

表2-5 某些生物体及人体不同组织器官中的含水量

生物	含水量	人体的组织器官	含水量
水母	99%	牙齿	10%
鱼类	83%	骨骼	22%
蛙	78%	骨骼肌	76%
哺乳类	65%	心肌	79%
藻类	90%	血液	83%
高等植物	60% ~ 80%	成人脑	84%
休眠种子	<10%	胎儿脑	91%

### 思考与讨论：

- 你能归纳出不同生物体中含水量有什么特点吗？
- 尝试分析人体组织器官中含水量高低与其代谢程度之间的关系。

## 1. 水赋予细胞生命特性

生命起源于水环境，水也是生物体中含量最多的化合物。分析数据发现，生物体的含水量与其生活环境相关，水生生物的含水量通常高于陆生生物。同一个体不同器官的含水量与其生命活动有关，代谢活动高的器官含水量相对较高。对于任何一个生物体而言，水都是不可缺少的。水为细胞中的物质运输和化学反应提供介质；水的比热容大，能维持细胞温度的相对稳定，有助于细胞生命活动的进行。人体在缺水 10% 时，生理活动就会紊乱；缺水 20% 时，生命活动就会终止。植物缺水时，细胞失去水分而发生形态改变，植株表现出萎蔫等。

水在生命活动中的重要作用与水分子的结构及其在细胞中的存在形式有关。由于水分子表面电荷在 O 和 H 之间分布不均匀，使水分子具有极性：分子的 O 端有弱的负电荷，H 端有弱的正电荷（图 2-21）。水分子的极性特点，使一些有极性的物质很容易溶解在水中。当你将一小匙食盐（NaCl）放入水中，轻轻搅拌，NaCl 晶体很快溶解。图 2-22 解释了 NaCl 在水中迅速溶解的机理， $\text{Na}^+$  与  $\text{H}_2\text{O}$  中的 O 端靠近， $\text{Cl}^-$  与  $\text{H}_2\text{O}$  中的 H 端靠近，NaCl 很快分散在水中。

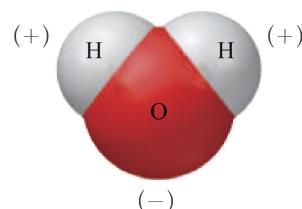


图 2-21 水分子模式图  
(显示极性)

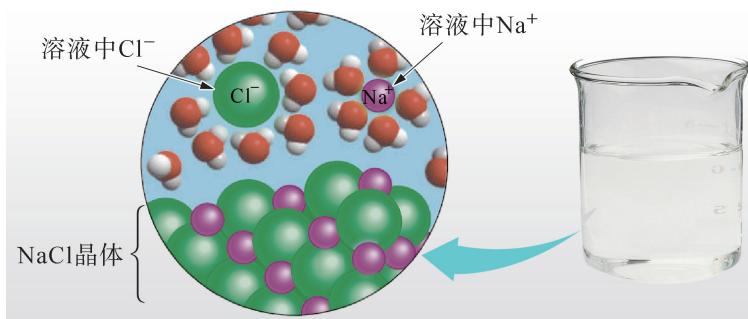


图 2-22 NaCl 在水中溶解示意图

细胞中的无机盐和大部分有机分子都有极性，能很好地溶解在水中，因此，细胞中的大部分化学反应在水环境中进行。

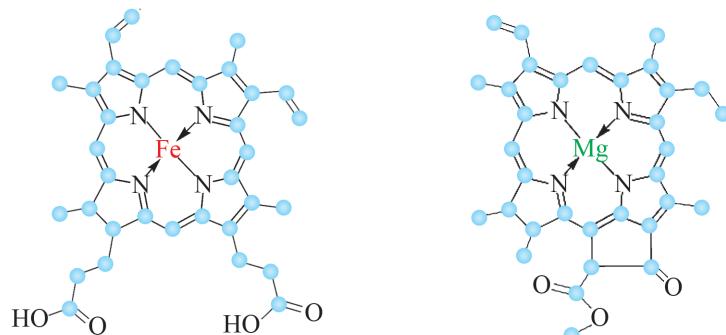
细胞中的水绝大部分是以游离的形式存在，可以自由流动，称为自由水。约有 4.5% 的水与其他分子结合在一起，不能自由流动，称为结合水。结合水对维持其他分子的结构和活性起着非常重要的作用，例如小麦和水稻等植物的种子，晒干便于保存，

吸水后可以发芽。但是，过度干燥、失去全部水分子的种子则无法萌发。

## 2. 无机盐与生命活动密切相关

燃烧小麦或稻谷，其中的水被蒸发、有机物被燃尽后，可以看见一些灰白色的灰烬。这些灰烬主要是无机盐。人和动物体中也含有无机盐。生物体内的无机盐大多数以离子状态存在，如  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$  等阳离子（又称正离子），以及  $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $PO_4^{3-}$  等阴离子（又称负离子）。

无机盐在生物体中的含量很少，但在生命活动中却有着重要作用。有些无机离子是生物体内重要化合物的组成成分。例如， $Fe$  是构成血红蛋白分子的必需元素（图 2-23A），适量地摄入含铁丰富的食物，可有效预防缺铁性贫血的发生。 $Mg$  是构成叶绿素分子的必需元素（图 2-23B），植物生长过程中缺少  $Mg^{2+}$  会影响细胞中叶绿素的合成，从而导致其叶脉间缺绿，叶片变黄；还有一些金属离子是酶的辅助因子，缺少也会导致叶片变黄（图 2-24）。



(A) 参与血红蛋白组成的血红素结构示意图 (B) 叶绿素核心结构示意图

图 2-23  $Fe$  和  $Mg$  参与生物体内重要化合物的组成

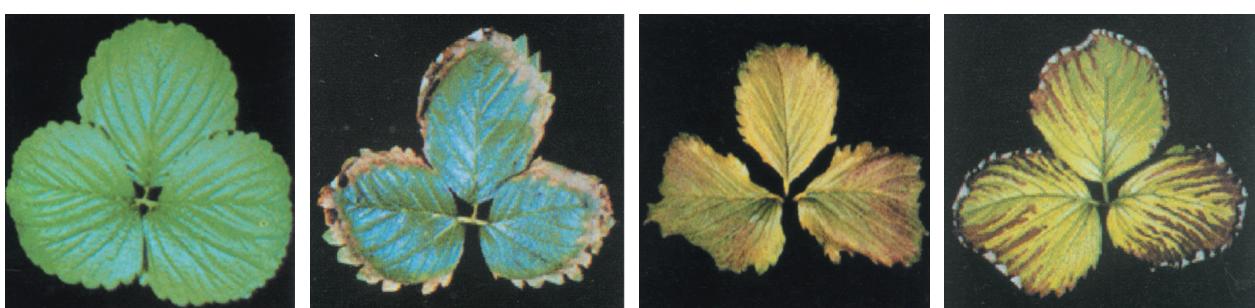


图 2-24 草莓在生长过程中缺少不同无机盐时的叶片症状

有些无机离子可直接参与机体代谢活动、调节内环境的稳定，它们对维持细胞和生物体的生命活动有着重要作用。例如，正常成人的血液中  $\text{Ca}^{2+}$  的含量为 45~55 mg/L，低于此数值会引发肌肉抽搐等症状；血液中的  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{HPO}_4^{2-}$  和  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  等无机离子的存在，可调节细胞内外溶液酸碱度的变化，维持生物体内环境的稳定（详见《稳态与调节》分册）。



### 学习提示

人体运动后大量出汗，为什么需要补充淡盐水？



### 自我评价

1. 为什么细胞缺水会影响生命活动？
2. 水稻种子在储存入库前要晒干，使其含水量必须小于 10%，试分析原因。
3. 草莓在生长过程中若缺乏 Mg、Mn、Zn 等元素，叶片就会出现不同程度的缺绿症，请分析原因。
4. 每年的 3 月 22 日是世界水日，水是生命之源。从水在生命活动中的作用角度，分析设立世界水日的意义。

# 本章回顾



## 本章小结

生命的本质是物质的。组成细胞的元素在地壳中均能找到。其中，C、H、O、N、P、S等是组成细胞的主要元素，它们以碳链为骨架形成复杂的生物分子。

蛋白质和核酸是细胞中重要的生物大分子。蛋白质既参与细胞结构的组成，也是细胞功能的主要承担者。组成蛋白质的基本单位是氨基酸，常见有20种。蛋白质的功能通常与其氨基酸的排列顺序及其形成的空间结构有关。任何改变蛋白质结构的因素都会影响蛋白质的功能。核酸是储存与传递遗传信息的生物大分子，包括DNA和RNA两类，由核苷酸分子聚合而成。

糖类是细胞中的重要结构成分和主要能源物质，可分为单糖、双糖和多糖。葡萄糖是最常见的单糖，是细胞生命活动的主要能源物质，也是组成淀粉、糖原和纤维素的基本单位。脂肪、磷脂和固醇是细胞中常见的脂质。脂肪由甘油和脂肪酸组成，是生物体内的储能物质。磷脂是细胞质膜等膜结构的主要成分。细胞中的固醇类物质主要包括胆固醇、植物固醇和酵母固醇。胆固醇参与动物细胞质膜的组成，也是合成性激素、维生素D等物质的原料。

水是细胞内含量最多的化合物，以自由水和结合水的形式存在。水分子具有极性的特点使水成为良好的溶剂，为细胞内的生化反应提供相对稳定的介质和环境。无机盐以离子形式存在于细胞中，含量虽少，但与细胞生命活动密切相关。

细胞由多种多样的分子组成，在微观层面更深入地体现了生命的本质，体现了生命的物质性和生物界的统一性。运用归纳与概括等方法，学习生物分子的结构与功能，初步形成生物学结构与功能观。用生物化学检测技术中的显色反应检测生物样品成分是生物学实验研究常用的方法之一。经历“检测生物组织中的还原糖、脂肪和蛋白质”实验，可以学会生物学实验常用仪器的使用，并对实验数据进行记录、处理和分析，从而提高科学探究能力。探究食物中的营养成分，关注糖类、脂质等物质过量摄入对健康的影响，有利于形成健康饮食等良好的生活习惯。



## 学业评价

1. 细胞是由多种元素组成的。图 2-25 表示细胞内各元素及其组成的化合物之间的关系，其中，A、B 和 D 代表物质分子，X、Y 代表化学元素。

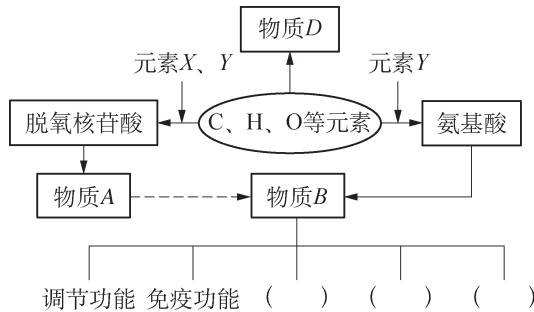


图 2-25 细胞内的元素及化合物

- (1) 据图可推测，物质 A 和 B 分别可能是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- (2) 根据物质的元素组成特点，可以推测 X、Y 分别表示\_\_\_\_\_元素和\_\_\_\_\_元素。
- (3) 若物质 D 是细胞中的主要能源物质，则 D 最可能是\_\_\_\_\_。
- (4) 细胞的生命活动主要是通过物质 B 实现的，下列物质中均属于物质 B 的一组是( )。
  - ①抗体 ②葡萄糖 ③雌激素 ④胰岛素 ⑤磷脂 ⑥淀粉酶
 A. ①②⑤ B. ②③④ C. ①③⑤ D. ①④⑥
- (5) 若有两瓶无色液体，分别含有物质 B 和物质 D，请设计实验区分出两瓶液体中所含的物质。

2. 研究发现，人胰岛素分子是由 A、B 两条肽链组成，其中 A 链由 21 个氨基酸分子组成，B 链由 30 个氨基酸组成（图 2-26）。牛胰岛素与人胰岛素的结构基本相似，区别仅在于 A 链第 8 位和第 10 位、B 链第 30 位的氨基酸有所不同：人胰岛素分别为苏氨酸（Thr）、异亮氨酸（Ile）和苏氨酸，而牛胰岛素分别为丙氨酸（Ala）、缬氨酸（Val）和丙氨酸。

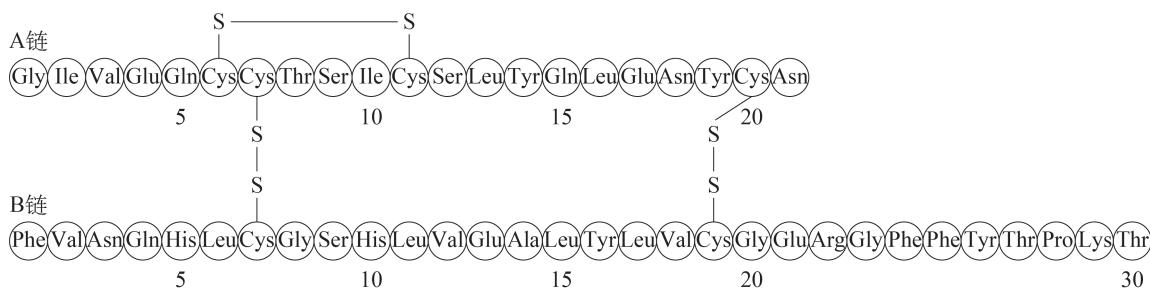


图 2-26 人胰岛素肽链结构示意图

(1) 胰岛素的肽链是由多种氨基酸通过肽键连接所形成的,不同种类氨基酸的区别在于\_\_\_\_\_ ,肽键的基本结构是\_\_\_\_\_。

(2) 比较人胰岛素和牛胰岛素分子,下列叙述正确的是( )。(多选)

- A. 两者所含的氨基酸数量相同,组成肽链的氨基酸序列相同
- B. 虽然两者的氨基酸组成有差异,但所含的肽键数及形成的方式相同
- C. 两者的氨基酸组成有差异,组成肽链的氨基酸序列不同
- D. 虽然两者的氨基酸组成有差异,但都有降低血糖的功能

(3) 胰岛素可以治疗糖尿病,但经临床观察发现,牛胰岛素对糖尿病患者的疗效不理想。从结构与功能的角度,简要说明可能的原因。

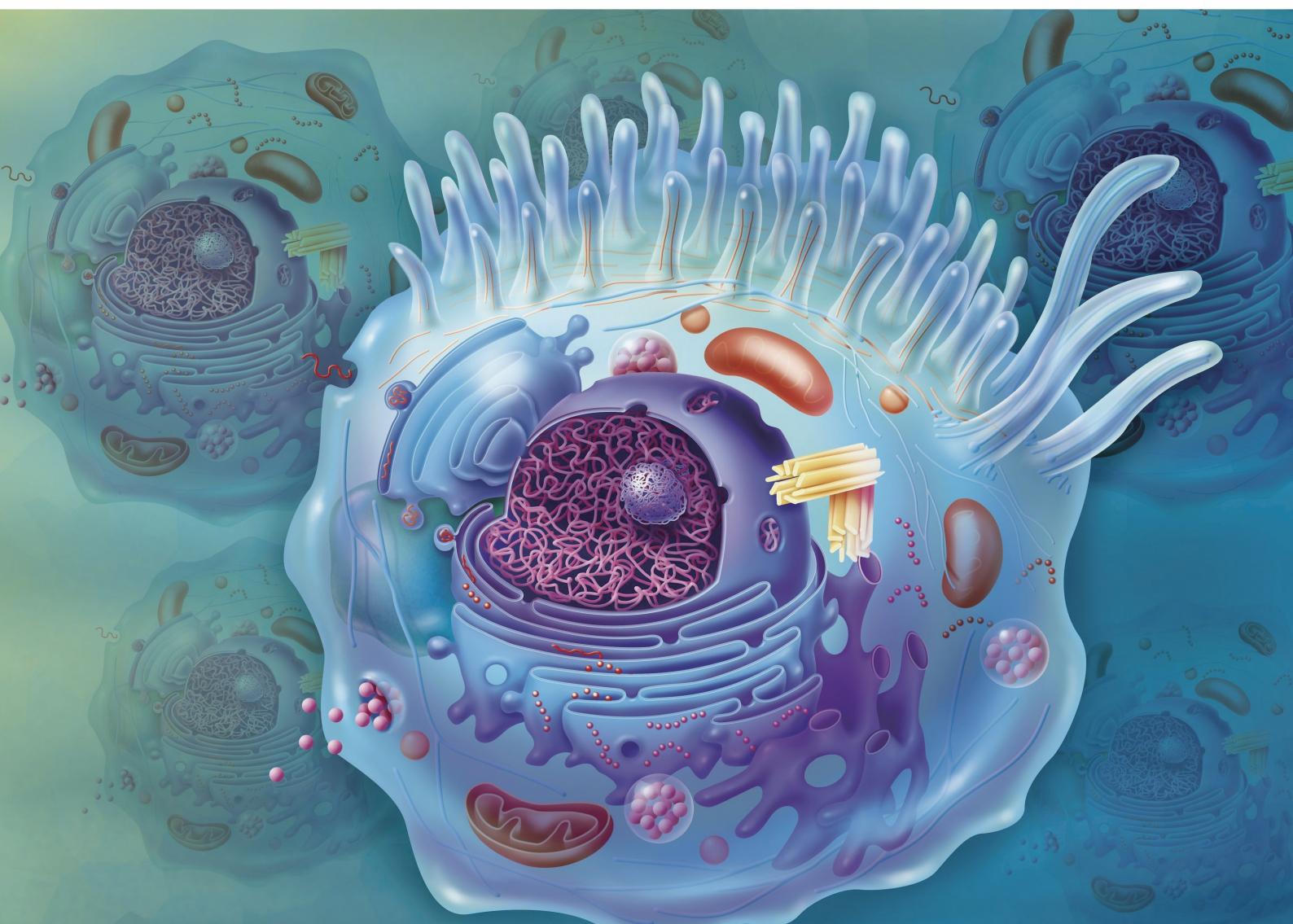
3. 我国食品安全国家标准规定,食品外包装上应提供该食品的营养成分表。营养成分表通常提供该食品所含的能量(热量)、主要营养成分的含量及其营养素参考值(NRV)等信息(表2-6)。请说明其中的营养成分在细胞中的作用,并选择几种自己喜爱的食品,对比它们的营养成分表,看看经常食用这些食品对身体健康可能有什么影响?

表2-6 某食品营养成分表

项目	含量/100 g	NRV(%)
能量	226.1 kJ	2.7
蛋白质	0.2 g	0.3
碳水化合物	13.5 g	4.5
膳食纤维	1.2 g	4.8
脂肪	0.2 g	0.3
饱和脂肪	1.6 g	8
胆固醇	0 mg	0
钙	4 mg	0.5
铁	0.6 mg	4
钠	1.6 mg	0.1
钾	119 mg	6.0

# 第3章 细胞的结构

还记得光学显微镜下形态各异的细胞吗？细胞不仅是构成生物体的基本单位，也是生命活动的基本单位。在微小的细胞内，复杂的生命活动是如何有条不紊地进行的？通过电子显微镜，我们能观察到细胞更细微的结构。让我们一起进入细胞的内部，看看细胞各部分结构有何特点？它们是如何分工合作完成细胞各项生命活动的？



# 第1节 细胞由质膜包裹



## 学习目标

- 概述细胞质膜的主要功能。
- 从结构与功能相适应的角度，解释质膜的结构特征。

## 概念聚焦

- 细胞都由质膜包裹。
- 细胞质膜能控制物质进出并参与细胞间的信息交流。

正如国家有边界线、校园有围墙一样，薄薄的细胞质膜将细胞与外界环境分开，保护着细胞内部的稳定和生命活动的进行，同时也负责细胞与外界的物质交换和信息交流。质膜的结构有哪些特殊之处，使其具有这些功能？让我们从质膜的化学成分及其结构模型开始，探索质膜结构与功能的关系。



## 质膜中的主要成分

细胞质膜主要由哪些生物分子组成？表3-1中列出部分生物细胞质膜的主要成分及其质量百分比，请分析表中多细胞动物、单细胞动物、植物和微生物细胞质膜主要成分的分布特点。

表3-1 部分生物细胞质膜的主要成分

细胞	质膜主要成分的质量百分比（%）		
	蛋白质	磷脂	固醇
小鼠肝脏细胞	45	27	25
草履虫	56	40	4
玉米叶细胞	47	26	7
酵母	52	7	4
大肠杆菌	75	25	0

### 思考与讨论：

1. 不同生物细胞质膜组成成分的共同特点是什么？有何差异？
2. 结合生物分子的特性和功能，推测质膜主要成分的作用。

## 1. 质膜主要由磷脂和蛋白质组成

质膜 (plasma membrane) 通常也称细胞膜，其厚度仅为7~10 nm。如果将8 000层质膜叠在一起，才相当于一张纸的厚度。分析表3-1中的数据可以发现，不同生物细胞虽然有差异，但其共同特点是质膜主要由磷脂和蛋白质分子组成。细胞质膜中还有一定量的固醇和糖类。高等动物细胞质膜中胆固醇含量相对较高，植物细胞和真菌细胞质膜则含有各自特殊的固醇化合物。这些生物分子是如何组成质膜的呢？科学家先后提出了多种细胞质膜的结构模型，目前最被认可的是20世纪70年代提出的“流动镶嵌模型”（图3-1）。

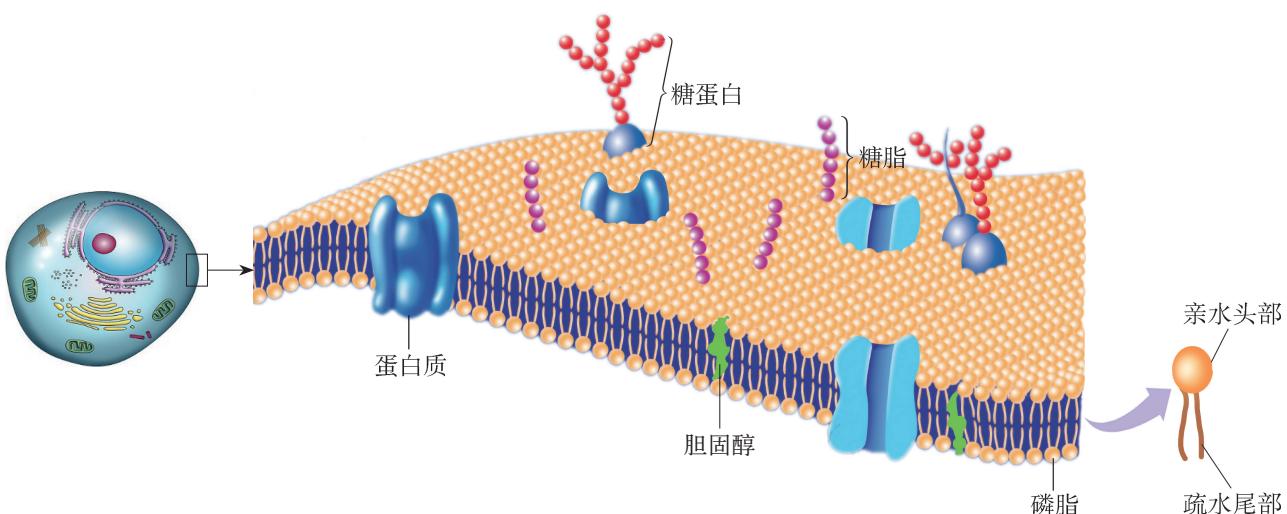


图3-1 细胞质膜结构模型示意图

质膜的基本骨架是磷脂双分子层。磷脂分子亲水性的头部朝向细胞内外两侧，疏水性的尾部相对，在磷脂双分子层内部形成一层疏水的屏障。紧密排列的磷脂分子不允许大分子物质进出，疏水屏障将细胞内外的极性小分子和离子等物质隔开，从而将细胞与生活环境分开，使细胞内部形成相对稳定的环境。临幊上应用这个原理可以判断细胞是否有损伤。例如，正常情况下谷丙转氨酶（ALT）存在于人体肝细胞中，而血清中含量极少。当肝细胞质膜受损时，ALT会流出细胞而进入血液。因此，血清中ALT量的变化可作为临幊上诊断肝功能的指标之一。



### 学习提示

水分子具有极性，当磷脂分子被水环境包围时，它们会自动形成稳定的膜结构。

质膜上的蛋白质称为膜蛋白，有的覆盖在膜表面，有的镶嵌或贯穿在磷脂双分子层中。细胞的功能与膜蛋白种类和含量有关，有些细胞的膜蛋白仅占膜成分的25%，有些则高达75%。

质膜中还有少量的糖，约93%与膜蛋白相连，形成糖蛋白；约7%与膜脂相连，组成糖脂。质膜内外两侧的分子并不对称，糖脂和糖蛋白上的糖均分布在质膜外侧，具有保护质膜和识别外界信息等功能。

细胞质膜中的各种分子处于不断“流动”的状态。磷脂在不断地流动，膜蛋白也可以在磷脂双分子层中进行横向移动或自身旋转运动。胆固醇分子插在磷脂分子之间，对膜的流动性具有调节作用。细胞质膜的流动性对于细胞完成各种生理功能，尤其是对物质进出细胞，起到非常重要的作用（详见第4章）。



## 思维训练

### 膜蛋白流动性的实验证据

1970年，科学家用红、绿两种荧光抗体分别标记人类细胞和小鼠细胞的膜蛋白后，再让两种细胞融合。刚融合的细胞一半发红色荧光、另一半发绿色荧光。放置1h后，发现两种荧光抗体均匀分布（图3-2）。这一实验表明有一些膜蛋白在质膜中可以横向运动。

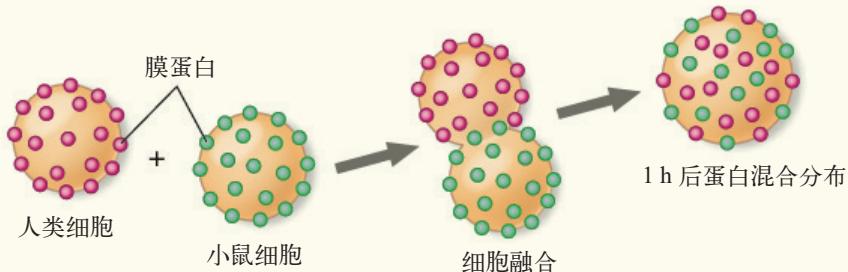


图3-2 膜蛋白流动实验示意图

#### 思考与讨论：

1. 为什么要用荧光抗体标记膜蛋白？
2. 为什么荧光抗体的移动可以说明膜蛋白具有流动性？请分析科学家得出膜蛋白具有流动性的推理过程。

## 2. 质膜参与细胞的物质交换和信息交流

虽然磷脂双分子层对细胞内外的物质进出有屏蔽作用，但实际上，细胞内外的物质可以通过质膜进行有选择性的交换。其中，膜蛋白在物质交换中起着重要作用（详见第4章）。

生物体内的细胞并不是孤立存在的，就像人与人之间要进行信息交流一样，细胞之间也需要通过信息交流才能相互协调，共同完成生理活动。例如，神经细胞通过分泌神经递质作用于靶细胞，内分泌细胞则通过分泌激素作用于靶细胞。有些称为受体的膜蛋白，可用于接受神经递质、激素等特定信号分子（图3-3）。

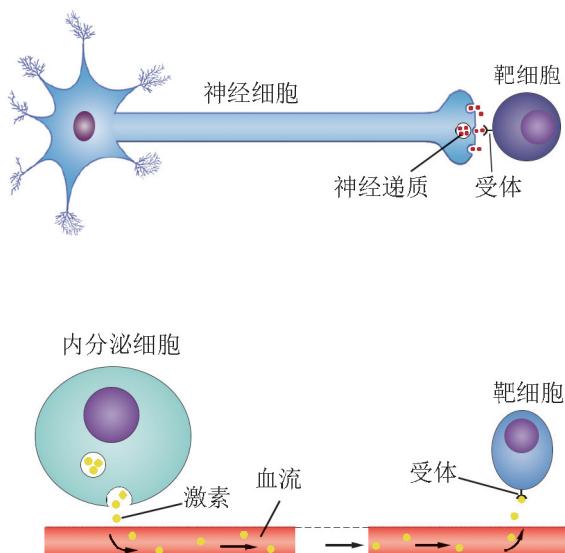


图3-3 细胞间信号分子传递示意图

受体接受信号分子后，激发细胞内特定的生命活动，对信号作出应答。若信号传递受阻，则可能导致疾病。例如，胰岛 $\beta$ 细胞分泌的胰岛素通过血液循环到达肝细胞，被肝细胞质膜上的胰岛素受体识别，可促进肝细胞吸收葡萄糖，从而降低血糖浓度。如果胰岛素受体结构发生改变，不能识别胰岛素，影响肝细胞对葡萄糖的吸收，会导致血糖控制失调，可能会引发Ⅱ型糖尿病。

不同种类的细胞质膜表面的糖蛋白、糖脂的种类不同，具有特异性。细胞可通过糖蛋白和糖脂等进行细胞之间的信息识别。例如，在炎症反应过程中，中性粒细胞（一种白细胞）在炎症部位的聚集过程与此相关。在细菌感染初期，感染处的血管内皮细胞在质膜表面形成特殊的糖蛋白（称为凝集素），可被白细胞表面的糖蛋白和糖脂特异性识别，引起白细胞在此处聚集并穿过血管壁进入感染部位，从而杀灭细菌（图 3-4）。

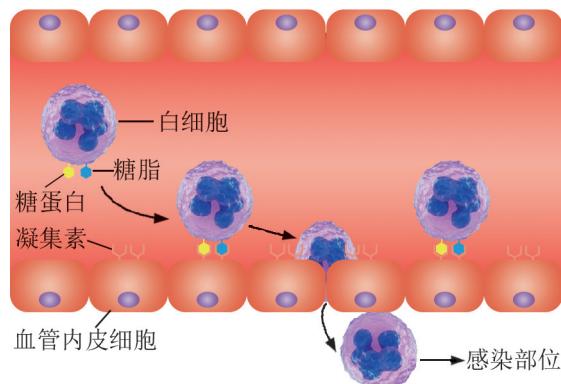


图 3-4 白细胞识别并进入感染部位示意图



### 自我评价

1. 在生命起源的过程中，膜的出现至关重要。它将生命物质与外界环境分隔开，产生了原始的细胞，并成为相对独立的生命系统。请归纳细胞质膜的功能，简述其与结构的关系。
2. 虽然植物细胞最外层有细胞壁，但细胞质膜还是被认定为细胞的边界，你是否认同这一观点？为什么？
3. 请举例说明，细胞质膜在细胞间信息交流过程中起怎样的作用？植物细胞间是否还有其他交流方式？请查阅资料并简要说明。
4. 随着技术的发展和研究的深入，人们对细胞质膜结构与功能的认识不断趋于完善和合理，并提出了相应的结构模型和假说。请查阅资料，了解科学家对细胞质膜的成分、结构和功能的科学探索历程，并谈谈你对这一探索历程的体会或认识。

## 第2节 细胞各部分结构既分工又合作



细胞是生命活动的基本单位，复杂的生命活动需要有相应的结构来支撑。通过电子显微镜，我们可以更清晰地看到细胞内的不同结构。这些结构具有什么功能？各部分结构之间是如何合作完成生命活动的？



### 动植物细胞的结构

细胞中存在着复杂的结构，担负着物质运输、合成和分解，能量转换以及信息传递等生命活动。你所知道细胞的结构有哪些？查阅资料，了解它们的功能，将结果汇总在表3-2中。

表3-2 动植物细胞的结构

动物细胞		植物细胞	
结构	功能	结构	功能

#### 思考与讨论：

- 通过表中信息，结合图3-5和图3-6，比较动植物细胞结构的异同。
- 你填写的细胞结构之间是否有关联？



#### 学习目标

- 结合电镜照片，概述动植物细胞内部结构特点及其主要功能。
- 举例说明细胞各部分结构能分工合作，共同执行细胞的各项生命活动。
- 通过显微镜观察，感性认识细胞质是流动的。
- 搭建并展示细胞的结构模型，解释各部分结构的分工合作。

#### 概念聚焦

- 细胞内有多个相对独立的结构，各结构有独特的功能。
- 遗传信息主要储存在细胞核中。
- 细胞的生命活动由各部分结构相互合作，共同完成。

## 1. 细胞内具有多种相对独立的结构

在细胞质基质中分布着许多相对独立、具有特定功能的结构——**细胞器** (organelle)。利用电子显微镜, 我们能观察到的细胞的细微和精妙结构, 属于亚显微结构 (图 3-5, 图 3-6)。

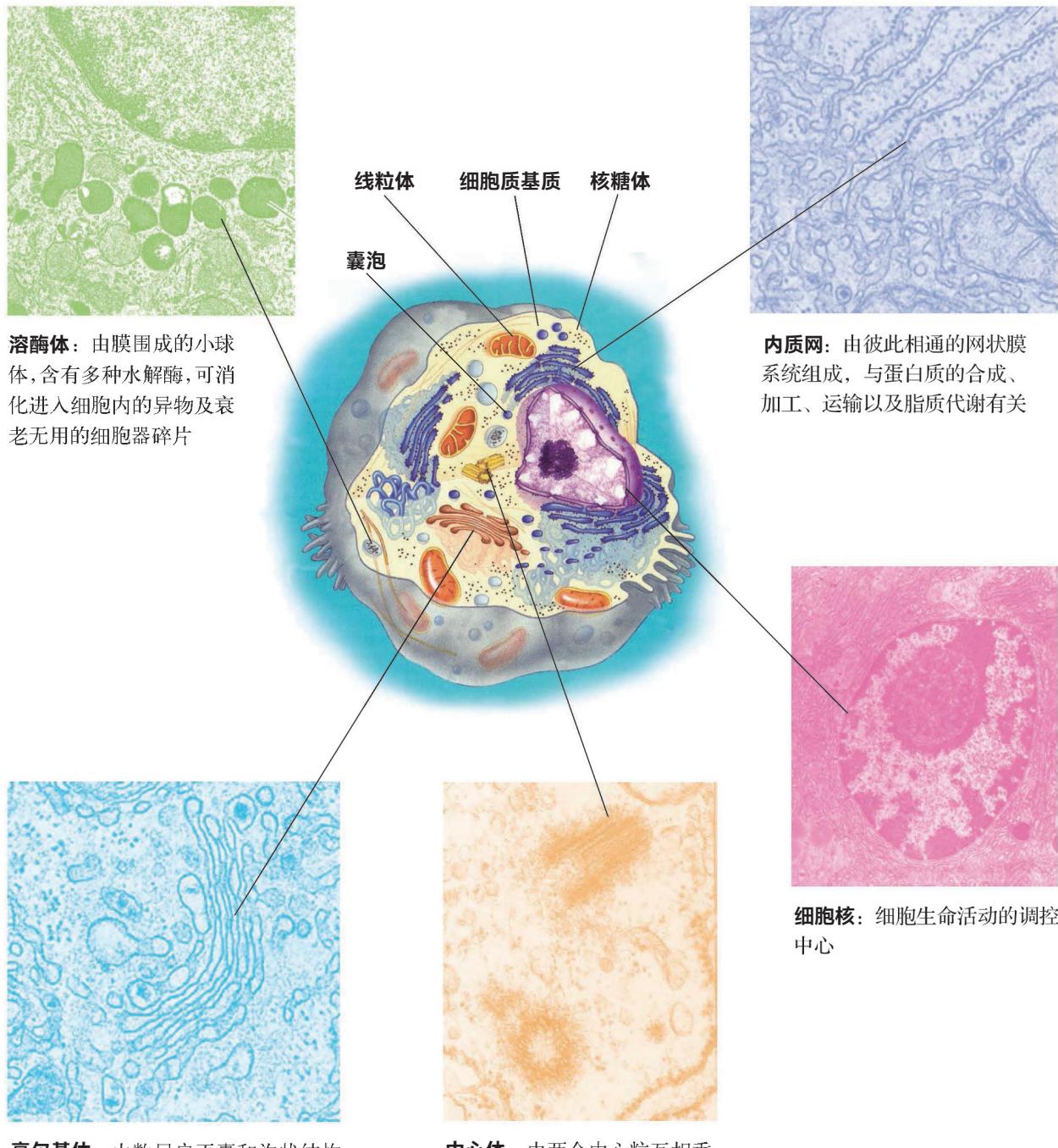


图 3-5 动物细胞亚显微结构模型及电镜照片

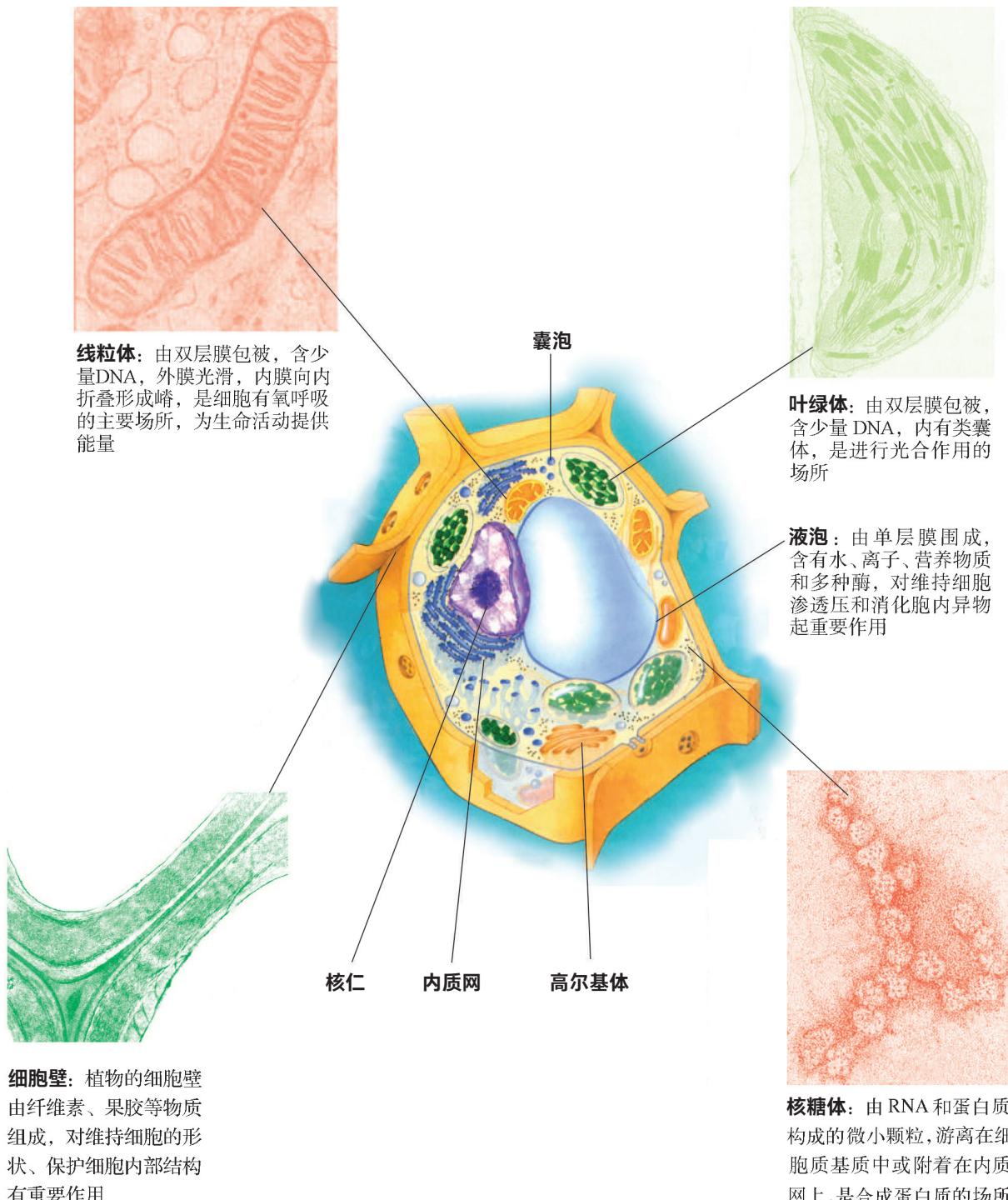


图 3-6 植物细胞亚显微结构模型及电镜照片

通过比较可以发现, 各种细胞器具有独特的结构, 执行特定的功能。植物细胞有细胞壁、叶绿体和液泡; 动物细胞有中心体, 而高等植物细胞没有中心体。

## 学习提示

内膜系统将细胞质区域化，提高了细胞生理生化反应的效率。

细胞内大多数结构都由膜包围，膜的基本结构与细胞质膜类似，统称为生物膜。内质网、高尔基体、溶酶体等构成的内膜系统，将细胞质分隔成许多功能化区域，同时也为多种酶提供附着位点，使各种代谢反应能够有序地进行。其中，内质网呈网状排列在细胞内，通常占细胞体积的10%以上，是蛋白质和脂质合成、加工的场所，类似“生产车间”。高尔基体由多个扁平的膜囊堆叠在一起组成，多种蛋白质在此加工、分类和包装，类似“加工包装车间”。溶酶体是由单层膜构成的囊泡，内含多种水解酶，可进行细胞内的消化作用。组成内膜系统的细胞器，在功能上相互联系，在结构上可以相互转化。

细胞质中还分布有由蛋白质纤维（微管、微丝等）构成的网络状框架结构，称为细胞骨架（图3-7）。细胞骨架不仅支撑细胞的形态，维持细胞内各部分的空间格局，而且还在细胞内的物质运输中起重要作用，各类细胞器和小囊泡可沿着细胞骨架进行移动。

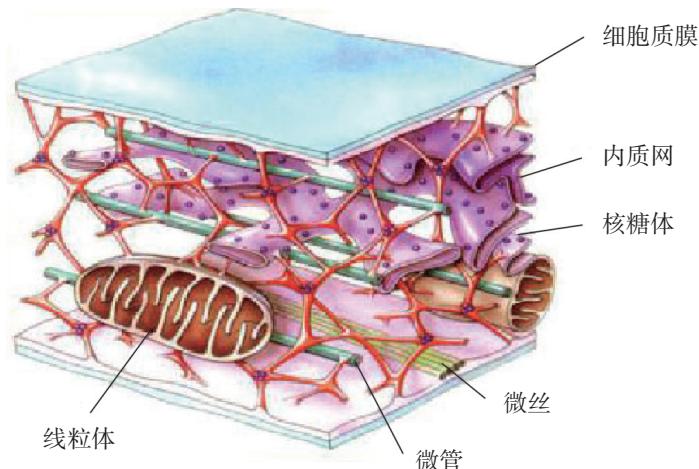


图3-7 细胞骨架结构模式图



## 广角镜

## 差速离心法分离细胞各种结构

获得纯净的细胞器是细胞研究的重要条件。根据细胞不同组分的密度差异，用超速离心机可以将其分离。组分越大、密度越高，越容易沉淀到底部；而较小、密度较低的组分仍保留在上层（图3-8）。

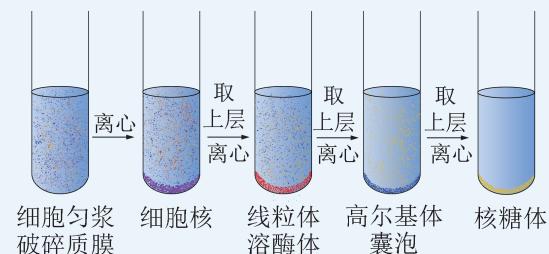


图3-8 细胞各组分的离心示意图



## 探究·实验

### 3-1 观察叶绿体和细胞质流动

细胞质是静止不动的吗？

#### 实验目标：

- 学会制作临时装片，熟练使用显微镜。
- 在高倍镜下观察叶绿体的形态和分布。
- 在高倍镜下观察细胞质的流动。

#### 实验原理：

叶绿体会随着细胞质的流动而运动，观察细胞质的流动可以用叶绿体的运动作为标志。

#### 材料器具：

新鲜的黑藻（或葫芦藓），0.2 mol/L 丙二酸钠溶液，冰水，显微镜，载玻片，盖玻片，镊子，滴管，培养皿，白炽灯，吸水纸等。

#### 实验步骤：

- 将黑藻置于盛有水的烧杯中，放在较强的光照下培养15~20 min，或者放在25 °C的温水中，备用。
- 用镊子摘取新鲜的黑藻嫩叶。
- 把叶片放在滴有一滴水的载玻片上，盖上盖玻片，制成临时装片（图3-9）。
- 先用低倍镜找到叶片细胞中的叶绿体，然后用高倍镜观察叶绿体的形态和分布（图3-10），以及是否在运动。以叶绿体的运动作为标志，判断细胞质的流动方向。
- 绘出所观察到的黑藻叶片细胞形态结构图，并标示出细胞质的流动方向。

#### 结果分析：

- 为什么要先将黑藻放在较强的光照下培养15~20 min，或者放在25 °C的温水中？

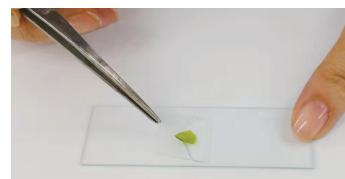


图3-9 临时装片制作



图3-10 高倍镜下的叶绿体（40×）

2. 你观察到的细胞质流动方向是怎样的？与细胞质实际流动方向是否一致？
3. 活细胞的细胞质处于不断流动状态，你觉得这对活细胞有什么意义？
4. 与同学交流实验中遇到的问题以及解决方法。

► **拓展探究：**

丙二酸钠可抑制细胞能量的产生，分别用0.2 mol/L丙二酸钠溶液和冰水引流，观察到怎样的现象？

## 2. 遗传信息主要储存在细胞核中

细胞核通常为球形，直径为一微米到几百微米不等。典型的细胞核的体积为细胞体积的5%~10%，但在某些情况下，其体积会占到细胞体积的80%。一个真核细胞一般只有一个细胞核。有些特殊的细胞含有多个细胞核，如骨骼肌细胞含有几十甚至几百个细胞核；而哺乳动物成熟红细胞和植物的筛管细胞则没有细胞核。电子显微镜下可以观察到，典型的细胞核是由双层核膜包被，核膜上的小孔称为核孔。细胞核内有核仁、染色质和核基质等结构（图3-11）。

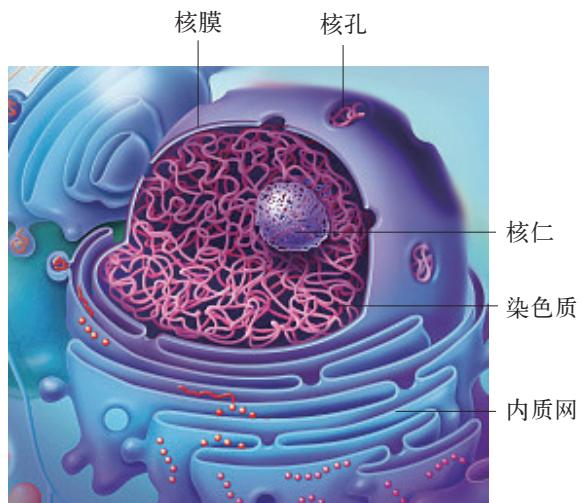


图3-11 细胞核及核膜外连接的粗面内质网模式图

核仁为一个或数个圆球状结构，与核糖体形成有关。染色质呈细丝状，主要由DNA和蛋白质组成，可被苏木精、洋红等碱性染料染成深色。在细胞分裂时，染色质经过高度螺旋形成粗短的染色体（详见第5章）。

细胞的遗传信息主要储存在细胞核中。从蛋白质合成过程可以知道，mRNA（信使RNA）携带来自DNA的遗传信息从细胞核进入细胞质，在核糖体上指导合成相应的蛋白质（图3-12）。关于遗传信息传递和蛋白质合成的详细过程将在《遗传与进化》分册中讨论。

### 学习提示

蛋白质合成旺盛、生长活跃的细胞，其核仁较大。

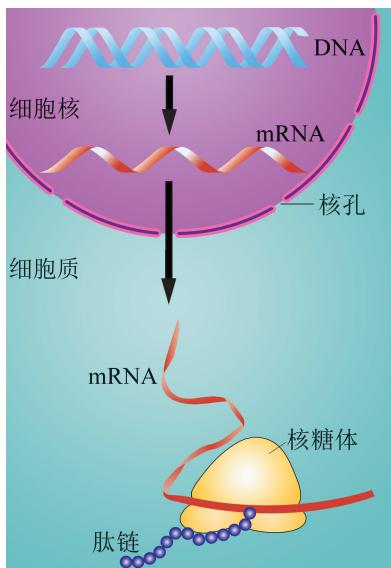


图3-12 核酸指导蛋白质的合成过程示意图

### 3. 细胞生命活动由各结构合作完成

细胞各结构既分工明确，又相互合作，共同完成细胞的各项生命活动。胰腺细胞合成和分泌消化酶的过程就是一个典型案例。消化酶是一类可水解蛋白质等物质的酶，可由胰腺细胞合成，分泌到消化道中发挥作用。科学家在豚鼠胰腺泡细胞中注射被放射性同位素<sup>3</sup>H标记的氨基酸，3 min后，被标记的氨基酸出现在附着有核糖体的内质网中；17 min后，出现在高尔基体中；117 min后，出现在靠近细胞质膜内侧的囊泡中，其中部分出现在释放到细胞外的分泌物中。

科学家进一步研究明确了分泌蛋白从合成到分泌的整个过

## 学习提示

胰腺中分泌酶的细胞有数以百计的线粒体和数百万核糖体。

程（图3-13）。内质网上的核糖体以氨基酸为原料，在mRNA指导下合成一段肽链。随后，这段肽链转移到内质网内加工成较为成熟的蛋白质。然后，内质网膜鼓起、出芽形成囊泡，包裹着要运输的蛋白质，离开内质网到达高尔基体。囊泡与高尔基体膜融合后，成为高尔基体的一部分（类似于小泡并入大的囊泡）；其中的蛋白质进入高尔基体，在高尔基体中进一步修饰后，进入新的运输囊泡。囊泡沿细胞骨架移动到细胞质膜，与质膜融合，并将蛋白质分泌到细胞外。整个过程中需要的能量主要由线粒体提供。

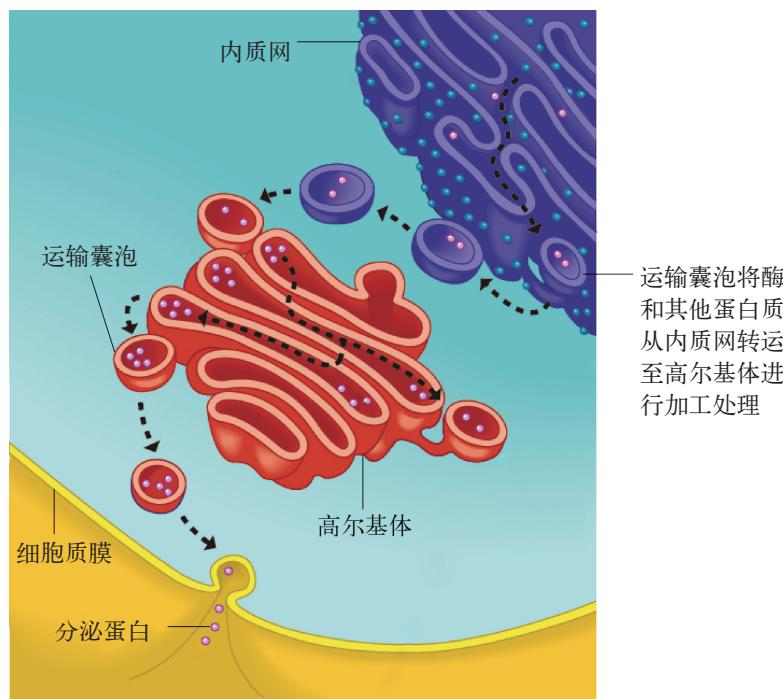


图3-13 分泌蛋白从合成到分泌的过程示意图

## 广角镜

## 同位素标记法

质子数相同而中子数不同的一类原子称为同位素，它们的化学性质几乎相同，但质量数不同，且放射性等物理性质有所差异。同位素的表示可以在该元素符号的左上角注明质量数，例如<sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C、<sup>15</sup>N、<sup>18</sup>O，其中，<sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C是放射性同位素，<sup>15</sup>N、<sup>18</sup>O是稳定同位素。人们可通过检测放射性或质量的方法，追踪同位素标记的化合物，从而揭示化学反应详细过程。这种科学研究方法叫做同位素标记法或同位素示踪法。



## 探究·建模

### 3-2 制作真核细胞的结构模型

模型可以直观地反映客观事物的结构，建模是对知识和概念进行内化和重建的重要过程。

#### ▶ 建模目标：

学会制作真核细胞结构模型，展示并交流对真核细胞结构和功能的认识。

#### ▶ 建模要求：

1. 体验建构模型的过程。先将微观的结构或过程简化，把握其主要特征，再将这些特征形象化、具体化。
2. 呈现的真核细胞结构准确，能体现相关结构的主要特征以及它们之间的联系，所模拟的过程符合科学事实。

#### ▶ 建模过程：

##### 1. 选择细胞

小组成员查找并比较几种生物细胞的结构和功能，如小肠上皮细胞、肝细胞、植物叶肉细胞等。选择想要建模的细胞，归纳其特征。

##### 2. 制定方案

讨论模型要表达的基本内容和特色内容（如某个典型的生理过程等），确定制作方案，明确具体分工。

##### 3. 选择材料

根据小组制作模型的种类（电脑模型、实物模型）和规格等，确定材料用具。

##### 4. 建构模型

按照分工制作各部分结构，然后组合在一起完成细胞的三维模型。注意细胞与细胞器之间、不同细胞器之间的大小比例，以及相应的空间位置关系等。

##### 5. 展示交流

分组展示模型，从科学性、创造性等方面介绍模型。小组间相互交流和评价。



#### 广角镜

##### 3D 打印细胞模型

利用计算机软件绘制细胞模型，结合3D打印技术，并选择合适的材料，可打印相应细胞的三维模型，为构建复杂仿生结构研究提供支持。

## ▶ 模型举例：

可以用不同颜色的橡皮泥分别表示核糖体、溶酶体、内质网、线粒体、高尔基体、细胞核等，并用计算机计算、设计各种结构的大小比例，根据比例进行制作和组装。再用琼脂模拟细胞质基质，将各种“细胞器”固定于琼脂中。也可以用3D打印或一些废旧材料进行模型制作。



## 生物学与社会

### 线粒体与疾病

线粒体是细胞的能量工厂，为我们提供了生命活动所需的90%以上的能量。细胞中糖、脂肪和氨基酸的有氧分解最终都在线粒体中完成。除了产生能量外，线粒体还参与维持细胞内 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度的动态平衡、细胞基质代谢、细胞凋亡等多种细胞活动。

据测算，机体95%的氧自由基来自线粒体内的化学反应。正常情况下，线粒体产生的氧自由基可被线粒体中的超氧化物歧化酶清除。在机体衰老等情况下，这种酶的活性下降，会导致氧自由基积累。氧自由基的过度积累会使线粒体DNA损伤或突变，造成线粒体基因编码的蛋白质缺陷，引发线粒体病。

目前已知与线粒体异常相关的疾病有100多种。例如，线粒体异常引起的氧自由基增加、无氧呼吸增加等可诱发肿瘤；线粒体损伤可致使细胞内游离脂肪酸、脂肪代谢中间产物堆积，降低脂肪细胞对胰岛素的敏感性，还可抑制胰岛素信号转导而降低靶组织对胰岛素的敏感性，最终导致Ⅱ型糖尿病的发生；研究还发现，帕金森综合征等神经退行性疾病患者神经元的线粒体功能异常。

以线粒体为靶标的药物设计及其机制研究已成为热门研究领域之一，在线粒体中找到合适的靶点展开靶向治疗研究，对明确线粒体相关疾病的发病机制并探索其预防、治疗措施具有重要意义。



### 自我评价

1. 以植物叶肉细胞为例，归纳细胞内各结构的名称、特点和功能。
2. 胰岛素属于蛋白质类激素，由人体胰岛 $\beta$ 细胞合成和分泌。结合图3-13，描述细胞各结构之间是如何分工合作完成这一过程的。
3. 请以“细胞是一个统一的整体”为主题，为你制作的细胞模型写一份说明。



## 前沿视窗

### 肿瘤的靶向治疗

随着社会和科技的发展，应用靶向技术向肿瘤区域精确递送药物的“靶向治疗”和控制肿瘤生长或代谢的“靶点治疗”成为肿瘤研究的热点。根据靶向部位的不同，又可以将肿瘤靶向治疗分为两大类，即肿瘤细胞靶向治疗和肿瘤血管靶向治疗（图3-14）。

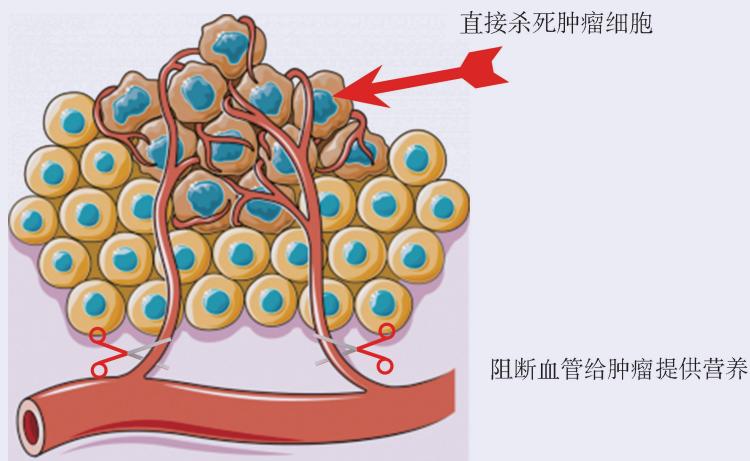


图3-14 肿瘤靶向治疗示意图

肿瘤细胞靶向治疗是利用肿瘤细胞表面的特异性受体作为靶向，药物与肿瘤细胞特异性结合，抑制肿瘤细胞生长增殖，促使其死亡。例如，细胞表面的表皮生长因子受体（EGFR）接受信号后介导细胞的生长、增殖和分化等生理过程。与正常细胞相比，多种肿瘤细胞表面的EGFR数量极高。针对EGFR靶向的治疗药物（如小分子化合物、单克隆抗体等）能阻断EGFR与信号分子结合，从而抑制肿瘤细胞的增殖并诱导其死亡。目前EGFR的靶向药物在肺癌、结直肠癌等治疗中广泛应用。

肿瘤血管靶向治疗则是利用肿瘤区域新生毛细血管内皮细胞表面的特异性受体起作用。针对肿瘤细胞的药物要到达肿瘤细胞靶区，需要通过血管内皮细胞屏障进入肿瘤组织环境，这一过程是相对缓慢的。针对血管靶向的药物则有很大的优势，在给药后只需积聚在血管靶标部位，抑制肿瘤组织的血管生成，阻断机体通过血液对肿瘤组织提供营养物质，以达到“饿死”肿瘤细胞的目的。同时也阻断肿瘤细胞通过血管进行转移的途径。血管表面的血管内皮生长因子受体（VEGFR）在特异性信号分子血管内皮生长因子（VEGF）的刺激下，会促进血管内皮细胞增殖和新生血管的形成。在针对恶性肿瘤转移的治疗中，多采用针对VEGF/VEGFR的靶向药物，以阻断肿瘤细胞通过血管转移。

肿瘤细胞的靶向治疗能使药物更特异性地针对目标，在提高药物治疗效果的同时减少了对正常细胞的毒副作用。如果我们能更多地了解肿瘤细胞的结构特征，发现更多的特异性靶点，例如膜蛋白、细胞增殖相关因子等，便能研发出更多的治疗药物，加快解决肿瘤危害人类健康的难题。

# 本章回顾



## 本章小结

细胞由质膜包裹，细胞质膜主要由磷脂双分子层和蛋白质组成。细胞质膜的功能与其结构组成密切相关：磷脂双分子层是质膜的基本骨架，形成疏水屏障，将细胞与其生活环境分开，对维持细胞内部稳定性具有重要作用；膜蛋白能控制物质进出细胞，并参与细胞信息交流。

真核细胞内有多种相对独立的结构，其中，细胞核内储存的遗传信息控制着细胞的生命活动；核糖体、内质网、高尔基体、溶酶体等结构参与细胞内物质的运输、合成与分解；线粒体为生命活动提供能量；叶绿体是植物细胞光合作用场所。研究证明，这些结构之间相互联系、协调一致，完成细胞的各项生命活动。

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，体现了生命整体性和系统性。通过显微镜观察叶绿体和细胞基质的流动，加深对“活”细胞的认识；通过团队合作构建细胞模型，从亚显微水平理解细胞结构与功能的统一，了解生物体部分与整体的统一，有助于科学自然观的形成。细胞质膜结构与特性的研究历史表明，科学理论的提出是基于一定的证据和事实，并随着方法和技术的进步在不断发展。



## 学业评价

1. 质膜是细胞的边界，薄薄的质膜既将细胞与周边环境分开，又保证了细胞能与外界进行物质交换和信息交流，如此重要的功能离不开其精妙的结构。图3-15是目前比较公认的一种细胞质膜结构模型示意图，请据图回答下列问题。

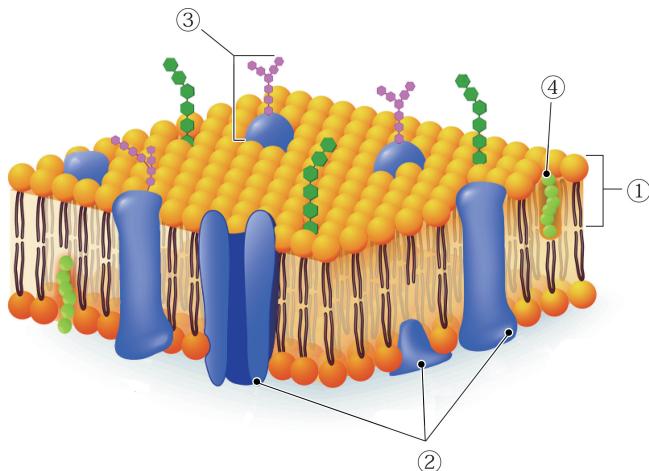


图3-15 细胞质膜结构示意图

- (1) 图中的数字分别表示某一种物质分子，请写出它们的名称：①\_\_\_\_\_，②\_\_\_\_\_，③\_\_\_\_\_，④\_\_\_\_\_。其中，由①组成的结构称为\_\_\_\_\_。
- (2) 结合细胞质膜的结构模型图分析其结构与功能关系，下列描述正确的是( )。(多选)
- A. 大分子、颗粒物及亲水的分子不能直接透过质膜中①组成的结构
  - B. ②与细胞质膜的物质交换有关，因此在质膜中均匀分布
  - C. 不同生物细胞质膜会有差异，但是④的种类是相同的
  - D. ③与细胞信息交流有关，通常分布在质膜外表面
- (3) 科学家将红细胞质膜中的脂质提取出来铺展在空气与水的界面上，发现其形成的薄膜面积约是原来细胞表面积的2倍。你认为这个结果可以为图3-15模型中哪一项结构提供证据？从分子组成角度分析此结构形成的原因。

2. 美国科学家罗斯曼 (J. E. Rothman)、谢克曼 (R. W. Schekman) 以及德国科学家聚德霍夫 (T. C. Südhof) 因发现了囊泡准确转运物质的调控机制而共同获得了 2013 年诺贝尔生理学或医学奖。囊泡在细胞内主要是指由磷脂分子有序组成的密闭双分子层的球形或椭球形结构。细胞质不同部位间的物质运输转移主要通过囊泡进行, 如图 3-16 中的各种小球形结构。

(1) 写出下列序号所标注的细胞结构名称。

①\_\_\_\_\_ ②\_\_\_\_\_  
③\_\_\_\_\_ ④\_\_\_\_\_

(2) 囊泡是一种细胞结构, 但由于其结构不固定, 因而不能称之为细胞器。图中所示细胞中, 能产生囊泡的结构是 ( )。(多选)

A. 细胞核 B. 核糖体 C. 内质网 D. 高尔基体

(3) 将囊泡转运过程中涉及的相关细胞结构及功能填入下表。

细胞结构	功能

(4) 请用文字和箭头的形式, 表示细胞质不同部位间的物质运输转移过程。  
(5) 罗斯曼等发现囊泡能将物质准确运输到目的位置并“卸货”, 是由于囊泡膜表面有特殊的“识别代码”。请推测这种“识别代码”的化学本质是什么? 囊泡是怎样实现精准识别, 从而将物质准确运输到目的位置的?

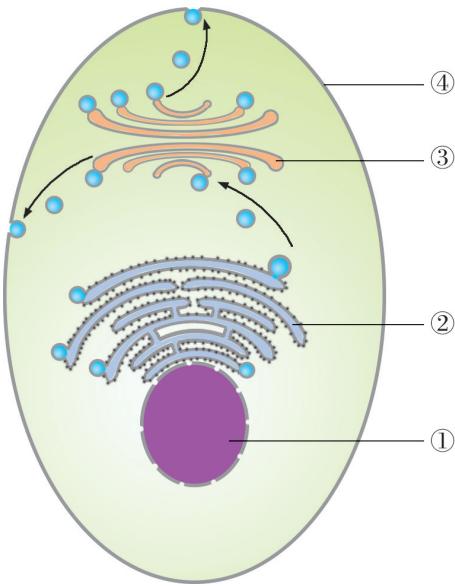
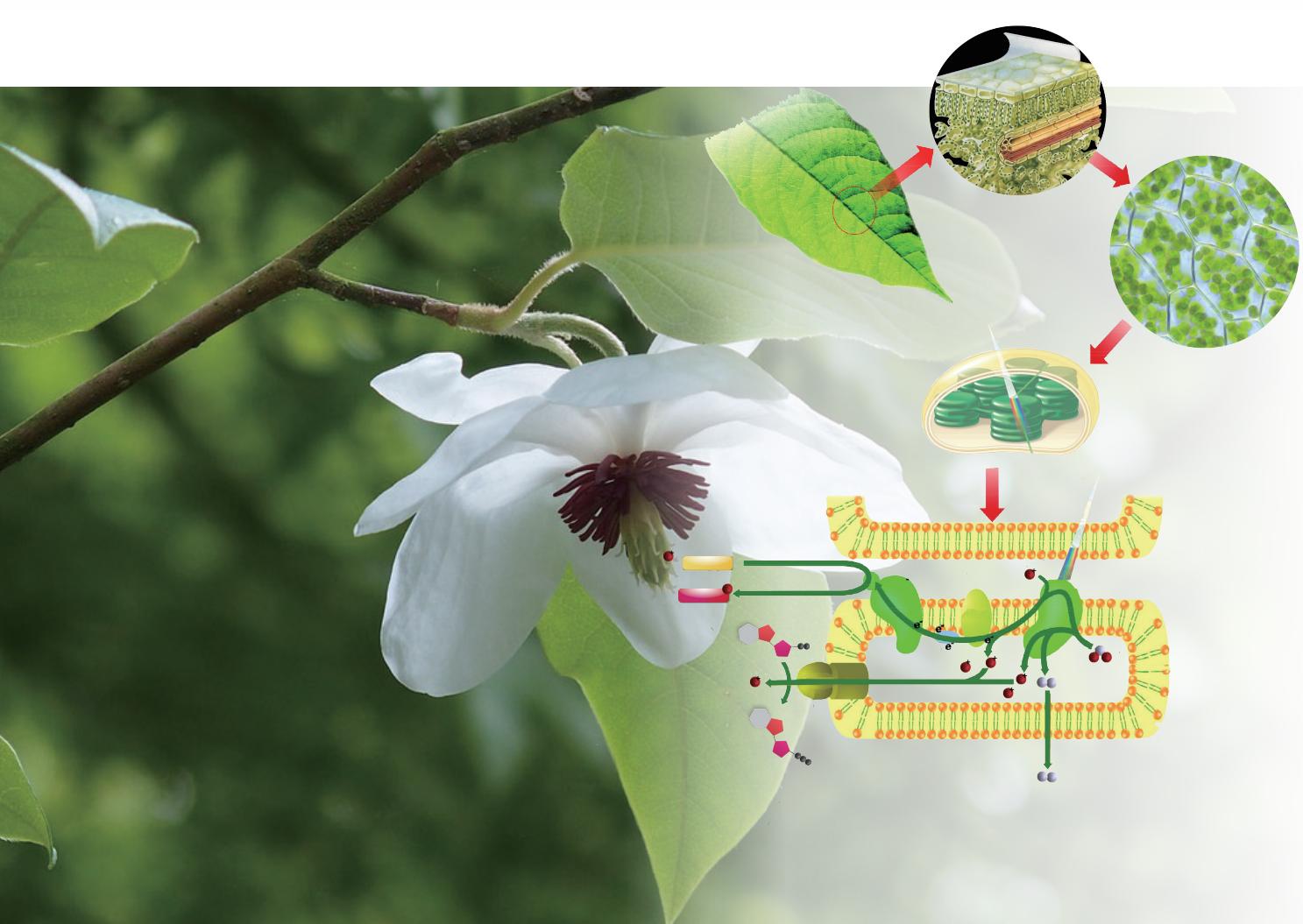


图 3-16 某种分泌细胞的结构和功能示意图

# 第4章 细胞的代谢

我们在体育课上快速跑完 800 m 后，会气喘吁吁、满头大汗；小麦种子萌发时，容器中的  $\text{CO}_2$  浓度和温度都会升高；幼苗生长过程中需要阳光……生物的运动、生长需要物质和能量。从细胞代谢的角度，如何解释这些生理现象？维持细胞代谢的物质是如何进出细胞的？生命活动可利用的能量是如何转化来的？



# 第1节

## 细胞通过质膜与外界进行物质交换



### 学习目标

- 从结构与功能相适应的角度，解释细胞质膜具有选择透过性。
- 举例说明被动运输、主动运输、胞吞和胞吐的特点和区别。
- 学会使用显微镜观察细胞质壁分离现象，探究外界溶液对植物细胞质壁分离和复原的影响。

### 概念聚焦

- 细胞质膜具有选择透过性。
- 被动运输和主动运输是小分子物质透过细胞质膜的方式。
- 大分子物质可以通过胞吞、胞吐的方式进出细胞。



一份营养早餐通常含有蛋白质、糖类、脂质等营养成分。这些营养物质经过口腔的咀嚼和胃、肠的消化，分解为氨基酸、葡萄糖和脂肪酸等小分子后，由小肠上皮细胞吸收。食物为何需要被消化分解成小分子？这与细胞质膜的结构有何关系？

### 细胞质膜透性的模拟实验

透析袋是一种半透膜，我们可以用透析袋模拟细胞质膜，直观认识其对物质的选择透过性。

取两个15 cm长的透析袋，向透析袋A中加入5%可溶性淀粉溶液至距顶端5 cm处。向透析袋B中加入等量蒸馏水。在流水中冲洗除去透析袋外表面的淀粉。

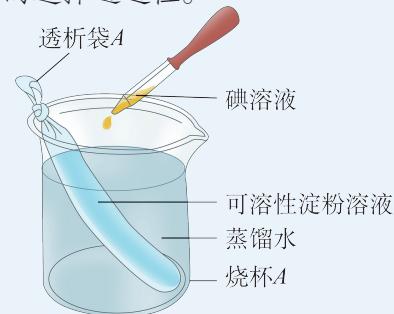


图4-1 模拟实验示意图

将A、B透析袋分别放在盛有蒸馏水的烧杯中，在水中加足量的碘溶液至水呈棕黄色（图4-1）。静置10 min，预测并观察记录两个烧杯及透析袋内溶液的颜色变化情况（表4-1）。

表4-1 结果记录

结果	颜色变化			
	烧杯A	透析袋A	烧杯B	透析袋B
预测	棕黄→	乳白→	棕黄→	无色→
实际	棕黄→	乳白→	棕黄→	无色→

### 思考与讨论：

- 你的预测和实际结果是否相同？请对结果加以说明。
- 根据实验结果，尝试解释细胞质膜具有选择透过性。

## 1. 细胞质膜具有选择透过性

与透析袋类似，细胞质膜不允许大分子直接透过，而只允许一些小分子透过，这有效保障了细胞结构完整性和生命活动稳定性。那么，哪些小分子可以透过细胞质膜呢？

通过人工合成磷脂双分子层进行物质透过性实验，结果显示， $N_2$ 、 $O_2$ 、 $CO_2$ 等疏水性小分子物质容易从磷脂分子间透过；乙醇、甘油等亲水性小分子以及水也可以透过；氨基酸、葡萄糖等亲水性有机分子和离子均被阻挡（图 4-2）。这一实验表明，磷脂双分子层对物质的通透性不同，疏水性小分子物质能通过。通常，葡萄糖、氨基酸等亲水性有机分子以及离子则需要借助质膜上的转运蛋白才能穿过细胞质膜。现在你能解释为什么食物中的大分子营养物质需要经消化分解后才能被细胞吸收了吗？

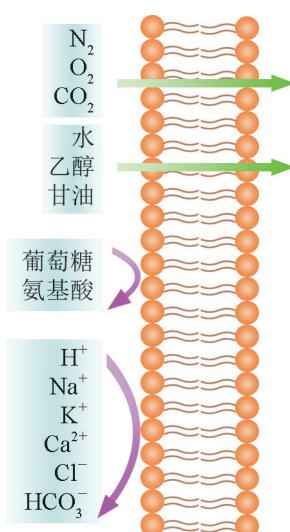


图 4-2 人工磷脂双分子层对不同分子透过性示意图

### 学习提示

细胞质膜的结构特点决定其具有选择透过性。

### 广角镜

#### 扩散

取少量紫红色的高锰酸钾颗粒投放到盛有清水的玻璃杯中，会观察到紫红色的高锰酸钾慢慢地向周边散开（图 4-3）。物质（高锰酸钾）以自身分子运动为动力，从高浓度区域向低浓度区域移动，这种移动方式称为扩散。



图 4-3 高锰酸钾在水中扩散

## 2. 小分子物质经被动或主动运输进出细胞

小分子物质通常是以扩散的方式透过细胞质膜。细胞质膜两侧的小分子物质由高浓度向低浓度的一侧扩散。 $O_2$ 、 $CO_2$ 以及乙醇等以自由扩散的方式直接透过细胞质膜。葡萄糖、氨基酸以及一些离子等，借助质膜上的转运蛋白顺浓度梯度运输，这种运输方式叫做协助扩散（图 4-4）。转运蛋白具有特异

性，如转运葡萄糖的蛋白质不会参与氨基酸的转运，并且每种转运蛋白在质膜上的数量有限，因此协助扩散速率会达到饱和。自由扩散和协助扩散都不需要细胞提供能量，统称为**被动运输** (passive transport)。

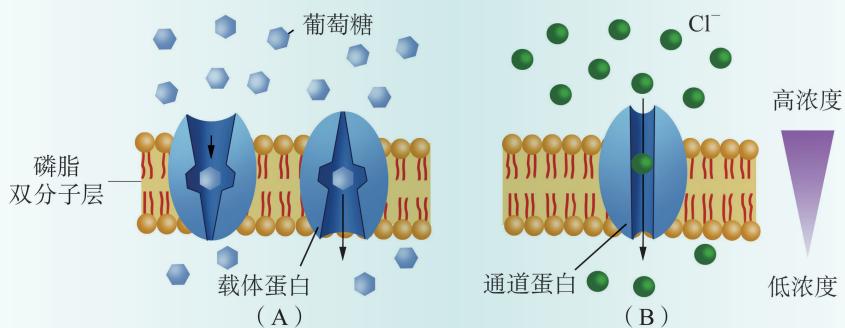


图 4-4 协助扩散示意图  
(载体蛋白和通道蛋白是转运蛋白的两种形式)

生命活动离不开水，水分子不仅可以通过膜上磷脂分子间的空隙进出细胞，也可以借助细胞质膜上的水通道蛋白更加迅速地通过。水分子也是以被动运输的方式透过质膜，从溶液浓度低的一侧（水分子多）渗入溶液浓度高的一侧（水分子少），这一现象称为渗透。

为满足正常生理活动的需要，细胞也会逆浓度梯度从细胞外吸收或向细胞外排出一些物质。例如，典型哺乳动物细胞胞外  $\text{Na}^+$  浓度比胞内高，而  $\text{K}^+$  浓度比胞内低，细胞需要不断地逆浓度梯度吸收  $\text{K}^+$ 、排出  $\text{Na}^+$ ，以维持正常的生命活动。物质逆浓度梯度进出细胞需借助质膜上的载体蛋白，还需要细胞提供能量（图 4-5），这种方式称为**主动运输** (active transport)。

### 学习提示

细胞不断地逆浓度梯度向外排  $\text{Na}^+$ ，那么，胞内的  $\text{Na}^+$  来自何处？

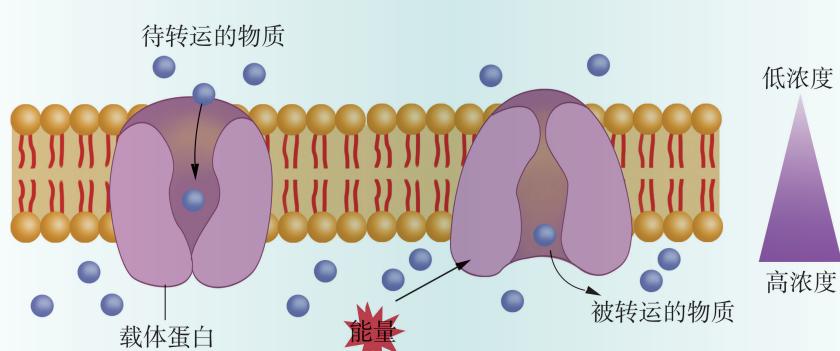


图 4-5 主动运输示意图

### 3. 大分子物质通过胞吞和胞吐进出细胞

细胞还需要摄取或排出一些大分子或颗粒物。例如, 变形虫等单细胞生物从外界环境中摄取食物, 白细胞吞噬入侵的细菌和病毒, 细胞从血液中吸收脂蛋白等, 都是通过**胞吞**(endocytosis)的方式完成。胞吞过程如图 4-6A 所示: 大分子或颗粒物与质膜上的受体结合, 引起质膜内陷, 将大分子或颗粒物包围起来形成小囊泡; 随后小囊泡从细胞质膜上脱离下来进入细胞内部。在细胞内, 小囊泡通常会与溶酶体融合, 然后对被吞噬的物质进行分解。

**胞吐**(exocytosis)的过程与胞吞相反, 细胞将需要分泌、排出的大分子或颗粒物, 用膜包裹形成小囊泡, 运输到细胞质膜内侧后, 与细胞质膜融合, 将内含物排出细胞(图 4-6B)。分泌细胞都是以胞吐的方式排出分泌物的, 如胰腺细胞通过胞吐方式将合成的胰蛋白酶原分泌出细胞, 排入十二指肠起作用。

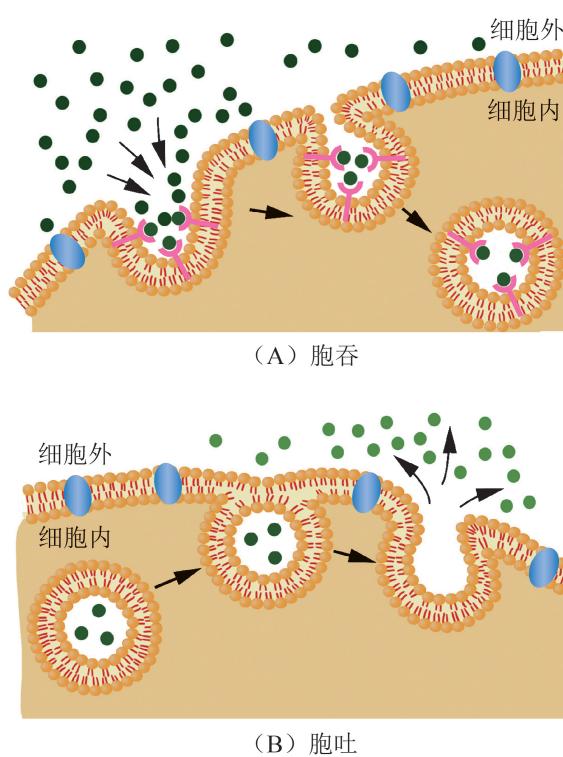


图 4-6 大分子物质进出细胞示意图



## 探究·实验

### 4-1 观察外界溶液对植物细胞质壁分离和复原的影响

植物细胞与外界环境中的物质交换和水分平衡有何规律?

#### ► 实验目标:

观察外界溶液对植物细胞质壁分离和复原的影响。

#### ► 实验原理:

当植物细胞失去水分时,液泡体积减小,原生质体(植物细胞脱去细胞壁的部分)变形,而细胞壁伸缩性较弱,部分区域的细胞质膜与细胞壁脱离,即发生质壁分离(图4-7)。原生质体的体积变化可以作为判断植物细胞内水分变化的标志。

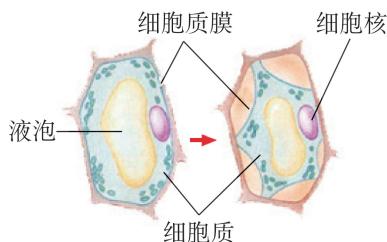


图4-7 质壁分离示意图

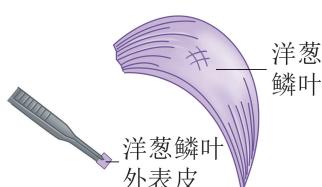


图4-8 获取洋葱鳞片叶外表皮示意图

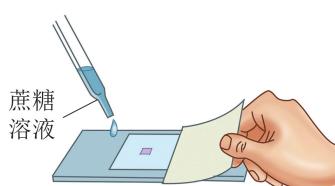


图4-9 引流示意图

#### ► 材料器具:

紫色的洋葱鳞叶、30%蔗糖溶液、蒸馏水、显微镜、目镜测微尺、刀片、镊子、载玻片、盖玻片、滴管、吸水纸等。

#### ► 实验步骤:

##### 1. 30%蔗糖溶液对植物细胞质壁分离的影响

(1) 取一片紫色的洋葱鳞叶,用刀片在鳞叶外表皮上划出一个小方块( $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ ),再用镊子撕下该部分表皮(图4-8),放在载玻片中央的清水滴里,展平并盖上盖玻片。

(2) 先用低倍镜再用高倍镜,观察洋葱外表皮细胞的正常状态、细胞中央液泡的大小以及细胞核的位置。拍摄记录观察结果(取3个视野)。

(3) 在盖玻片的一侧滴加1~2滴30%蔗糖溶液,在盖玻片的对侧用吸水纸引流(图4-9)。重复几次,使蔗糖溶液渗入盖玻片下方,浸润洋葱外表皮。

(4) 每隔1min用低倍镜观察洋葱外表皮细胞的变化,注意液泡体积和颜色变化,以及是否出现质壁分离现象。拍摄记录观察结果(取3个视野)。8~10min后停止实验。

##### 2. 蒸馏水对质壁分离细胞的影响

(1) 在已发生质壁分离样品的盖玻片一侧滴加蒸馏水,重复引流操作,使样品浸润在蒸馏水中。

(2) 每隔 1 min 观察细胞复原情况，并拍摄记录（取 3 个视野）。

### 3. 数据处理

(1) 选取细胞长宽比为 3 : 1 到 2 : 1 的质壁分离细胞 3 个，用测微尺测量其细胞长度 ( $l_1$ ) 和原生质体长度 ( $l_2$ ) (图 4-10A)，或者用软件计算细胞面积 ( $S_1$ ) 和原生质体面积 ( $S_2$ ) (图 4-10B)，记录测量结果。

(2) 计算出每个时间点三个细胞  $l_2/l_1$  (或  $S_2/S_1$ ) 的平均值，并以此为纵坐标，以时间为横坐标，绘制曲线。

### 结果分析：

1. 解释你所绘制曲线的含义。
2. 描述洋葱外表皮细胞因外界环境改变而发生质壁分离和复原的过程，尝试用渗透原理解释实验结果。

3. 某小组观察洋葱外表皮细胞在 3%  $\text{KNO}_3$  溶液中的质壁分离现象，并每隔 1 min 拍摄记录，经计算后的  $l_2/l_1$  和  $S_2/S_1$  的平均值如表 4-2 所示。根据此数据，在你前面绘制的坐标图中添加 3%  $\text{KNO}_3$  影响曲线。比较两条曲线，尝试从细胞质膜选择透过性的角度进行解释。

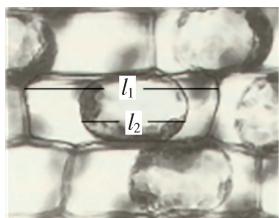
表 4-2 3%  $\text{KNO}_3$  溶液对质壁分离影响

时间 (min)	0	1	2	3	4	5	6	7
$l_2/l_1$ (%)	100	87.5	89.0	90.4	94.2	95.1	96.2	99.0
$S_2/S_1$ (%)	100	72.2	77.4	82.5	84.4	86.6	88.2	90.0

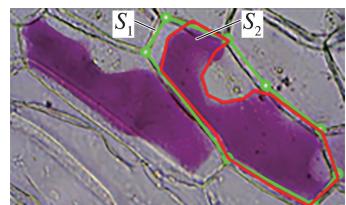


### 自我评价

1. 请从物质浓度梯度方向、是否需要转运蛋白、是否需要消耗能量等方面，列表比较物质跨膜运输方式的异同，并举具体实例阐明质膜具有选择透过性。
2. 在完成“蔗糖溶液对植物细胞质壁分离的影响”实验后，有同学产生疑问：“单糖是否也会使植物细胞发生质壁分离？”并配制 10% 葡萄糖溶液进行了实验探究。请你推测实验中洋葱鳞叶外表皮细胞会出现怎样的变化，并说明理由。
3. 请查阅资料，了解胞吞、胞吐作用是否只是大分子物质进出细胞的方式，胞吞、胞吐作用对细胞还有哪些意义？



(A) 测微尺测量



(B) 软件测量

图 4-10 质壁分离后细胞测量方法示意图

## 第2节 酶催化细胞的化学反应



### 学习目标

- 从蛋白质结构与功能相适应的角度，说出酶作用的特点。
- 运用实验数据解释温度、pH等条件对酶活性的影响。

### 概念聚焦

- 酶能催化生化反应，大多数酶是蛋白质。
- 酶活性受温度、pH等环境因素的影响。

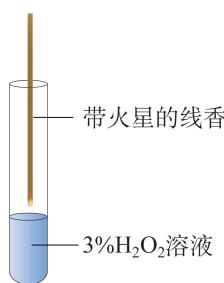


图 4-11 将带火星的线香插入试管示意图

### 安全提示

$H_2O_2$  溶液具有一定的腐蚀性，如溅在手或衣服上，需立即用水冲洗。

消化道中的唾液淀粉酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶是大家比较熟悉的酶。其实在细胞中，几乎所有的化学反应都有酶的参与。酶具有怎样的结构特点？在细胞的生命活动中酶起什么作用？让我们从观察酶催化反应开始，认识酶的特点，并学习探究环境因素对酶活性的影响。



### 观察酶的催化作用

动物肝脏细胞中有丰富的过氧化氢酶，可催化过氧化氢 ( $H_2O_2$ ) 的分解，放出  $O_2$ 。 $FeCl_3$  是无机催化剂，也可催化  $H_2O_2$  分解。通过比较两种催化反应的气泡产生量，可以判断酶的催化效率。

取 3 支试管，分别标记为 A、B、C。按照表 4-3 加入试剂和材料，并用封口膜盖住试管口。观察各试管内气泡产生情况。然后，用带火星的线香插入各试管内测试火光亮度变化（图 4-11），并将实验结果记录在表中。

表 4-3 各试管中加入的材料与结果记录表

加入材料及结果观察	试管号		
	A	B	C
3% $H_2O_2$ (mL)	5	5	5
蒸馏水 (mL)	1	0	0
新鲜的动物肝脏匀浆 (mL)	0	1	0
3.5% $FeCl_3$ 溶液 (mL)	0	0	1
气泡产生量 (可用“+”表示)			
火光亮度 (可用“+”表示)			

### 思考与讨论：

- 指出本实验中的对照组，说明其在实验中的作用。
- 描述试管 B、C 的实验现象，并尝试分析肝脏中过氧化氢酶的作用。

## 1. 酶是生物催化剂

在“观察酶的催化作用”实验中看到,  $\text{H}_2\text{O}_2$  在常温下分解缓慢; 加入新鲜的动物肝脏匀浆液后,  $\text{H}_2\text{O}_2$  迅速分解, 释放出  $\text{O}_2$ , 说明肝脏中的过氧化氢酶可以加快反应速率。那么, 酶在反应中扮演着什么角色?  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解的反应式如下:



从反应式中可以看到, 酶既不是反应物, 也不是产物, 而是起催化剂的作用。在反应中, 酶可以重复使用, 反应物称为酶的底物。

大量研究结果显示, 酶 (enzyme) 是活细胞产生的具有催化能力的生物大分子, 绝大多数是蛋白质, 少数是 RNA。

旺盛的生命活动需要快速的化学反应作为基本保障。酶具有非常高的催化效率 (高效性)。例如, 单个过氧化氢酶分子在 1 s 内可以催化四千万个过氧化氢分子分解。我们将酶催化特定化学反应的能力称为酶活性 (enzyme activity), 也叫酶活力, 可用其在一定条件下催化某一化学反应的速率表示。

细胞中已知的酶有数千种, 每一种酶通常只催化一种或一类化学反应。例如, 过氧化氢酶只催化  $\text{H}_2\text{O}_2$  的分解, 不会催化其他的反应。当细胞中某种酶减少或缺失, 就会出现相应的代谢障碍甚至疾病。例如, 催化黑色素合成的酶一旦缺乏或功能减退, 就可能会引起白化病。

## 2. 酶的功能与其分子结构相关

酶的种类很多, 习惯上根据酶的底物或所催化的反应来命名。例如, 胰蛋白酶是胰腺产生的催化蛋白质水解的酶, DNA 聚合酶是催化 DNA 合成的酶。

酶的功能与其分子结构密切相关。酶分子上有与底物结合并起催化作用的空间区域, 称为活性中心。底物只有与酶的活性中心契合时才能被催化。反应完成后, 酶释放出产物, 又会接受下一个底物分子进行新一轮反应 (图 4-12)。我们知道蛋白质的功能与其空间结构有关, 不同种类酶的活性中心结构不同, 所以酶的催化作用具有专一性。

### 广角镜

#### 核酶

1981 年, 科学家发现四膜虫的核糖体 RNA (rRNA) 的前体具有自我剪接功能, 表明 RNA 也具有催化功能。随后, 在细菌的一种核糖核酸酶 (RNase P) 中也发现了具有酶活性的 RNA 组分。具有催化功能的 RNA 称为核酶, 存在于各类生物中。核酶的发现丰富和发展了酶的概念。

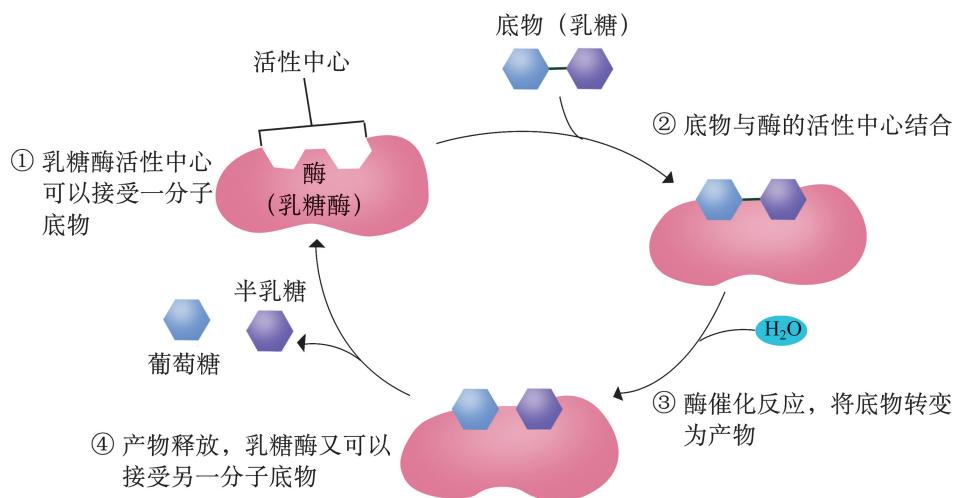


图 4-12 酶（乳糖酶）催化底物（乳糖）水解示意图



### 广角镜

#### 酶抑制剂

有一些物质会对酶产生抑制作用，引起酶的活性降低或丧失，这类物质统称为酶抑制剂。常见的抑制形式有：抑制剂与底物竞争酶的活性中心，减少底物与酶的有效结合（图 4-13A）；抑制剂与酶的其他部位结合，改变了酶的空间结构，使酶的活性中心不能与底物有效结合（图 4-13B）。许多农药和药物是依据这种机理设计的，如除草剂草甘膦、镇痛的布洛芬以及多种抗癌药物等。一些外源性的毒素也是通过酶活性抑制途径对生物体产生毒性的。

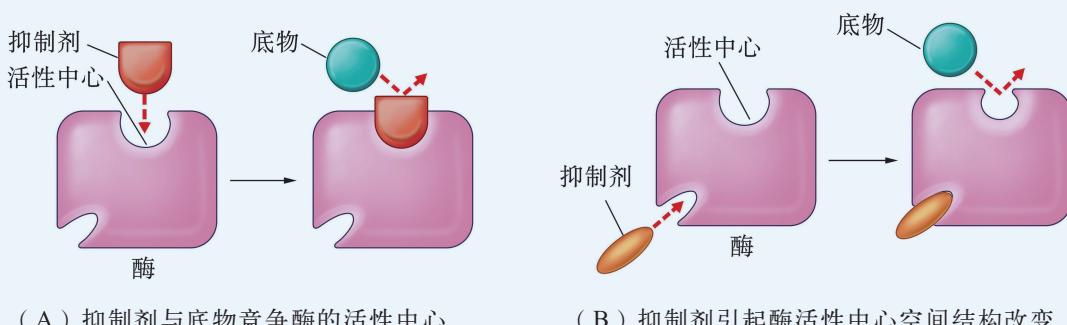


图 4-13 酶活性抑制示意图

### 3. 酶活性受环境因素影响

任何影响底物与酶结合的环境因素都会影响酶活性。其中，温度、pH 是最常见的影响因素。

酶通常在其适合的温度时活性最高，如人体内酶的最适温度范围是35~40℃，低于或高于最适温度，酶活性均会降低。高温会破坏酶的空间结构，产生不可逆的变化，使酶活性丧失。不同种类的生物，其细胞中的酶有各自最适温度。例如，一些生活在高温温泉中的微生物甚至能在100℃水体中生存，它们细胞中的酶在高温环境下活性较高。

环境酸碱度对酶活力影响很大。每一种酶都有其最适的pH范围，与其发挥作用的环境pH一致。例如，口腔内的唾液淀粉酶适合中性环境，胃蛋白酶的最适pH范围则在2左右(图4-14)，而胰腺分泌的胰蛋白酶在小肠工作，适应弱碱性的环境。

环境因素对酶活性有怎样的影响呢？可以通过实验进行探究。



## 探究·实验

### 4-2 探究温度对淀粉酶活性的影响

大多数化学反应速率都与温度有关，酶催化的反应也不例外。淀粉酶的化学本质是蛋白质，高温可能会破坏其空间结构，影响酶活性。淀粉酶催化的最适温度是多少？高温和低温对淀粉酶有怎样的影响？提出假设：温度会影响淀粉酶活性。

#### 实验目标：

探究温度对淀粉酶活性的影响。

#### 实验原理：

酶活性是反映酶功能的重要指标，一般通过测定单位时间内底物的减少量或产物的增加量来表示。淀粉酶催化淀粉水解产生还原糖，DNS试剂（主要成分为二硝基水杨酸）与还原糖反应产生颜色变化，还原糖量越多，颜色变化越大。可通过分光光度法定量测定颜色变化来测定淀粉酶活性。

#### 材料器具：

0.005% 淀粉酶溶液、0.25% 可溶性淀粉溶液、DNS试剂、5% NaOH溶液、烧杯、试管、滴管、玻璃棒、温度计、分光

#### 学习提示

想想看，非洲斑马与北极熊的胃蛋白酶最适温度相同吗？

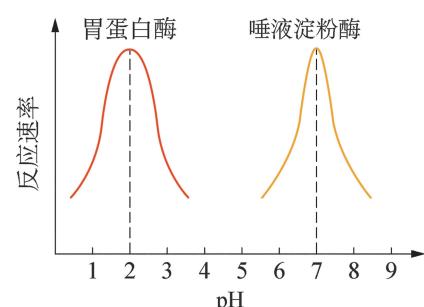


图4-14 两种消化酶的活性与pH关系示意图

光度计、冰块、恒温水浴锅等。

### ► 实验步骤：

建议以小组合作方式进行。

1. 取5支试管，分别标上A1~A5，各注入0.25%可溶性淀粉溶液1mL。

2. 另取5支试管，分别标上B1~B5，各注入0.005%淀粉酶溶液1mL。

3. 取5只烧杯（或恒温水浴锅）标为1~5组，依次设置水温为4℃（冰浴）、室温（记录水温）、45℃、65℃、85℃。

4. 将1~5号的A、B试管分别放置在相应编号的烧杯水浴中保温（图4-15）。5min后，将B试管中的淀粉酶溶液倒入相应编号的A试管，摇匀后继续保温5min。随后，加入1mL5%NaOH溶液终止反应。

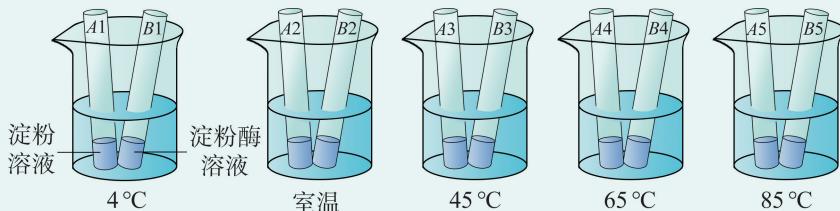


图4-15 温度对酶活性影响实验示意图

5. 另取1支试管，标上A0，加入1mL0.25%可溶性淀粉溶液、1mL蒸馏水和1mL5%NaOH溶液。分别向A0~A5试管中加入DNS试剂1mL，摇匀后置于85℃水浴5min，冷却至室温。观察各试管中的颜色变化并记录。

6. 用分光光度计在540nm处以A0的溶液调零，然后分别测A1~A5试管中溶液的吸光度，记录数据。每个样品重复测三次，取平均值。以温度为横坐标，吸光度为纵坐标进行作图。

### ► 结果分析：

- 测定的吸光度与酶活性之间的关系是什么？
- 描述你绘制的曲线，解释温度对酶活性的影响。从曲线中能否得出该淀粉酶反应的最适温度？

### ► 拓展探究：

结合本实验原理，设计探究pH对酶活性影响的实验方案。



## 生物学与社会

### 酶与美食

随着生活水平的提高，人们不仅要吃得饱，更追求吃得好。因此，食品的营养、外观、口感、风味等品质越来越受到重视。在改善食品品质方面，食品添加剂不再是唯一的选择，作为生物化学反应的高效催化剂，酶在食品风味提升方面也发挥着独特的作用。

**肉制品中的应用** 在肉制品中添加谷氨酰胺转氨酶，可催化肌肉中蛋白质分子之间形成一种共价键，能使蛋白质分子更紧密地结合在一起，增加肉制品弹性，改善其质地、外观和口感。

**面制品中的应用** 面制品的制作过程中，用脂肪酶可催化面粉中的脂肪水解，使溶于脂肪中的色素更容易氧化褪色，提高馒头等面制品表面的光亮度和白度，实现生物方法增白。而且，脂肪酶水解脂肪产生甘油二酯等表面活性剂，具有增筋作用，改善口感。

**啤酒中的应用** 在啤酒生产过程中，添加葡萄糖氧化酶可以有效防止啤酒老化，明显降低啤酒浊度，改善啤酒的风味，延长啤酒的保质期。

人们通过人工合成或从生物培养中制取酶，除了在食品加工中的运用外，还用于制药、工农业生产等领域。你能举出酶在这些领域中有哪些具体的应用案例吗？



### 自我评价

1. 用医用过氧化氢溶液处理伤口时，会出现白色泡沫，如何解释这一现象？
2. 结合图 4-12，从蛋白质结构与功能相适应的视角阐述酶催化作用的过程，分析酶催化作用的特点。
3. 结合图 4-14，说明环境因素对酶活性的影响。
4. 许多杀虫剂、抗生素、止痛片以及抗癌药物设计都以酶作为靶点。查阅资料，举例说明酶的特性在药物设计中的应用。
5. 检索更多因酶功能缺失而引发疾病的案例，加深理解酶在生命活动中的重要作用。

# 第3节 细胞通过分解有机分子获取能量



## 学习目标

- 用文字和图示解释ATP是驱动生命活动的直接能源物质。
- 从物质与能量角度说明细胞呼吸过程。
- 通过探究酵母的呼吸方式，认识不同条件下细胞获取能量的方式不同。

## 概念聚焦

- 驱动细胞生命活动的直接能源物质主要是ATP。
- 细胞的有氧呼吸可以生成大量的ATP。
- 生物体通过细胞呼吸分解有机分子获得能量。

据估算，体重67.5 kg的人慢跑消耗的能量约为每小时3 621 kJ；即使安静地坐着，每小时也需要消耗约117 kJ的能量。细胞生命活动能直接利用的能源物质是什么？食物中的糖类等有机分子是如何转化为直接能源物质的？让我们从探究酵母的呼吸作用开始，逐一解开这些疑问。



## 探究不同供氧环境下酵母的呼吸方式

在不同供氧条件下，细胞呼吸分解有机分子的效率是否相同？酵母在有氧或缺氧条件下都能分解葡萄糖。通过比较单位时间内产生的CO<sub>2</sub>和酒精量，可以判断分解程度，实验步骤如下。

- 取经5%葡萄糖液活化培养的酵母液200 mL，平均分装于A、B两个收集瓶；A瓶中加少量石蜡油形成油膜，B瓶不作此处理（图4-16）。
- 分别在A、B瓶排气嘴处接一个采气球胆。
- 50℃水浴孵育10 min。期间缓慢向B瓶菌液中输入经NaOH过滤的空气200 mL，A瓶不作此处理。
- 用CO<sub>2</sub>传感器分别测定A、B瓶中CO<sub>2</sub>浓度，用酒精检测仪测量酒精含量。

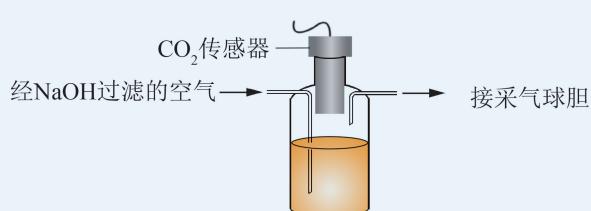


图4-16 B瓶实验装置示意图

### 思考与讨论：

- 列表比较两组实验结果中CO<sub>2</sub>浓度和酒精含量的数据，分析不同供氧状态下，酵母产生的物质有何差异？你能否解释原因？
- 酵母在分解葡萄糖、释放CO<sub>2</sub>的过程中获得了什么？

## 1. ATP 是生命活动的直接能源物质

科学家研究发现，在活细胞中，直接驱动生命活动的能量物质是一些称为“能量载体”的分子，其中**腺苷三磷酸**（adenosine triphosphate，简称**ATP**）用途最为广泛。ATP由1个腺苷分子连接3个磷酸基团组成（图4-17）。在酶的作用下，ATP的磷酸基团可水解，末端两个磷酸基团水解均可释放约30 kJ/mol的能量。ATP失去末端一个磷酸基团后水解为ADP（腺苷二磷酸），失去末端两个磷酸基团后水解为AMP（腺苷一磷酸）。

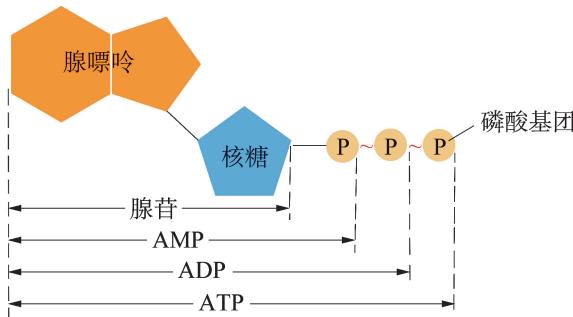


图4-17 ATP分子结构示意图

ATP普遍存在于细胞中，主要通过含磷基团转移到目标分子上或水解，为生命活动提供能量。例如肌细胞中，ATP结合到肌球蛋白上并释放能量，改变肌球蛋白构象，使肌动蛋白丝移动，导致肌细胞收缩（图4-18）；细胞质膜主动运输过程中，为载体蛋白提供能量的也是ATP（参见图4-5）。

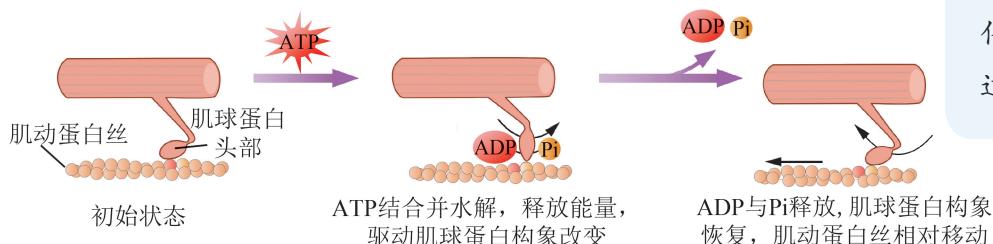


图4-18 ATP驱动肌细胞收缩示意图

细胞内ATP分子的总量是有限的，人体细胞内ATP总量只能维持生命活动15 s左右。但正常情况下，细胞内的ATP是不会耗尽的：当ATP减少、ADP增加时，细胞通过氧化分解有机物，在酶的催化下，通过能量转换，使ADP和Pi重新结合，形成新

### 广角镜

#### 细胞内的“能量载体”分子

细胞新陈代谢是生物分子合成和分解的过程。细胞新陈代谢过程中，伴随着物质变化会发生一系列的能量转换。这些能量通常由一些特定的分子携带，并在细胞内传递，这些分子称为“能量载体”。其中，ATP分布和用途最广，直接为生命活动提供能量。此外，辅酶I（NADH）、辅酶II（NADPH）是质子（H<sup>+</sup>）及电子（e<sup>-</sup>）的携带者和传递者，参与糖类的氧化分解和合成反应过程。

### 学习提示

可用手机充电与使用耗电来理解ADP与ATP的相互转换。

的 ATP (图 4-19)。ATP 与 ADP 的相互转换, 可源源不断地为生命活动提供直接能源。

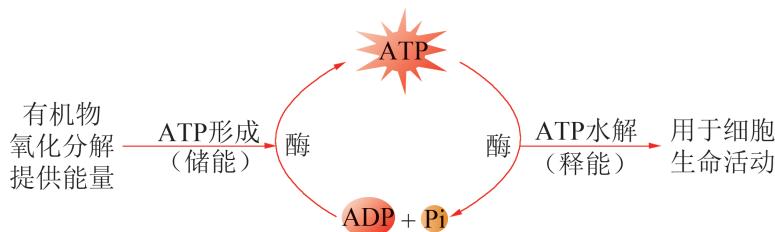


图 4-19 ATP 与 ADP 相互转换示意图

## 2. 有氧呼吸产生大量 ATP

细胞通过氧化分解有机物, 将有机物中的能量转换成可供生命活动直接使用的 ATP, 这个过程称为**细胞呼吸** (cellular respiration)。大多数真核生物细胞呼吸过程有  $O_2$  的参与, 称为**有氧呼吸**。最常用的反应物是葡萄糖, 总反应式如下:



### 学习提示

葡萄糖氧化分解过程释放的热能, 对生命活动来说是一种浪费吗?

1 mol 葡萄糖分子彻底氧化分解产生 6 mol  $CO_2$ 、6 mol  $H_2O$  和 2 870 kJ 左右的能量, 其中有部分能量储存在 ATP 中, 其余以热能形式释放。整个过程由许多步化学反应组成, 每个步骤都由特定的酶催化。反应可归纳为两个阶段, 分别在细胞质基质和线粒体中进行 (图 4-20)。

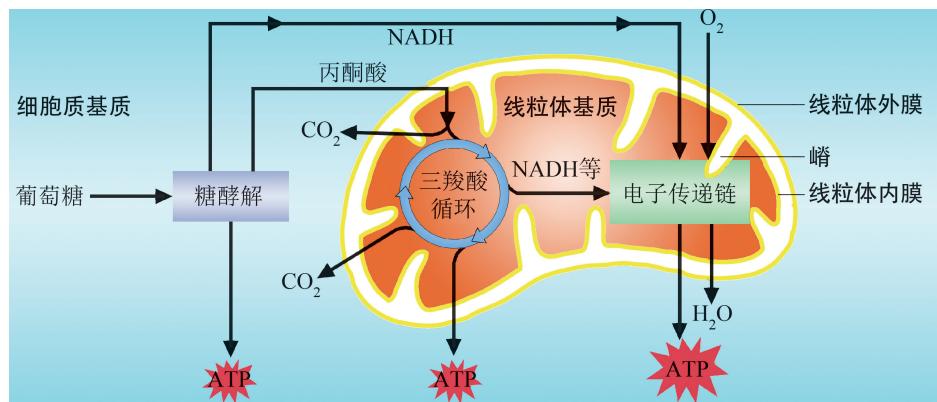


图 4-20 有氧呼吸过程示意图

葡萄糖氧化分解的第一阶段称为糖酵解 (glycolysis)。1分子葡萄糖在酶的催化下分解成2分子丙酮酸 (三碳化合物), 同时形成少量ATP, 脱下的H由还原型辅酶I (NADH) 携带进入线粒体 (图4-21)。

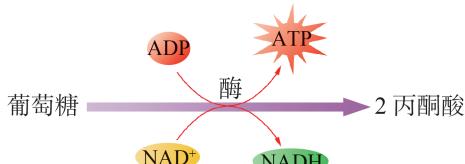


图4-21 糖酵解反应过程示意图

在O<sub>2</sub>充足的条件下, 丙酮酸进入线粒体, 在线粒体基质中先氧化脱去一个CO<sub>2</sub>, 生成乙酰辅酶A (二碳化合物), 参与到被称为“三羧酸循环”的反应中, 彻底氧化分解为CO<sub>2</sub>, 并形成一定的ATP以及NADH。CO<sub>2</sub>从细胞中排出; NADH携带的电子经线粒体内膜上的电子传递链, 逐渐释放能量。释放的能量部分转化生成ATP, 部分以热能的形式释放。电子最终传递给O<sub>2</sub>, 生成H<sub>2</sub>O。

### 学习提示

物质转换: 葡萄糖被彻底氧化分解为CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O。

能量转换: 葡萄糖分子中的化学能最终转化为大量ATP和热能。



### 广角镜

#### 线粒体中ATP的生成

三羧酸循环中, 乙酰辅酶A与草酰乙酸 (四碳化合物)结合形成柠檬酸 (六碳化合物), 在一系列酶的催化下, 逐步氧化释放CO<sub>2</sub>后仍生成草酰乙酸, 可再与乙酰辅酶A结合进行下一轮循环。此过程直接产生少量ATP和一定量NADH (图4-22)。

NADH携带的电子在线粒体内膜上的传递过程中, 内膜上的蛋白质利用电子的能量, 将线粒体基质中的H<sup>+</sup>泵入内外膜间隙, 使内膜两侧H<sup>+</sup>浓度差增加。膜间隙的H<sup>+</sup>从ATP合酶 (一种具有合成ATP功能的酶) 处流回基质, 驱动ATP合酶将ADP磷酸化形成ATP。此过程的能量来源于NADH的氧化, 故称为氧化磷酸化。1分子葡萄糖经糖酵解、三羧酸循环和氧化磷酸化彻底氧化分解约产生30个ATP。

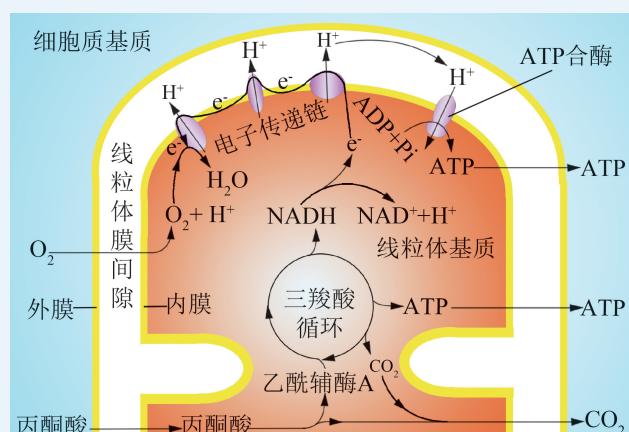


图4-22 线粒体中物质和能量转换示意图

### 3. 无氧呼吸产生少量 ATP

#### 学习提示

作物生长需要及时松土，人口密集的场所要及时通风，你能解释原因吗？

一些动植物细胞和微生物能通过无氧呼吸的方式分解有机物获取能量，以保障短时间缺氧环境下生命活动的进行。例如人体在剧烈运动时，部分肌肉组织短时间内供氧不足，肌细胞会通过无氧呼吸补充 ATP 以满足肌肉收缩的需要。无氧呼吸过程中，糖酵解形成的 NADH 不进入线粒体，而是在细胞质基质中将丙酮酸还原，最终产物是乳酸（图 4-23）。这一过程中，1 分子葡萄糖分解为 2 分子的乳酸，形成 2 个 ATP。

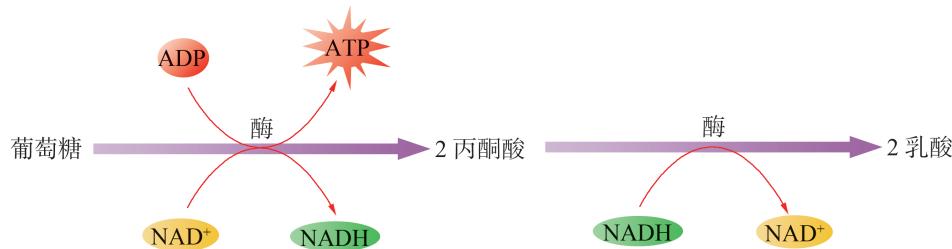


图 4-23 无氧呼吸过程示意图

酵母无氧呼吸的产物是乙醇（酒精）和  $\text{CO}_2$ 。糖酵解产生的丙酮酸，继续降解释放出 1 个  $\text{CO}_2$  分子后，接受 NADH 的  $\text{H}^+$  和电子，形成乙醇，该过程称为酒精发酵。酒精积累会对细胞产生伤害，在葡萄酒酿制过程中，当酒精含量达到 12%~16% 时，发酵停止。

### 4. 其他有机分子也可被氧化分解

脂肪和蛋白质等有机物也可以成为细胞有氧呼吸的原料（图 4-24）。在酶的作用下，脂肪可被水解为甘油和脂肪酸。其中，甘油可转变成丙酮酸进入糖的氧化分解途径；脂肪酸在酶的作用下逐步氧化分解形成乙酰辅酶 A，并进入三羧酸循环被彻底氧化。因此，脂肪酸的彻底氧化分解需要在有氧条件下进行。

蛋白质需要水解成氨基酸才能被氧化分解。当体内糖类供应不足时，氨基酸也可作为能源物质。在酶的作用下，氨基酸脱去氨基，剩下的碳链可进入到细胞有氧呼吸的各环节中，氧化分解放出能量；脱下的氨基则被转化成尿素等含氮废物排出体外。

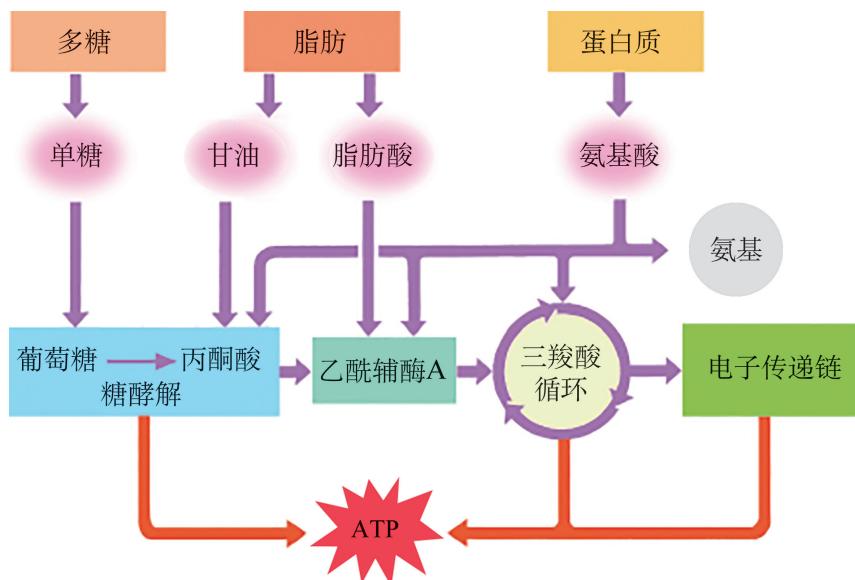


图 4-24 多糖、蛋白质和脂肪的氧化分解示意图

细胞在不同的生活环境中，都能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，这体现了生命的适应性。



### 自我评价

1. 有人将 ATP 称为细胞的“能量货币”，你觉得这个比喻合适吗？请说出 ATP 的工作过程。
2. 列表对比细胞有氧呼吸和无氧呼吸的反应场所、条件、物质变化和能量转换。
3. 从物质与能量角度，分析酵母是如何适应环境中不同氧气浓度的。
4. 在细胞有氧呼吸过程中，1 mol 葡萄糖彻底氧化分解约释放出 2 870 kJ 的能量，其中约有 1 161 kJ 的能量储存在 ATP 中，其余的能量都以热能的形式散失。请计算有氧呼吸能量的转换效率大约是多少？这个过程中大部分能量作为热能释放，其生物学意义是什么？
5. 查阅资料，从人体物质与能量的需求和代谢角度，分析日常饮食中应如何进行合理的营养搭配。

## 第4节

# 叶绿体将光能转换并储存在糖分子中



### 学习目标

- 从物质与能量角度，以文字或图示的形式说明光合作用的过程。
- 学会色素分离和光合作用速率测定方法，设计实验探究影响光合作用的因素。
- 举例说明环境因素对光合作用的影响。

### 概念聚焦

- 叶绿体是植物光合作用的场所。
- 光合作用将光能转换并储存为糖分子中的化学能。
- 光合作用的速率受多种环境因素影响。



阳光不仅给我们带来光明和温暖，更是生命活动的能量源泉。阳光下，植物进行光合作用，吸收  $\text{CO}_2$ ，合成糖并释放出  $\text{O}_2$ 。此过程发生在植物细胞的什么结构中？植物吸收的  $\text{CO}_2$  如何转换为糖分子？光合作用的发生需要哪些条件？

### 探究植物进行光合作用的条件

取 6 支大试管，按照表 4-4 中的处理方法分别添加试剂和材料，放入烧杯中进行  $35^{\circ}\text{C}$  水浴；将灯放置在距烧杯约 10 cm 处，模拟光照。观察并记录各个试管中的气泡产生量（反映光合作用强弱）。

表 4-4 实验各试管处理方法及结果记录

处理方法及结果	试管					
	1	2	3	4	5	6
加入等量的植物绿色叶片	✓		✓	✓	✓	✓
加入等量的植物茎或根		✓				
加入等量的 2% $\text{NaHCO}_3$ 溶液	✓	✓	✓	✓	✓	
加入等量的蒸馏水						✓
选择不同颜色薄膜覆盖	无	无	透明	绿色	黑色	无
气泡数量 (用“+”表示)	预测					
	实际					

### 思考与讨论：

- 你的预测与实际结果相同吗？为什么？
- 根据实验结果，分析植物进行光合作用需要的条件和发生的部位，并说明理由。

## 1. 叶绿体是植物光合作用场所

在“探究植物进行光合作用的条件”实验中可以看到，**光合作用** (photosynthesis) 主要发生在植物的绿色部位，这些部位的细胞中有叶绿体。电子显微镜下可观察到，叶绿体内部有许多单层膜构成的扁平囊状的类囊体，悬浮在叶绿体的基质中 (图 4-25)。类囊体膜上分布着丰富的与光合作用有关的色素和蛋白质，是光能吸收和转换的场所。

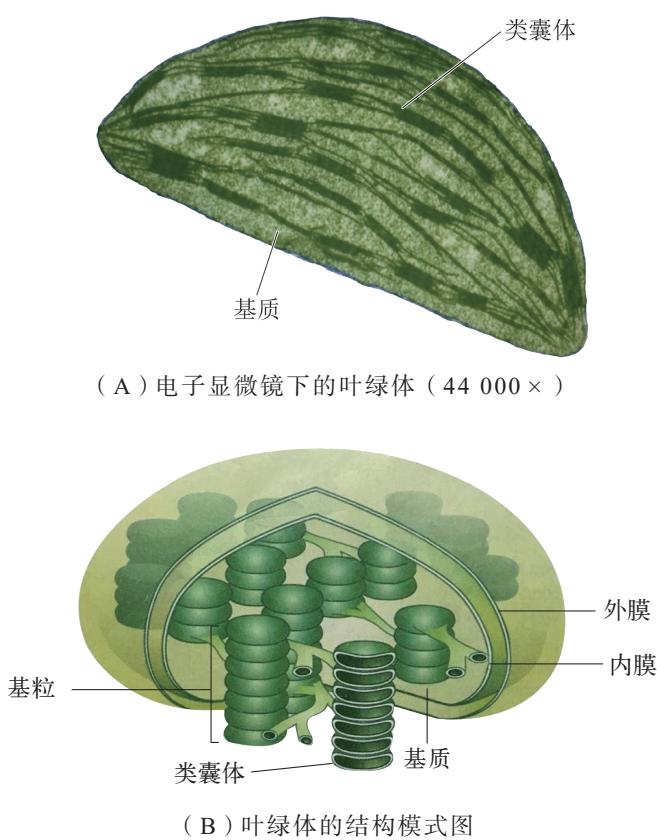


图 4-25 叶绿体结构示意图

研究表明，高等植物叶绿体中的色素可分为两大类：一类是叶绿素，包括叶绿素 a (呈蓝绿色) 和叶绿素 b (呈黄绿色)；另一类是类胡萝卜素，主要有胡萝卜素 (呈橙黄色) 和叶黄素 (呈黄色)。正常叶片中叶绿素含量约为类胡萝卜素的 3 倍，但随着叶片衰老或季节变化，这两类色素的比例会发生改变。

叶绿体色素的显著特点是能吸收可见光中特定波长的光：主要集中在蓝紫光和红橙光区域，几乎不吸收绿光。不同色素分

### 学习提示

叶片、叶绿体、类囊体、基粒等结构，使光吸收面积最大化，有利于捕获更多的光能。据计算，1 g 菠菜叶片中叶绿体的类囊体总面积可达约  $60 \text{ m}^2$ 。

### 学习提示

“儿童不知春，问草何故绿。”你会怎样回答这个问题？

子吸收的光的波长有差异，其中，叶绿素主要吸收红橙光和蓝紫光，类胡萝卜素主要吸收蓝紫光（图 4-26）。在自然界中，晴天的直射光中红橙光的比例高，阴天的散射光中蓝紫光比例高。所以不论在晴天还是阴天，绿色植物都能充分吸收光能。现在你能解释植物叶片呈绿色的意义了吗？

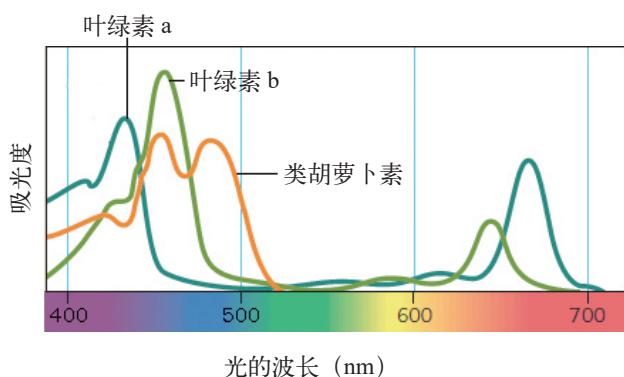


图 4-26 叶绿体色素吸收光谱



## 思维训练

### 恩格尔曼的光合作用光谱实验

1883 年，德国科学家恩格尔曼（T. Engelmann）利用水绵和需氧的运动细菌，对光合作用的有效光源进行了探索。恩格尔曼把一束丝状的水绵（绿色藻类）放在显微镜的载玻片上，同时在水绵周边滴加含有需氧细菌的溶液。通过调整棱镜，将照射在水绵上的可见光束分成不同颜色的光，就像彩虹一样穿过这束丝状的水绵。然后，在显微镜下观察细菌的运动。不久便观察到，细菌在水绵两边的蓝紫光和红光区域聚集成群，而绿光区域却很少（图 4-27）。恩格尔曼的结论是：蓝紫光和红光是水绵光合作用中最有效的光源。

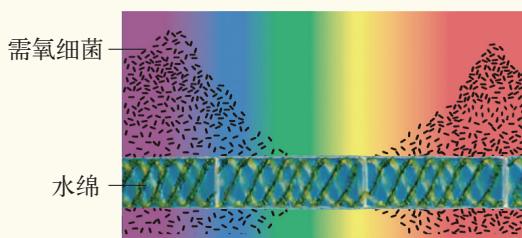


图 4-27 恩格尔曼实验结果示意图

#### 思考与讨论：

1. 恩格尔曼的实验中，你认为最巧妙的设计是什么？
2. 为什么可以从需氧细菌的分布推论出水绵光合作用的有效光源？



## 探究·实验

### 4-3 叶绿体色素的提取分离及叶绿素含量的测定

常见的植物叶片为绿色，这与叶绿体所含色素种类及其比例有关。如何提取并分离叶绿体中的不同色素？不同部位叶片中叶绿素含量是否相同？

#### ► 实验目标：

提取和分离叶绿体中的色素，并学会测定叶绿素含量的方法。

#### ► 实验原理：

叶绿体色素分布于类囊体膜，具有亲脂性，能溶于有机溶剂，可用乙醇或丙酮将它们从叶片中提取出来。不同色素在有机溶剂中的溶解度不同，在吸附载体上的吸附能力不同，因此，不同色素随着有机溶剂在吸附载体上扩散的速率也就不同，这样就可将它们彼此分离。这种方法称为层析法。

叶绿素具有特定的吸收波长，且吸光度值与叶绿素a、叶绿素b的含量有关。分别测定叶绿素在649 nm和665 nm处的吸光度，根据相关公式，可计算出其含量。

#### ► 材料器具：

经干燥处理（65 °C, 24 h）的绿色菠菜（或青菜等）的叶片、95%乙醇、剪刀、脱脂棉、聚酰胺薄膜、封口膜、研钵、量筒、玻璃漏斗、试管、烧杯、玻璃毛细管、分光光度计、电子天平等。

#### ► 实验步骤：

##### 1. 绿色叶片中的色素提取

（1）叶片匀浆：称取1g经干燥处理的叶片（已除去粗大叶脉），剪碎后放入研钵中，加6mL 95%乙醇，研磨成匀浆（图4-28）。

（2）过滤：漏斗内放置滤纸或底部放一层脱脂棉，将上述叶片匀浆液倒入玻璃漏斗过滤，并将过滤液收集到一个小试管中，得到色素提取液，封口膜封住试管口备用。



图 4-28 叶绿体色素提取操作示意图

注意：一次划线溶液不可过多，否则会导致线条过粗或液滴过大，使色素起始位置不一致；每次等风干后再重复划线。

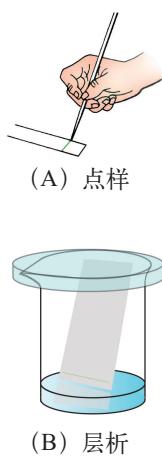


图 4-29 层析示意图

## 2. 叶绿体色素层析分离

(1) 层析薄膜准备：将层析用的聚酰胺薄膜剪成 $2\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ 的长条。

(2) 点样：用玻璃毛细管取色素提取液，于距层析薄膜底边 $1.5\text{ cm}$ 处划线（图 4-29A），晾干。重复点样 3~5 次。

(3) 层析：在烧杯中加入适量 95% 乙醇作为层析液，薄膜的点样端朝下放入层析液中，注意点样线不能进入或接触到层析液。用培养皿盖住烧杯，进行层析（图 4-29B）。

(4) 观察和记录：持续观察色素在薄膜上的分离现象，直至各色素带的相对位置不变后，取出晾干。记录薄膜上各色素带的颜色和位置。

## 3. 叶绿素含量的测定

(1) 提取色素：小组内分工选取经干燥处理过的同种植物不同部位的叶片（成熟或幼嫩），加等量 95% 乙醇研磨后过滤，获取色素提取液。

(2) 稀释色素：将色素提取液用 95% 乙醇稀释到合适倍数（N），摇匀，备用。

(3) 测定吸光度：以 95% 乙醇为对照调零，在分光光度计中分别测定各部位色素提取液在 $665\text{ nm}$ 、 $649\text{ nm}$  波长处的吸光度（A），分别记为  $A_{665\text{nm}}$  和  $A_{649\text{nm}}$ 。

(4) 数据处理：按以下公式计算各部位色素稀释液中的叶绿素 a、叶绿素 b 浓度和总叶绿素浓度。

$$\text{叶绿素 a 浓度 (mg/L)} = 13.70A_{665\text{nm}} - 5.76A_{649\text{nm}};$$

$$\text{叶绿素 b 浓度 (mg/L)} = 25.80A_{649\text{nm}} - 7.60A_{665\text{nm}};$$

$$\text{总叶绿素浓度 (mg/L)} = \text{叶绿素 a 浓度} + \text{叶绿素 b 浓度}.$$

### ► 结果分析：

1. 你们小组的实验结果中分离出了几种叶绿体色素？如何进行区别和判断？将本小组的层析结果及记录的数据与其他小组进行交流和分享。

2. 根据色素条带结果，请推测从盛夏到深秋，银杏叶片中色素种类会有怎样的变化？

3. 比较同种植物不同部位的叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素浓度的差异，分析其有何生物学意义？

## 2. 光合作用是物质和能量的转换过程

光合作用的过程可以概括为下面的反应式：



光合作用的反应过程不是一步完成的。科学家在光暗间隔照射研究中发现，进入黑暗阶段，受试植物停止释放  $\text{O}_2$ ，但是其糖的合成还在进行。由此推测，光合作用释放  $\text{O}_2$  的过程是依赖于光照的反应，而合成糖的过程不需光照。光合作用中，需要光的阶段称为**光反应** (light reaction)，不需光的阶段为暗反应 (dark reaction)。进一步研究发现，暗反应受光照促进，近年来多称为**碳反应** (carbon reaction)。这两个阶段发生在叶绿体不同的位置，但存在一定的联系。

**光反应** 类囊体膜上的光合色素捕获光能，并将光能转变成活跃化学能、释放  $\text{O}_2$  (图 4-30)。

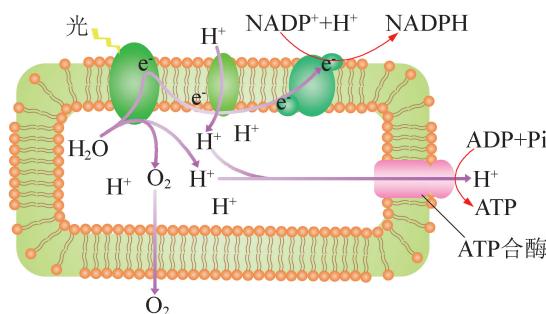


图 4-30 光反应过程示意图

(1) 光能的捕获与转换：类囊体膜上的光合色素吸收光能并传递到特定的叶绿素 a 上，使叶绿素 a 分子激发释放出高能电子。

(2) 水的光解：失去电子后的叶绿素 a 分子具强氧化性，从类囊体腔内的  $\text{H}_2\text{O}$  中夺取电子，叶绿素 a 分子被还原，继续参与光反应；失去电子后的  $\text{H}_2\text{O}$  分子裂解为  $\text{H}^+$  和  $\text{O}_2$ 。 $\text{O}_2$  可以自由穿过各级膜释放到细胞外， $\text{H}^+$  留在类囊体腔内。

(3) 高能化合物的形成：叶绿素 a 释放的高能电子在类囊体膜上传递，最终与基质中的氧化型辅酶 II (NADP<sup>+</sup>) 以及  $\text{H}^+$  结合形成高能的还原型辅酶 II (NADPH)；电子传递过程中，类囊体膜蛋白将叶绿体基质中  $\text{H}^+$  泵入类囊体，使类囊体腔中  $\text{H}^+$  浓度高于类囊体外基质。 $\text{H}^+$  顺浓度梯度穿过类囊体膜上的 ATP 合

### 学习提示

捕获的光能在类囊体膜上以电子形式传递。这与线粒体内膜上的电子传递是否有相似之处？

### 学习提示

光反应能量转换：光能转换成 ATP 和 NADPH 中的活跃的化学能。

酶，驱动 ATP 的形成。光反应产生的 ATP、NADPH 推动叶绿体基质中碳反应的进行。

**碳反应** 碳反应是叶绿体利用 ATP、NADPH 将  $\text{CO}_2$  合成为糖的过程。碳反应过程最早是美国科学家卡尔文 (M. Calvin) 等发现的，又称为卡尔文循环 (图 4-31)。

### 学习提示

碳反应物质变化：固

定  $\text{CO}_2$ ，合成糖。

碳反应能量转换：

ATP 和 NADPH 分子中活跃的化学能转换成糖分子中稳定的化学能。

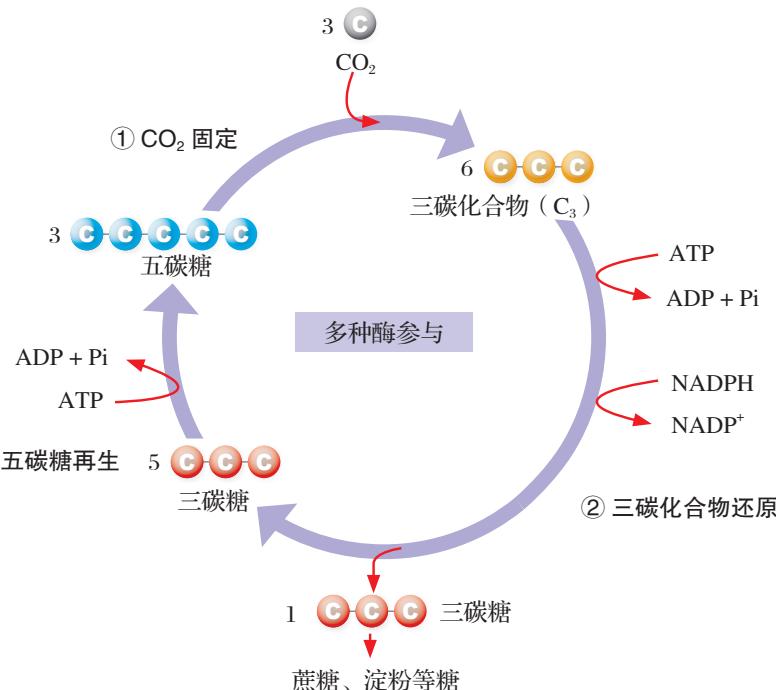


图 4-31 碳反应示意图

植物吸收的  $\text{CO}_2$  与叶绿体基质中的五碳糖结合，在酶的催化下形成 2 个三碳化合物 ( $\text{C}_3$ )。 $\text{C}_3$  在 ATP 的驱动下，接受 NADPH 提供的  $\text{H}^+$  和电子，形成三碳糖 (磷酸甘油醛)，将活跃的化学能转变为稳定的化学能。

一部分三碳糖再生为五碳糖，继续参与卡尔文循环。另一部分三碳糖从叶绿体转运到细胞质基质中转变成蔗糖，并运输到植物体的各个部分；或变成淀粉暂时储存在叶绿体中，因此光照条件下在叶片中能检测到淀粉的存在。植物中的淀粉、纤维素、氨基酸、脂质等都是利用光合作用产生的糖转变的。

光合作用的两个阶段之间不仅会相互促进，也会相互制约。光反应减慢，提供的 ATP 和 NADPH 减少，碳反应中固定  $\text{CO}_2$  的速率也会随之降低。如果  $\text{CO}_2$  供应量减少，ATP 和 NADPH 消耗降低，可提供给光反应的 ADP 和  $\text{NADP}^+$  不足，同样制约光反应进行的速率。所以，中午阳光直射条件下，一些陆生植物关闭气孔以减少蒸腾， $\text{CO}_2$  吸收下降，光反应速率也会降低。

### 学习提示

光合作用合成的糖是所有生物有机分子的基础。



## 科学史话

### 光合作用研究历程

任何生物的生存都必须不断地从环境中摄取物质和能量。人和动物从食物中获取能量，植物从环境中获取什么样的物质和能量呢？人们对这一问题的认识与探究持续了近400年。

#### 水对植物生存的重要性——从经验到实验

公元前3世纪，亚里士多德提出：“植物生长在土壤中，土壤是构建植物体的唯一原料。”很长时期内，人们对此的认识都从经验出发，没有确凿证据，如果该观点正确，植物生长的增加量与土壤损失量应该相等。1642年，比利时科学家赫尔蒙特（J.B. van Helmont）就此进行实验验证。他把十分容易生根成活的一段柳树枝条种植在一个加有盖子的大盆里（图4-32）。在种植之前，分别称量了柳树枝条的质量和盆中干燥沙土的质量。此后，只向盆中浇水。5年以后，赫尔蒙特对柳树和盆中的干燥沙土再次进行称重，发现柳树增加了约74kg，而土壤仅减少约0.06kg。赫尔蒙特认为，植物生长增加的质量主要来源于水，而不是土壤。你认为赫尔蒙特的结论忽略了哪些因素？



图4-32 赫尔蒙特实验示意图

#### 空气和光照——真理的大门由好奇心开启



图4-33 普里斯特利的实验示意图

英国化学家普里斯特利（J. Priestley）偶然发现在封闭容器中的小鼠很快就会死去，燃烧的蜡烛会很快熄灭。由此推测小鼠呼吸可能会使空气“污浊变坏”。1771年，普里斯特利设计实验探究植物是否和动物一样会在“受污染”的空气中死去。他把一盆植物和一只小鼠一同放到密闭的玻璃罩里，植物和小鼠都能够正常地活着（图4-33）。普里斯特利认为植物能够净化由于

动物呼吸而变得“污浊”的空气。然而当人们重复普里斯特利的实验时并不总能成功。1779年，荷兰科学家英格豪斯（J. Ingenhousz）选择不同的植物进行500多次重复试验，发现光照是植物净化空气的必要条件（图4-34）。1785年，随着空气组成成分的发现，人们才明确植物在光下放出的气体是 $O_2$ ，吸收的是 $CO_2$ 。



图4-34 英格豪斯的实验示意图

### 能量转换、反应物和生成物——逐步接近真相

1804年，瑞士化学家索绪尔(N. Saussure)在CO<sub>2</sub>含量不同的空气中培养植物，然后精确地测量空气中CO<sub>2</sub>含量和植物体的碳含量，证明植物体的碳是来自植物同化大气中的CO<sub>2</sub>。他还通过精细的定量分析发现，绿色植物在阳光照射下产生与CO<sub>2</sub>大致相等体积的O<sub>2</sub>。

19世纪中期，德国物理学家迈尔(J. R. Mayer)发现：植物把太阳能转化成化学能贮存起来。但转换成的化学能储存于什么物质中呢？1864年，德国植物生理学家萨克斯(J. von Sachs)发现淀粉遇碘会变蓝色，他把紫苏在暗处放置12 h，使叶片中的淀粉等营养物质消耗掉，然后将叶片一部分遮光处理，其他部分光照。一段时间后，用酒精去除色素，再用碘液染色，发现遮光部分没有发生颜色变化，光照到的部分则呈深蓝色(图4-35)，说明叶片在光下制造了淀粉。1897年，法国科学家佩弗(Peffer)将绿色植物利用太阳能将CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O合成为有机物并释放O<sub>2</sub>的过程命名为光合作用，并提出了光合作用反应式。



图4-35 淀粉生成实验示意图

一个谜底揭开，随之新的问题又产生：光合作用中产生的O<sub>2</sub>来源于CO<sub>2</sub>还是H<sub>2</sub>O？糖是如何合成的？

### O<sub>2</sub>的来源和CO<sub>2</sub>的固定——从推理到直接证据

在很长一段时间内人们都认为光合作用产生的O<sub>2</sub>来源于CO<sub>2</sub>，对于光合作用的产物也是理论推理。物理学的发展为生物学的研究提供了新的思路和方法。

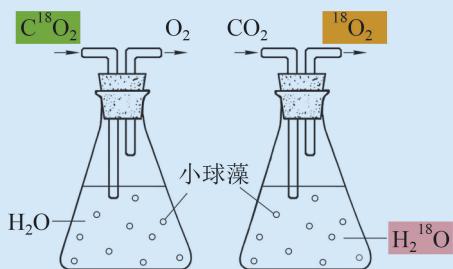


图4-36 鲁宾与卡门的实验示意图

1941年，美国科学家鲁宾(S. Ruben)和卡门(M. D. Kamen)用稳定同位素<sup>¹⁸</sup>O分别标记CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O进行分组实验(图4-36)，其他实验条件相同，结果发现当标记物为H<sub>2</sub>O时，释放的是<sup>¹⁸</sup>O<sub>2</sub>；而标记物为C<sup>¹⁸</sup>O<sub>2</sub>时，在短期内释放的则是O<sub>2</sub>。这清楚地表明光合作用中释放的O<sub>2</sub>来自H<sub>2</sub>O。同位素标记法实验为O<sub>2</sub>的来源提供了直接的证据。

20世纪40年代，美国科学家卡尔文团队使用同位素标记和双向纸层析技术研究光合作用中怎样固定CO<sub>2</sub>。他们通过控制供给小球藻<sup>¹⁴</sup>CO<sub>2</sub>的时间和对中间产物的分析，于1954年探明了CO<sub>2</sub>转化成糖的生化途径。

### 光系统捕获和转化光能的机理——研究的不断深入

1929年，中国科学家殷宏章发现“光色瞬变效应”，进一步证实了光合作用中有两种光系统。在匡廷云、梁栋材和常文瑞三位院士等领衔下，我国科学家对多种重要光合膜蛋白超分子复合体进行了原子水平的结构解析，获得许多重大的突破，为光合作用机理研究作出重大贡献。

### 3. 光合作用受环境因素影响

光合作用的强度，又称为光合速率，可以用单位面积叶片在单位时间内进行光合作用释放的  $O_2$  量或消耗的  $CO_2$  量来表示。植物的光合速率不仅受内在因素的控制，还受多种环境因素的影响。

光是光合作用的能量来源。也许你会认为随着光照强度增加，光合作用速率会持续上升，事实并非如此。图 4-37 是以菜豆叶片为材料研究光照强度与光合速率关系的实验结果。从图中可以看出，弱光下光合速率会随光照强度增大而提高，但是当光合作用达到最大速率后，再提高光照强度，光合速率不再提高。

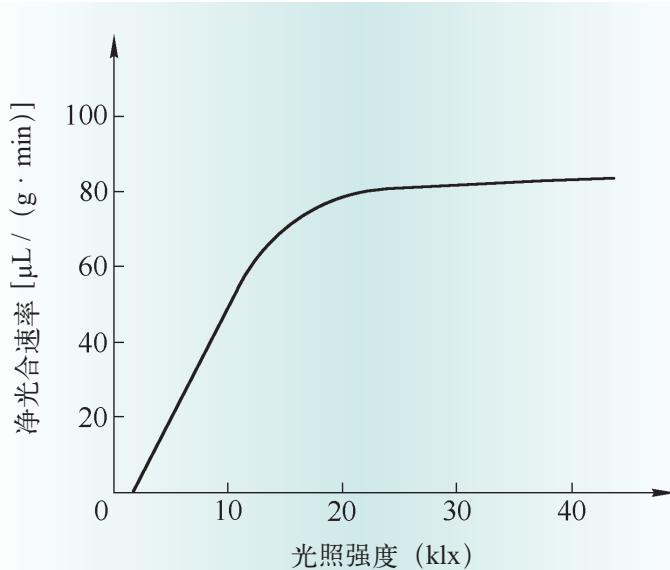


图 4-37 菜豆叶片净光合速率与光照强度关系示意图

$CO_2$  是光合作用的原料，大气中  $CO_2$  浓度约为 0.03%，基本稳定。在人工温室栽培时补充室内  $CO_2$  的浓度，可使一些作物生长加快，增产效果明显。

水是光合作用的原料，缺水会导致光合作用速率的减慢甚至停止。许多陆生植物叶片表面有厚的蜡质层，还有一些植物在中午阳光直射时会关闭气孔，从而减少水分蒸腾。

温度主要影响酶的活性和蛋白质的功能。热带、温带和寒带植物都有各自适合生存的温度范围，低于或高于这个范围，光合作用效率降低。不同地区植物光合作用的适合温度范围有所差异。



#### 学习提示

一般实验测定的是净光合作用，即实际光合作用消耗  $CO_2$  量减去呼吸作用释放  $CO_2$  量。你知道弱光下净光合速率为什么为零的原因了吗？



## 探究·设计

### 4-4 探究影响光合作用强度的环境条件

光合作用所需要的条件是经过实验获得的。假设学校正准备建设植物培养温室，需要一组合适的、可促进植物光合作用的环境条件数据，请设计实验进行探究。

**提示：**光照强度、 $\text{CO}_2$ 浓度、温度是最常见的影响光合作用强度的因素。在实验设计中，需要根据单因子变量原则、对照原则和控制无关变量原则，选定一个因子进行探究。

**提示：**结合学校实验室的条件，建议测定单位时间内植物释放的 $\text{O}_2$ 量来表示净光合作用速率。

#### ► 探究过程：

- 确定探究问题。全班分成若干个小组。以小组(4~6人)为单位，通过讨论确定探究的题目，如光照强度(或 $\text{CO}_2$ 浓度、温度)对光合作用强度的影响等。同时，选题也要考虑实验条件可行性。
- 材料选择和方案设计。如以水生植物黑藻为材料，通过测定氧气释放量来表示光合速率的变化，根据控制变量原则和对照原则，小组讨论设计单因子实验方案，方案主要考虑：
  - 所需仪器与试剂。
  - 怎样控制可变因素的变化？实验中其他影响光合作用的环境因素如何保证一致？
  - 怎样测量光合作用速率？
  - 实验操作的流程。
  - 实验现象观察与实验数据记录。
- 小组成员分工合作，按实验方案实施实验，并记录实验结果。
- 整理实验结果，以图或表的形式表达实验结果。
- 小组分析讨论实验结果，全班汇报交流，或各小组把方案与实验结果上传到班级群里，相互评价，取长补短。结合自己的数据和其他小组的数据，重新作图表示所研究的环境因素与光合作用强度的关系，并用语言描述你的图表，总结不同的环境因素是如何影响光合作用强度的。
- 根据探究结果，为建设植物培养温室制定方案。

#### ► 信息查询：

在探究过程遇到问题，可进一步通过网络及相关资料查询，找到解决问题的方法。



## 生物学与社会

### 充分发挥光合作用效率的现代设施农业

农业生产中改善光合作用、提高作物产量始终是人们努力研究的方向。随着人口不断增长，可耕种土壤面积的不断减少，在有限的土地上生产足够的粮食就成为目前的世界难题。光合作用的效率受多种环境因素影响，只有清楚地了解不同植物在田间最大光能转化效率所需要的条件和机制，且有相应的监测、分析和调控田间生长条件的高新技术，才能采取合适的改善措施提高光合产量。现代设施农业正是在此基础上，结合现代工业技术和计算机控制技术，精准提供作物光合作用所需要的条件，不仅实现了在城市或贫瘠低产地区作物的高产高质，也逐渐把多种经济植物的栽培拓展到无土的立体空间，甚至太空。未来，精准调控与优质高产会随着光合作用机制研究和相关多个领域的进一步发展不断升级提高！



### 自我评价

1. 有科学家称“光合作用是地球上最重要的化学反应”。你是否认同这一观点？请阐明理由。
2. 叶绿体是绿色植物进行光合作用的细胞器，光合作用由光反应和碳反应协同完成。请从反应场所、物质与能量变化角度，分析光反应和碳反应之间的联系。
3. 人们对光合作用的底物和产物的认识经历了漫长的探究过程。查阅资料，选择光合作用探究史中1~2位科学家所做的实验，谈谈他们的思维过程。
4. 现代设施农业常利用信息化手段对植物生长所需的温度、湿度、光照、CO<sub>2</sub>浓度以及营养液等环境条件进行自动控制。其中，光照是一种重要因素，通常通过设置单色光源、改变光照强度等提高光合作用效率。现有一家水培生产生菜的农场计划以单色LED灯为光源，你认为应该配置何种颜色的灯？请说明理由。除了光源颜色外，你知道光照强度该如何控制吗？
5. 在高等植物光合作用过程中，光反应是通过一系列由色素分子和蛋白质构成的复合体协作完成的，其能量转换被认为是地球上最有效利用太阳光能的过程。各国科学家都在研究如何通过模拟植物的光合作用来开发新能源。请查阅资料，了解我国在光合作用模拟研究方面的进展。



## 前沿视窗

### 光能转换超分子机器——光合膜蛋白复合体

人类的生存和社会的发展离不开能源，而大量使用化石能源使得  $\text{CO}_2$  浓度持续升高、空气质量恶化，导致严重的环境与气候问题逐年递增。因此，发展可再生的新能源势在必行。光合作用是利用太阳能进行能量和物质转换的高效过程，能否通过对光合作用进行升级改造，把制造糖的叶片开发成生产油的“能源叶片”？或通过体外模拟光合作用生产清洁能源？其实这已经是各国科学家都在瞄准的研究方向了。科学家知道首先需要解决的核心问题是光合作用是如何实现光能的高效转换的？

如果说高等植物的叶绿体是光能转换的工厂，那么类囊体膜上分布的蛋白质复合体就是光能转换的超分子机器，它们形成的流水线实现光能的吸收、传递和转化。其中由众多的色素分子与蛋白质分子组成的两类超级复合体（即 PSⅡ 和 PSⅠ）是最重要也是高度复杂的超分子机器。要对光合作用模拟或开发，科学家必须清楚这样重要的超分子机器的组成部件和组装原理。PSⅡ 和 PSⅠ 都包含了核心器件和外周捕光器件两大部分，捕光器件位于核心器件的外周，通过吸收光能并将其传递给核心器件的反应中心，激发反应中心的电荷分离，完成光能向电子势能的转换。不同器件的有序结构是如何形成的？不同器件之间如何精确组装和对接在一起呢？科学家们利用冷冻电镜技术来不断解析。1988 年，三位德国科学家凭借解析紫细菌光合作用反应中心的晶体结构而共同获得诺贝尔化学奖。2015 至 2018 年，我国科学家相继在《科学》(Science)、《自然》(Nature) 等杂志上发表了对高等植物和红藻捕光器件的蛋白超分子复合物三维结构的精确解析（图 4-38），揭示了适合高效吸能、传能和转能的光合色素与不同类型蛋白质的空间定位与组装特点，以及捕光器件和核心器件之间界面上的“黏合剂”小蛋白质分子特点，为人们在分子水平理解光合作用的机理提供了三维空间结构的信息，在进化上也有助于人们了解原核生物和高等植物的光能转换机器的结构、性能变化。

可以想象，科学家通过对不同生物光能转换的超分子机器的不断解析，可以有针对性地对粮食或能源作物的光合作用效率进行提高改造，甚至可以通过把来源于不同生物中效率最高的“蛋白质-色素”组件通过一定的生物手段组装在一起，装配出更加高效的超分子机器，使人类能够更加有效地开发和利用太阳能。

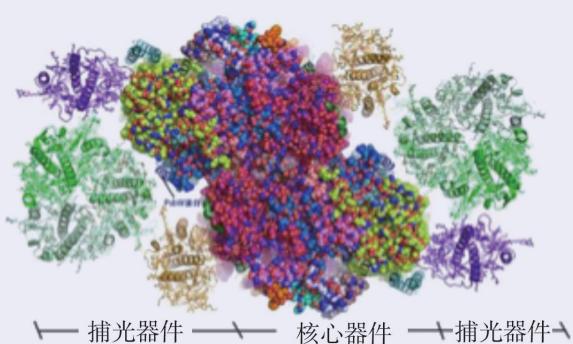


图 4-38 菠菜光系统Ⅱ蛋白超分子复合物的三维结构模型图

# 本章回顾



## 本章小结

细胞的生存需要能量和营养物质。小分子物质通过被动运输和主动运输等方式进出细胞，大分子和颗粒物以胞吞、胞吐方式进出细胞，以满足细胞正常生命代谢活动的需要。细胞质膜的选择透过性是维持自身稳定以及与外界进行物质交换的保障，这种特性与质膜中磷脂和蛋白质组成密切相关。

细胞的功能绝大多数基于生化反应，酶催化的高效性和专一性保证了这些反应得以高效进行。绝大多数酶是蛋白质，酶的催化功能及作用特点与其分子结构密切相关。温度、pH等环境因素通过改变蛋白质的空间结构影响酶的活性，这体现了生物结构与功能相适应的特点。

细胞的生命活动需要能量，ATP是驱动细胞生命活动的直接能源物质。细胞通过呼吸作用氧化分解葡萄糖等有机分子产生ATP。这一过程中，葡萄糖在细胞质基质中经糖酵解分解为丙酮酸，产生少量ATP；有氧条件下，丙酮酸进入线粒体，彻底氧化分解为 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ，产生大量ATP；无氧条件下，氧化分解不彻底，生成酒精或乳酸等，产生少量ATP。细胞呼吸也是细胞中物质代谢的枢纽，实现糖类、脂肪和蛋白质等相互转化。有机物是能量的载体，物质变化过程伴随着能量的转换，是细胞代谢的主要特征。细胞呼吸的原理广泛应用于人类的生活生产实践中，如酿酒、酸奶制作等。

光合作用是植物细胞叶绿体将太阳能转换成化学能、将 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 转变为糖和 $\text{O}_2$ 的过程。在光反应中，叶绿体通过类囊体膜上的色素系统从太阳光中捕获能量，裂解 $\text{H}_2\text{O}$ ，生成高能化合物ATP和NADPH，同时释放 $\text{O}_2$ ；NADPH和ATP携带能量参与叶绿体基质中的碳反应（卡尔文循环），最终将 $\text{CO}_2$ 合成为糖分子，并将能量储存到糖分子中。光合作用受温度、光照强度、 $\text{CO}_2$ 浓度等环境因素影响。光合作用的研究史中蕴含着丰富的科学思维方法和科学探究精神，光合作用的研究成果可广泛应用于指导现代农业生产。

物质变化与能量转换贯穿于细胞的呼吸作用、光合作用等代谢过程，用科学思维方法对这些过程进行归纳概括，树立物质与能量观。经历观察植物细胞质壁分离和复原、探究影响酶活性的因素、探究酵母呼吸方式、探究不同环境因素对光合作用的影响等实验探究活动，更加熟练地使用生物学实验仪器，提升实验设计和方案实施等探究能力；尝试解决现实生活问题，形成开展生物学实践活动的意愿和社会责任感。



## 学业评价

1. 人的唾液中含有淀粉酶，可以催化淀粉分解为麦芽糖：



请根据酶的特点回答下列问题。

- (1) 该反应发生的场所是 ( )。
  - A. 细胞外
  - B. 细胞质基质
  - C. 线粒体基质
  - D. 溶酶体
- (2) 淀粉酶的化学本质是\_\_\_\_\_。反应中淀粉酶的作用是\_\_\_\_\_。
- (3) 你认为人的唾液淀粉酶工作的最适温度是\_\_\_\_\_℃，理由是\_\_\_\_\_。
- (4) 延长该反应时间，麦芽糖是否会水解？为什么？
- (5) 用什么方法可以检测淀粉水解反应的发生？

2. 绿色植物在光照下发生光合作用。图 4-39 是光合作用过程简图，字母表示物质，数字表示光合作用的两个阶段。

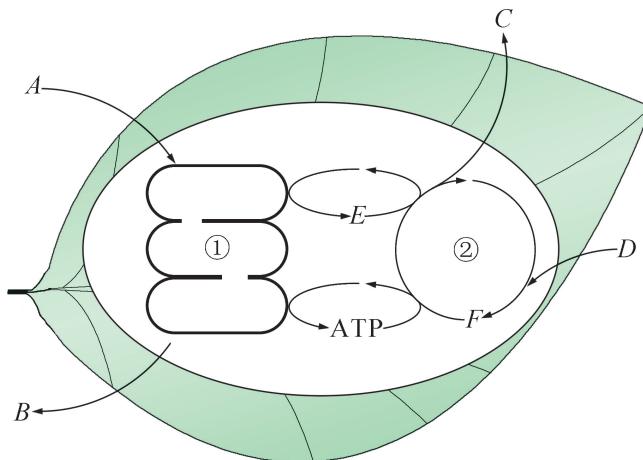


图 4-39 光合作用示意图

- (1) 阶段①表示\_\_\_\_\_，你判断的理由是\_\_\_\_\_。
- (2) 图中 A、B、C、D、E 分别表示\_\_\_\_\_。
- (3) NADPH 携带的高能电子是\_\_\_\_\_在光下活化并释放的。
- (4) CO<sub>2</sub> 供应不足时，叶绿体会降低对光能的捕获，可能的制约途径是\_\_\_\_\_。

3. 强光下的水生植物会释放出  $O_2$ 。在实验室里你会观察到，光源距离不同，植物产生气泡的速率就会发生变化。表 4-5 显示了一组实验数据。

表 4-5 实验数据记录表

植物与光源的距离 (cm)	每分钟产生气泡数
10	39
20	22
30	8
40	5

- (1) 请绘制曲线图来表示灯的距离和气泡产生速度的关系。
- (2) 根据你绘制的曲线图，分析灯的距离和气泡产生数量之间的关系，并做出解释。

4. 根据对光照强度需要不同，可把植物分为阳生植物和阴生植物。与阳生植物相比，阴生植物通常呼吸作用低，基粒大，基粒片层多，且叶绿素含量较高，能在较低的光照强度下充分吸收光能。图 4-40 是一种阴生植物和一种阳生植物在不同光照强度下的光合速率变化曲线。

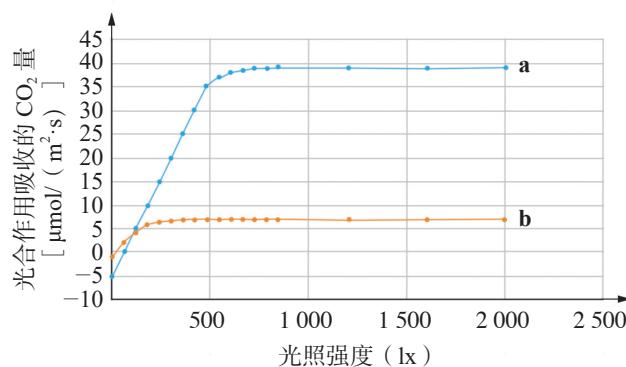


图 4-40 两种植物在不同光照强度下的光合作用吸收的  $CO_2$  量

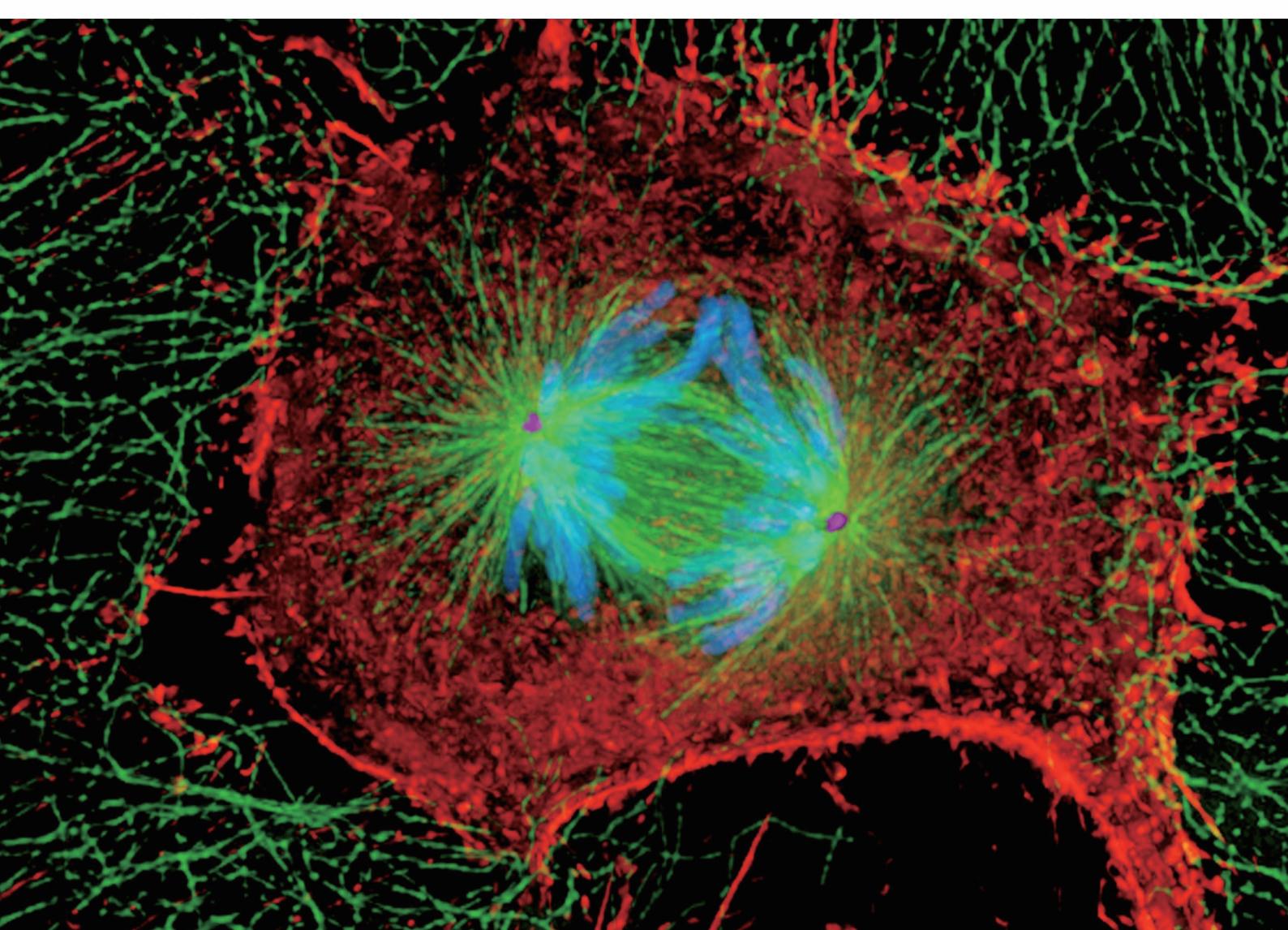
- (1) 图 4-40 中代表阳生植物的是曲线\_\_\_\_\_，代表阴生植物的是曲线\_\_\_\_\_。
- (2) 根据图 4-40 中的结果，谈谈阳生植物和阴生植物在适应不同光照强度上还有哪些不同。
- (3) 光合速率在一定光照强度下会达到饱和，你知道其可能的原因吗？

(4) 图中光合作用吸收的  $\text{CO}_2$  量为负值的原因又是什么?

5. 实验证明, 酵母在有氧和缺氧情况下都能进行细胞呼吸。在生活和生产中均会用酵母制作食品。请分别为制作馒头和酒酿工艺制定一份发酵操作流程, 并说明工作原理。
6. 新鲜水果、蔬菜的细胞呼吸是导致其营养流失的主要原因, 控制细胞呼吸是果蔬贮藏保鲜的重要手段之一。研究发现,  $\text{O}_2$  和  $\text{CO}_2$  含量、温度会影响细胞呼吸作用: 空气中  $\text{O}_2$  含量低于 10% 时, 细胞呼吸受到显著抑制;  $\text{O}_2$  含量低于 2% 时, 出现无氧呼吸。苹果、梨、柑橘等水果在 0~1°C、 $\text{CO}_2$  含量低于 5% 时, 保鲜效果好; 当  $\text{CO}_2$  含量超过 10% 时, 果实会变坏。请结合相关原理和家庭实际, 设计一份梨和柑橘的家用保鲜方案。
7. “同一个地球, 同一个家园”, 控制大气中  $\text{CO}_2$  含量对遏制全球变暖等气候问题起到重要作用, 其中植物光合作用对固碳具有重要意义。目前, 我国积极应对气候变化, 积极稳妥推进碳达峰碳中和。请查阅资料, 从减排和生物固碳两个方面, 了解节能减排和降碳的相关措施, 并制作一份图文并茂的“低碳生活, 人人有责”主题海报进行宣传。

# 第5章 细胞的生命进程

小麦种子落入泥土，几天后一棵小苗破土而出；斑马鱼受精卵在水中三天后就孵化出小鱼……从种子到植株、从受精卵到个体的过程中，生物体的细胞经历了哪些变化？细胞的这些变化对生物体而言有何意义？通过对细胞重要生命阶段的学习，你将了解细胞的生长、增殖、分化、衰老和死亡等生命进程。



# 第1节 细胞通过分裂实现增殖



## 学习目标

- 通过实验和模型观察，描述细胞增殖的方式和主要特征。
- 学会制作和观察根尖细胞有丝分裂简易装片。

## 概念聚焦

- 细胞通过分裂实现增殖。
- 细胞有丝分裂中出现的结构保证了亲代的遗传信息准确传递给子代细胞。

从婴儿到成年的生长发育过程中，人体的细胞会从约 $10^{12}$ 个增加到约 $10^{14}$ 个。进入成年期，即使个体不再生长，但体内大部分细胞还会不断更新，如肠上皮细胞每天都有分裂，每一秒钟我们体内会有数百万的新细胞产生。那么，我们体内的细胞是如何实现增殖的呢？新生细胞与亲代细胞是否带有同样的遗传信息呢？



## 成长中的变化

找出自己从小到大不同年龄段的照片，从生物学的角度，看看成长过程中发生的变化（图5-1）。



图5-1 人的成长过程示意图

### 思考与讨论：

- 人成长过程中，体内细胞的数量、大小有什么变化？
- 随着年龄增长，青少年的身高渐渐地不再增加，这也标志着各器官发育趋于成熟，此时体内的细胞分裂会发生怎样的变化？
- 这个过程中，体内细胞所含遗传信息是否有变化？为什么？

## 1. 有丝分裂保证遗传信息的准确传递

在成长过程中，我们的身高和体重都在逐渐增长，但基本面貌特征却变化不大。其实，动植物随着个体的生长，其体内细胞数量不断增加，新增殖的子细胞内的遗传信息与亲代细胞基本一致。通过观察动植物细胞有丝分裂过程，可以知道细胞是如何做到遗传信息准确传递的。

**从染色质到染色体** 图 5-2 是植物根尖分生区的两个细胞。图中右边的细胞正在分裂，与左边的细胞相比，它的细胞核有什么不同？

在处于分裂时期的细胞中，我们看到染色深的棒状结构就是**染色体** (chromosome)，是细胞核内的长丝状染色质经过螺旋化后的状态 (图 5-3)。在分裂前，细胞已通过 DNA 复制的方式形成两套完整的遗传物质，这一阶段称为间期。细胞分裂需要将复制后的两套完整遗传信息准确分配给两个细胞，而一堆长丝状的染色质是不易分开的。这类似于我们面对一堆不同颜色的毛线，要将它们整齐地按色彩分放，最好的办法是先将每根毛线绕成团，然后将毛线团归类。长丝状的染色质螺旋成粗短的棒状染色体，有利于细胞分裂过程中准确地分配给两个子细胞。待细胞分裂结束，染色体又解旋为染色质。

在间期，每条染色质中的 DNA 发生复制，染色质经螺旋化后形成两条染色单体，通常呈现“X”形。两条染色单体互称为**姐妹染色单体**，含有相同的遗传信息，通过**着丝粒** (centromere) 相连接 (图 5-3)。不同物种具有特定数目的染色体，每条染色体都有固定的形态和大小。你知道我们人类体细胞有多少条染色体吗？

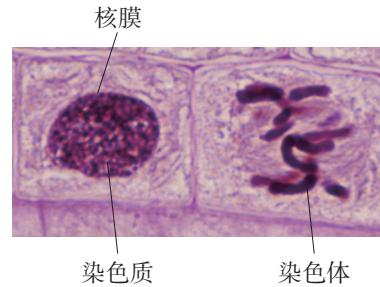


图 5-2 植物根尖分生区细胞 (40×)

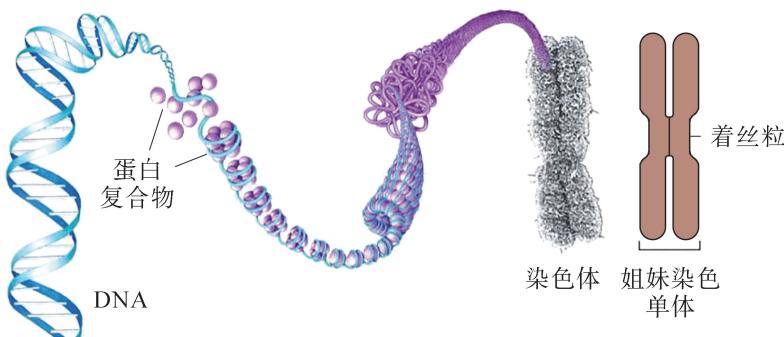


图 5-3 染色体形成过程示意图

**染色体被平均分配** 多细胞生物体细胞主要通过**有丝分裂** (mitosis) 的方式实现增殖，一次分裂形成两个与亲代细胞完全相同的子代细胞。在这个过程中，细胞形态、遗传物质等发生一系列变化。为便于研究，整个有丝分裂过程被人为地划分为前期、中期、后期和末期。细胞分裂的每个时期都有各自典型的形态特征 (图 5-4)。

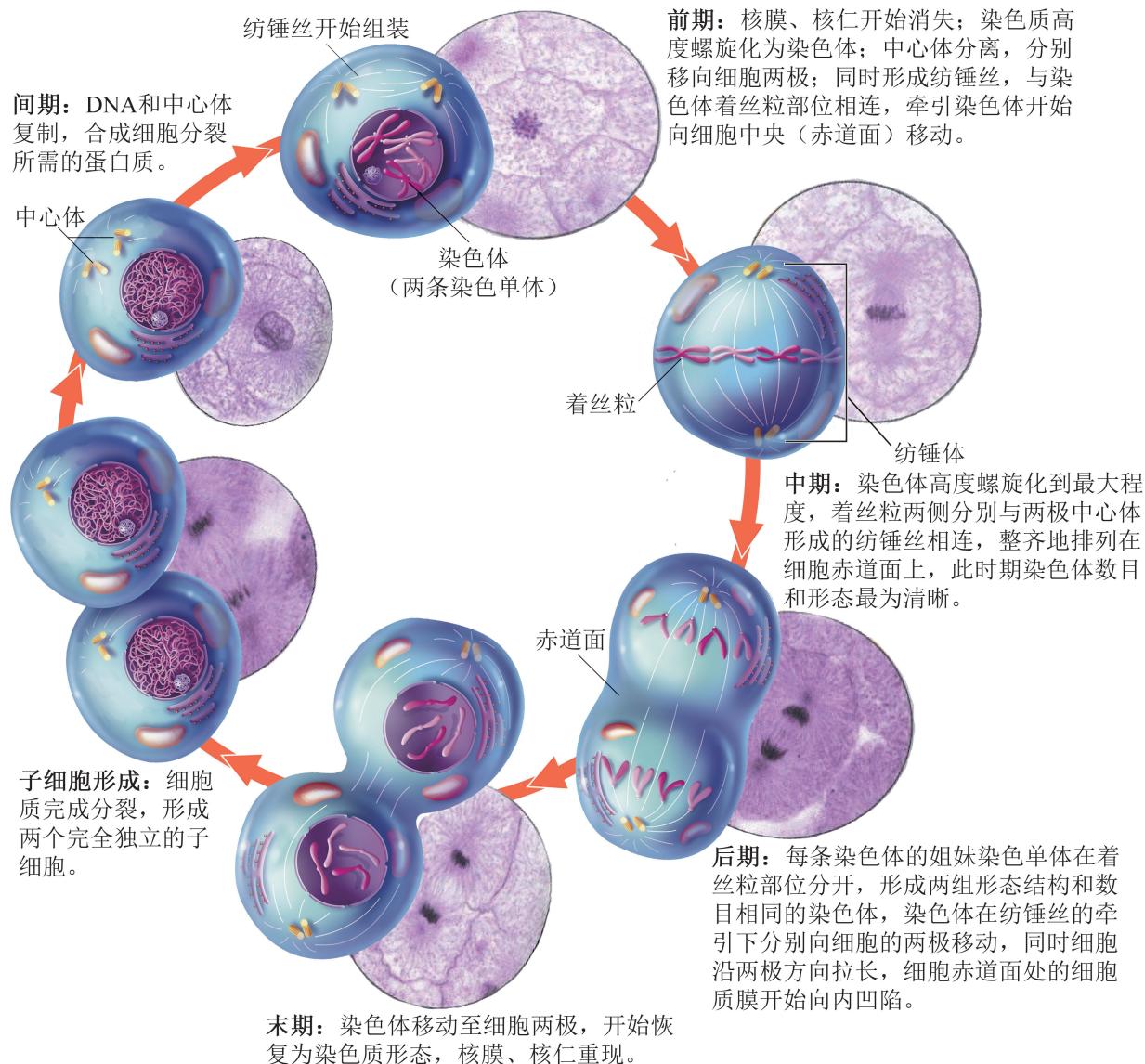


图 5-4 动物细胞增殖过程示意图

有丝分裂前期的特点是形成染色体和纺锤丝, 染色体的着丝粒部位连接纺锤丝, 向细胞中央的赤道面移动。到了中期, 所有染色体整齐排列在赤道面上。随后, 姐妹染色单体在着丝粒部位分开, 分别随纺锤丝向两极移动, 细胞随之变长。染色体到达两极, 解旋为染色质, 被核膜包围, 完成细胞核中遗传物质的平均分配。

细胞质分裂一般开始于有丝分裂后期。以动物细胞为例, 随着细胞质膜在赤道面向内凹陷, 细胞质发生分裂, 最终形成两个完全独立的子细胞。

有丝分裂后, 子细胞中染色体数目与亲代细胞完全相同, 分裂过程中染色体的行为保证了细胞遗传信息由亲代到子代的稳定遗传。

### 学习提示

分裂间期 DNA 复制保证了细胞有丝分裂后遗传信息的一致性。

**纺锤丝保障染色体向两极移动** 除了染色体的行为，纺锤丝结构的形成也是有丝分裂过程中遗传信息准确传递的保障。动物细胞开始分裂时，位于细胞质中的两个中心体移向两极，并以中心体为起点构建由微管组成的呈放射状排列的纺锤丝。纺锤丝以两极中心体为顶点，在前期开始形成一个梭形的纺锤体结构（图 5-4）。有丝分裂过程中，来自同一染色体的姐妹染色单体分别由纺锤丝牵引向两极移动，完成分裂中最重要的染色体分配。高等植物细胞虽然没有中心体结构，但细胞分裂时同样有纺锤丝、纺锤体的形成。



## 探究·实验

### 5-1 观察植物根尖细胞有丝分裂

动植物细胞的结构有差异，它们的分裂过程是否也有不同？植物细胞的有丝分裂过程中，染色体的行为和纺锤丝的形成与动物细胞基本相似，但分裂中还会出现一些特殊的结构。

#### ► 实验目标：

按染色体的变化规律总结植物细胞有丝分裂的过程，并通过与动物细胞有丝分裂比较，建构植物细胞有丝分裂模型。

#### ► 实验原理：

植物根尖尖端的细胞分裂比较旺盛，它们分别处于细胞分裂的不同时期。通过根尖压片实验，可以观察到植物细胞分裂各时期染色体的特征。

#### ► 材料器具：

经固定、解离和漂洗处理的植物根尖，如吊兰（图 5-5）、大蒜或洋葱鳞茎的根尖；显微镜、载玻片、盖玻片、镊子、解剖针、培养皿、吸水纸、染液（醋酸洋红或 0.2% 龙胆紫）、蒸馏水等。

#### ► 实验步骤：

##### 1. 取材

取处理过的根尖组织，放在载玻片上，用刀片切去根尖



图 5-5 吊兰根尖照片



(A) 间期



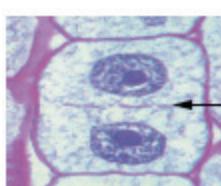
(B) 前期



(C) 中期



(D) 后期



(E) 末期

细胞板：分裂末期赤道面上会  
出现细胞板结构，由细胞中央  
向四周扩展，形成新的细胞壁。

图 5-6 植物细胞间期及有丝分裂过程显微镜图 (40×)

透明部分，留白色部分约 2~3 mm。

## 2. 染色

用镊子轻轻将根尖压扁以便于染色，然后向根尖滴加 1 滴染液，染色 1~2 min (染色开始时用镊子在根尖处捣几下，使染色均匀)。略倾斜玻片，露出根尖后用吸水纸从一侧将染液小心吸掉。注意：吸染液时不要将根尖吸走。

## 3. 压片

吸走染液后，向根尖滴加 1 滴蒸馏水，将其浸没。取盖玻片，从一侧斜放下去，使材料位于盖玻片中部。取两层吸水纸，盖在盖玻片上，用拇指垂直向下压几下 (不能扭转)，使根尖分散成均匀的薄层。移开吸水纸，从盖玻片一侧滴少许蒸馏水，用引流法使蒸馏水进入装片以提高折光率。

## 4. 镜检

先在低倍镜下观察整个装片，初步分辨出正在分裂的细胞，找到有较多细胞处于分裂期的部位，然后换用高倍镜观察。参照图 5-6 确定各时期，并记录观察结果 (表 5-1)。

表 5-1 植物根尖细胞间期及有丝分裂的观察

时期	特征描述	视野中各个时期的细胞个数			各个时期细胞总数	占细胞总数的比例 (%)
		视野 1	视野 2	视野 3		
间期						
前期						
中期						
后期						
末期						

## 结果分析：

- 有多少细胞正在分裂？为什么不是所有细胞同步分裂？
- 假如你没有找到处于分裂中某个阶段的细胞，说说可能的原因。
- 根据你的观察结果，画出植物细胞有丝分裂各时期示意图，并与动物细胞进行特征比较。

## 2. 细胞分裂具有周期性

从植物细胞有丝分裂的观察实验中可以发现,即使是在细胞分裂旺盛的根尖分生区,大部分细胞都有清晰的细胞核,而正在分裂的细胞相对较少。对此你是怎么解释的?

细胞分裂是一个复杂的过程,分裂前需要做充分的准备,包括蛋白质合成、DNA复制等物质准备。因此对于进行增殖的细胞来说,分裂具有周期性,它的生长、成熟直至分裂结束有序进行。细胞从一次分裂结束到下一次分裂结束所经历的过程称为**细胞周期**(cell cycle),分为分裂间期(G期)和分裂期(M期)(图5-7)。细胞周期中的每个时期都有各自的使命,任务完成并通过细胞内的自我审核才会进入到下一时期。从时间上看,细胞分裂间期比较长,约占整个细胞周期的90%~95%,而细胞分裂期只占5%~10%。

### 学习提示

在分裂间期,细胞充分生长,并做好下一次分裂的准备。

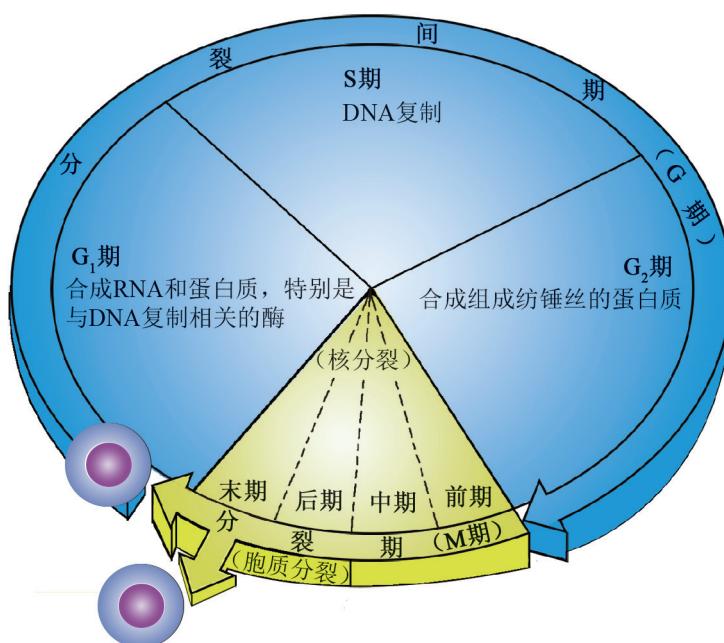


图5-7 细胞周期示意图

自然界细胞种类繁多,不同细胞有丝分裂的形态变化基本相同,但细胞周期的长短差异很大。有些细胞分裂一次仅需要数十分钟,如胚胎细胞、酵母等;有些需要按小时计算,例如洋葱根尖细胞的细胞周期约为24 h,人消化道上皮细胞的细胞周期为10 h左右;还有些细胞的细胞周期长达一年至数年。细胞周期长短的差异主要来自分裂间期的不同,细胞一旦进入到分裂期,持续的时间相对比较恒定。

### 3. 细胞有多种分裂方式

不同生物的细胞分裂方式不尽相同。原核细胞一般只有1条DNA，复制后细胞可以直接一分为二形成新的个体，所以细菌的增殖很快。真核生物细胞的分裂方式除了有丝分裂外，还有无丝分裂和减数分裂。其中，无丝分裂是一种简单的分裂方式。分裂时，细胞核内染色质复制完成后，细胞核和细胞质直接拉长一分为二，无丝分裂保证了细胞在短时间内就可以完成增殖过程，如蛙的红细胞分裂（图5-8）。减数分裂是高等多细胞生物体产生生殖细胞的主要方式，将在《遗传与进化》分册学习。

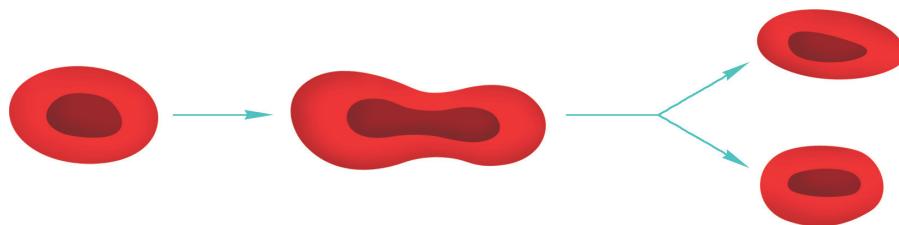


图5-8 蛙的红细胞无丝分裂示意图



#### 自我评价

1. 细胞有丝分裂过程中，出现的哪些结构保证了子代细胞与亲代细胞遗传信息的一致性？请举例说明。
2. 如果要观察人体细胞的染色体数目，你会选用什么细胞作为实验材料？为什么？
3. 通过信息检索，查找与细胞周期有关的疾病，说出其发病机制和可能的治疗方法。



## 前沿视窗

### 细胞周期相关蛋白质的研究与药物开发

科学家发现，当细胞周期紊乱、细胞分裂不受控制时，细胞会出现癌变。正常情况下，细胞分裂过程是受外部环境、细胞内基因和蛋白质等因素协作控制完成的。细胞会根据环境及细胞自身的状态来调整细胞周期进程，以确保细胞分裂的正常进行。这个调节通路应该有一系列的基因和蛋白质参与，其中任何一个环节出错，都会导致细胞分裂失去控制，细胞周期发生变化。这个调节通路以及影响因子的研究，对于发现细胞癌变的原因、攻克肿瘤疾病等具有重要的意义。

细胞内哪些物质参与细胞周期的调控呢？20世纪80年代，以英国的亨特（T. Hunt）为代表的科学家们从海胆的受精卵细胞中发现两类蛋白质，与细胞分裂周期密切相关，分别为细胞周期蛋白（cyclin）和细胞周期蛋白依赖性激酶（cyclin-dependent kinase, CDK）。cyclin和CDK成员们彼此组成不同的复合物来调控细胞周期的有序进程（图5-9）。如果它们表现异常，会造成细胞周期进程控制的失败，可能会引发肿瘤细胞的形成。科学家们在多种肿瘤细胞中发现CDK的酶活性过度活跃，使细胞分裂失去控制。因此，设想通过药物来抑制CDK酶活性，从而达到控制肿瘤细胞分裂的效果。例如，细胞周期蛋白依赖性激酶CDK4/6、CDK7是乳腺癌发生的驱动者，科学家以此为靶点研究开发抑制其酶活性的药物，通过关闭CDK的过度活化来阻止肿瘤细胞进入分裂期，以达到治疗乳腺癌的目的。2015年，全球首个CDK4/6抑制剂药物获得批准上市，给乳腺癌治疗带来了新希望。

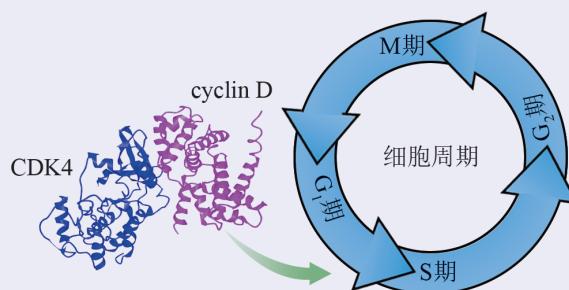


图5-9 CDK4与cyclin D结合促进细胞从G<sub>1</sub>期进入S期示意图



## 第2节 细胞通过分化形成多细胞生物体



### 学习目标

- 通过实例分析，说明复杂的多细胞生物体由细胞分化形成。
- 举例说明细胞分化能力具有差异性。
- 举例说明细胞分化研究对促进农业和医学等发展的意义。

### 概念聚焦

- 在个体发育过程中，细胞发生特异性分化。
- 植物细胞具有全能性。
- 动物干细胞具有有限的分化能力。

高等生物体是由多种多样的细胞组成的。成人体内大约有200种不同类型的细胞，虽然它们形态和功能各不相同，但最初都是来自同一个受精卵。那么，受精卵是如何形成我们身体内不同类型细胞的呢？



### 人体内不同类型的细胞

你知道人体内有哪些细胞吗？它们的形态和功能是否一样？请将你知道的细胞填入表5-2，并比较它们的异同。

表5-2 人体内不同细胞的比较

细胞类型	形态特征	功能
神经细胞		
红细胞		

### 思考与讨论：

1. 从同一个受精卵不断分裂而成的细胞，为什么出现了形态和功能的差异？
2. 各种类型细胞中的遗传信息是否有差异？

## 1. 细胞通过分化形成组织器官

我们可以在人体内找到形态与功能差异很大的各类细胞。这是由于在发育过程中，受精卵通过有丝分裂增加细胞数目时，在基因的调控下，细胞发生形态和功能上的差异化，最终构成了人体不同的组织器官。例如，神经细胞伸出长的突起，有传导神经冲动和储存信息的功能；肌肉细胞呈梭形，有收缩功能；在植物中，筛管细胞呈长柱形，有输送营养物质的功能；叶肉细胞含有叶绿体，可进行光合作用。这些细胞都是通过细胞分化而成的。

同一来源的细胞逐渐发生形态结构和生理功能上的差异，这个过程称为**细胞分化** (cell differentiation)。细胞分化贯穿于生物个体发育的全过程，与细胞内遗传信息的表达有关。受精卵分化形成的各种细胞拥有与受精卵相同的遗传信息，但在不同类型细胞中，这些遗传信息的表达状况是不同的，以致细胞形态结构和功能产生差异化（图 5-10），如红细胞能合成血红蛋白，肌细胞能合成肌动蛋白，胰岛  $\beta$  细胞能合成胰岛素。

### 学习提示

细胞的分化形成了细胞形态结构和功能的多样性。

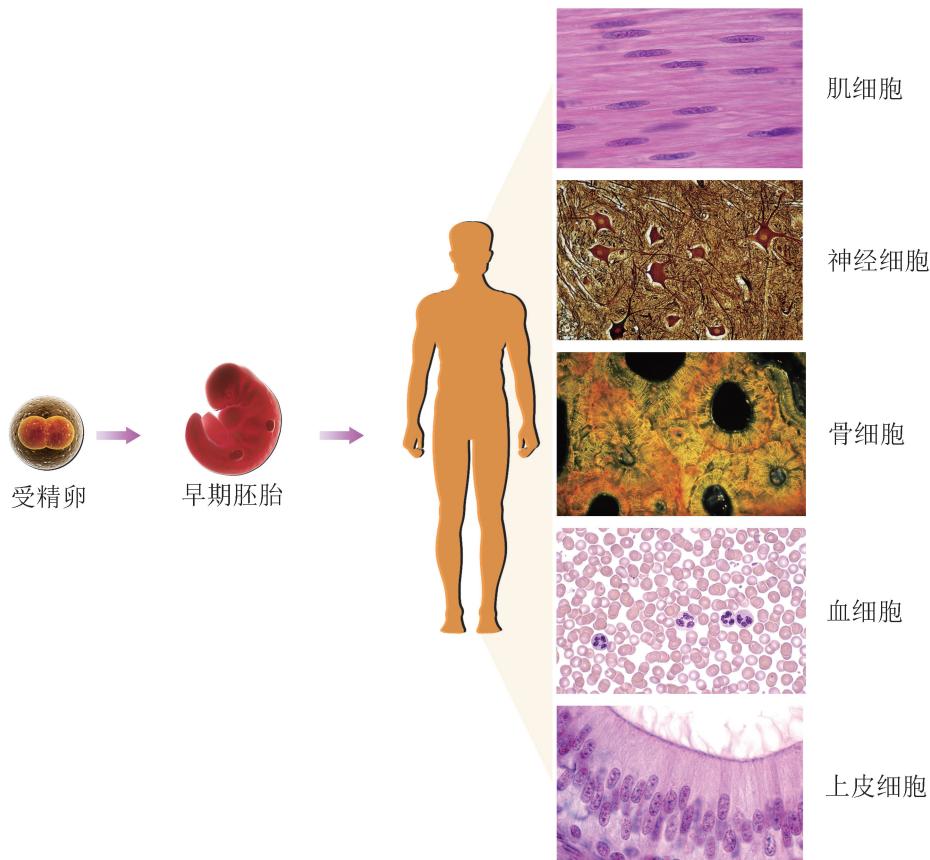


图 5-10 人体细胞分化示意图

自然状态下，细胞的分化过程通常是稳定和不可逆的。分化终端的细胞不再分裂，如神经细胞、肌肉细胞和表皮细胞等稳定地表现一定的形态特征，执行一定的生理功能，然后逐步走向衰老和死亡。但在某些特殊情况下，个别分化终端的细胞会失去控制，逆向恢复分裂生长的能力，这也可能是细胞癌变的征兆。

## 2. 不同细胞的分化能力具有差异性

不同细胞的分化能力是有差异的。若单个细胞能够发育形成完整的生物体，我们称这种细胞具有全能性。植物细胞具有全能性，例如取植物叶片组织，在合适条件下培养，可发育成新植株（图 5-11）。植物细胞的这种能力已经在农业生产中得到应用，比如应用植物细胞组织培养技术来提高农作物的产量。

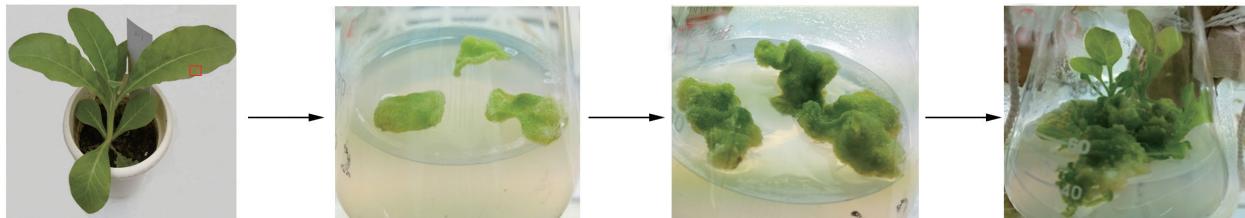


图 5-11 植物细胞的分化和全能性示意图

动物细胞在胚胎发育过程中逐渐失去了全能性，而且不同类型细胞的分化能力存在一定差异。人体内既存在红细胞、表皮细胞和神经细胞等不再具有分化能力的细胞，也存在着一类具有潜在自我更新与分化能力的干细胞（stem cell）。干细胞能分裂产生和自己完全相同的子细胞，也能分化为组成组织器官的其他类型细胞（图 5-12）。在动物胚胎、胎儿和成体内都能发现不同类型的干细胞。胚胎中的干细胞在发育中能分化形成各种不同类型的细胞；成体内干细胞的职责主要是分化形成新的细胞来替补已经死亡的细胞。

### 学习提示

干细胞具有细胞分裂和分化的能力。

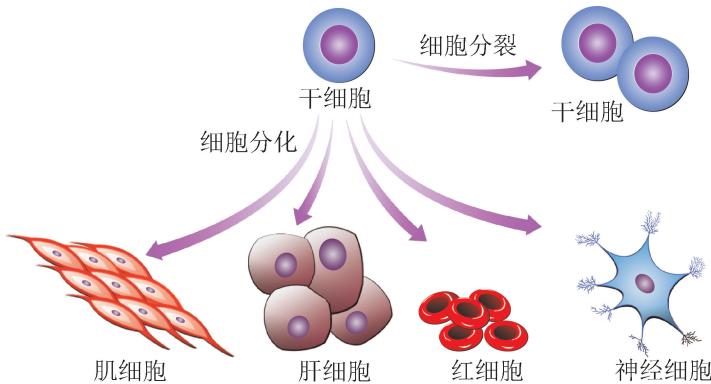


图 5-12 干细胞的分化特性示意图

受精卵是具有全能性的细胞，而我们体内干细胞的分化能力是有局限性的，它们只能分化为特定组织中的细胞。例如，骨髓中的造血干细胞，只能分化为血液系统中的各种细胞，包括红细胞、白细胞和血小板等（图 5-13）。当我们体内原有的红细胞死亡时，就由造血干细胞负责分化形成新的红细胞。皮肤中的干细胞只能分化为皮肤组织中的细胞，替代那些死亡的表皮细胞。但也并不是所有组织中的细胞都能更新，例如大多数神经细胞在受到损伤后不能得到有效更新，因此应保护好我们的神经细胞。

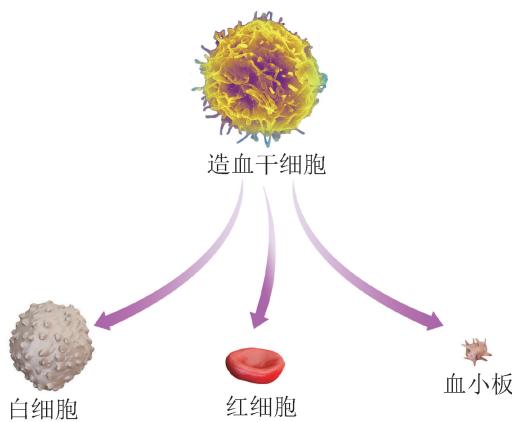


图 5-13 造血干细胞分化示意图

目前，干细胞已成为医学界的“万能细胞”。例如，骨髓干细胞移植治疗白血病就是一种成熟的干细胞治疗方法。20世纪末，科学家已经做到可以使干细胞在体外进行长期稳定的生存和分裂，并保持原有的分化特征。这项技术的开发为干细胞应用于疾病治疗带来了广阔的前景。

### 广角镜

#### 爱护眼耳

人眼视网膜上分布着传递视觉的神经细胞，人耳中有传递听觉的神经细胞，这些神经细胞一旦损伤或病变，通常无法恢复，会对视力和听力产生不可逆的影响。因此，青少年要建立健康的生活方式，爱护眼耳，养成良好的用眼、用耳习惯，预防眼耳疾病，防止意外损伤。



## 生物学与社会

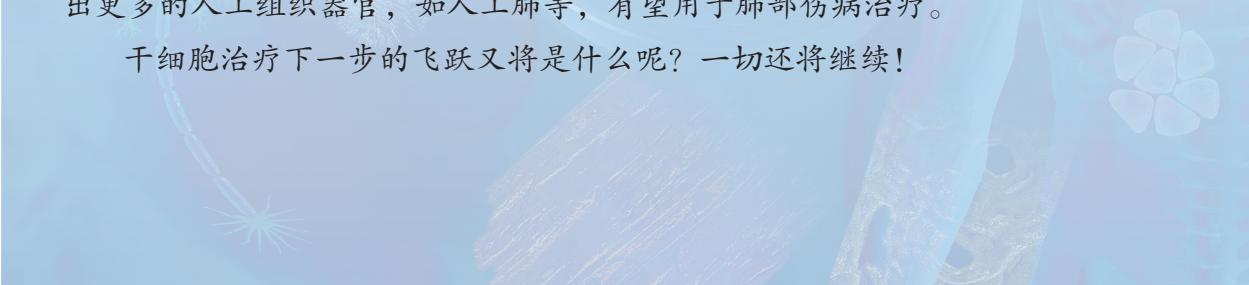
### 干细胞在医学上的应用

美国生物学家戴利 (G. Daley) 曾预言：“20世纪是药物治疗的时代，21世纪将是细胞治疗的时代。”干细胞治疗作为细胞治疗中最关键的技术之一，经历了质疑和艰难，逐渐进入被广泛应用于医学治疗的全新时代。

早在1968年，人们利用造血干细胞成功完成了世界上第一例骨髓移植手术。随后，干细胞治疗被认为是一种新兴的前沿医学治疗技术，在生物学和医学界开创了新局面。2011年，一位棒球运动员成为首例接受干细胞手术治疗的病例，医生用脂肪和骨髓干细胞植入到他受伤的韧带和肩关节，修复损伤部位，结束了折磨他4年的病痛，使他可以重新回到赛场。随着更多干细胞治疗成功案例的出现，越来越多的人开始接受和支持干细胞治疗。

目前干细胞治疗仍处于发展期，科学家们正不断努力，使这种治疗方法更安全稳定。2013年，科学家们利用干细胞制造出了“人脑组织”结构，可以帮助人们探索关于脑发展和脑组织早期疾病等重要问题。2017年，人们利用干细胞制造出更多的人工组织器官，如人工肺等，有望用于肺部伤病治疗。

干细胞治疗下一步的飞跃又将是什么呢？一切还将继续！



### 自我评价

- 根据细胞分化能力，对受精卵、胚胎干细胞、骨髓干细胞和红细胞进行排序，并说明理由。
- 成人体内有多种干细胞，举例说明干细胞的作用。
- “落地生根”是一种多年生草本植物，它们的小叶落地后会长成一棵新植株。请从细胞分裂、分化的角度，解释这一过程中所包含的细胞变化。
- 查查资料，交流讨论干细胞治疗有哪些新的发展与应用。

# 第3节 细胞衰老和死亡是自然的生理过程



“寄蜉蝣于天地，渺沧海之一粟。哀吾生之须臾，羡长江之无穷。”自然界中，每种生物都有自己的生命周期。生物个体的衰老和死亡过程肉眼可见，而构成生物体的细胞也有自己的生命周期。细胞的衰老和死亡过程是怎样的？有哪些形态和结构的变化？



## 细胞的寿命

你知道体内不同细胞的寿命长短吗？查阅资料，填写表5-3。

表5-3 人体不同细胞的寿命

细胞类型	细胞寿命
红细胞	

### 思考与讨论：

- 与同学交流相关信息，归纳人体不同组织细胞寿命的特点。
- 人体内细胞死亡时，发生了哪些变化？死亡的细胞去了哪里？

### 学习目标

- 通过实例学习，说明细胞衰老和死亡是一种自然生理过程。
- 通过案例分析，阐述细胞不同死亡方式的生理意义。

### 概念聚焦

- 细胞的衰老是细胞生命进程中的自然规律。
- 细胞的死亡是细胞客观存在的生理活动，在生命延续中具有重要的价值。

## 1. 细胞存在衰老现象

成年人会随着年龄的增加而衰老，这种个体衰老的现象与细胞的衰老密切相关。例如，神经细胞、肌肉细胞的衰老会导致老年人记忆衰退和行动迟缓。这些重要器官的组成细胞发生衰老是多细胞生物体衰老的直接原因。其实在我们漫长的生命历程中，身体内不断会有一些细胞衰老并死亡，这是机体自我保护并维持生命的自然现象。

植物也存在细胞衰老的现象，整株植物的衰老和死亡是植物细胞衰老累积的结果。“幢幢云树秋，黄叶下山头”描述的便是秋天叶片细胞衰老后导致叶片变黄脱落的景致（图 5-14）。这是因为在叶片衰老时，细胞中叶绿体被破坏，叶绿素含量下降，同时细胞光合作用和呼吸作用的效率也都会下降。多年生植物在季节交替的生活周期中，面对恶劣的生存环境，为维持植株整体生命，部分细胞也会衰老并死亡。

在细胞的生命周期里，当其分化成熟后，分裂能力会逐步降低甚至丧失，细胞的形态结构和功能都会发生一系列退行性的变化，如膜结构流动性减小，原本分工明确又相互协作的内部结构活性下降，不再有序地工作；细胞内酶的活性降低、代谢减缓等，这些便是**细胞衰老**（cell aging）现象。细胞衰老是普遍存在的、不可逆转的自然现象。引起细胞衰老的原因错综复杂。通常认为，外界因素（如营养物质缺失、温度变化、辐射和化学物质刺激等）和内部因素（如DNA损伤、蛋白质合成错误、细胞器功能下降等）都会引起或加速细胞的衰老。在细胞衰老过程中，细胞内生理活动、物质代谢、基因活动等都发生了变化。人们正在不断研究并发现细胞衰老的具体机制，如果能找到控制细胞衰老的关键基因与蛋白质，也许能帮助我们维持机体良好的功能，从而更健康地生活。

## 2. 细胞具有不同的死亡方式

细胞死亡是细胞生命活动之一，是生物体清除衰老、损伤或病变细胞的一种自然生理过程。

我们体内的细胞是有寿命的，如血液中的红细胞生存 120 天就死亡，肠道上皮细胞平均 1~2 天便更新换代一次。死亡的细胞会由分裂分化产生的新细胞来代替。这些细胞的死亡方式是机体自主性和生理性的，受遗传信息控制，具有程序性。动



图 5-14 叶片组织衰老脱落

### 学习提示

细胞程序性死亡是细胞自主的死亡方式。

物细胞最常见的死亡方式称为细胞凋亡(图5-15)。凋亡的细胞会被免疫细胞及时清除,不会对周围健康的细胞造成不良的后果。

在个体发育过程中,细胞凋亡对组织形态结构的形成具有重要的作用。例如,蝌蚪发育为成体蛙时,尾部的细胞凋亡直至完全消失;小鼠胚胎发育中,趾间细胞的凋亡形成分开的五趾(图5-16)。

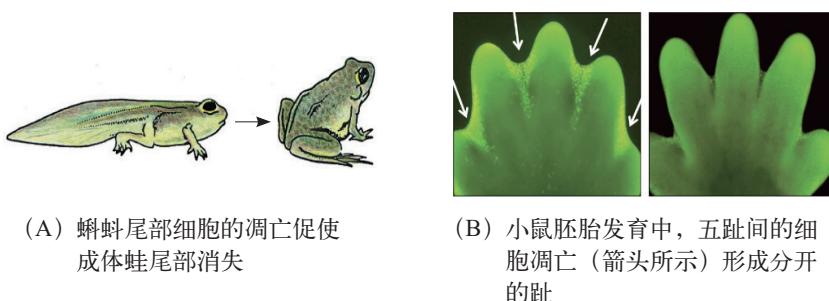


图5-16 细胞凋亡案例示意图

植物在生长发育中导管的形成、叶片形态塑造和季节性脱落等现象也与细胞程序性死亡密切相关。另外,被病原体感染的植物细胞也可通过程序性死亡被清除,保证健康植物细胞的正常生理活动。

细胞遭受极端的外界因素刺激(如物理或化学损害因子、致病物质等)而导致的损伤后死亡,称为细胞坏死。细胞坏死通常是细胞被动的死亡现象。例如,伤口和缺血的组织部位的细胞容易产生坏死。糖尿病患者由于血糖高,容易引发血管损伤、局部供血障碍,从而导致腿部细胞坏死,严重的甚至需要截肢处理。坏死的细胞被严重破坏,内容物释放到细胞外,通常会对周围健康的细胞造成影响。因此,在生活中应尽量避免大面积细胞坏死情况的发生,以免危及生命安全。



### 自我评价

- 秋天树叶凋零过程中,叶片细胞发生了什么样的变化?
- 还在成长发育中的你,体内是否存在细胞衰老和死亡?  
为什么?
- 当伤口出血、骨折等意外发生时,应如何处理以避免发生大面积细胞坏死?请查阅资料,了解现场急救的原则、呼救方式及安全用药等。



图5-15 白细胞凋亡电镜照片  
(凋亡时,细胞的质膜转变成多个小泡,包裹细胞内容物)



### 广角镜

#### 细胞自噬

细胞自噬是细胞组分降解与再利用的过程。细胞将没有功能或者衰老的内部结构包裹在膜泡中,运输至溶酶体或液泡进行回收、销毁(图5-17)。生物体面对饥饿或感染时,部分细胞会以细胞自噬的方式死亡,以应对恶劣环境。细胞自噬还和一些癌症、传染性疾病和神经退行性疾病的发生有关。因此,科学家也在针对细胞自噬开发相应的药物来治疗这些疾病。

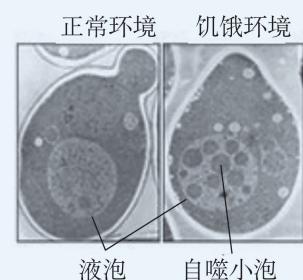


图5-17 酵母细胞的自噬

# 本章回顾



## 本章小结

细胞通过分裂进行增殖，有丝分裂是动植物体细胞增殖的主要方式。有丝分裂过程中，细胞的染色质高度螺旋形成染色体，姐妹染色单体分离并沿纺锤体移向两极，形成两个子代细胞。有丝分裂过程中出现的染色体行为和纺锤体结构，保证了遗传信息在亲代和子代中的一致性。细胞分裂具有周期性，细胞周期失控，可能导致肿瘤等疾病。

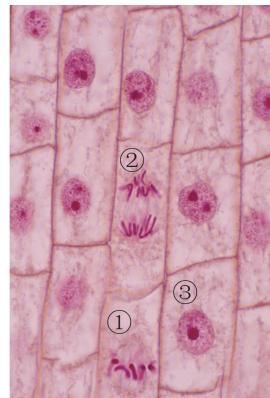
细胞通过分化使同一来源的细胞发生形态结构和生理功能上的差异化，并形成特定的组织器官，使生物体的复杂生命活动得以顺利进行。了解细胞分化的本质和在个体发育过程中的作用，可以更好地了解生命的多样性；利用细胞分化在医学中的应用，可造福于人类。

细胞的衰老和死亡是一种自然的生理过程。细胞程序性死亡在个体发育过程中起到了重要的作用。了解细胞衰老和死亡的本质及其与生物个体衰老和死亡的关系，有助于树立热爱生命和健康的观念，提示我们关注老龄化社会的现状并关爱老年人。

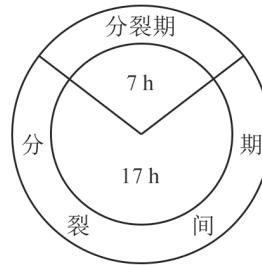
细胞增殖、分化、衰老和死亡都是细胞自然的生理过程，对维持正常生命活动具有重要的意义。比较与分析细胞生命进程各阶段的案例，正确认识细胞正常生理过程，建立科学的生命观念。关注细胞周期、细胞分化等科学探索成果在疾病治疗和健康维护中的应用，有助于进一步提升社会责任感，为继续学习和走向社会打下认识和实践的基础。

## 学业评价

1. 在“观察洋葱根尖细胞的有丝分裂”实验中看到的根尖细胞如图 5-18A, 其中①②③分别是处于不同分裂期的细胞; 图 B 是洋葱根尖细胞分裂周期示意图。



(A)



(B)

图 5-18 洋葱根尖细胞的有丝分裂

(1) 细胞①中存在的结构有 ( )。

- A. 赤道面、染色体、细胞质膜
- B. 纺锤体、赤道面、染色体
- C. 细胞壁、染色体、纺锤体
- D. 细胞壁、核膜、染色体

(2) 下列描述符合细胞②的特点是 ( )。(多选)

- A. 着丝粒断裂, 染色单体分离
- B. 染色体数目是细胞①的 2 倍
- C. 持续观察, 视野中的细胞②将分裂成两个子细胞
- D. 分裂后染色体数恢复为亲代细胞染色体数

(3) 请描述细胞③中遗传物质发生的变化及其意义: \_\_\_\_\_。

(4) 假设洋葱根尖细胞的细胞周期大多开始于 22:00, 根据图 B, 若要观察洋葱根尖细胞的有丝分裂过程, 取材的最佳时间大约在 \_\_\_\_\_。

2. 秀丽隐杆线虫是一种个体小、无毒无害、可以独立生存的线虫。英国科学家苏尔斯顿 (J.E.Sulston) 揭示了雌雄同体线虫全部 1 090 个细胞的身世和命运。其中, 131 个细胞以一种不变的方式在线虫的发育过程中消失, 使科学

家们能够在活体线虫的单个细胞水平上研究遗传发育的调控机制。

- (1) 从细胞生命进程角度分析, 秀丽隐杆线虫从一个受精卵到1 090个体细胞的过程中, 发生的生命活动主要有: \_\_\_\_\_。
- (2) 线虫的1 090个细胞中131个细胞以凋亡的方式消失, 你推测这些细胞消失方式的特点是( )。(多选)
  - A. 该过程在单细胞生物和多细胞生物中都会发生
  - B. 该过程是秀丽隐杆线虫发育过程中的一种特有的现象
  - C. 秀丽隐杆线虫被迫自杀的机制
  - D. 清除衰老和过剩的细胞、维持正常细胞数量的动态平衡
- (3) 秀丽隐杆线虫细胞周期如图5-19所示, 下列描述正确的是( )。

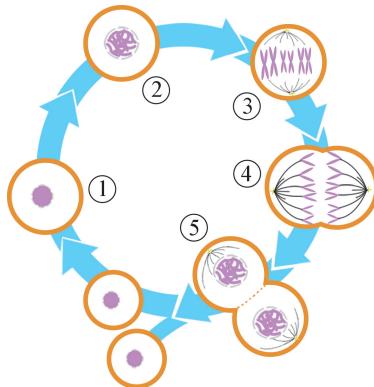


图5-19 秀丽隐杆线虫细胞周期示意图

- A. 细胞①→细胞⑤经历了一个细胞周期
  - B. 显微镜观察时视野中细胞②数量最多
  - C. 细胞②染色体的分布状况有利于后续遗传物质的均分
  - D. 细胞③→细胞④细胞染色体数加倍
3. 对于一个细胞而言, 生长、分裂、分化、衰老和死亡是必然的生命进程。为什么我们体内不同细胞生命进程的时间长短不同? 请结合具体实例谈谈你的看法。

# 后记

本册教材根据教育部颁布的《普通高中生物学课程标准（2017年版2020年修订）》编写并经国家教材委员会专家委员会审核通过。

编写过程中，上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会专家工作委员会，上海市教育委员会教学研究室，上海市课程方案教育教学研究基地、上海市心理教育教学研究基地、上海市基础教育教材建设研究基地、上海市生命科学教育教学研究基地（上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地）及基地所在单位华东师范大学给予了大力支持。还有许多学科专家、教育专家、教研人员及一线教师给我们提出了宝贵意见和建议，我们感谢所有对教材编写、出版提供帮助与支持的同仁和各界朋友！对于教材中选用的图片等作品，我们已通过多种渠道联系作者或通过购买取得授权，对此我们深表感谢！但仍有部分作者未能取得联系，恳请入选作品的作者与我们联系，以便支付稿酬。

我们深知，由于时间和能力所限，教材中还存在不足之处。希望广大教师、学生及家长在使用本册教材过程中能提出宝贵意见和建议，并反馈给我们，使我们的教材更加完善。

2020年5月

---

本册教材图片提供信息：

本册教材中的图片由视觉中国、IC photo、蛋白质数据库( 图 2-9A PDB ID: 1HRC、图 2-9B PDB ID: 2PGH、图 2-10 PDB ID: 7LZM、图 4-38 PDB ID: 3JCU )、袁隆平和王精敏( 图 1-1 )、陈一帆( 图 1-9、图 1-11 右中、图 3-9、图 3-10 )等提供。

生物学  
必修1  
分子与细胞

SHENGWUXUE



绿色印刷产品

ISBN 978-7-5478-5341-2



9 787547 853412 >