



北京师范大学国家基础教育
课程标准实验教材总编委会组编

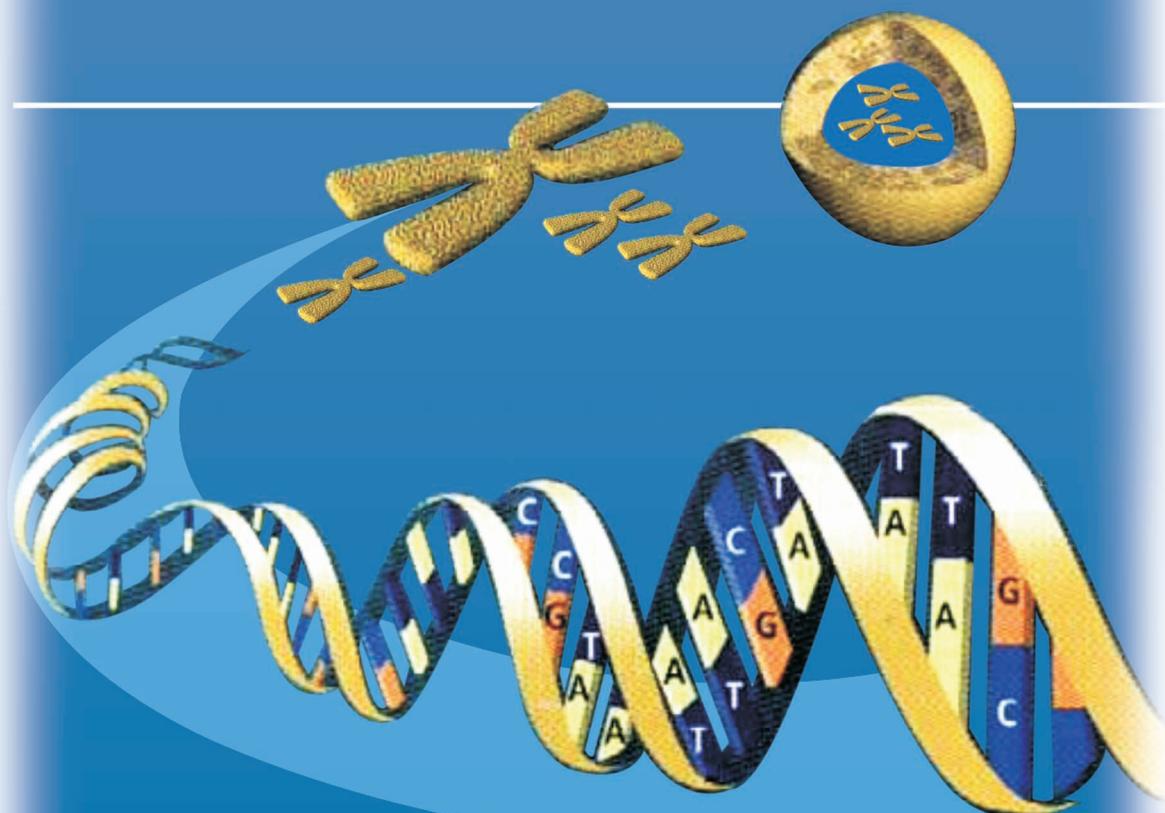
经全国中小学教材审定委员会2004年初审通过
普通高中课程标准实验教科书

生物

必修 1

分子与细胞

主编 吴相钰 刘恩山



浙江科学技术出版社

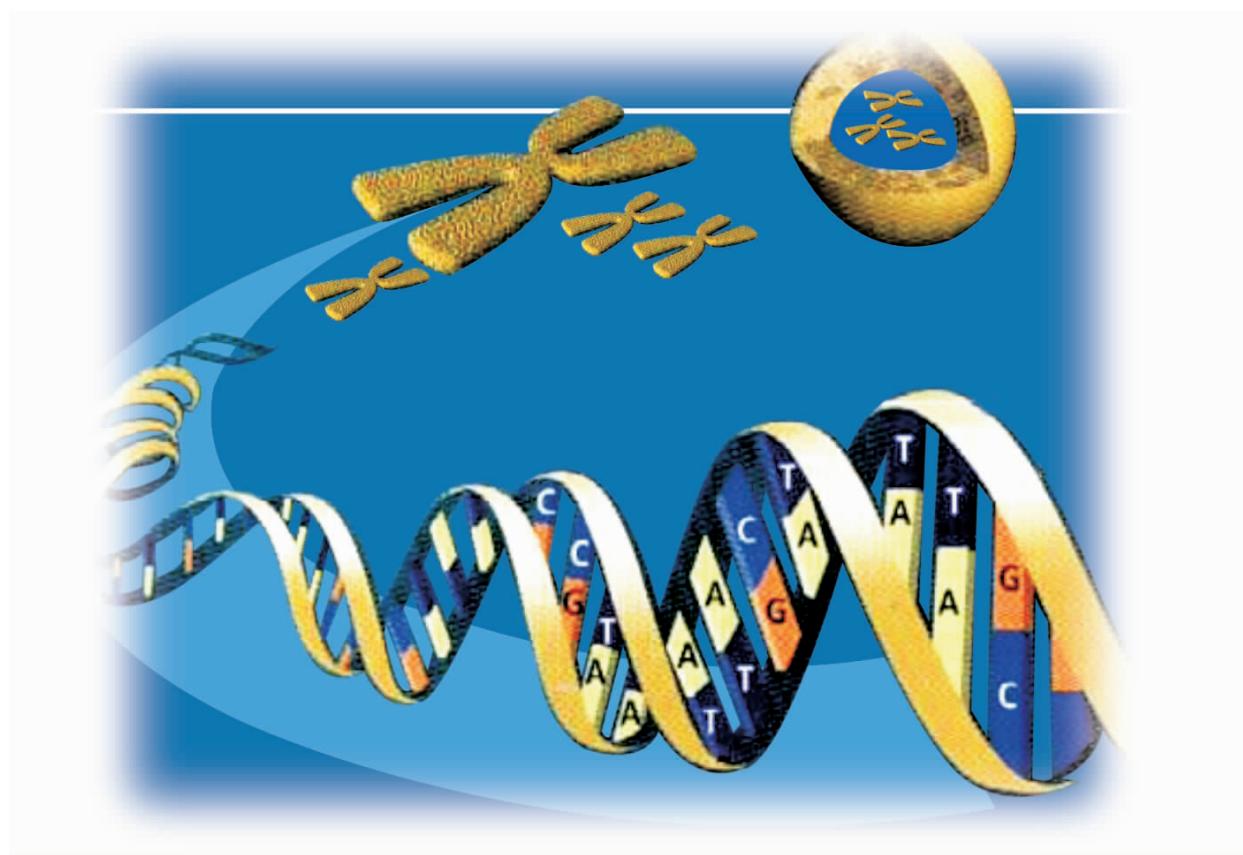
普通高中课程标准实验教科书

生物

SHENGWUXUE 必修 1 SHENGWUXUE

分子与细胞

主编 吴相钰 刘恩山



浙江科学技术出版社

主编

吴相钰 刘恩山

编写人员

吴相钰 陈守良 管 旭
陈月艳 荆林海 王惠弟

责任编辑

施 忆

责任美编

金 晖

责任校对

马 融

责任印务

田 文

书 名 普通高中课程标准实验教科书
生物 必修1 分子与细胞

出版发行 浙江科学技术出版社

杭州市体育场路 347 号 邮政编码:310006

联系电话:0571-85069529

排 版 杭州兴邦电子印务有限公司

印 刷 浙江新华数码印务有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 787×1092 1/16 印 张 8.25

字 数 132 000

版 次 2016 年 11 月第 1 版 2019 年 7 月第 3 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5341-7322-6 定 价 7.84 元

版权所有 翻印必究

(图书出现倒装、缺页等印装质量问题,本社负责调换)

定价批准文号:浙发改价格[2019]319号 举报电话 12358

什么是生物？什么是生命？

什么是生物呢？人们一般认为这是一个凭直觉都可以回答的问题。例如，当你看见一只兔子蹲在岩石上时，你会说兔子是生物，岩石是非生物。如果接着再问，凭什么说兔子是生物而岩石是非生物呢？这个问题就不容易回答了。通俗地说，生物是“活的”物体。可以回答说，兔子是活的，所以是生物；岩石不是活的，所以不是生物。如果再问一个问题，什么是“活的”呢？有人会说，活的物体会活动，兔子能动，能跑能跳，所以兔子是活的。可是汽车也能动，难道汽车也是活的吗？也有人会说，活的物体受到刺激会有反应，兔子受到刺激会有反应，比如向它扔石块，它就会逃跑。可是敲击计算机的键盘，计算机也会有反应，难道计算机是活的吗？不是！那么什么是“活的”呢？严格地说，活的就是指有生命的。

然而，什么是生命呢？这是一个很难准确回答的问题。查阅一些常用的词典，往往将“生物”一词注释为“具有生命的物体”。再去查“生命”一词，又被注释为“生物体所特有的现象”。有的百科全书对“生命”一词的解释认为，这是“一个很难下定义的现象”，又说“目前尚无一致公认的定义”。这是符合实际的说法。因为从不同的角度来考察生命会有不同的定义，各种不同的定义也反映了生命极其丰富、复杂的内涵，而且每一个时代都有每个时代对生命的认识。生命，这种地球上最复杂的现象，将会随着人类的进步，会愈来愈深刻、全面地被我们所认识。

虽然对生命很难下定义，但我们还是可以将生命描述为生物体存在的状态，而且生物体与非生物体比较，具有以下几方面特征。

1. 以细胞为基本结构单位和功能单位

所有活的生物体都是由细胞和细胞的产物构成的，因此生物体都有共同的结构单位。有些生物体如细菌和变形虫，由单细胞构成，叫做单细胞生物；其他的生物则由许多细胞构成，叫做多细胞生物。复杂的多细胞生物是由大量细胞组成的，如人体的细胞可达几十万亿个。这些细胞有多种多样的形态和功能，它们各司其职而又相互协调，形成一个整体。这些细胞的形态和功能虽有差异，但其基本结构却是一致的。

2. 相同的化学成分

所有的细胞和由细胞组成的生物体基本化学成分都相同。一般细胞的主要成分都是水，其含水量为60%~90%。水对于生命来说是不可缺少的。此外，所有的细胞都含有四类有机大分子，即糖类、蛋白质、核酸和脂质。

3. 新陈代谢

所有的活细胞都不断地进行着两类化学反应。一类是将从外界获得的营养物质转化为细胞的组成成分；另一类是将生物体内的营养物质分解，以获得细胞活动所需要的能量。这两类反应便构成了细胞的新陈代谢（metabolism）。这些反应都不是简单的过程，而是包含了一系列复杂的反应，因此又叫代谢途径。在各种细胞中主要的代谢途径都是一致的，这也许是生物体最惊人的特征。

4. 稳态

生物体是一个开放系统。从单细胞的变形虫到多细胞的人体都在不断地与外界进行物质和能量的交换，然而又保持着内部的稳定状态。如果生物体不能保持内部的稳定状态，就可能导致生命活动的终结。这种内环境的相对稳定状态是通过复杂的调节活动来维持的，这种状态称为稳态（homeostasis）。稳态是各种形式的生物体的普遍特征。

5. 应激性

所有生物，从单细胞的变形虫到多细胞的人体，从动物到植物，都能觉察机体内、外环境的变化并产生一定的反应。生物的这种特性叫做应激性（irritability）。动物的应激性是很明显的，植物是否也具有应激性呢？除少数植物外，绝大多数植物不像动物那样受到刺激就会发生明显的反应，但植物也普遍地对某些刺激发生反应，只是比较缓慢，比如向日葵幼嫩的花盘朝向太阳，就是植物对光的刺激发生的反应。

6. 生殖与遗传

生物在生长发育的基础上都能生殖后代。这既是自身的复制，也是生命组织的复制。在生殖过程中生物将自身的遗传物质传给后代，产生与亲代相似的子代。

7. 进化

生物在历史的发展过程中，通过遗传、变异和自然选择逐渐演变，适应周围环境。生物的演变，一般由简单到复杂，由低级到高级。

什么是生物学？怎样研究生物学？

生物学(Biology)是研究生命现象及其活动规律的科学。具体地说，生物学是研究生物(包括植物、动物、微生物等)的结构、功能、发生和发展以及生物与生物之间的相互关系、生物与环境之间的关系的科学。

生物学家是怎样研究生物、研究生命现象的呢？

生物学家对生命现象的研究，通常采用两种基本方法，即观察与实验。

观察(observation)是按生物的本来面貌反映、描述生物的状况。生物学家研究生物，先是通过对生物的外形进行观察和描述，然后是将生物体分解开来，观察生物的内部结构。除了用眼睛观察外，还要借助放大镜、显微镜等工具帮助眼睛观察。对于生物的观察，还由静止的观察发展到动态的观察，观察生物的生长、发育过程；由对个体的观察，进而发展到对群体的观察、对不同种类的观察。在这样的观察过程中，还可以引入比较的方法，即在观察的基础上，比较个体发育不同时期的差异、比较不同种类之间外形和结构的异同等等。比较的方法是研究不同种类生物之间相互关系的重要方法。

在生物学发展的早期，主要观察生物的形态、结构等。

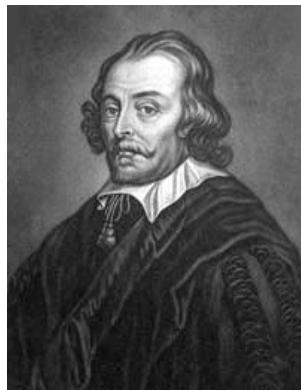
亚里士多德(Aristotle，前384—前322，图A)，在前4世纪就观察描述了500多种动物，并且解剖了其中的50多种。由于他在动物分类、解剖、胚胎发育等方面做了大量的开创性工作，他被公认为生物学的创始人。

实验(experimentation)是人为地改变某些条件来考察生命现象的变化，以探究生命现象内在的因果关系，认识生命活动的内在规律的方法。

哈维(William Harvey，1578—1657，图B)，首次把实验方法应用于生物学，



图A 亚里士多德



图B 哈维

于 1628 年发现了血液循环，成为现代生理学和实验生物学的奠基人。

在生物学的研究中，观察与实验是紧密联系在一起的。往往是先观察到某种现象，再设计一种实验来检验，也就是人为地改变某些条件，看看这种现象有无改变，如何改变。然后根据实验的结果提出能解释这个实验结果的某种假说，再对提出的假说用实验来进一步检验。

由于生命现象的复杂性，把实验方法应用于生物学比用于物理学、化学更加困难。在观察与实验中要努力排除假象，取得可靠的事材料。在根据这些事实材料推理时要多方考虑，防止得出错误的结论。

为什么要学习生物学？

首先，我们自己就是生物，而且是一种高级动物。你不想对自身有所了解吗？例如，我们的身体是怎样构成的？我们为什么要吃饭？我们应该吃哪些食物？我们为什么会生病？SARS 是怎样传染的？我们怎样对抗 SARS？如此等等，都是与生物学有关的问题。学习生物学可以帮助我们了解这些问题，回答这些问题。

生物学是一门基础科学，是农学和医学的基础。现在人类面临的几个大问题，如人口、食物、环境、健康等问题都与生物学有关。例如，当前地球上的人口已超过 60 亿，如何实行计划生育控制人口过快增长，是人类面临的一个大问题。这个问题的解决就需要生物学家从生殖生理学、内分泌生理学等方面作出贡献。如何提高人口素质，避免或减少患有遗传病的婴儿出生就需要研究产生遗传病的原因，提出避免遗传病的办法。又如，保护身体健康、防治疾病是人人都关心的问题。学习生物学可以帮助我们了解自己的身体，了解疾病发生的原因以及如何依靠医生、护士正确地预防和治疗疾病。学习生物学还可以帮助我们了解地球上千千万万种生物是进化来的，不是神造的，建立起科学的世界观。

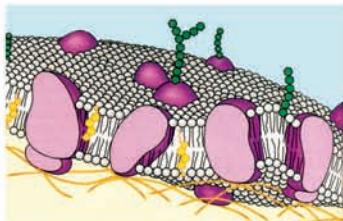
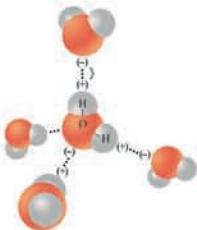
自 20 世纪 50 年代以来，生物学蓬勃发展，在多方面取得了前所未有的突破。DNA 双螺旋结构的发现，使人类对生命现象的研究从整体水平、器官水平和细胞水平深入到分子水平，生物学进入了分子生物学的新阶段。

生命科学在 21 世纪的全面发展必将促使医学的进一步发展，攻克更多危害人类的严重疾病；增加粮食产量，改善几亿人的营养不良状况；妥善保护人类生存的环境，保护生物多样性，使人类的生活更加美好。我们可以预期，21 世纪将是生物学蓬勃发展并造福人类的时期。

目录 Contents

第一章 细胞的分子组成 / 1

- 第一节 分子和离子 / 2
- 第二节 无机物 / 5
- 第三节 有机化合物及生物大分子 / 7
- 本章小结 / 19

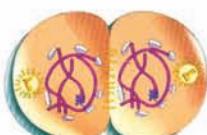
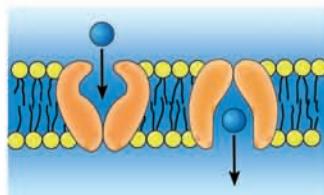


第二章 细胞的结构 / 20

- 第一节 细胞概述 / 21
- 第二节 细胞膜和细胞壁 / 27
- 第三节 细胞质 / 34
- 第四节 细胞核 / 41
- 第五节 原核细胞 / 44
- 本章小结 / 46

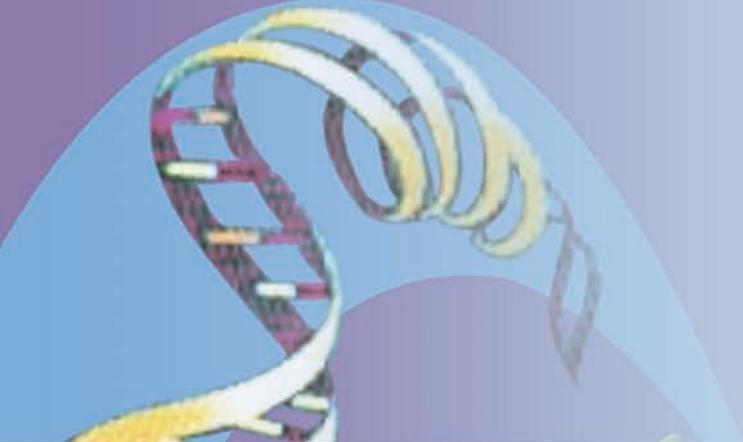
第三章 细胞的代谢 / 47

- 第一节 细胞与能量 / 48
- 第二节 物质出入细胞的方式 / 52
- 第三节 酶 / 60
- 第四节 细胞呼吸 / 71
- 第五节 光合作用 / 85
- 本章小结 / 103



第四章 细胞的增殖与分化 / 104

- 第一节 细胞的增殖 / 105
- 第二节 细胞的分化 / 113
- 第三节 细胞的衰老和凋亡 / 117
- 本章小结 / 121

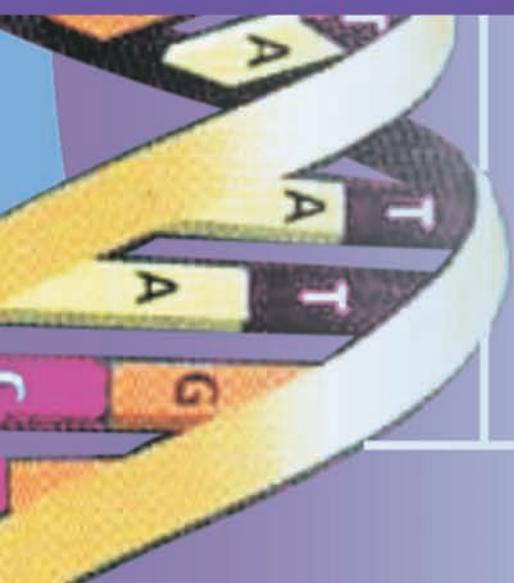


第一章

细胞的分子组成

我们生活在由生物体和非生物体组成的世界里。虽然生物与非生物有着根本的不同，但它们都是由物质组成的。作为生物体结构和功能的基本单位，细胞同样也是由各种各样的物质组成的。因此，要了解细胞及其活动，必须先了解细胞的物质组成。

化学是一门研究物质的组成、结构、性质和变化规律的科学。因此，我们要了解细胞的物质组成，必然涉及一些化学知识。化学知识是我们学习高中生物学的基础，不仅有助于我们深刻地认识细胞的物质组成，还能帮助我们进一步揭开生命活动的奥秘。



本章学习要点

1. 列出细胞中化合物的种类。
2. 举例说明细胞中的各种化合物的生理作用。
3. 测定生物组织中的某些有机物。

第一节 分子和离子

元 素

本节要点

元素

分子

离子

细胞是生物体结构和功能的基本单位，细胞是由物质组成的。构成细胞的物质与世界上所有的物质一样，都是由元素组成的。

地球上存在的天然元素有 90 多种。那么，构成细胞的元素主要有哪些呢？表 1-1 为组成人体的主要元素，同样也是构成细胞的主要元素。

表 1-1 组成人体的主要元素

元素	符号	含量(%)
氧	O	65.0
碳	C	18.5
氢	H	9.5
氮	N	3.3
钙	Ca	1.5
磷	P	1.0
钾	K	0.4
硫	S	0.3
钠	Na	0.2
氯	Cl	0.2
镁	Mg	0.1

分 子

O、C、H、N 等是构成细胞的主要元素，那么，这些元素又是怎样形成细

胞的呢？

一种元素可能由一种原子组成，也可能由一种以上的原子组成。例如，氢元素由3种不同的氢原子组成，它们分别是氕、氘和氚，通常用¹H、²H和³H表示。

分子（molecule）是组成物质的单位，分子又是由原子组成的。组成细胞的物质单位也是分子，本章我们将研究细胞的分子组成。我们吃的水果中有水，有糖，还有许多别的物质，这些物质都是由分子组成的。水分子是由氢和氧两种元素组成的，糖是由碳、氢、氧3种元素组成的。同样的几种原子可以组成不同种类的分子。例如碳、氢、氧3种原子可以组成糖，也可以组成脂肪。糖和脂肪是不同种类的分子。水是由氢原子和氧原子通过共用它们最外层的电子而形成的分子，共用一对电子形成一个共价键（covalent bond）。

水分子的性质与构成它们的氢和氧的性质完全不同。氢（H₂）和氧（O₂）都是单质分子，在常温常压下都是气体，而水（H₂O）在常温常压下是液体或气体。所以，原子构成化合物分子后便产生了一种全新的物质。细胞则是由多种多样的分子组成的。



小资料

同位素示踪

同位素是指质量不同而化学性质相同的原子。如组成氢元素的3种不同的氢原子氕、氘和氚，它们的原子核内都含有1个质子，但氕不含中子，氘含1个中子，氚则含2个中子。氕、氘和氚互称为同位素。

“普通”的碳原子是指¹²C，但碳元素中还有¹³C、¹⁴C等碳原子。生物体虽然对这些碳原子“一视同仁”，但是不同的碳原子各有不同的特性，所以可以用不同的方法进行检测。放射性同位素能够发生衰变而产生放射性，因此易于检测。¹⁴C就是碳元素中的一种放射性同位素。例如，研究光合作用时就可以利用¹⁴C标记的二氧化碳（¹⁴CO₂）进行实验，以追踪碳元素在植物体内的运行和变化，所以¹⁴C又叫示踪原子，这种研究技术就叫做同位素示踪。

示踪原子不仅用于科学研究，还用于疾病的诊断和治疗。例如，甲状腺可以选择性地吸收碘，通过碘释放的射线破坏甲状腺细胞，使甲状腺肿大得到缓解。因此，碘的放射性同位素就可用于治疗甲状腺肿大。

离 子

如上所述，两个原子之间可因共用电子而形成共价键。它们也可以因为得到或失去电子而变为负离子或正离子而结合起来，形成离子键(ionic bond)。

离子键是怎样形成的呢？我们以氯化钠的形成(图 1-1)为例来了解离子键的形成过程。原来，在钠与氯气发生反应时，钠原子最外层的一个电子转移到氯原子的最外电子层上，钠原子失去电子而显正电性，形成钠离子 (Na^+)；氯原子得到电子而显负电性，形成氯离子(Cl^-)。 Na^+ 和 Cl^- 带有相反的电荷，通过静电引力形成氯化钠“分子”。也就是说，离子键就是使正、负离子结合成化合物的静电作用。

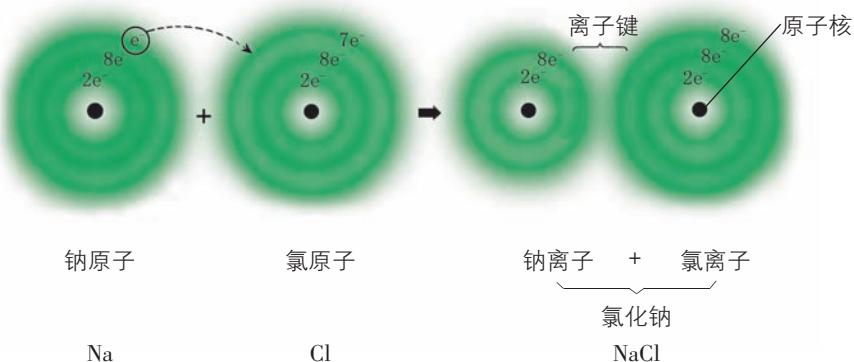


图1-1 氯化钠“分子”的形成



思考与练习

1. 原子是如何组成分子的？
2. 共价键是如何形成的？离子键又是如何形成的？

第二节 无机物

本节要点

水
氢键

细胞中的物质可分为两大类：无机化合物（简称无机物）和有机化合物（简称有机物）。无机化合物通常指不含碳元素的化合物，也包括一氧化碳、二氧化碳、碳酸盐等简单的含碳化合物。

细胞内的无机物种类很多，其中含量最多的是水，其他无机物的含量一般不高，但都十分重要。

水

生物体中水的含量一般为 60%~90%，特殊情况下可能超过 90%，如水母的含水量就达 97%。可以说，没有水就没有生命。

从图 1-2 的水分子模型中可以看到，氢原子和氧原子有一个共同的最外电子层，其中含有 8 个电子。这 8 个电子中，有 2 个本来属于氢原子，有 6 个本来属于氧原子，但当它们进入这共同的外层后，便毫无差别了。好比原来放在两个口袋里的同样的硬币，一旦把它们都放到第三个口袋中，便分不出彼此了。也就是共用的 8 个电子都在它们共同的最外电子层中。但氧的原子核中含有 8 个质子，正电荷多得多，所以在其原子核周围的电子密度较大，于是氧略带负电性，氢略带正电性。这样，水便成了极性分子，一端略正，一端略负。

因为水是极性分子，所以凡是有极性的分子或离子都易溶于其中。如氯化钠晶体，其中的 Na^+ 和 Cl^- 就会分别与水分子的负极（氧的一端）和正极（氢的一端）相互吸引，于是这两种离子的周围会各有一层水膜，把 Na^+ 和 Cl^- 分开，于是氯化钠晶体便溶于水中。

水作为溶剂，在细胞内的液体、血浆等人和动物的体液及植物的汁液中，都溶有多种多样生物必需的溶质，这些溶质大多是极性分子或离子，如葡萄糖分子、镁离子(Mg^{2+})等。当然，水也就成了生物体内物质运输的主要介质。

因为水是极性分子，并且由于正、负电荷的相互吸引，水分子之间便会形

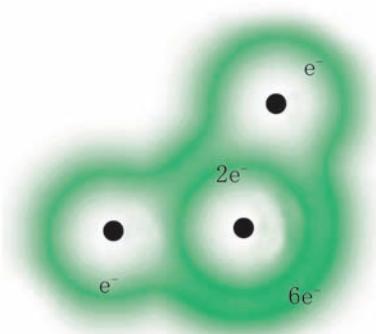


图1-2 水分子模型

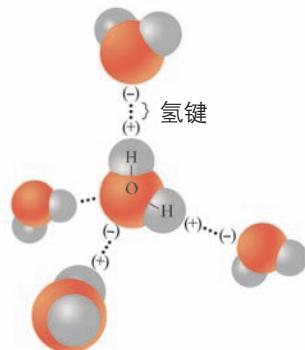


图1-3 水分子之间的氢键

成氢键 (hydrogen bond, 图 1-3)。每个氢键中的氢原子同时属于两个氧原子，每个水分子中的氧原子可以形成两个氢键。所以一个水分子可以通过氢键与另外 4 个水分子相连，这就是水分子的缔合。

由于水分子之间的氢键，使得水具有缓和温度变化的作用。氢键使水分蒸发时需要消耗大量的热，因为水分蒸发时要破坏氢键，因此出汗能有效地降低体温。水温的升高也需要较多的热，因为先要破坏氢键才能促进分子的运动。反之，水温的降低会形成较多的氢键，而氢键的形成又会释放热量。这就使得细胞内的温度变化比较缓和。

由于水分子的这些特性，所以水被认为是生命的摇篮。

无机盐类

无机盐在生物体内含量不高，约占 1%~1.5%，多数以离子的形式存在，但它们对于维持生物体的生命活动有着重要的作用。例如，血浆中含有多种无机盐，包括 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等正离子，以及 Cl^- 、 HCO_3^- 、 H_2PO_4^- 等负离子。这些离子对于维持血浆的正常浓度、酸碱平衡和神经肌肉的兴奋性等都是非常重要的。例如，若哺乳动物血液中 Ca^{2+} 的含量过低，则会发生抽搐。

无机盐还是某些复杂化合物的重要组成成分，如 Mg^{2+} 是叶绿素的必需成分， Fe^{2+} 是血红蛋白的必要成分。



思考与练习

举例说明水分子的特性与它的生理作用的关系。

第三节 有机化合物及生物大分子

碳 化 合 物

本节要点

糖类

脂质

蛋白质

有机化合物是指除一氧化碳、二氧化碳、碳酸盐等以外的几乎所有含碳化合物。构成细胞的物质主要是有机化合物。细胞所含的有机化合物种类繁多，数不胜数。为什么有机化合物的种类会这么多呢？

这是由碳原子的结构决定的。碳原子有6个电子，2个在电子云的第一层，4个在电子云的第二层，即最外层。要使最外层成为具有8个电子的稳定结构，碳原子必须获得4个电子。通常碳会与别的原子共用电子，形成共价键。

碳原子不仅可以与别的原子共用电子，碳原子之间也可以共用电子，形成C—C键。碳原子间相互共用电子，其结果是形成长长的碳链，成为一个碳骨架。碳骨架中的碳同时还可以与其他原子相连接。碳原子不仅可以形成长链，还可以形成环状结构，环中的碳也可以与其他原子相连。图1-4就是碳原子形成的几种结构，其中的C=C表示碳原子之间的双键，是共用2对电子形成的，游离的键可以与任何原子相连。

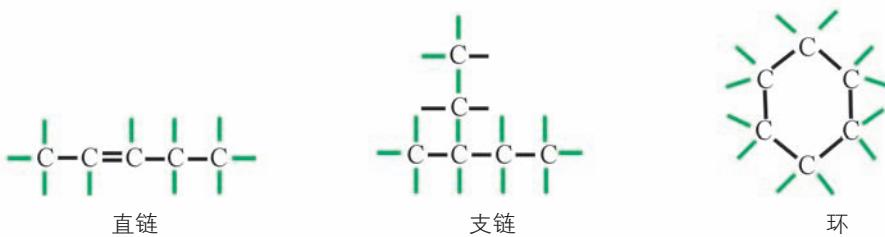


图1-4 碳原子形成的几种结构

如前所述，图1-4中碳原子上游离的键可以与氢、氧、氮、硫、磷等结合，形成

数百万种化合物,因此碳是所有生命系统中的核心元素。

在所有的生物体内,存在4大类主要的有机化合物:糖类(carbohydrates)、脂质(lipids)、蛋白质(proteins)和核酸(nucleic acids)。这4类化合物中除脂质外,有许多种物质的相对分子质量都以万计,甚至百万计,所以称为生物大分子。脂质的相对分子质量一般没有那么大,但为方便起见,有时也把脂质归入生物大分子之列。这些有机物都可以用专门的指示剂检测出来。

糖 类

糖类由碳、氢、氧3种元素组成。我们平时吃的米饭、馒头等,它们的主要成分就是糖类。

根据糖类是否能够水解及水解后的产物,我们把糖类分成单糖、二糖和多糖。单糖,如葡萄糖和果糖,不能水解成更简单的糖。二糖可以被水解,1分子二糖能水解为2分子单糖,如蔗糖水解为葡萄糖和果糖。多糖也可以被水解,1分子多糖可以产生多个单糖分子,如淀粉、纤维素水解后产生许多个葡萄糖分子。葡萄糖是生物体内最重要的单糖。

由此可知,糖类的结构单元是单糖。葡萄糖和果糖都是单糖,分子式都是 $C_6H_{12}O_6$,但是分子结构不同(图1-5)。

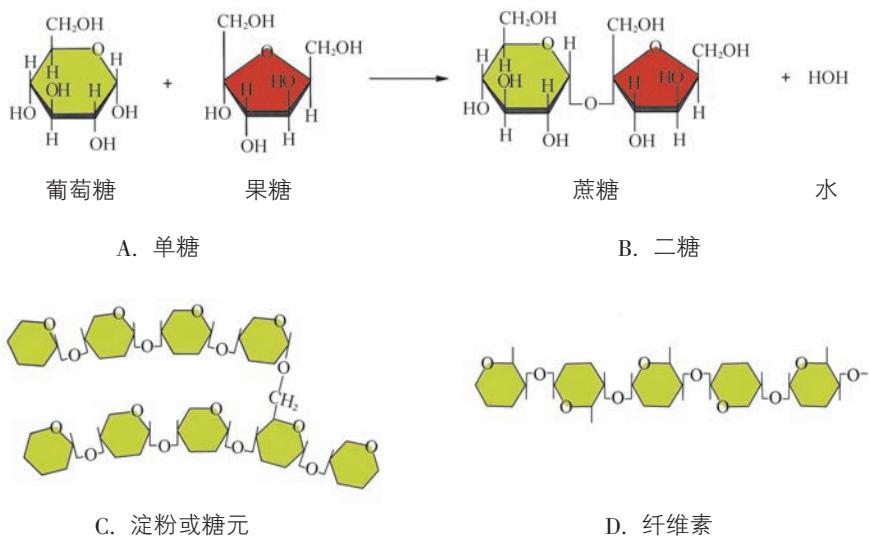


图1-5 单糖(A)结合成二糖(B),多个葡萄糖结合成淀粉或糖元(C)以及纤维素(D)

两个单糖可以形成二糖，例如，1分子蔗糖就是由1分子葡萄糖和1分子果糖组成的。生物体内另一种常见的二糖是麦芽糖，是由2个葡萄糖分子组成的。葡萄糖是细胞内主要的单糖，是最重要的能源物质。许多个葡萄糖分子连在一起形成多糖。淀粉(starch)和纤维素(cellulose)就是由葡萄糖形成的两大类多糖。淀粉是稻米、面粉等食物的主要成分，纤维素是木材和棉花的主要成分。糖类以糖元(glycogen)的形式贮藏在动物的肝脏和肌肉中。淀粉和糖元都是生物体内重要的贮能物质。

糖类也称碳水化合物，因为它们的分子式通式为 $C_n(H_2O)_m$ ，如葡萄糖的分子式是 $C_6H_{12}O_6$ 、蔗糖的分子式是 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 、淀粉的通式是 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 等。随着科学的发展，人们发现糖类中的氢、氧原子的个数比不一定是2:1，也不以水分子的形式存在，并且有些符合通式 $C_n(H_2O)_m$ 的物质也不是糖，如乙酸($C_2H_4O_2$)。因此，碳水化合物这个名称已经失去原来的意义而较少使用了。

脂 质

脂质也是主要由碳、氢、氧3种元素组成的，不过其中的氧原子含量较糖类中的少。脂质包括油脂、磷脂(phospholipid)、植物蜡(wax)、胆固醇(cholesterol)等。

人体内和食物中的油脂就是最常见的脂质。油脂是由两种基本结构单元即甘油和脂肪酸组成的。甘油类似单糖，有3个羟基，脂肪酸则是长的碳氢链，一端是羧基($-COOH$)，碳氢链中可能有双键。像这样的油脂分子称为甘油三酯(图1-6)。

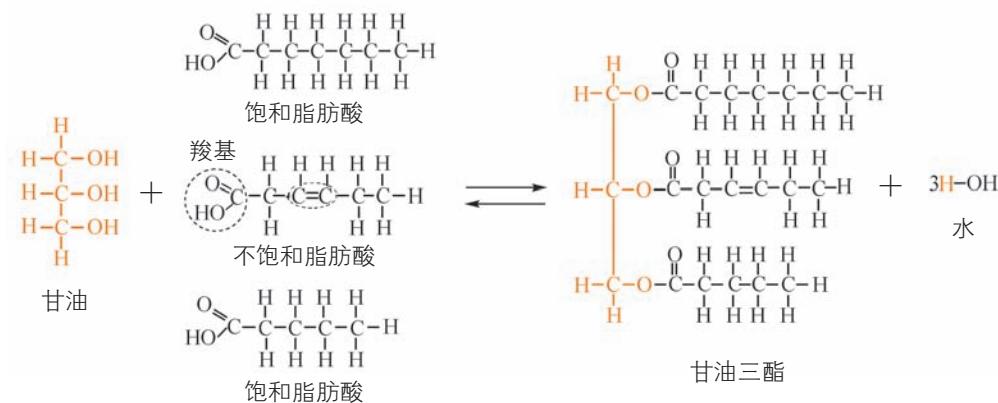


图1-6 甘油和脂肪酸形成甘油三酯

油脂和糖类一样，都是贮能物质。但是1g油脂所含的能量是1g糖类所含能量的2倍以上。在常温下，植物油脂通常呈液态，称为油；动物油脂通常呈固态，称为脂。动物在准备度过缺少食物的冬季之前，要吃大量的食物，这些食物在体内会转变为油脂。

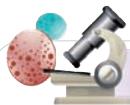
脂质也是组成细胞的必要成分，磷脂是细胞内各种膜结构的重要成分，植物蜡对植物细胞起保护作用，胆固醇也是人体所必需的，但血液中胆固醇过多可能引发心脑血管疾病。



小资料

人体必需的脂肪酸

在组织和细胞中，绝大部分的脂肪酸是作为脂质的基本成分存在的。所有的脂肪酸都有一个长的碳氢链，其一端有一个羧基。碳氢链中完全没有双键的脂肪酸称为饱和脂肪酸，碳氢链中含有双键或三键的脂肪酸称为不饱和脂肪酸。油酸、亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸等是人体中主要的不饱和脂肪酸。这些不饱和脂肪酸中有一些是人体不能合成的，因此必须从食物中摄取，所以被称为必需脂肪酸。如亚油酸就是公认的必需脂肪酸。植物油脂中亚油酸的含量较高，所以人的膳食中必须有植物油。



活 动

检测生物组织中的油脂

各种生物组织和细胞中，有机化合物含量各不相同。对于某些有机化合物，可以使用指示剂染色后在显微镜下进行检查。苏丹Ⅲ染液能使细胞中的油脂呈橙黄色。

生物组织材料必须制成薄片才能在显微镜下观察。

◎ 目的要求

- 尝试用化学试剂检测生物组织中的油脂。

2. 制作徒手切片并进行染色。

3. 练习使用高倍显微镜。

◎ 材料用具

用水浸泡过的花生种子、蚕豆种子、菜豆种子，苏丹Ⅲ染液，50%的乙醇，水（盛于烧杯内），双面刀片，毛笔，培养皿，载玻片，盖玻片，显微镜，吸水纸。

◎ 方法步骤

1. 制片：

（1）将一粒种子剥去种皮，取一片子叶用左手捏住。

（2）右手持刀片，将子叶的一端切出一个平面。

（3）将双面刀片的刃口平放在子叶的平面上，轻压刀片，同时从前向后拖动刀片，均匀用力，将子叶切成1~2mm厚的薄片。

（4）将切好的薄片置于培养皿的水中，挑选最薄的切片，用毛笔将它放到载玻片中央。

2. 染色：用吸水纸吸去材料表面的水，再用滴管将苏丹Ⅲ染液滴在切片上，静置2~3min，使切片染色。用吸水纸吸去多余的染液，再在切片上滴加1~2滴50%的乙醇溶液，洗去多余的染料。

3. 制片：用吸水纸吸去乙醇溶液，再在切片上滴加1~2滴水，盖上盖玻片，制成临时装片。

4. 观察：将临时装片放在显微镜的载物台上，在低倍物镜下找到已染色的材料，移动装片，将切片最薄的部分移到显微镜视野的中心。转动镜头转换器，使高倍物镜对准通光孔，调整细准焦螺旋，观察被染色（橙黄色）的脂肪颗粒。

◎ 讨论

1. 描述观察到的现象。

2. 你是否观察到位于两个细胞之间的脂肪滴？如何解释这种现象？

3. 当把显微镜的低倍物镜换成高倍物镜后，视野为什么会变暗？

蛋白质

肉、蛋、奶、蚕丝、羊毛等的主要成分都是蛋白质。有些外观很不相同的东西，却可能是由同一种蛋白质组成的。例如，鸟的羽毛和人的头发、指甲就主要是由同一种蛋白质(角蛋白)组成的。

蛋白质与糖类和脂质不同，通常不是生物体内的能源物质。它们在生物体内的作用非常重要，有的蛋白质是生物体和细胞的“建筑”材料，如肌肉组织中就含有大量的蛋白质；有的蛋白质起着推动化学反应的作用，如食物的消化必须要有消化酶；有的负责与疾病作斗争，如抗体参与对病原体的清除；有的帮助物质出入细胞，如细胞膜上的载体，等等。蛋白质具有多种多样的重要功能，生物体的一切生命活动都与蛋白质有关。构成肌肉组织的蛋白质、消化酶、抗体以及细胞膜上的载体，都是具有特定功能的蛋白质。蛋白质的每种特定功能都与其特定的结构有关。

蛋白质是相对分子质量很大的生物大分子，其相对分子质量从几万到几千万。人血红蛋白的相对分子质量为 64 500，烟草花叶病毒核蛋白的相对分子质量大于 2 000 万。蛋白质也被称为高分子化合物。

蛋白质具有复杂的化学结构和空间结构。其基本单位是氨基酸 (amino acid)。一个蛋白质分子可能由数百甚至数千个氨基酸分子组成。绝大多数蛋白质是由约 20 种不同的氨基酸组成的。生物体内绝大多数氨基酸的结构通式如图 1-7A，一个中央碳原子上连接着一个氨基(—NH_2)、一个羧基(—COOH)、一个 H 和一个 R 基团。不同氨基酸的 R 基团不同。R 基团可以较小，如丙氨酸中的 R 为 —CH_3 ，缬氨酸中的 R 为 $\text{—CH}(\text{CH}_3)_2$ (图 1-7B，C)。R 基团也可以是较长的链，或是环状结构。

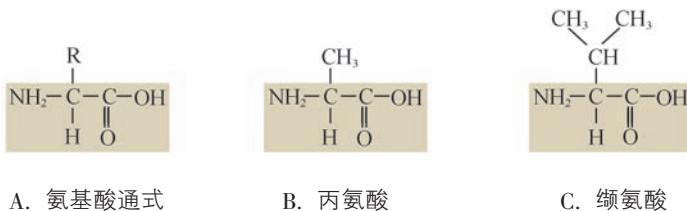


图1-7 氨基酸的化学结构

蛋白质分子中除含有碳、氢、氧3种元素外，还含有氮元素，有些蛋白质还含有硫元素。

两个氨基酸分子发生脱水缩合(图1-8)便形成二肽(dipeptide)，其间的键称为肽键(peptide bond)。如果许多个氨基酸以肽键的形式连成一个长链，便成为多肽(polypeptide)。

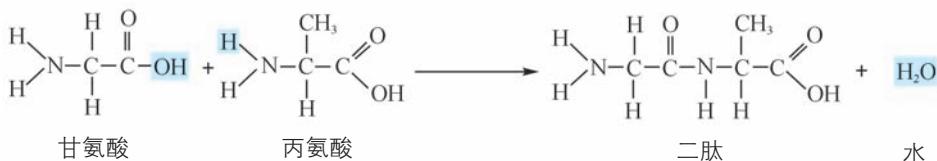


图1-8 两个氨基酸脱水缩合形成二肽

不同的多肽，它们的差别在于组成它们的氨基酸的种类、数量和排列顺序的不同。20种氨基酸任意组成的多肽种类实在是数不胜数。假定20种氨基酸任意组成一个含100个氨基酸分子的多肽，就将有 20^{100} 种多肽；即便每种多肽各有一个分子，其质量总和便可与地球质量相比！

蛋白质分子可由一条或几条多肽链组成。每一种蛋白质都有其独特的空间结构，正确的三维结构是蛋白质表现其特有的生物学活性所必需的。蛋白质分子的空间结构有多种，例如，组成毛发和指甲的蛋白质是纤维状的，而血液中的血红蛋白则像一个表面粗糙的球。蛋白质分子的空间结构并不稳定，会随温度的升高发生改变，并且空间结构一旦发生不可逆的改变，便会失去生物学活性。这种现象就是蛋白质的热变性。一般的蛋白质在温度升高后，其生物学活性会降低。当温度超过40~50℃时，其生物学活性就可能完全丧失。其他物理、化学因素也可能改变蛋白质的生物学活性。

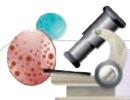
构成蛋白质的氨基酸有20种，每种蛋白质含有的氨基酸种类和数目都不同。这许多氨基酸的排列顺序可能多种多样，因而具有各自特有的空间结构。这就决定了蛋白质分子的多样性。显然，蛋白质分子的多样性与其多种重要的功能是高度统一的。



小资料

人体必需的氨基酸

人体内常见的氨基酸约有20余种。其中人体需要的、但不能在人体内合成的那些氨基酸，必须由食物供给，称为必需氨基酸，如甲硫氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、苏氨酸、精氨酸、组氨酸、色氨酸和苯丙氨酸等。动物性食物一般含必需氨基酸较多，豆类食物中也含有较多的必需氨基酸。另外一些氨基酸是可以在体内由其他化合物转化而来的，称为非必需氨基酸，如甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、天冬氨酸、天冬酰胺、谷氨酸、谷氨酰胺、脯氨酸、酪氨酸和半胱氨酸等。



活动

检测生物组织中的糖类和蛋白质

人们需要从膳食中得到各种营养物质，这些物质或直接或经过转化成为生物细胞中的各种化合物。那么，每一种食物中又含有哪些营养物质呢？我们可以用一系列的化学方法，方便地把它们检测出来。例如，用双缩脲试剂检测蛋白质，用本尼迪特试剂*检测还原糖（如葡萄糖、果糖），用碘—碘化钾溶液检测淀粉。

◎ 目的要求

1. 尝试用化学试剂检测生物组织中的糖类、蛋白质。
2. 分析实验现象，得出结论。

◎ 材料用具

供教师用的蛋白质溶液、淀粉溶液、葡萄糖溶液，供学生用的梨和白萝卜（或匀浆）、稀释的蛋清液、马铃薯块茎（或匀浆液），水（上述物品均置于小烧杯内），双缩脲试剂A，双缩脲试剂B，本尼迪特（Benedict）试剂，碘—碘化钾溶液，试管若干支，10mL的量筒，研钵，漏斗，滤纸，80~100℃的热水浴。

* 本尼迪特试剂配制方法：将4.3g硫酸铜($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)置50mL水中，加热使之溶解，冷却后加水至40mL；另将43g柠檬酸钠和25g无水碳酸钠置于150mL水中，加热使之溶解。冷却后将上述两份溶液混合，并稀释至250mL。配成的试剂需放在玻璃瓶中用橡皮塞塞紧。

◎ 方法步骤

- 观察教师用指示剂分别检测蛋白质溶液、淀粉溶液和葡萄糖溶液的显色结果。
- 下列各种食物是否含有蛋白质、葡萄糖、淀粉。请将你对实验结果的预测填入下表中。
- 将需要匀浆的生物组织材料剪碎，置于研钵中，加少量清水研磨，并将研磨液过滤或静置使其中的固形物沉淀。各种材料单独进行操作。
- 检测。
 - 检测淀粉：取2mL样本上清液加入5滴碘—碘化钾溶液，与样本上清液比较，观察颜色变化并记录在下表的相应位置（“+”表示有，“—”表示无）。
 - 检测蛋白质：取2mL样本上清液加入2mL双缩脲试剂A，振荡试管，使样本与试剂A混合均匀，再加入5滴双缩脲试剂B，与样本上清液比较，观察颜色变化并记录在下表的相应位置。
 - 检测还原糖：取2mL样本上清液加入2mL本尼迪特试剂，振荡试管，使样本与本尼迪特试剂混合均匀，将试管置于热水浴中加热2~3min，与样本上清液比较，观察颜色变化并记录在下表的相应位置。

检测样品	实验检测	所含物质		
		蛋白质	葡萄糖	淀粉
稀释蛋清液	预 测			
	实 测			
马铃薯匀浆	预 测			
	实 测			
白梨汁	预 测			
	实 测			

◎ 讨论

- 经过检测，你的哪一项预测与实测的结果一致？
- 哪种食物含有全部被检测的物质？
- 你认为哪种食物可以作为人体蛋白质的来源？
- 生物材料原有的颜色是否会影响实验结果？

核 酸

核酸是细胞中控制其生命活动的大分子。核酸共分两类，即核糖核酸(ribonucleic acid,简称RNA)和脱氧核糖核酸(deoxyribonucleic acid,简称DNA)。生物体可能是由亿万个细胞组成的。每个细胞中都有DNA和RNA。DNA中贮藏的遗传信息控制着细胞的所有活动，并决定细胞和整个生物体的遗传特性。RNA在合成蛋白质时是必需的。关于核酸，将在《遗传与进化》分册的第三章中作详细介绍。



建议活动

检测细胞中的DNA和RNA

生物的组织材料必须制成薄片才能用于显微镜下的观察。

DNA和RNA在细胞内的分布部位不同。DNA主要分布于细胞核中，RNA主要分布于细胞质中。甲基绿可使细胞中的DNA着色，即使细胞核呈蓝绿色。派洛宁可使细胞中的RNA着色，即使细胞质呈红色。

◎ 目的要求

1. 尝试检测细胞中的DNA和RNA。
2. 制作涂片并进行染色。
3. 练习使用显微镜的高倍物镜。

◎ 材料用具

新鲜动物(蛙)肝脏，1mol/L的盐酸，甲基绿—派洛宁染液，水(盛于滴瓶内)，恒温水浴，100mL的烧杯，载玻片，盖玻片，吸水纸，显微镜。

◎ 方法步骤

1. 涂片：取新鲜的动物肝脏切开，将其断面在一干净的载玻片中央涂抹数下，晾干。
2. 水解：将盛有60mL 1mol/L盐酸溶液的小烧杯，置于30℃的恒温水浴中。将晾干的载玻片倾斜着浸没于30℃的盐酸溶液中水解10min(温度始终控制在30℃±1℃)。
3. 漂洗：用镊子取出涂血的载玻片，用滴管向稍微倾斜的载玻片上加

水,让水从一端缓慢流过血膜,这样反复冲洗2~3次。

4. 染色:用吸水纸吸去血膜周围的水分,再将载玻片放入盛有60mL甲基绿—派洛宁染液的烧杯中,在30℃水浴条件下染色10min。染色完毕,用与步骤3相同的方法,冲洗残存的染液,再次用吸水纸吸干血膜周围的水分。

5. 观察:先用低倍物镜选择载玻片上色泽稍浅的区域观察细胞结构,然后用高倍物镜观察细胞内DNA和RNA的分布。在显微镜下,含RNA的区域被染成红色,而含DNA的区域被染成蓝绿色或淡绿色。注意RNA、DNA在细胞中的分布区域。

◎ 讨论

1. 本实验依据的原理是什么?
2. 本实验为什么要选用肝脏的血液作为实验材料?



思考与练习

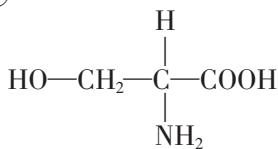
一、选择题

1. 下列物质中,属于细胞生物膜重要成分的是()
A. 糖类 B. 脂质 C. 磷脂 D. 核酸
2. 控制细胞的活动,并且决定细胞和整个生物体遗传特性的物质是()
A. 糖类 B. 蛋白质 C. 脂质 D. 核酸
3. 细胞结构和生命活动的物质基础是()
A. 糖类和无机盐类 B. 核酸和脂质
C. 蛋白质和水 D. 蛋白质、核酸、脂质、糖类、无机盐和水

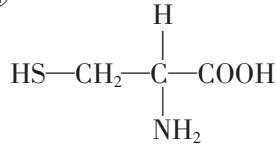
二、简答题

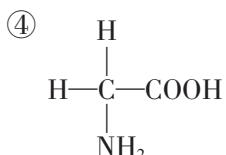
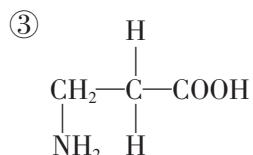
1. 下列各种化合物中,不符合氨基酸结构通式的是_____ (填写序号)。

①



②





2. 若有上述符合氨基酸通式的分子各一个, 在脱水缩合后形成的化合物中有_____个肽键, 该化合物中含有的元素有_____。
3. 下面4组图解表示2种不同的蛋白质分子, 其中○□△各代表一种氨基酸。试根据蛋白质分子结构的多样性, 说明每组图解的含义。

甲 ①○—○—○—○

②○—○—○—○—○

乙 ①○—○—○—○

②□—□—□—□

丙 ①○—□—○—□

②□—○—○—□

丁 ①○—○—○—○—○—○—○—○

○—□—□—△—□—△

 | |

S

S

S

S

②□—□—□—□—○—△—○—△—○

(1) 甲图表示组成多肽链的氨基酸的_____不同。

(2) 乙图表示组成多肽链的氨基酸的_____不同。

(3) 丙图表示组成多肽链的氨基酸的_____不同。

(4) 丁图表示组成蛋白质分子的多肽链的_____不同。

18

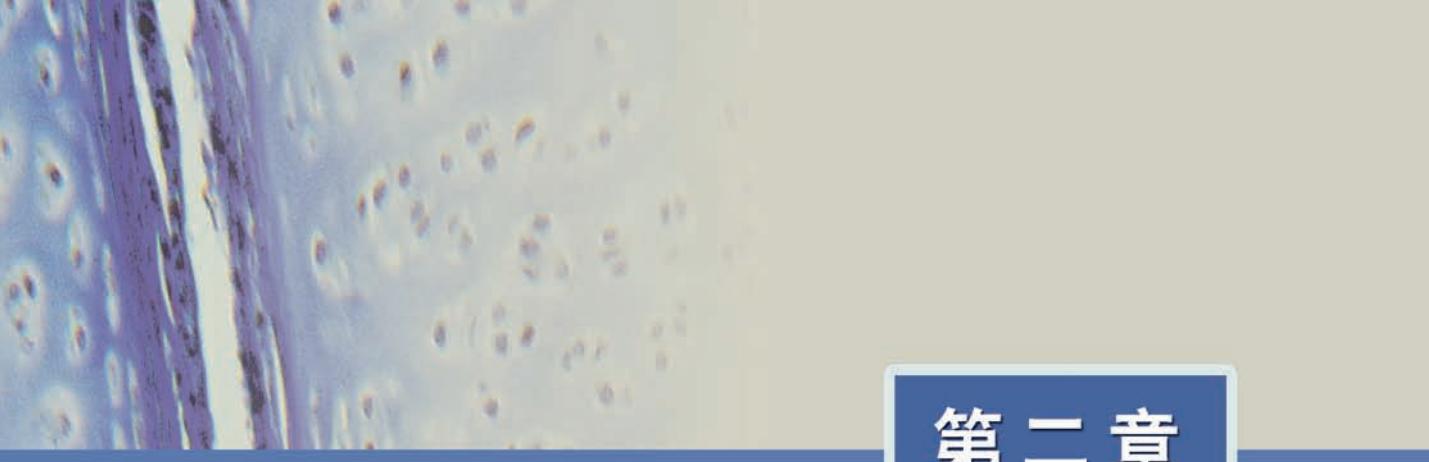
分子与细胞

本章小结

各种元素的原子通过共价键、离子键等化学键连接起来，形成了不同物质的分子。各种无机或有机分子依据各自的特性组成了细胞。

水是活细胞中含量最多的无机物，它不仅是细胞内化学反应的介质，还对维持细胞温度的相对稳定有重要作用。细胞中的无机盐以离子或化合物的形式存在，它们参与构成细胞，并在生命活动中发挥特定的作用。糖类是细胞中的主要能源物质。淀粉、糖元是贮能物质。脂质中的油脂也是细胞中的贮能物质，磷脂则是细胞各种膜的重要成分。组成蛋白质的氨基酸约有20种，它们通过肽键形成多肽化合物。一条或几条肽链组成形状复杂的蛋白质分子。蛋白质分子在结构上的多样性决定了它具有多种多样的功能，如催化化学反应、运输、免疫等。由各种物理、化学因素改变引起的蛋白质分子形状的改变，都会导致蛋白质分子生物活性的改变。核酸是决定生物体遗传特性的物质，它控制着细胞的生命活动。

由此可见，不同物质的分子在细胞中具有不同的生理作用。细胞则是各种分子的有序组织形式。

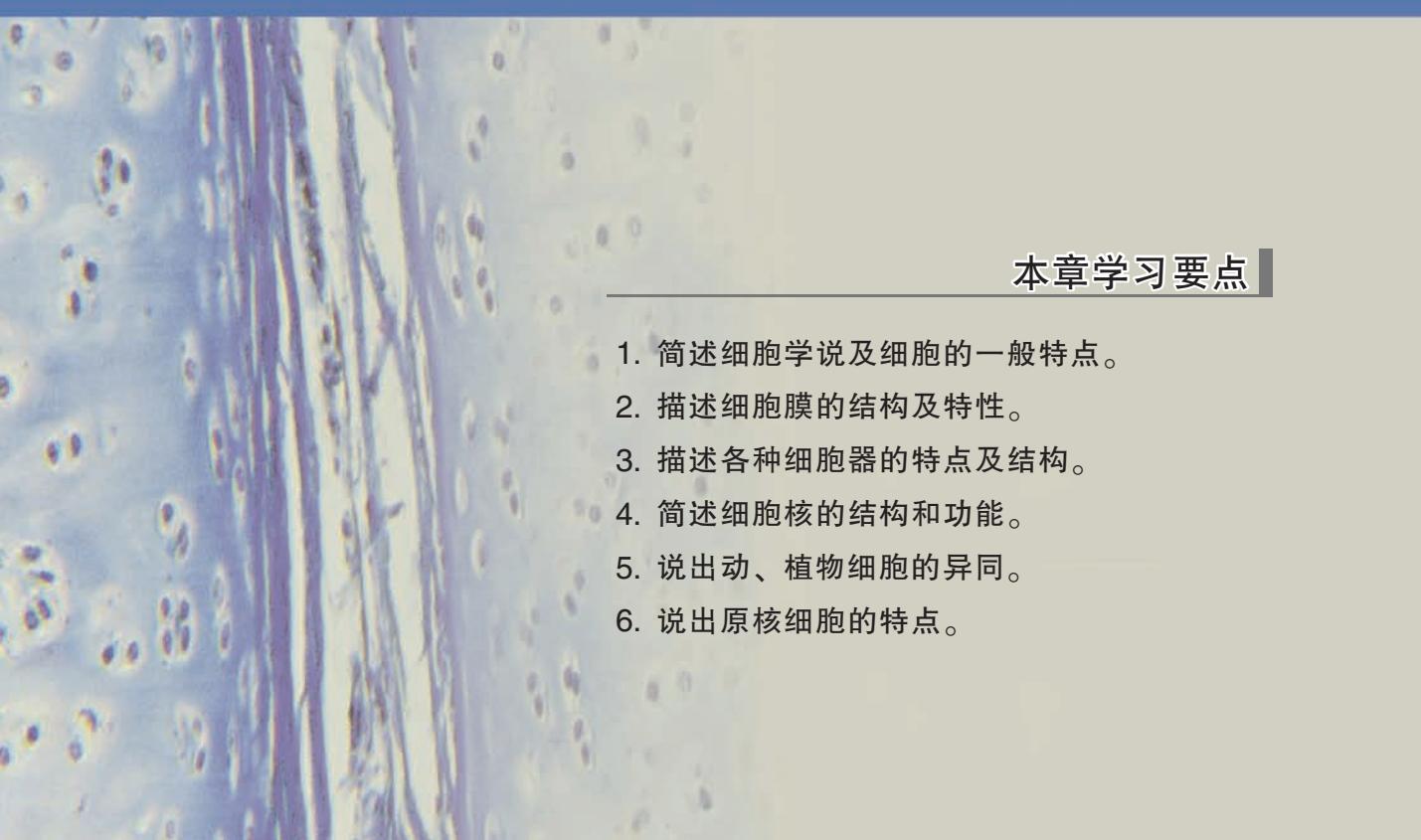


第二章

细胞的结构

我们已经知道，各种无机物和有机物依据各自的特性有序地组织起来构成细胞。每一个活的细胞都具有多种功能，进行着各种各样的生命活动。

在一个小小的细胞中，怎样才能保证多种生命活动有条不紊地进行呢？细胞具有极精巧的结构，其中的各种生命活动分别在特定的场所进行；这些活动又是彼此高度配合的。所以，细胞是一个既有分工又高度统一的整体。



本章学习要点

1. 简述细胞学说及细胞的一般特点。
2. 描述细胞膜的结构及特性。
3. 描述各种细胞器的特点及结构。
4. 简述细胞核的结构和功能。
5. 说出动、植物细胞的异同。
6. 说出原核细胞的特点。

第一节 细胞概述

细胞学说

本节要点

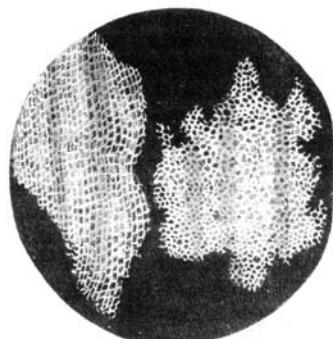
- 细胞学说
- 细胞的大小和数目
- 原核细胞和真核细胞

自 17 世纪中叶，第一台光学显微镜制成功后，科学家才发现细胞。因为人眼的分辨力只有 0.1mm，而光学显微镜 (light microscope) 的分辨力为人眼的 500 倍，所以利用光学显微镜可以观察到微小的细胞。

1665 年，英国的胡克 (Robert Hooke) 用原始的显微镜 (图 2-1A) 观察从软木塞上切下的薄片，发现软木片是由许多个小室 (图 2-1B) 组成的，他将这种小室命名为 *Cella*，即细胞 (cell)。其实胡克所看到的只是死细胞的壁，而不是活的细胞。由于显微镜技术进步较慢，细胞的研究进展也不快。约 170 年以后，德国人施莱登 (Matthias Schleiden, 图 2-2) 经过对植物的多年研究，于 1838 年提出“所有的植物都是由细胞组成的，细胞是植物各种功能的基础”的观点。次年，德国人施万 (Theodor Schwann, 图



(A) 原始的显微镜



(B) 软木细胞

图 2-1 胡克所用的显微镜 (A) 和他所看到的细胞 (B)

2-3)又提出“所有的动物也是由细胞组成的”。这就是细胞学说(cell theory)的基础。20年后，另一位德国科学家菲尔肖(Rudolf Virchow)作出了另一个重要的论断：所有的细胞都必定来自已存在的活细胞。至此，以上3位科学家的研究结果加上许多其他科学家的发现，共同形成了比较完备的细胞学说。即：所有的生物都是由一个或多个细胞组成的；细胞是所有生物的结构和功能的单位；所有的细胞必定是由已存在的细胞产生的。

细胞学说是现代生物学的基础，研究细胞的学科称为细胞学(cytology)，是生物学的重要分支。20世纪50年代以后，由于电子显微镜(electron microscope, 图2-4)的使用和相应技术的发展，陆续发现了细胞内许多细微的结构。近年来，由于生物化学和分子生物学的快速进展，细胞学已发展为细胞生物学(cell biology)。



图2-2 施莱登



图2-3 施万



图2-4 电子显微镜

细胞的大小、数目和种类

细胞的种类很多，不同的细胞大小差别很大。最小的细胞是支原体，直径只有 100nm ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)；最大的细胞是鸵鸟蛋的卵黄 ($170\text{mm} \times 135\text{mm}$)；棉花的一条纤维是单个细胞，长达 $3\sim 4\text{cm}$ ；神经细胞的直径不足 1mm ，但长度可超过 1m ；番茄果肉中圆粒状的细胞用放大镜就可以看到，而一般的细胞只能在显微镜下才能看到。一般来说，细胞的大小以微米(μm , $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$)计。

生物体的长大，不是由于单个细胞体积的增大，而是由于细胞数目的增多。据估计，一个新生婴儿的细胞数目约为 2×10^{12} ，成人的细胞数目约为 2×10^{14} ，

而成人细胞的体积并不比婴儿的大。

单细胞生物只由一个细胞组成，多细胞生物细胞数目的多少与生物体的大小成比例。大象比蚂蚁大，不是由于大象细胞的体积比蚂蚁细胞的体积大，而是由于大象细胞的数量比蚂蚁细胞的数量多。

那么，为什么细胞的体积这么小呢？活细胞总是要与环境进行物质交换，细胞体积这么小，是不是与其进行物质交换的功能有关呢？内、外物质出入细胞都要通过细胞的表面，细胞的表面积与细胞的体积有什么关系呢？



活动

模拟探究细胞表面积与细胞体积的关系

◎ 目的要求

1. 收集、分析实验数据，认识细胞体积的大小与物质扩散的关系。
2. 体会建立模型是解决问题的科学方法之一。

◎ 材料用具

3cm×3cm×6cm的含酚酞的琼脂块，0.1%的NaOH溶液，纸巾，塑料刀，直尺，塑料勺，250mL的烧杯。

◎ 方法步骤

1. 计算下表中的正方体表面积与体积之比。

边长(cm)	表面积(cm ²)	体积(cm ³)	表面积/体积
3			
2			
1			
0.01			

2. 用塑料刀将琼脂块切成3块边长分别为3cm、2cm和1cm的正方体。

- 将3块琼脂块放在烧杯内,加入0.1%的NaOH溶液,将琼脂块淹没。用塑料勺不时地翻动琼脂块。
- 10min后,用塑料勺将琼脂块从NaOH溶液中取出来,放在纸巾上,用纸巾吸干琼脂块表面的NaOH溶液。
- 待琼脂块表面没有液体后,用塑料刀把琼脂块切成两半。仔细观察琼脂块切面的颜色变化。用直尺测量每个琼脂块上NaOH扩散的深度,并将测量结果记录在下表中。

边长(cm)	琼脂块体积 (cm ³)	变色的琼脂层 厚度(mm)	未变色的琼脂层 厚度(mm)
1			
2			
3			

◎ 讨论

- 如何判断NaOH是否扩散进了琼脂块?NaOH在不同大小的琼脂块中扩散速率是否相等?
- 根据细胞大小和细胞表面积与体积比的关系,以及NaOH在不同琼脂块中的扩散情况,说明为什么大的生物体由许多细胞构成,而不是由一个或几个大的细胞构成?
- 我们用建立模型的方法探究细胞的体积和细胞表面积的关系。这种研究方法有什么益处?举例说明这种研究方法还可以用于哪些方面?

对以上模拟实验的数据进行分析可以知道,细胞体积大,其表面积与体积之比就相对变小(图2-5)。细胞通过其表面与外界进行物质交换,发生信息交流。如果体积与表面积之比太大,则不利于各项生命活动的完成,因此细胞的体积总是这么小。

根据细胞结构中是否有由核膜包被的细胞核,我们将细胞分为原核细胞(prokaryotic cell)和真核细胞(eukaryotic cell)两大类。

原核细胞没有由核膜包被的细胞核,比真核细胞小,结构也比较简单。由

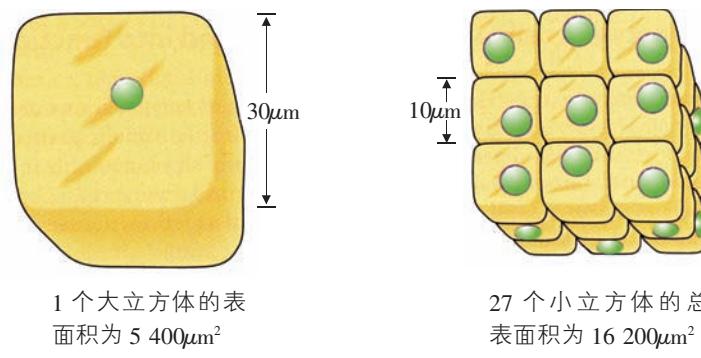
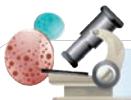


图2-5 细胞体积与表面积的关系

原核细胞组成的生物称为原核生物(prokaryote)，主要是各种细菌。

真核细胞有由核膜包被的细胞核，细胞结构非常复杂。由真核细胞组成的生物称为真核生物(eukaryote)，包括植物、动物和真菌等绝大多数生物。我们先来认识真核细胞。

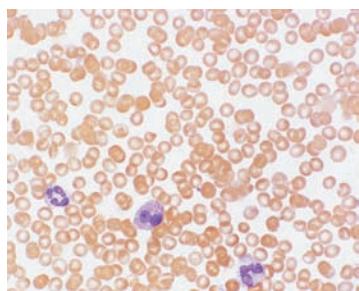


活 动

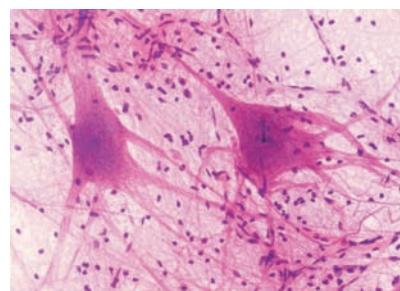
观察多种多样的细胞

◎ 目的要求

观察组成不同生物体的细胞，辨别不同细胞(图2-6)的结构，说出不同生物的细胞在结构上的异同。



人血细胞



牛神经细胞

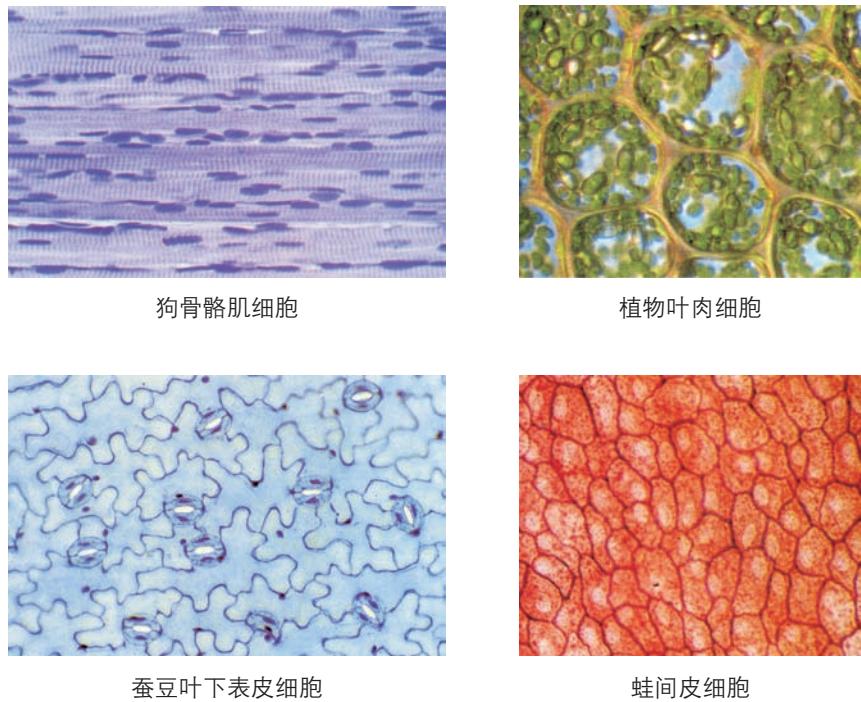


图 2-6 多种多样的细胞

◎ 材料用具

蛙血涂片(或人血涂片),动物脊髓(横切)永久装片,人肌肉组织永久装片,植物叶表皮细胞或植物根尖永久装片,其他植物、动物和微生物的细胞装片,显微镜。

◎ 方法步骤

1. 在低倍物镜下观察蛙血(或人血)涂片,选定视野中细胞不太密集的区域,换成高倍物镜观察。
2. 用铅笔画出1~2个观察到的蛙血(或人血)细胞,并注明你能确认的结构。
3. 用显微镜观察植物叶表皮细胞永久装片或植物根尖纵切片,用绘图的方式记录观察到的细胞,并标注能确认的结构。
4. 用显微镜观察其他永久装片,辨别各种细胞的异同。

◎ 讨论

- 根据你的观察,植物细胞和动物细胞在结构上有哪些异同?
- 如果让你自己选择用于观察细胞的生物材料,你会选择哪些感兴趣的生物材料?为什么?



思考与练习

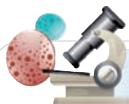
细胞学说的主要内容是什么?

第二节 细胞膜和细胞壁

本节要点

- 细胞膜
- 膜脂和膜蛋白
- 流动镶嵌模型
- 细胞壁

每一个细胞的表面都有细胞膜将细胞与周围的环境分隔开,植物、真菌、细菌等生物的细胞,在细胞膜外还有细胞壁。



活 动

验证活细胞吸收物质的选择性

◎ 目的要求

观察种子中胚的染色特点,认识细胞吸收物质的选择性。

◎ 材料用具

玉米籽粒,红墨水,镊子,刀片,培养皿,烧杯,酒精灯。

◎ 方法步骤

1. 将玉米籽粒放在20~25℃的温水中浸泡36 h。
2. 取4粒已经泡胀的籽粒,将其中2粒在沸水中煮5 min后,冷却,作为对照的实验材料。
3. 分别取煮过和未煮过的玉米籽粒放在培养皿中,用刀片沿胚的中线纵向切开籽粒,用稀释20倍的红墨水染色(以淹没种子为宜)。2 min后,倒去红墨水,用水冲洗籽粒数次,直到冲洗液无色为止。
4. 观察籽粒中胚的颜色。

◎ 讨论

用煮过和未煮过的玉米籽粒作对比,并比较籽粒中胚的着色情况,说明了什么问题?

细胞膜有选择透性

细胞膜又叫质膜(plasma membrane),是将细胞与周围环境区分开的界面。承担着为细胞把守大门的任务。什么物质进去,什么物质出来,都由质膜控制。例如,氨基酸和葡萄糖分子就可以从细胞的周围环境中穿过质膜进入细胞,在细胞内形成多肽或用于细胞呼吸;呼吸产生的二氧化碳则从细胞内通过质膜排到细胞外。

质膜有允许某种物质透过的特性,称为质膜对该物质的透性(permeability)。在质膜的结构被阐明之前,生物学家早已知道只有某些分子能透过质膜,即质

膜具有选择透性(selective permeability)。质膜为什么会有选择透性呢？这需要从它的结构谈起。

质膜的结构模型

为了能够清楚地解释事物的特性，科学家常常会设想出一些模型。对于质膜，科学家也提出过多种模型。大约在 20 世纪 50 年代，由于电子显微镜的应用和许多新技术的出现，科学家对质膜进行了深入的研究，提出了目前被普遍接受的流动镶嵌模型 (fluid mosaic model)。

脂双层 流动镶嵌模型中最基本的部分是所谓的脂双层 (lipid bilayer)。由脂双层组成的膜称为单位膜(unit membrane)。脂双层中的任何一层都不能称为膜。在电子显微镜下观察，质膜是两条细线。化学分析表明，质膜的主要成分是磷脂，这两条细线就是质膜中的两层磷脂分子。图 2-8 中的膜就是一层单位膜。

磷脂分子 (图 2-7)与甘油三酯的结构相似，在甘油三酯分子中，甘油的 3 个羟基都连着脂肪酸，而磷脂中的甘油只有 2 个羟基连着脂肪酸，另一个羟基则连着磷酸，脂肪酸分子含有一条长的碳氢链，具有亲脂性，所以仅溶于脂溶性溶剂(如汽油、苯等)，而不溶于水。磷酸分子则溶于水，具有亲水性，所以磷脂分子是一端亲脂而另一端亲水的两性分子。通常，亲水的一端被称为头部，亲脂的一端被称为尾部。在含水的介质中，亲水性就是极性，亲脂性就是非极性。这种两性分子只有形成双层结构才能稳定。即头部朝外，与有水的环境接触，尾部朝内，形成一个亲脂的小环境(图 2-7)。

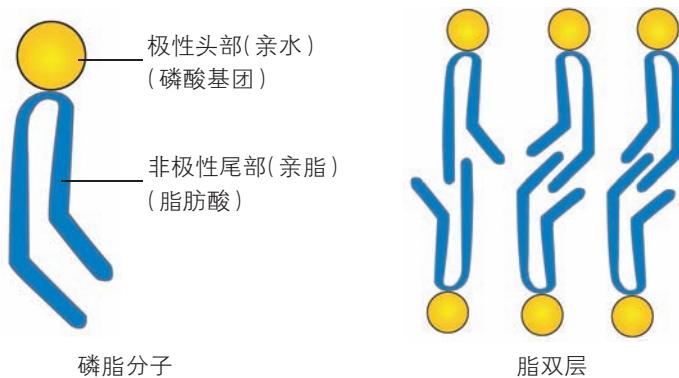


图2-7 磷脂分子和脂双层示意图

脂双层的形成是由磷脂分子的物理性质和化学性质决定的。在有水的环境中，脂双层会自发地形成。由于细胞存在于水溶性的介质中，在细胞表面，磷脂分子自然会形成脂双层。值得注意的是，脂双层中的两层并不是完全相同的。

脂双层的这种结构不是僵化的。脂肪酸分子的尾部可以摇摆，使得整个磷脂分子能发生侧向滑动，所以脂双层就好像漂浮在水面上的油脂膜。但是，这种膜的“柔性”又是有限的，因为许多细胞的质膜中夹杂着有“刚性”的胆固醇(图2-8)。胆固醇虽然是脂溶性的，但没有长长的尾部，所以与磷脂分子不同。磷脂的尾部与胆固醇一起存在于脂双层的内部，使得质膜既有一定的流动性，又比较坚实。

膜蛋白 质膜中含有蛋白质，是早已知道的事实。但对于蛋白质在膜中的确切位置，在20世纪70年代以前还不清楚。人们一直以为蛋白质覆盖在脂双层外面，电子显微镜下看到的两条线是脂双层外面的两层蛋白质，所以认为质膜的结构是由两层蛋白质夹着中间的脂双层。后来，随着电子显微镜技术的进步，可以使质膜与细胞的其余部分脱离，并将质膜冰冻，然后将其撕裂，从而使两条线之间的内部结构暴露出来。利用这种技术制作电子显微镜的观察材料，发现撕裂面上有许多颗粒，而且这些颗粒就是镶嵌在脂双层中的蛋白质分子。

蛋白质分子也和磷脂分子一样，有水溶性部分和脂溶性部分。这就是为什么有的蛋白质分子整个贯穿在膜中，有的一部分插在膜中，一部分露在膜外，

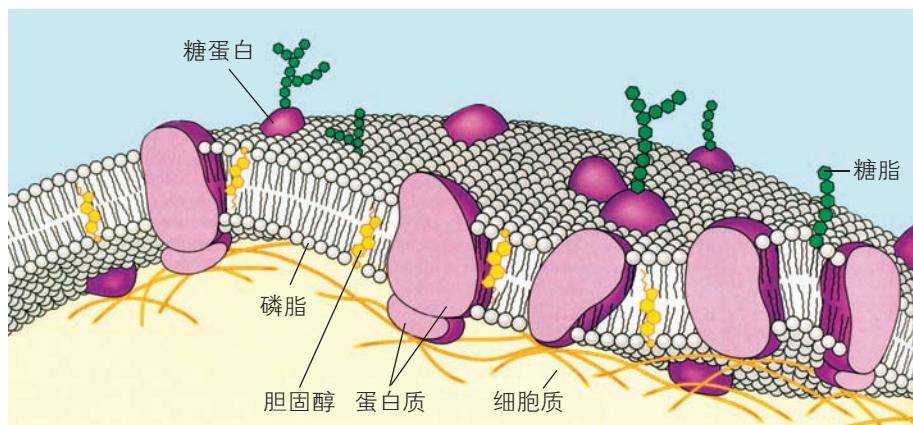


图2-8 质膜的流动镶嵌模型

还有的整个露在膜表面。全部或部分镶嵌在膜中的蛋白质都称为膜蛋白。

膜蛋白在膜中也是可以移动的，但没有磷脂那样容易。由于膜中的各种组分都在不断地移动，像流体一样，而且又有各种蛋白质分子镶嵌在其中，所以称这种模型为质膜的流动镶嵌模型。这是目前被大家公认的细胞膜模型（图2-8）。

膜中各种组分的作用 质膜有多方面的重要功能，它与细胞的物质交换、细胞识别、免疫等有密切的关系。有了上述模型，解释质膜的功能就比较容易了。脂双层是膜结构的基础，它使得许多分子和离子不能随意出入细胞。膜蛋白有许多功能：有些膜蛋白控制着某些分子和离子的出入；有些膜蛋白起着生物催化剂的作用；还有一些膜蛋白起着细胞标志物的作用，这些标志物中有的能识别来自细胞内外的化学物质（化学信号），有的能识别其他细胞，有的则与病原体作斗争有关。所以，可以认为质膜在细胞控制和细胞通讯方面都有重要作用。



小资料

细胞外被

细胞外被（cell coat）又称糖萼（glycocalyx），存在于质膜外表面，由多糖与质膜中的蛋白质结合而成，是质膜的正常成分，它不仅对质膜起保护作用，而且在细胞识别过程中起重要作用。

最早关于细胞识别的观察，是将两种不同的海绵动物的细胞分散成单个的细胞，然后掺合在一起培养，结果发现，只有同种海绵动物的细胞才结合在一起，这说明细胞能相互识别。通过对细胞表面成分的分析，发现两种海绵动物细胞表面的糖蛋白有差异。虽然糖蛋白中的氨基酸成分相同，但糖类的成分是不同的。

细胞壁

植物和藻类的细胞壁主要是由纤维素组成的。木材、纸张、棉、麻的主要成分都是植物细胞壁中的纤维素。真菌和细菌的细胞壁则分别由不同的物质组成。

纤维素分子组成纤维，纤维成层排列组成细胞壁。水、离子和其他分子都极易通过纤维之间的空隙，所以细胞壁与细胞的选择透性无关。细胞壁的作用是保护细胞和支撑植物体。参天大树之所以能挺立，主要是靠死细胞组成的细胞壁支撑。



小资料

真菌和细菌的细胞壁

真菌的细胞壁由壳多糖(chitin)组成。壳多糖亦称几丁质，是氨基葡萄糖的多聚体。氨基葡萄糖就是葡萄糖分子中的一个羟基(—OH)被氨基(—NH₂)替代。壳多糖是虾、蟹等外壳的主要成分，也是昆虫外骨骼的主要成分。

细菌的细胞壁主要由肽聚糖(peptidoglycan)组成。肽聚糖包括两个部分，即由4种氨基酸组成的四肽和多糖。多糖也是氨基葡萄糖的聚合物，不过比壳多糖复杂。

青霉素有抑菌作用就是因为它能抑制细菌合成肽聚糖。由于不能合成这种细胞壁物质，细菌就不能生长和繁殖。



思考与练习

一、选择题

1. 质膜的结构特点是()
 - A. 构成质膜的磷脂分子可以运动
 - B. 构成质膜的蛋白质分子可以运动
 - C. 构成质膜的磷脂分子和蛋白质分子都是静止的
 - D. 构成质膜的磷脂分子和蛋白质分子大都可以运动
2. 下面记录了实验中对玉米籽粒的处理方法和观察到的实验结果，根据该实验结果可以推测()

实验处理	将玉米籽粒浸泡一定时间,从中央切开后用经过稀释的红墨水染色	将浸泡后的玉米种子煮熟,从中央切开后用经过稀释的红墨水染色
实验现象	胚体细胞着色浅	胚体细胞着色深

- A. 质膜具有选择透性
 B. 红墨水容易进出玉米细胞
 C. 质膜具有透过性
 D. 活质膜具有选择透性
3. 大多数细胞的边长不到0.01cm,主要原因是()
 A. 小的细胞有利于物质交换和通讯
 B. 小的细胞代谢旺盛
 C. 小的细胞生活力强
 D. 小的细胞分裂更快
4. 1665年,罗伯特·胡克在自制的显微镜下观察木塞的细胞,他所观察到的结构其主要成分是()
 A. 原生质体 B. 淀粉
 C. 蛋白质 D. 纤维素
- 二、简答题**
1. 食物中除了含有水、无机盐、蛋白质、糖类、脂质、维生素等营养成分外,还有一类在营养学上被称作膳食纤维的物质。营养学家建议人们每天要摄入一定量的膳食纤维。请你查阅资料,了解膳食纤维和人体健康的关系。你认为从什么食物中可以获得膳食纤维?
 2. 为什么质膜中的磷脂能以稳定的双分子层的形式存在?

第三节 细胞质

本节要点

- 内质网和核糖体
- 高尔基体
- 溶酶体
- 线粒体
- 质体
- 液泡
- 细胞骨架

由质膜包被的细胞内的大部分物质，称为细胞质，其中有各种细胞器和透明、黏稠、流动着的液体。细胞器（organelle）是真核细胞中具有特定功能的结构。一般有膜包被，如细胞核、线粒体、叶绿体、高尔基体、溶酶体、液泡等。中心体、核糖体等也执行特定功能，但无膜包被。

内质网和核糖体

内质网(endoplasmic reticulum, ER)是由一系列单位膜构成的囊腔和细管组成的细胞器，这些囊腔和细管彼此相通。内质网有两种类型，一种是粗面内质网(rough ER)，上面有核糖体(ribosome)颗粒；另一种是光面内质网(smooth ER)，上面没有核糖体颗粒。核糖体是合成蛋白质的场所，由RNA和蛋白质组成，外表面没有膜包裹。真核细胞中核糖体的数目可多达数万，一部分游离在细胞溶胶中，一部分连接在粗面内质网上(图 2-9)。

内质网膜的构造与质膜类似，也是以脂双层为基础的。粗面内质网上的核糖体所合成的蛋白质，会运送到高尔基体及细胞的其他部位。光面内质网的功能比较独特，例如，人肝脏细胞中的光面内质网上有氧化酒精的酶，有些光面内质网中还有

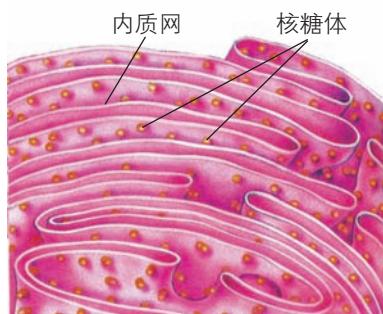


图2-9 粗面内质网上的核糖体

合成磷脂的酶。

内质网向内与细胞核膜相连，向外与质膜相连，所以细胞内存在着一套复杂的膜系统。

高尔基体

高尔基体(Golgi apparatus)是意大利人高尔基(Camillo Golgi)发现的，故以他的名字命名。高尔基体由一系列单位膜构成的扁平小囊和由这种小囊产生的小泡(蛋白质分泌泡)组成(图2-10)。高尔基体是真核细胞中的物质转运系统，承担着物质运输的任务。

核糖体中合成的蛋白质到达粗面内质网膜的一端时，内质网膜会形成小泡，将这些蛋白质包裹起来。此小泡随后离开内质网向高尔基体移动并最后与之融合，并将蛋白质转入高尔基体中。正如邮政局将所有信件分拣后送到各个地点一样，高尔基体的作用就是把集中在高尔基体中的蛋白质进行分拣，并分别送到细胞内或细胞外的目的地。

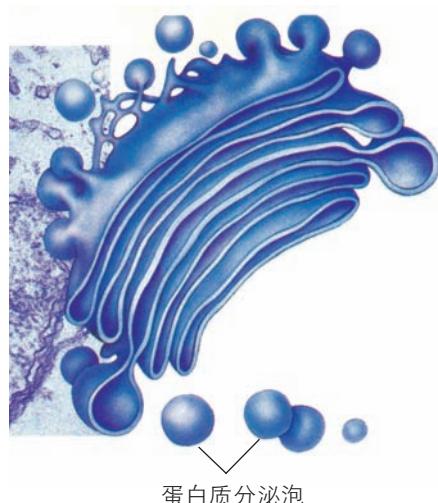


图2-10 高尔基体

溶酶体

在动物、真菌和某些植物的细胞中，含有一些由单位膜包被的小泡，称为溶酶体(lysosome)，是高尔基体断裂后形成的。溶酶体中有60种以上的水解酶，能催化多糖、蛋白质、脂质、DNA和RNA等的降解。这些酶原来存在于高尔基体中。

溶酶体的功能是消化细胞从外界吞入的颗粒和细胞自身产生的碎渣。细胞从外界吞入物质后形成吞噬泡，吞噬泡与溶酶体融合，于是溶酶体中的水解酶便将吞噬泡中的物质降解。

溶酶体的存在，说明细胞中的一些分解反应局限在某种由膜包被的结构

中进行，这对保证细胞中其他结构的完整性具有重要意义。假如没有溶酶体，水解酶可以破坏整个细胞。

线粒体

线粒体(mitochondria)是真核细胞中非常重要的细胞器。在光学显微镜下，线粒体呈颗粒状或短杆状，相当于一个细菌的大小。在不同组织的细胞中，线粒体的数目不等，多的可达数百个。

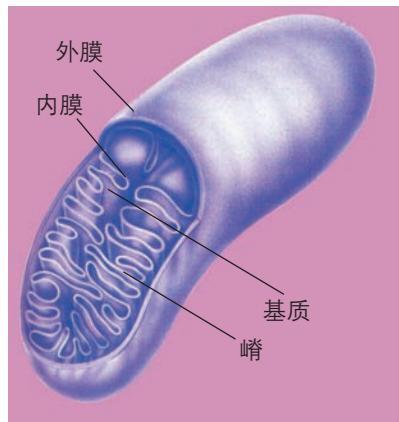


图2-11 线粒体

线粒体是由内、外两层膜构成的(图2-11)，这两层膜的结构基础都是脂双层。外膜平整，内膜向内折叠而形成嵴(cristae)，两层膜之间以及嵴的周围都是液态的基质。内膜折叠使它的表面积加大，有利于生化反应的进行。

线粒体是细胞呼吸和能量代谢的中心。关于细胞呼吸和能量代谢的具体内容，将在第三章第四节中详细介绍。线粒体中还有少量的DNA和核糖体，能合成一部分自身需要的蛋白质。

质 体

植物和藻类细胞中还有一类特殊的细胞器，称为质体(plastids)。质体分白色体(leucoplast)和有色体(chromoplast)两类。白色体是贮存脂质和淀粉的，存在于不见光的细胞中；有色体含有色素，最重要的一类有色体是叶绿体(chloroplast, 图 2-12)，其中含有光合作用所需要的叶绿素和其他色素。叶绿体只存在于进行光合作用的细胞中。

叶绿体外面有双层膜，内部是液态的基质，浸在液态基质中的是一个复杂的膜系统。叶绿体中的叶绿素和其他色素都存在于这些膜中，所以这些膜又称为光合膜。关于叶绿体和光合膜，将在第三章第五节中详细叙述。

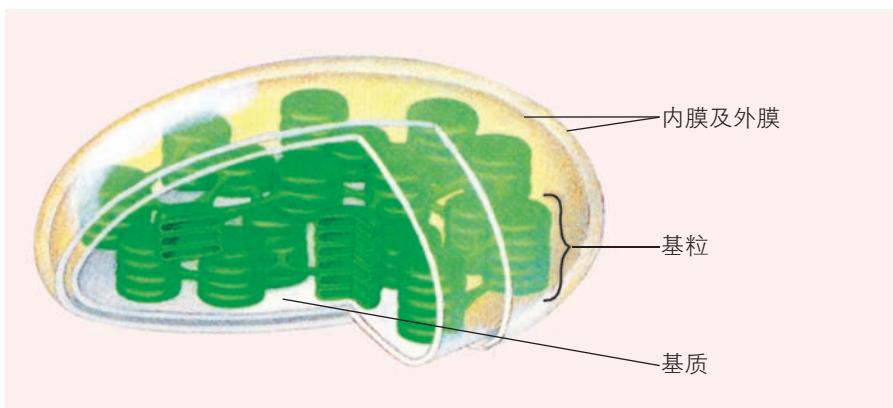


图2-12 叶绿体

液 泡

液泡(vacuole)是细胞中一种充满水溶液的、由单位膜包被的细胞器，普遍存在于植物细胞中。刚由分裂形成的植物细胞中只有很少几个分散的小液泡。随着细胞的长大，这些小液泡就逐渐合并发展成一个大液泡，并占据在细胞中央，因此细胞质和细胞核都被挤到四周，紧贴着质膜。

植物细胞液泡中的水溶液称为细胞液，其中含有无机盐类、糖类、氨基酸、色素等。液泡中有各种色素，使得植物的花、果实和叶有各种颜色。

细 胞 骨 架

包围着各种细胞器的并不仅仅是细胞溶胶，还有由蛋白质纤维构成的支架，称为细胞骨架(cytoskeleton)。细胞骨架给细胞内部提供一个框架，就像骨骼给人体提供一个框架一样。细胞骨架决定着细胞的形状。

经过特殊处理，可以在电子显微镜下观察到细胞骨架，图2-13就是一张细胞骨架的电子显微镜照片。组成细胞骨架的一种蛋白质纤维称为微丝(microfilament)，它是由肌动蛋白(actin)组成的。微丝在细胞中除了起支持作用外，在细胞的运动中也起作用。例如，肌肉细胞的运动就与微丝有关。当你伸展手臂或曲膝时，有关肌肉必须收缩，而肌肉的收缩就与微丝有关。在植物如黑藻(*Hydrilla*)和某些大型绿藻细胞中很容易观察到叶绿体在细胞质中

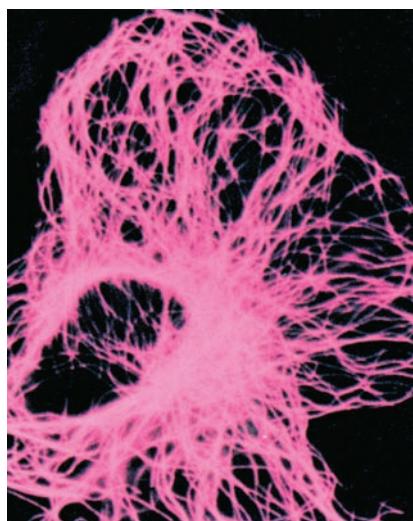


图2-13 细胞骨架

的循环流动。这种现象称为胞质环流 (cyclosis, cytoplasmic streaming)。胞质环流的原因就在于细胞骨架的运动。

细胞骨架中的另一种结构组分是微管 (microtubule)。与微丝相比，微管较长，也较粗。在有些细胞中，微管从靠近核的细胞中央一直延伸到质膜处。微管有助于某些细胞器在细胞内的移动。例如，有些囊泡和线粒体就沿着微管移动，而不是在细胞质内漂移。

中 心 体

中心体由两个中心粒组成，中心粒 (centriole)又是由微管构成的。中心体存在于大部分真核细胞中，但高等植物细胞中没有中心体。中心体在动物细胞的增殖过程中起作用，动物细胞中有一对互相垂直的中心粒，细胞分裂时它们复制并分别移至细胞的两端，并各形成一对新的中心体 (图 2-14)。

每一个中心粒都是由一组微管排列成的筒状结构。中心体在细胞分裂过程中是否起关键作用，到目前为止还不能肯定。因为高等植物细胞没有中心体，也能正常分裂。

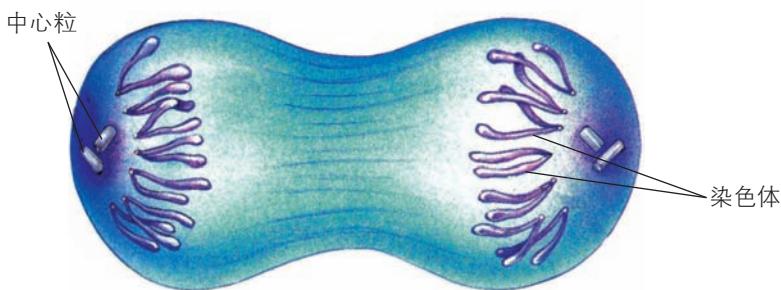
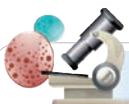


图2-14 动物细胞分裂过程中形成一对新的中心体

细胞溶胶

细胞质中除细胞器以外的液体部分称为细胞溶胶(cytosol)。细胞骨架就位于细胞溶胶中。细胞中的蛋白质有25%~50%存在于细胞溶胶中。细胞溶胶中有多种酶，是多种代谢活动的场所。



活 动

观察叶绿体

◎ 目的要求

1. 观察黑藻叶肉细胞中叶绿体的形态和分布。
2. 观察黑藻细胞中的胞质环流现象。

◎ 材料用具

黑藻，载玻片，盖玻片，镊子，水，台灯，培养皿，显微镜。

◎ 方法步骤

1. 事先将观察用的黑藻放在光照充足、温度适宜的条件下培养。将黑藻从水中取出，用镊子从新鲜枝上取一片幼嫩的小叶；实验时，取载玻片，滴上一滴干净的水，将小叶放在载玻片的水滴中，盖上盖玻片。制成临时装片。
2. 先用低倍物镜找到黑藻叶肉细胞，再换用高倍物镜观察黑藻叶肉细胞。注意叶绿体在细胞中的运动和细胞中的其他结构。
3. 绘制你所观察到的细胞简图。

◎ 讨论

1. 描述叶绿体的形态和在细胞中的分布。
2. 叶绿体的形态和分布特点，与叶绿体的功能有什么关系？
3. 胞质环流对于活细胞有什么意义？



思考与练习

一、选择题

1. 在人的心肌细胞中,明显比腹肌细胞中多的细胞器是()
A. 核糖体 B. 线粒体 C. 内质网 D. 高尔基体
2. 在绿色植物细胞中,与能量转换直接相关的一组细胞器是()
A. 线粒体和叶绿体 B. 核糖体和高尔基体
C. 中心体和内质网 D. 高尔基体和叶绿体
3. 下列细胞器中,哪种细胞器能够与质膜形成的吞噬泡融合,并能消化掉吞噬泡内的物质?()
A. 线粒体 B. 内质网 C. 高尔基体 D. 溶酶体
4. 下列表述正确的是()
A. 各种细胞器的结构与它所执行的功能无关
B. 细胞溶胶只是为各种细胞器提供了水的环境
C. 活细胞的细胞质处于不断流动的状态
D. 细胞中所有膜的结构都完全相同

二、简答题

科学家在研究分泌蛋白的合成和分泌时,曾经做过这样一个实验:在豚鼠的胰脏腺泡细胞中注射³H标记的亮氨酸,3min后,放射性出现在粗面内质网中,17min后,出现在高尔基体中,117min后,出现在靠近质膜内侧的运输蛋白质的小泡中,最后出现在释放到细胞外的分泌物中。请问:

- (1) 有哪些细胞器参与了该分泌物的合成和合成后的运输?它们是如何参与的?
- (2) 分泌蛋白的合成和分泌,说明细胞的各部分在结构和功能上有怎样的关系?

第四节 细胞核

本节要点

细胞核的作用

细胞核的结构

细胞核(nucleus, 复数nuclei)是遗传物质贮存和复制的场所, 是细胞的控制中心。真核细胞都有细胞核, 并且大多数细胞只有一个核, 只有少数细胞有多个核, 如横纹肌细胞。在生物进化过程中, 极少数真核细胞的核消失了, 如哺乳动物血液中的红细胞、维管植物的筛管细胞等。

细胞核是细胞进行生命活动所必需的。例如, 变形虫去掉细胞核以后就不能取食, 也不能生长, 所以只能存活几天。下面将介绍用伞藻做的实验(图2-15), 这个实验可以直接说明细胞核的作用。

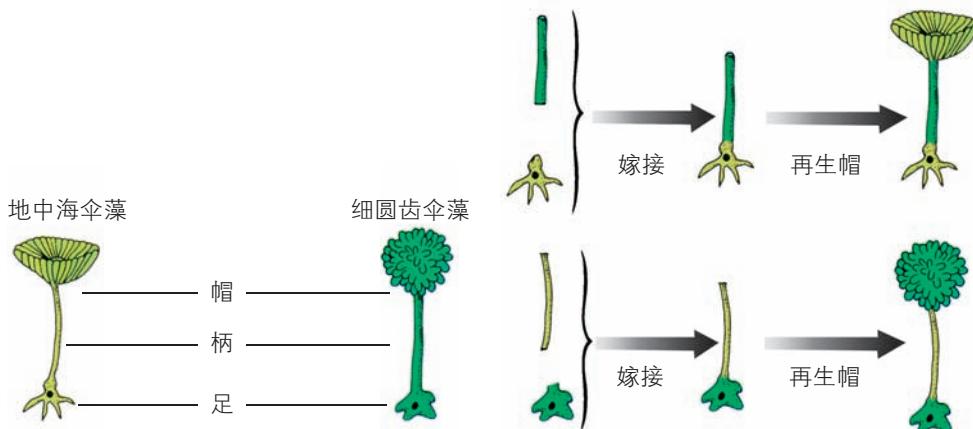


图2-15 伞藻的实验示意图

伞藻属(*Acetabularia*)是海生的单细胞藻类, 细胞长2~5cm, 可分为“帽”“柄”和“足”3部分。细胞核在“足”内。此属中不同种伞藻的“帽”形状不同。例如, 地中海伞藻(*A. mediterranea*)“帽”呈倒放的伞状, 细圆齿伞藻(*A.*

crenulata)的“帽”呈花朵状。若将“帽”切去，不久伞藻便会再生出一个与旧“帽”形状一样的新“帽”来。将这两种藻的细胞都切成“帽”“柄”和“足”3个部分，然后将“足”交换后，再让“柄”和“足”接合。两种“嫁接”的结果非常有趣：若令“柄”与同种伞藻的“足”接合，则再生出来的“帽”与原来的一样；若令“柄”与另一种伞藻的“足”接合，则再生出来的“帽”与另一种的一样。也就是说，新长出的“帽”形状只与“足”的种类有关。

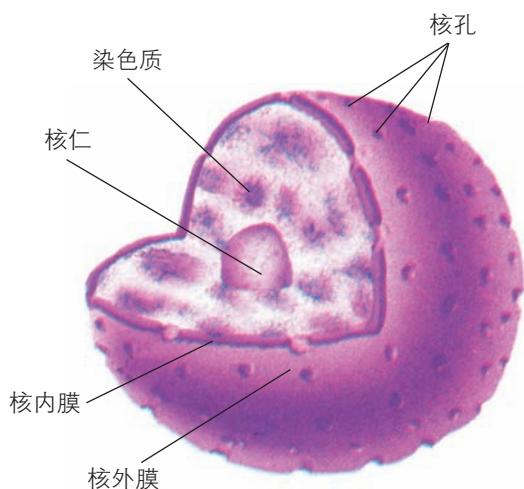


图2-16 细胞核模型

细胞核(图2-16)由核被膜(nuclear envelope)、染色质(chromatin)、核仁(nucleolus)、核基质(nuclear matrix)等部分组成。核被膜是指包被细胞核的双层膜，其外层与粗面内质网膜相连。核被膜上有核孔复合体，是蛋白质、RNA等大分子出入细胞核的通道。

染色质是细胞核中或粗或细的长丝，由DNA、蛋白质和少量RNA组成。细胞核所携带的遗传信息就在染色质中的DNA分子

中。细胞分裂过程中，染色质凝聚成在光学显微镜下可以看到的染色体(chromosome)。染色体和染色质成分相同，只是凝聚程度不同，是细胞分裂不同时期形状各异的同一种物质。

核仁是细胞核中呈圆形或椭圆形的结构，与核糖体的形成有关。

图2-17和图2-18分别为模式化的动物细胞和植物细胞。动物细胞和植物细胞的结构基本相同，但有下列区别：

1. 所有植物细胞都有细胞壁，动物细胞没有细胞壁。
2. 绿色植物细胞有叶绿体等质体，动物细胞没有。
3. 成熟的植物细胞有很大的液泡，动物细胞一般没有液泡。
4. 动物细胞有中心体，大多数植物细胞中则没有。

虽然我们用细胞的模式图来讲解细胞的一般结构，但任何一种具体的细胞都与模式细胞有或多或少的差别。实际上不可能找到与模式图一模一样的细胞。

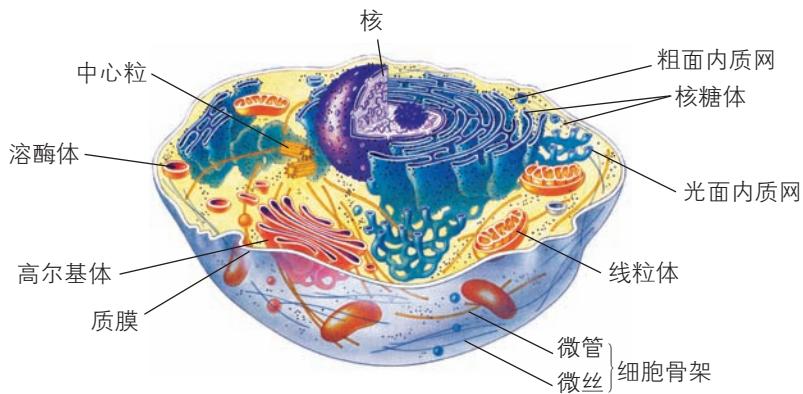


图2-17 模式化的动物细胞

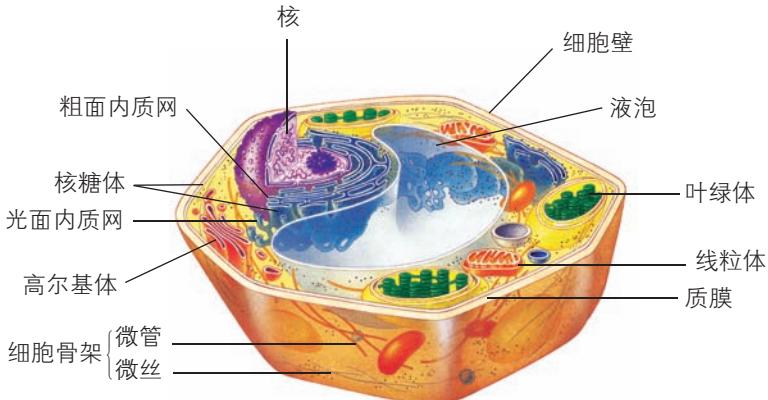


图2-18 模式化的植物细胞



思考与练习

一、选择题

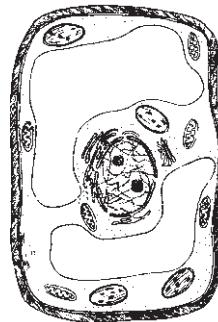
1. 细胞核中行使遗传功能的重要结构是()
 A. 核被膜及核孔 B. 球状结构的核仁
 C. 染色质丝 D. 透明、胶状的核基质
2. 下列有关细胞核的表述中,不正确的是()
 A. 核孔是大分子物质的通道

- B. 染色质和染色体的物质组成是相同的
- C. 细胞核和细胞质在结构上没有联系
- D. 细胞核是细胞遗传和代谢的调控中心

二、简答题

右图是一个细胞的模式图,识图并回答下列问题:

- (1) 该细胞与人体口腔上皮细胞在结构上有哪些不同?
- (2) 如果人以该种生物的某一器官为食,为什么可以获得人体所需要的养料?
- (3) 下列关于该细胞的叙述中,错误的是()
 - A. 能进行光合作用
 - B. 能进行细胞呼吸
 - C. 没有纤维素
 - D. 能合成蛋白质



第五节 原核细胞

本节要点

- 拟核
- 细菌细胞壁

各种细菌都是原核生物,其细胞都是原核细胞。真核细胞有细胞核和由膜包被的各种细胞器,原核细胞没有这两类结构,但有核糖体。大多数原核细胞的直径为 $2\sim8\mu\text{m}$,其大小约为典型真核细胞的十分之一。原核细胞虽然没有细胞核,但有拟核(nucleoid)或称拟核区,DNA就存在于该区域。DNA与周围的核糖体直接接触,并通过RNA传递信息,由核糖体合成所需要的多肽。

原核细胞的细胞质由质膜包围,质膜外侧是细胞壁。这种壁称为细菌细胞壁,其成分与植物细胞壁不同,起着保护细胞并维持细胞形状的作用。细胞壁的外面有时还有一层荚膜(capsule)。有些细菌还有鞭毛(flagellum)结构,是细菌的运动器官。图2-19是一种原核细胞的结构示意图。

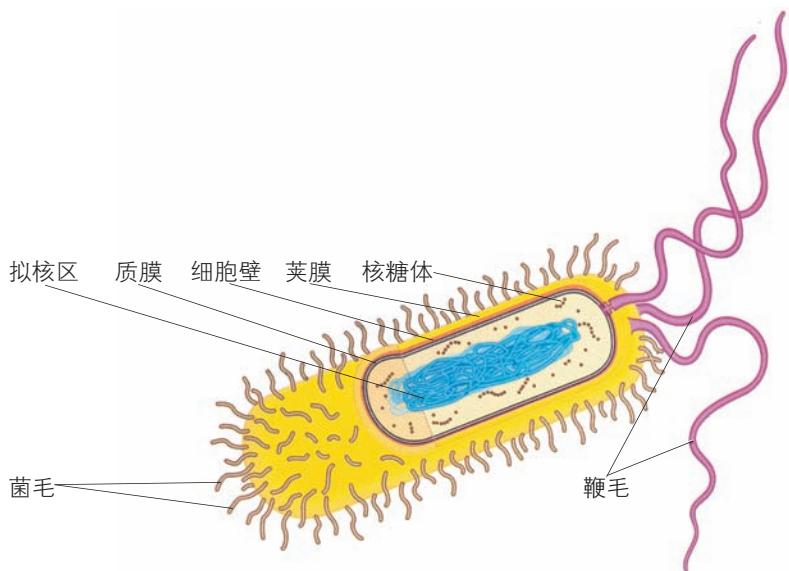


图2-19 模式化的原核细胞

原核细胞虽然没有线粒体，但还要进行细胞呼吸，质膜就是原核细胞进行呼吸的场所。能进行光合作用的蓝细菌，其质膜向内折叠成好几层，并且质膜中含有光合色素。这些膜就是蓝细菌的光合膜。



小资料

荚膜、鞭毛和菌毛

荚膜是细菌的细胞壁外面的一层胶状的或黏稠的物质，由多肽组成，有时也有多糖。鞭毛是细胞外面较长的附属物，用于运动。菌毛(pilus)是某些细菌细胞表面的短毛状附属物，大概与物质吸收有关。



思考与练习

1. 列表比较原核细胞和真核细胞的异同。
2. 有人认为，原核细胞内不存在由膜构成的各种结构复杂的细胞器，因此不能作为独立的生命单位存在，你认为这个观点正确吗？

本章小结

显微镜的发明使得人们对生命的研究进入细胞水平的微观领域。

根据细胞结构的复杂程度等特点，可以把种类繁多的细胞分为原核细胞和真核细胞。原核细胞没有由核被膜包被的真正的细胞核，也没有由膜组成的各种复杂的细胞器，但原核细胞和真核细胞一样，有质膜、核糖体、DNA等基本的结构和物质，保证其生命活动的进行。

真核细胞有由核被膜包被的真正的细胞核，细胞核中的DNA与蛋白质结合形成染色质或染色体，细胞质内又以膜系统为基础分隔为结构更精细、功能更专一的结构——各种重要的细胞器。动植物细胞中都有线粒体、内质网、高尔基体、核糖体。此外，动物细胞中有溶酶体、中心体，植物细胞中有质体、液泡等。植物细胞质膜外还有主要由纤维素构成的细胞壁。

第三章

细胞的代谢

与外界环境不断发生物质交换是生物体的基本特征。作为生物体结构和功能单位的细胞，也是如此。它不仅与周围的环境之间要发生物质交换，而且与周围的其他细胞之间也要发生物质交换。同时，每一个细胞内部还发生多种复杂的化学变化。这些复杂的变化合在一起，统称为细胞的新陈代谢，简称细胞的代谢。代谢过程都伴随着能量的转移或转化。

本章学习要点

1. 解释 ATP 在细胞代谢中的作用。
2. 说明酶在细胞代谢中的作用。
3. 说明物质出入细胞的方式。
4. 说出细胞呼吸过程及其生理意义。
5. 列举光合色素及各种光合色素在光合作用中的作用。
6. 描述光合作用过程及影响光合作用的因素。

第一节 细胞与能量

本节要点

- 细胞中的能量转化
- 吸能反应和放能反应
- ATP 是能量通货

人体的一切活动，如行走、阅读、思维、心脏的跳动、胃肠的蠕动等都需要能量。

能量的转化

古代打仗时，人们往往将大块木头或石头从高处滚下以打击敌人，称为滚木雷石。人们将木头、石头运至高处，是用动能做功。木头和石头一旦位于高处，便具有较多的能量，这种能量就是位能或称为势能。运送木、石用的是动能，木、石到了高处，动能转变为势能。木、石落下时，势能又变成了动能。

原子中带负电荷的电子具有势能，因为它位于电子层中，与带正电荷的原子核有一定的距离。活细胞中的各种分子，也由于其中原子的排列而具有势能。这种势能通常被称为化学能(chemical energy)，是细胞内最主要的能量形式。我们研究细胞中的能量转化，主要是研究细胞中与化学能有关的能量转化。

能量可以从一种形式转变为另一种形式，上述滚木雷石便是一个例子。汽车能跑起来，是因为汽油被空气中的氧分子氧化时释放出的化学能转变为动能。细胞中的“燃料分子”(如葡萄糖)被氧化时释放的化学能，被用于各种生命活动。

能量只能从一种形式转变为另一种形式，既不会被消灭，也不能被创造。生物体内或细胞中发生的只是各种能量形式的相互转变。例如，萤火虫摄取食物，消耗氧气，将食物氧化后释放热、光和二氧化碳等。萤火虫和所有的生物一样，必须不断地与外界发生物质和能量的交换。也就是说，生物体必须是开放系统，细胞也必须是开放系统。

细胞利用周围环境中的原料制造复杂的有机分子，再以这些有机分子为原料产生复杂的结构。环境中的简单分子(如二氧化碳)以及一些无机离子，并没有按某种规则排列，而是处于无序的状态。但细胞中的大分子，例如蛋白质分子中的氨基酸，必须按一定的顺序排列，是有序的，这些大分子排列成细胞的结构时，有序性就更高了。

怎样维持一个系统的有序性呢？好比我们的卧室，其中的各种陈设，床上的卧具、桌上的各种用具，只有在经常整理的情况下才能维持有序的状态。整理的过程需要做功。换言之，有序状态的维持需要做功，即要利用能量。细胞中有序状态的维持也是如此。

吸能反应和放能反应

细胞中的许多反应是吸能反应(endergonic reaction)，因为其产物分子中的势能比反应物分子中的势能高。例如，由氨基酸合成蛋白质的反应就是吸能反应。吸能反应所需要的能量一般来自于放能反应 (exergonic reaction)。光合作用(photosynthesis)是植物绿色细胞中最重要的吸能反应，其反应物(二氧化碳和水)含能较少，而产物(糖)则含能较多。这个吸能反应所需的能量来自太阳光。

细胞中还有许多种吸能反应，它们所需的能量来自于细胞中的放能反应。所有细胞中最重要的放能反应是糖的氧化。糖的彻底氧化是分步进行的，其中包含许多化学反应，人们通常把糖的氧化过程称为细胞呼吸(cellular respiration)。

细胞中放能反应所产生的能量怎样被吸能反应利用呢？两者之间的纽带就是腺苷三磷酸(adenosine triphosphate, ATP)。例如，细胞内葡萄糖氧化分解过程中产生ATP，这些ATP中的能量就是放能反应所产生的能量。细胞内蛋白质的合成需要能量，在氨基酸合成蛋白质的过程中利用了ATP所提供的能量，这就是吸能反应利用了放能反应所产生的能量。ATP不仅是细胞中放能反应和吸能反应的纽带，更是细胞中的能量通货。

ATP是细胞中的能量通货

ATP是由1个核糖、1个腺嘌呤和3个磷酸基团组成的。核糖(ribose)是一种单糖($C_5H_{10}O_5$)，因为含有5个碳原子而被称为戊糖。细胞中还有一种重要的戊糖，即脱氧核糖(deoxyribose, $C_5H_{10}O_4$)，是核酸中的重要成分，将在《遗传与进化》分册中讲到。腺嘌呤是一种含氮碱基。核糖与腺嘌呤结合成的基团叫腺苷。腺苷与3个磷酸基团组成腺苷三磷酸。3个磷酸基团中的一个磷酸基团连接在糖分子上，其余2个则相继连接在前一个磷酸基团上。连接两个磷酸基团之间的磷酸键(图3-1中以“~”表示)比较不稳定，水解时释放的能量比连接在糖分子上的磷酸键要多，所以称为高能磷酸键。

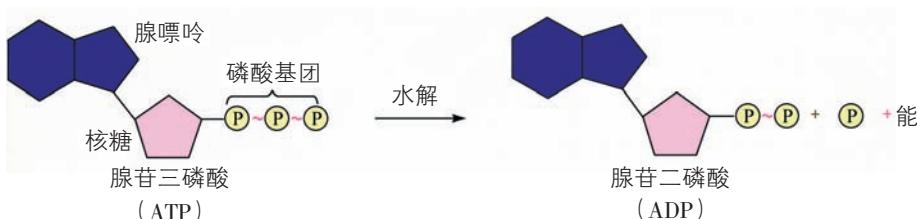


图3-1 ATP的结构及其水解反应

ATP发生水解时形成腺苷二磷酸(ADP)，释放1个磷酸基团，同时释放能量。这些能量就会被利用，如用于肌肉收缩、神经细胞的活动以及细胞中的许多其他活动。

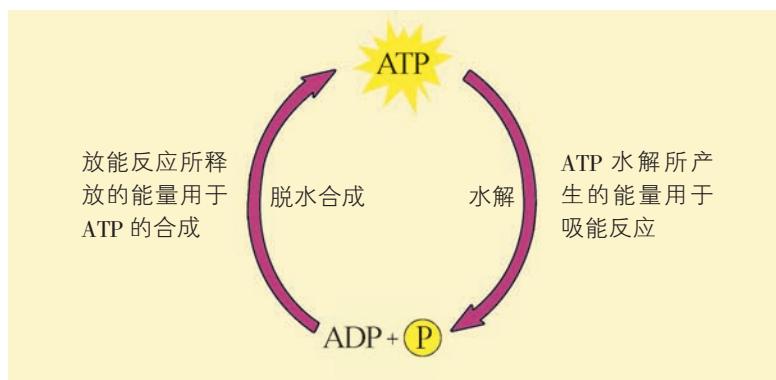


图3-2 ATP—ADP循环

细胞利用这种方法，将ATP水解这一放能反应所释放的能量用于另一吸能反应。例如，在肌肉收缩过程中，ATP先使肌肉中的能量增加，改变形状，这是吸能反应。然后肌肉做功，失去能量，恢复原状，这是放能反应。

ATP在细胞中易于再生（参看本章第四节），因此可以作为源源不断的能源。通过ATP的合成和水解使放能反应所释放的能量用于吸能反应的过程称为ATP—ADP循环（图3-2）。ATP是细胞中普遍使用的能量载体，所含能量不多，像小额钞票一样，便于流通使用，所以又有细胞中的“能量通货”（energy currency）之称。



小资料

生物发光

生物发光（bioluminescence）是指生物体发光或生物体提取物在实验室中发光的现象。例如，萤火虫发出荧光或萤火虫的提取物在适当的条件下发光。许多种生物都会发光，有些腐败的鱼或肉上的细菌会发光，有些真菌（蘑菇）会发光，有些海生的无脊椎动物（如虾）和鱼也会发光。生物发光是由化学反应引起的，化学能直接转变为光能的效率几乎为100%。

发光现象与生物的生存有关。许多深海动物用发光来引诱猎物或用发光来隐蔽自身以逃避捕猎者。萤火虫的发光却与它的生殖行为有着密切关系。有一种北美的萤火虫，雄虫在飞行时发出闪光，每隔5.5s闪一次，每次持续0.3s，栖于地面的雌虫看到闪光约2s后也会发出闪光。雌虫不能辨认同类的雄虫，但雄虫能根据闪光之间的间隔辨认雌虫，与之交配。其他种的萤火虫，雌、雄虫之间，也以发出不同颜色的荧光来互相辨认。

生物发光的直接能源是ATP。科学家以萤火虫为材料，分离出了发光的物质和有关的酶。这种物质是一种有机化合物，称为荧光素，有关的酶称为荧光素酶。在有氧的条件下，只要有ATP，荧光素酶就能催化荧光素的氧化而发出荧光。不同种的萤火虫发出的荧光颜色不同，这可能与荧光素酶的结构不同有关。从萤火虫中分离得到的荧光素和荧光素酶一直用于ATP的定量检测。



思考与练习

- 每天早晨起床时被褥都是温暖的。试就化学能和热能的转换，讨论人体与周围环境之间的能量关系。
- 有人将一个铁球抛到屋顶那么高，球落下时打碎了地上的一块砖。试分析人、铁球和砖之间的能量转化关系。如何说明在这个过程中能量既没有被创造，也没有被消灭？

第二节 物质出入细胞的方式

本节要点

- 扩散
- 渗透
- 被动转运
- 主动转运
- 胞吞
- 胞吐

细胞要维持正常的生活，必须从周围环境中获得氧和营养素等物质，同时向周围环境中排出各种代谢产物。在第二章中已讲到，细胞由一层具有选择透性的质膜包被着，该质膜具有调控物质出入细胞的功能。下面我们将介绍物质出入细胞的几种重要方式。

扩散和渗透

组成液体和气体的分子都在不停地随机运动，溶于液体中的溶质分子和离子也在随机运动(图 3-3)。把一些糖放入一杯水中，不需搅拌，几小时后，整杯水都会变甜。这就是糖分子在水中不断运动的结果，我们把这种现象称为扩散 (diffusion)。扩散是分子或离子从高浓度处向低浓度处运动的现象。扩

散使得该分子分布均匀，直到平衡。这个过程是比较慢的。此后分子仍在继续运动，维持着平衡的状态。

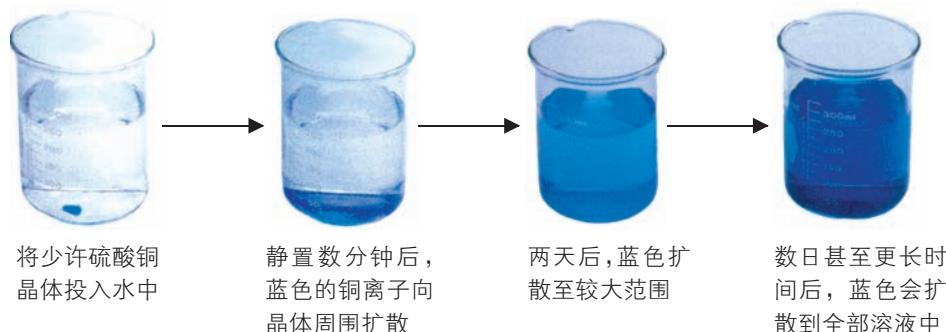
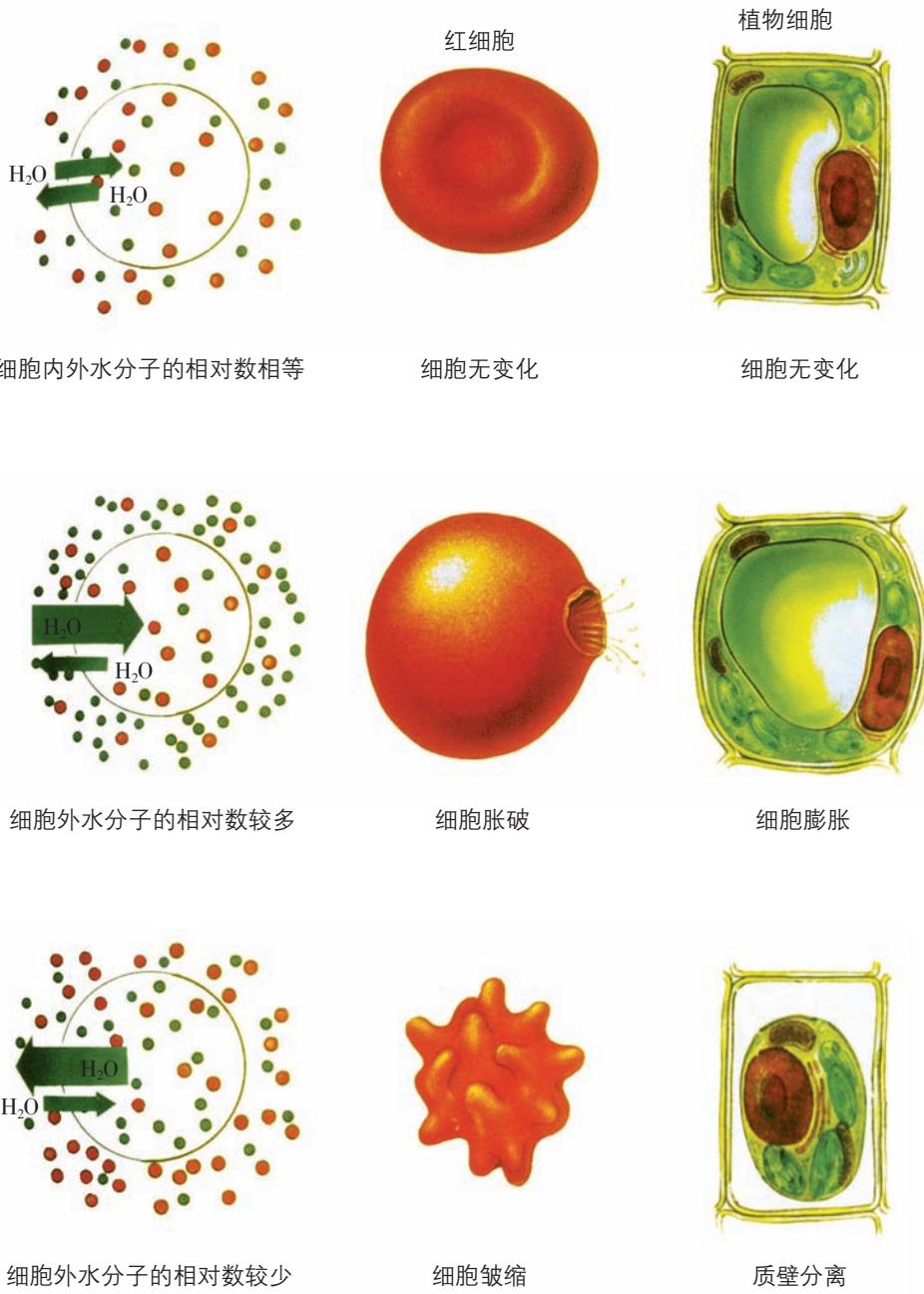


图 3-3 硫酸铜在水中的扩散

水分子通过膜的扩散称为渗透 (osmosis)。扩散和渗透都是物理现象。细胞的生命活动离不开水，水必须经常出入细胞，也就是说，细胞经常发生渗透作用。水分子是从其分子数相对较多处向相对较少处扩散。

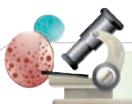
对于生物体内的各种溶液来说，水是溶剂。溶液浓度的高低，是以单位体积内溶质的多少为标志的。水分子数相对较多的溶液中，溶质分子数相对较少，溶液的浓度相对较低。渗透作用的方向是从水分子数相对较多的一侧进入水分子数相对较少的一侧，也就是溶液中的水分子从溶液浓度低的一侧，进入溶液浓度高的一侧。

如图 3-4 所示，当细胞内外水分子的相对数目相等，也就是溶液浓度相等时，红细胞和植物细胞都没有发生变化。当细胞外水分子相对较多，也就是溶液浓度相对低时，红细胞在水中会因渗透作用吸水而破裂；植物细胞在水中也会因渗透作用吸水而膨胀，但不会像红细胞那样发生破裂，因为植物细胞的最外层是细胞壁。当细胞外水分子相对较少，也就是溶液浓度相对高时，红细胞会因渗透作用失去水分而导致细胞收缩，植物细胞会因渗透作用失水，质膜连同以内的部分收缩而发生质壁分离 (plasmolysis)。



图示： 水分子 溶质分子

图 3-4 渗透作用使红细胞破裂,使植物细胞发生质壁分离



活 动

观察洋葱表皮细胞的质壁分离及质壁分离复原

◎ 目的要求

观察、描述植物细胞质壁分离及质壁分离复原现象。

◎ 材料用具

紫色洋葱，水，质量浓度为 0.3g/mL 的蔗糖溶液，刀片，镊子，滴管，载玻片，盖玻片，吸水纸，培养皿，显微镜。

◎ 方法步骤

1. 制作洋葱表皮的临时装片。

在载玻片中央滴一滴水。用镊子撕取紫色洋葱外表皮约 0.5cm^2 ，放在载玻片的水滴中，展平后盖上盖玻片。

2. 观察洋葱表皮细胞的质壁分离现象。

(1) 先用低倍物镜观察，再用高倍物镜观察，可观察到洋葱表皮细胞中紫色的大液泡，同时还可能观察到质膜及其以内部分紧紧地贴着细胞壁。

(2) 从盖玻片的一侧滴入质量浓度为 0.3g/mL 的蔗糖溶液，在盖玻片的另一侧用吸水纸吸水，重复几次后，观察细胞的变化，此时可发现洋葱细胞已发生质壁分离。

(3) 画图记录一个已发生质壁分离的细胞。

3. 观察洋葱表皮细胞的质壁分离复原。

观察到植物细胞发生质壁分离后，从盖玻片的一侧滴水，在盖玻片的另一侧用吸水纸吸水，重复几次后，观察植物细胞的质壁分离复原。

◎ 讨论

1. 外界溶液的浓度如何影响洋葱表皮细胞的水分得失？

2. 植物细胞是否为活细胞，可以根据其能否发生质壁分离和质壁分离复原来判断，试分析原因。



建议活动

探究洋葱表皮细胞细胞液的浓度范围

植物细胞的细胞液浓度越高,其吸水能力就越强;反之,植物细胞的细胞液浓度越低,其吸水能力就越弱。及时了解植物细胞液浓度,对于指导农业生产很有意义。我们以洋葱表皮细胞为实验材料,探究其细胞液浓度。

◎ 提示

1. 植物细胞在什么情况下发生质壁分离?什么情况下发生质壁分离复原?
2. 当植物细胞既不吸水,也不失水的情况下,其细胞液浓度与外界溶液浓度有何关系?
3. 利用前面两个问题的答案,以实验小组为单位,设计实验。估测洋葱表皮细胞的细胞液浓度。

(1) 可参考的实验材料和用具:紫色洋葱,水,不同浓度的蔗糖溶液,刀片,镊子,滴管,载玻片,盖玻片,吸水纸,培养皿,显微镜。

(2) 你们组将采取哪些措施,以减少实验过程中可能出现的误差?

(3) 能引起约50%的细胞发生初始质壁分离的蔗糖浓度就是细胞液的浓度。

初始质壁分离是指细胞的角隅处开始出现质膜及其以内部分离开细胞壁的状态(如图3-5)。

(4) 你们组的实验设计是怎样的?

◎ 讨论

1. 通过自己小组的实验,同学们能估测出洋葱表皮细胞细胞液的浓度范围吗?
2. 汇总全班各实验小组的数据,估测出洋葱表皮细胞细胞液的浓度范围。
3. 本实验中,减少实验误差的措施有哪些?

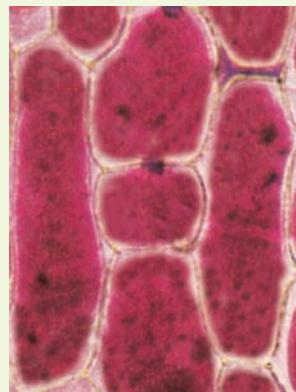


图3-5 初始质壁分离
(注意细胞内角隅处)

被动转运

物质跨过膜的扩散和渗透之所以发生，是因为膜两侧的物质存在浓度差。物质由浓度较高的一侧转运至浓度较低的一侧，称为被动转运 (passive transport)。这就好比水从高处向低处流一样，是一种自然发生的现象。这种转运不需要消耗能量，如氧、二氧化碳、甘油等小分子跨过膜的扩散以及水的渗透。

细胞所需要的许多种小分子或离子，在质膜外侧的浓度虽然常比细胞内高，由于它们不溶于质膜的脂双层中，或者是体积太大，不能直接穿过质膜，此时需借助于细胞膜中的一类载体蛋白 (carrier protein) 将分子或离子转运到细胞内。这种转运方式是将物质从浓度高的一侧转运到浓度低的一侧，也不需要消耗能量，但必须借助转运蛋白的帮助。

载体蛋白分子会与被转运的分子或离子结合而改变形状，于是把分子或离子转运至膜的另一侧。将分子或离子释放后，载体蛋白又恢复至原来的形状 (图 3-6)。这种转运仍是一种扩散作用，但扩散的速率要大得多，称为易化扩散 (facilitated diffusion)。

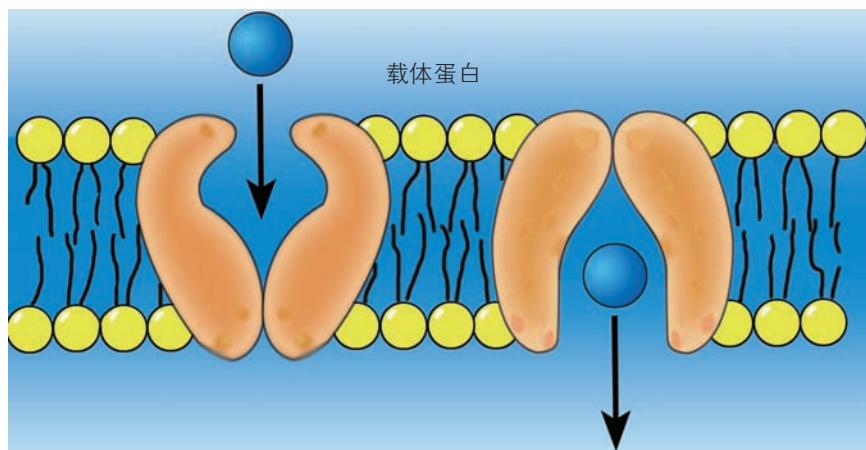


图3-6 被动转运示意图

主动转运

由于生命活动所需，细胞往往要把离子或分子从低浓度处运到高浓度处。例如，海水鱼的鳃需要将体内的盐从盐浓度较低的体液中排到盐浓度较高的海水中；植物的根需要从土壤溶液中吸收离子，而土壤溶液中该离子的浓度往往低于根细胞中的浓度。这类逆浓度梯度的转运称为主动转运（active transport）。主动转运要消耗能量，主动转运所需的能量来自细胞中的 ATP（图 3-7）。

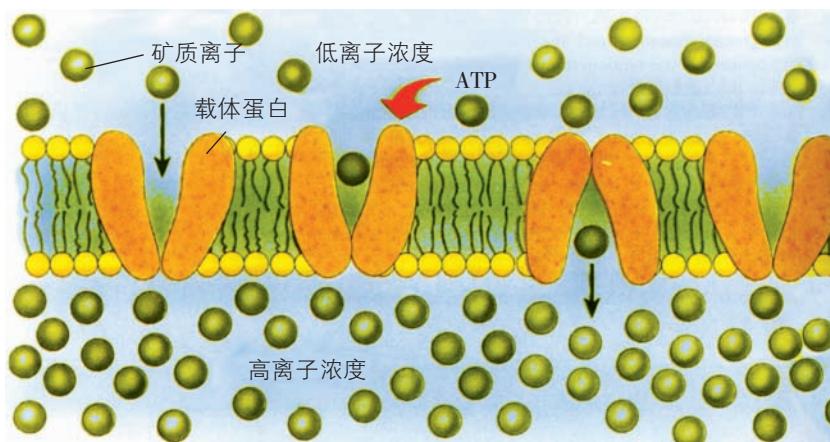


图3-7 主动转运示意图

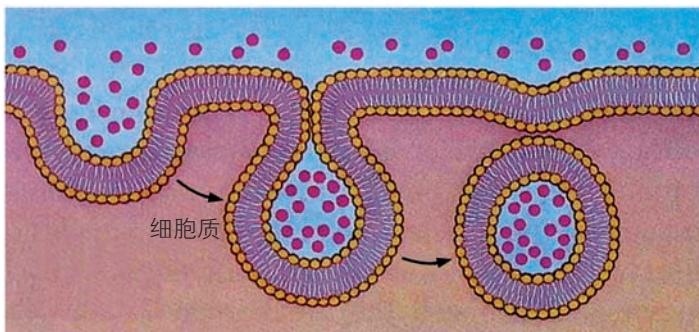
主动转运必须有载体蛋白参与。载体蛋白与被转运的离子结合后，其形状发生变化，而这种变化是需要能量的。载体蛋白形状的改变使离子从低浓度侧运至高浓度侧。

主动转运与被动转运中的易化扩散都需要载体蛋白的参与，在转运过程中载体蛋白都会发生形状变化，它们最大的区别是，主动转运需要 ATP 提供能量，而被动转运不需要能量。由于有能量的供给，主动转运就能够根据细胞的需要转运分子或离子，可以逆着浓度梯度从低浓度的一侧向高浓度的一侧转运物质。因此，主动转运是细胞最重要的吸收或排出物质的方式。

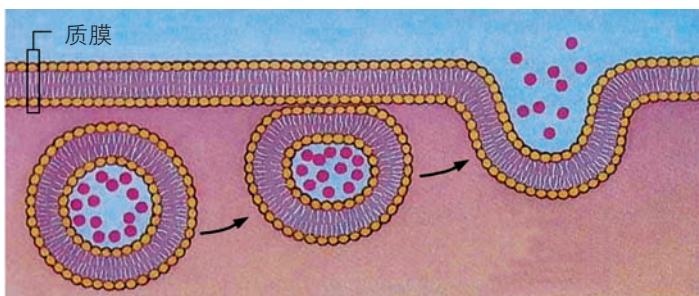
胞吞和胞吐

进出细胞的物质并不一定都通过质膜，有时有的物质会被一部分质膜包起

来，然后这一部分质膜与整个质膜脱离，裹着该物质运到细胞的内侧或外侧。如果把这一部分物质运送到细胞内侧，就称为胞吞（endocytosis）；如果把这一部分物质运送到细胞外侧，就称为胞吐（exocytosis）（图 3-8）。被胞吞或胞吐的物质可以是固体，也可以是液体。变形虫的摄食过程就是胞吞作用，人体消化系统中消化酶（如蛋白酶）的分泌就是通过胞吐作用实现的。



A. 胞吞



B. 胞吐

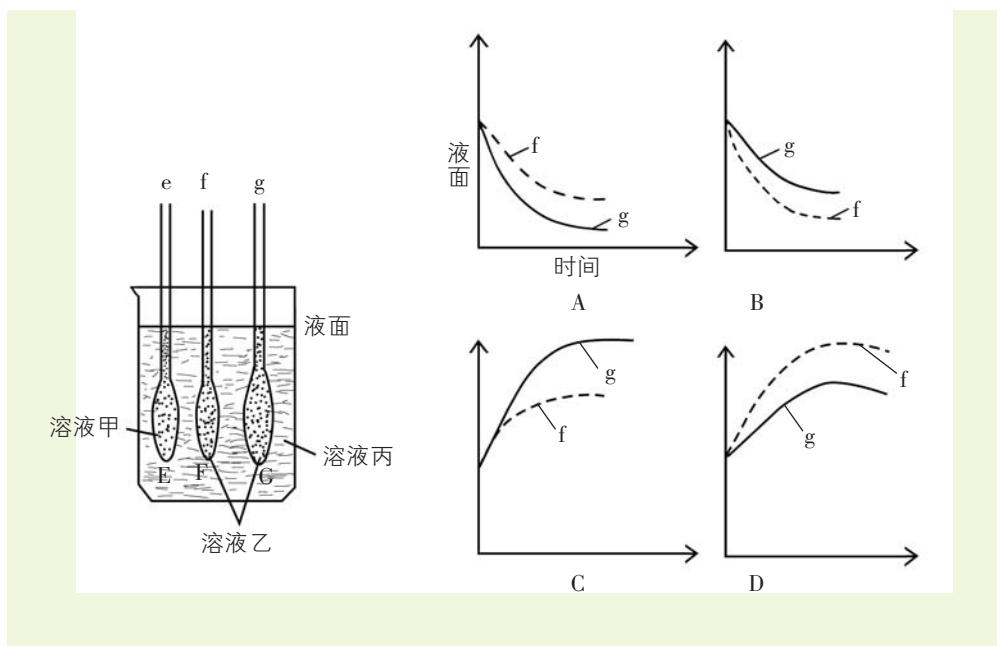
图3-8 胞吞和胞吐示意图



思考与练习

1. 下列细胞放在蒸馏水中，一段时间后形态发生明显变化的是（ ）
A. 人的红细胞 B. 洋葱表皮细胞
C. 变形虫 D. 小球藻（一种单细胞绿藻）
2. 下图中E、F、G为3个半透膜制成的透析袋，透析袋E中装有溶液甲，透析袋F和G中装有溶液乙。E、F、G 3个透析袋的上端分别与口径相同的小玻璃管

e、f、g连接。开始时3个小玻璃管内的液面高度相同。透析袋E和F的容积相同，但G的容积较大。3个透析袋均置于盛有溶液丙的大烧杯中。已知3种溶液的浓度高低顺序为甲<乙<丙。请回答：一段时间后，下图中能显示f管和g管内液面变化趋势的是A、B、C、D中的哪组曲线？()



第三节 酶

本节要点

酶

生物催化剂

酶活性

森林里的熊熊大火，让人惊心动魄。其实这只是空气中的氧气把组成树木的纤维素等有机物氧化了。生物体每天都在氧化食物中的糖类等物质，为什么生物体内糖的氧化能在温和条件(如人的体温为37℃左右)下进行，而体外的氧化却要在剧烈的条件下才能发生呢？这是因为生物体内的化学反应都是在酶(enzyme)的作用下进行的。

酶的发现

早在 18 世纪末，意大利的科学家斯帕兰扎尼 (L. Spallanzani, 1729—1799) 将肉装在由金属丝制成的小笼里，然后让鹰吞食这些小笼。过一段时间，将小笼从鹰的体内取出，他发现笼内的肉消失了。这说明胃液中有一种能消化肉的物质。在此以后，又经过许多科学家的研究，人们发现动物的消化系统能分泌许多种分解淀粉、脂肪和蛋白质的酶。

科学家对酵母菌的研究，使人们对酶有了进一步的认识。人类酿酒的历史至少已有 5 000 年，直到 19 世纪，人们才开始认识到酵母菌与酒精发酵有着密切的关系。1853 年，科学家发现正在发酵的葡萄酒中有酵母菌。巴斯德 (L. Pasteur, 1822—1895) 的实验研究证实，发酵过程中酒精的产量与活酵母菌的繁殖量成正比，他认为酒精发酵是酵母菌代谢活动的结果。与巴斯德同时代的李比希 (J. Liebig, 1803—1873) 则认为，酒精发酵仅仅是一种化学反应，与酵母菌的活动无关，最多只需要酵母菌中某种物质的参与而已。

1897 年，德国的毕希纳 (E. Büchner, 1860—1917) 证明，利用无细胞的酵母汁就可以进行酒精发酵，所以促使酒精发酵的是酵母菌中的某种物质——酶，而不是酵母菌细胞本身。这一重大发现，不仅促进了人们对酶的研究，而且促进了人们对代谢反应的研究。

随后，科学家又发现了许多种具有不同功能的酶。但酶的本质是什么，直到 1926 年美国的萨母纳尔 (J. B. Sumner, 1887—1955) 得到脲酶(使尿素水解的酶)结晶后，才弄明白酶的本质是蛋白质。到目前为止，已经分离得到的绝大多数酶都是蛋白质。

20 世纪 80 年代初，科学家又发现极少数特殊的酶是 RNA，现在，我们称这一类酶为核酶 (ribozyme)。

酶是生物催化剂

森林里的熊熊大火虽然只是氧分子对纤维素(糖类中的一种)等的氧化，但这种氧化作用只有在燃烧时才能发生，也就是说，反应进行时需要高温条件。因为每个糖分子只有吸收能量将自己“活化”后才能发生反应，而高温能提供反应物分子活化所需要的能量。但人体不能经受高温。那么，酶是如何促进反应进行的呢？

催化剂具有促使反应物发生化学变化，本身却不发生化学变化的特点。酶也具有这样的特点。受酶催化而发生化学反应的分子叫底物。酶之所以能在室温下催化底物分子发生反应，是因为酶分子有一定的形状，恰好能和底物分子结合。这就好比钥匙恰好能插到锁眼中一样。而且，这种“锁”一旦和“钥匙”碰到一起，“锁眼”的形状就会发生变化，使“钥匙”与“锁”紧密配合。如图3-9所示，酶与两个氨基酸结合后，使它们连接起来，形成二肽。反应的过程是：酶与底物结合，形成酶—底物复合物，然后这个复合物会发生一定的形状变化，使底物变成产物(二肽)，并从复合物上脱落，同时酶分子又恢复原状。

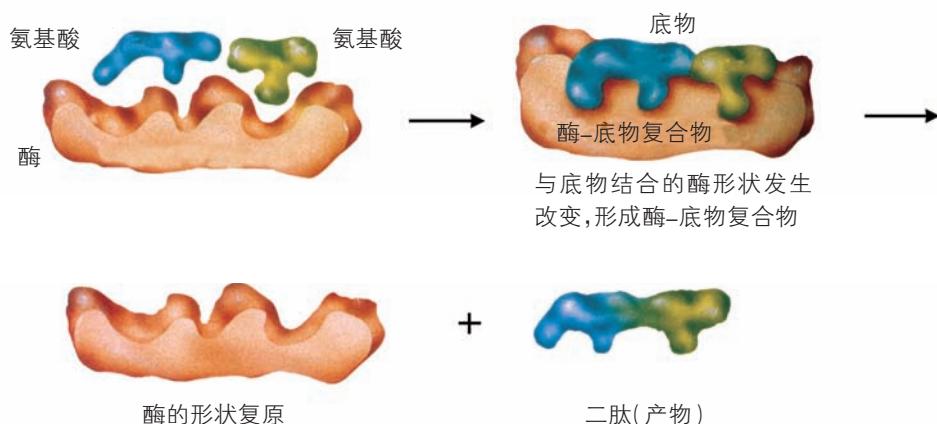


图3-9 酶与底物结合示意图

酶作用的强弱可用酶活性表示。例如，1g 蔗糖酶在1min内使多少克蔗糖水解，就代表蔗糖酶的活性是多少。

酶作为生物催化剂，其催化生物化学反应的效率如何呢？

 演示

酶的催化效率

过氧化氢是细胞中某些化学反应的副产物，具有强的氧化性，如果不及时除去或分解，就会杀死细胞，而细胞中的过氧化氢酶可以催化过氧化氢的分解，反应如下：



◎ 演示内容

1. 取两个试管, 编号后(1号、2号)各加入2%的过氧化氢溶液3mL。
2. 1号试管中加入鸡肝匀浆或马铃薯匀浆少许, 将试管口塞上橡胶塞。(注意: 试管口不要对着人)
3. 2号试管中加入二氧化锰少许, 将试管口塞上橡胶塞。
4. 观察两个试管中发生的变化。
5. 打开两个试管的橡胶塞, 用点燃后无明火的卫生香放在试管口处, 观察现象。

◎ 讨论

1. 通过比较两个试管中发生的变化, 你对酶的催化效率有何认识?
2. 这个实验为什么要用新鲜的肝脏或生的马铃薯块茎?
3. 如果本实验中鸡肝或马铃薯块茎没有被制成匀浆, 你认为实验结果是否与本实验相同, 为什么?

酶的催化活性极高

由于酶通过与底物分子结合, 使化学反应极易进行, 所以反应效率极高。以过氧化氢酶为例, 每个酶分子能在1s之内将 10^5 个过氧化氢分子分解。这种反应速率是没有酶参与情况下的1 000万倍!

酶有专一性

由于酶分子的形状只适合与一种或是小部分分子结合, 所以一种酶只能催化一种底物或少数几种相似底物的反应。这就是酶的专一性。例如, 虽然蔗糖和麦芽糖都是二糖, 但蔗糖酶只能催化蔗糖的水解, 不能催化麦芽糖的水解。



建议活动

探究酶的专一性

◎ 目的要求

比较唾液淀粉酶和蔗糖酶对淀粉和蔗糖的作用。

◎ 材料用具

稀释200倍的新鲜唾液，质量分数为2%的蔗糖溶液，溶于质量分数为0.3%氯化钠溶液中的淀粉溶液（其中淀粉含量为1%），本尼迪特试剂，蔗糖酶溶液，试管，试管架。

◎ 方法步骤

在仔细阅读实验步骤并设计出实验结果的记录表格后再进行实验操作。这对统筹安排实验很有帮助，是一种好的实验习惯。

1. 取2个试管，分别编为1号、2号。
2. 向1号试管中加入本尼迪特试剂2mL，再加入1%的淀粉溶液3mL；2号试管中加入本尼迪特试剂2mL，再加入2%蔗糖溶液3mL。
3. 将两个试管内的溶液充分混匀后，放在沸水浴中煮2~3min。观察并记录实验结果（淀粉、蔗糖不产生红黄色沉淀）。
4. 再取4支试管，分别编为3号、4号、5号、6号。
5. 3号、4号试管中各加入稀释200倍的新鲜唾液1mL；然后在3号试管中加入质量分数为1%的淀粉溶液3mL，在4号试管中加入质量分数为2%的蔗糖溶液3mL。充分混匀后，放在37℃恒温水浴中保温，15min后取出。两管各加本尼迪特试剂2mL，摇匀，放在沸水浴中煮2~3min。观察并记录实验结果。
6. 5号、6号试管各加入蔗糖酶溶液1mL，然后在5号试管中加入质量分数为1%的淀粉溶液3mL，在6号试管中加入质量分数为2%的蔗糖溶液3mL。充分混匀后，放在37℃恒温水浴中保温，15min后取出。两管各加本尼迪特试剂2mL，摇匀，放在沸水浴中煮2~3min。

观察并记录实验结果。

实验记录表

试管	1	2	3	4	5	6
本尼迪特试剂	2mL	2mL	2mL	2mL	2mL	2mL
1%淀粉溶液	3mL	—	3mL	—	3mL	—
2%蔗糖溶液	—	3mL	—	3mL	—	3mL
新鲜唾液	—	—	1mL	1mL	—	—
蔗糖酶溶液	—	—	—	—	1mL	1mL
实验结果						

◎ 讨论

1. 你能解释步骤1~3在本实验中的作用吗?
2. 为什么3号、4号、5号、6号试管要在37℃恒温水浴中保温?
3. 根据实验结果,你如何理解酶的专一性?
4. 如果5号试管内呈现轻度阳性反应,你认为该怎样解释?你能设计一个实验来检验自己的假设吗?

酶的作用受许多因素的影响

影响酶作用的因素很多, pH、温度和各种化合物等都能影响酶的作用。酶通常在一定 pH 范围内才起作用,而且在某一 pH 值下作用最强。图 3-10 为 pH 对酶作用影响的典型曲线。最适的 pH 范围可能很窄,也可能较宽,这取决于不同酶的特性。

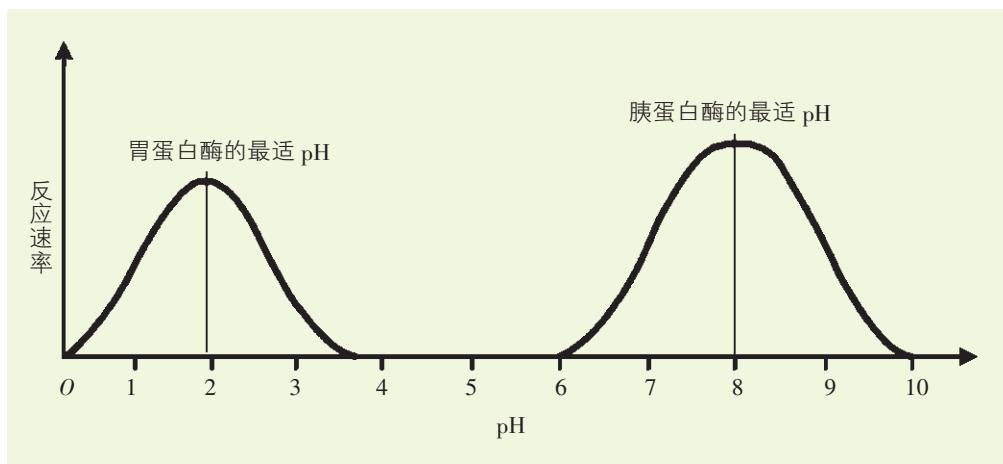
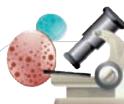


图3-10 pH对酶作用的影响



活 动

探究 pH 对过氧化氢酶的影响

过氧化氢酶在动物的肝脏细胞和血细胞中浓度很高，这种酶的最适pH大约是多少呢？

◎ 目的要求

通过实验了解pH对酶活性的影响。

◎ 材料用具

鲜肝匀浆（过氧化氢酶溶液），3%过氧化氢，缓冲液（pH5.0、pH6.0、pH7.0、pH8.0），滤纸片，托盘，25mL量筒，记号笔，反应小室（图3-11），吸管，镊子，试管架。

◎ 方法步骤

1. 将托盘中的水加至快满为止。
2. 将大小相同的8片滤纸片放在培养皿里的鲜肝匀浆中（含过氧化氢酶）浸泡1min，然后用镊子夹起滤纸片，靠在培养皿壁上，使多余的匀浆流尽。
3. 将2片含有酶的滤纸片小心放入反应小室的一侧内壁上，使滤纸片粘在内壁上。注意滤纸片不要碰到反应小室的瓶口。



图3-11 探究pH影响过氧化氢酶活性的实验装置图

4. 将反应小室稍立起,使贴有滤纸片的一侧在上面,小心加入pH 5.0的缓冲液2mL,然后再加入2mL 3%的 H_2O_2 溶液,切勿使上述混合液接触到贴在内壁上的滤纸片。将小室塞紧。

5. 将25mL量筒横放于盘中使之灌满水,若有气泡,将其轻轻倾斜,小心赶出气泡。将量筒倒立,使筒口一直处于水中。

6. 小心将反应小室平放在盘中的水里,注意反应小室贴有滤纸片的内壁应在上面,将量筒移至反应小室口上伸出的玻璃管上方,实验过程中要一直扶着量筒,保证量筒的位置不动。

7. 将反应小室小心旋转180°,使 H_2O_2 溶液接触滤纸片。同时开始计时,分别在0.5min和1min时,读取量筒中水平面的刻度并作好标记,然后记录。

8. 反复冲洗反应小室后,重复上述实验过程,测量在pH6.0、pH7.0、pH8.0下过氧化氢在酶的催化下所释放的气体量。

注意:所有的实验都要严格保证不混淆,不应该有上一次反应后的剩余溶液,每次试验完后,应充分冲洗,然后用相应的缓冲液再冲洗一遍。

9. 记录实验结果。

缓冲液		pH5.0	pH6.0	pH7.0	pH8.0
收集的气体 体积(mL)	0.5min				
	1min				

◎ 讨论

1. 分析自己的实验数据,你认为过氧化氢酶的最适pH为多少?
2. 实验过程中有哪些因素可能造成实验误差?
3. 如果想得出不同的pH与酶活性关系的变化曲线,应该如何设计实验?
4. 你认为该实验设计中有哪些不完善的地方?应如何改进实验装置或方案,使结果更准确?
5. 请你设计探究温度对酶活性影响的实验方案。

温度也是影响酶促反应速率的重要因素。酶促反应都有一个最适温度,在此温度以上或以下酶活性均要下降(图3-12)。这是因为温度对酶促反应的影响有两个方面。其一,酶所催化的反应都是化学反应,化学反应的特点是温度升高,反应速度加快;其二,酶分子本身会随温度的升高而发生热变性,温度升得越高,酶变性的速率也越快,升到一定温度,酶将完全失去活性。这两个作用叠加在一起,便使得酶所催化的反应表现出最适温度。

大约在0~40℃的范围内,一般酶的活性随温度的升高而升高。

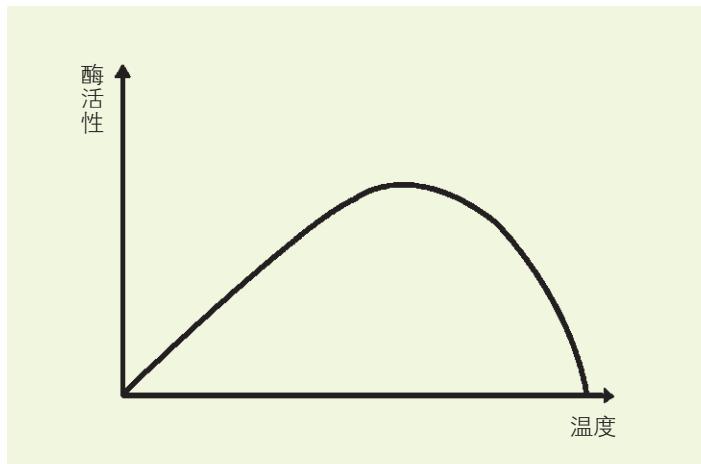


图3-12 温度对酶活性的影响



小资料

辅 酶

辅酶是辅助酶起作用的分子，它们不是蛋白质。许多辅酶是某种维生素或维生素分子的一部分。例如，转氨酶的辅酶是维生素B₆。辅酶也像酶一样，可以反复起作用，所以辅酶的需要量极少。

有些辅酶只是暂时与酶结合，改变酶的局部形状，使之更适合与底物分子结合。许多金属离子，如Mg²⁺就是这类辅酶。另外，有些辅酶牢固结合在蛋白质分子上，帮助酶催化底物分子发生化学反应。上述转氨酶的辅酶就属于此类，这样的辅酶也称为辅基。



网络漫游

如果你想了解更多有关酶的知识，可上网搜索下面的关键字：酶、催化剂、辅酶。



课 外 读

酶的应用

酶工程的应用已超越传统食品工业范围，正被广泛应用于轻工业、医药工业和临床诊断等方面。例如，新型的青霉素，即羟氯苄青霉素（商品名为阿莫西林）的生产，就是利用固定化的青霉素酰化酶使青霉素分子的结构发生变化的，新型的青霉素可以克服病原菌对传统青霉素的抗药性。

尿糖试纸是酶在临床诊断上应用的一个例子。葡萄糖在葡萄糖氧化酶的催化作用下变成葡萄糖酸和过氧化氢，过氧化氢在过氧化氢酶的催化作用下产生水和氧，而氧可以将某种无色的化合物氧化成有色的化合物。根

据这个原理,将上述两种酶和无色的化合物固定在纸条上,制成测试尿糖含量的试纸。使用时只需将尿液滴在这种试纸上,试纸就会依尿液中葡萄糖含量的多少呈现出浅蓝、浅绿、棕至深棕的颜色反应,使用非常方便。



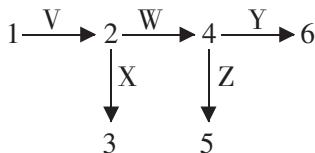
思考与练习

一、选择题

1. 淀粉酶能使淀粉在很短的时间内水解成麦芽糖,而对麦芽糖的水解却不起作用。这种现象说明酶具有()
A. 高效性和多样性 B. 高效性和专一性
C. 专一性和多样性 D. 稳定性和高效性
2. 某种细菌中发生下列一系列反应:



- 在酶 E_4 失效的情况下,要使细菌能够正常生长,我们至少要向培养基中加入什么?()
- A. X B. A C. X和C D. Y
 3. 下图表示细菌细胞中的一个反应程序。在这个程序中,一种氨基酸在酶的作用下产生另一种的氨基酸。



- 1~6代表不同的氨基酸,V~Z代表不同的酶。所有氨基酸对生命活动都是必需的。原始种的细菌只要培养基中有氨基酸1就能生长,而细菌的变异种只有在培养基中有氨基酸1、2、5时才能生长。变异种中不存在的酶是()
- A. V、W B. W、Y C. Y、Z D. V、Z

二、简答题

加酶洗衣粉中一般含有蛋白酶,请回答下面的问题:

- (1) 这种洗衣粉为什么能够很好地除去衣物上的奶渍和血渍?
- (2) 使用这种洗衣粉为什么要用温水?
- (3) 含有蛋白酶的洗衣粉不宜用来洗涤下列哪几类衣料?()
A. 化纤 B. 纯毛 C. 纯棉 D. 真丝
- (4) 为了更好地除去衣物上的油渍,在洗衣粉中还可加入_____酶。

三、思考题

持续高烧可能会危及人的生命,学习了有关酶的知识后,请你从这个方面分析其原因。

第四节 细胞呼吸

本节要点

- 细胞呼吸
- 糖酵解
- 柠檬酸循环
- 电子传递链
- 厌氧呼吸

我们通常所说的呼吸,指的是人体从周围环境中吸入空气,利用其中的氧气,同时呼出二氧化碳。这是一个气体交换的过程。人体细胞利用空气中的氧气做什么?人体呼出的二氧化碳是从哪里来的?气体交换过程与细胞呼吸有什么关系呢?

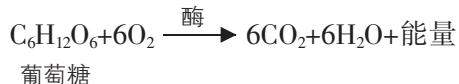
原来,人体吸入空气后,空气中的氧通过血液循环输送到身体的各个细胞。细胞在有氧条件下将葡萄糖氧化分解,在此过程中获得能量,同时产生二氧化碳,这就是细胞呼吸的过程。细胞呼吸产生的二氧化碳又被人体呼出体外。人体通过气体交换,源源不断地为细胞提供氧,并且排出二氧化碳。

任何生物体进行的生命活动都需要能量。这些能量几乎全部来自于细胞呼吸。细胞呼吸就是细胞内进行的将糖类等有机物分解成无机物或者小分子有机

物，并且释放出能量的过程。根据细胞呼吸过程中是否有氧参与，我们把细胞呼吸分为需氧呼吸(aerobic respiration)和厌氧呼吸(anaerobic respiration)。需氧呼吸是细胞呼吸的主要方式。

细胞呼吸与糖的氧化

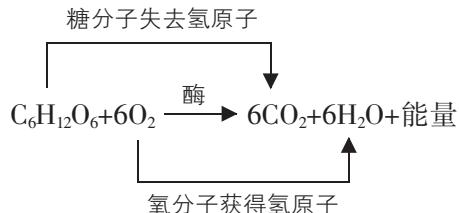
需氧呼吸必须有氧参加，氧气把糖分子氧化成二氧化碳和水，反应如下：



木头燃烧时发生的也是类似的反应。细胞呼吸和木头燃烧虽然发生的都是化学变化，却有显著的差别。燃烧是在高温下发生的，产生光和热；细胞呼吸是在常温下发生的，所产生的能量中有相当一部分贮存在ATP中，其余的则转变成热能。

葡萄糖中含有很多能量，10g葡萄糖中约有160kJ能量。一个成人剧烈运动15min大约要利用160kJ的能量。每个ATP分子中的能量大约是1个葡萄糖分子中能量的1%。那么，是不是细胞每氧化1个分子的葡萄糖就会合成100个ATP分子呢？不是的，细胞中每氧化1个葡萄糖分子，可以合成约30个ATP分子。也就是说，细胞中葡萄糖的能量利用效率大约为30%。与现有的机械相比，细胞利用能量的效率应该是很高了。例如，传统的蒸汽机，能量转化效率只有8%，现代化的汽车引擎，也只能把汽油中能量的25%转化为动能。

无论是木材的燃烧还是细胞呼吸，反应的实质都是纤维素或葡萄糖中的碳氧化为二氧化碳，其中的氢被氧化成水。葡萄糖分子与氧反应的总方程式如下：



氢原子的得失就是氧化还原作用。组成氢原子的是质子(H⁺)和电子(e⁻)，所以氢原子的得失实质上是电子的得失。在糖的氧化反应中，葡萄糖分子中发生了化学键的变化，化学键所贮存的能量(化学能)通过氧化还原作用释放出来。

细胞呼吸主要在线粒体中进行。葡萄糖氧化产生 ATP，绝大部分是在线粒体中发生的，所以人们称线粒体是细胞的“动力车间”。

细胞呼吸是一系列有控制的氧化还原反应。这许多反应又可划分为 3 个阶段，如图 3-13 所示。

第一阶段：糖酵解(glycolysis)。糖酵解在细胞溶胶中进行。在糖酵解的过程中，1 个葡萄糖分子被分解成 2 个含 3 个碳原子的化合物分子，分解过程中释放出少量能量，形成少量 ATP。

第二阶段：柠檬酸循环 (citric acid cycle)。柠檬酸循环在线粒体中进行。在线粒体基质中，存在着与柠檬酸循环有关的酶，也有少量与柠檬酸循环

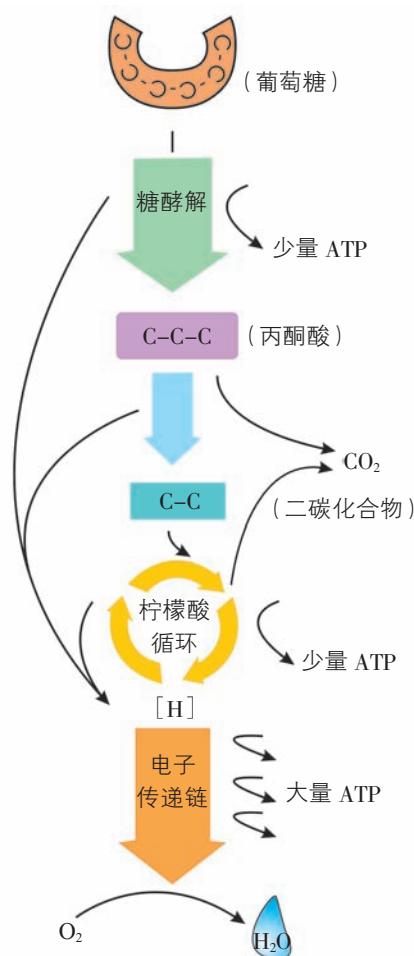


图3-13 细胞呼吸的3个阶段

有关的酶在嵴上。在柠檬酸循环中，糖酵解的产物(指那2个含3个碳原子的化合物分子)被分解，形成6个二氧化碳分子，释放出少量能量，形成少量ATP。同时，氢也被释放出来。一些特殊的分子携带氢原子进入下一个阶段。

第三阶段：电子传递链(electron transport chain)。与电子传递有关的酶和合成ATP的酶镶嵌在线粒体内膜上，本阶段也在线粒体中进行。在电子传递链中，特殊的分子所携带的氢和电子分别经过复杂的步骤传递给氧，最后形成水。在这个过程中产生大量的ATP。



小资料

呼吸速率

呼吸速率是指单位数量的活体组织，在单位时间内消耗的氧气量或释放的二氧化碳的量。因为呼吸作用是由一系列酶催化的化学反应，所以温度对呼吸作用有很大影响。一般植物在0℃及以下时呼吸作用很弱或停止，温度升高则呼吸作用加快，温度太高则呼吸作用减弱甚至停止。

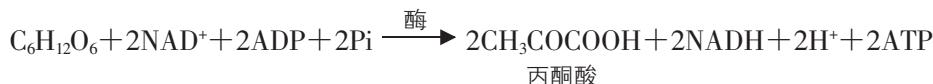
细胞呼吸从糖酵解开始

糖酵解是指1个葡萄糖分子转变为2个丙酮酸分子的过程。葡萄糖是六碳化合物，丙酮酸是含有3个碳原子的化合物，这个过程可概括为3大变化：

- (1) 六碳的链被分为2个三碳的链。
- (2) 形成少量ATP。

(3) 葡萄糖中的一部分氢原子变成还原型辅酶(NADH)。NADH在电子传递链中可以被利用。NADH是一种辅酶的还原形式，其氧化形式是NAD⁺。NADH是一种特殊的核苷酸。

糖酵解的全部反应如下：



糖酵解的产物是丙酮酸，葡萄糖分子中的绝大部分化学能仍存在于丙酮酸中。

柠檬酸循环

丙酮酸进入线粒体后，在线粒体基质中进行柠檬酸循环。首先，在一种复杂酶系统的催化下形成1个二碳化合物 $[C_2]$ (图3-14)，脱去1个 CO_2 ，并形成1个NADH，反应如下：



二碳化合物进入柠檬酸循环，与草酰乙酸(C_4 酸)合成为 C_6 酸(柠檬酸)。然后 C_6 酸经多个反应，脱掉2个二氧化碳，又形成1个草酰乙酸，于是柠檬酸循环的第二轮开始。如此循环不已，将所有的丙酮酸源源不断地转变为 CO_2 ，释放到细胞之外。



课外读

柠檬酸循环的过程

图3-14是柠檬酸循环的简图，其中也包括了丙酮酸脱去二氧化碳的反应。由图可以看出，柠檬酸循环的作用除产生二氧化碳外，还产生少量的ATP，重要的是产生了4个NADH和1个 $FADH_2$ 。 FAD 是另外一种辅酶，也是一种特殊的核苷酸。其氧化形式为 FAD ，还原形式为 $FADH_2$ 。 $NADH$ 和

$FADH_2$ 这两种还原形式的辅酶，是氢的载体，它们携带氢参与电子传递链。

柠檬酸循环(包括丙酮酸脱去二氧化碳的反应)中发生的总反应是1分子丙酮酸产生3分子二氧化碳、1分子ATP、4分子NADH和1分子 $FADH_2$ 。这个循环和糖酵解一样，直接产生的ATP很少，每分子葡萄糖只产生2个ATP，但所产生的NADH则是糖酵解的好几倍。

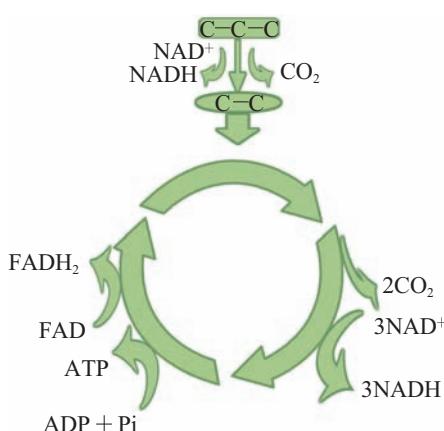
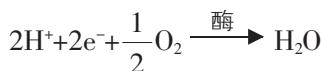


图3-14 柠檬酸循环简图

电子传递链

电子传递链存在于线粒体内膜中，由3种蛋白质复合体组成，每种复合体中又有一种以上的电子传递体。还原型辅酶NADH中的氢离子和电子被电子传递体所接受。电子传递体将电子一步一步地传递到末端。高能电子经过一系列的电子传递体时，能量不断地减少。这就好像一个球沿着楼梯逐级落下来一样，每落下一级就丢失一些势能。这些丢失的能量形成ATP。

每分子NADH经过电子传递链后，可形成2~3个ATP。电子传递的最后一站是与氧结合形成水。反应如下：



细胞呼吸在最后一步才用到氧。对于每一分子的葡萄糖来说，从糖酵解开始，大概可以产生30个ATP，而其中的26个ATP是在电子传递链中产生的。

从糖酵解到电子传递链中水的形成，这一系列反应都只能在有氧气存在的条件下发生，所以称为需氧呼吸(aerobic respiration)。需氧呼吸总的变化可概括为图3-15。

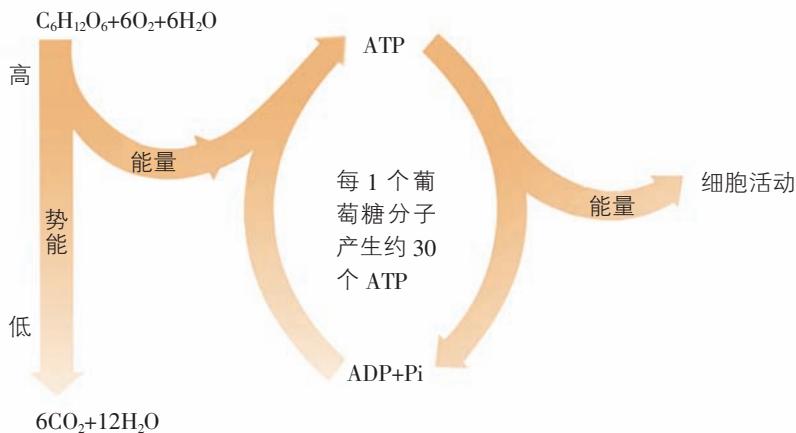


图3-15 需氧呼吸示意图



小资料

需氧呼吸出现的意义

生物的呼吸方式由厌氧呼吸到需氧呼吸，是进化中的一个飞跃。

在生命刚刚诞生时，地球的大气中没有氧气，那时的微生物适应在无氧的条件下生活，所以这些微生物（专指厌氧微生物）体内缺乏需氧呼吸的酶类，只能在无氧的条件下生活。随着地球上绿色植物的出现，大气中出现了氧气，于是也出现了体内具有需氧呼吸酶系统的需氧微生物。需氧呼吸产生能量的效率要比厌氧呼吸产生能量的效率高得多。1个葡萄糖分子，通过需氧呼吸可生成30个ATP，而通过厌氧呼吸（糖酵解）只能生成2个ATP，两者相差15倍。因此，在进化过程中，能进行需氧呼吸的物种获得了空前的发展。

厌氧呼吸

当你用手长时间举着一个重物时，手臂会感觉酸软乏力，这是因为你的肌肉细胞得不到足够的氧气进行需氧呼吸。这时肌肉细胞不得不进行厌氧呼吸（anaerobic respiration）。

厌氧呼吸是在无氧的条件下发生的。厌氧呼吸在细胞溶胶中进行。厌氧呼吸的过程可以划分为两个阶段：

第一阶段与需氧呼吸的第一阶段一样，进行糖酵解。

第二阶段中，丙酮酸在不同酶的催化作用下，形成不同的产物。最常见的产物是乳酸或乙醇。

人、动物和植物在特殊情况下都可以进行厌氧呼吸。例如，人和动物的骨骼肌细胞在缺氧条件下进行厌氧呼吸，产生乳酸。乳酸刺激神经末梢，使人产生酸痛的感觉。又如，葡萄的果实、苹果的果实、玉米的胚、马铃薯的块茎等在缺氧条件下都能进行厌氧呼吸。

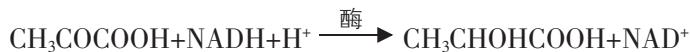
许多细菌能够依靠厌氧呼吸维持生命，氧气对它们甚至是有毒的，如乳酸细菌。我们制作酸奶、泡菜时，利用乳酸细菌进行厌氧呼吸产生乳酸。因为乳酸细菌是依靠厌氧呼吸生活的，氧气会抑制其生存，所以制作过程需要运用密封的方

法来隔绝空气。乳酸细菌、酵母菌等微生物的厌氧呼吸也称发酵。最常见的发酵类型是乳酸发酵(lactic acid fermentation)和乙醇发酵(alcoholic fermentation)。

乳酸发酵 葡萄糖在无氧条件下分解产生乳酸，总反应如下：



乳酸发酵的反应历程和糖酵解一样，只是在形成丙酮酸后，丙酮酸在乳酸脱氢酶的催化下被 NADH 还原为乳酸：



乳酸发酵所产生的 ATP 仅为需氧呼吸的 1/15 左右。



演 示

乙醇发酵实验

◎ 演示内容

1. 取10%葡萄糖溶液30mL注入图3-16右边的广口瓶中，并置于35℃水浴中预热。
2. 取干酵母3g，用15mL 30℃的温水化开后，立即倒入预热过的广口瓶中，充分振荡，使葡萄糖与酵母混匀，混合液应占广口瓶容积的1/3左右。



图3-16 乙醇发酵实验装置图

3. 迅速向混合液表面滴加一薄层液体石蜡。用带玻璃导管的橡皮塞住广口瓶，让玻璃导管的另一端伸入右边大试管的液面以下，并将广口

瓶置于30℃左右的水浴中。

讨论

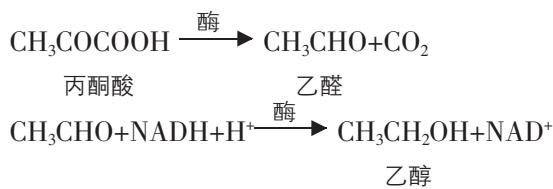
1. 广口瓶、大试管内出现哪些现象？拔掉广口瓶的塞子后会闻到什么气味？试分析其中的原因。
2. 为什么在广口瓶中要加入30mL 10%的葡萄糖溶液，并置于35℃水浴中预热？
3. 为什么要在广口瓶的混合液表面滴加一薄层液体石蜡？
4. 实验中为什么要使酵母悬液与葡萄糖溶液充分混合，并将广口瓶置于30℃水浴中？

乙醇发酵 有时，成熟的大苹果切开后有酒味，这是因为果肉中进行了乙醇发酵。乙醇发酵和乳酸发酵类似，不过产物是乙醇和二氧化碳，其总反应式如下：



进行乙醇发酵的微生物主要是酵母菌。乙醇就是酒精，各种酒类的制作都离不开酵母菌，食品工业中面包等的制作也要利用酵母菌。酵母在面团中进行乙醇发酵所产生的二氧化碳，就是使面团“发起”的原因。

乙醇发酵中乙醇的来源也和乳酸发酵一样，来自丙酮酸。丙酮酸先经过脱去二氧化碳反应形成乙醛，乙醛再被NADH还原为乙醇。



在以上两种厌氧呼吸中，葡萄糖分解产生的乳酸或乙醇，都含有可利用的能量。在需氧呼吸中，葡萄糖被彻底氧化分解，产生二氧化碳，贮存在有机物中的能量全部被释放出来。因此，厌氧呼吸产生的ATP比需氧呼吸产生的ATP少得多。但在无氧或缺氧条件下，细胞利用这种呼吸作用可以快速地利用葡萄糖产生ATP，在短时间内维持生命。例如，人体肌肉细胞可以靠厌氧呼吸维持短时间的活动，所产生的乳酸则被运至肝脏再生成葡萄糖。厌氧呼吸

只能利用葡萄糖中的一小部分能量，而乳酸再转变为葡萄糖又要消耗能量。所以，肌肉细胞进行厌氧呼吸是一种克服暂时缺氧的应急措施，是为争取时间而消耗较多能量的办法。



小资料

酵母菌

酵母菌属于真菌，广泛分布于自然界中，尤其在葡萄等水果和蔬菜上更多。酵母菌为单细胞生物，呈圆形、卵圆形或椭圆形，内有细胞核、液泡和线粒体等结构。酵母菌通常以出芽生殖的方式繁殖，有的种类能产生孢子。酵母菌在环境氧气浓度高时可进行需氧呼吸，在环境氧气浓度低时可进行厌氧呼吸，主要是酒精发酵，分解糖类产生酒精和CO₂。生产上常用的酵母菌有面包酵母、酿酒酵母、葡萄酒酵母等。多数酵母菌含有丰富的维生素，可供医药用。

细胞呼吸是细胞代谢的中心

细胞在正常情况下利用糖类作为呼吸过程中能量的来源，但在有些情况(如人和动物极度饥饿时)下也可利用脂肪和蛋白质作为能源。糖类、脂肪和蛋白质这3类物质的分解产物，分别为单糖、甘油和脂肪酸以及氨基酸等。其中，单糖和甘油进入糖酵解，脂肪酸和氨基酸主要进入柠檬酸循环(图3-17)。

糖类中的多糖首先水解为单糖，然后以单糖形式进行糖酵解，最后被完全氧化。脂肪则先分解成甘油和脂肪酸。由甘油形成一个三碳的中间物进入糖酵解，脂肪酸则被分解，以二碳化合物的形式进入柠檬酸循环。

当蛋白质用于呼吸作用时，首先被分解成氨基酸，氨基酸脱去氨基后变成一些有机酸，进入柠檬酸循环的不同位点，最终被完全氧化。

图3-17概括了这些变化，由此可知细胞内有机物的分解以细胞呼吸为中心。

细胞代谢的另一个方面是各种各样的生物合成反应。这些反应的产物是细胞生活、生长和修复损伤所需要的物质。细胞呼吸一方面为这些合成反应提供能量(ATP)，另一方面为合成反应提供碳骨架。柠檬酸循环的许多中间产物都是重要的碳骨架。细胞内有机物的生物合成也以细胞呼吸为中心。

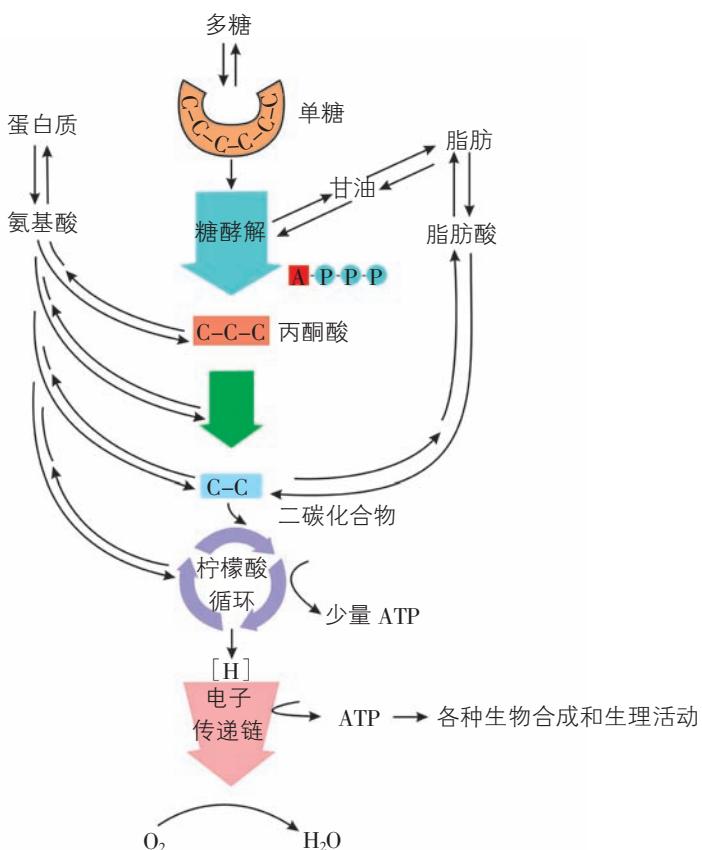


图3-17 细胞呼吸与细胞代谢的关系



课外读

各种体育运动所花费的能量

当人体的骨骼肌收缩时便会产生肢体运动，但肌肉的收缩需要消费ATP。一般情况下，肌肉中的ATP含量很低，只能供肌肉很短时间的活动之需。但肌肉中还有一种高能物质——磷酸肌酸，能迅速产生ATP。肌肉中磷酸肌酸的含量比ATP的含量高得多，足以维持肌肉较长时间的活动。所以进行百米赛跑的前数秒，ATP主要来源于磷酸肌酸；数秒之后，ATP的来源除靠需氧呼吸供应外，还有一部分来自乳酸发酵。但是较长时间的运动，只能靠需氧呼吸供应ATP。因此，体育运动时人体耗能量与运动时花费的能量成正比。耗氧量可以反映该项活动所花费的能量。一个人静息时的耗氧

量约为 $3.5\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,而剧烈运动时的耗氧量就会大增,例如跑步(速度为 6km/h)时耗氧量可达 $35\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,是静息时的10倍。可以用代谢当量(metabolic equivalent, MET)来表示体育运动的强度,即以静息时的耗氧量为1MET,则速度为 6km/h 的跑步的MET为10。下表是某些体育运动和日常活动的MET。

某些体育运动和日常活动的MET

活动种类	活动情况	MET
静坐		1.0
站立	放松地	1.0
作画	坐着	1.5
写字		1.5
穿衣和脱衣		2.0
洗手和洗脸		2.0
打字		2.0
演奏乐器		2.5
骑马	慢速	2.5
步行	速度为 4km/h	3.0
舞蹈	慢节奏,如华尔兹	3.0
划船	慢划	3.5
骑脚踏车	速度为 10km/h 以下	4.0
骑马	一般运动	4.0
体操	表演	4.0
家务劳动	重活,如拖地	4.5
步行	速度为 5.6km/h	5.5
舞蹈	快节奏,如迪斯科	5.5
竞走	比赛	6.5
打羽毛球	比赛	7.0
铲雪		7.0
挖掘		7.5
跑步	速度为 5km/h	8.0

续表

活动种类	活动情况	MET
跳绳	慢	8.0
跑步	速度为 6km/h	10.0
踢足球	比赛	10.0
登山	一般运动	11.0
蝶泳	比赛	11.0
跳绳	快	12.0
跑步	速度为 9km/h	15.0



思考与练习

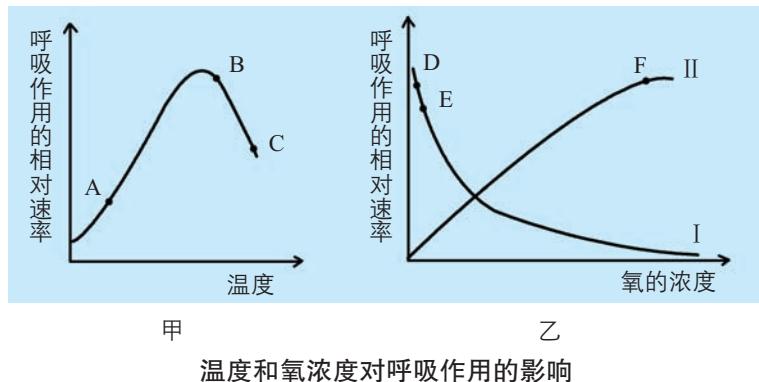
一、选择题

1. 呼吸作用的实质是()
 A. 分解有机物, 贮藏能量 B. 合成有机物, 贮藏能量
 C. 分解有机物, 释放能量 D. 合成有机物, 释放能量
2. 在需氧呼吸过程中合成ATP最多的阶段是()
 A. 葡萄糖转变为丙酮酸 B. 丙酮酸转变为二氧化碳
 C. 电子传递 D. 丙酮酸与水结合
3. 在需氧呼吸过程中, 氧的作用是()
 A. 与葡萄糖中的碳结合生成二氧化碳
 B. 在电子传递链的末端与氢结合生成水
 C. 参与酶的催化作用
 D. 氧化葡萄糖形成丙酮酸
4. 现有酵母菌甲进行需氧呼吸, 酵母菌乙进行发酵, 若它们消耗了等量的葡萄糖, 则它们放出的二氧化碳与酵母菌甲吸入的氧气之比为()
 A. 1:2 B. 2:3 C. 3:4 D. 4:3
5. 用黄豆发豆芽, 1kg黄豆可长出5kg豆芽。在这个过程中有机物总量()

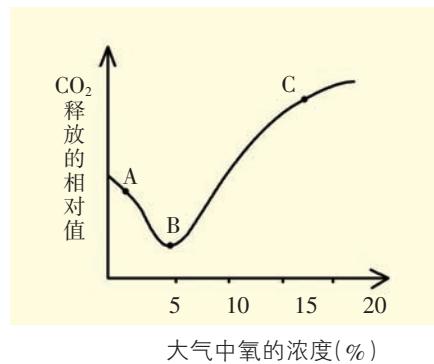
- A. 减少 B. 增多 C. 不变 D. 先少后多

二、填空题

1. 下图是外界条件对植物呼吸作用速率影响的曲线图。请据图回答下列问题：



- (1) 甲图AB段说明：随着温度升高，呼吸作用_____；温度的作用主要是影响_____的活性。BC段说明呼吸作用的相对速率_____，原因是_____。
- (2) 乙图中曲线Ⅰ表示_____呼吸类型。如果曲线Ⅰ描述的是水稻根细胞的呼吸作用，那么在DE段时根内积累的物质可能是_____。
2. 下图表示大气中氧的浓度对植物组织产生二氧化碳的影响，试据图回答：
- (1) A点表示植物细胞释放的二氧化碳较多，这些二氧化碳是_____的产物。
- (2) A到B，二氧化碳的释放量急剧减少，其原因是_____。
- (3) B到C，二氧化碳的释放量又不断增加，其原因是_____。
- (4) 为了有利于贮藏蔬菜或水果，贮藏室内的氧气应调节到图中的哪一点所对应的浓度？_____。采取这一措施的理由是_____。



氧浓度对植物组织产生CO₂的影响

第五节 光合作用

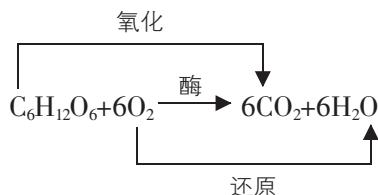
本节要点

- 光合作用的氧化还原过程
- 叶绿素及其作用
- 光反应
- 碳反应
- C-4 植物

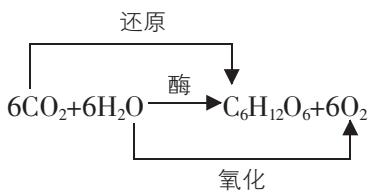
无论是需氧的还是厌氧的细胞呼吸，主要以糖为底物。生物界的糖绝大部分最终来源于光合作用。进行光合作用的生物主要包括植物和藻类，它们以二氧化碳和水为原料，通过叶绿体，利用光能合成糖类等有机物质，这些有机物为其自身的生长、发育和繁殖提供物质和能量，因此被称为自养生物（autotroph）。人、动物、真菌和大部分细菌直接或间接依靠自养生物的光合产物生活，这些生物都是异养生物（heterotroph）。

光合作用概述

光合作用和细胞呼吸一样，也是一个氧化还原过程。就其总方程式而言，光合作用恰好与细胞呼吸相反。细胞呼吸是将葡萄糖中的碳氧化为二氧化碳，游离的 O₂ 则被还原为 H₂O 中的 O。



光合作用恰好相反，是将 CO₂ 还原为糖，将 H₂O 中的 O 氧化为 O₂。

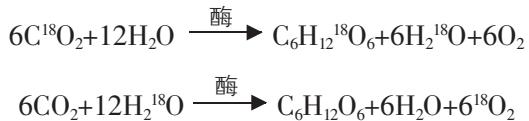


细胞呼吸是一个放能反应，它将贮存在葡萄糖中的化学能释放出来，供细胞利用。光合作用是一个吸能反应，它利用太阳能将二氧化碳转变为糖，并将能量贮存在糖分子内。也就是说，光合作用是一个将光能转变为化学能的过程。

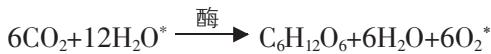
尽管光合作用从总反应上看好像是细胞呼吸的逆转，但光合作用不是细胞呼吸的逆反应。细胞呼吸主要在线粒体中进行，光合作用则全部在叶绿体中进行。细胞呼吸是分许多步骤进行的。光合作用比细胞呼吸更复杂，并不像上面的方程式所表示的那样简单。

光合作用在叶绿体中进行。第二章中曾初步介绍了叶绿体的结构。叶绿体有内外两层膜，其内膜里面充满了浓稠的液体，称为基质（stroma）。悬浮在基质中的是许多类囊体（thylakoid）。类囊体是由膜形成的碟状的口袋，所有的类囊体连成一体，其中又有许多叠在一起，像一摞硬币。这种叠起来的类囊体称为基粒（granum），如图 2-12 所示。组成类囊体的膜就是所谓的光合膜（photosynthetic membrane）。

光合作用所释放的 O₂，究竟来自 CO₂，还是来自 H₂O，直到 20 世纪 40 年代才弄清楚。当时已经生产了氧的同位素 ¹⁸O，可以用 ¹⁸O 标记的 CO₂ 和 H₂O 进行实验。结果发现，只有供给 H₂¹⁸O 时，光合作用所释放的才是 ¹⁸O₂，因此证实了光合作用释放的氧气来自于 H₂O 中的 O。实验结果如下式所示：



所以光合作用的总方程式，若以葡萄糖为产物，应该是每 6 分子二氧化碳与 12 分子水发生反应。



光合作用分两个阶段进行。在这两个阶段中，第一阶段是直接需要光的，称为光反应（light reaction）；第二阶段不需要光直接参加，是二氧化碳转变成糖的过程，称为碳反应（carbon reaction），以前称为暗反应（dark reaction）。

光合作用中光反应和碳反应的关系如图 3-18 所示，类囊体膜中发生光反应，利用光能使水氧化产生氧气，同时产生 ATP 和 NADPH。NADPH 和 NADH 是同一类辅酶，都是氢的载体。NADPH 只是比 NADH 多 1 个磷酸基团。光反应产生的 ATP 和 NADPH 是碳反应中将二氧化碳还原为糖的能源物质。

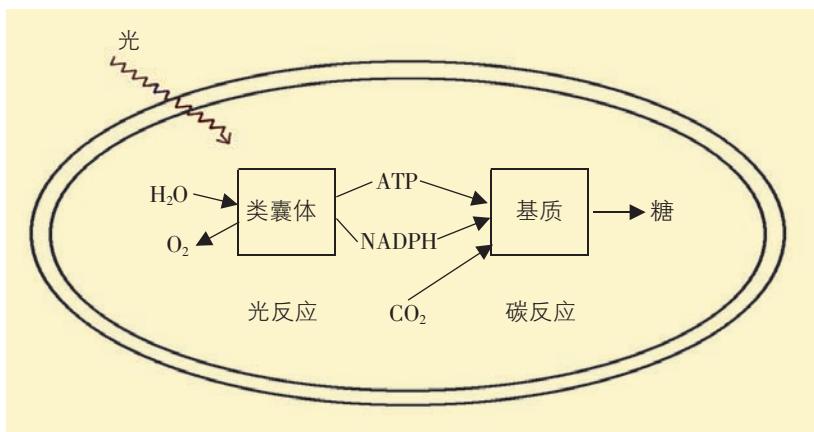
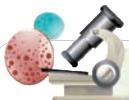


图3-18 光合作用中光反应和碳反应的关系

叶绿素和其他色素



活 动

光合色素的提取与分离

◎ 目的要求

- 学会提取和分离叶绿体中色素的方法。
- 分离叶绿体中的4种色素。

◎ 材料用具

新鲜的绿色叶片(如菠菜叶片),干燥的定性滤纸,95%的乙醇,层析液(乙醚或石油醚等),二氧化硅,碳酸钙,研钵,小玻璃漏斗,尼龙布,毛细吸管,剪刀,试管,药匙,量筒,天平。

◎ 方法步骤

- 用新鲜的菠菜叶(或刺槐叶等)放入40~50℃的烘箱中烘干,粉碎后取2g干粉放入研钵中,加入少许二氧化硅和碳酸钙,再加入2~3mL 95%的乙醇,充分、迅速研磨成匀浆。

2. 在一小玻璃漏斗基部放一块单层尼龙布，将研磨液迅速倒入漏斗中。收集滤液到一个试管中，及时用棉塞将试管口塞紧。

3. 制备滤纸条。将一张预先干燥过的定性滤纸剪成长10cm、宽1cm的纸条，在距滤纸条一端1cm处用铅笔画一条细的横线。

4. 点样。用毛细吸管吸取少量滤液，沿铅笔画的横线均匀地画出一条细而直的滤液细线。待滤液干后再画一次，共画3~4次。

5. 分离叶绿体中的色素。将2mL层析液沿试管壁一侧倒入大试管中（图3-19），将滤纸条（有滤液细线的一端朝下）略微斜靠着大试管内壁的另一侧，轻轻地插入到层析液中，但要保证上面部分干燥。随后用软木塞塞住试管口。注意，滤纸上的滤液细线要高于层析液液面。

6. 观察实验结果。几分钟以后，取出滤纸条。待滤纸条干燥后（为了加速干燥，可以用电吹风调在微风档吹干滤纸），观察滤纸条上的色素带。

7. 由于接触了层析液等化学药品，因此实验结束后一定要用肥皂将手洗净。

◎ 讨论

1. 从上到下滤纸条上有几条色素带？分别呈什么颜色？分别是哪种光合色素？

2. 本实验成功的关键是什么？



图3-19 叶绿体色素层析实验装置图

在光合作用的光反应中，光能被转变为 ATP 和 NADPH 中的化学能。这种转变需要从光的性质讲起。光是辐射能的一种形式。除光外，无线电波、微波、X-射线、 γ -射线等都是辐射能，都以波的形式前进。将一块石子投入水中，便可看到水波向四周扩散。水波有波峰和波谷，光波也一样。两个相邻的波峰之间的距离称为波长。我们的眼睛能看到的光称为可见光，其波长为 400~700nm(纳米，即 10^{-9} m)。植物光合作用所能利用的光也在可见光范围内。

我们把看到的太阳光称为白光，实际上它是由许多不同波长的光组成的。太阳光通过三棱镜折射后，便可分成红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫等不同的颜色，这就是所谓的可见光谱(visible spectrum)。

各种色素分子之所以有不同的颜色，是因为它们吸收了某些波长的光而另一些波长的光则透过或被反射。叶绿体中的主要色素是叶绿素(chlorophyll)，这种色素吸收蓝紫光和红光而几乎不吸收绿光，所以呈绿色。以某种物质对不同波长光的吸收率(可用百分率表示)为纵坐标，以波长为横坐标作图，所得的曲线就是该物质的吸收光谱(absorption spectrum)，图 3-20 就是叶绿素 a 的吸收光谱。在光合作用中，这些被吸收的光能被转变成了化学能。

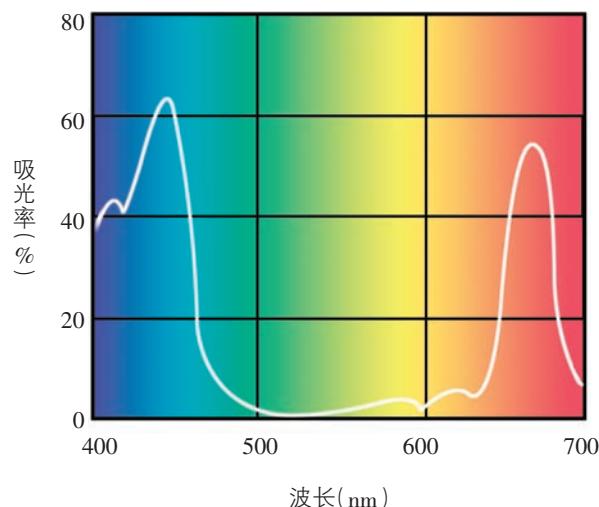


图3-20 叶绿素a的吸收光谱

叶绿体中含有的主要色素有叶绿素 a 和叶绿素 b，它们都是含镁的有机分子。除叶绿素外，叶绿体中还有许多种黄色、橙色和红色的色素，合称为类胡萝卜素(carotenoids)，其中最多的是胡萝卜素(carotin)和叶黄素(xanthophyll)，它们都是由碳氢链组成的分子。

除叶片外，植物的其他部分也含有类胡萝卜素。叶片中类胡萝卜素的颜色常被叶绿素掩盖。深秋气候变冷，叶绿素的合成速度变慢或停止，类胡萝卜素的颜色显露出来，于是叶片变黄。



小资料

树叶的颜色

初生的植物，叶片是黄绿色的；长大后，变为深绿色；到了秋冬季节，便枯黄了。

这是为什么呢？

原来，初发育的嫩叶，光合作用较弱，合成的叶绿素也较少，叶绿素的绿色不足以遮盖黄色色素的颜色。处于旺盛生长阶段的植物合成叶绿素的能力增加，叶绿素增多，遮盖了黄色色素的颜色，叶片也变得郁郁葱葱了。到了秋天，太阳的光照量大大减弱，叶片制造的叶绿素也相对减少，又遮盖不住黄色色素的颜色了。

当然，不是所有植物的叶片都符合上述变化规律的，如枫叶是由绿先变红再变黄，红苋菜的叶就是红的，因为这类植物的叶片中含有大量红色的色素。

光 反 应

如图 3-21 所示，光反应的产物除 NADPH 和 ATP 外，还有来自水中的 O₂。这一系列反应是在类囊体膜中发生的。

概括地讲，光反应中发生的变化主要有下列 3 个：

- (1) 光能被吸收并转化为 ATP 和 NADPH 中的化学能。
- (2) 水在光下裂解为 H⁺、O₂ 和电子。
- (3) 水中的氢 (H⁺+e⁻) 在光下将 NADP⁺还原为 NADPH。



课外读

光反应过程

光反应也包括许多个反应(图3-21),其中最重要的是发生在两种叶绿素蛋白质复合体(称为光系统Ⅰ和光系统Ⅱ)中的电子被光激发的反应。光系统Ⅱ中,光使叶绿素中的一个电子由低能状态激发到高能状态。这个高能电子随后丢失能量而进入光系统Ⅰ,这时一部分丢失的能量便转化为ATP中的能量。光系统Ⅱ中丢失的电子由水中的电子补充,也就是说H₂O被氧化为O₂。

光系统Ⅰ中,也有一个叶绿素分子中的低能电子被光激发,成为另一个高能电子,这个高能电子的作用是将NADP⁺还原为NADPH。NADPH是一种强还原剂,是碳反应中所必需的。光系统Ⅰ中被激发并丢失能量的电子则由来自光系统Ⅱ的电子补充。

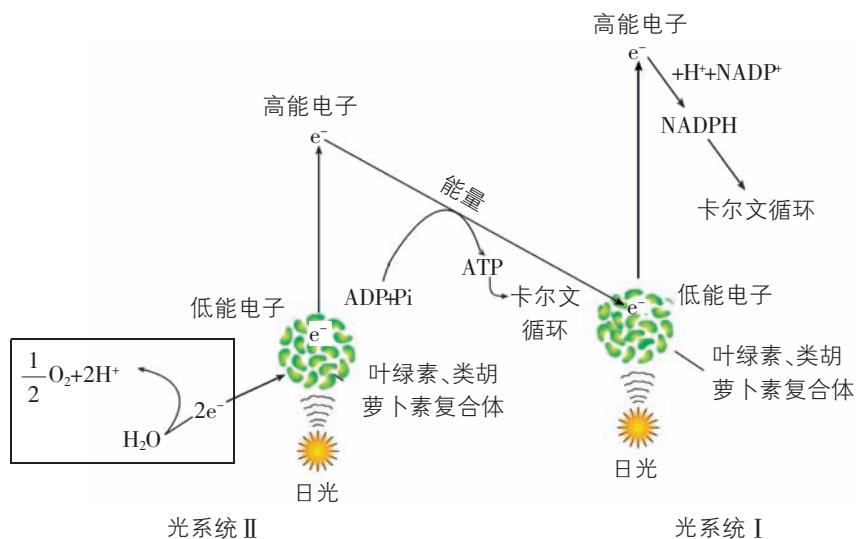


图3-21 光合作用的光反应示意图

碳 反 应

光反应发生在类囊体膜中，类囊体周围是叶绿体基质，其中有许多种酶。这些酶中有许多种是将二氧化碳还原为糖所必需的。二氧化碳还原为糖的一系列反应称为卡尔文循环(Calvin cycle)。

图 3-22 为这一循环的示意图，循环从一个五碳糖(RuBP，即核酮糖二磷酸)开始，在酶的催化作用下，1 分子的二氧化碳与 1 个 RuBP 结合，形成 1 个六碳分子，这个六碳分子随即分解成 2 个三碳酸分子(3-磷酸甘油酸)。下一步是这个循环中的关键步骤，即每个三碳酸分子接受来自 NADPH 的氢和来自 ATP 的磷酸基团，形成三碳糖(实际上是三碳糖磷酸)，这是二氧化碳分子进入卡尔文循环后形成的第一个糖。这样光能就转化为糖分子中的化学能了。三碳糖是碳反应的产物。

卡尔文循环中三碳糖以后的许多反应，都是为了再生 RuBP，以保证此循环的不断进行。每 3 个二氧化碳分子进入卡尔文循环，就形成 6 分子的三碳酸分子，这些三碳酸分子都被还原为三碳糖。其中 5 个三碳糖分子在卡尔文循环中经过一系列复杂的变化，再生为 RuBP，从而保证卡尔文循环继续进行。另一个三碳糖分子则离开卡尔文循环，或在叶绿体内被利用，或运到叶绿体外。

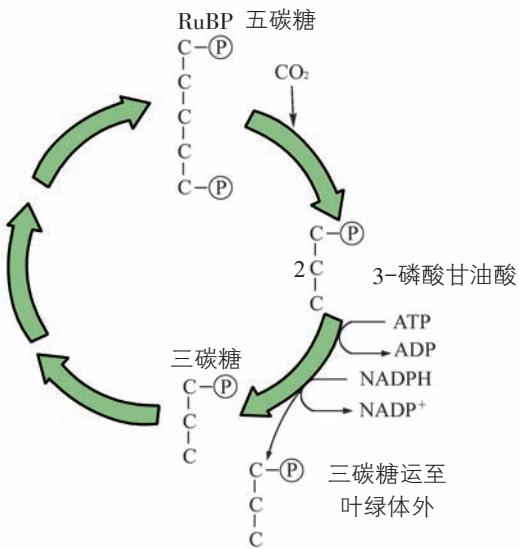


图3-22 卡尔文循环示意图

NADPH 和 ATP 在完成了还原反应之后，又回到NADP⁺和 ADP 的状态，再在光反应中重新形成 NADPH 和 ATP。所以卡尔文循环虽然不直接需要光，但只有在有光的条件下才能一轮一轮地循环不已。卡尔文因发现这个循环而获得诺贝尔化学奖。

光合作用中碳反应的产物三碳糖，在叶绿体内能作为合成淀粉、蛋白质和脂质的原料而被利用，但大部分是运至叶绿体外，并且转变成蔗糖，供植物体所有细胞利用(图 3-23)。

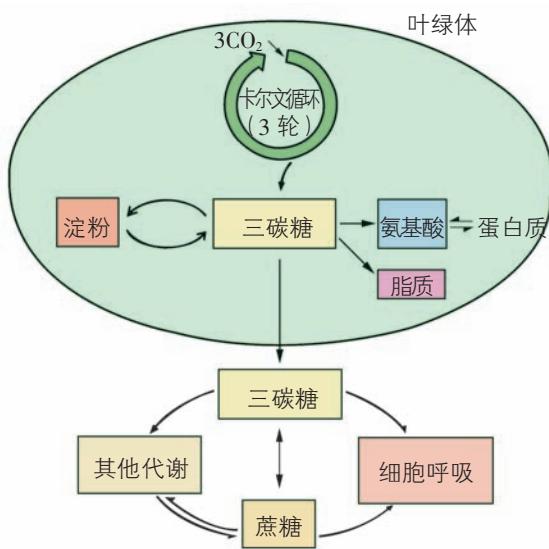


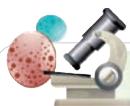
图3-23 光合产物在植物细胞中的利用示意图



小资料

光反应和碳反应

光合作用分为光反应和暗反应两个阶段，这一概念是由20世纪初期英国科学家伯莱克曼(F. F. Blackman)提出的，一直沿用了数十年。他曾在光照强度和温度变化的情况下测定光合作用强度。在做了大量测定之后，他发现温度对光合作用的影响与光强度有很大关系，并根据实验结果得出上述结论。这是他对人类认识自然所作出的非常重要的贡献。但是，随着研究的深入，科学家发现，这一概念并不十分准确。因为所谓的暗反应在暗中只能进行极短的时间，而在有光的情况下能连续不断地进行，并且受到光的调节。所以，在20世纪90年代的一次国际光合作用会议上，为了更加准确地反映光合作用的真实情况，从事光合作用研究的科学家一致同意：光合作用的第一阶段仍称为光反应，包括水的氧化、氧的释放、电子传递、ATP和NADPH的形成，是发生在光合膜中的一系列反应；光合作用的第二阶段改称为碳反应，是指发生在叶绿体基质中二氧化碳转变为糖的一系列反应。



活 动

探究环境因素对光合作用的影响

光合作用受到诸多环境因素的影响。那么,影响光合作用的环境因素有哪些?这些因素又是如何影响光合作用的呢?下面,我们来探究这个问题。

◎ 提示

- 根据同学们已有的生物学知识和人们的生产、生活经验,以小组为单位,列出影响光合作用的环境因素。

影响光合作用的环境因素有_____。

- 在大家列出的影响光合作用的环境因素中,选择其中的一种因素,分析这种因素是如何影响光合作用的。

根据同学们已有的生物学知识和人们的生产、生活经验,在小组范围内讨论,对这个问题提出本组的假设。

我们组的假设是_____。

- 根据你们组的假设,设计单因子对照实验方案。

(1) 实验时可选用的材料用具:黑藻或金鱼藻,水,冰块,碳酸氢钠,精密pH试纸,100W聚光灯,温度计,大烧杯,不同颜色的玻璃纸。

(2) 你们组的实验中,可变因素是什么?

(3) 实验中,可变因素是如何变化的?

(4) 实验中,通过什么方法控制可变因素的变化?

(5) 实验中,通过什么方法测量光合作用速率?

(6) 你们组设计的实验是_____。

- 根据你们组的实验设计方案,设计实验数据记录表。

5. 你们组的实验预期是_____。

- 根据你们组的实验设计方案进行实验。

◎ 讨论

- 实验结果支持你们组的假设吗?请在班里作具体说明。
- 听了其他组汇报的实验设计后,请总结你们组实验设计上的优点和不足。

3. 汇总全班各实验组的实验结果,归纳出下列问题的答案。

(1) 哪些环境因素会影响光合作用?

(2) 这些环境因素是如何影响光合作用的?

环境因素影响光合速率

光合速率或称光合强度，是指一定量的植物(如一定的叶面积)在单位时间内进行多少光合作用(如释放多少氧气、消耗多少二氧化碳)。

光合速率受到多种环境因素的影响，其中最重要的因素是光强度、温度和空气中的二氧化碳浓度。



小资料

表观光合速率与真正光合速率

在光照条件下，人们测得的CO₂吸收量是植物从外界环境吸收的CO₂总量，叫表观光合速率。

真正光合速率是指植物在光照条件下，植物从外界环境中吸收的CO₂的量，加上呼吸作用释放的CO₂的量，即植物实际所同化的CO₂的量。

表观光合速率小于真正光合速率。

1. 光强度。光合速率随光强度的增加而增加，但在强度达到全日照之前，光合作用已达到光饱和点时的速率，即光强度再增加光合速率也不会增加。因为在光饱和点的光强度下，光合作用的光反应已达到最快的速率，所以光强度再增加也不能使光合速率增加(图 3-24)。

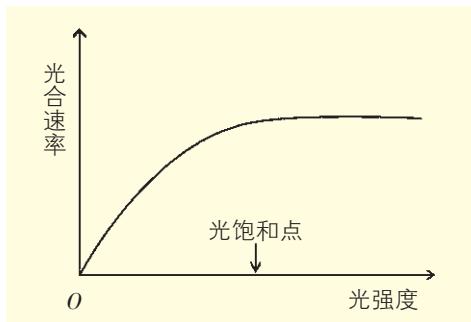


图3-24 光强度对光合速率的影响

2. 温度。光合作用也有一个最适温度，和酶反应有最适温度一样。光合作用是化学反应，其速率应随温度的升高而加快。但光合作用整套机构却对温

度比较敏感，温度高则酶的活性减弱或丧失，所以光合作用有一个最适温度。光合作用的最适温度因植物种类而异，一般温带植物的最适温度常在25℃左右（图3-25）。在0℃下光合作用可能完全停止，也可能十分微弱（参看第100页“小资料”）。

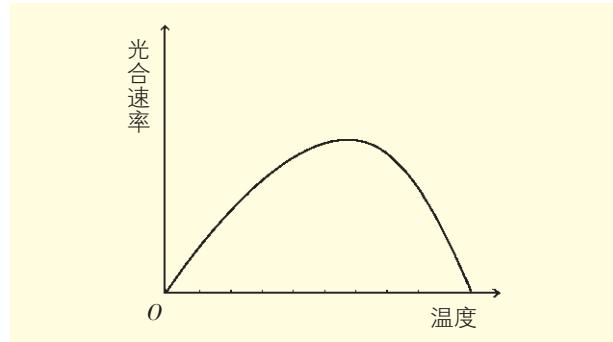


图3-25 温度对光合速率的影响

3. 二氧化碳浓度。空气中CO₂浓度的增加会使光合速率加快。目前大气中二氧化碳的浓度约为0.035%，当这一浓度增加至1%以内时，光合速率会随CO₂浓度的增高而增高。

光强度、温度和二氧化碳浓度对光合作用的影响是综合性的。如图3-26所示，在温度较高（如曲线1）或CO₂浓度较高（如曲线2）的情况下，光强度对光合速率的影响就比较显著，而任何一个因素的减弱都可能限制光合作用。例如，在气候寒冷时，日光再强，植物也不能以最快的速率生长，因为低温限制了光合作用。仙人掌类植物不能在森林中生长，因为它们需要大量的光，而森林中光照不强。

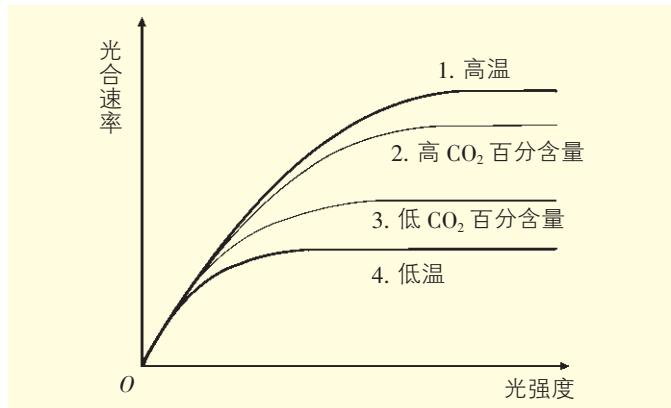


图3-26 各种环境因素对光合作用的综合影响



课外读

光呼吸

光呼吸(photorespiration)是叶绿体中与光合作用同时发生的一个过程。它也必须在有光照的情况下发生,但它吸收氧气而释放二氧化碳。图3-27左侧是正常的光合作用,右侧是光呼吸。光呼吸与光合作用背道而驰,光合作用吸收二氧化碳使植物体内的糖不断增多,光呼吸则消耗糖而释放二氧化碳。

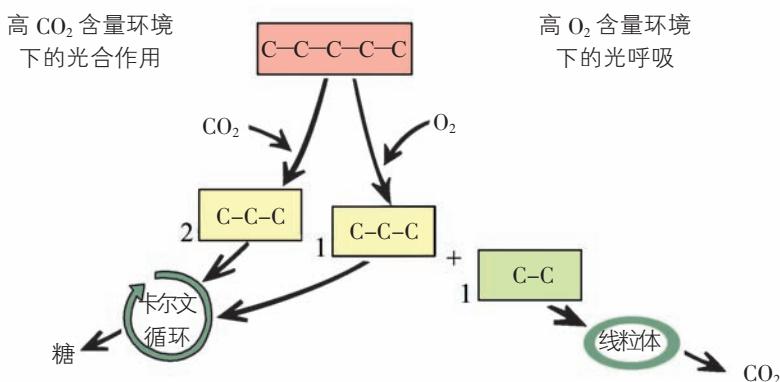


图3-27 光呼吸与光合作用的关系

在光合作用的碳反应中已经讲过,进入卡尔文循环的二氧化碳先与一个五碳化合物结合,形成2分子三碳的酸,这个反应是由一种特殊的羧化酶催化的。但是这种酶还有另外一种作用,就是使五碳化合物与O₂结合,形成一个同样的三碳酸和另外一个二碳化合物。这个二碳化合物随后进入线粒体被氧化为二氧化碳。这就是所谓的光呼吸。

光呼吸的结果是不仅没有新的二氧化碳分子掺入,而且将已有的五碳分子不断地转变为二氧化碳。因为每个叶绿体中有数千个特殊的羧化酶分子和数千个五碳化合物,所以,在同一植物体内可以同时发生光合作用和光呼吸。较高的二氧化碳浓度促进光合作用,较高的氧浓度则促进光呼吸。

为什么绿色植物中会出现这样一个表面上看似不利的过程呢?原来,在进化过程中出现那种特殊的羧化酶时,大气中几乎没有氧气,所以五碳化合物与O₂的作用并不重要。可是,经过亿万年之后,光合作用改变了大气中氧的含量,于是光呼吸的作用就突出了。



课外读

C-4植物

为了降低光呼吸,有些植物发生了特殊的适应,这类植物被称为C-4植物。大多数植物在光合作用中,二氧化碳被同化后形成的第一个化合物是一种三碳的酸,所以这类植物被称为C-3植物,常见的有小麦、水稻、树木、大部分蔬菜、花卉等。但是有一些起源于热带的植物,如玉米、高粱、甘蔗等是C-4植物。C-4植物发生在卡尔文循环之前,二氧化碳先被固定在一种四碳的酸中。发生这种现象的原因在于C-4植物叶片的特殊结构。

C-4植物叶中有两种不同类型的光合细胞,即叶肉细胞和维管束鞘细胞(图3-28)。叶肉细胞中存在将二氧化碳固定在一种三碳酸中的酶,形成四碳的酸。这种酶对二氧化碳的亲和力极高,几乎能把空气中的二氧化碳完全利用。由于这种途径中二氧化碳固定的产物是四碳化合物,所以称这种光合途径为C-4途径,而具备C-4途径的植物则被称为C-4植物。

叶肉细胞的作用是将二氧化碳传递给维管束鞘细胞。鞘细胞是叶脉周围排列紧密的一层细胞,其中进行着正常的卡尔文循环。叶肉细胞中形成的四碳酸进入鞘细胞后,发生脱去二氧化碳的作用,将二氧化碳释放出来

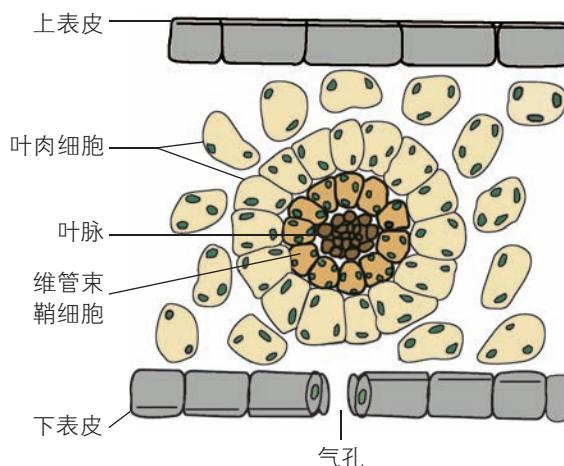


图3-28 C-4植物的叶结构

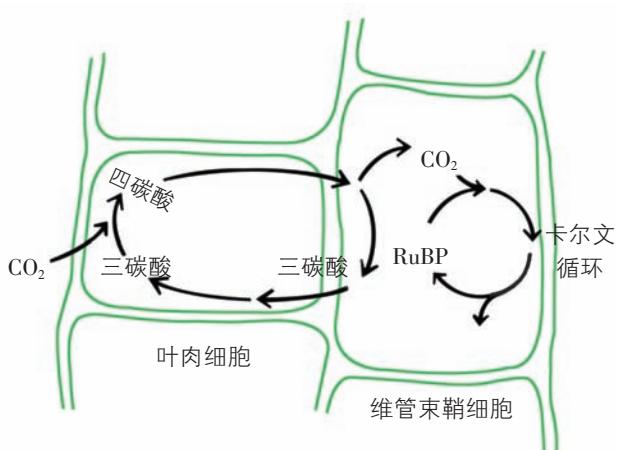


图3-29 C-4植物中CO₂的同化途径示意图

(图3-29)。这样鞘细胞中的二氧化碳浓度就提高了,可以抑制光呼吸。即使在温度和光强度都高的条件下,C-4途径也能使鞘细胞中的二氧化碳浓度足够高,从而抑制了光呼吸,而且,C-4植物在这种条件下还可以将气孔部分关闭以减少水分的损失。所以在高温、高光强度下,C-4植物将光能转化到糖中的效率几乎是C-3植物的2倍。



小资料

光合作用的最适温度

光合作用的最适温度是指光合速率达到最大值时的温度。不同植物有不同的光合作用最适温度范围。通常C-4植物比C-3植物有较高的最适温度范围。例如,属于C-4植物的高粱,其光合作用的最适温度范围为40~45℃,而属于C-3植物的水稻则为18~32℃。



小资料

光合作用的临界温度

光合作用的临界温度是指光合作用的热限温度和冷限温度。

植物光合作用的热限温度因植物种类而异。通常C-4植物的热限温度可达50~60℃,而C-3植物的热限温度较低,一般在40℃以下。

植物光合作用的冷限温度受植物本身的遗传性和发育时期等因素的影响。例如,耐寒植物的光合作用冷限温度与植物组织的冰点温度很接近,约在-5~-3℃,地衣甚至可在接近-20℃的温度下进行光合作用。



课外读

光合作用早期研究简史

同学们在初中阶段已经学过,早在18世纪科学家就已发现了光合作用。发现光合作用的是英国科学家普利斯特利(J. Priestley),但他当时并不知道光是必需的。荷兰的印根胡滋(J. Ingenhusz)几年后证明了光合作用必须在光下才能发生。以后许多科学家对光合作用进行了多方面的研究,19世纪虽然对光合作用过程有不少发现,但对其实质的认识进展不大。

对光合作用实质的认识开始于20世纪初期。那时的研究方法只是在各种不同条件下进行光合强度的测定。英国科学家布莱克曼(F.F.Blackman)在这方面做出了突出的贡献。他在做了大量测定之后,发现温度对光合作用的影响与光强度有很大关系。光强度高时,光合强度在一定温度范围内随温度的升高而增加,但在光强度低时,光合强度与温度似乎无关。由此他推断出光合作用包括一个依赖于光的反应和一个与光无关的反应,也就是说,光合作用包括光反应和暗反应。

在布莱克曼的启发下,德国的瓦尔堡(O.Warburg)设法把光合作用的光、暗反应分开。他的办法是在“间歇光”下测定光合作用。所谓间歇光就是一种人工光源,极短时间的照光与极短时间的黑暗轮番交替。光和暗的

时间均为十分之几或百分之几秒。结果发现：一定量的光，间歇照射比连续照射的效率要高。以后的实验证明，光反应的速率比暗反应的速率快得多，而且光反应与温度无关。光合作用中存在光反应和暗反应的发现对于以后的研究产生了深远的影响。

19世纪虽然已认识到叶绿体是发生光合作用的场所，但证据不够直截了当。1937年，英国的科学家希尔(R.Hill)用分离的叶绿体进行实验，证明在有氧化剂(如高铁盐)存在时，水可在光下被氧化为O₂。这个实验不仅直接证明了叶绿体是光合作用的细胞器，而且证明了光合作用所释放的氧来自于水。

20世纪40年代，生产了氧的同位素，才确切地证明了光合作用中所释放的氧来自水，而水的光氧化才是光合作用的光反应。

自20世纪50年代以后，随着生物化学和分子生物学的发展和技术的进步，对光合作用有了越来越深刻的认识，其中首先是卡尔文循环的发现。

1945年以后，碳的放射性同位素¹⁴C被发现，于是卡尔文(M.Calvin)想到，如果让植物以¹⁴C标记的二氧化碳为原料进行光合作用，然后寻找¹⁴C转变的途径，就可以解决光合作用中的重要问题了。于是他和同事们进行研究，经过多年的努力，于1954年完全阐明了光合作用中碳的转变途径，即卡尔文循环。

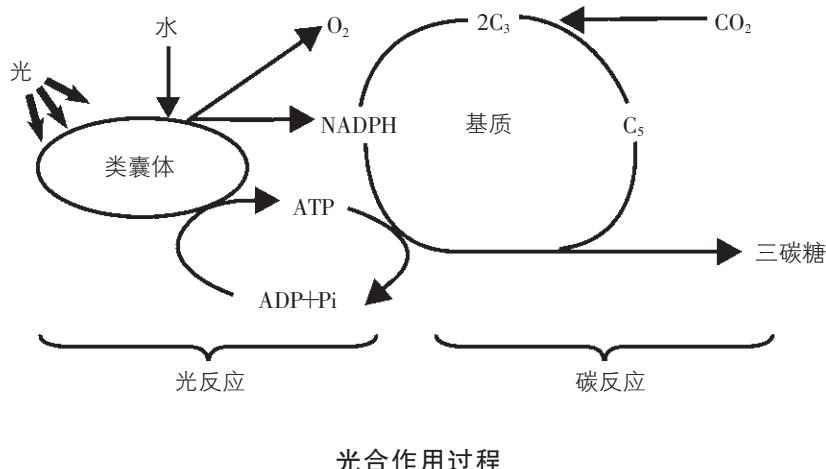
以上是20世纪五六十年代以前人类研究光合作用的简单历史过程。课文中讲到的许多内容，如光合作用中产生ATP的机制、光系统Ⅰ和光系统Ⅱ、光呼吸、C-4植物等等，都是20世纪70年代以后的研究成果。目前的研究热点之一是光系统的细微结构，希望在不久的将来，人类可以在原子层次上阐明光合作用的机理。



思考与练习

1. 把新鲜的叶绿素溶液放在光源与分光镜之间，在光谱中可以看到最强的吸收区在()

- A. 绿光部分 B. 红光和蓝紫光部分
 C. 蓝紫光部分 D. 黄橙光部分
2. 用¹⁴C标记参加光合作用的二氧化碳,可以了解光合作用的哪一过程?()
 A. 光反应必须在有光条件下进行 B. 碳反应不需要光
 C. 二氧化碳被还原为糖的过程 D. 光合作用中能量的传递过程
3. 要测定绿色植物是否进行了光合作用,最好是检查()
 A. 糖的生成 B. ATP的合成
 C. 氧的释放 D. 二氧化碳的吸收
4. 将某植物的叶片放在特定的密闭容器中(有足够的氧气),在一定的条件下,给予充足的光照,容器内的二氧化碳每小时减少44mg。如果将其放在黑暗的条件下,二氧化碳每小时增加8.8mg。如果在充足的光照下,光合作用合成的有机物最后都转变为葡萄糖,这些植物的叶片每小时制造的葡萄糖为()
 A. 180mg B. 72mg C. 36mg D. 24mg
5. 光合作用由光反应和碳反应两个过程构成,其大致过程如下图所示。若将某种绿色植物的叶片置于特定实验装置中,研究在分别给予不同时间长度的光照后,光合作用产物出现的顺序。请回答:
 (1) 写出光合作用的总反应式:_____。
 (2) 在供给C¹⁸O₂极短时间后,除了糖类物质含有¹⁸O以外,从另一种光合产物_____中也应当能够检测到¹⁸O。
 (3) 在供给C¹⁸O₂较长时间后,能够检测出¹⁸O的物质是糖类、____和_____。



本章小结

细胞与细胞之间、细胞与周围环境之间可通过扩散、被动转运、主动转运、胞吞、胞吐等方式进行物质交换。

细胞内进行的复杂化学变化(如细胞呼吸、光合作用)必然伴随着能量转化。ATP作为能量通货,是这些化学反应所需能量的直接来源。酶是生物催化剂,有专一性,使特定的化学反应高速进行。

细胞呼吸是糖的氧化,是放能反应。需氧呼吸需经历糖酵解、柠檬酸循环和NADH中的高能电子在电子传递链中的传递。1mol葡萄糖完全氧化为二氧化碳和水,约产生30 mol的ATP。厌氧呼吸是在无氧的条件下发生的,如乳酸发酵和乙醇发酵。

光合作用是利用太阳能将二氧化碳转变为糖,并将能量贮存在糖分子中的过程,是一个吸能反应。光合作用分光反应和碳反应两个阶段。光反应在叶绿体内的类囊体膜中进行,光能被叶绿素吸收并通过一连串反应转化为NADPH和ATP中的化学能;水则在光反应中裂解,产生H⁺和电子并释放氧气;水裂解产生的H⁺和电子将NADP⁺还原为NADPH。碳反应是一系列酶促反应,在叶绿体基质中进行。二氧化碳被还原为糖的过程称为卡尔文循环,此循环所需能量来自光反应所产生的NADPH和ATP。

光合速率是指单位叶面积、单位时间内释放多少氧气或同化多少二氧化碳。光合速率受到光强度、温度和二氧化碳浓度等因素的影响。

第四章

细胞的增殖与分化

生物体是从一个单细胞开始的。一个细胞要成为多细胞生物体，是通过细胞数目的不断增多来实现的。组成多细胞生物体的细胞，大都是不同类型的细胞。细胞数目的增多是细胞增殖的结果，而细胞类型的变化则是细胞分化造成的。

本章学习要点

1. 简述什么是细胞周期。
2. 说出细胞周期中各个时期的主要变化和特点，说明有丝分裂的特征和意义。
3. 说出什么是细胞分化，什么是细胞的癌变。
4. 举例说出什么是干细胞，并举例说明其应用。
5. 举例说明细胞的全能性及其应用。
6. 说明细胞的衰老和凋亡。

第一节 细胞的增殖

本节要点

细胞周期
有丝分裂

细胞数目的增多是靠细胞分裂 (cell division) 来实现的。真核细胞的分裂方式主要有两种：有丝分裂 (mitosis) 和减数分裂 (meiosis)。有丝分裂是真核生物增殖体细胞的主要方式。减数分裂则与真核生物产生生殖细胞有关，我们将在《遗传与进化》分册中学习有关减数分裂的知识。

细胞周期

细胞周期 (cell cycle) 是指连续分裂的细胞从一次分裂结束到下一次分裂结束所经历的整个过程。每一个细胞周期包括一个分裂期 (mitosis phase, 简称 M 期) 和一个分裂间期 (interphase)。分裂间期又包括一个合成 (synthesis) 期 (简称 S 期) 和合成期前后的两个间隙 (gap) 期 (简称 G₁ 期和 G₂ 期)。图 4-1 为细胞周期示意图。

分裂间期是有丝分裂的准备阶段。其中最重要的物质准备，是将细胞核中携带有遗传信息的染色质进行复制。染色质由 DNA 和蛋白质组成。染色质中的 DNA 贮藏着遗传信息。

在分裂间期，细胞内发生着活跃的代谢变化，最重要的变化是发生在 S 期的 DNA 复制。S 期之前的 G₁ 期，发生的主要的是合成 DNA 所需蛋白质的合成和核糖体的增生，S 期之后的 G₂ 期中发生的是有丝分裂所必需的一些蛋白质的合成。

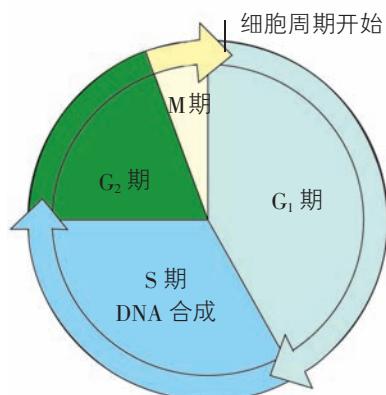


图4-1 细胞周期示意图

当分裂间期结束细胞进入分裂期时，组成染色质的DNA已经完成复制，有关蛋白质已经合成。这些复杂的变化需要较长的时间，因此在细胞周期中，间期的时间总是长于M期。哺乳动物各种细胞的周期的长短，M期为1h左右，G₁期则从2~3h到几天。植物细胞的周期，时间也类似。以胡萝卜根尖细胞为例，细胞周期共7.5h，其中M期0.6h，S期2.7h，G₁期1.3h，G₂期2.9h。不同细胞的周期，时间长短各不相同。

细胞周期中，细胞的分裂包括两个过程：①细胞核的分裂；②细胞质的分裂，称为胞质分裂(cytokinesis)。



活动

观察细胞的有丝分裂

◎ 目的要求

1. 观察动、植物细胞的有丝分裂过程，描述观察到的处于不同分裂时期的细胞形态。
2. 熟练使用高倍显微镜，掌握生物绘图的一般方法。

◎ 材料用具

洋葱根尖细胞有丝分裂永久装片，马蛔虫受精卵有丝分裂永久装片，光学显微镜。

◎ 方法步骤

1. 观察洋葱根尖细胞的有丝分裂。
 - (1) 在低倍物镜下扫视整个洋葱根尖，观察、辨认根尖的结构，再找到分生区的细胞。
 - (2) 找到分生区后，换上高倍物镜，用细准焦螺旋和光圈把视野物像调整清晰，直到看清楚物像为止。观察处于不同分裂时期的细胞，在你认为正在进行有丝分裂的部位，至少画出5个看来彼此不相同的细胞简图。注意在一个视野里，往往不容易找全处于有丝分裂各个时期的细胞。如果是这样，可以慢慢地移动装片，从邻近的分生区细胞中寻找。
2. 观察马蛔虫受精卵的有丝分裂。

在低倍物镜下找到马蛔虫受精卵分裂的细胞后，转换高倍物镜进行观察，绘制你所见到的马蛔虫不同受精卵细胞的简图。

◎ 讨论

1. 你能认出哪些细胞可能是根中正在分裂的细胞吗？这些细胞和其他部分的细胞有什么区别？
2. 在根细胞核中出现的线状和棒状物是染色体。在几个细胞中观察这种结构。在有丝分裂中染色体发生了什么变化？
3. 有丝分裂是一个连续的过程，根据你画出的彼此不同的细胞简图，尝试按有丝分裂顺序排列各个细胞。
4. 根据你的观察，分析动物细胞的有丝分裂和植物细胞的有丝分裂有何异同。

有丝分裂

有丝分裂是最常见的细胞分裂方式，植物细胞和动物细胞的有丝分裂过程基本相同。现以植物细胞为例说明有丝分裂的基本过程（图 4-2 和图 4-3）。为了便于描述，常将有丝分裂分为 4 个时期，即前期（prophase）、中期（metaphase）、后期（anaphase）和末期（telophase）。事实上，细胞分裂是一个连续的过程，这几个时期之间并没有明显的界限。

前期 在间期时，由于 DNA 的复制及相关蛋白质的合成，已将核中的染色体复制，不过由于它们仍处于松散的染色质状态，显微镜下看不到什么结构，染色体与染色质是同种物质。

当间期细胞进入前期时，最明显的变化就是细胞核内染色体的出现。染色体是染色质丝经螺旋缠绕而形成的，有特定结构，有特定数目，染色后在显微镜下清晰可见。在前期染色体变短变粗。如图 4-2 所示，每个染色体是由两条并列的染色单体组成，两条染色单体则由一个着丝粒（centromere）连接在一起。两条并列的染色单体的存在说明染色体的复制在 S 期已完成。

前期中较晚的时候出现了由丝状纤维组成的纺锤体（spindle），这些丝状纤维叫做纺锤丝（spindle fiber），有丝分裂即由此得名。这时核膜开始解体，形成分散的小泡。这种小泡在有丝分裂的整个过程中几乎都可看到。

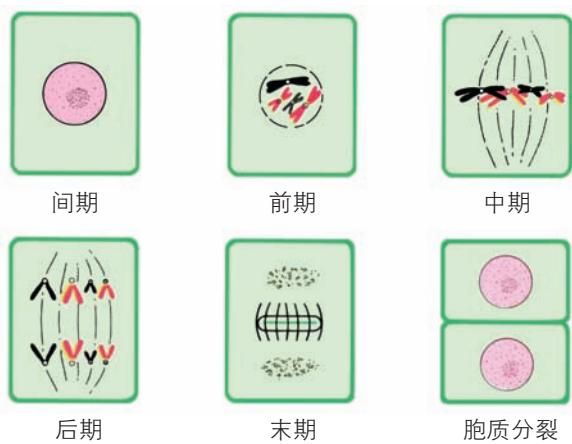


图4-2 植物细胞有丝分裂示意图

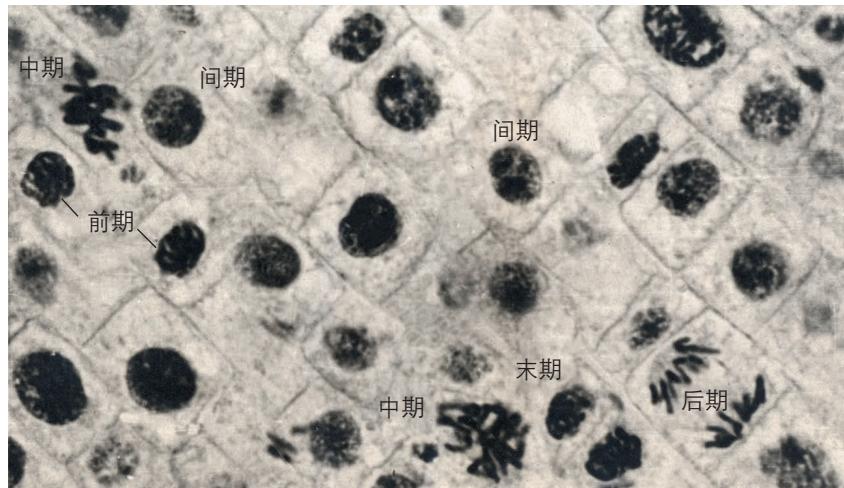


图 4-3 洋葱根尖的细胞分裂照片

中期 这时染色体继续凝聚变短，更为清晰地排列在纺锤体的中央。各染色体的着丝粒都排列在细胞中央的一个平面上。这个平面垂直于纺锤体的中轴，与地球赤道的位置相似。中期的染色体缩短到最小的程度，最便于观察和研究。可以通过数着丝粒的数目来确认染色体的数目。

后期 染色体的着丝粒已经分为两个，所以中期以后各染色体的两个单体实际上已经转变为两个独立的染色体了，染色体的数目增加了一倍。后期这些分离的染色体以相同的速率分别被纺锤丝拉向两极，两极之间的距离也加大了。这时，原来的一套染色体已经变成了完全相同的两套。

末期 分离的两套染色体分别到达两极后，距离进一步加大，染色体则伸展，重新呈染色质状态。此时，核膜重新形成，细胞核内的染色体数目与分裂前相同。有丝分裂结束。

动物细胞的有丝分裂和植物细胞的基本相同，不同的是，动物细胞的细胞质中有一个中心体(centrosome)。G₂期时细胞中已有一对中心体(图4-4中的间期)。分裂前期，这一对中心体分开，其间有纺锤丝相连(图4-4及图2-14)。

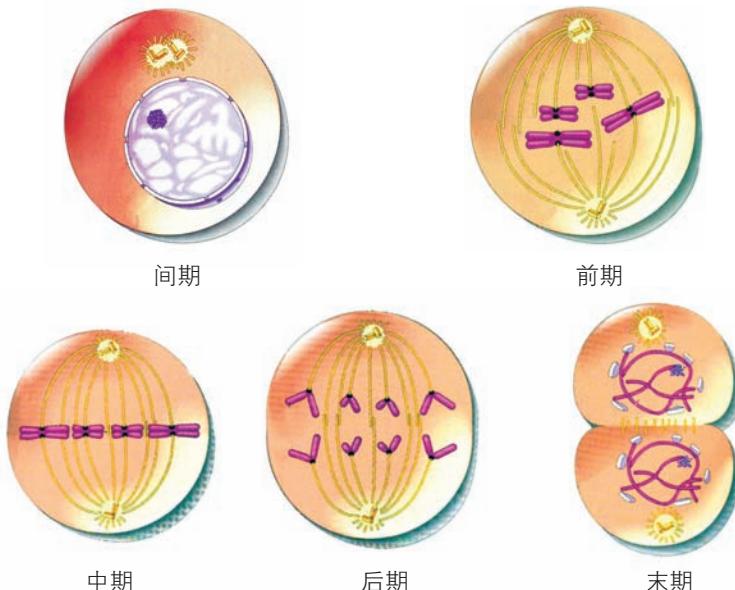


图4-4 动物细胞有丝分裂示意图

胞质分裂 在有丝分裂的后期或末期，细胞质开始分裂。植物细胞这时出现了新的细胞壁(图4-5)。细胞壁开始形成时先在两个新细胞间出现许多囊泡，其中含有形成细胞壁的物质。分裂末期，这些囊泡聚集成一个细胞板，以后细胞板发展成为新的细胞壁，两个新的细胞就形成了。动物细胞的胞质分裂与植物细胞的不同，不形成细胞板，而是细胞在两极之间的“赤道面”上向内凹陷，形成环沟。环沟渐渐加深，最后两个细胞分开(图4-6)。每个子细胞含有与母细胞相同数量的染色体。

细胞有丝分裂的意义 细胞有丝分裂的重要意义是将亲代细胞的染色体经过复制后，精确地平均分配到两个子细胞中。由于染色体上有遗传物质，因而在生物的亲代细胞和子代细胞之间保证了遗传性状的稳定性。

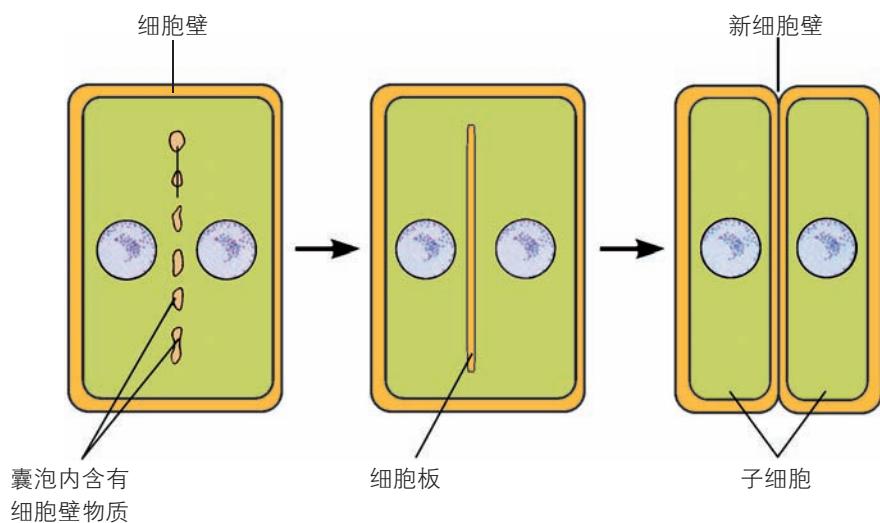


图4-5 植物细胞的子细胞形成示意图

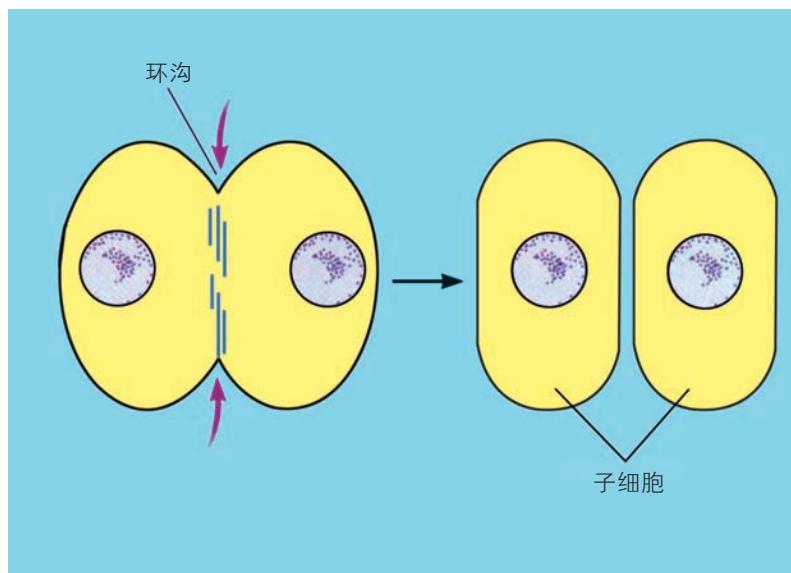


图4-6 动物细胞的子细胞形成示意图



活 动

制作并观察植物细胞有丝分裂的临时装片

盐酸使植物细胞之间的果胶质层松散,用盐酸处理植物的根尖,可以使根尖细胞彼此容易分开。用水洗去盐酸后,再用碱性染料染色,制成装片,就可以观察到细胞内部的某些结构,尤其是细胞中染色体形态的差异。

◎ 目的要求

1. 制备洋葱根尖的临时装片。
2. 观察洋葱根尖细胞有丝分裂不同时期的细胞。

◎ 材料用具

洋葱(可用蒜、葱代替),质量分数为10%的盐酸,质量分数为0.01 g/mL的龙胆紫溶液(或醋酸洋红溶液),光学显微镜,盖玻片,载玻片,培养皿2个,剪刀,镊子,滴管。

◎ 方法步骤

1. 洋葱根尖的培养。在实验课前3~4天,取洋葱1个,放在广口瓶上。瓶内装满清水,让洋葱的底部接触到瓶内的水面。把该装置放在温暖的地方,注意经常换水,使洋葱的底部总是能接触到水。待根长至1~5cm长时,可以取生长健壮的根尖进行观察。

2. 装片的制作。

(1) 解离:切取洋葱根尖2~3mm,立即放入盛有质量分数为10%盐酸的培养皿中,在室温下解离10~15min。

(2) 漂洗:待根尖变软后,用镊子取出,放入盛有水的培养皿中漂洗约10min。

(3) 染色和制片:用镊子把洋葱根尖取出,放于载玻片上,并用镊子轻轻压扁后,滴一滴0.01 g/mL的龙胆紫溶液,染色1~2min后,盖上盖玻片。随后用手指轻压盖玻片,再覆盖上滤纸,然后用橡皮或笔端轻轻敲击盖玻片几下,使细胞分散开。

3. 观察洋葱根尖细胞的有丝分裂。在低倍物镜下找到观察对象后,转换高倍物镜观察,识别有丝分裂不同时期的细胞。

◎ 讨论

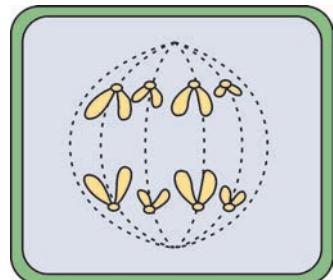
1. 你制作的洋葱根尖有丝分裂装片和洋葱根尖有丝分裂的永久装片有何不同?可能的原因是什么?
2. 有人说要观察到细胞有丝分裂各个时期的细胞,必须观察活细胞的动态变化过程,你认为正确吗?为什么?



思考与练习

一、选择题

1. 右图为某一高等生物细胞有丝分裂某一时期的图像,下列叙述不正确的是()
 - A. 该生物为一种植物
 - B. 该生物的体细胞中含8条染色体
 - C. 该细胞处于有丝分裂后期
 - D. 该细胞中含有8条染色体
2. 观察洋葱根尖细胞有丝分裂时,你会看到:一个视野中,处于分裂期的细胞少,而处于分裂间期的细胞多,原因是()
 - A. 细胞分裂间期时间长,分裂期时间短
 - B. 间期细胞中进行染色体的复制
 - C. 分生区的多数细胞不进行细胞分裂
 - D. 碱性染料染色后,容易观察到间期的细胞
3. 下列对动物细胞有丝分裂的叙述,哪一项是正确的?()
 - A. 所有的动物细胞都一直在进行有丝分裂
 - B. 子细胞染色体数目及染色体上的遗传物质与亲代细胞的相同
 - C. 子细胞的染色体数目与亲代细胞的相同,但遗传物质不同
 - D. 子细胞的染色体数目和受精卵相同,但遗传物质不同



二、简答题

动、植物细胞有丝分裂的共同特征是什么?区别是什么?

第二节 细胞的分化

细胞的分化和癌变



多细胞生物的个体是由各种各样的细胞组成的。例如，人体的细胞就有 200 多种，但它们都来自一个受精卵。受精卵多次分裂产生各式各样的后代细胞。细胞的后代在形态、结构和功能上发生差异的过程称为细胞分化 (cell differentiation)。我们都看过植物根尖的纵切片，根尖中各种各样的细胞都是由分生区细胞分化形成的；图 2-6 中各种各样的细胞也都来自于胚细胞或分生细胞。这些都是细胞的分化。

生物的个体发育就是通过细胞的分化过程来实现的。生物体的正常发育，是细胞在分化过程受到高度精巧的严格控制下发生的。一旦失去控制，细胞分化就会发生异常。细胞的癌变就可看作是细胞异常分化的结果。正常情况下，细胞分化是不可逆的，一旦沿着一定方向分化，便不会脱分化到原来的状态。

正常发育的细胞在通过有丝分裂后，即有秩序地发生分化，形成具有特定功能的细胞。可是在某些致癌因素的作用下，有的细胞会变得不受控制而无限增殖，这种细胞就是癌细胞 (cancer cell)。有一种人工培养的细胞，叫做海拉细胞 (HeLa cell)，是从一个非洲女子海拉的子宫颈癌组织中分离出来的。这种细胞在体外培养，能够一代一代地传下去，存活至今。但是这种细胞的染色体已经不正常了，已经不是原来的细胞了。所以不能说原来的海拉细胞一直存活到现在。

癌细胞是由正常细胞转化而来的。除保留了原来细胞的某些特点外，癌细胞还有许多共同的特点，其中最重要的是有无限增殖的能力。人的细胞一般只能分裂 50~60 次，可是癌细胞的分裂次数是无限的。癌细胞的另一个重要特

点是能在体内转移。正常细胞表面有一种粘连蛋白，使细胞与细胞之间彼此粘连，不能自由移动。癌细胞表面这种蛋白质很少或缺失，所以癌细胞容易在组织间转移。

正常细胞发生突变而成为癌细胞的过程称为癌变。引起癌变的因素称为致癌因素（carcinogen）。致癌因素很多，如各种射线、许多种无机或有机化合物（如吸烟时烟雾中的物质）、许多种病毒等。



建议活动

收集有关癌症防治的资料

◎ 目的要求

1. 收集癌症防治方面的知识，关注癌症对人类健康的影响。
2. 学会收集和处理生物学信息的途径和方法。

◎ 提示

1. 可针对你感兴趣的癌症防治的某一方面，进行资料的收集和阐述。
2. 资料可来源于互联网、医学杂志（如《大众医学》）、医学和保健书籍等。进行资料整理时，要标明资料的来源。
3. 除了互联网外，你可以去学校图书馆或当地公共图书馆查阅相关资料，学会在图书馆检索、查阅资料的一般方法。
4. 生活在你周围的癌症患者的情况，可以作为资料来源之一。
5. 可通过制作墙报、班级研讨会、分组讨论等形式对收集到的资料进行交流。在老师和专家的指导下，以“健康生活”为主题，在学校和社会上进行癌症预防的宣传。

细胞的全能性

受精卵具有分化出各种细胞的潜能，这种潜能是细胞的全能性（totipotency）的表现。人和高等动物的受精卵第1~2次分裂所形成的2~4个细胞，仍具备这种全能性。例如，人和某些哺乳类的这2~4个细胞，都可能分别发育

成为一个个体。但进一步分裂所产生的细胞就逐渐失去了这种特性，不能发育成完整的个体，只能发育成为特定的组织。

植物细胞与动物细胞不同，高度分化的组织细胞仍具有发育成完整植株的能力，也就是说有全能性。20世纪50年代初期，美国科学家发现将胡萝卜根中的细胞取出，放在液体培养基中培养，单个的细胞就会分裂并分化，最后形成植株。这种植株移植在土壤中，生长正常，并能开花结实(图4-7)。

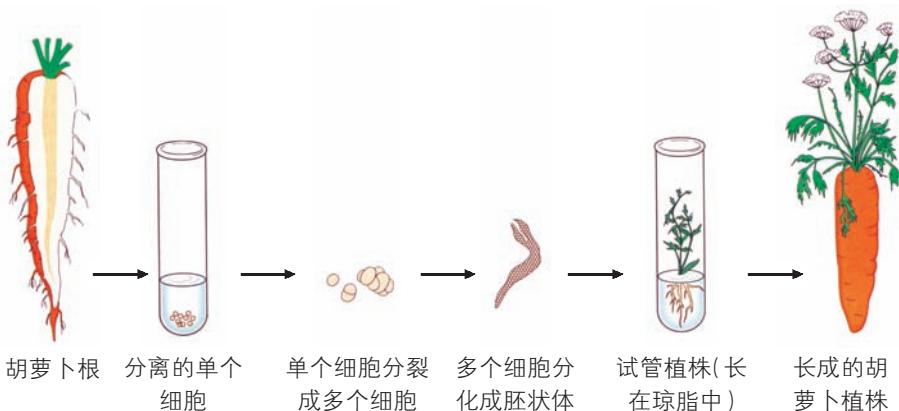


图4-7 胡萝卜根细胞分化成植株示意图

上面说到的动物的体细胞不表现出全能性，其原因是受到了细胞内物质的限制。但细胞核则不同。细胞核中有该物种的全套基因，所以细胞核具有全能性。能说明这一点的一个实例是用蛙做的实验：用紫外线将蛙卵中的核破坏，然后将蝌蚪肠细胞的细胞核移到该蛙卵中，结果有些卵发育成了正常的蝌蚪(图4-8)。这是克隆动物的第一个实验。

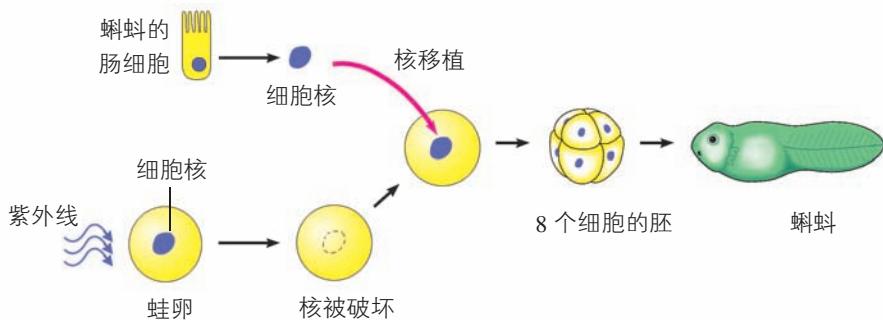


图4-8 蛙的核移植实验示意图

多莉(Dolly)羊的克隆成功也证明了细胞核的全能性。从一只母羊的乳房中取出乳腺细胞进行培养，再从另外的母羊中取出卵细胞并移去其细胞核。然后令培养的乳腺细胞核与无核的卵细胞融合，融合的细胞形成了胚。将胚移入其他母羊的子宫中发育，最后生下了多莉羊。多莉羊与提供乳腺细胞核的“母亲”在外貌上和染色体组成上都相同，而与另外两个“母亲”都不同。这是利用已分化细胞的细胞核克隆哺乳动物的第一例。

干 细 胞

干细胞(stem cell)是一类可以分化成为各种细胞的未分化细胞。不同干细胞的分化潜能是不同的。受精卵是全能干细胞，因为它能产生生物体所需要的所有类型的细胞，所以受精卵最后能发育成完整的生物体。来源于早期胚胎的胚胎干细胞是多能干细胞，它的分化能力仅次于受精卵，虽不能发育成完整的个体，但可以发育成为除部分胎盘以外的所有成体组织。主要存在于骨髓中的造血干细胞，能够分化成各种血细胞(红细胞、白细胞和血小板等)，但不能分化出造血系统以外的细胞。

干细胞的一个显著特点是进行不对称分裂，就是干细胞经过一次分裂所产生的两个细胞中，一个仍然是干细胞，另一个则经过多次分裂后，会变成许多各式各样的体细胞。

按照来源，可将干细胞分为胚胎干细胞和成体干细胞两大类。最近，由于人胚胎干细胞的分离和培养成功，干细胞的研究受到了特别的重视。胚胎干细胞来源于早期胚胎。把早期胚胎中的细胞团分离出来并进行培养，这些细胞就会不断分裂增殖并维持在未分化状态，这样就得到了人工培养的胚胎干细胞。这种细胞在适当条件下培养时，可以分化出许多类型的细胞，如平滑肌细胞、神经元细胞等。

干细胞的研究为临床医学开辟了新的途径。例如，骨髓移植是细胞移植，已应用多年，但供体来源有限。如果让胚胎干细胞在体外分化成所需要的细胞，就可以给患者进行移植。除细胞移植外，还可以在体外利用成体干细胞的培养，再生出有功能的组织或器官，移植到患者体内。当然，这种组织或器官的再生创造，还需要材料的支持，还要涉及材料学和组织工程学等相关学科。



活 动

收集有关干细胞研究进展的资料

◎ 目的要求

1. 收集有关干细胞的研究状况和应用前景的资料。
2. 学会收集和处理生物学信息的途径和方法。

◎ 提示

1. 可通过互联网、生物学期刊(如《生物学通报》)、专业书籍(如《细胞生物学》、《普通生物学》)等途径收集资料。
2. 可针对干细胞的某一方面加以深入阐述,或从多个方面介绍有关干细胞的知识。
3. 将收集到的资料进行加工和整理后(标明资料的来源),通过制作墙报、班级研讨会、分组讨论等形式进行交流。

第三节 细胞的衰老和凋亡

本节要点

细胞的寿命

细胞的衰老

细胞的凋亡

细胞的衰老 生物体内的细胞不断地衰老和死亡,同时又有新增殖的细胞来代替它们。例如,高等动物和人的肠道上皮细胞,每24~48h就更新一次;人血红细胞的寿命为100~120d。人体中每立方毫米血液中有数百万个红细胞,所以每分钟就有数百万至数千万个红细胞死亡,同时又有同样多的新红细胞生成。至于生物体表面每天死亡和脱落的细胞更是不可胜数。

细胞之所以有一定的寿命,是因为它们不可避免地要衰老(aging)。这是细胞生命活动的必然

规律。在细胞衰老的过程中，发生许多种生理和生化的变化，如许多种酶的活性降低、呼吸变慢等。最后，细胞在形态和结构上发生许多变化，如线粒体的数量随年龄增大而减少，体积则随年龄增大而增大，细胞核体积不断增大，核膜不断向内折叠等。

细胞凋亡 细胞凋亡(apoptosis)或称编程性细胞死亡(programmed cell death)，是细胞发育过程中的必然步骤，是由某种基因引发的，是不可避免的，它不同于病变或伤害导致的死亡。蝌蚪在发育过程中，尾和鳃都在一定时期消失，就是通过编程性细胞死亡实现的。所有动物的正常发育中都有一些细胞要发生凋亡。

例如，人胚胎发育过程中会产生过量的神经细胞，所以需要调整神经细胞的数量，使之与受神经细胞支配的细胞的数量相适应，以保证神经系统对生命活动的精确调节。这种调整就是通过细胞凋亡实现的。在发育过程中或成熟组织中，发生凋亡的细胞数量是惊人的。在健康成人体内的骨髓和肠中，每小时约有10亿个细胞凋亡。在脊椎动物神经系统的发育过程中，约有50%的细胞凋亡。细胞凋亡在植物体内也普遍存在，如胚胎发育过程中胚柄的退化、单性植物中花器官的退化、植物体内通气组织的形成等。关于细胞凋亡的机理，尚有待于深入的研究。



课外读

细胞工程

随着细胞生物学和分子生物学突飞猛进的发展，20世纪80年代初期出现了细胞工程这一新概念。细胞工程是指应用细胞生物学和分子生物学的方法，通过类似于工程学的步骤，在细胞整体水平和细胞器的水平上，按照人们的意愿来改变细胞内的遗传物质以获得新型生物或一定细胞产品的一门综合性科学技术。

细胞工程涉及的领域相当广泛，就其技术范围而言，大致有细胞培养、细胞融合、细胞核移植、胚胎分割和移植技术、染色体导入技术、细胞器转移技术等。细胞培养是其他细胞工程技术的基础。

细胞培养技术通常是指将生物体的某一组织分散成单个细胞，接种在

人工配制的适于细胞生长发育的培养基上,然后在适当的条件(如一定的光照、温度或pH)下进行无菌培养,使细胞能够生长和不断增殖。植物细胞和组织的培养技术取得了显著的成就,这种方法能快速、大量繁殖一些有价值的苗木、花卉、药材和濒危植物等。动物细胞培养技术的应用是多方面的,许多有重要价值的蛋白质生物制品,如病毒疫苗、促红细胞生成素、干扰素、单克隆抗体等,都可以借助此项技术大规模生产。

细胞融合技术是指把两个细胞(可以是同种细胞,也可以是异种细胞)在融合剂的作用下,融合成一个杂种细胞的技术。科学家最早将番茄的细胞和马铃薯的细胞融合,成功地培育出了“番茄马铃薯”杂种植株。此后,科学家利用植物体细胞杂交的方法,相继培育出了烟草等植物的种内杂种以及烟草—海岛烟草、白菜—甘蓝、胡萝卜—羊角芹等有性杂交不亲和的种间或属间杂种;动物细胞融合技术最重要的用途是制备单克隆抗体,在疾病的诊断、治疗和预防方面显示出巨大的优势。

由于哺乳动物如牛、羊等,妊娠时间长,每胎产崽数少,繁殖速度比较慢。为解决这一问题,科学家采用了胚胎移植技术。以优良种牛的繁殖为例:首先用激素促进良种母牛多排卵,然后把卵细胞从母牛体内取出,在试管内与人工采集的精子进行体外受精,培育成胚胎,再把胚胎送入经过激素处理、可以接受胚胎植入的母牛子宫内,孕育成小牛产出。用这种方法得到的小牛叫做试管牛。除了牛之外,羊、兔、猪、马、猫等动物的胚胎移植也获得了成功。

20世纪70年代,我国科学家用核移植技术成功地培育出集鲤鱼和鲫鱼优点于一身的、可正常繁殖的鲤鲫。核移植实验不仅在鱼类获得了成功,在此之前,国外的科学家用两栖类做实验也获得了成功。科学家用核移植的方法获得了克隆鱼、克隆两栖动物之后,在20世纪八九十年代后期,又陆续培养出了克隆牛、羊、兔、猴、小鼠等克隆哺乳动物。克隆羊多莉是核移植技术成功克隆出动物的典型代表。此外,利用基因工程和细胞工程的密切配合,还得到了一些“超级动物”。

凡此种种,都是细胞工程的范例。当今,细胞工程已成为生物学家手中经常应用的技术之一,在这个领域已经取得了许多惊人的成就。



思考与练习

一、选择题

1. 下列关于细胞分裂、分化、衰老和死亡的叙述，正确的是（ ）
 - A. 细胞分化使各种细胞的遗传物质有所差异，导致细胞的形态和功能各不相同
 - B. 个体发育过程中细胞的分裂、分化和凋亡对于生物体都是有积极意义的
 - C. 细胞分裂存在于整个个体发育过程，细胞分化仅发生于胚胎发育阶段
 - D. 多细胞生物细胞的衰老与机体的衰老总是同步进行的
2. 正常人体内的造血干细胞能产生各种血细胞，在体外某些因素的诱导下，却可以分化为神经细胞和肝细胞。其根本原因是这些造血干细胞（ ）
 - A. 有旺盛的分裂能力
 - B. 还没有分化
 - C. 能合成神经细胞或干细胞所需要的蛋白质
 - D. 其细胞核中具有与受精卵相同的全套遗传基因

二、简答题

1. 癌细胞形成的原因是什么？说出癌细胞的主要特征。
2. 以班级为单位，编制并分角色扮演“神奇的细胞”课本剧，剧目内容可自选。

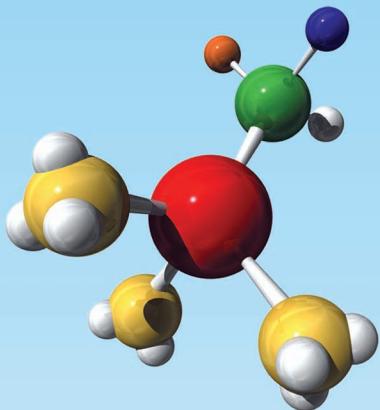
本章小结

一个细胞能生长成一个多细胞的生物体，是由于细胞数目的增多和细胞的分化。细胞数目的增多是由于细胞的增殖。真核细胞增殖的主要方式是有丝分裂。

细胞从上一次分裂结束到下一次分裂结束所经历的整个过程为一个细胞周期。细胞周期包括分裂间期和分裂期。分裂间期是细胞分裂期的准备阶段，在细胞中发生的最重要的变化是DNA的复制。细胞分裂期的最主要变化是复制后的染色体平均分配到两个子细胞中，保证了亲、子代细胞的细胞核中具有相同的遗传物质。

多细胞生物体是同种类型的细胞经分化而成的不同类型的细胞集合体。细胞数目的增多是由于细胞的增殖，生物的个体发育是通过细胞分化实现的。在致癌因素的作用下，有的细胞分化异常，变成不受控制而无限增殖的癌细胞。干细胞是具有自我更新、高度增殖和多向分化潜能的细胞群体。干细胞的研究在器官的再生和移植等方面具有广阔的应用前景。

细胞的衰老是一种正常的生命现象，而细胞的凋亡则是受基因控制的自然过程。



PUTONG GAOZHONG KECHENG BIAOZHUN SHIYAN JIAOKESHU

SHENGWU

普通高中课程标准实验教科书

生物



绿色印刷产品

定价批准文号：浙发改价格〔2019〕319号 举报电话：12358

ISBN 978-7-5341-7322-6

9 787534 173226 >

定 价：7.84元