普通高中教科书

生物学

必修 1

分子与细胞

浙江科学技术出版社

普通高中教科书

生物学

必修 1

分子与细胞

主编　刘恩山

浙江科学技术出版社

主　　编　刘恩山

副 主 编　朱立祥　李晓辉

本册执行主编　荆林海

本册编写人员　（按姓氏笔画排序）

王　健　肖乐和　张　旭　荆林海

书　　名　普通高中教科书·生物学　必修1　分子与细胞
主　　编　刘恩山

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
办公室电话:0571-85176593
销售部电话:0571-85176040
网　址:www.zkpress.com
E-mail:zkpress@zkpress.com

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

开　　本　890×1240　1/16　　**印　　张**　9
字　　数　186 000
版　　次　2019年7月第1版　　**印　　次**　2021年7月第3次印刷
书　　号　ISBN 978-7-5341-8678-3　　**定　　价**　10.97元

版权所有　翻印必究
（图书出现倒装、缺页等印装质量问题,本社销售部负责调换）

定价批准文号:浙发改价格〔2019〕319号、〔2020〕331号　举报电话:12345、12315

责任编辑　顾旻波　曹梦洁　　**责任校对**　赵　艳
责任美编　金　晖　　**责任印务**　田　文

致同学们

同学们：

我们即将开始高中阶段的生物学学习了，是不是很期待？

高中生物学课程是普通高中科学领域中的一个科目。高中生物学课程将在初中生物学的基础上，进一步获得基础的生物学知识，提高学生的生物科学素养，尤其是发展科学探究能力，理解生物科学、技术和社会的相互关系，增强对自然和社会的责任感，促进形成正确的世界观和价值观。

高中阶段我们将完成《分子与细胞》和《遗传与进化》两个必修模块的学习。之后，同学们可以根据教学安排进一步完成《稳态与调节》《生物与环境》和《生物技术与工程》三个选择性必修模块的学习。

学习高中生物学课程时，对“生物学家是如何研究生命现象的”这个问题，同学们要给予高度重视。

生物学的研究方法主要包括观察与实验。

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，先是对生物的外形进行观察和描述，然后是将生物体解剖，观察其内部结构。除了用眼睛观察外，还可以用放大镜、显微镜等工具帮助观察。对于生物的观察，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。在观察的过程中，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、不同种类之间外形和结构的异同等。

在生物学发展的早期，主要是通过观察来归纳生物的形态、结构与功能。那么，如何进行可靠、有效的科学观察呢？

观察需要具备扎实、丰富的学科知识。如果没有一定的生物学知识的积淀，是无法胜任科学观察的。

观察需要持之以恒的毅力。连续的长期的观察是很多生物学家进行研究的共同特点，他们把自己一生中的大部分时间用在了对某些生物的观察和研究上。

在卓越的观察者中，耳熟能详的有法国博物学家亨利·法布尔（Jean Henri Casimir Fabre，1823—1915），他撰写的十卷《昆虫记》把读者带入了奇趣的昆虫世界。再如，英国生物学家珍妮·古道尔（Jane Goodall，1934— ），她对黑猩猩的社会行为进行了几十年的观察研究，积累了关于黑猩猩的习性、行为等方面的大量珍贵的科研数据，同学们如果感兴趣，可以读一读她的《黑猩猩在呼唤》一书。

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）首次把实验方法应用于生物学，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。

下面，我们来分析诺贝尔奖获得者尼古拉斯·廷伯根（Nikolaas Tinbergen，1907—1988）对黑头鸥的一个研究实例，看看科学家是如何在观察的基础上做出假设，并进一步结合观察和实验来验证假设的。

【观察】

廷伯根在对黑头鸥行为的观察过程中发现了一个有趣而奇特的现象：当雏鸥从蛋

壳中孵出后不久，双亲便小心地把蛋壳残片用喙捡起，然后飞到远离鸟巢的地方将其扔掉。

【提出问题】

亲鸟为什么要把破蛋壳从巢中移走呢？又是什么原因促进了这一行为的进化呢？

【做出假设】

廷伯根对观察到的现象曾提出了几种可能的解释，例如，破蛋壳的锋利边缘可能伤害雏鸥，破蛋壳妨碍亲鸟孵卵和喂养雏鸥，破蛋壳破坏了巢内的整洁等。但他对这些假设不是很满意。

【进一步观察】

廷伯根在更加细致的观察中有了新的发现：蛋壳的外表面呈杂色，而内表面呈白色。在成鸥孵卵期间，杂色的蛋壳有很好的隐蔽作用，而白色的内表面十分醒目，能吸引捕食者（乌鸦和银鸥等）的注意力。

【做出新的假设】

亲鸟把白色蛋壳移走以增加巢和雏鸥的安全性。

【检验假设】

为了检验巢内的白色蛋壳是否增加了雏鸥的被捕食率，廷伯根设计了如下实验：

（1）把一些完整的杂色蛋分散地放置在沙滩上，然后再把一些破蛋壳分别放在距离完整蛋15 m、100 m和200 m的地方。

（2）实验结果：发现破蛋壳与完整蛋之间的距离越远，完整蛋被捕食者捕食的可能性就越小。

实验结果支持假设。

上面的研究实例说明，在生物学的研究中，观察与实验是紧密联系在一起的。在具体的实验中，往往是先观察到某种现象，提出能解释这个实验现象的某种假设，再对提出的假设用实验进一步检验。由于生命现象的复杂性，把实验方法应用于生物学要比用于物理学、化学更加困难。在观察与实验中要努力排除假象，防止得出错误的结论。

当今，生命科学的研究与信息技术和工程技术的结合日益紧密，在微观和宏观两个方向的发展都非常迅速，高中生物学课程从微观方向揭开了学习生命科学的序幕。

作为高中生物学课程的开篇，本模块内容将围绕“细胞是生物体结构与生命活动的基本单位”和“细胞的生存需要能量和营养物质，并通过分裂实现增殖”两个大概念展开，涵盖了细胞生物学、生物化学等生命科学的基本知识，以及分子生物学研究的最新进展和实际应用，是同学们学习其他模块的基础。

本模块安排了“细胞的分子组成”“细胞的结构”“细胞的代谢”“细胞的生命历程”四章内容，循序渐进地指导同学们系统学习细胞的成分、结构与功能，以及细胞这一微观生命系统自我维持、自我增殖的模式。

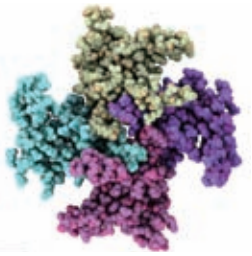
本模块的学习，有助于同学们在微观层面上更深入地理解生命本质，逐步形成“生命的物质性和生物界的统一”“细胞生活中物质、能量和信息变化的统一”“细胞结构与功能的统一”“细胞的整体与部分的统一”等生命观念，并在此基础上形成辩证唯物主义的自然观。生命观念对于指导同学们深入理解本模块知识大有裨益。

掌握正确的学习方法很重要。同学们在学习过程中，要养成细心观察、善于实验、勤于思考、勇于质疑、分享交流的好习惯，认真做好各种观察、实验等探究性学习活动，以增加感性认识，克服对微观结构认识的困难，同时领悟科学研究的方法并学习相关的操作技能。同学们可以结合自己的生活经验、初中学习的个体生物学知识，以及化学和物理学知识，更好地理解生命本质，以突破学习难点。同学们还可以收集有关细胞研究和应用方面的信息，进行交流，以丰富相关知识，加深对微观的生命系统——细胞的结构、功能的理解，以及对科学、技术、社会相互关系的认识。

目 录

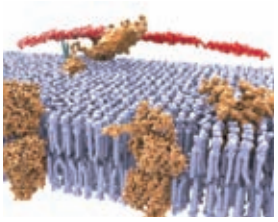
第一章　细胞的分子组成　/1

第一节　水和无机盐是构成细胞的重要无机物　/2
第二节　生物大分子以碳链为骨架　/6
本章小结　/18



第二章　细胞的结构　/19

第一节　细胞是生命的单位　/20
第二节　细胞膜控制细胞与周围环境的联系　/28
第三节　细胞质是多项生命活动的场所　/38
第四节　细胞核是细胞生命活动的控制中心　/48
第五节　细胞在结构和功能上是一个统一整体　/53
第六节　原核细胞内无成形的细胞核　/57
本章小结　/62



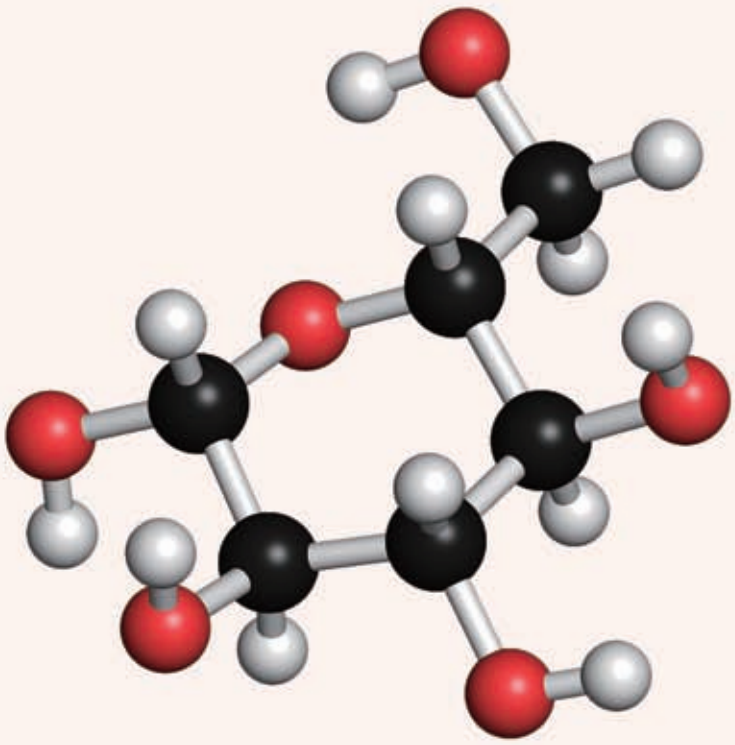
第三章　细胞的代谢　/63

第一节　ATP是细胞内的“能量通货”　/64
第二节　酶是生物催化剂　/69
第三节　物质通过多种方式出入细胞　/80
第四节　细胞呼吸为细胞生活提供能量　/89
第五节　光合作用将光能转化为化学能　/98
本章小结　/112

第四章　细胞的生命历程　/113

第一节　细胞通过分裂增殖　/114
第二节　细胞通过分化产生不同类型的细胞　/124
第三节　细胞凋亡是编程性死亡　/130
本章小结　/136

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生物圈中，生物体所表现出的灵动，使之很容易与非生物体区分开来。生物体与非生物体间为什么有如此巨大的差异？巨大差异的背后是否又存在着某些内在联系？答案是肯定的，物质性将生物和非生物统一在一起。

学习目标

1. 概述细胞中化合物的种类。
2. 概述细胞中各种化合物的生理作用。
3. 测定生物组织中的某些有机物。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 解释细胞由多种多样的分子组成，说明这些分子是各项生命活动的物质基础，发展思维能力。
2. 通过检测生物组织中的还原糖、脂肪和蛋白质等，学会归纳与概括的科学思维方法，发展观察能力和探究能力。

第一节　水和无机盐是构成细胞的重要无机物

本·节·要·点

- 元素
- 氢键
- 水和无机盐

生命是物质的，组成生物体的各种化合物是由化学元素构成的。

组成细胞的分子，既包含简单的无机物，也包含复杂的有机物。细胞内的无机物主要是水和无机盐。水和无机盐与细胞的生活有什么关系？

细胞主要由C、H、O、N、P和S等元素组成

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，物质是由元素构成的。组成细胞的化学元素，在地球的无机环境中都能找到，没有一种化学元素是细胞所特有的。

地球上存在的天然元素有90多种，构成细胞的元素主要有哪些呢？

表1-1　组成人体的主要元素

元　素	符　号	在人体中所占比重/%	元　素	符　号	在人体中所占比重
氧	O	65.0	铁	Fe	微量
碳	C	18.5	锌	Zn	微量
氢	H	9.5	铜	Cu	微量
氮	N	3.3	碘	I	微量
钙	Ca	1.5	锰	Mn	微量
磷	P	1.0	硼	B	微量
钾	K	0.4	铬	Cr	微量
硫	S	0.3	钼	Mo	微量
钠	Na	0.2	钴	Co	微量
氯	Cl	0.2	硒	Se	微量
镁	Mg	0.1	氟	F	微量

表1-1所列为组成人体的主要元素，也是构成细胞的主要元素，主要包括C、H、O、N、P和S等，其中C、H、O、N四种元素在人体中所占比重在96%以上。有些元素在人体中的含量很低，称为微量元素。微量元素含量虽少，但它们对维持细胞正常的结构和生命活动均起着重要作用。

水为生命活动提供了条件

细胞的含水量一般为60%～90%，有些细胞含水量可超过90%，如水母的含水量可达97%。作为生物体内含量最多的化合物，水是生物体的重要组成成分。可以说，一切生命活动都离不开水，没有水就没有生命。

水分子中氧原子的原子核周围电子较多，使氧略带负电性而氢略带正电性，水成为极性分子，一端略正，一端略负。由于正负电荷的吸引，水分子之间便会形成氢键（图1-1）。每个氢键中的氢原子同时属于两个氧原子，而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。具有极性和氢键的形成使得水分子有许多不寻常的特性。

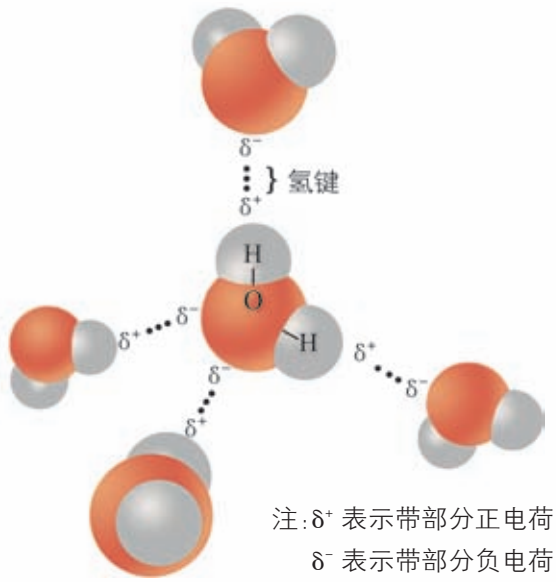


图1-1　水分子之间的氢键

水是极性分子，凡是有极性的分子或离子都易溶于水中。例如，氯化钠的Na^+和Cl^-就会分别与水分子的略带负电荷的氧的一端和略带正电荷的氢的一端相互吸引，在这两种离子的周围形成一层水膜，把Na^+和Cl^-分开，使得氯化钠晶体易溶于水中。在人和动物的体液、植物的汁液中，均含有大量的水，且都溶有多种多样生物体所必需的溶质。因此，水作为良好的溶剂，能帮助溶解和运输营养物质及代谢产物。

水分子之间的氢键使得水具有调节温度的作用。水分子间大量的氢键使水蒸发时要消耗大量的热，如出汗能有效地降低体温。水温的增高需要较多的热，因为先要破坏氢键才能促进分子的运动；反之，水温的降低就会形成较多的氢键，而氢键的形成会释放热量，这就使得细胞内水的温度变化不那么剧烈。

此外，水还是细胞中某些代谢的反应物和产物，水在动、植物的分布、繁殖、生长发育以及动物体色、动物行为等方面有着深远的影响。

无机盐与细胞生活密切相关

无机盐在生物体内含量不高，约占 1%～1.5%，多数以离子形式存在，它们对维持生物体的生命活动有着重要的作用。如血浆中含有多种无机盐，包括 K^+、Na^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}等正离子，以及 Cl^-、HCO_3^-、$H_2PO_4^-$等负离子。无机盐对维持血浆的正常浓度、酸碱平衡，以及神经、肌肉的兴奋性等都是非常重要的。若哺乳动物血液中的 Ca^{2+}含量过低，则会发生抽搐。无机盐是细胞的重要组成成分之一，如骨细胞的重要成分是磷酸钙。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+}是血红蛋白的必需成分。

课外读　同位素及同位素示踪

同一元素的质子数相同，但中子数可能不同。质子数相同而中子数不同的同一元素的不同原子互称为同位素。简单地说，同位素指质量不同而化学性质相同的原子。例如，“普通”的碳是 ^{12}C，含有 6 个质子、6 个中子，另外还存在含有 6 个质子、7 个中子的 ^{13}C 和含有 6 个质子、8 个中子的 ^{14}C。

生物体对这些碳原子一视同仁。因为同位素具有不同的特性，所以可用不同的方法检测出来。有些同位素能够发生衰变而产生放射性，因此易于检测。^{14}C 就是碳的一种放射性同位素。例如，研究光合作用时可以利用标记的二氧化碳（$^{14}CO_2$）进行实验，以追踪碳元素在植物体内的运行和变化，所以 ^{14}C 称为示踪原子，这种研究技术称为同位素示踪。

同位素不仅可用于科学研究，也可用于疾病的诊断和治疗。例如，甲状腺可以选择性地吸收碘，放射性碘同位素发出的射线能破坏甲状腺细胞，故碘同位素可用于治疗甲状腺肿大。

思考与练习

一、选择题

1. 下列关于构成生物体的元素的叙述，错误的是（　　）

A. 构成生物体的元素都来自自然界

B. 不同元素在生物体内的含量各不相同

C. 构成生物体的物质都包含C、H、O元素

D. 构成生物体的元素没有一种是生命所特有的

2. 水和无机盐在生物体的生命活动中发挥着重要作用。下列关于水和无机盐的叙述，错误的是（　　）

A. 水不参与血浆正常浓度的维持

B. 生物体可以从外界直接获取无机盐

C. 在构成生物体的物质中，水的含量最高

D. 无机盐必须溶解在水中才能被生物体吸收

二、简答题

液态水中的水分子具有内聚力。在液态水中，水分子之间氢键的存在时间极短，瞬息之间，每个水分子都与无数个别的水分子相结合，彼此“黏合”在一起，这种内聚力比其他任何液体中的都强。水的内聚力对生命极其重要。地下深处的水能够源源不断地被运输到参天大树的叶片中，请用内聚力解释这种现象。

第二节　生物大分子以碳链为骨架

本·节·要·点

- 碳骨架
- 蛋白质
- 糖类
- 核酸
- 脂质

碳元素存在于所有的生物体内，是生命系统中的核心元素。碳原子核外有6个电子，分内、外两层分布，2个在第一层，4个在第二层，即最外层。要使碳原子最外层成为具有8个电子的稳定结构，需要别的原子提供4个电子使碳原子与别的原子共用电子形成共价键。碳原子间可以共用电子形成共价键，从而由很多碳原子串起长长的直链结构、支链结构或环状结构，共同形成碳骨架。骨架中的碳还可以与其他原子，如H、O、N、S、P等通过共用电子相连接。图1–2就是碳原子所形成的几种结构，其中游离的键可以与其他原子相连。

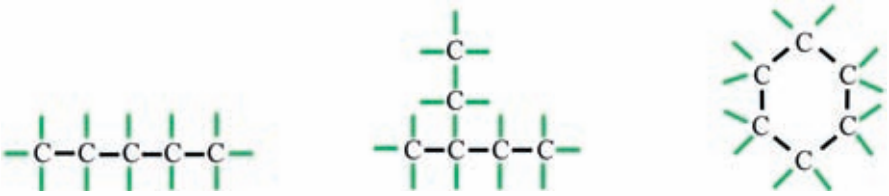


图1–2　碳原子所形成的几种结构

组成生物体的有机物都是以碳骨架作为结构基础的，主要包括糖类（carbohydrates）、脂质（lipids）、蛋白质（proteins）和核酸（nucleic acids）。许多有机物的相对分子量以万至百万计，所以称为生物大分子。蛋白质和核酸是两类最重要的生物大分子。组成生物体的大分子在结构上有何共同特点？各类有机物的主要功能是什么？各自的结构特点是什么？

糖类是细胞的主要能源物质

日常生活中，我们通常所说的糖一般是指蔗糖，但糖类物质不仅仅指蔗糖。糖类物质是地球上含量最多的一类有机物，我们所吃主食中的主要成分就属于糖类。大多数糖类由C、H、O三种元素组成，多数糖分子中氢原子和氧原子之比为2∶1，类似水分子，故糖类旧称为“碳水化合物”。

糖类可以分为单糖、二糖和多糖。

单糖是可被细胞直接吸收利用的小分子物质。例如，葡萄糖（$C_6H_{12}O_6$）是细胞内主要的单糖，是细胞生命活动的主要能源物质；脱氧核糖是细胞遗传物质——DNA分子的重要组成物质。此外，常见的单糖还有果糖、半乳糖、核糖等。

细胞中的单糖分子可进一步形成二糖和多糖。

二糖由2个单糖分子脱水缩合形成。例如，蔗糖分子由葡萄糖和果糖组成，生活中常吃的白糖、冰糖、红糖等就是由蔗糖加工而来的。常见的二糖还有麦芽糖和乳糖，前者由2分子葡萄糖组成，后者由1分子葡萄糖和1分子半乳糖组成。

多糖是由多个单糖分子通过特定的共价键连在一起形成的，其中淀粉、糖原和纤维素是比较重要的多糖。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；糖原储藏在人的肝脏和肌肉中，分别称为肝糖原和肌糖原。淀粉和糖原分别是植物、动物体内重要的储能物质；纤维素是植物体的结构多糖，是植物细胞壁的主要成分。

小资料　甜的物质都是糖吗

甜是一种很美妙的感觉。甜度的检测通常用蔗糖作为参照物，以它为100，果糖甜度几乎是蔗糖的两倍，其他天然糖的甜度均小于蔗糖。某些糖、糖醇及其他增甜剂的相对甜度见表1–2。

表1–2　某些物质的相对甜度

名　称	甜　度	名　称	甜　度
乳糖	16	蔗糖	100
半乳糖	30	木糖醇	125
麦芽糖	35	转化糖	150
山梨醇	40	果糖	175
木糖	45	天冬苯丙二肽	15000
甘露醇	50	蛇菊苷	30000
葡萄糖	70	糖精	50000
麦芽糖醇	90	应乐果甜蛋白	20000

注：表中山梨醇、甘露醇、麦芽糖醇、木糖醇、天冬苯丙二肽、糖精、应乐果甜蛋白等为非糖物质。

脂质是一类不溶于水的有机物，具有多种生物学功能

脂质主要由C、H、O三种元素组成，其中氢原子较糖类多，而氧原子较糖类少。有些脂质还含有N和P等元素。常见的脂质有油脂、磷脂和固醇等，通常不溶于水，而溶于有机溶剂，如丙酮、乙醚、四氯化碳等。

小资料　寒冷的冬季棕熊以脂肪作为主要的能源物质

棕熊（图1–3）属于哺乳动物，维持体温需要消耗能量，需要大量的食物供应。生活在北方的棕熊，为适应冬季寒冷低温和食物短缺的环境条件，会有一段长时间的不活动、不吃食、睡眠的状态。棕熊在冬季前会大量进食。它们的食物以植物为主，肉类只占25%。食物中的糖类大量转化为脂肪储存在棕熊身体中，入冬前其一般体重可达400 kg，脂肪层可厚达15 cm。在每年的10月至翌年的5月这段漫长的时间里，棕熊靠“燃烧”脂肪供能，冬季结束后其体重下降到150～200 kg。

图1–3　棕熊

人和动物体内的脂肪、植物中的油统称为油脂。油脂由甘油和脂肪酸组成。甘油是一种简单糖类的衍生物；脂肪酸则是长的碳氢链，一端是羧基（－COOH）。很多生物中的油脂是能量的主要储存形式，1 g油脂在体内完全氧化将产生39 kJ的能量，而1 g糖或蛋白质只产生17 kJ的能量。由于油脂的不亲水性，油脂作为储能物质时不必携带多余的水。肥胖者的皮下脂肪组织（皮下、腹腔等）中积储的油脂可达15～20 kg，足以供给一个月所需的能量。海豹、海象、企鹅和其他南北极温血动物，它们厚厚的皮下脂肪除作为能量储备外，还是抗低温的保温层。此外，人和动物的皮下和腹腔脂肪组织还起到防震作用。

磷脂、固醇是细胞的必要组分。磷脂是细胞各种膜结构的重要成分。固醇类物质包括胆固醇、性激素和维生素D等，其中胆固醇也是构成细胞膜的重要成分，但血液中胆固醇过多则可能引发心脑血管疾病；维生素D可促进人和动物对钙和磷的吸收等。

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测。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

1. 练习使用高倍显微镜。
2. 制作徒手切片并进行染色。
3. 尝试用化学试剂检测生物组织中的油脂。

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%的酒精，清水，双面刀片，毛笔，培养皿，载玻片，盖玻片，显微镜，吸水纸等。

方法步骤

1. 材料处理：

（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，将子叶切成厚度为1～2 mm的薄片。

（4）将切好的薄片置于培养皿内的清水中，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清水，再用滴管将苏丹Ⅲ染液滴在切片上，静置2～3 min，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%的酒精溶液，洗去多余的染料。

3. 制片：用吸水纸吸去酒精溶液，再在切片上滴加1～2滴清水，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。转动转换器，使高倍镜对准通光孔，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. 当把显微镜的低倍镜换成高倍镜后，视野为什么会变暗？

蛋白质是生命活动的主要承载者

小资料　蛋白质的每种特定功能都取决于其特定的结构

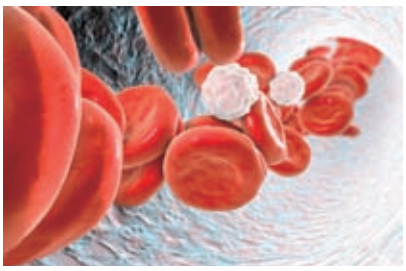
蚕和蜘蛛吐出的细而坚韧的丝、雄孔雀求偶季节展示的华丽的羽毛、羚羊浓密的毛和坚硬的角，这些看似完全不同的物质，却是由结构大同小异的同一类蛋白质，即角蛋白构成的（图 1–4）。曾有人形象地称“一个蛋白一张脸”，反映了蛋白质分子空间结构的多样性。弗里德里希·恩格斯（Friedrich Engels，1820—1895）则从另一个角度指出“蛋白质是生命活动的体现者”，反映了蛋白质功能的多样性。

图 1–4　不同生物体中的角蛋白

蛋白质与糖类及脂质不同。蛋白质不是能量供给的主要来源，却在其他方面发挥着不可替代的作用。如肌肉中的收缩蛋白、头发中的角蛋白、红细胞中的运输蛋白、种子中的储备蛋白等，都具有特殊的生物学功能（图1-5）。蛋白质的每种特定功能都取决于其特定的结构。

肌肉中的收缩蛋白

头发中的角蛋白



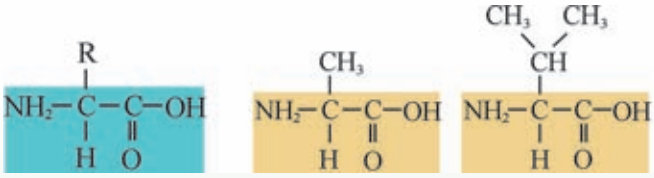
红细胞中的运输蛋白

种子中的储备蛋白

图1-5　不同功能的蛋白质

许多蛋白质已经获得结晶的纯品。在此基础上分析蛋白质的元素组成发现，蛋白质分子主要由C、H、O、N四种元素组成，有些蛋白质还含有S元素。

氨基酸（amino acid）是蛋白质的基本单位，蛋白质经消化水解为氨基酸后才能被人体吸收和利用。一个蛋白质分子可由数百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生物通式如图1-6A所示，一个中央碳原子上通过共价键连接着四个基团，即一个氨基（－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，它可以较小，如丙氨酸中的R为－CH_3、缬氨酸中的R为－$CH(CH_3)_2$（图1-6B，C）。R基团也可以是较长的链，或是环状结构。R基团中也可能含有氨基（－NH_2）或羧基（－COOH），有时还含有硫原子。



A. 氨基酸通式　　B. 丙氨酸　　C. 缬氨酸

图1-6　氨基酸的化学结构

两个氨基酸分子发生脱水缩合（图1–7），形成二肽，其间的化学键称为肽键。许多个氨基酸以肽键连成一长串的肽链，称为多肽。

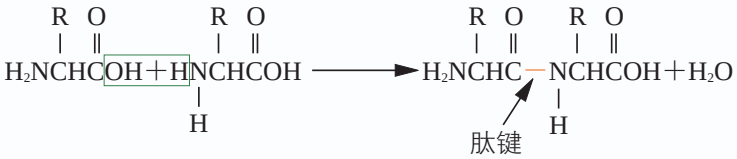


图 1–7　两个氨基酸分子脱水缩合形成二肽

不同种多肽的差别在于其中氨基酸的种类、数目和排列顺序各不相同。20 种氨基酸所组成的多肽种类数不胜数。假定 20 种氨基酸任意组成一个含 100 个氨基酸分子的蛋白质，那么，将有 20^{100} 种蛋白质。

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，即三维立体结构。蛋白质分子的空间结构多种多样。例如，组成毛发和指甲的蛋白质是纤维状的，血液中的血红蛋白则是球形的。蛋白质正确的空间结构是蛋白质表现其特有的生物学活性所必需的。蛋白质的空间结构并不稳定，会随着温度的升高而发生改变。蛋白质的生物学活性会随着温度的升高而发生改变，在温度超过 40～50 ℃时就可能丧失活性。

小资料　人体的必需氨基酸

必需氨基酸是指人体需要的，但不能在人体内合成，必须由食物供给的那些氨基酸，包括甲硫氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、苏氨酸、色氨酸和苯丙氨酸。动物性食品一般含必需氨基酸较多，豆类食品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，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（Benedict）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），清水，双缩脲试剂A，双缩脲试剂B，本尼迪特试剂，碘–碘化钾溶液，试管若干支，10 mL的量筒，研钵，漏斗，滤纸，80～100 ℃的热水浴等。

方法步骤

1. 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。

2. 下表中的食物是否含有淀粉、蛋白质、还原糖？请将你对实验结果的预测填入表格中。

3. 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。

4. 检测。

（1）检测淀粉：取2 mL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）。

（2）检测蛋白质：取2 mL样本上清液，加入2 mL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。

（3）检测还原糖：取2 mL样本上清液，加入2 mL本尼迪特试剂，振荡试管，使样本与本尼迪特试剂混合均匀，然后将试管置于热水浴中加热2～3 min，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		
		淀　粉	蛋白质	还原糖
稀释蛋清液	预测			
	实测			
马铃薯匀浆	预测			
	实测			
梨汁	预测			
	实测			

讨　论

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

核酸储存与传递遗传信息

核酸由C、H、O、N、P五种元素组成，其基本单位为核苷酸。每个核酸分子由很多核苷酸通过共价键连接形成长链，其核苷酸数量可以从几十个到上亿个。核酸的相对分子质量可从几十万至几百万。

每个核苷酸由三个小分子物质通过共价键连接形成。组成核苷酸的小分子物质包括五碳糖、磷酸基团和含氮碱基。其中，五碳糖有两种，即脱氧核糖和核糖；含氮碱基有五种，即腺嘌呤（A）、鸟嘌呤（G）、胞嘧啶（C）、胸腺嘧啶（T）和尿嘧啶（U）。

核酸包括两大类：核糖核酸（RNA，ribonucleic acid）和脱氧核糖核酸（DNA，deoxyribonucleic acid）。RNA的基本单位称为核糖核苷酸，其五碳糖为核糖，含氮碱基为腺嘌呤（A）、鸟嘌呤（G）、胞嘧啶（C）和尿嘧啶（U）；DNA的基本单位称为脱氧核糖核苷酸，其五碳糖为脱氧核糖，含氮碱基为腺嘌呤（A）、鸟嘌呤（G）、胞嘧啶（C）和胸腺嘧啶（T）（图1–8）。

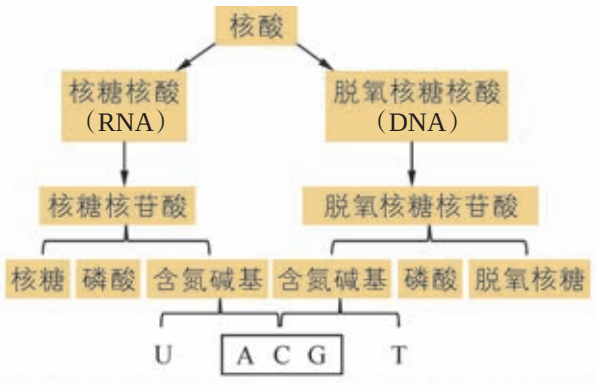


图1–8　核酸、核苷酸的化学组成

核酸是细胞中控制其生命活动的生物大分子。组成生物体的亿万个细胞中都有DNA和RNA。DNA中储藏的信息控制着细胞的所有活动，并且决定着细胞和整个生物体的遗传特性。RNA是合成蛋白质所必需的。

关于核酸，还将在《遗传与进化》模块的第三章中详细介绍。

课外读

人工合成胰岛素

20世纪30年代，胰岛素在生物学界广为人知。它在超速离心机中的表现透露出这种蛋白质的相对分子量较小，其结构的复杂度却超出了当时科学家们的预期。英国生物化学家弗雷德里克·桑格（Frederick Sanger，1918—2013）于1945年开始研究一条肽链上各氨基酸的排列顺序并发明了一种标记N端氨基酸的方法，历经数年，终于在1955年成功地解析了胰岛素的全部氨基酸序列。这是人类第一次了解到蛋白质对生命活动至关重要的分子结构，使得人类对蛋白质的认识迈出了历史性的一步，桑格也因此获得1958年的诺贝尔化学奖。值得一提的是，桑格还因他在DNA测序中的卓越贡献，于1980年再次获得诺贝尔化学奖。

胰岛素这一天然蛋白质的成功测序，使人工合成蛋白质出现了第一缕曙光。经过技术上的创新，美国生物化学家文森特·迪维尼奥（Vincent du Vigneaud，1901—1978）在实验室中合成了由8个氨基酸组成的短肽——催产素。经检验，人工合成的催产素的化学性质和生理性质与天然催产素完全相同。

短肽人工合成的成功，激发了科学家把目光聚焦在较小的蛋白质——胰岛素上。

1959年，我国科学家开始了胰岛素的合成研究。实验采取了“三步走”的策略：首先，成功地将天然胰岛素的A、B两条链拆开，再重新连接而得到了重合成的天然胰岛素结晶，这为下一步的人工合成积累了经验，确定了路线；随后，人工合成B链和A链，并分别与天然的A链和B链连接而得到半合成的胰岛素；最后，将人工合成的A链和B链连接而得到全合成的结晶胰岛素。1965年，经过数年

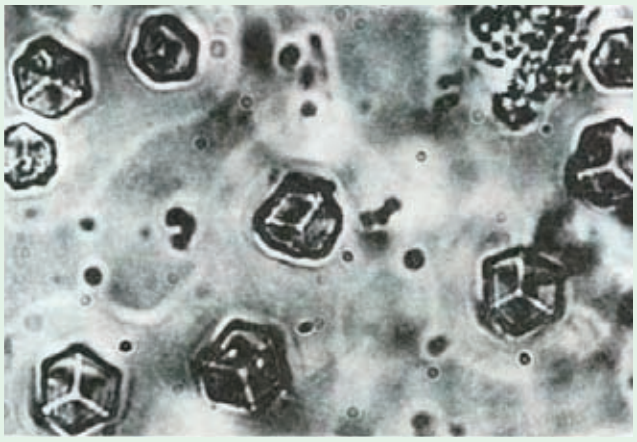


图1–9　人工合成的结晶牛胰岛素

的共同努力，中国科学家终于获得了人工合成的蛋白质——结晶牛胰岛素（图 1-9）。经鉴定，人工合成的牛胰岛素，在结构、生物活性、物理化学性质、结晶形状等方面，与天然的牛胰岛素完全一样。

结果公布之后，立即引起世界科学界的极大关注。结晶牛胰岛素的合成，标志着中国科学家在蛋白质和多肽合成化学领域已经处于世界领先地位，为我们这个伟大的文明古国赢得了新的荣誉。

思考与练习

一、选择题

1. 下列元素中，构成有机物基本骨架的是（　　）

A. 氮　　B. 氢

C. 氧　　D. 碳

2. 下列关于生物体内有机物的叙述，正确的是（　　）

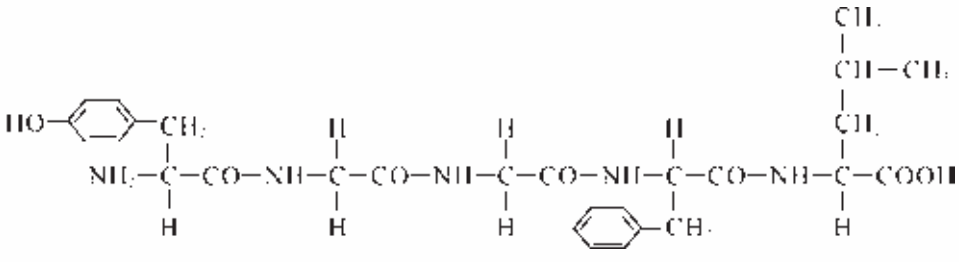
A. 脂质仅用于生物体储存能量

B. 蛋白质是生物体主要的能源物质

C. 核酸是生物体储存遗传信息的物质

D. 糖原和纤维素是生物体的储能物质

3. 脑啡肽是一种具有镇痛作用的药物，它的基本组成单位是氨基酸。下图是脑啡肽的结构简式，形成这条肽链的氨基酸分子数以及缩合过程中生成的水分子数分别是（　　）



A. 3和2　　B. 4和3

C. 5和4　　D. 6和5

4. 细胞中的DNA和RNA都由核苷酸构成，核苷酸由五碳糖、磷酸基团和含氮碱基组成。构成DNA和RNA的含氮碱基共有（　　）

A. 2种　　B. 4种

C. 5种　　D. 8种

二、简答题

蛋白质是由氨基酸组成的，是重要的生物大分子。人体中有数万种不同的蛋白质，各自有其独特的三维结构，分别执行专一的功能。细胞、组织和机体的结构都与蛋白质有关，生物体内的每一项活动都有蛋白质参与。请结合已有的生物学知识，根据蛋白质的功能，尝试将蛋白质进行分类。

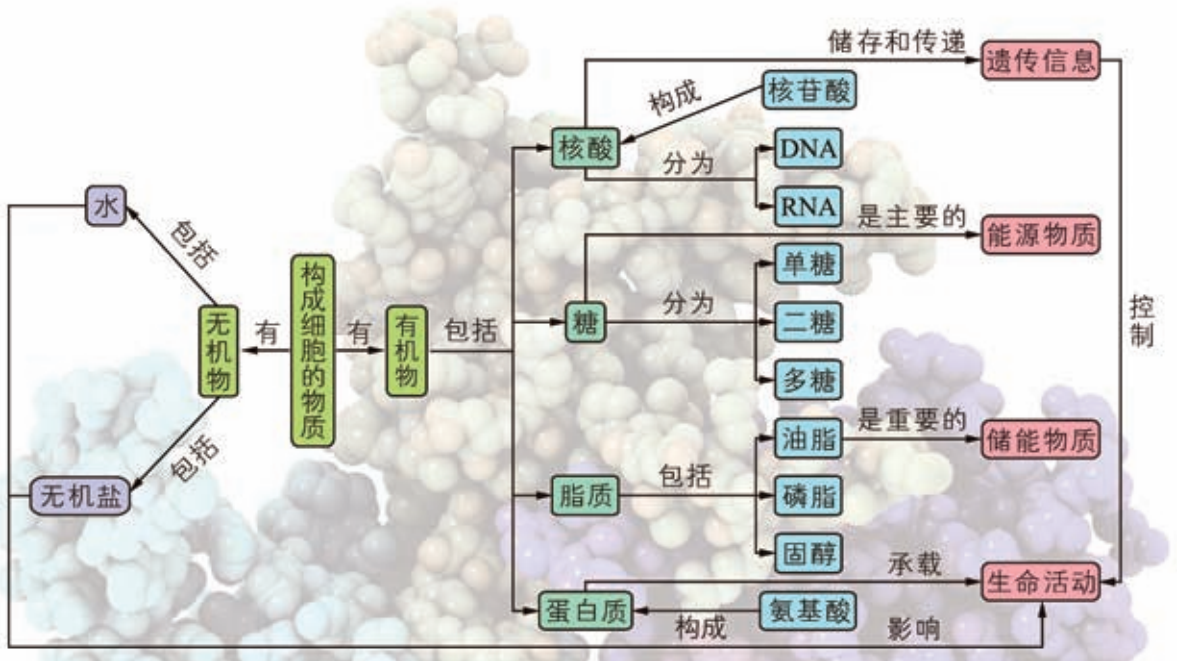
本章小结

构成生物体的元素来自自然界，主要包括C、H、O、N、P和S等，这些元素组成了构成生物体的无机物和有机物，这些物质对于生命活动都有重要的作用，渗透了生命的物质性观点。

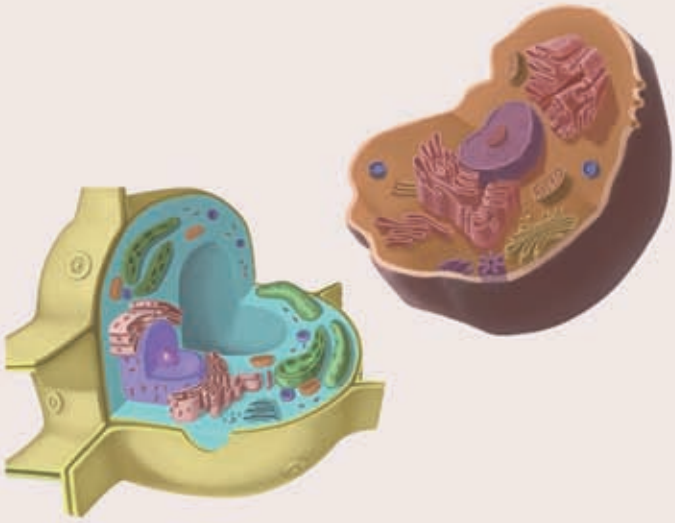
无机物包括水和无机盐。水是生物体中含量最多的化合物，为生命活动提供了必要的条件。它是构成生物体的主要物质，也是细胞中某些代谢的重要反应物和产物。水是良好的溶剂，可溶解和运输营养物质及代谢产物。此外，水在生物体温度调节等方面也发挥着重要的作用。无机盐在生物体内含量不高，但起着非常重要的作用，某些无机盐是有些复杂化合物的重要组成成分，另外一些无机盐则可以维持血浆的正常浓度、酸碱平衡和神经肌肉的兴奋性等，渗透了物质与能量观。

由于碳原子的化学性质，使其构成了多种多样的有机物，从而构成了生物体并行使特定的功能。这些有机物主要包括糖、脂质、蛋白质和核酸。糖主要分为单糖、二糖和多糖，它们既是细胞的组成物质，又是生命活动的主要能源物质。脂质包括油脂、磷脂、固醇等，是主要的储能物质。蛋白质是由氨基酸通过脱水缩合形成的大分子有机物，每一种蛋白质都有其独特的空间结构，行使特定的生物学功能，例如细胞识别、信号传递、催化细胞内的化学反应、参与免疫调节等。蛋白质是生命活动的承载者。核酸包括DNA和RNA，是由核苷酸构成的生物大分子，储存和传递遗传信息，控制着细胞内的所有活动，并且决定着细胞和整个生物体的遗传特性，在渗透物质与能量观、结构与功能观的同时，训练科学探究与科学思维能力，发展思维能力。

本章知识结构图



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。我们肉眼能看到的各种生物，无论是动物、植物还是大型真菌等真核生物，它们的形态结构大相径庭，但在显微镜下，它们的细胞结构却大致相同，都是由细胞膜、细胞质和细胞核组成。

无论是参天大树还是微小的草履虫，它们的细胞都很小，肉眼几乎不可见。这些形态、功能各异的细胞无时无刻不在进行着极其复杂的化学反应。那么，在这么小的空间中，如何才能保证多种生命活动有条不紊地进行呢?

细胞具有极其精巧的结构，它将不同类型的生命活动置于不同的区域内进行，这些活动既相互独立又高度配合。同时，细胞又是一个开放的系统，它通过与外界的物质交换、能量传递和信息交流，不仅维持自身的生命，也执行着各自特定的功能。

学习目标

1. 简述细胞学说及细胞的一般特点。
2. 概述细胞膜的结构及特性。
3. 阐明各种细胞器的结构及功能。
4. 说出动、植物细胞的异同。
5. 阐明细胞核的结构和功能。
6. 描述生物膜系统的结构和功能。
7. 说出原核细胞的特点。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 通过观察细胞、探究膜特性、观察叶绿体和胞质流动等活动，发展观察能力和探究能力。
2. 通过学习细胞膜结构模型、设计制作细胞结构模型等系列活动，发展批判性思维、模型与建模的科学思维方法。

第一节　细胞是生命的单位

本·节·要·点

- 细胞学说

自然界的生物千差万别、种类繁多，组成这些生物体的细胞形态结构和功能各异，但又具有许多共同的特征。直到17世纪中叶，第一台光学显微镜（light microscope）制成后，科学家才发现细胞。因为人眼的分辨率只有约0.2 mm，而光学显微镜的分辨率可达人眼的1000倍，所以利用光学显微镜可以观察到微小的细胞。细胞是如何构成生物体的？构成不同生物体的细胞有什么共同特征？

生物体由细胞构成

1665年，英国物理学家罗伯特·胡克（Robert Hooke，1635—1703）将软木薄片放在自制的显微镜下观察（图2-1），发现软木是由许多类似蜂巢的小室构成的。胡克觉得这一形状类似于单人房间，所以他用意为单人房间的cell一词命名这些小室为cella，即细胞。cella为拉丁语，在英语中仍采用cell。胡克也成为第一个描述细胞的人。实际上，胡克看到的是已死亡细胞的纤维质细胞壁。

A. 原始的显微镜

B. 软木细胞

图2-1　胡克自制的显微镜(A)与他看到的软木细胞(B)

小资料

才华横溢的科学家——罗伯特·胡克

1666年，英国伦敦发生特大火灾，整座城市几乎被烧成灰烬。之后，人们在废墟上重新设计了这座城市。一位物理学家设计的城市规划图获得伦敦市议会的认可，其本人亦被委任为城市重建工作的核心成员，他就是罗伯特·胡克（图2-2）。伦敦一些著名的建筑，如皇家内科医师学会大厦、伦敦大火纪念碑等，均出自胡克的设计。

图2-2　罗伯特·胡克

胡克处于科学兴盛的时代，他以惊人的创造能力对当时的天文学、物理学、生物学、化学等学科都做出过重要贡献。他曾根据弹簧实验的结果，提出了“胡克定律”；他用自制的望远镜首次观测到火星的旋转、木星的大红斑和月球上的环形山，提出彗星靠近太阳时轨道是弯曲的；同时，他在艺术和建筑方面也颇有建树，被誉为“英国的达·芬奇”。

2003年，为纪念胡克逝世300周年，英国皇家学会和牛津基督教会学院举行了专题会，英国皇家海洋博物馆举办了胡克展，以纪念这位闪亮的“科学之星”。

此后不久，荷兰学者列文虎克（Antony van Leeuwenhoek，1632—1723）用较先进的显微镜（图2-3）观察了许多动、植物的活细胞。随着技术的进步，人们对细胞观察的资料逐渐增多，然而在长达170年的时间里，并没有人对生物细胞进行科学的概括。

图2-3　列文虎克自制的显微镜

1838年，德国植物学家施莱登（Matthias Schleiden，1804—1881，图2-4）在多年研究的基础上提出“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”。1839年，德国动物学家施旺（Theodor Schwann，1810—1882，图2-5）提出“动物都是由细胞组成的”。于是两人共同提出：一切动物和植物都是由细胞组成的，细胞是一切动、植物的基本单位。这就是细胞学说（cell theory）的基础。之后几十年，细胞学说得到迅速发展，一些不完善的地方逐

渐被纠正。例如，德国科学家魏尔肖（Rudolf Virchow，1821—1902）提出的“所有的细胞都必定来自已经存在的活细胞”，被看作是对细胞学说的重要补充。细胞学说的主要内容可概括为：所有的生物都由一个或多个细胞组成，细胞是所有生物的结构和功能单位，所有的细胞必定由已存在的细胞产生。

图 2–4　施莱登

图 2–5　施旺

细胞学说的提出对近代生物学的发展具有极其重要的意义。它揭示了生物体结构的统一性，揭示了生物间存在一定的亲缘关系，将动物和植物统一起来，为达尔文的进化论奠定了基础。同时，它将人们对生物的研究从宏观领域带入微观领域。对细胞结构的了解，极大地促进了生物学和医学的发展，推进了人类对自然界的认识，有力地促进了自然科学的进步。所以，恩格斯把细胞学说、能量转化与守恒定律和达尔文进化论并列为“19 世纪自然科学的三大发现”。

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）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发展，细胞学已发展为细胞生物学（cell biology）。

细胞既有多样性又有统一性

细胞学说是伴随着显微镜技术的发展而不断完善的。在 100 多年的时间里，人们借助显微镜观察了许多动、植物和单细胞的原生动物。人们注意到，自然界的细胞种类极其繁多，形态、体积、功能和生活环境的差异也是巨大的。人类卵细胞直径可达 0.2 mm，可用肉眼直接看到，而某些原始的细胞直径是 0.1 μm，只有通过电子显微镜才能观察到；棉花的一条纤维是单个细胞，长达 3～4 cm；神经细胞的直径不

足1 mm，但长度可超过1 m；人体细胞的最适温度是37 ℃，偏离这一温度便会引起身体不适甚至危及生命，而海底热泉附近的某些生物细胞能在110 ℃以上的高温中生活。即使在同一个个体内，细胞的种类也是多种多样的，如人体中有200多种不同类型的细胞（图2-6），它们分工合作，执行着各自特定的功能。

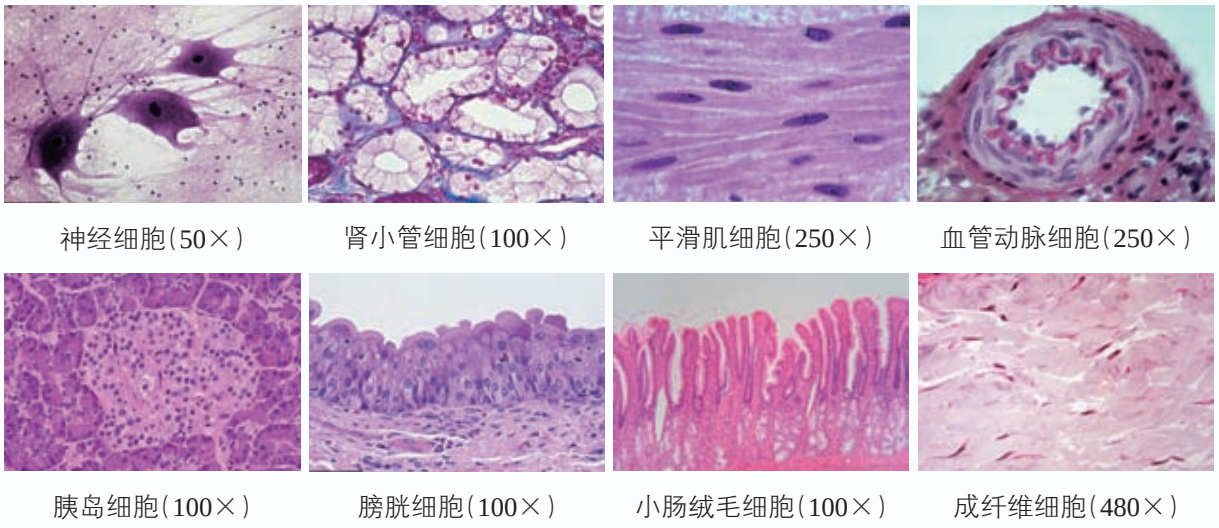


图2-6　人体中的多种组织细胞

除病毒外，自然界中的生命都是由细胞构成的。我们可根据细胞是否具有成形的细胞核，将细胞初步分为原核细胞（prokaryotic cell）和真核细胞（eukaryotic cell）。由原核细胞构成的生物称为原核生物（prokaryote），由真核细胞构成的生物称为真核生物（eukaryote）。几乎所有的原核生物都是由单个细胞构成的，如细菌、蓝细菌等。真核生物可分为多细胞真核生物和单细胞真核生物。大多数的动物和植物是典型的多细胞真核生物，草履虫、变形虫、小球藻等是单细胞真核生物。尽管细胞种类繁多，形态各异，但所有细胞都具有相似的基本结构，如细胞膜、细胞质，真核细胞还具有成形的细胞核；所有细胞都具有C、H、O、N等基本元素，这些元素组成的无机物和有机物，构成细胞结构，参与细胞生命活动；所有细胞都以DNA作为遗传物质。

活　动　使用显微镜观察各种细胞

人眼的视力有一定限度，太远或太小的物体我们都无法直接看到，只能借助工具观测。显微镜是我们用来观测微观物体和结构最常用的工具。绝大部分细胞都由于太小而无法用肉眼直接观测，必须借助显微镜。我们可以用显微镜观察常见生物材料的细胞，并比较这些细胞的异同。

目的要求

1. 学会使用普通光学显微镜。

2. 辨别不同细胞的结构。

材料用具

植物和动物细胞的永久装片，芹菜叶、洋葱鳞茎、西红柿等，显微镜，载玻片，盖玻片，镊子，吸水纸，清水，染液等。

方法步骤

1. 用高倍镜观察细胞永久装片，辨别各种细胞结构的异同。

（1）将永久装片置于载物台上，标本正对通光孔中心，并用压片夹固定。

（2）调节粗准焦螺旋，在低倍镜下看到清晰的标本图像，然后将目标区域移至视野中央。

（3）转换高倍镜，调节细准焦螺旋直至获得清晰图像。

2. 利用提供的材料，制作临时装片，用高倍镜观察细胞结构。

3. 选择几种细胞，用铅笔画出高倍镜下的细胞结构，并标注结构名称。

讨　论

1. 制作临时装片有哪些注意事项？

2. 根据你的观察，植物细胞和动物细胞在结构上有哪些异同？

细胞是生物体的结构和功能单位

细胞是一切生命活动的基本单位，即使对于病毒这样的非细胞生物，也只有寄生在活细胞内，才能进行生命活动。对于单细胞生物而言，一个细胞就是一个完整的生命体，生命活动所需的所有代谢活动如消化、排泄和遗传等，均在单个细胞内进行。在多细胞生物体内，功能相同的细胞聚集在一起，共同执行某一功能，如细长的神经细胞集合成束，传导神经信号；扁平的口腔上皮细胞紧密排列，起到保护作用。同时，每个细胞都具有相对独立的代谢系统，机体各项生理功能的完善离不开单个细胞正常的生命活动。

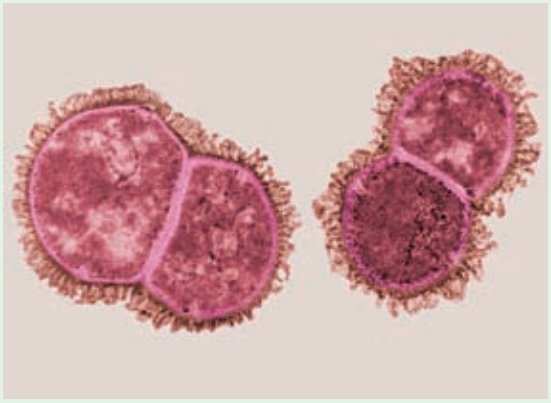
课外读

显微镜的发展历程

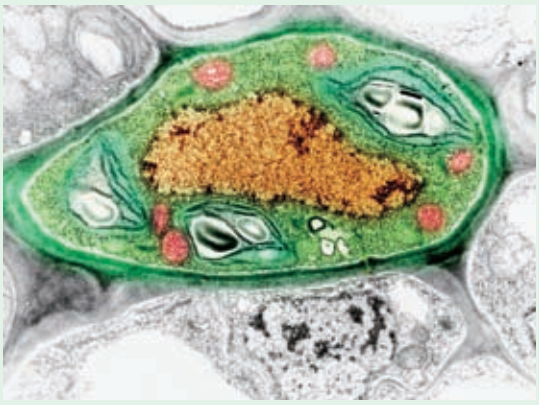
显微镜的分辨率是指能够分辨的相邻两个点之间的最小距离。人眼的分辨率一般是0.2 mm。现今常用的光学显微镜的分辨率可达0.2 μm，可以清晰地看到动、植物细胞。如果需要观测细胞内大部分细胞器及更小的结构，只能借助电子显微镜。电子显微镜简称电镜，是用电子束代替光束，使物质的细微结构在非常高的放大倍数下成像的仪器。电镜的分辨率可达0.2 nm，可以观察到某些原子的排布。我们把电镜下分辨出的细胞结构称为亚显微结构。

显微镜的放大倍数与波长成反比，也就是说，波长越短，放大倍数越大。一般来说，可见光的波长在400～760 nm。电子的波长与电压有关，当电压为50～100 kV时，电子的波长约为5.3×10^{-3}～3.7×10^{-3} nm。由于电子束的波长比光波短得多，德国物理学家恩斯特·阿贝（Ernst Abbe，1840—1905）认为，如果显微镜的成像由电子束代替可见光，就有可能获得更大的放大倍数。1932年，德国工程师恩斯特·鲁斯卡（Ernst Ruska，1906—1988）等人研制了世界上第一台电子显微镜。虽然它当时的放大倍数只有12倍，却证明了在显微镜中可以运用电子束成像。由于电镜表现出巨大的科研和商业价值，吸引了众多科学家和商业机构投入到其研发中，使电镜技术在很短的时间里得到快速发展。1937年，美国科学家詹姆斯·希利尔（James Hillier，1915—2007）和他的研究团队研制出放大7000倍的电镜；鲁斯卡也得到西门子公司的资助，于1938年研制出分辨率达到0.144～0.200 nm的高分辨率电镜。随着技术的不断发展和成熟，电镜进入商业化生产阶段，逐渐成为科研机构必不可少的工具，极大地促进了现代科技的发展。

按照不同的结构和功能，电镜分为透射电镜（TEM）和扫描电镜（SEM）等多种类型。透射电镜因需要电子穿透样品而得名，其成像与光学显微镜类似，可直接获得样本的投影（图2-7）。由于电子穿透力有限，为了获得较高分辨率，需用超薄切片技术获得厚度仅为40～50 nm的样品切片。扫描电镜的电子不需要穿过样品，得到的是物体立体表面形貌（图2-8）。我们有时候会看到关于生物体表面微观形貌的电镜图片，就是扫描电镜拍摄的结果。

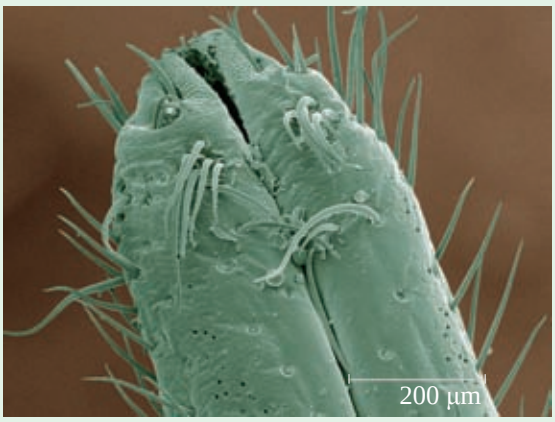


A. 放线菌（33000×）

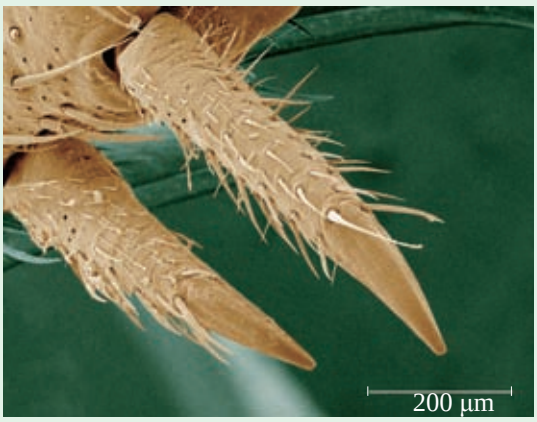


B. 藜草叶片（6000×）

图 2-7　透射电镜图（经后期着色处理）



A. 蝉口器末端局部



B. 蟋蟀足末端局部

图 2-8　扫描电镜图（经后期着色处理）

电镜是通过电子成像，所观察到的图像都是黑白的，我们看到的丰富多彩的电镜照片都是后期着色的结果。另外，由于特殊的原理和技术操作，目前还无法通过电镜观察活的生物样品，也很难看清样品的原貌，所以光学显微镜仍是必不可少的科研工具。

随着科学技术的发展，一些具有特殊功能的显微镜逐渐问世。例如，扫描隧道显微镜（STM）能观测到单个原子在物体表面的排列状态；原子力显微镜（AFM）除了具有原子级的高分辨率外，还可通过设备与样品原子间的作用力测量样品的微观力学性质。

思考与练习

一、选择题

1. 对于细胞学说，恩格斯说：“有了这个发现，有机的有生命的自然产物的研究——比较解剖学、生理学和胚胎学——才获得了巩固的基础。”细胞学说也被称为现代生物学的基石之一。细胞学说的重要意义在于揭示了（　　）

A. 病毒没有细胞结构

B. 生物体结构的统一性

C. 细胞为什么要产生新细胞

D. 植物细胞和动物细胞的区别

2. 某同学用光学显微镜观察菠菜叶的表皮细胞。下列关于显微镜使用方法的叙述，错误的是（　　）

A. 调节载物台，使观察材料位于物镜正下方

B. 高倍镜下转动粗准焦螺旋以快速找到观察材料

C. 先在低倍镜下找到要观察的材料，再转换高倍镜观察

D. 若观察的细胞位于视野的左侧，应将装片向左移动，使其位于视野中央

3. 下列关于细胞的叙述，正确的是（　　）

A. 单细胞生物都是原核生物

B. 自然界中所有细胞的组成物质都相同

C. 多细胞生物的细胞形态与其执行的特定功能有关

D. 多细胞生物的单个细胞可独立进行全部的生命活动

二、简答题

1. 地球上第一个原核细胞约在35亿年前出现，第一个真核细胞大约在17亿年前出现。请比较原核细胞和真核细胞的异同，说明它们之间关键的差异是什么。

2. 以显微技术在细胞结构研究中的作用为例，简要说明科学与技术的关系。

第二节　细胞膜控制细胞与周围环境的联系

本·节·要·点

- 细胞膜的选择透过性
- 细胞膜的流动性
- 细胞膜的结构
- 流动镶嵌模型

细胞膜（cell membrane）也称质膜（plasma membrane），是围绕在细胞外层，将细胞与周围环境区分开的结构。细胞膜是细胞对外界环境的屏障，控制着物质的进出，保证了细胞内部环境的相对稳定，使细胞内的生命活动有序进行。细胞膜的结构是如何与控制物质进出的功能相适应的呢？

活动　通过模拟实验探究膜的透过性

一些膜具有一定大小的孔径，水等小分子和离子可以自由通过，而蛋白质、淀粉等大分子则无法通过，这种膜称为半透膜。透析膜就是一种半透膜。如果我们将淀粉溶液和葡萄糖溶液分别装入透析袋里（图2–9），那么，透析膜对两者的通透情况是否相同？细胞膜是否具有类似特性？

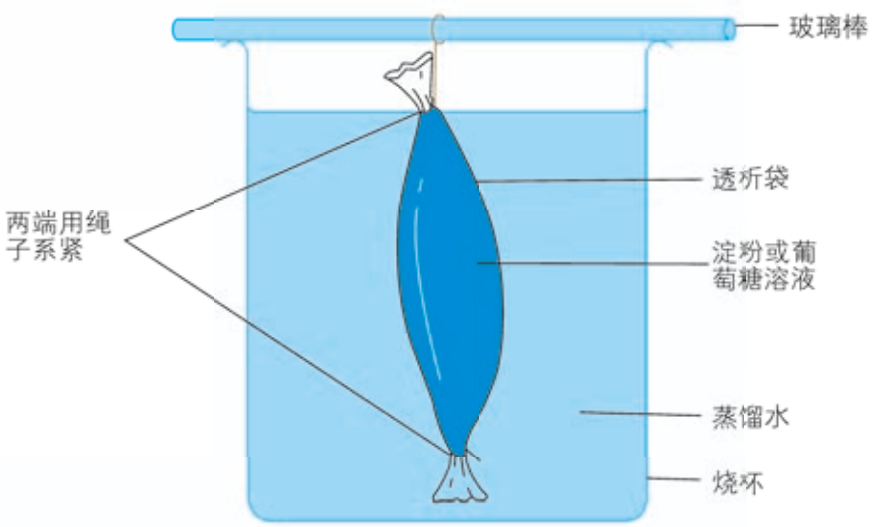


图2–9　透析膜实验装置示意图

目的要求

1. 尝试模拟实验的方法。

2. 推测细胞膜具有选择透过性。

材料用具

淀粉溶液，葡萄糖溶液，蒸馏水，碘–碘化钾溶液，本尼迪特试剂，透析袋，细线，烧杯，玻璃棒等。

方法步骤

1. 取A、B两个透析袋，将等量的淀粉溶液和葡萄糖溶液分别装入A、B透析袋中。透析袋两端用细线系紧。

2. 将透析袋一端的细线绑在玻璃棒中央，透析袋置于烧杯内，玻璃棒横置于烧杯上方。

3. 向烧杯内注入等量蒸馏水，直至淹没透析袋。向A组透析袋外面的蒸馏水中加入适量碘–碘化钾溶液。

4. 静置12 h。观察A组实验现象；取B组透析袋外面的蒸馏水2 mL，加入2 mL本尼迪特试剂，热水浴2～3 min，观察颜色变化。

讨　论

1. A组加入碘–碘化钾溶液后，烧杯内蒸馏水呈现什么颜色？静置12 h后，颜色又如何？原因是什么？透析袋内淀粉溶液颜色有何变化？

2. A组实验说明了什么？

3. 本尼迪特试剂检测的现象是什么？B组实验说明了什么？

葡萄糖分子和碘可以通过透析膜，而淀粉分子无法通过。所以，透析膜对分子的进出具有半透性。细胞膜是细胞的边界，将细胞内与外界环境分隔开，是外界物质进入细胞的屏障。所以，可以推测细胞膜对物质的进出具有选择透过性。

细胞膜具有选择透过性

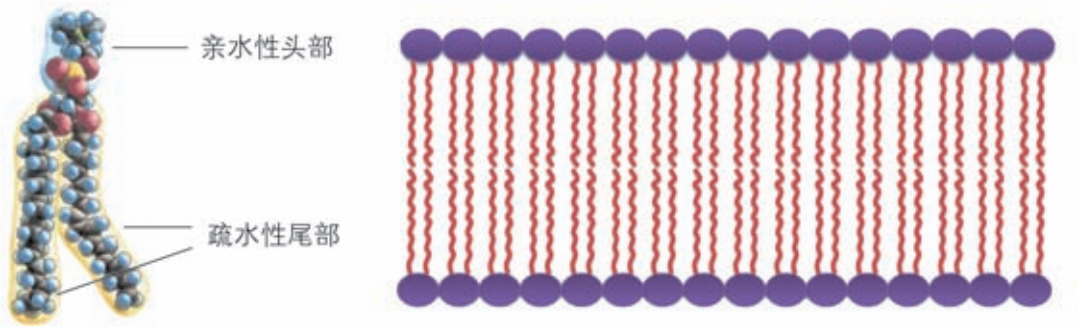
细胞膜可以控制物质进出，选择性地吸收营养物质和排出代谢产物，保持细胞内生化反应有序进行。这一特性称为细胞膜的选择透过性（selective permeability）。例如，海带细胞能源源不断地从周围的海水中吸收碘，使得碘在细胞内的浓度远高于周围海水；人体组织细胞将胞外K^+移入膜内，同时将胞内Na^+移出膜外，使得胞内K^+浓

度约为胞外的30倍，胞外Na^+浓度约为胞内的12倍。细胞膜为什么具有这样的功能？

细胞膜主要由磷脂和蛋白质构成

细胞膜主要由磷脂和蛋白质组成，除此之外，还含有少量糖类。动物细胞膜中还含一定量的胆固醇。

磷脂　磷脂是一类含有磷酸的脂类（图2-10A），磷脂分子含有C、H、O、P四种元素，有些磷脂还含有N元素。其一端含有P元素，形成磷脂的“头”，具有亲水性，也称极性；另一端含有2条长长的脂肪酸链，形成磷脂的2个“尾”，具有疏水性，也称非极性。正是由于具有这样特殊的结构，在水中，不同磷脂分子疏水性的尾部相对排列，内部形成一个疏水的环境；而亲水性的头部则朝向外侧，与水接触。所以，磷脂分子在水中可形成双层结构（图2-10B），称为磷脂双分子层（bilayers），构成了细胞膜的基本骨架。



A. 结构示意图　　B. 磷脂双分子层

图2-10　磷脂分子

小资料　肥皂中的两性分子

生活中，我们手上粘上油渍等污渍，很难用水冲洗干净。这时我们便会在手上“打”上肥皂，轻搓几下，再用水冲洗，就很容易洗干净了。肥皂的主要成分与磷脂结构类似，是一端具有亲水性，另一端具有疏水性的两性分子。洗涤时，肥皂中两性分子的疏水端与油脂结合，将油脂包围起来，亲水端与周围的水分子结合（图2-11），这样，被包裹的油脂在水中分散并形成乳浊液，再经过摩擦、振动，就被水冲洗掉了。这就是肥皂等去污剂去污的基本原理。

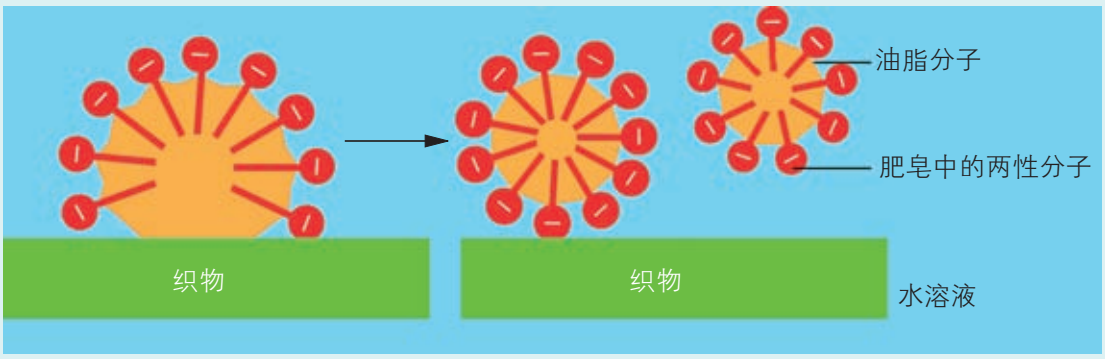


图 2–11　肥皂去污原理示意图

膜蛋白　细胞膜上的蛋白质统称为膜蛋白。膜蛋白也和磷脂分子一样，有水溶性部分和脂溶性部分。

通常细胞的功能越多，其膜蛋白的种类和数量就越多。有些膜蛋白选择性地吸收或排出特定物质，控制其进出细胞，这类膜蛋白称为转运蛋白。例如，细胞吸收离子、葡萄糖、氨基酸等营养物质都需要通过特定的转运蛋白来完成。有些膜蛋白催化特定化学反应，例如，小肠上皮细胞的某些膜蛋白可促进食物中营养物质的消化分解。同一组织的相邻细胞间通过某些膜蛋白紧密连接在一起。某些膜蛋白接收外界信息或刺激，激活细胞内相应生理生化反应，在细胞与外界的信息交流和细胞识别中发挥重要作用，如胰岛素受体。

细胞膜的功能主要通过膜蛋白来实现。

小资料　细胞外被

细胞外被（cell coat）又称糖萼（glycocalyx），存在于细胞膜外表面，由多糖与细胞膜中的蛋白质或脂质结合而成，是细胞膜的正常成分。细胞外被不仅对细胞膜起保护作用，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细胞，然后混合培养。结果发现，只有同种海绵的细胞才能结合在一起。这说明细胞能相互识别。通过对细胞表面成分的分析，发现两种海绵细胞表面的糖蛋白有差异，其差异主要表现为糖类的不同。

胆固醇　胆固醇存在于动物细胞膜中，占细胞膜所有脂质的10%～30%。植物细胞膜一般不含胆固醇。在动物细胞中，胆固醇能保持细胞膜的稳定性。

胆固醇分子主要位于磷脂双分子层的疏水环境中，具有一个很小的亲水基团，与磷脂头部连接（图2-12）。胆固醇对细胞膜中磷脂分子的活动具有双重调节作用。一方面，胆固醇通过与磷脂脂肪酸链的相互作用，具有限制其运动、增加其有序性的作用；另一方面，也能将磷脂分子分隔开以增强其运动性。这种双重的调节作用取决于环境和胆固醇的数量。例如，环境温度较低时，胆固醇有助于保持细胞膜的柔韧性；细胞膜外侧磷脂分子中胆固醇的含量往往高于内侧，因此内侧的磷脂活动性较弱。

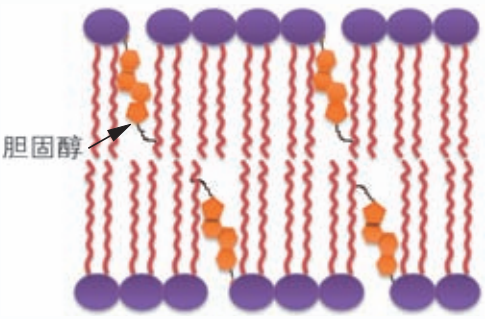


图2-12　磷脂双分子层中的胆固醇

除细胞膜外，细胞内还存在其他的膜结构，它们构成了细胞核等多种结构的边界。细胞内所有的膜称为生物膜（biomembrane）。虽然细胞内不同部位的膜功能有所不同，但它们都具有相似的物质组成和空间结构。

生物膜具有流动性

一些实验表明，生物膜并不是刚性的固态结构。1970年，科学家进行了著名的人鼠细胞融合实验（图2-13）：先通过一些方法使人和小鼠的细胞融合成一个细胞，再用绿色荧光染料标记小鼠细胞表面的蛋白质分子，用红色荧光染料标记人细胞表面的蛋白质分子。开始时，融合的细胞一半呈现绿色，一半呈现红色。在37 ℃下培养40 min后，两种颜色的荧光在整个细胞中都呈均匀分布。这表明细胞膜的蛋白质是呈流动状态的。

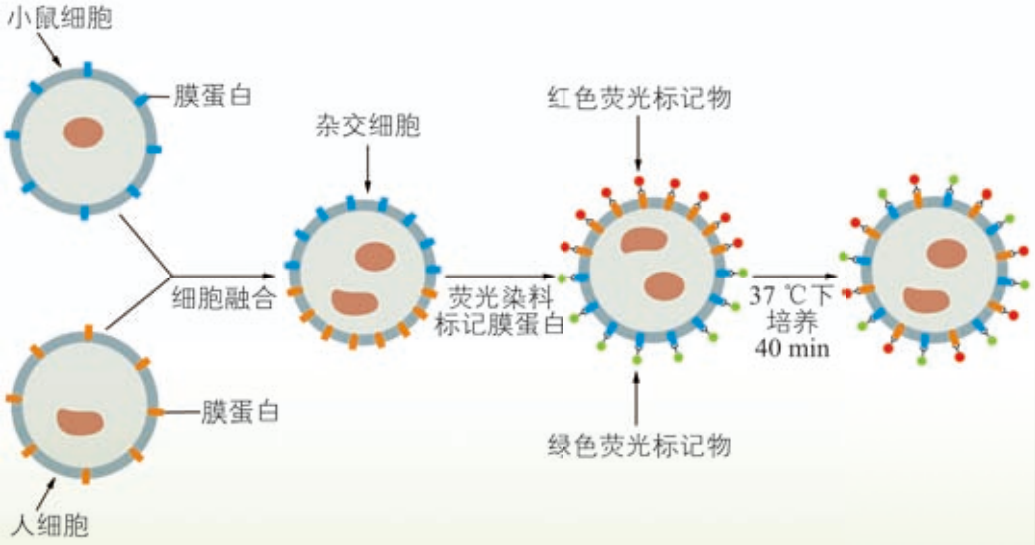


图2-13　荧光标记的小鼠细胞和人细胞融合实验

1972 年，辛格（Seymour Jonatham Singer，1924—2017）和尼克尔森（Garth L. Nicolson，1943—　）根据多个实验的证据提出生物膜的流动镶嵌模型（图2-14），奠定了生物膜结构和功能的基础。该理论主要包括：

1. 磷脂双分子层构成了生物膜的基本骨架。

2. 蛋白质分子有的镶在磷脂双分子层表面，有的全部或部分嵌入磷脂双分子层中，有的贯穿于整个磷脂双分子层，体现了膜内外结构的不对称性。

3. 磷脂和蛋白质位置不是固定的，生物膜具有一定流动性。

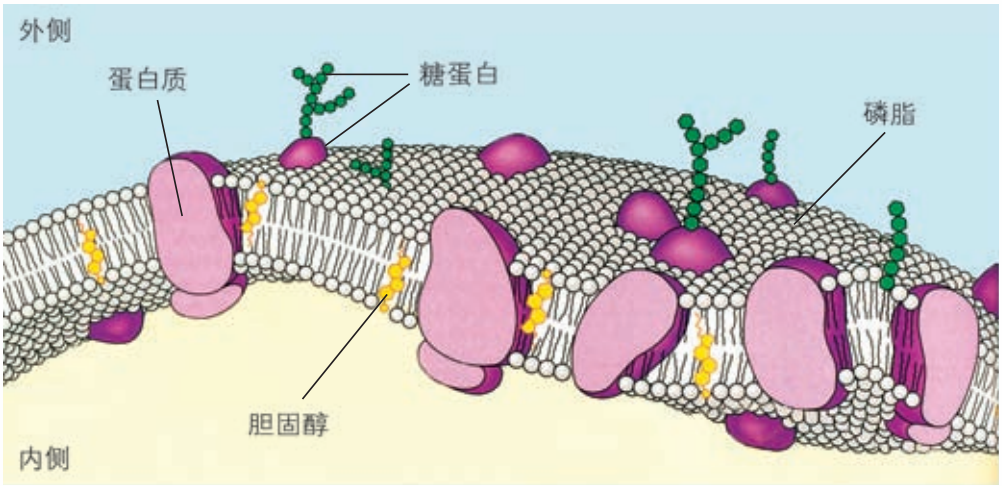


图 2-14　细胞膜的流动镶嵌模型

磷脂双分子层中间的疏水层通常情况下呈液态，磷脂分子在膜中的位置并不固定，使得磷脂分子及附着于其上的蛋白质分子发生运动。因此，生物膜具有一定的流动性。流动性是生物膜重要的结构特性，与生物膜进行能量转换、物质转运、信息传递和分裂等功能密切相关。

细胞壁是植物、真菌和大多数原核细胞的外层结构

细胞壁是一些细胞的最外层结构。植物的细胞壁主要由纤维素组成，木材、纸张、棉、麻的主要成分都是植物细胞壁中的纤维素。此外，植物细胞壁还含有果胶等多种物质。真菌和大多数原核细胞同样具有细胞壁，但组成物质和结构与植物不同。动物细胞没有细胞壁。

小资料　膳食纤维

谷物、蔬菜、水果等食物中所含的纤维素被称为膳食纤维，它虽然并不能被人体消化吸收，却有着重要的生理作用。膳食纤维吸水性很强，吸水后在肠胃中与其他食物交织在一起，减缓血糖等营养物质的吸收，避免血糖迅速升高，有利于维持血糖平衡。另外，吸水后的膳食纤维促进肠道蠕动，增加粪便体积，减少便秘的发生。所以，在日常生活中，适当增加膳食纤维的摄入，可减少肥胖、糖尿病、高血脂和肠道方面疾病的发生。

细胞壁具有全透性，水、离子和其他分子都极易通过细胞壁的空隙，因此细胞壁与细胞的选择透过性无关。

细胞壁的重要作用是保护细胞，维持细胞形态，加强细胞的机械强度。参天大树之所以能挺立，主要是靠死细胞的细胞壁支撑。此外，细胞壁也参与细胞间的相互粘连，是激素等化学信号传递的介质和通路。

课外读　生物膜的研究历程

很久以前，人们在研究细胞内渗透压时就已经证明了细胞存在一层透明的边界。伴随着技术的革新，尤其是电子显微镜的应用，细胞膜的超微结构逐步展现在人们眼前。

1895 年，欧文顿（E. Overton）用 500 多种化学物质对植物细胞的通透性进行了上万次实验，发现细胞膜对不同物质的通透性不一样：凡是可以溶于脂质的物质，比不能溶于脂质的物质更容易通过细胞膜进入细胞，于是他提出了“膜由脂质组成”。

1925 年，戈特（E. Gorter）和格兰德尔（F. Grendel）用有机溶剂抽提了人红细胞细胞膜的脂质成分后，将其铺展在水面，测出其面积约为所有红细胞表面积的 2 倍，并推测细胞膜由双层脂质分子构成。随后，丹尼利（J. Danielli）和戴维森（H. Davson）发现细胞膜的表面张力比油–水界面的张力低得多，推测出膜中含有蛋白质，从而提出了“蛋白质–脂质–蛋白质”的“三明治”模型

（图2-15），认为细胞膜是由双层脂质分子及其内外表面附着的蛋白质共同构成。

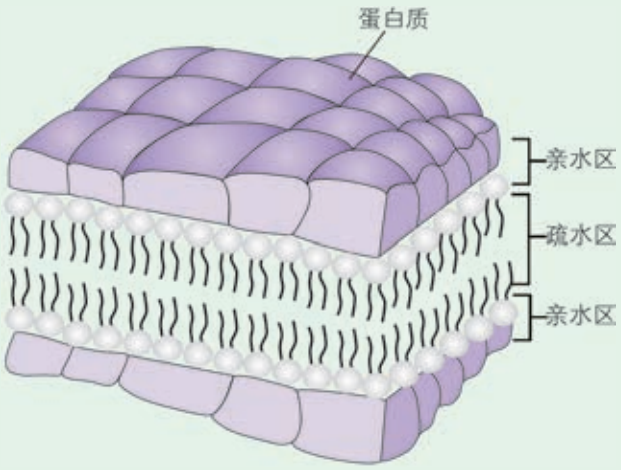


图2-15　生物膜的“三明治”模型

1959年，罗伯逊（J. D. Robertson）根据电镜超薄切片中细胞膜展现的暗-亮-暗三条带（图2-16），推测两边暗的条带是蛋白质，中间亮的部分是脂双层分子。这一推测使越来越多的人认为生物膜的“三明治”模型是正确的。之后，罗伯逊在“三明治”模型的基础上提出了单位膜模型，推断所有的生物膜都由蛋白质-脂质-蛋白质构成。“三明治”模型和单位膜模型的不足之处是把脂质看成静态的刚性结构。许多实验如细胞融合，证明生物膜中的蛋白质是可流动的。之后的冰冻蚀刻实验观察到细胞膜的断裂面有许多镶嵌在膜上、深浅不一的蛋白质颗粒（图2-17）。

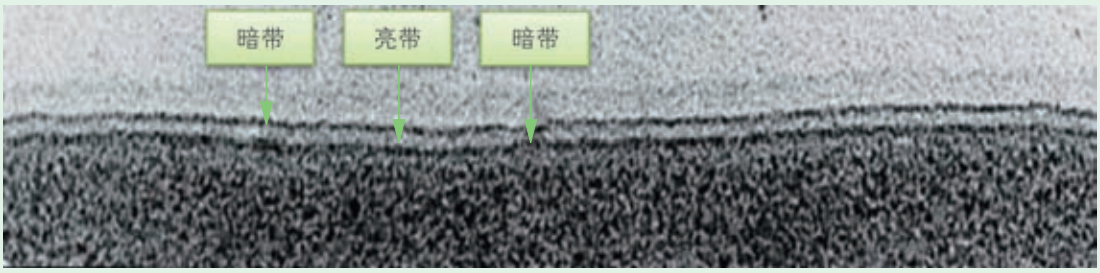


图2-16　电镜显示的细胞膜结构

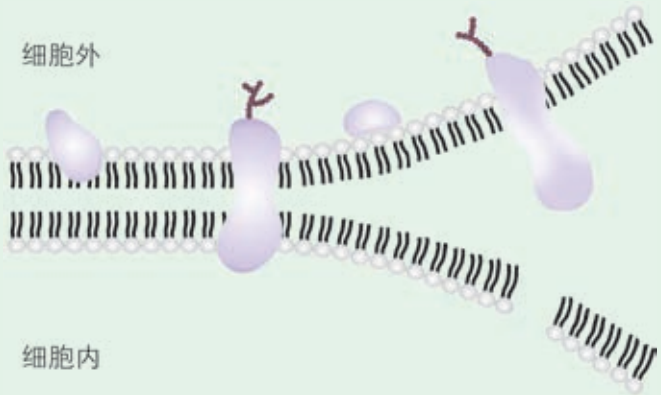


图2-17　冰冻蚀刻实验观察到的细胞膜断裂面示意图

在此基础上，辛格和尼克尔森于1972年提出生物膜的流动镶嵌模型，强调膜结构的流动性和不对称性，得到许多实验的支持，获得一致认可。随后，有学者在流动镶嵌模型的基础上，提出生物膜的脂质可从流动性变为结晶态，也就是从无序状态变为有序状态，而这一过程是可逆的，具有这种特性的脂质在生物膜上呈小片的点状分布，这就是晶格镶嵌模型。另有学者提出生物膜是由具有不同流动性的板块镶嵌而成的板块镶嵌学说。这些都可以看作是对流动镶嵌模型的补充和发展。

20世纪80年代，有人提出生物膜有许多胆固醇聚集的微结构区，就像水面上漂浮的竹筏一样，称为脂筏模型（图2-18）。脂筏位于生物膜的外侧，胆固醇与磷脂相互作用，形成了脂筏的基本结构。一些膜蛋白与脂筏表面的化学基团结合，被“锚定”在一起，构成了生物膜上分子排列紧密、结构相对稳定的特定区域。所以，脂筏像个蛋白质停泊平台一样，有助于蛋白质执行相应功能。这一模型可以解释生物膜的某些性质和功能，但仍需要更多的证据支持。

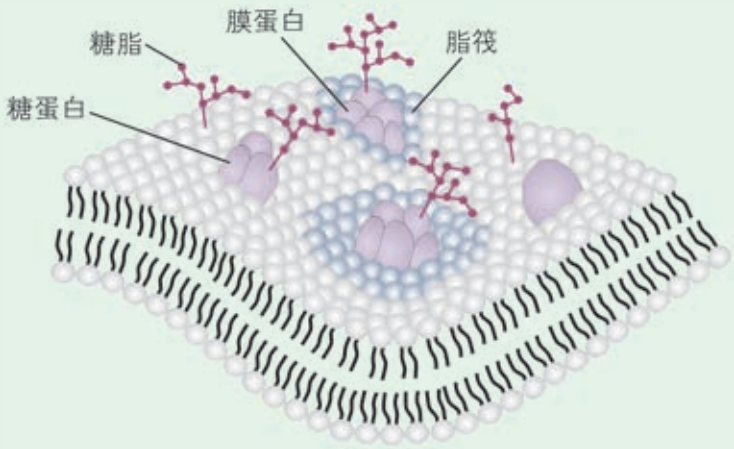


图2-18　生物膜的脂筏模型示意图

思考与练习

一、选择题

1. 科学家把细胞膜与细胞的其余部分脱离，并将细胞膜冰冻，然后将其从疏水层撕裂。利用这种技术制作电子显微镜观察材料，发现撕裂面上有很多颗粒。由以上实验可得出的结论是（　　）

A. 细胞膜具有一定的流动性

B. 蛋白质是细胞膜的重要成分

C. 磷脂双分子层是细胞膜的基本骨架

D. 蛋白质分子嵌插或贯穿于磷脂双分子层

2. 下列各项不属于细胞膜功能的是（　　）

A. 保护细胞内部结构　　B. 控制物质出入细胞

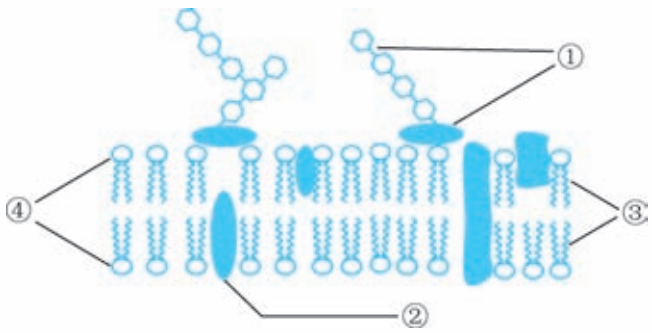
C. 进行细胞间信息交流　　D. 新陈代谢的主要场所

3. 变形虫能伸出伪足摄取食物，动物体内巨噬细胞能吞噬病原体。这些生理活动的完成都依赖于细胞膜的（　　）

A. 流动性　　B. 不对称性

C. 保护性　　D. 选择透过性

4. 下图是细胞膜的亚显微结构示意图，鉴别细胞膜的内外侧的有效依据是（　　）



A. ①　　B. ②　　C. ③　　D. ④

二、简答题

1. 胆固醇在人类健康中一直是一个热点问题，因为高水平的胆固醇会导致血管中的血流速度减慢。生活中很多人倡导食用无胆固醇的食品，对这种行为你是怎样看待的？

2. 在细胞膜的结构中，蛋白质位于细胞膜的表面或镶嵌于其中，磷脂分子和蛋白质分子能在膜的两侧移动。请说明：为什么磷脂分子的极性头部面向细胞膜的内外两侧？

第三节　细胞质是多项生命活动的场所

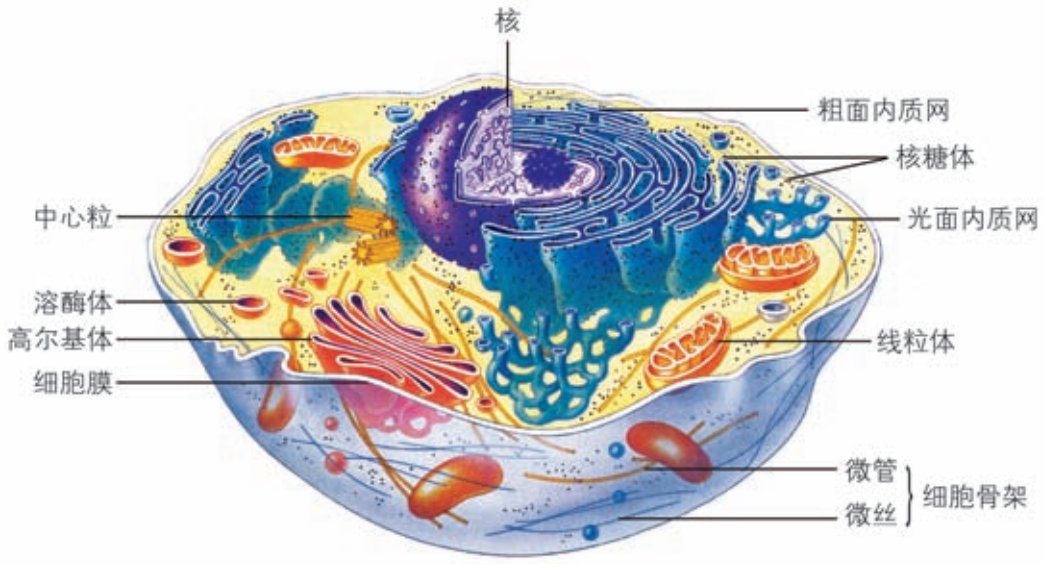
本·节·要·点

- 细胞器
- 细胞溶胶

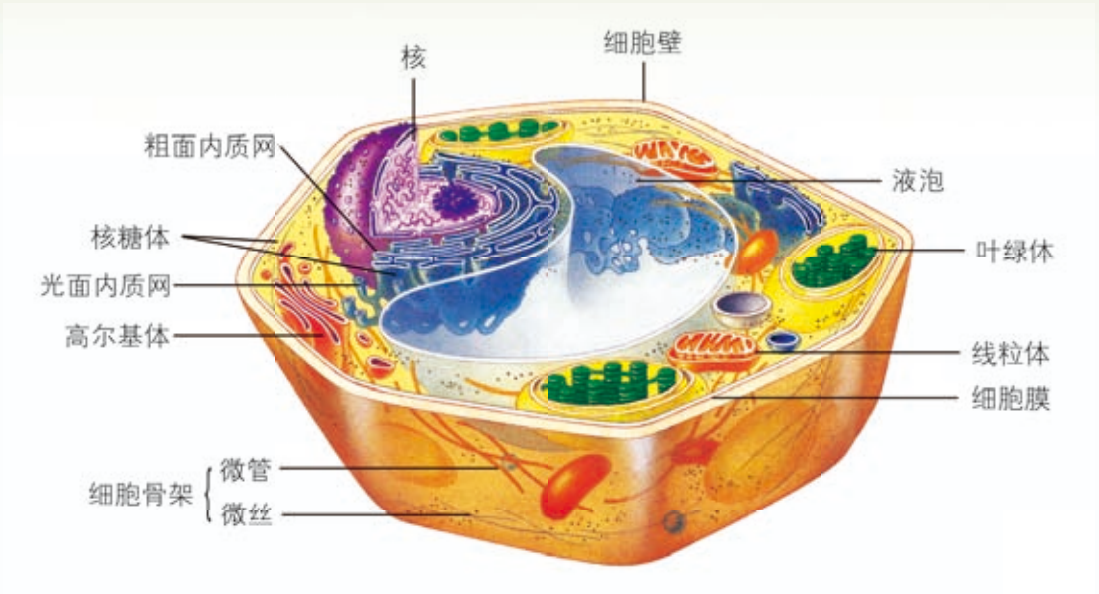
细胞质（cytoplasm）是细胞进行生命活动的主要场所，正常状态下为透明的胶状物，内含细胞新陈代谢所需的多种营养物质。细胞质包含多种细胞器和细胞溶胶。各种细胞器的主要功能是什么？它们的结构如何与其功能相适应？各种细胞器又是如何分工合作的？

细胞质中有多种细胞器

细胞器（organelle）分布于细胞质内（图2–19），具有特定的形态结构和功能，在细胞生命活动中发挥着重要的作用。



A. 动物细胞

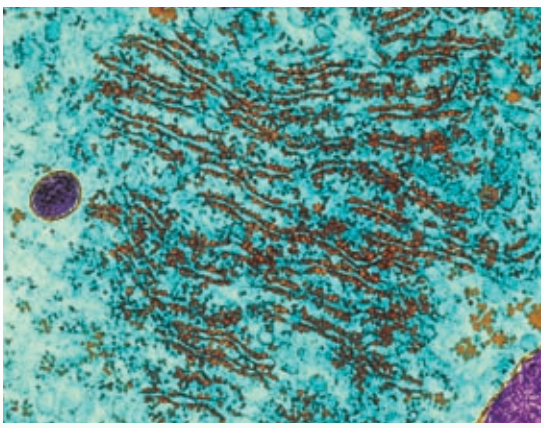


B. 植物细胞

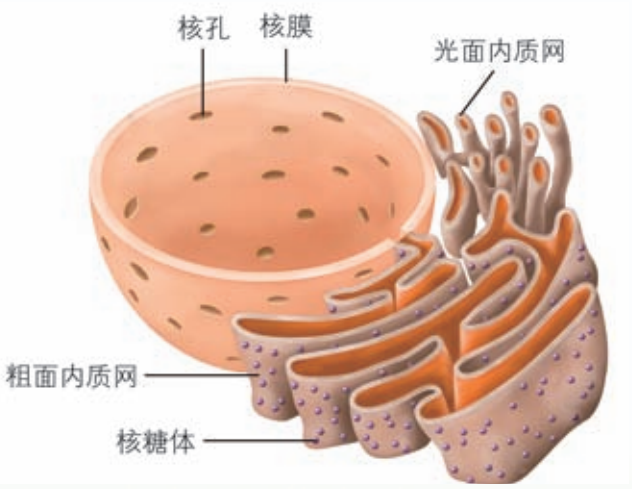
图 2-19　细胞亚显微结构模式图

内质网和核糖体　科学家用电子显微镜观察小鼠细胞时，发现细胞质内具有极其发达的网状结构，称之为内质网（endoplasmic reticulum，ER）。内质网（图 2-20）是由一系列片状的膜囊和管状的腔组成，向内连接细胞核的核膜，向外连接细胞膜，并与高尔基体相互联系，构成了细胞内庞大的物质运输通道。

内质网有两种类型，即光面内质网（smooth ER）和粗面内质网（rough ER）。光面内质网常为管状，是运输蛋白质和合成脂质的重要场所。构成生物膜的磷脂和胆固醇几乎全部由光面内质网合成。另外，某些细胞的光面内质网非常发达并具有特殊功能。例如，肝细胞光面内质网有解毒功能，一些内分泌细胞的光面内质网可以合成类



A. 透射电镜下的粗面内质网与附着于其上的核糖体（58000×，经后期着色处理）



B. 内质网结构模式图

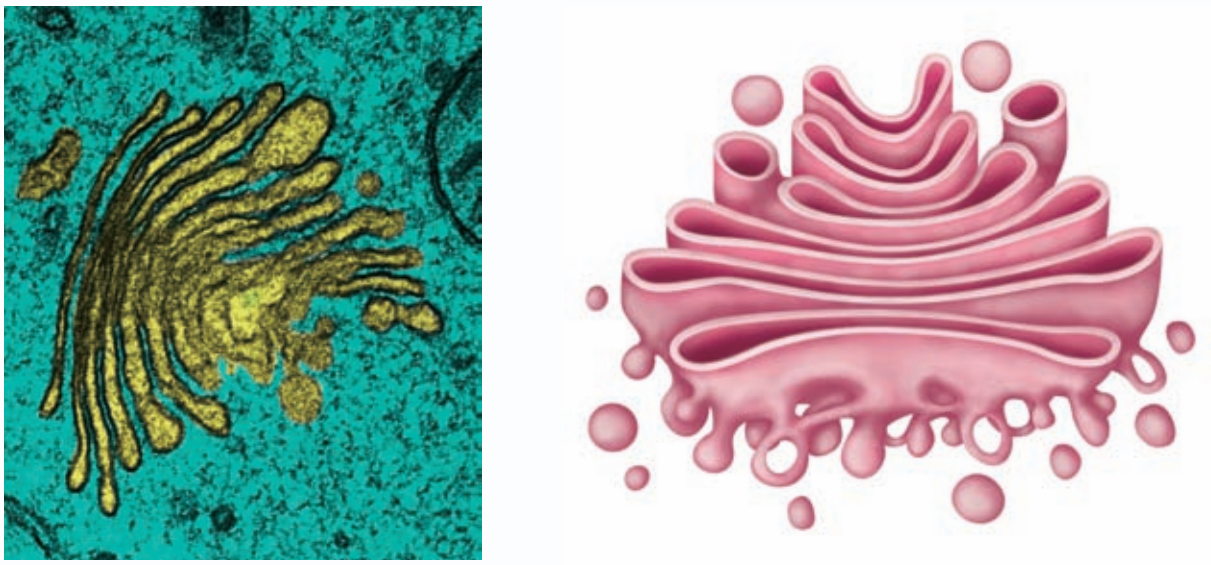
图 2-20　内质网

图 2–21　核糖体结构模式图

固醇激素。粗面内质网多呈扁囊状，因表面附着许多小颗粒而得名。这些小颗粒称为核糖体（ribosome），由核糖体合成的蛋白质进入内质网，进一步被加工和运输。

核糖体是一种无膜的细胞器（图 2–21），由 RNA 和蛋白质构成，是合成蛋白质的场所。核糖体有两种存在形式，合成的蛋白质功能有所不同：游离于细胞溶胶的核糖体合成的蛋白质，通常用于细胞自身或构成自身结构，如红细胞中的血红蛋白、肌细胞的肌纤维蛋白等；附着于粗面内质网等结构的核糖体合成的蛋白质，被运输至胞外或细胞的其他部位。核糖体在细胞中的位置并不是固定不变的，两种存在形式可以相互转化。

高尔基体　高尔基体（Golgi apparatus）是意大利医生高尔基（Camillo Golgi，1843—1926）在 1898 年观察神经细胞时发现的，由一系列扁平膜囊和大小不一的囊泡构成（图 2–22）。



A. 透射电镜下的高尔基体（96000×，经后期着色处理）　　B. 高尔基体结构模式图

图 2–22　高尔基体

高尔基体主要对由内质网运入的蛋白质进行加工、分类、包装和运输。这类蛋白质主要有三个去路：一些蛋白质通过囊泡被分泌至胞外，例如某些激素、抗体、消化酶等；一些蛋白质通过囊泡被运至细胞膜，成为膜蛋白；还有一些水解酶被包裹在膜囊或囊泡中，与高尔基体脱离，形成溶酶体。此外，在植物细胞中，高尔基体合成果胶物质，参与细胞壁的构建。

溶酶体　溶酶体（lysosome）几乎存在于所有动物细胞中。溶酶体内含 60 种以上

的水解酶，能催化多糖、蛋白质、脂质、DNA和RNA等物质的降解。

溶酶体的主要功能是进行细胞内消化，它能消化细胞从外界吞入的颗粒、自身衰老的细胞器和碎片。细胞从外界吞入物质后形成吞噬泡，吞噬泡与溶酶体融合，其中的水解酶便将吞噬泡中的物质降解（图2-23）。溶酶体可将消化作用局限在特定结构中，这对保证细胞中其他结构的完整性具有重要意义。

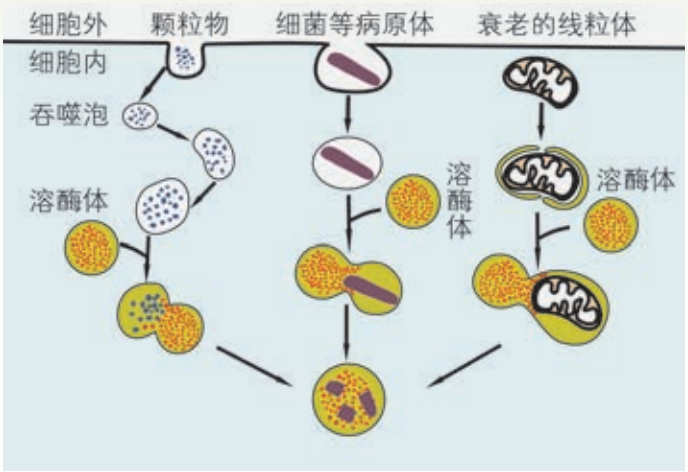
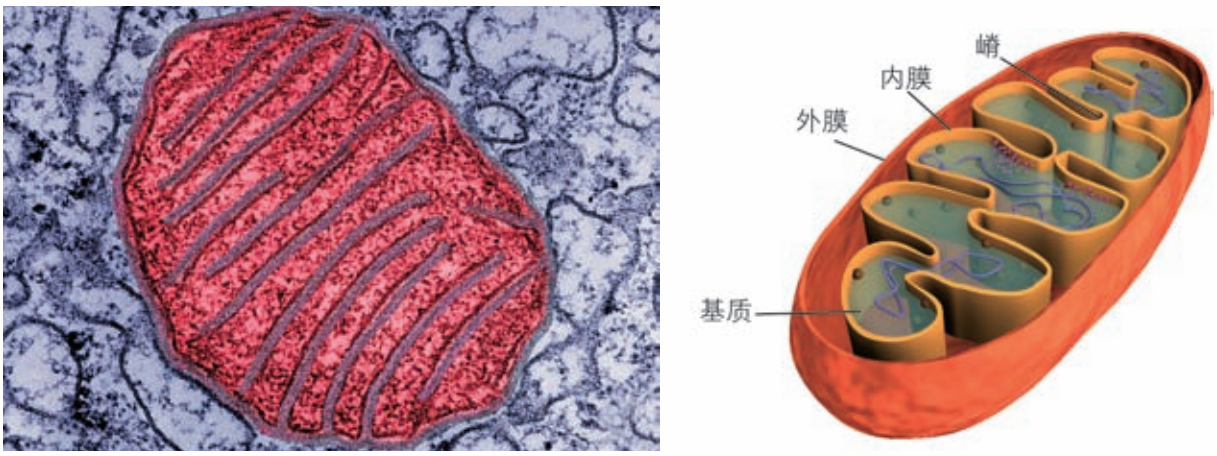


图2-23　溶酶体的消化作用

线粒体　线粒体（mitochondria）（图2-24）是真核细胞非常重要的细胞器，一般呈颗粒状或短杆状，相当于一个细菌的大小，由内、外两层膜构成。外膜平整，内膜向内凹陷形成嵴（cristae）。嵴的形成有助于增大内膜的表面积，有利于生化反应的进行。内、外膜之间及内部是液态的基质，富含多种酶。线粒体基质中具有DNA、RNA和核糖体，能合成一部分自身所需的蛋白质。

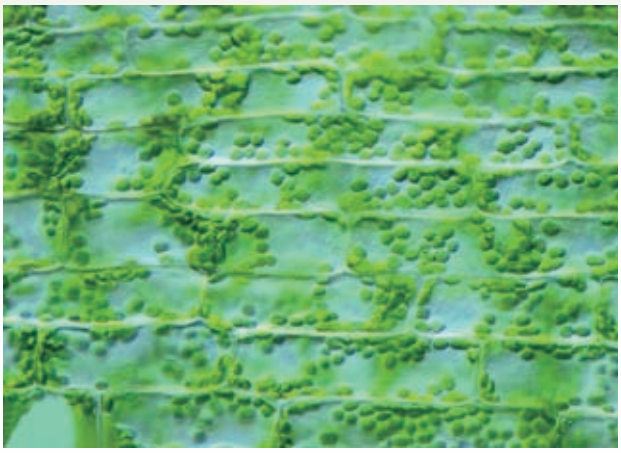
线粒体是细胞能量代谢中心，是需氧呼吸的主要场所。具体内容在第三章第四节中详细介绍。



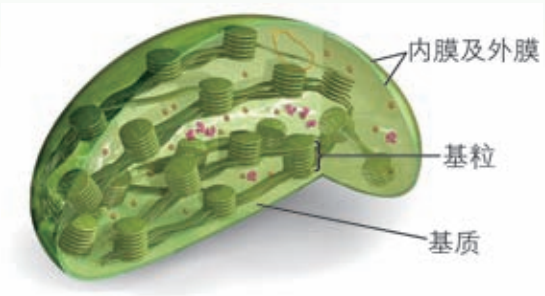
A. 透射电镜下的线粒体（14000×，经后期着色处理）　　B. 线粒体结构模式图

图2-24　线粒体

叶绿体　叶绿体（chloroplast）（图2-25）是存在于植物细胞中进行光合作用的细胞器，呈球形或椭球形，具有双层膜结构，内部是液态的基质。基质中具有复杂的膜结构，称为类囊体，与光合作用有关的色素附着于这些膜上。类囊体可堆叠成基粒。叶绿体基质中也具有DNA、RNA和核糖体。关于叶绿体和光合作用的具体内容在第三章第五节中详细介绍。



A. 光镜下伊乐藻细胞的叶绿体（160×）

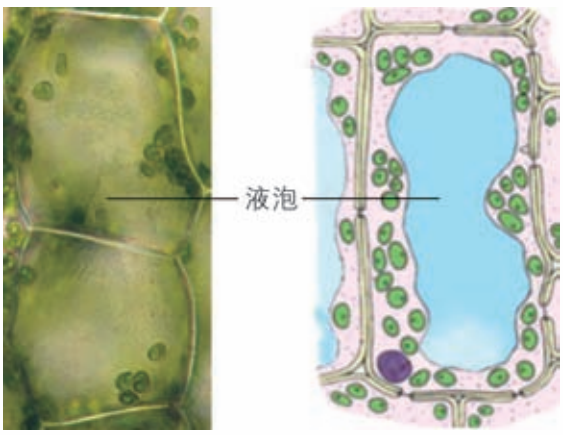


B. 叶绿体结构模式图

图 2–25　叶绿体

液泡　液泡（vacuole）是由单层膜构成的充满水溶液的泡状细胞器，主要存在于植物细胞中（图 2–26）。植物根尖、茎尖等部位刚分裂形成的细胞中，液泡很小，但数量很多。随着细胞逐渐成熟，小液泡融合成大液泡，并占据细胞中央，细胞质和细胞核都被挤到四周，紧贴着细胞膜。具有中央大液泡是成熟植物细胞的显著特征。

植物细胞液泡中的水溶液称为细胞液，含有无机盐、糖类、氨基酸、色素等。液泡中的色素使某些植物的花、叶、果实呈现不同的颜色。液泡中的细胞液为植物细胞储存水分和营养物质，调节细胞渗透压平衡、酸碱平衡、离子平衡，维持细胞正常形态。液泡还富含水解酶，能吞噬衰老的细胞器，其作用与动物细胞的溶酶体相似。所以，液泡对维持植物细胞正常生命活动具有重要的意义。



A. 光镜下的大液泡（100×）　　B. 大液泡示意图

图 2–26　伊乐藻叶肉细胞内的大液泡

中心体　中心体是一种无膜结构的细胞器（图 2–27），由两个空间相互垂直的中心粒（centriole）及其周围物质组成。每个中心粒包含由蛋白质构成的若干组管状结构。

中心体主要存在于动物细胞和低等植物细胞中，在细胞增殖中起重要作用。

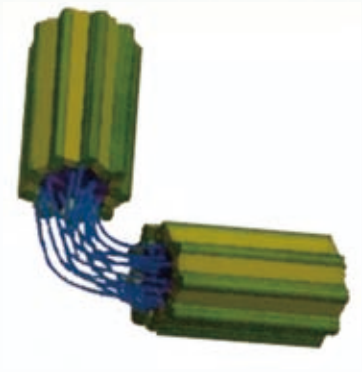


图2–27　中心体结构模式图

活 动　观察叶绿体和细胞质流动

胞质环流是植物细胞的正常生理活动，它对于促进细胞代谢具有重要意义。例如，胞质流动使叶绿体移动到光照充足的位置进行光合作用；不断分配各种营养物质，使其在细胞内均匀分布，促使基质内的一系列代谢反应高效有序地进行。

适合观察胞质环流的实验材料种类很多，例如，百合花药萌发的花粉管，向日葵舌状花花冠的表皮，新鲜大白菜内层叶片中脉处的表皮，藓类的小叶片等。黑藻叶片小而薄，叶肉细胞的叶绿体大而清晰，是观察叶绿体和胞质环流的好材料。

目的要求

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

材料用具

黑藻，显微镜，载玻片，盖玻片，镊子，培养皿，台灯，清水等。

方法步骤

1. 预处理：将黑藻放在光照充足、温度适宜的条件下培养。
2. 取材：用镊子从黑藻新鲜枝条上取一片幼嫩的小叶。
3. 制片：在载玻片中央滴一滴清水，将小叶放入其中，盖上盖玻片，制作临时装片。
4. 观察：在低倍镜下找到叶肉细胞，转换高倍镜观察叶绿体形态、颜色、

分布和运动。

讨　论

1. 描述叶绿体的形态和在细胞中的分布。
2. 观察到的叶绿体是如何移动的？
3. 如果你看到细胞内的叶绿体并没有移动，尝试解释其原因。
4. 胞质环流对于活细胞有什么意义？

建议活动　探究黑藻细胞胞质环流的最适温度

黑藻细胞是观察胞质环流很好的材料，但我们并不能在每次实验中都能获得理想的观察效果。在给予充足光照的前提下，温度是否影响黑藻细胞胞质环流的观察效果？如果是，在什么温度下观察效果最好？

目的要求

探究黑藻细胞胞质环流的最适温度。

探究问题

温度对黑藻细胞胞质环流有什么影响？

活动提示

1. 如何使黑藻接受持续而稳定的光照？
2. 如何控制黑藻生长的温度？
3. 黑藻在不同温度下发生胞质环流的程度，可通过观察多个视野一定数目的细胞，统计发生胞质环流的细胞所占比例来表示。

讨　论

1. 实验中有哪些无关变量？如何控制？
2. 查阅黑藻生活习性，选择合适的温度范围设置5～6组实验。可通过实验确定适宜温度的大致范围，继而缩小温差，得出较精确的结论。
3. 汇总全班各实验小组的数据，估测出黑藻细胞发生胞质环流的最适温度。

细胞溶胶是细胞代谢的主要场所

细胞溶胶（cytosol）又称细胞质基质（cytoplasmic matrix），是细胞内除去细胞器以外的胶状物质。通常情况下，细胞溶胶的含水量占细胞总体积的70%左右，但多数水分子以结合水的形式附着于蛋白质等大分子表面，只有部分水分子是游离的，所以细胞溶胶是一种黏稠的胶体。细胞溶胶含有丰富的蛋白质，还含有糖类、氨基酸、无机盐等多种营养物质，是细胞与外界环境、细胞质与细胞核及细胞器之间物质运输、能量交换和信息传递的重要介质。

细胞溶胶也是许多代谢反应的重要场所。例如，真核生物的需氧呼吸就是在细胞溶胶和线粒体内进行的；细胞内的许多蛋白质都是在细胞溶胶中游离核糖体上合成，继而分别转运到细胞核、叶绿体、线粒体等结构中，也有些蛋白质成为细胞溶胶中一些结构的组成成分。此外，细胞溶胶还参与某些脂质的合成、蛋白质的加工和降解、大分子物质和细胞器的移动等。细胞溶胶所承担的功能往往不是孤立单一的，而是与细胞内其他结构相互配合，协同完成各项生命活动。

细胞骨架维持细胞形态并控制细胞运动和胞内运输

细胞骨架（cytoskeleton）（图2-28）存在于细胞质中，是由蛋白质纤维交错连接的网络结构。就像骨骼对于人的作用一样，细胞骨架给细胞提供一个支架，在维持细胞形态、胞内运输、变形运动等方面发挥着重要的作用。

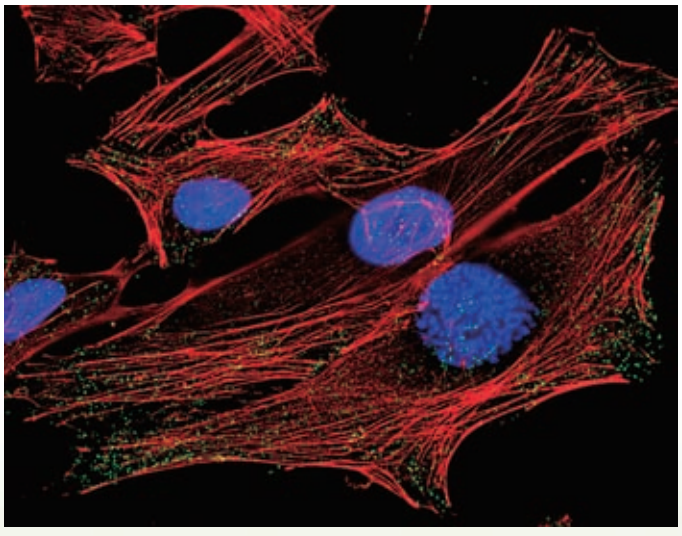


图2-28　荧光显微镜下海拉细胞的细胞骨架（1200×）

微丝（microfilament）和微管（microtubule）是构成细胞骨架的重要结构。微丝是一种纤维，具有多种功能，它们不仅起支撑、维持细胞形态的作用，还参与细胞运动、植物细胞的细胞质流动与肌肉细胞的收缩等一系列生理功能。微管是一种管状结构，中心体、细胞分裂时形成的纺锤体等结构都是由微管构成的。大部分微管是一种暂时性的结构，可以快速解体和重排，在细胞器等物质和结构的移动中发挥重要作用，如线粒体和囊泡就是沿微管移动的。

课外读　细胞自噬

2016年度诺贝尔生理学或医学奖被授予了来自日本东京工业大学的分子细胞生物学家大隅良典（Yoshinori Ohsumi，1945—　），表彰他在阐述细胞自噬机制方面所做出的杰出贡献。

自噬（autophagy）是细胞在溶酶体的参与下降解细胞自身物质的过程。细胞中由内质网等结构形成双层膜的膜泡，并逐渐扩展，包裹待降解的细胞器或其他内含物，然后闭合形成自噬体，进而与溶酶体融合，形成自噬溶酶体，内含物被溶酶体内多种水解酶消化分解（图2–29）。

自噬是细胞的自我保护机制。一方面，细胞在代谢过程中不可避免地产生一些代谢废物和功能异常的物质，如结构异常的蛋白质、衰老的线粒体等。这些物质的堆积会影响细胞正常的生命活动，所以需要通过细胞自噬及时清理。另一方面，细胞在营养物质缺乏、低氧等特殊环境下，通过自噬降解自身蛋白质或细胞器，为维持生存提供基本原材料和能量。此外，自噬还能使细胞对抗病毒和细菌等病原体的侵染。所以，自噬是细胞内的重要生理机制，对细胞抵抗逆境、对抗病原体和维持细胞内环境稳态等都具有重要的意义。

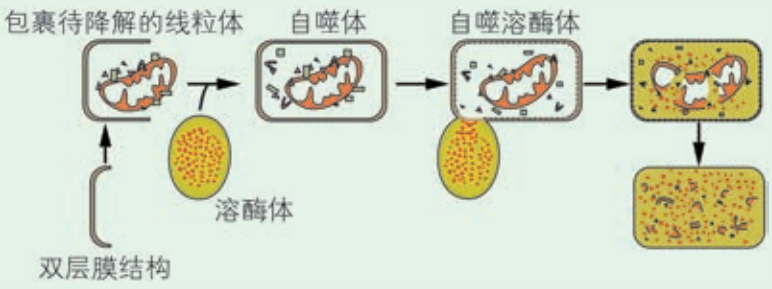


图2–29　细胞自噬过程示意图

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. 某化学药物进入细胞后能抑制磷脂的合成。当该药物进入细胞后，下列细胞器的合成未直接受影响的是（　　）

A. 溶酶体和液泡　　B. 中心体和核糖体

C. 线粒体和叶绿体　　D. 内质网和高尔基体

3. 蝌蚪发育成青蛙的过程中，由于尾部细胞的逐渐解体使尾部消失，与这种现象关系最为密切的细胞器是（　　）

A. 中心体　　B. 内质网

C. 溶酶体　　D. 高尔基体

4. 下列细胞中，叶绿体、大液泡、中心体均不存在的是（　　）

A. 黑藻细胞　　B. 洋葱鳞片细胞

C. 人的口腔上皮细胞　　D. 根尖分生区细胞

5. 下列关于细胞骨架的叙述，错误的是（　　）

A. 变形虫形态的改变依赖于细胞骨架

B. 细胞骨架由微管和微丝等蛋白质构成

C. 高尔基体形成的囊泡沿细胞骨架向细胞膜移动

D. 植物细胞因有细胞壁的支撑，所以不需要细胞骨架

6. 变形虫能吞噬并消化草履虫，人体白细胞能吞噬并消化病菌。和上述生理过程有关的是（　　）

①细胞膜的流动性　②细胞骨架　③溶酶体　④线粒体

A. ①②④　　B. ①②③

C. ①②③④　　D. ①③④

二、简答题

1. 溶酶体是含有消化酶的细胞器，能够消灭多余或者损坏的细胞器、食物颗粒和细胞吞噬的病毒及细菌。例如，阿米巴原虫吞食食物并用小泡将其包裹后，溶酶体就会与食物泡融合并释放酶，对食物进行消化。请解释蝌蚪在发育成蛙的过程中，蝌蚪尾巴的细胞消失的原因。

2. 动物细胞和成熟植物细胞的结构有哪些共同点，有哪些差异？

第四节　细胞核是细胞生命活动的控制中心

本·节·要·点

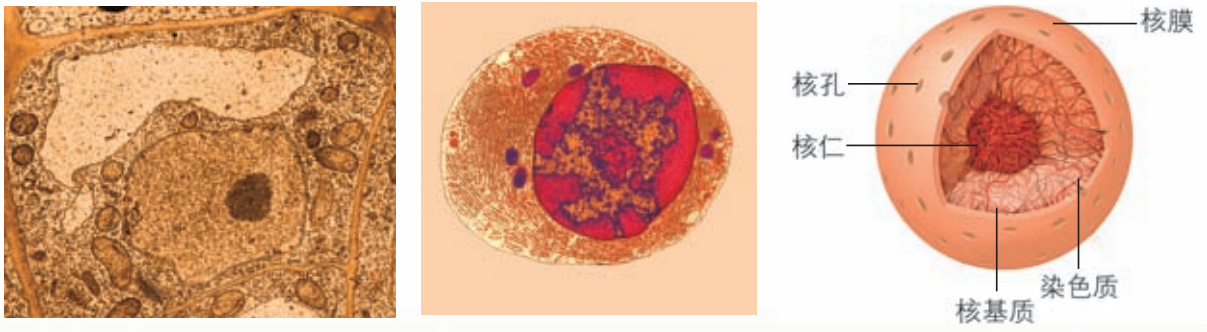
- 细胞核的结构
- 细胞核的功能

真核细胞都有细胞核（nucleus）。大多数细胞只有一个核，少数细胞有多个核，如横纹肌细胞。还有一些细胞在成熟过程中，细胞核退化消失，如哺乳动物成熟的红细胞、高等植物韧皮部成熟的筛管细胞等。细胞核的主要功能是什么？细胞核通过什么来控制生物体性状的遗传？

遗传物质主要储存在细胞核中

细胞核主要由核膜（nuclear envelope）、核仁（nucleolus）、染色质（chromatin）、核基质（nuclear matrix）等部分组成（图 2–30）。核膜是细胞核的边界，由双层膜构成，外层常与粗面内质网相连。双层核膜并不是连续的，内、外层核膜常在某些部位相互融合形成环形开口，称为核孔（nuclear pore）。核孔周围镶嵌有许多蛋白质，构成一种复杂的结构，控制着物质的进出。核孔是蛋白质、RNA 等大分子出入细胞核的通道。

核仁是细胞核中呈球形或椭球形的结构，其大小、数目、形态随生物种类、细胞类型不同而不同。核仁是核糖体 RNA 合成、加工和核糖体装配的重要场所。



A. 透射电镜下的拟南芥根尖细胞（30000×，经后期着色处理）　B. 透射电镜下的 B 淋巴细胞（15500×，经后期着色处理）　C. 细胞核结构模式图

图 2–30　细胞核

有细胞结构的生物的遗传物质都是DNA。真核细胞中，DNA主要储存于细胞核中。细胞核中的DNA与蛋白质及少量RNA构成复合结构，容易被碱性染料染色，称为染色质。细胞分裂过程中，染色质高度螺旋，凝聚成在光学显微镜下很容易观察到的染色体（chromosome）。

核基质是细胞核内以蛋白质为主的网络结构。核基质为细胞核提供支架，也是多种酶的结合位点，与核内遗传物质的复制、染色体的装配等生理活动密切相关。

细胞核控制细胞的遗传和代谢

作为真核细胞的重要结构，细胞核与细胞正常生命活动有何关系？如果失去细胞核，细胞是否还能存活？

小资料　伞藻“嫁接”实验与变形虫切割实验

伞藻属（*Acetabularia*）是海生的单细胞藻类，细胞长2～5 cm，可分为伞帽、伞柄和假根三个部分（图2-31）。细胞核位于伞柄基部的假根内。该属内不同种类伞藻的伞帽形状不同。例如，地中海伞藻（*A. mediteranea*）的伞帽呈倒放的伞状，细圆齿伞藻（*A. crenulata*）的伞帽呈花朵状。若将伞帽切去，不久伞藻便会再生出一个形状与之前一样的新伞帽。将这两种伞藻细胞都切成伞帽、伞柄和假根三个部分，然后将假根交换后，再让伞柄与其接合。两种“嫁接”的结果非常有趣：若令伞柄与同种伞藻的假根接合，则再生出来的伞帽与原来的一样；若令伞柄与另一种伞藻的假根接合，则再生出来的伞帽与另一种

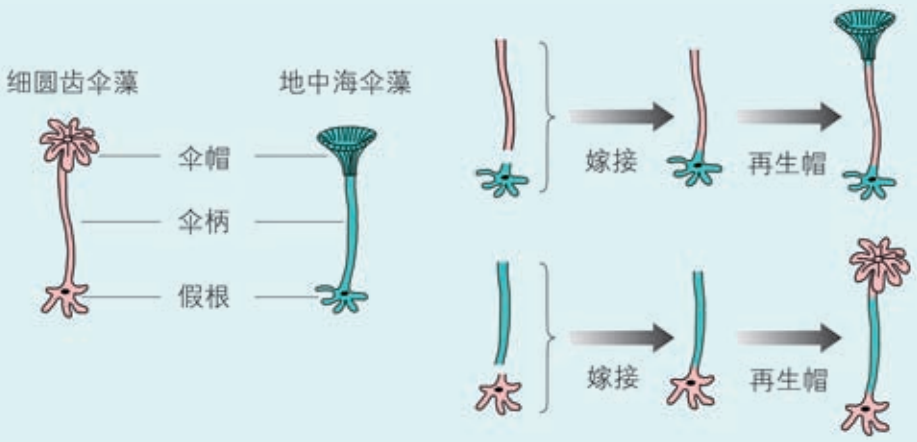


图2-31　伞藻“嫁接”实验示意图

的一样。

变形虫是一类单细胞生物，没有固定的外形，可以依赖细胞膜的流动性任意改变体形。科学家将变形虫缓慢地切成两半，一半有细胞核，一半无细胞核（图 2–32）。有核的部分具有应激性，仍能生长、分裂、再生；无核的部分虽然仍能消化吞噬的食物，但不能摄取食物，无应激性，不再分裂增殖，没多久就死亡了。但是，如果无核的部分被及时植入一个完整的细胞核，将恢复生长和分裂等生理功能。

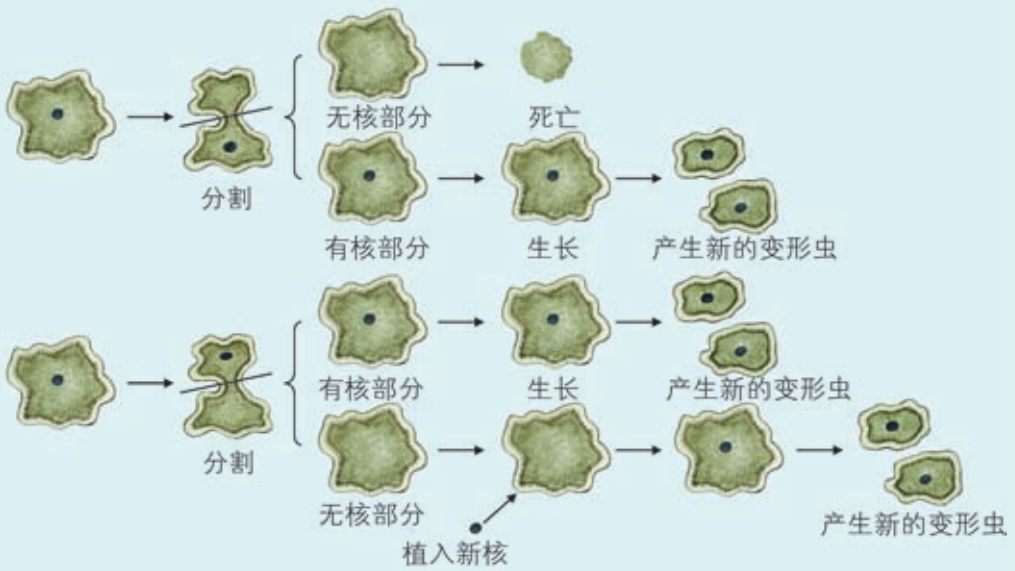


图 2–32　变形虫切割实验示意图

从伞藻“嫁接”实验和变形虫切割实验可以看出，细胞核是生物遗传和维持正常生命活动所必需的。DNA 储存着遗传信息，是细胞进行生命活动的“蓝图”。在细胞分裂时，DNA 由亲代细胞精确地传递给子代细胞，控制着子代细胞的新陈代谢，决定子代细胞的生长、发育和繁殖。DNA 主要储存在细胞核中，因此，细胞核是细胞遗传和代谢的控制中心。

活　动　尝试制作真核细胞的结构模型

建立模型是科学研究的常用方法，是人们根据某一目的，抓住对象的本质特征，将复杂的、微观的现象或事物构建成抽象的、概括性的描述，是对研究对象简洁的表述。模型的类型有多种，包括数学模型、概念模型、物理模型

等。物理模型是以实物或图画形式直观地表达认识对象的特征，如表示生物膜结构的流动镶嵌模型。本活动是运用物理模型的方法，以实物的形式直观地表现真核细胞的三维结构。

目的要求

1. 尝试制作真核细胞的三维结构模型。
2. 体验建构物理模型的过程。

活动提示

1. 查阅资料，了解各细胞器之间以及细胞器与细胞的比例，了解细胞器在细胞内的位置。
2. 可根据实际情况自主选取制作材料，如橡皮泥、纸张、铁丝等。
3. 可独立自主设计完成，也可多名同学分工合作完成。
4. 选择废旧物品时应注意卫生和安全。

讨　论

1. 比较动物细胞和植物细胞的异同。
2. 选择制作模型的材料时有哪些考虑？
3. 真核细胞的各个结构执行怎样的功能？

课外读

核孔复合体

20世纪50年代，科学家在用电子显微镜观察核膜时发现了核孔（图2-33）。随后人们逐渐认识到核孔不是一个简单的孔洞，而是一个相对独立的复杂结构。这种结构被称为核孔复合体。不同类型的细胞，其细胞核的核孔复合体数量、分布情况也有较大差异。一般来说，代谢越旺盛的细胞，其核孔复合体的数量就越多。一个典型的哺乳动物细胞核

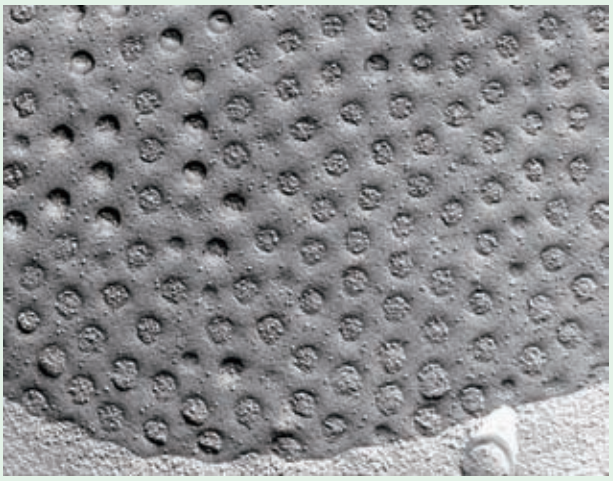


图2-33　透射电镜下的核孔（100000×）

的核孔复合体数量为3000～4000个。

核孔复合体主要由蛋白质构成。在脊椎动物中，已鉴定出10多种与核孔复合体有关的蛋白质。已鉴定出的酵母菌核孔复合体蛋白质更是多达30余种，其中有些蛋白质在酵母菌和人等多种生物的细胞中都有发现。

核孔复合体可看作是一类特殊的载体蛋白，构成了细胞核与细胞溶胶间物质交换的通道。一些离子和水等小分子物质由于比核孔的孔径小，通常可以自由进出细胞核而不消耗能量；蛋白质、RNA等大分子物质则需要通过特殊的转运机制才能进出，而这一过程需要能量的驱动才能完成。

思考与练习

一、选择题

1. 下列关于细胞核的叙述，错误的是（　　）

A. 细胞核是细胞代谢和遗传的控制中心

B. 不同细胞内，核仁的大小和数目是相同的

C. 核孔是RNA和蛋白质等大分子物质出入细胞核的通道

D. 染色质和染色体是同一物质在细胞不同时期的两种状态

2. 科学家将雌性黑鼠乳腺细胞核移入白鼠去核的卵细胞中，待发育成早期胚胎后移植入褐鼠的子宫，该褐鼠产下小鼠的体色和性别分别是（　　）

A. 褐、雌　　B. 白、雄

C. 黑、雌　　D. 黑、雄

3. 真核细胞中，既具有双层膜又含有DNA分子的结构是（　　）

A. 核膜、线粒体、叶绿体　　B. 线粒体、叶绿体、细胞核

C. 内质网、线粒体、高尔基体　　D. 溶酶体、叶绿体、高尔基体

二、简答题

有人将小鼠肝细胞的细胞核破坏，在电镜下观察染色质，发现染色质呈串球状的细丝，其直径为10 nm。而用同样的方法处理正在分裂的细胞，电镜下观察到染色体由直径为30 nm的细线螺旋折叠而成。这个事实说明了什么？

第五节　细胞在结构和功能上是一个统一整体

本·节·要·点

- 生物膜系统
- 细胞的整体性

细胞时刻进行着复杂多样的生命活动，这些活动能够有条不紊地进行，不仅依赖于细胞内形成相对独立的空间，保证各种生理活动不受影响，也依赖于各组分协调配合，共同执行生命活动。从细胞膜到细胞质中的各种细胞器，再到细胞核，在结构上有什么联系？

生物膜系统把细胞各部分结构联系在一起

真核细胞内存在着丰富的膜结构，它们将细胞内部划分成相对独立的区室，保证多种生命活动高效、有序地进行。这些膜结构又是可以相互转化的，在结构和功能上构成一个统一整体（图2–34）。细胞膜和包括核膜在内的多种细胞器膜共同构成细胞的生物膜系统。

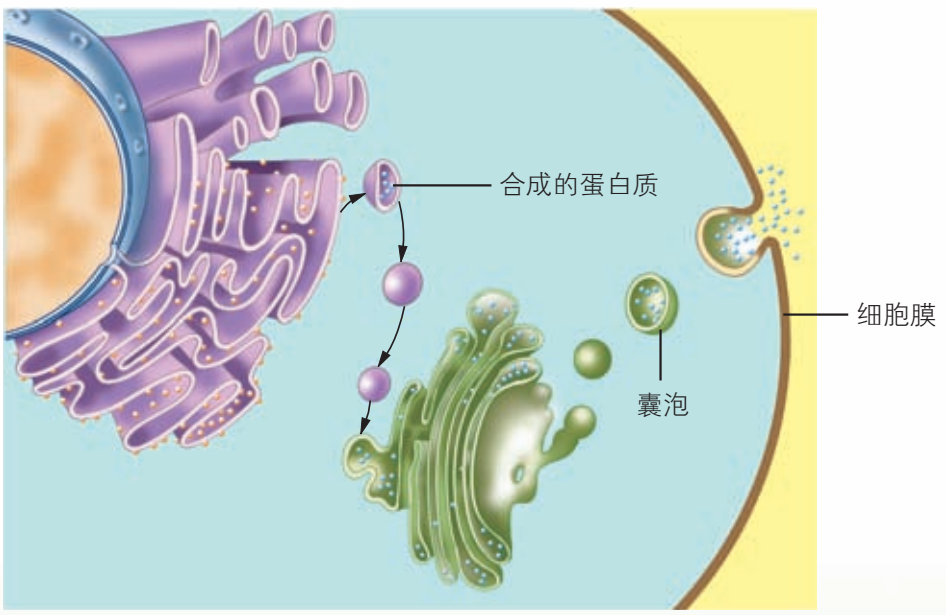


图2–34　细胞内的生物膜系统

生物膜中，内质网的面积最大，占了整个细胞生物膜的一半左右。内质网是细胞

内除核酸以外一系列重要的生物大分子如蛋白质、脂质和糖类的加工或合成基地。这些生物大分子被合成后可在内质网完整、封闭的管道中快速运输。由于内质网膜向内与核膜连接，向外与细胞膜连接，使细胞核与细胞质及细胞膜的联系更为紧密，大大提高了物质交换的效率。

由于生物膜具有一定的流动性，所以各组分间可以通过囊泡相互转化。内质网以出芽的形式形成囊泡，囊泡移动到高尔基体并与其融合。高尔基体同样以囊泡的形式与细胞膜融合，成为细胞膜的一部分。细胞膜也可以内陷形成囊泡回到细胞质中。囊泡的移动为多种细胞器的膜质成分提供物质来源，从而实现膜成分的更新。

细胞内各结构协调配合，共同执行生命活动

机体中有一类在细胞内产生，分泌到胞外发挥作用的蛋白质，称为分泌蛋白，如抗体、消化酶和一部分激素。分泌蛋白是如何产生、分泌的?

小资料　蛋白质的合成与分泌

科学家以豚鼠胰腺腺泡细胞为材料，采用放射性同位素示踪的方法，探究胰蛋白酶的合成和分泌路径。研究者用 ^{3}H 标记的亮氨酸培养豚鼠胰腺腺泡细胞，然后分别在 3 min、17 min 和 117 min 获得细胞，置于特定环境下观察（图 2-35）。研究发现，3 min 取出的腺泡细胞，被标记的蛋白质出现在附着核糖体的粗面内质网中，17 min 时出现在高尔基体中，117 min 时出现在靠近细胞膜的囊泡及细胞外。

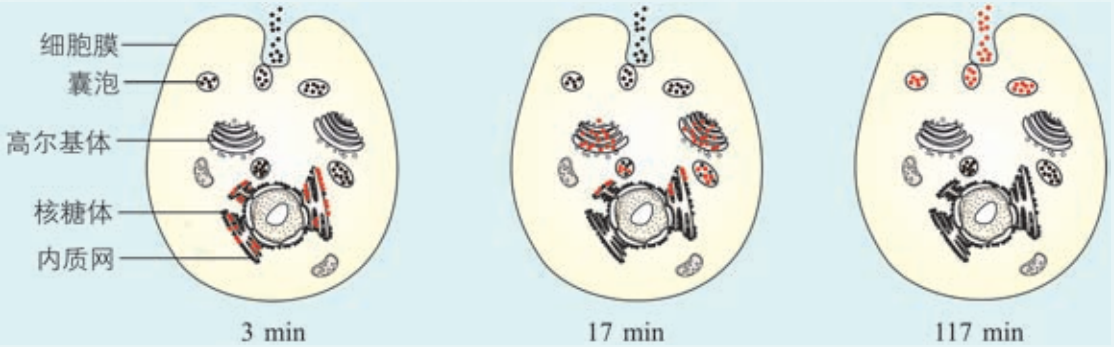


图 2-35　豚鼠胰腺腺泡细胞胰蛋白酶形成过程
（红色点代表含有被标记氨基酸的胰蛋白酶）

由上述小资料可知，胰蛋白酶的合成和分泌是在多种细胞结构的参与下进行的。首先，氨基酸在核糖体（附着于内质网上）中形成多肽，之后通过内质网的加工和运输，随囊泡转移至高尔基体。随后，高尔基体形成的囊泡包裹着蛋白质向细胞膜移动，将蛋白质分泌至胞外。在光面内质网合成的磷脂和胆固醇同样需要与高尔基体的联系，通过囊泡运入其他细胞器。

许多生物大分子在内质网和高尔基体等细胞器内合成或加工后，不能直接穿过生物膜，而是被包裹在囊泡里，并被运至特定部位。通过囊泡运输的物质主要有两类：一类是囊泡膜上的膜蛋白和脂质等，参与细胞器的组成并完成特定的细胞功能；另一类是囊泡包裹的内含物，如一些激素、酶等，这些物质有的被分泌到细胞外，有的参与细胞内大分子物质的降解等。一般来说，囊泡运输包括囊泡形成、运输和与特定部位膜的融合，其中囊泡与特定部位膜的融合是囊泡定向运输的关键。整个过程非常复杂，需要多种信号分子和细胞骨架的参与。

细胞在代谢过程中产生的残渣、功能异常的大分子以及衰老的细胞器等，被内质网或其他膜结构形成的囊泡包裹着，与溶酶体融合，进而被消化分解，产生的小分子物质有的被细胞重新利用，有的被排出细胞。

小资料　囊泡——细胞里的“搬运工”

2013年10月7日，美国科学家詹姆斯·罗斯曼（James E. Rothman，1950—　）和兰迪·谢克曼（Randy W. Schekman，1948—　）、德国科学家托马斯·苏德霍夫（Thomas C. Südhof，1955—　）因“发现细胞内囊泡运输的调控机制”获得诺贝尔生理学或医学奖。囊泡运输是细胞内极其重要的运输方式，具有高度的组织性、方向性和精确性。此前，囊泡运输机制的研究先后于1974年、1985年和1999年获得诺贝尔生理学或医学奖，几乎每隔十年就获奖一次。

生物膜系统大大提高了细胞内物质运输的效率，加强了各组分间的交流，同时由生物膜形成的各区室使细胞具有相对独立的空间，保证了细胞各项生命活动高效、有序地进行。细胞内广阔的膜面积为多种酶提供了附着位点，为多种化学反应顺利进行提供了有利条件。所以，生物膜系统使细胞在结构和功能上成为一个统一的整体。

思考与练习

一、选择题

1. 下列关于生物膜的叙述，错误的是（　　）

A. 溶酶体内的酶由高尔基体合成后被囊泡包被

B. 合成固醇类激素的分泌细胞的内质网一般较发达

C. 分泌蛋白的修饰加工由内质网和高尔基体共同完成

D. 生物膜之间可通过囊泡的转移而实现膜成分的更新

2. 牛奶中含有乳球蛋白和酪蛋白等物质。在奶牛的乳腺细胞中，与上述物质的合成和分泌有密切关系的是（　　）

A. 线粒体、中心体、内质网、高尔基体

B. 线粒体、核糖体、内质网、高尔基体

C. 核糖体、中心体、内质网、高尔基体

D. 线粒体、中心体、核糖体、高尔基体

3. 胰岛素是由胰岛 β 细胞合成并分泌的一种蛋白质类激素。在核糖体上合成的胰岛素还未成熟，需运送至内质网和高尔基体进一步加工。未成熟的胰岛素由内质网运输至高尔基体的方式为（　　）

A. 从内质网直接到达细胞膜

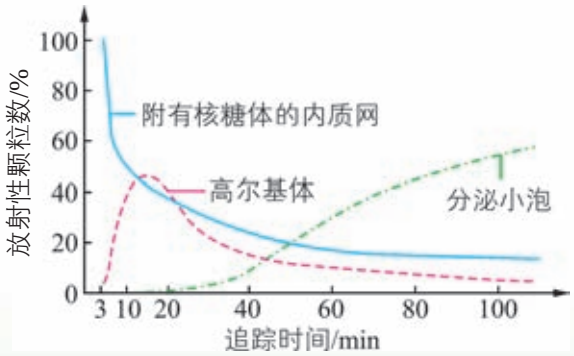
B. 由高尔基体直接连接内质网

C. 通过形成具有膜的囊泡而转移

D. 随着细胞质的流动到达特定部位

二、简答题

1. 科学家用 ^{3}H 标记的亮氨酸同时标记多只豚鼠的胰腺腺泡细胞，然后分别在不同时间获得细胞，观察到不同结构所含放射性同位素的情况，如下图所示。根据图中三条曲线的变化情况，请分析原因。



2. 生物膜系统包含哪些组分？如何实现成分的更新？有哪些重要的意义？

第六节　原核细胞内无成形的细胞核

与真核细胞相比，原核细胞个体微小、结构简单。原核生物由单个原核细胞构成。细菌和蓝细菌属于原核生物。在生命的进化历程中，真核生物与原核生物哪个先出现？真核生物是否起源于原核生物？

本·节·要·点

- 原核细胞
- 拟核

小资料　马古利斯和她的“内共生学说”

“当我还是个本科生的时候，有两个理论经常被拿出来做反例，以显示科学上的假说可以牵强到何种地步——一个是大陆漂移学说，还有一个就是内共生学说。”一位植物学家回忆说。然而在今天，这两个学说早已被科学界所接受，内共生学说更被看作是对达尔文进化论的重要补充。

美国科学家琳恩·马古利斯（Lynn Margulis，1938—2011，图 2–36）倡导的内共生学说，是关于早期生命演化中细胞如何从简单到复杂的学说。马古利斯认为，真核细胞中线粒体、叶绿体等结构起源于早期的原核生物，某些细菌被原始的真核生物吞噬后，经过长期共生成为线粒体；而蓝细菌被吞噬后逐渐演化为叶绿体。越来越多的证据表明内共生学说是正确的，例如，线粒体和叶绿体内的结构更接近原核生物而不是真核生物等。共生现象在自然界是普遍存在的，如双小核草履虫（*Paramecium aurelia*）内的某种结构实际上是一种细菌，一些海洋动物如造礁珊瑚（图 2–37）与能进行光合作用的虫黄藻（*Symbiodinium*）（图 2–38）共生。

图 2–36　琳恩・马古利斯

图 2–37　浅海的造礁珊瑚

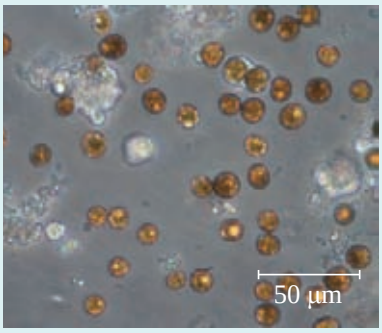


图 2–38　与造礁珊瑚共生的虫黄藻

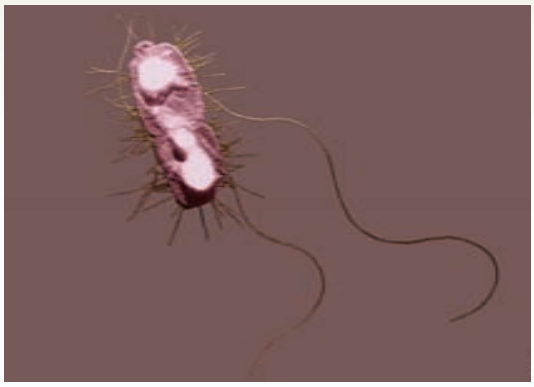
地球上最早出现的是原核细胞

在地球的生命进化历程中，原核细胞远比真核细胞出现得早。35 亿年前的地层中，就发现了早期蓝细菌的化石。通过对地质岩石分析，可靠的、大量的真核生物化石于 10 亿～8 亿年前才出现。因此，在整个生命进化史前 3/4 的时间里，原核生物是地球上唯一或主要的成员。

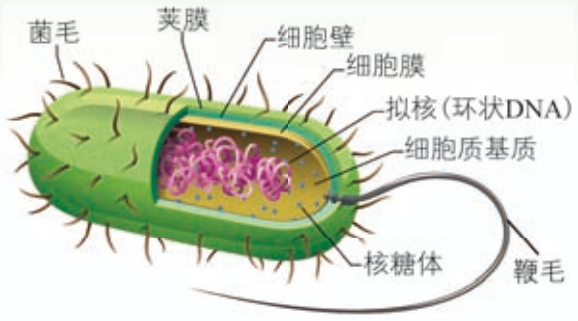
早期地球没有臭氧层，紫外线很强，大气中 CO_2 含量很高，导致地表温度比现在高得多。诸多因素导致早期地球环境并不适合生命生存。地球大气环境的改变，离不开一种结构简单的原核生物——蓝细菌，旧称蓝藻。蓝细菌出现在 35 亿多年前，是最早出现的能进行光合作用的生物。蓝细菌在其出现后的 10 多亿年时间里，一直是地球的主要生物类群。在如此长的时间里，蓝细菌光合作用释放的氧气逐渐在大气圈积累，为真核生物的起源创造了条件，同时促进了臭氧层的形成，阻挡了大量对生物有害的紫外线；蓝细菌的光合作用促使大气圈中 CO_2 含量下降，将碳元素转移至岩石圈中形成碳酸盐；CO_2 含量的下降逐渐降低了地球表面的平均温度，为陆生生物的出现创造了条件。随着地球环境的改变，逐渐出现原始单细胞真核生物。随着真核生物的繁盛、演化，蓝细菌逐渐衰落，真核生物逐渐占据了生态系统。

原核细胞没有核膜包被的细胞核

没有核膜包被的细胞核（图 2–39），是原核细胞区别于真核细胞最显著的特征。原核细胞的 DNA 较小，位于拟核（nucleoid）或称拟核区，且不以染色质或染色体的形式存在。



A. 扫描电镜下的大肠杆菌（21428×，经后期着色处理）



B. 大肠杆菌结构模式图

图2-39　大肠杆菌

原核细胞结构简单，由外向内分别由细胞壁、细胞膜和细胞质构成。原核细胞的细胞壁成分与植物细胞壁不同，对细胞有保护和维持形态的作用。我们生活中服用的不少抗生素，就是通过破坏细菌细胞壁的合成而达到抗菌的作用。细胞壁的外面有时还有一层荚膜，主要由多糖组成，具有保护、黏附等多种功能。有些细菌还有鞭毛，使其能够运动。原核细胞只有核糖体这一类细胞器。

原核细胞的结构虽然简单，但可以完成复杂的生命活动。例如，某些原核细胞可以进行需氧呼吸，与需氧呼吸相关的酶分布于细胞膜和细胞质基质；蓝细菌等原核生物的细胞质含有附着光合色素的光合膜，可以进行光合作用（图2-40）。

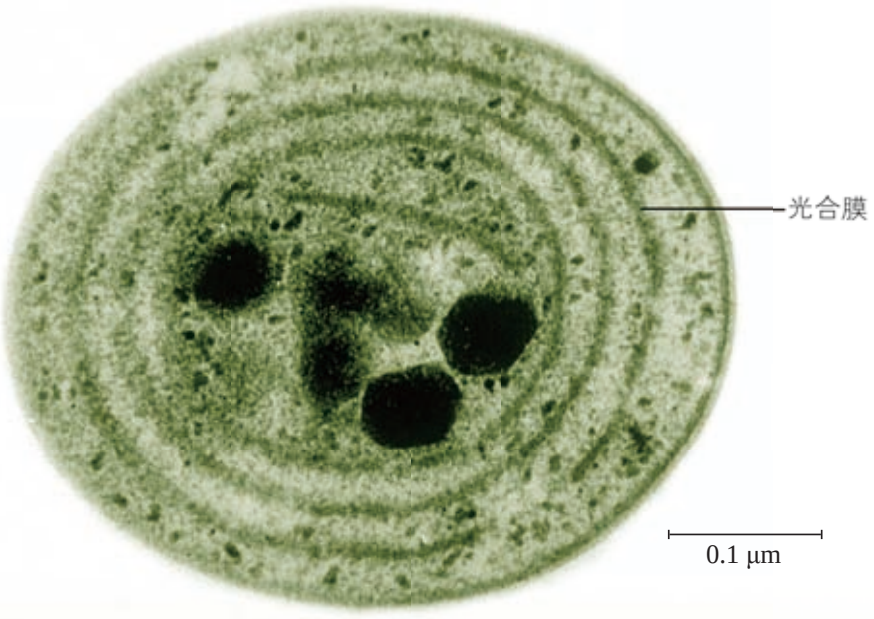


图2-40　透射电镜下的蓝细菌（经后期着色处理）

课外读　病毒——非细胞生物

自 19 世纪末烟草花叶病毒（tobacco mosaic virus，TMV）被发现以来，越来越多的病毒被人们熟知。同其他生物一样，病毒具有遗传信息，能自我复制、进化，是一类体积非常小、结构极其简单、生命活动方式十分特殊的生命体。

病毒没有细胞结构，一些简单的病毒仅由核酸和蛋白质组成。一种病毒通常只含有一种核酸（DNA 或 RNA）。目前发现的自然界中以 RNA 作为遗传物质的生命体仅有 RNA 病毒。病毒没有细胞器，没有代谢系统，不能生长，不能以分裂方式增殖，只能在感染宿主细胞后，利用宿主细胞内的物质合成新的核酸和蛋白质，再组装成新的子代病毒，释放到细胞外，去感染其他细胞。所以，病毒只能依赖活细胞繁殖后代，离开活细胞的病毒一般不表现出明显的生命特征。

另外，除典型的病毒外，科学家还发现了更加简单、只含有蛋白质或 RNA 的生命体——亚病毒，如引起牛海绵状脑病（疯牛病）的朊病毒只具有蛋白质。

病毒感染细胞具有明显的特异性。根据寄主的不同，病毒可分为噬菌体、植物病毒和动物病毒。其中，噬菌体只感染原核生物。能感染人并引起疾病的病毒称为医学病毒。很多医学病毒被我们熟知，例如，以 RNA 为遗传物质的甲型 H1N1 流感病毒、禽流感病毒、艾滋病病毒和 SARS 病毒；以 DNA 为遗传物质的天花病毒、单纯疱疹病毒等。有些病毒入侵人体后并不表现出明显症状，而有些病毒则会导致严重的疾病甚至致人死亡。病毒在人体内的传播和感染的表现，不仅取决于病毒本身，也取决于机体的防御能力。生物体的免疫系统时刻都在保护我们免受病毒或其他病原体的侵害。

思考与练习

一、选择题

1. 蓝细菌属于原核生物，酵母菌属于真核生物。蓝细菌与酵母菌的细胞最主要的区别是（　　）

A. 细胞体积微小　　B. 没有成形的细胞核

C. 不形成染色体或染色质　　D. 只有核糖体一种细胞器

2. 蓝细菌是地球上最早出现的一类能进行光合作用的生物。越来越多的证据表明，蓝细菌在长达10多亿年的时间里逐步改造大气成分，为真核生物的起源创造了条件。下列叙述错误的是（　　）

A. 在生命进化历程中原核细胞远比真核细胞出现得早

B. 地表温度的下降与蓝细菌光合作用吸收CO_2无直接关系

C. 蓝细菌光合作用释放的氧气为真核生物的需氧呼吸创造条件

D. 蓝细菌虽然没有线粒体和叶绿体，但仍可以需氧呼吸和光合作用

3. 蓝细菌和小麦都可以进行光合作用，其细胞中都有的结构是（　　）

A. 核糖体　　B. 核膜

C. 线粒体　　D. 叶绿体

二、简答题

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？谈谈你的看法。

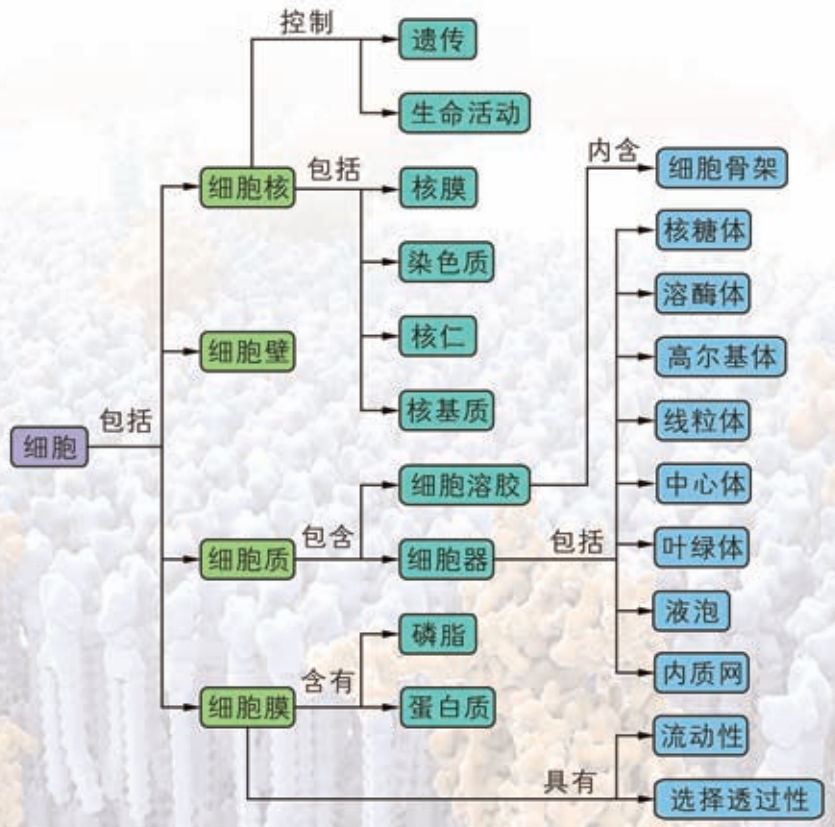
本章小结

细胞不仅是一个相对独立的单位，有着独立的结构和代谢系统，还与其他细胞构成组织、器官和系统，共同执行复杂的生命活动，维持着生命的稳态。生物的发育、生殖、运动等重大生命现象都以细胞为基础。无论是细胞水平还是分子水平，研究细胞生命活动的基本规律，是生命科学研究的前沿课题之一，也是发育生物学、神经生物学、免疫学、病理学等重要学科的基础。技术的进步在细胞学研究中起着巨大的作用。没有显微镜的发明就不会有细胞的发现；同样，没有电子显微镜技术的建立，也就无法深入细胞内部发现细胞的各种超微结构。

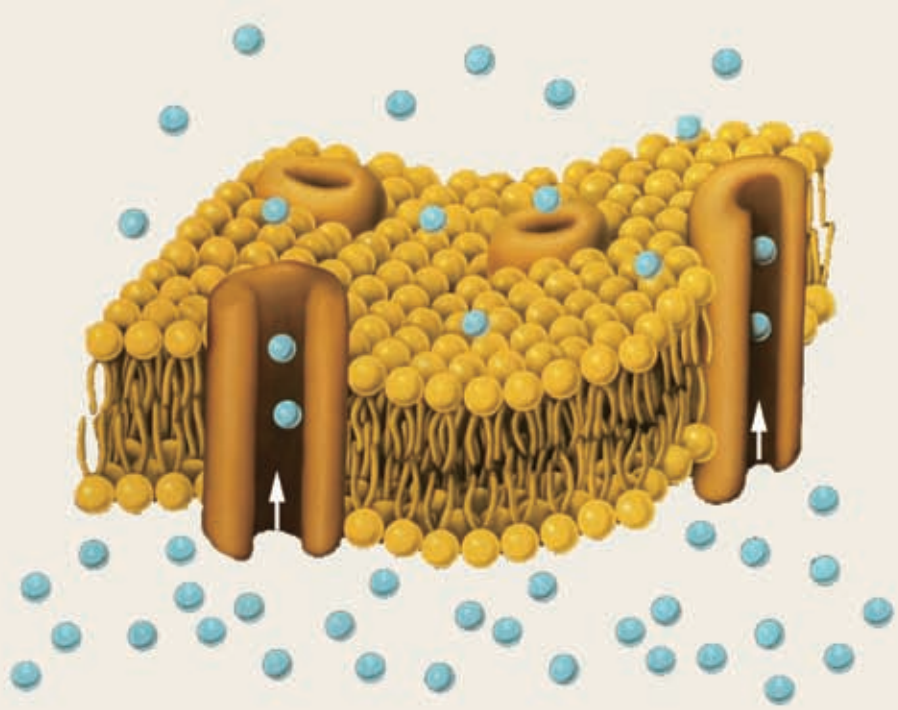
细胞结构体现了生命在细胞学水平的多样性和统一性，亦体现了生命的整体性和物质性，渗透了结构与功能观、进化与适应观的观念。

基于细胞结构中所呈现的生物学事实和证据，运用归纳与概括、演绎与推理、模型与建模等方式探讨、阐述生命现象及规律，养成探究性的科学思维习惯。

本章知识结构图



第三章 细胞的代谢



细胞是生物体的结构单位，也是生物体的功能单位。细胞怎样完成相应的功能呢？每一个细胞内部都发生着多种复杂的化学变化。这些细胞内的化学变化称为细胞的新陈代谢，简称细胞的代谢。为了保证细胞的代谢正常进行，细胞需要与外界环境发生物质交换，细胞之间也要发生物质交换。细胞内要有一定的机制才能确保细胞内化学变化的有序和高效。

学习目标

1. 解释 ATP 在细胞生命活动中的作用。
2. 说明酶在细胞代谢中的作用以及影响酶活性的因素。
3. 阐明细胞膜具有选择透过性，说明物质出入细胞的方式。
4. 描述细胞呼吸的过程，说明细胞呼吸在细胞代谢中的意义。
5. 列举光合色素及其在光合作用中的作用，描述光合作用的过程，说明光合作用的意义以及影响光合作用的因素。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 通过植物细胞质壁分离及其复原、光合色素的提取与分离等观察实验，酶的特性、酵母菌的呼吸方式、光合作用影响因素等探究实验，发展观察能力和探究能力。
2. 通过对光合作用与呼吸作用的探索，学会基于生物学事实和证据进行归纳与概括、批判性思维等方法。

第一节　ATP是细胞内的“能量通货”

本·节·要·点

- ATP结构
- ATP功能

生物体的生命活动需要能量。人的行走、阅读、思维、心脏的跳动、胃肠的蠕动都需要能量；绿色开花植物的种子萌发、生长发育、开花结果也需要能量。生命活动所利用的能量有什么特点？

小资料　萤火虫的荧光是怎样形成的

夏秋晴朗的夜晚，我们在野外可以看到一闪一闪的亮光，这是萤火虫在飞舞时发出的光，称为荧光。萤火虫以荧光作为求偶的信号，吸引异性个体前来交尾。不同种类的萤火虫所发出的荧光有不同的特点。

萤火虫的荧光是怎样形成的？萤火虫的腹部后端具有发光细胞，细胞内含有一种称为荧光素的发光物质。研究萤火虫发光原理时发现，荧光素在接受ATP中的能量时可以被激活，与氧发生化学反应形成氧化荧光素，而荧光则是这些化学反应的副产物。

ATP是细胞生命活动的直接能源

研究发现，能使荧光素激活的物质称为腺苷三磷酸（adenosine triphosphate，ATP）。从能量的形式分析，荧光是光能的形式，ATP这种化学物质中的能量是化学能，萤火虫发光是一个由化学能转化为光能的过程。

糖类是生命活动的主要能源物质，油脂也可以为生命活动提供能量。那么，ATP在细胞中的作用是否与糖类、油脂相同呢？有学者利用刚刚失去收缩功能的离体肌肉进行实验：在肌肉上滴加葡萄糖溶液后观察肌肉反应，肌肉没有收缩；然后，在同一

块肌肉上滴加ATP溶液，肌肉很快发生了明显的收缩。这个实验说明，作为能源物质的葡萄糖不能直接被肌肉利用，而ATP可以。在细胞中，ATP转化率非常高，在它形成后的1 min内就被消耗掉了。一个静卧的人24 h内消耗约40 kg ATP，在剧烈运动时每分钟可消耗0.5 kg ATP。研究发现，只有ATP不断生成，生命活动才能发生。因此，ATP是生命活动的直接能源。

ATP可以作为生命活动的直接能源与其分子结构特点有关。ATP是由1个核糖、1个腺嘌呤和3个磷酸基团组成的。核糖是一种五碳糖（$C_5H_{10}O_5$），腺嘌呤是一种含氮碱基。核糖与腺嘌呤结合成的基团称腺苷。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2个磷酸基团之间的磷酸键稳定性较差，水解时可以释放出大量的能量，被称为高能磷酸键，以“～”表示（图3–1）。

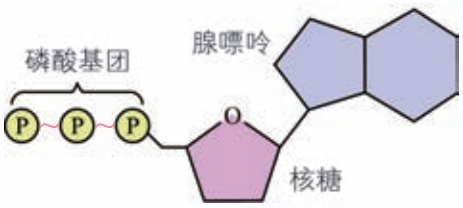


图3–1　ATP的结构

细胞内ATP与ADP保持动态平衡

在活细胞中，ATP广泛分布在细胞核、线粒体、叶绿体、细胞溶胶等结构中，但含量很低。ATP怎样保证细胞各种活动的需要呢？

ATP在细胞中易于水解。1个ATP分子含有2个高能磷酸键，在酶的作用下，远离腺苷的那个高能磷酸键水解，形成腺苷二磷酸（ADP），释放出1个磷酸，同时释放能量（图3–2）。ATP水解时释放出的能量可以被细胞利用，如肌肉收缩、神经细胞活动以及细胞中许多其他消耗能量的活动。

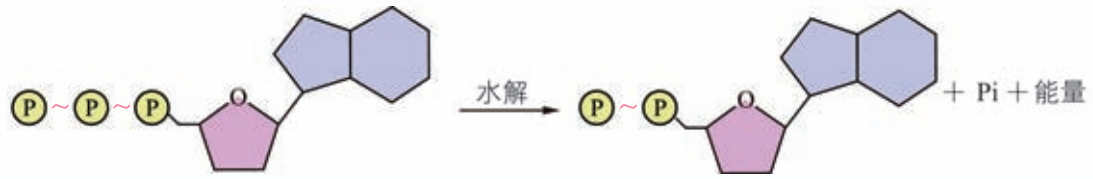


图3–2　ATP的水解反应

ATP在细胞中易于再生。在另一种酶的作用下，ADP和1个磷酸结合重新形成ATP，在这个过程中吸收的能量以高能磷酸键的形式储存起来。

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，此过程被称为ATP–ADP循环（图3–3）。细胞中

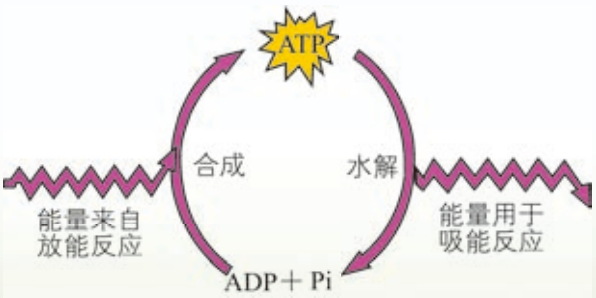


图3–3　ATP–ADP循环

ATP–ADP循环速度很快，细胞内ATP的含量能够维持在相对稳定的水平。

ATP是细胞中普遍使用的能量载体，在细胞内能量转换和利用中起着关键作用。ATP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。

课外读　ATP的发现和认识过程

1929年，德国化学家洛曼（Karl Lohmann，1898—1978）首先发现ATP。1935年，苏联生物学家恩格尔哈特（Vladimir Engelhart，1894—1984）发现肌肉收缩需要ATP。1941年，美国生物化学家李普曼（Fritz Lipmann，1899—1986）等证明了ATP是细胞内化学能的主要载体，在生物体内能量交换中具有核心作用，并提出了“高能磷酸键”这个术语，高能磷酸键水解产生的能量就是ATP对细胞的贡献。1948年，英国化学家托德（Alexander Robertus Todd，1907—1997）用化学方法合成了ATP，标志着科学界已经完全认识了ATP的结构。

ATP是细胞供能者。ATP是怎样合成的？回答这个问题，首先要确定ATP合成酶的结构。1937年，丹麦的卡尔卡（Herman Kalckar，1908—1991）发现ATP合成酶和细胞呼吸有关，说明细胞呼吸、糖的氧化等与产生ATP有关。1961年，美国的拉克尔（Efraim Racker，1913—1991）成功提纯了ATP合成酶的F_1部分（图3–4）。ATP合成酶F_1部分是ATP合成酶催化功能区域。

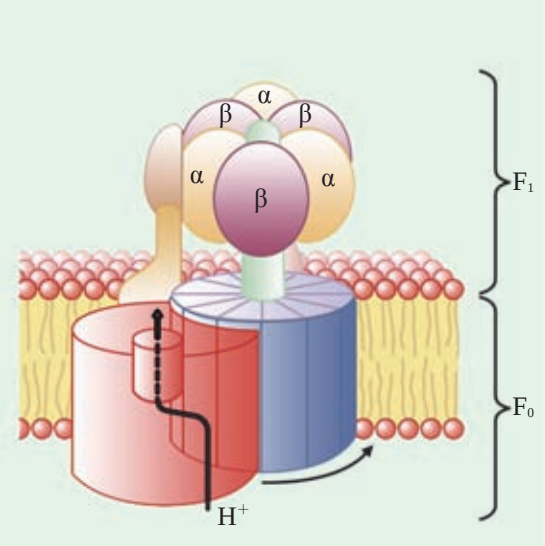


图3–4　ATP合成酶结构图

20世纪70年代，博耶（Paul Delos Boyer，1918—2018）通过对F_1的研究，提出了ATP合成的假设。F_1的结构像圆轮，其外层由3个α和3个β亚基间隔而成。在ATP合成的过程中，β亚基以三种不同的构象状态使ADP与磷酸结合形成ATP并释放出来。对每个β亚基而言，处于第一种构象时，ADP和磷酸结合；在第二种构象时，生成的ATP与亚基松散结合；当β亚基呈第三种构象时，ATP被释放，并回复到第一种构象。这样，3个β亚基的构象不断轮流变化，每一循环放出一个ATP分子。

1994年，沃克尔（John Ernest Walker，1941—　）测定了线粒体膜上ATP合成酶F_1部分的空间构象，证实了博耶关于F_1像生命之轮一样不断驱动着ATP合成的机理基本上是正确的。其他科学家甚至用荧光标记观察到了亚基的顺时针转动。由于博耶和沃克尔阐明了ATP合成酶在合成ATP过程中的作用机理，他们于1997年获得了诺贝尔化学奖。

思考与练习

一、选择题

1. 很多有机物可以为生物体生命活动提供能量。其中，细胞可直接利用的能源物质是（　　）

A. 脂肪　　B. 葡萄糖

C. ATP　　D. 蛋白质

2. 人在静卧时24 h内会消耗40 kg ATP，在激烈运动时每分钟可消耗0.5 kg ATP。对这种现象的合理解释是（　　）

A. ATP大量水解为ADP

B. ADP可以快速生成ATP

C. ATP–ADP循环转化迅速

D. ATP分子中含有2个高能磷酸键

3. ATP水解为ADP，可以用下图表示，图中X代表的是（　　）

$$ATP \xrightarrow{酶} ADP + X + 能量$$

A. H_2O　　B. 磷酸

C. 腺苷　　D. 葡萄糖

4. 在某细胞培养液中加入^{32}P的磷酸分子，短时间内分离出细胞的ATP，发现其含量变化不大，但部分ATP的末端磷酸基团已带上放射性标记。该现象不能说明（　　）

A. ATP中远离A的磷酸基团容易脱离

B. ATP是细胞内的直接能源物质

C. 该过程中ATP既有合成又有分解

D. 部分带有^{32}P的ATP是重新合成的

二、简答题

有研究者用萤火虫进行实验，实验过程以及观察到的现象如下：

将萤火虫的发光器干燥后研磨成粉末状，取两等份分别装入编号为A、B的两支试

管中，各加入少量的水并混匀，观察两支试管。两支试管中均发出淡黄色荧光，约15 min后荧光消失。

将ATP溶液加入A试管中，将葡萄糖溶液加入B试管中，观察两支试管。A试管发出荧光，B试管无荧光。

请回答下列问题：

（1）实验中向装有萤火虫发光器粉末的试管加水后，试管发出了荧光。此现象说明：

①水作为_____对发光器粉末发光有着重要作用。

②发光器粉末中含有_____物质。

③荧光在出现15 min后消失，向试管添加ATP后荧光再次出现，这表明荧光消失是因为_____已经被消耗完。

（2）比较两支试管出现的不同现象，可以得到下面的结论：

①_____能为萤火虫发光提供可直接利用的能量。

②_____不能为萤火虫发光提供可直接利用的能量。

③ 萤火虫发光的过程是将_____能转化成_____能的过程。

第二节　酶是生物催化剂

森林里的熊熊大火，其实是空气中的氧气氧化了组成树木的纤维素等有机物，这种体外氧化要在剧烈的条件下才能发生。人体每天都要氧化食物中糖类等物质，这个氧化过程是在温和条件，即在体温37 ℃左右进行的。生物体内外氧化发生的条件如此不同，这是因为生物体内的化学反应是在酶（enzyme）的作用下进行的。酶是什么？酶是怎样使细胞以及生物体内的化学反应在常温下顺利完成的？

绝大多数酶是蛋白质

人类认识酶经历了很长的时间，酶的概念经过历代科学家的研究不断地得到深入和发展。

小资料　酶的发现历程

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，从鹰的体内取出小笼，斯帕兰扎尼发现笼内的肉消失了。据此，他认为胃液中有一种能消化肉的物质。在此以后，许多科学家研究发现动物的消化系统能分泌多种分解淀粉、脂肪和蛋白质的物质。

人类对酶的认识与人类酿酒的历史密切相关。人类酿酒的历史至少已有5000年，人们将果汁或者粮食转化为酒，但是不知道这个转化过程是如何发生的。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的某种物质参与而已。

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，而不是酵母菌细胞本身。这种物质后来被称为“酶”。这一重大发现，不仅促进了人们对酶的研究，而且促进了人们对酶与代谢反应关系的研究。

随后，科学家又发现了许多种具有不同功能的酶。但是，酶的本质是什么？1926 年，美国的萨姆纳（J. B. Sumner，1887—1955）得到脲酶（使尿素水解的酶）结晶后，才明白酶的本质是蛋白质。到目前为止，已经发现生物体内存在 4000 多种酶，获得了数百种酶的结晶，而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，我们称这一类酶为核酶（ribozyme）。

酶是由活细胞产生的一类生物催化剂，大多数酶是蛋白质。生物体内错综复杂的化学反应都是在酶的催化下进行的。没有酶的参与，生命活动一刻也不能进行。

酶是如何促进化学反应的呢？酶是生物催化剂，具有促使反应物发生化学变化而本身却不发生化学变化的特点。受酶催化而发生化学反应的分子称为底物。酶能催化底物分子发生反应，是因为酶分子有一定的空间结构，能和底物分子结合。如图 3–5 所示，酶促使两个氨基酸结合形成二肽。这个反应的过程是：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，可以重新与底物结合，继续下一轮的反应。

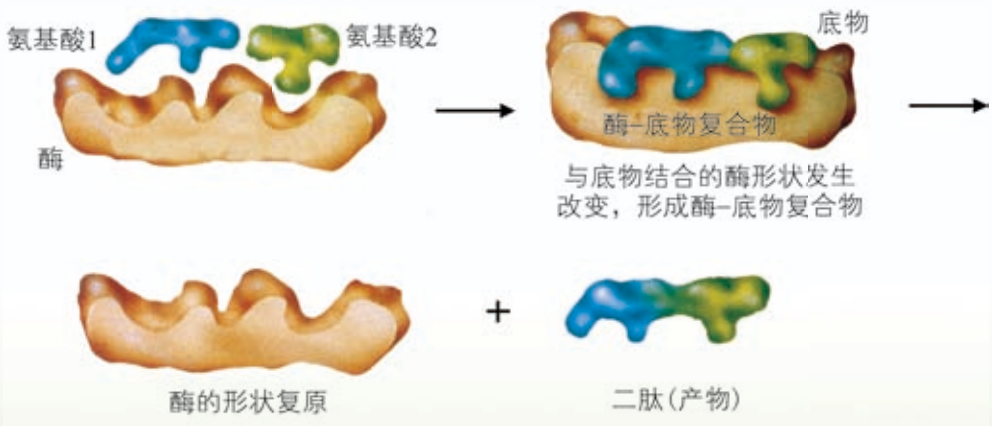


图 3–5　酶与底物结合示意图

酶作用的强弱可用酶活性表示。酶活性一般是指单位时间内底物的消耗量或产物的生成量。例如，1 g蔗糖酶在1 min内使多少克蔗糖水解，就代表蔗糖酶的活性是多少。

小资料　辅　酶

辅酶是辅助酶起作用的分子，它们不是蛋白质。单独的辅酶是没有催化活性的，它只有和相关的酶组合成“全酶”，才能发挥作用。

辅酶是维生素或由维生素衍生而成的，如转氨酶的辅酶是维生素B_6的衍生物。辅酶像酶一样，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，改变酶的局部结构，使之更适合与底物分子结合。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。

酶的催化功能具有专一性和高效性

酶作为生物催化剂，在催化生物化学反应过程中具有什么特点？

活　动　探究酶的专一性

生物体细胞中的酶多种多样，各种酶催化的化学反应是否相同？

目的要求

比较唾液淀粉酶和蔗糖酶对淀粉和蔗糖的作用。

探究问题

唾液淀粉酶能水解蔗糖吗？蔗糖酶能水解淀粉吗？

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%的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，试管架等。

方法步骤

1. 取两支试管，分别编为1号、2号。

2. 向1号试管中加入本尼迪特试剂2 mL，再加入质量分数为1%的淀粉溶液3 mL；2号试管中加入本尼迪特试剂2 mL，再加入质量分数为2%的蔗糖溶液3 mL。

3. 将两支试管内的溶液充分混匀后，放在热水浴中加热2～3 min。观察并记录实验结果。

4. 再取四支试管，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1 mL，然后在3号试管中加入质量分数为1%的淀粉溶液3 mL，在4号试管中加入质量分数为2%的蔗糖溶液3 mL，充分混匀后，放在37 ℃恒温水浴中保温，15 min后取出。两管各加本尼迪特试剂2 mL，摇匀，放在热水浴中加热2～3 min。观察并记录实验结果。

6. 5号、6号试管中各加入蔗糖酶溶液1 mL，然后在5号试管中加入质量分数为1%的淀粉溶液3 mL，在6号试管中加入质量分数为2%的蔗糖溶液3 mL，充分混匀后，放在37 ℃恒温水浴中保温，15 min后取出。两管各加本尼迪特试剂2 mL，摇匀，放在热水浴中加热2～3 min。观察并在下表中记录实验结果。

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

讨　论

1. 你能解释步骤2和步骤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？

由于酶分子的结构只适合与一种或者一类分子结合，所以一种酶只能催化一种底物或者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，但是蔗糖酶只能催化蔗糖的水解，不能催化麦芽糖的水解。

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。这是由于酶可以降低化学反应的活化能。以过氧化氢酶为例，每个酶分子能在1 s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1000万倍！

活 动　探究酶催化的高效性

过氧化氢是细胞中某些化学反应的副产物，具有强氧化性，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：

$$2H_2O_2 \xrightarrow{\text{过氧化氢酶}} 2H_2O + O_2$$

实验室中，我们也可以使用二氧化锰作为催化剂完成上面的化学反应。

目的要求

比较过氧化氢酶和二氧化锰在过氧化氢分解中的催化效率。

探究问题

在过氧化氢分解反应中，过氧化氢酶和二氧化锰的催化作用哪一个更高效？

材料用具

2%过氧化氢溶液，新鲜的鸡肝匀浆（或马铃薯匀浆），二氧化锰，试管，试管架，橡胶塞，卫生香，火柴等。

方法步骤

1. 取两支试管，编号后（1号、2号）各加入2%的过氧化氢溶液3 mL。

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. 观察两支试管中发生的变化。

5. 打开两支试管的橡胶塞，将点燃后无明火的卫生香放在试管口处，观察现象。

讨　论

1. 比较两支试管中发生的变化，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？

化学反应进行时需要吸收能量以断开反应分子的化学键，使反应物活化并完成化学反应生成产物，这种化学反应过程中所需要的能量被称为活化能。在一定温度范围内提高化学反应的温度，可以加快化学反应的速率。然而，生物体内的化学反应一般是在常温下进行的。酶的作用是降低化学反应的活化能，使得化学反应加快。

酶的催化功能受多种条件的影响

影响酶作用的因素有很多，pH、温度和某些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下作用最强。图3-6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。

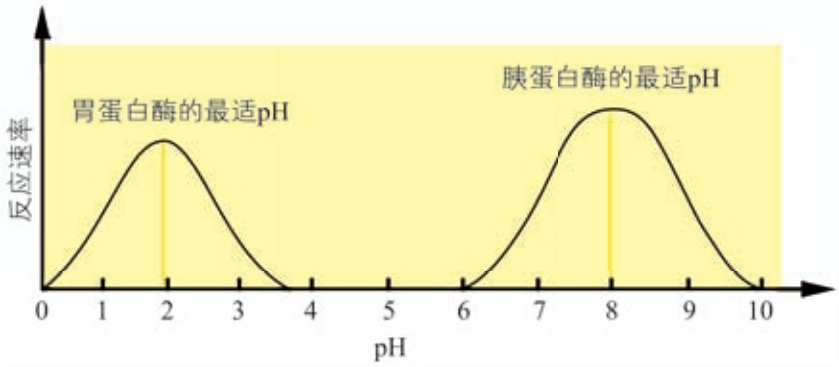


图3-6　pH对酶作用的影响

活　动　探究影响酶催化功能的因素——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。过氧化氢酶能及时清除机体代谢过程中产生的过氧化氢，避免过氧化氢对机体造成损害。

目的要求

说明pH对酶活性的影响。

探究问题

过氧化氢酶的最适pH是多少？

材料用具

新鲜肝脏匀浆（过氧化氢酶溶液），3%过氧化氢溶液，缓冲液（pH5.0、

pH6.0、pH7.0、pH8.0），清水，滤纸片，水槽，25 mL量筒，培养皿，记号笔，反应小室（图3–7），吸管，镊子，试管架等。

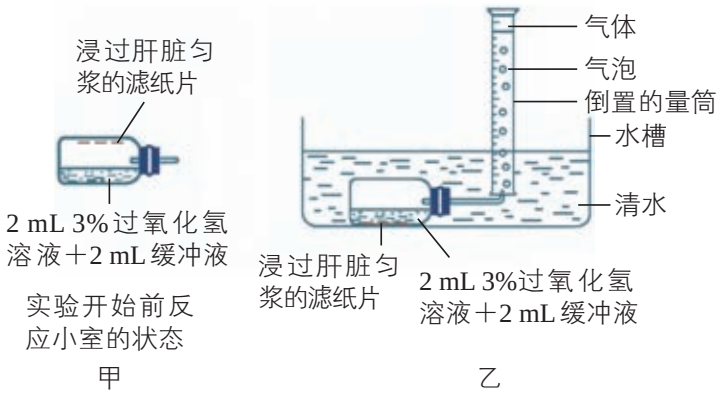


图3–7　探究pH影响过氧化氢酶活性的实验装置

方法步骤

1. 水槽加水至快满为止。

2. 取大小相同的8片滤纸片放在盛有新鲜肝脏匀浆的培养皿中（肝脏匀浆中含有过氧化氢酶）浸泡1 min，然后用镊子夹起滤纸片，贴靠在培养皿壁上，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：放入滤纸片时，滤纸片不要碰到反应小室的瓶口。

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pH5.0的缓冲液2 mL，然后再加入2 mL 3%的过氧化氢溶液。将小室塞紧。

注意：加入溶液时，切勿使溶液接触贴在内壁上的滤纸片。

5. 将25 mL量筒横放于水槽中使之灌满水，若有气泡，将其轻轻倾斜，小心排出气泡。然后将量筒倒立，使筒口一直处于水中。

6. 将反应小室小心平放在水槽的水里，然后将量筒移至反应小室口伸出的玻璃管上方。实验过程中，小组的一个成员要一直扶着量筒，保证量筒的位置不动。

注意：此时反应小室贴有滤纸片的内壁应在上面。

7. 将反应小室小心旋转180°，使过氧化氢溶液接触滤纸片，同时开始计时。每隔30 s读取量筒中水平面的刻度1次，共进行4次，记录结果。

8. 该实验完成后，反复冲洗反应小室，再重复上述实验过程，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：所有的实验都要保证实验用品不混淆，不应该有上一次反应后的剩余

溶液。每次实验后，先用水充分冲洗反应小室，然后用相应缓冲液再冲洗一遍。

9. 记录实验结果。

讨　论

1. 分析实验数据，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. 如果想要得出不同的pH与酶活性关系的变化曲线，应该如何设计实验？

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，酶活性均会下降（图3-8）。这是因为温度对酶促反应的影响有两个方面：其一，温度升高，反应物分子具有的能量增加，反应速度加快（图3-8中*a*）。其二，酶是蛋白质，酶分子本身会随温度的升高而发生空间结构改变，导致热变性。温度升得越高，酶变性的速率越快，升到一定温度，酶将完全失去活性（图3-8中*b*）。这两个作用叠加在一起，使得酶所催化的反应表现出最适温度（图3-8中*c*）。

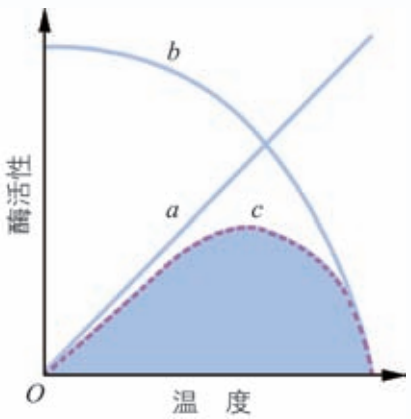


图3-8　温度对酶活性的影响

在0～40 ℃内，一般酶的活性随温度的升高而升高。低温会使酶的活性降低，但不会破坏酶的分子结构，当温度适宜时，酶的催化作用可以恢复。所以，酶一般在较低温度条件下保存。

此外，有机溶剂、重金属离子、酶的激活剂和抑制剂等都会影响酶的活性。

课外读

有关酶的学说——中间产物学说、锁钥学说和诱导契合学说

中间产物学说是在1913年提出来的，这个学说又被称为酶-底物复合物学说。该学说认为，在酶促反应中，底物（以S表示）首先与酶（以E表示）结合形成不稳定的中间产物SE，这个中间产物进一步分解，形成产物（以P表示），并释放出酶。这个反应所需要的活化能少，反应速度快。酶促反应可以表示为：S＋E→SE（中间产物）→E＋P。

中间产物学说已经被许多实验证明，可以用一定的方法证明中间产物的存在。

锁钥学说是化学家费舍尔（Hans Fischer，1881—1945）提出的，它是对酶反应机制的一种描述。费舍尔认为酶是蛋白质，而蛋白质有一定的空间结构，酶在化学反应中与底物的关系就像钥匙和锁的关系一样，它们的空间结构必须相互结合形成复合体后才能发生反应（图3-9）。这个学说可以用来解释酶催化作用的专一性。

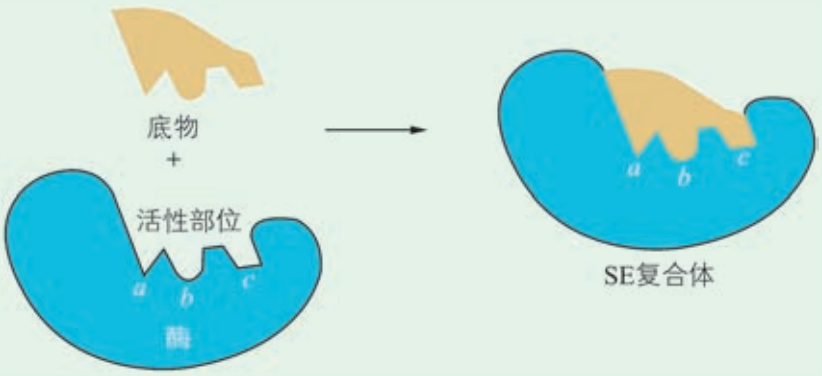


图3-9　锁钥学说模式图

诱导契合学说是在锁钥学说的基础上提出的一个学说，这个学说对锁钥学说的不足做了修订。这个学说认为，酶的活性部位不是刚性不变的，其活性部位的形状可在结合底物时有所改变，即底物与酶活性部位结合，会诱导酶发生构象变化，使酶的活性中心变得与底物的结构互补，两者相互契合，从而发挥催化功能（图3-10）。酶与底物的动态识别过程被称为诱导契合。这个理论已得到实验上的证实。

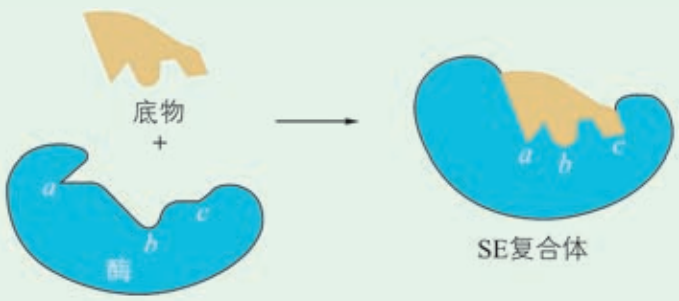


图3-10　诱导契合学说模式图

思考与练习

一、选择题

1. 淀粉酶能催化淀粉水解成麦芽糖，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　　B. 专一性

C. 多样性　　D. 稳定性

2. 某种 RNA 分子能够使另一种 RNA 分子分解成较小的片段，而自身并不改变。这种 RNA 可以被称为（　　）

A. 腐蚀剂　　B. 催化剂　　C. 杀菌剂　　D. 稳定剂

二、简答题

1. 加酶洗衣粉中一般含有蛋白酶，请回答下列问题：

（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？

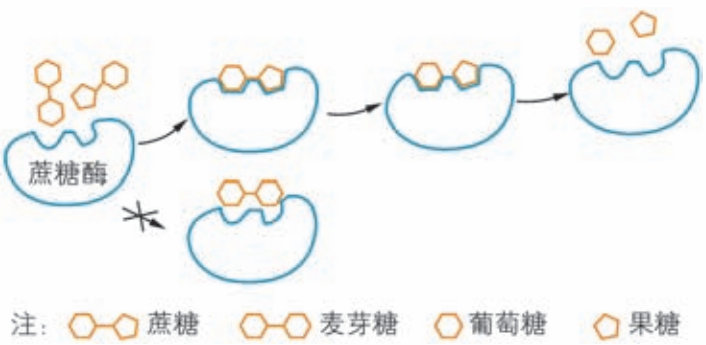
（2）使用这种洗衣粉为什么要用温水？

（3）这种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。

2. 下图为蔗糖酶作用机理示意图。

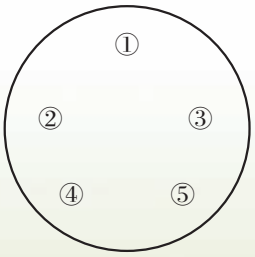


请回答下列问题：

（1）蔗糖酶的化学本质是_____，图中表明蔗糖酶能催化_____水解为_____和_____。

（2）由图可知，蔗糖酶不能催化麦芽糖水解的原因是_____。

3. 在淀粉–琼脂块上的 5 个圆点位置（如右图）分别用蘸有不同液体的棉签涂抹，然后将其放入 37 ℃恒温箱中保温。2 h 后取出该淀粉–琼脂块，加入碘液处理 1 min，然后用清水冲洗掉碘液，观察圆点的颜色变化。五种处理的结果记录如下表。



位　置	处理圆点的液体	碘液处理后的颜色反应
①	清水	蓝黑色
②	煮沸的新鲜唾液	蓝黑色
③	与盐酸混合的新鲜唾液	蓝黑色
④	新鲜唾液	红棕色
⑤	2%的蔗糖酶溶液	?

请回答下列问题：

（1）上述实验处理需要放在37 ℃恒温箱里进行保温处理的原因是_____。

（2）圆点②和圆点③的颜色反应结果相同，但是引起反应的原因不同。圆点②和圆点③分别是由于_____和_____改变了唾液中酶的活性。

（3）该实验中属于对照处理的圆点是_____，得出此结论的理由是_____。

（4）圆点⑤应该呈现_____色，理由是_____。

第三节　物质通过多种方式出入细胞

本·节·要·点

- 被动转运
- 主动转运
- 胞吞与胞吐

细胞要维持正常的代谢，必须从周围环境中获得氧和营养物质，同时向周围环境中排出各种代谢产物。细胞由一层具有选择透过性的细胞膜包被着，细胞膜具有调控物质出入细胞的功能。不同物质通过细胞膜出入细胞的方式是不同的。物质出入细胞有哪些方式？各自的特点和意义是什么？

被动转运不需要消耗能量

自然界中，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3–11）。随机运动导致了物质的扩散（diffusion）。扩散是分子或离子从高浓度处向低浓度处运动的现象，它使得该分子或离子分布均匀，直到平衡。此后分子或离子继续运动，以维持平衡的状态。氧、二氧化碳等气体分子通过扩散出入细胞，酒精、甘油等脂溶性物质也以这种方式跨膜运输。扩散是物质出入细胞的一种方式。

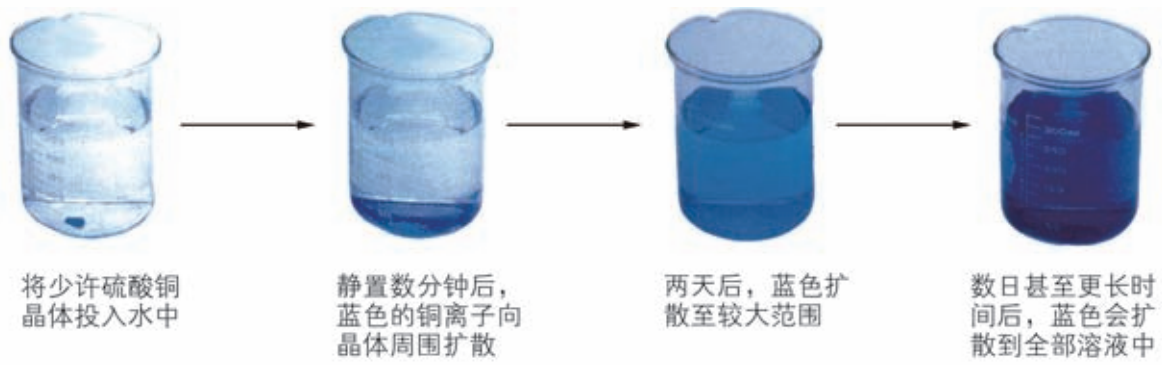


图3–11　硫酸铜在水中的扩散

细胞的生命活动离不开水，水分子也可以通过扩散出入细胞。一般来说，水分子通过半透膜的扩散称为渗透（osmosis）。细胞经常发生渗透作用。扩散和渗透都是物理现象（图3–12）。

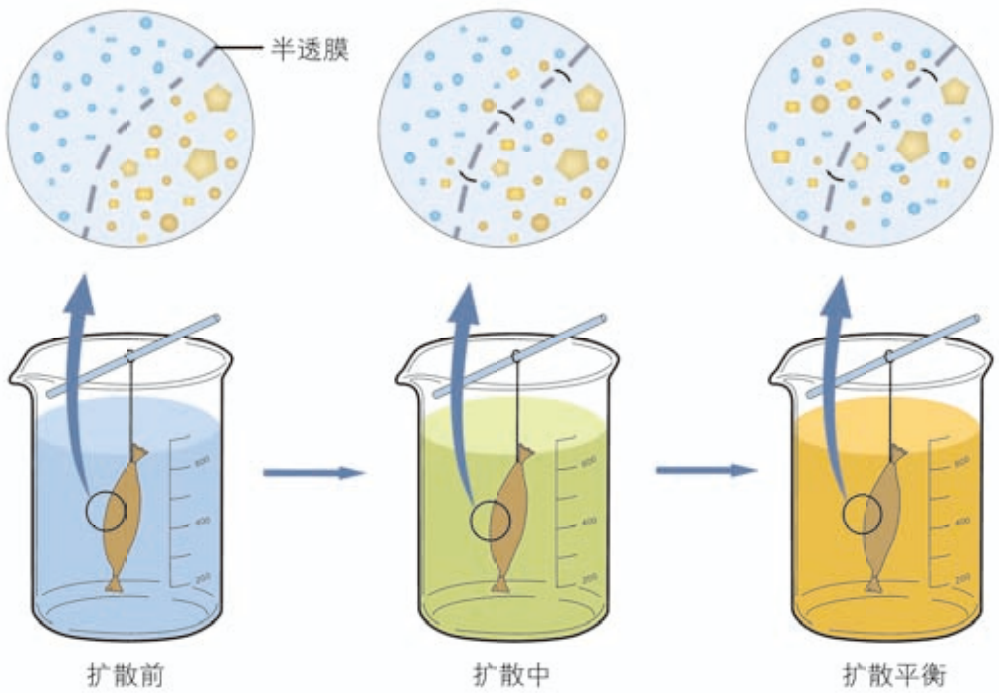


图3–12　物质跨膜扩散

水分子是从其分子数相对较多处向相对较少处扩散的。对于生物体内的各种溶液来说，水是溶剂。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中溶质的浓度低的一侧进入浓度高的一侧。

图3–13表示水分子通过渗透作用进入红细胞和植物细胞所引起的现象。当细胞内、外水分子的相对数目相等，即溶液中溶质的浓度相等时，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，也就是溶液中溶质的浓度相对低时，红细胞在水中会因渗透作用吸水涨大甚至破裂；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，因为细胞壁限制了植物细胞的过度膨胀。当细胞外水分子相对较少，也就是溶液中溶质的浓度相对高时，红细胞会因渗透作用失去水分而导致细胞皱缩；植物细胞也会因渗透作用失水，细胞膜以及细胞膜以内的部分因收缩而发生质壁分离（plasmolysis）。

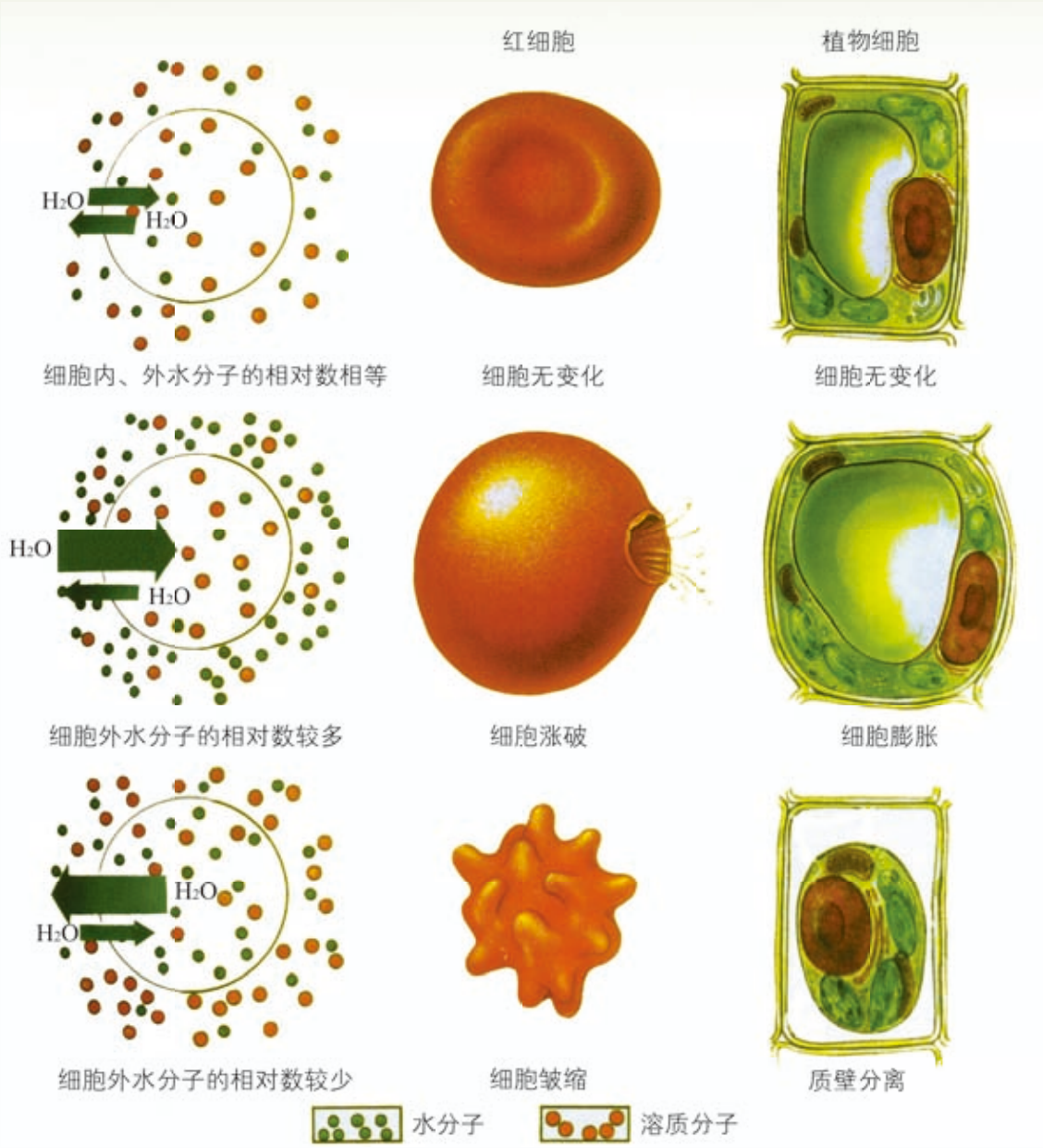


图3–13　渗透作用使红细胞和植物细胞发生形态改变

活 动　观察植物细胞的质壁分离及质壁分离复原现象

植物细胞浸泡在不同浓度的溶液中，由于细胞液与外界溶液中溶质的浓度的差异，植物细胞可能因为吸水、失水引起细胞形态的变化，这些变化可以通过显微镜观察到。

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

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清水。用镊子撕取紫色洋葱外表皮约 0.5 cm^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）先用低倍镜观察，再用高倍镜观察，可观察到洋葱表皮细胞中紫色的大液泡，同时还可能观察到细胞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 0.3 g/mL 的蔗糖溶液，在盖玻片的另一侧用吸水纸吸引，重复几次后，观察细胞的变化，可发现洋葱表皮细胞发生质壁分离。

（3）绘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现象。

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引，重复几次后，观察植物细胞的质壁分离复原现象。

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，请分析原因。

利用植物细胞质壁分离的原理，通过类似实验可以了解植物细胞细胞液的浓度。

建议活动　探究洋葱表皮细胞的细胞液浓度范围

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。

活动提示

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. 在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中溶质的浓度有何关系？

3. 估测洋葱表皮细胞的细胞液浓度。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细胞膜及其以内部分离开细胞壁的状态（图3-14）。

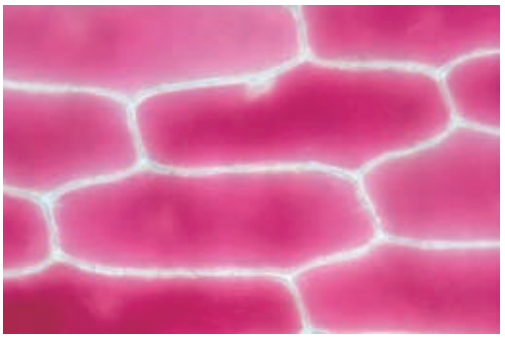


图3-14　初始质壁分离（100×）

4. 利用前面三个问题的答案，以实验小组为单位，设计实验。

（1）实验材料和用具：紫色洋葱，清水，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，显微镜等。

（2）哪些措施可以减少实验过程中可能出现的误差？

（3）写出实验方案后进行实验。

讨　论

1. 通过自己小组的实验，估测出洋葱表皮细胞的细胞液浓度范围。

2. 汇总全班各实验小组的数据，估测出洋葱表皮细胞的细胞液浓度范围。

3. 本实验中，减少实验误差的措施有哪些？

物质跨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。

细胞所需要的许多种小分子或离子，在细胞膜外侧的浓度虽然常比细胞内高，但由于它们不溶于细胞膜的磷脂双分子层中，或者是体积太大，不能直接穿过细胞膜，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，但必须借助载体蛋白的帮助。

载体蛋白分子与被转运的分子或离子结合后改变形状，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3-15）。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）。易化扩散也是被动转运的一种方式。

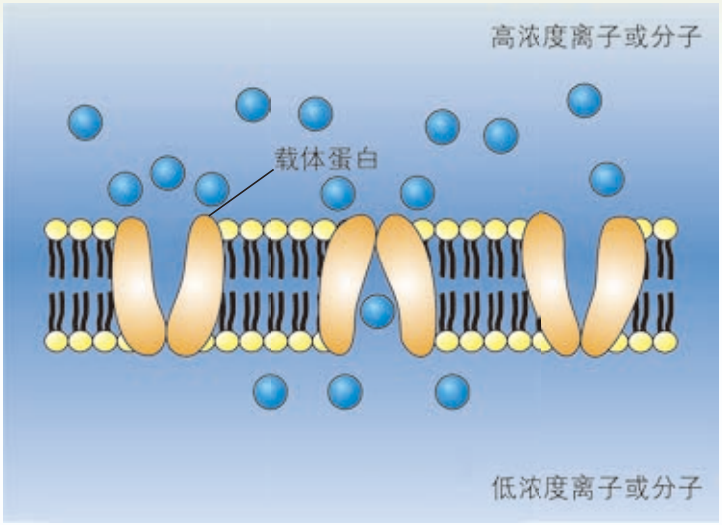


图3–15　易化扩散示意图

主动转运需要载体蛋白，并且消耗能量

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，消耗的能量来自细胞中的ATP（图3–16）。

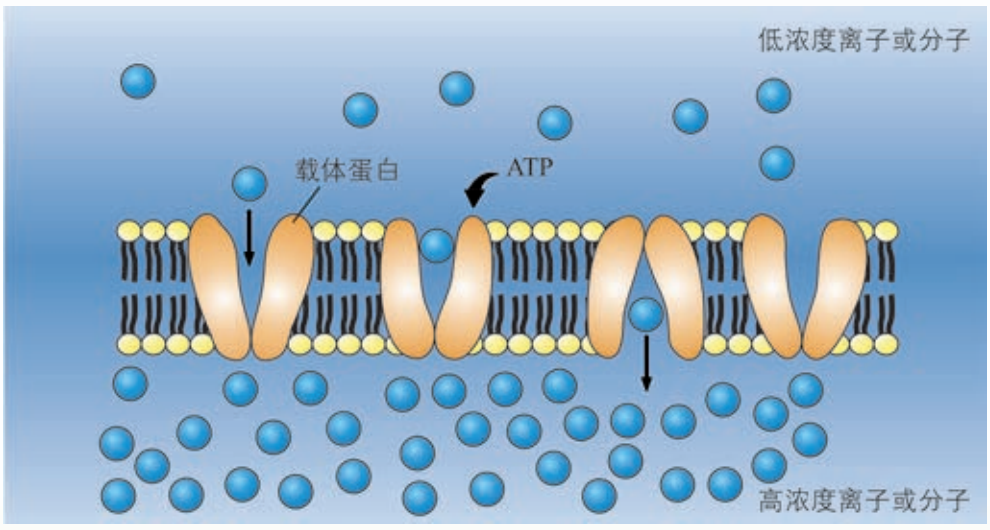


图3–16　主动转运示意图

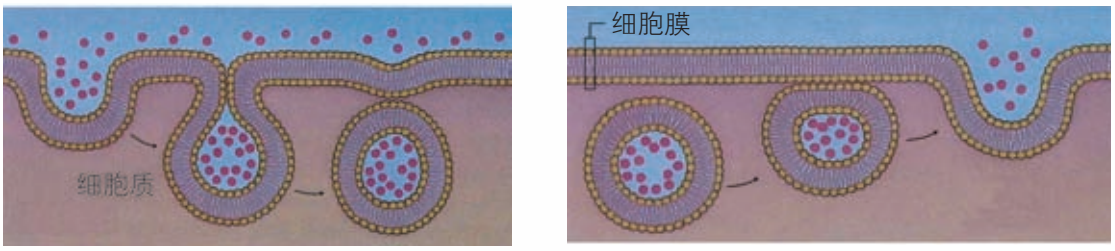
主动转运必须有载体蛋白参与。载体蛋白与被转运的离子结合后，其形状发生变

化，这种变化需要能量。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，它可以保持细胞内部某些物质的浓度与周围环境相比有较大的差别。

有些物质通过胞吞、胞吐进出细胞

进出细胞的物质并不一定都通过跨膜转运来实现，某些生物大分子如蛋白质、多糖等进出细胞，首先会被一部分细胞膜包起来，然后这一部分细胞膜与整个细胞膜脱离，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3–17）。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3–17　胞吞和胞吐示意图

在胞吞、胞吐过程中发生细胞膜的融合与断裂，它也需要能量的供应。

课外读　水通道

美国科学家彼得·阿格雷（Peter Agre，1949—　）由于发现细胞膜水通道获得了2003年诺贝尔化学奖。

20世纪50年代中期，科学家发现，细胞膜中存在着某种通道只允许水分子出入，人们称之为水通道。但是，水通道到底是什么一直是个谜。

20世纪80年代中期，彼得·阿格雷研究了不同的细胞膜蛋白，发现一种细胞膜蛋白就是人们寻找已久的水通道。为了验证自己的发现，阿格雷把含有水通道蛋白的细胞和去除了这种蛋白的细胞进行了对比试验，结果前者能够吸水，后者不能。为进一步验证，他又制造了两种人造细胞膜，一种含有水通道蛋白，一种则不含这种蛋白。他将这两种人造细胞膜分别做成泡状物，然后放在水中，结果一种泡状物吸收了很多水而膨胀，另一种则没有变化。这些实验充分说明了水通道蛋白具有输送水分子的功能。2000年，阿格雷与其他研究人员一起公布了世界上第一张水通道蛋白的高清晰度照片。

水通道的发现开辟了一个新的研究领域。目前，科学家发现水通道蛋白广泛存在于动物、植物和微生物中，它的种类很多，仅人体内就有11种。水通道具有十分重要的功能，如在人的肾脏中就起着关键作用。通常一个成年人每天要产生180 L原尿，原尿中的水分子经肾小管中水通道蛋白的重吸收，其中大部分水分被人体循环利用，最终只有约1 L尿液排出人体。

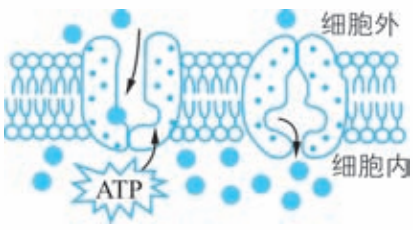
思考与练习

一、选择题

1. 有些物质需要以主动转运的方式进出细胞，主动转运需要载体蛋白并消耗能量。下列物质中，出入细胞既不需要载体蛋白也不消耗能量的是（　　）

A. K^+　　B. Na^+　　C. 氨基酸　　D. O_2

2. 下图是某种物质（用“●”表示）跨膜运输的示意图，这种物质的运输方式是（　　）



A. 渗透　　B. 胞吞

C. 主动转运　　D. 易化扩散

3. 向鱼鳔内注入30%的蔗糖溶液，扎紧口并称重。然后将其浸入5%的蔗糖溶液中，每隔半小时称一次重量。结果发现，在进行实验的1 h之内，鱼鳔重量逐渐增加；在进行实验的1 h后，鱼鳔重量不再增加。下列关于其重量变化的解释，正确的是（　　）

①在进行实验的1 h之内，鱼鳔重量增加是因为外界水分进入鱼鳔内

②在进行实验的1 h之内，鱼鳔重量增加是因为外界蔗糖分子进入鱼鳔内

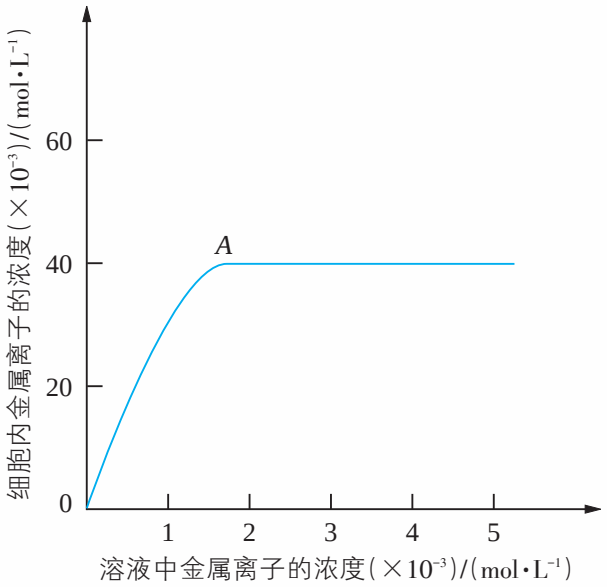
③在进行实验的1 h后，鱼鳔重量不再增加是因为进出鱼鳔的水分子处于相对平衡的状态

④在进行实验的1 h后，鱼鳔重量不再增加是因为进出鱼鳔的蔗糖分子处于相对平衡的状态

A. ①④　　B. ②④　　C. ②③　　D. ①③

二、简答题

一种金属离子能够通过细胞膜进入细胞内部。将活细胞放入不同浓度的含该金属离子的溶液中，1 h后，测量细胞内该金属离子的浓度，得到了下图所示曲线：



请回答下列问题：

(1) 该金属离子通过细胞膜的方式是_____，判断的依据是_____。

(2) 从*A*点开始，细胞内该金属离子的浓度不再增加，原因是细胞膜上运输该金属离子载体_____，此时细胞内外该金属离子的浓度之比是_____。

第四节　细胞呼吸为细胞生活提供能量

细胞呼吸与我们通常所说的呼吸是两个不同但又有关系的概念。

呼吸是指人体从周围环境中吸入空气，利用其中的氧气，呼出二氧化碳的气体交换过程。细胞呼吸（cell respiration）是指在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。

气体交换过程与细胞呼吸有什么关系呢？在气体交换过程中获得的氧气通过血液循环运送到身体的各个细胞，供细胞在有氧条件下分解有机物，有机物分解时产生的二氧化碳则通过气体交换排出体外。

细胞呼吸是在细胞的什么部位进行的呢？细胞呼吸对细胞生活的意义又是什么？

细胞呼吸的本质是糖等有机物的氧化分解

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。酵母菌与我们的生活有着密切的关系。在我们的生活以及食品、制药工业中，利用酵母菌的不同呼吸方式可以获得我们所需要的不同产物，如面包、馒头、各种酒类以及酒精等。

活　动　探究酵母菌的呼吸方式

酵母菌在有氧环境与无氧环境中都能生活。不同的氧环境中，酵母菌的呼吸方式是不同的，呼吸所产生的产物不同，产生的能量也有差异。

探究问题

1. 酵母菌在有氧或者无氧环境中进行呼吸的产物是什么？

2. 酵母菌在有氧或者无氧环境中进行的呼吸具有什么特点？

设计活动方案

1. 根据所要探究的问题，课前查阅有关酵母菌的资料，了解酵母菌在有氧或者无氧条件时的呼吸特点。

2. 依据酵母菌的生物学特性设计探究活动方案。

活动方案应包括以下几个方面：

（1）选择实验材料与器具（可参考附录提供的实验材料和器具）。

（2）确定实验操作步骤与方法。

（3）确定观察与记录实验现象的方式。

设计活动方案时，特别要考虑下列两个问题：

（1）保证酵母菌有氧或者无氧的生活条件。

（2）检测酵母菌在有氧或者无氧条件下呼吸的产物的方法。

实施活动方案

在小组充分讨论并与教师交流获得认可后展开实验。

实验过程中，需认真观察并记录实验现象。对实验中出现的问题及时分析讨论以不断完善实验方案。

实验结果分析

对实验现象以及获得的数据归纳、分析，得到实验结论，在讨论和交流的基础上完成探究活动报告。

附　录

供选择的实验材料与试剂：

1. 酵母菌：可以使用新鲜酵母，也可以将市场销售的干酵母溶于少量的蒸馏水中。

2. 酵母菌培养液：5%葡萄糖溶液，可提供酵母菌生长繁殖所需要的物质与能量，用于酵母菌的培养。

3. 0.1%溴麝香草酚蓝溶液：一种酸碱指示剂，碱性溶液中呈蓝色，酸性溶液中呈黄色，可用于检测 CO_2。当溶液中溶有 CO_2 时，其颜色由蓝色变成绿色再变成黄色。

4. 澄清的石灰水：用于检测 CO_2 的存在。当溶液中溶有 CO_2 时，澄清的石灰水变浑浊。

5. 5%重铬酸钾溶液：重铬酸钾在酸性条件下为橙色，遇到酒精变成灰绿色，可用于检测溶液中的酒精。

6. 10% NaOH溶液：可吸收CO_2。

7. 植物油：如菜籽油、花生油等。植物油可以覆盖溶液形成油脂层以创造无氧环境。

特别提示：实验中有些试剂如重铬酸钾溶液、石灰水、NaOH溶液对皮肤和衣物具有腐蚀性或刺激性，实验操作时要注意安全。

供选择的实验器具：

锥形瓶（500 mL、250 mL、100 mL、50 mL），烧杯（500 mL、250 mL、100 mL、50 mL），橡胶塞（不同规格，有孔可以插玻璃管，与锥形瓶配套），试管，玻璃管（直管、弯管），胶管，洗耳球（或气泵）等。

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。

需氧呼吸　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。木头燃烧时发生的也是类似的过程。需氧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。木头燃烧是在高温下发生的，产生的光和热立即被释放；需氧呼吸是在常温下发生的，所产生的能量逐步释放，其中有一部分能量储存在ATP中，其余的转化成热能，没有剧烈的发光发热现象。无论是木头燃烧还是需氧呼吸，反应的实质都是将有机物（如葡萄糖）中的碳氧化为二氧化碳，将氢氧化成水。

葡萄糖中含有很多能量，10 g葡萄糖中约有160 kJ能量。一个成人剧烈运动15 min大约要利用160 kJ的能量。1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个葡萄糖分子就会合成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32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。

需氧呼吸主要在线粒体中进行。ATP绝大部分是在线粒体中产生的，线粒体被称为细胞的“动力车间”。

需氧呼吸是由一系列化学反应组成的一个连续完整的代谢过程，每一步化学反应都需要特定的酶参与才能完成。在这个过程中，某一步反应的产物将是下一步反应的底物。根据产物的性质和反应在细胞中发生的部位，将这个连续的过程划分为3个阶段。

第一阶段：这个过程发生在细胞溶胶中，又称为糖酵解（glycolysis）。

在糖酵解的过程中，1个葡萄糖分子被分解成2个三碳化合物——丙酮酸和少量的

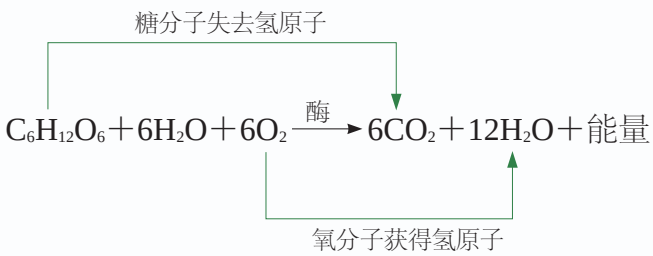
氢（用［H］表示），分解过程中释放出少量能量，形成少量 ATP。丙酮酸是糖酵解的产物，葡萄糖分子中的绝大部分化学能仍存在于丙酮酸中。

第二阶段：这个过程发生在线粒体基质中。

丙酮酸进入线粒体后，在复杂酶系统的催化下，经过一系列的化学反应，被彻底氧化分解形成二氧化碳，并产生［H］和少量 ATP，二氧化碳释放到细胞外。

第三阶段：这个过程发生在线粒体内膜上。前两个阶段产生的［H］经过线粒体内膜上电子传递链（electron transport chain）的传递，与氧结合生成水，产生大量 ATP。所以，需氧呼吸在最后一步才用到氧。

需氧呼吸的过程是一个氧化还原反应。在这个过程中，葡萄糖分子所储存的能量（化学能）通过氧化还原作用释放出来。部分能量驱动 ATP 的合成，用于各种生命活动。葡萄糖分子与氧反应的总反应式如下：



小资料　参与需氧呼吸的辅酶

NAD^+和 NADH 是某些脱氢酶的辅酶，全称为烟酰胺腺嘌呤二核苷酸，又称辅酶Ⅰ。NAD^+是氧化态，NADH 是还原态。线粒体和细胞溶胶中含有 NAD^+，它在需氧呼吸过程中发挥着不可替代的作用。在细胞呼吸过程中，中间产物脱下的［H］传递给 NAD^+，使之成为 $NADH+H^+$。而 $NADH+H^+$则作为［H］的载体，在电子传递链的传递中，［H］传递给氧生成水，所携带的能量释放，促使 ADP 与 Pi 结合生成 ATP。

需氧呼吸过程还有一种辅酶——FAD。FAD 全称为黄素腺嘌呤二核苷酸。FAD 也是脱氢酶的辅酶。在需氧呼吸过程中，它可以与中间产物脱下的［H］结合生成 $FADH_2$。$FADH_2$携带的［H］最终传递给氧，与氧结合生成水，同时释放出能量用于合成 ATP。

对于 1 个葡萄糖分子来说，从糖酵解开始，一般可以产生 32 个 ATP 分子，而其中的 28 个 ATP 分子是在电子传递链中产生的。

电子传递链中生成水的一系列反应只能在有氧气存在的条件下发生，所以称为需氧呼吸。需氧呼吸总的变化可概括为图3-18。

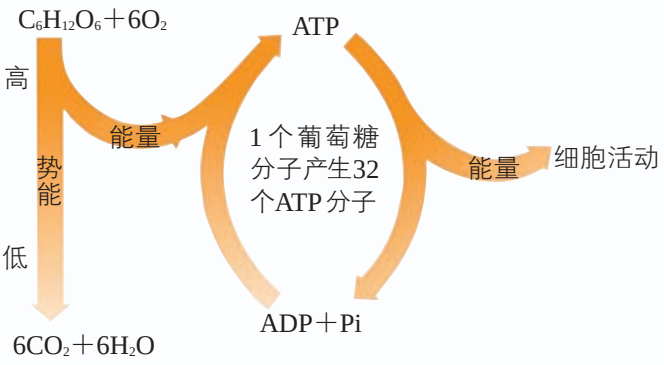


图3-18　需氧呼吸总变化示意图

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量。因为细胞呼吸是由一系列酶催化的化学反应，所以温度对细胞呼吸有很大影响。一般植物在0 ℃及以下时细胞呼吸很弱或停止，温度升高则细胞呼吸加快，温度太高则细胞呼吸减弱甚至停止。

厌氧呼吸　厌氧呼吸是在无氧的条件下发生的。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。又如，葡萄和苹果的果实、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。

小资料　人体运动时骨骼肌的能量供应

人体的骨骼肌收缩时会产生肢体运动，肌肉的收缩需要消耗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，它能迅速产生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；200～400 m赛跑，ATP主要靠厌氧呼吸供应；较长时间的运动如马拉松，主要靠需氧呼吸供应ATP。

许多微生物能够依靠厌氧呼吸维持生命，氧气对它们来说甚至是有毒的，如乳酸菌。我们制作酸奶、泡菜时，利用乳酸菌进行厌氧呼吸产生乳酸。因为乳酸菌是依靠厌氧呼吸生活的，氧气会抑制其生存，所以制作过程中需要采用密封的方法来隔绝空气。乳酸菌、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）。

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，1 个葡萄糖分子被分解成 2 个丙酮酸分子和少量［H］，分解过程中释放出少量能量，形成少量 ATP（2 个 ATP 分子）。

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，如乳酸或乙醇。

乳酸发酵　葡萄糖在无氧条件下分解产生乳酸，总反应式如下：

$$\underset{\text{葡萄糖}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{酶}} \underset{\text{乳酸}}{2C_3H_6O_3} + \text{能量}$$

在乳酸发酵反应的第二阶段，糖酵解过程的产物丙酮酸在乳酸脱氢酶的催化下被［H］还原为乳酸。乳酸发酵所产生的 ATP 仅为需氧呼吸的 1/16 左右。

乙醇发酵　葡萄糖在无氧或缺氧条件下分解产生乙醇，并释放出二氧化碳，总反应式如下：

$$\underset{\text{葡萄糖}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{酶}} \underset{\text{乙醇}}{2C_2H_5OH} + 2CO_2 + \text{能量}$$

酵母菌在氧充足的环境中进行需氧呼吸，在氧缺少的状态下进行厌氧呼吸，即乙醇发酵。在乙醇发酵反应的第二阶段，丙酮酸在酶的作用下先脱去二氧化碳生成乙醛，乙醛再被［H］还原为乙醇，即酒精。所以，各种酒类的制作一般离不开酵母菌。

$$\underset{\text{丙酮酸}}{CH_3COCOOH} \xrightarrow{\text{酶}} \underset{\text{乙醛}}{CH_3CHO} + CO_2$$

$$\underset{\text{乙醛}}{CH_3CHO} + 2[H] \xrightarrow{\text{酶}} \underset{\text{乙醇}}{C_2H_5OH}$$

有时，成熟的苹果切开后有酒味，这是因为果肉细胞进行了厌氧呼吸，苹果中储存的糖在厌氧呼吸中生成了乙醇。

在需氧呼吸中，葡萄糖被彻底氧化分解，产生二氧化碳，储存在有机物中的能量全部被释放出来。在厌氧呼吸中，葡萄糖分解产生的乳酸或乙醇，都含有可利用的能量。因此，厌氧呼吸产生的 ATP 比需氧呼吸产生的 ATP 少得多。但是，在无氧或缺氧条件下，细胞通过厌氧呼吸的方式可以快速地利用葡萄糖产生 ATP，以维持生命。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。

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。这些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32个ATP分子，而通过厌氧呼吸只能生成2个ATP分子。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。

细胞呼吸是细胞代谢的核心

细胞代谢包括分解代谢和合成代谢。无论是分解代谢还是合成代谢，都与细胞呼吸有着密切的关系。

细胞分解代谢主要利用糖类作为呼吸过程中能量的来源，人和动物的细胞也可利用脂肪和蛋白质作为能源。糖类、脂肪和蛋白质这三类物质的水解产物——单糖、甘油和脂肪酸以及氨基酸等通过多种途径进入细胞呼吸过程被氧化分解，释放出所储存的能量。

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，最后被完全氧化成二氧化碳和水。脂肪先分解成甘油和脂肪酸，甘油形成一个三碳化合物后进入糖酵解，脂肪酸则进一步被分解。当蛋白质用于细胞呼吸时，首先被分解成氨基酸，氨基酸脱去氨基后变成不同的有机酸，最终被完全氧化。

细胞合成代谢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。细胞内有机物的生物合成也以细胞呼吸为中心。

思考与练习

一、选择题

1. 植物细胞进行需氧呼吸的主要场所和分解的主要能源物质分别是（　　）

A. 叶绿体、葡萄糖　　B. 线粒体、葡萄糖

C. 核糖体、蛋白质　　D. 线粒体、蛋白质

2. 需氧呼吸是一系列的氧化还原反应，在需氧呼吸的第一阶段、第二阶段都会产生［H］，［H］最终在第三阶段生成水。在此过程中，O_2的作用是（　　）

A. 参与酶的催化作用

B. 氧化葡萄糖形成丙酮酸

C. 与葡萄糖中的碳结合生成CO_2

D. 在电子传递链的末端与［H］结合生成水

3. 若需判定运动员在运动时肌肉细胞是否进行了厌氧呼吸，应监测体内积累的（　　）

A. CO_2　　B. O_2

C. ADP　　D. 乳酸

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，则它们释放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

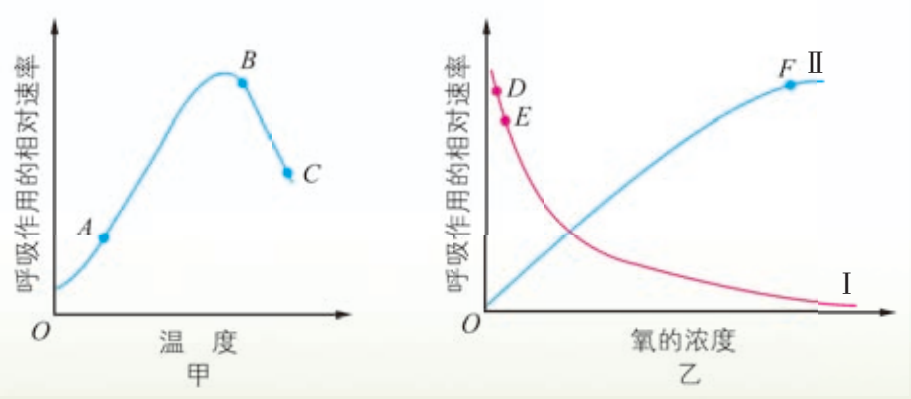
5. 人和动物的骨骼肌细胞在有氧情况下，能将葡萄糖转化为二氧化碳和水；在缺氧情况下，能将葡萄糖转化为乳酸。这两种生理过程的实质是（　　）

A. 分解有机物，储藏能量　　B. 合成有机物，储藏能量

C. 分解有机物，释放能量　　D. 合成有机物，释放能量

二、简答题

1. 下图是外界条件对植物细胞呼吸速率影响的曲线图。



温度和氧的浓度对细胞呼吸的影响

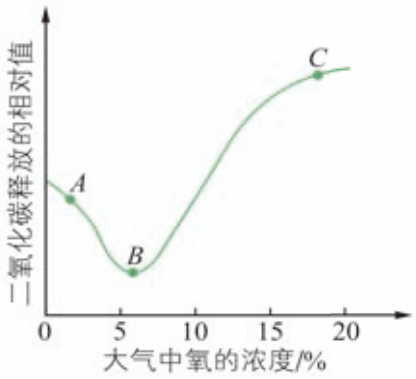
请回答下列问题：

（1）甲图*AB*段说明随着温度升高，细胞呼吸_____；温度的作用主要是影响_____的活性。*BC*段说明细胞呼吸的相对速率_____，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细胞呼吸，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。



氧的浓度对植物组织产生二氧化碳的影响

请回答下列问题：

（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）为了有利于储藏蔬菜或水果，储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_____

_____。

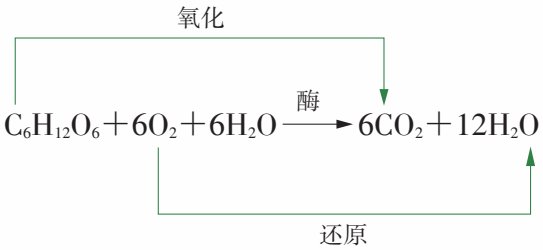
第五节　光合作用将光能转化为化学能

本·节·要·点

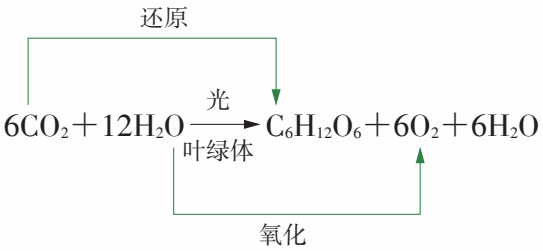
- 光合作用的过程
- 叶绿素
- 光反应
- 碳反应

细胞呼吸一般以糖为底物。糖是怎样产生的呢？生物界的糖绝大部分来源于光合作用（photosynthesis）。进行光合作用的生物主要为绿色植物和蓝细菌，它们以二氧化碳和水为原料，利用光能合成糖类等有机物，这些有机物为其自身的生长、发育和繁殖提供物质和能量。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。

光合作用和细胞呼吸一样，也是一个氧化还原过程。就其总反应式而言，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CO_2，游离的O_2则被还原为H_2O中的O。



光合作用则是将CO_2还原为糖，将H_2O中的O氧化为O_2。



细胞呼吸是一个放能反应，它将储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，并将能量储存在糖分子内。也就是说，光合作用是一个将光能转化为化学能的过程。

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。与细胞呼吸比较，光合作用过程更加复杂，并不像它的反应式所表示的那样简单。光合作用是在细胞的什么结构中进行的？CO_2是如何转变为葡萄糖的？光能是如

何转化为有机物中的化学能的?

小资料　关于“光合作用释放的氧来自哪里”的研究

光合作用释放的O_2，究竟来自CO_2，还是来自H_2O？这个问题直到20世纪40年代才被解决。当时研究人员已经能够运用氧的同位素^{18}O标记的CO_2和H_2O进行实验。结果发现，只有供给$H_2{}^{18}O$时，光合作用释放的才是$^{18}O_2$，由此证实了光合作用释放的O_2来自H_2O中的O。实验结果如下式所示：

$$6C^{18}O_2+12H_2O\longrightarrow C_6H_{12}{}^{18}O_6+6H_2{}^{18}O+6O_2$$

$$6CO_2+12H_2{}^{18}O\longrightarrow C_6H_{12}O_6+6H_2O+6{}^{18}O_2$$

所以光合作用的总反应式，若以葡萄糖为产物，应该是每6分子CO_2与12分子H_2O发生反应。

$$6CO_2+12H_2{}^{18}O\longrightarrow C_6H_{12}O_6+6H_2O+6{}^{18}O_2$$

光合作用在叶绿体中进行

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。悬浮在基质中的是许多类囊体。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，称为基粒，如图3-19所示。组成类囊体的膜被称为光合膜（photosynthetic membrane）。叶绿素及其他光合色素存在于光合膜上。除了与光合作用有关的色素外，光合膜上还分布了可以将光能转化为化学能的多种蛋白质。在类囊体的空腔内含有多种酶，这些酶与H_2O的裂解有关。

图3-19　透射电镜下的叶绿体(37000×,经后期着色处理)

活 动　光合色素的提取与分离

叶绿体中含有多种色素，这些色素与光合作用有关，被称为光合色素。光合色素是一类脂溶性物质，可以利用脂溶剂将它们从叶绿体中提取出来，并且将它们分离开来，达到观察叶绿体中色素的目的。

目的要求

1. 学会提取和分离叶绿体中色素的方法。
2. 分离叶绿体中的四种色素。

材料用具

新鲜的绿色叶片（如菠菜叶、刺槐叶），干燥的定性滤纸，95%的酒精，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，天平等。

方法步骤

1. 将新鲜的菠菜叶（或刺槐叶等）放入40～50 ℃的烘箱中烘干，粉碎后取2 g干粉放入研钵中，加入少许二氧化硅和碳酸钙，再加入2～3 mL 95%的酒精，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。收集滤液到一支试管中，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10 cm、宽1 cm的滤纸条，再将滤纸条一端剪去两角，并在距这一端底部1 cm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2 mL层析液沿试管壁一侧倒入大试管中（图3–20），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。

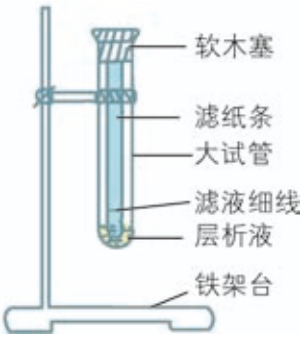


图3–20　叶绿体色素层析装置示意图

6. 观察实验结果。5～10 min以后，取出滤纸条。待滤纸条干燥后，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？每条色素带的宽窄是否相同？
2. 分离得到的色素带分别呈现什么颜色？分别是哪种光合色素？
3. 本实验成功的关键是什么？

通过以上实验，我们知道在叶绿体中含有四种不同颜色的光合色素，即叶绿素a、叶绿素b、胡萝卜素和叶黄素。这四种色素在叶肉细胞中的含量是不同的，有些色素的含量会随着季节或者生理特性的变化而发生变化。

叶绿体中的叶绿素a和叶绿素b，都是含镁的有机分子，它们分别呈现蓝绿色、黄绿色。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，其中最多的是胡萝卜素和叶黄素，它们都是由碳氢链组成的分子，胡萝卜素为橙色，叶黄素为黄色。

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？

早春，初发育的嫩叶合成的叶绿素较少，叶绿素的绿色不足以遮盖黄色色素的颜色，叶片呈现出嫩绿色。进入盛夏，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，其颜色遮盖了黄色色素的颜色，叶片也变得郁郁葱葱了。深秋气候变冷，太阳的光照量大大减少，叶绿素的合成速度变慢或停止，原有的叶绿素被破坏，叶黄素或者胡萝卜素的颜色就显露出来，叶片变黄。

当然，不是所有植物的叶片都符合上述变化规律。例如，枫叶是由绿先变红再变黄，红苋菜的叶是红的，因为在这类植物叶片中除了叶绿素和类胡萝卜素外，其液泡中还含有大量水溶性的色素，如花青素。

在光合作用中，光合色素的作用是吸收可见光，将光能转化为化学能，用于有机物的合成。

小资料

光合色素吸收的可见光

光是辐射能的一种形式，辐射能以波的形式传播。光波像水波一样，有波峰和波谷。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 400～760 nm。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，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。

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，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。图 3–21 是叶绿素和类胡萝卜素的吸收光谱。在光合作用中，这些被吸收的光能转化成化学能。

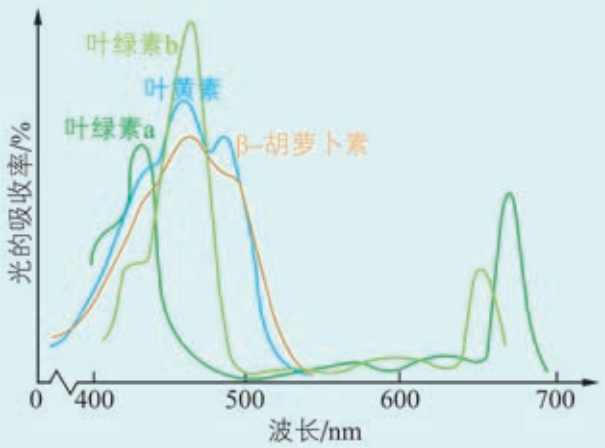


图 3–21　光合色素吸收光谱

光合作用分两个阶段进行。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），也称暗反应（dark reaction）。光合作用中光反应和碳反应的关系如图 3–22 所示。

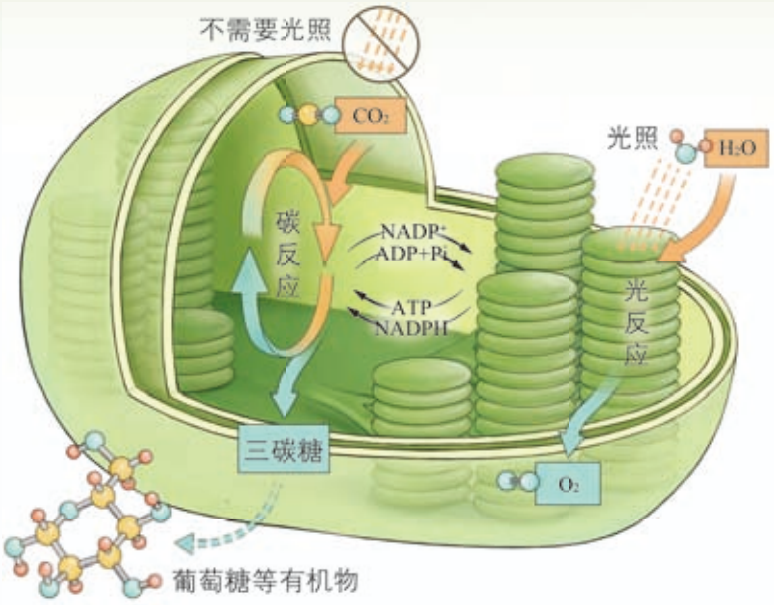


图3–22　光合作用中光反应和碳反应关系图

光反应将光能转化为化学能，并产生氧气

光反应发生在类囊体膜——光合膜中。在这个阶段，叶绿体利用光能使水裂解产生氧，同时生成ATP和NADPH。NADPH是辅酶Ⅱ，它是氢的载体。

光反应过程有多步反应，主要变化包括光合膜上光合色素吸收光能，光能将水裂解为H^+、电子（e^-）和O_2，H^+和e^-将$NADP^+$还原为NADPH，并产生ATP，O_2被释放到细胞外。这样，光能就转化为ATP和NADPH中的化学能。

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，NADPH在碳反应中是还原剂。

碳反应将二氧化碳还原成糖

类囊体周围是叶绿体基质，其中有许多种酶是将二氧化碳还原为糖所必需的。碳反应在叶绿体基质中进行。二氧化碳还原为糖的一系列反应称为卡尔文循环（Calvin cycle）。

卡尔文循环（图3–23）从1个五碳糖开始。在酶的催化作用下，1个CO_2分子与五碳糖结合，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。然后，三碳酸分子接受来自ATP和NADPH的能量，被NADPH还原形成三碳糖。这是CO_2分子进入卡尔文循环后形成的第一个糖，是这个循环中的关键步骤，这样光能就转化为糖分

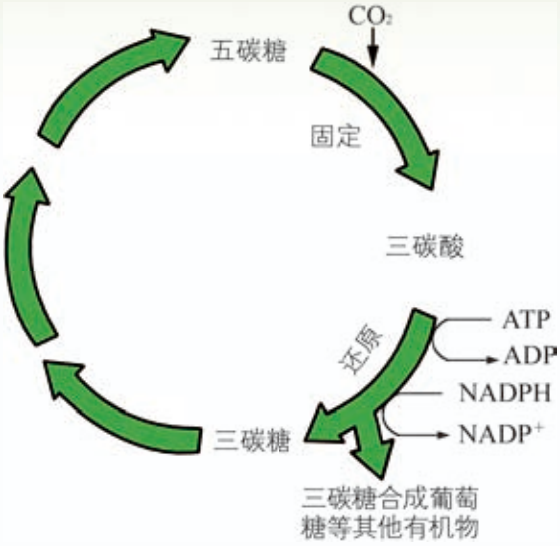


图3-23　卡尔文循环示意图

子中的化学能了。在三碳糖形成后，卡尔文循环中的许多反应，都是为了再生五碳糖，以保证此循环不断进行。

NADPH 和 ATP 在完成了还原反应之后，又回到 $NADP^+$ 和 ADP 的状态，在光反应中可以重新形成 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。卡尔文（M. Calvin，1911—1997）因发现这个循环而获得诺贝尔化学奖。

三碳糖的形成标志着光合作用合成糖的过程已经完成。在叶绿体内，三碳糖作为原料用于淀粉、蛋白质和脂质的合成。大部分三碳糖运至叶绿体外，并且转变成蔗糖，供植物体所有细胞利用（图3-24）。

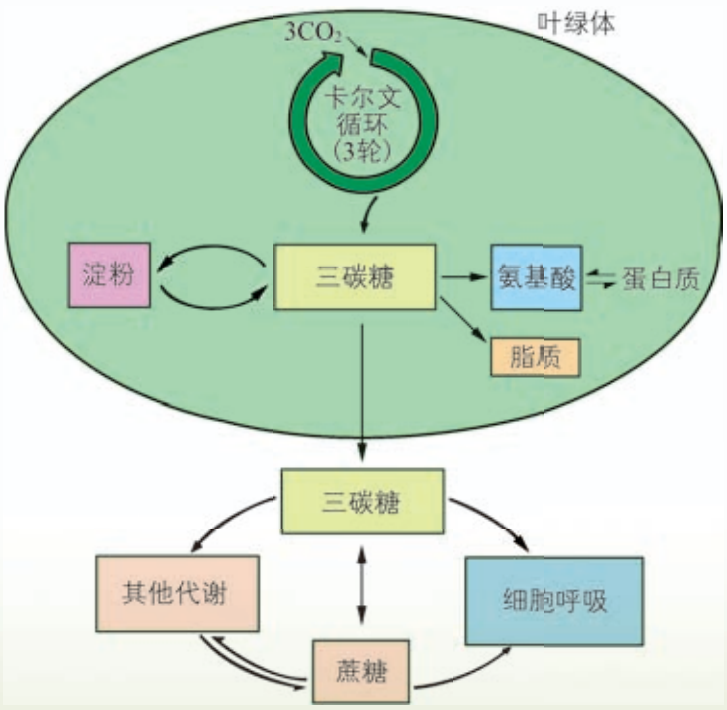


图3-24　光合产物在植物细胞中的利用

小资料　暗反应和碳反应

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，1866—1947）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做出的非常重要的贡献。

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反应时间极短，而在有光的情况下能连续不断地进行，并且受到光强度的调节。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的二氧化碳转变为糖的一系列反应。

光合作用受环境因素的影响

光合作用的强弱一般用光合速率来表示。光合速率也称光合强度，是指一定量的植物（如一定的叶面积）在单位时间内进行的光合作用，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。

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。

探究问题

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？

活动提示

1. 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_____。

2. 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，并做出假设。

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，对这个问题做出本组的假设。

假设是_____。

3. 根据假设，设计单因子对照实验方案。

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

（2）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速率？

（6）你们组设计的实验方案是_____。

4. 根据实验设计方案，设计实验数据记录表。

5. 你们组的实验预期是_____。

6. 根据实验设计方案进行实验。

讨　论

1. 实验结果支持你们组的假设吗？请在班里做具体说明。

2. 听了其他组汇报的实验设计方案后，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？

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CO_2吸收量是植物从外界环境吸收的CO_2总量，称为表观光合速率，又称净光合速率。

真正光合速率是指植物在光照条件下，从外界环境中吸收的CO_2的量，加上细胞呼吸释放的CO_2的量，即植物实际同化的CO_2的量，又称总光合速率。表观光合速率小于真正光合速率。

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3–25）。

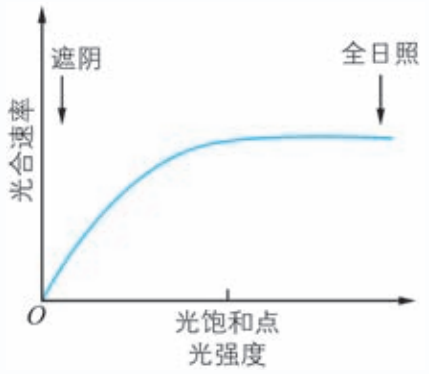


图3–25　光强度对光合速率的影响

温度　光合作用是酶促反应，其速率受温度影响，一定范围内随温度的升高而加快。光合作用对温度比较敏感，温度过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在25 ℃左右（图3–26）。在0 ℃时，光合作用可能完全停止，也可能十分微弱。

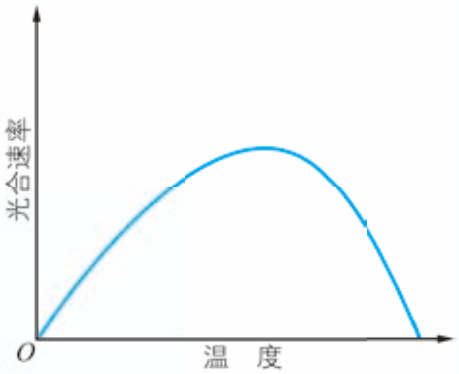


图3–26　温度对光合速率的影响

CO_2浓度　CO_2直接影响碳反应速率。空气中CO_2浓度的增加会使光合速率加快。目前大气中CO_2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CO_2浓度的增加而增加。

光强度、温度和CO_2浓度对光合作用的影响是综合性的。如图3–27所示，在温度较高（如曲线1）或CO_2浓度较高（如曲线2）的情况下，光强度对光合速

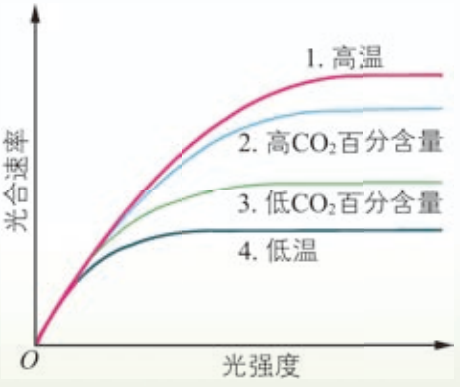


图3–27　多种环境因素对光合作用的综合影响

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，是因为它们需要大量的光，而森林中光照不足。

课外读　光合作用早期研究简史

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，1733—1804），但他当时并不知道光是必需的。荷兰的英格豪斯（J. Ingenhousz，1730—1799）几年后证明了光合作用必须在光下才能发生。此后，许多科学家对光合作用进行了多方面的研究，取得了一些成就，但对光合作用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速率的测定。英国科学家伯莱克曼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，光合速率在一定温度范围内随温度的升高而增加；光强度低时，光合速率与温度似乎无关。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碳反应。

在伯莱克曼的启发下，德国的瓦尔堡（O. Warburg, 1883—1970）设法把光合作用的光反应、碳反应分开。他的办法是在“间歇光”下测定光合作用。间歇光是一种人工光源，能够实现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，光反应的速率比碳反应的速率快得多，而且光反应与温度无关。光合作用中存在光反应和碳反应的发现对于之后的研究产生了深远的影响。

19世纪，人们虽然已认识到叶绿体是发生光合作用的场所，但证据并不充分。1937年，英国的科学家希尔（R. Hill，1899—1991）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，水可在光照条件下被氧化为O_2。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水。

20世纪40年代，利用氧同位素的示踪技术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、分子生物学的发展和技术的进步，尤其是卡尔文循环的发现，人们对光合作用有了越来越深刻的认识。

1945年以后，碳的放射性同位素^{14}C被发现，于是卡尔文想到，如果让植物以^{14}C标记的二氧化碳为原料进行光合作用，然后寻找^{14}C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。光合作用中产生ATP的机制、光系统Ⅰ和光系统Ⅱ、光呼吸、C4植物等，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，人类可以进一步阐明光合作用的机理。

思考与练习

一、选择题

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. 黄橙光部分

C. 蓝紫光部分　　D. 红光和蓝紫光部分

2. 要测定绿色植物是否进行了光合作用，最好是检测（　　）

A. 糖的生成　　B. ATP的合成

C. 氧的释放　　D. 二氧化碳的吸收

3. 在光照最强的夏季中午，植物叶片气孔关闭，光合速率下降。其主要原因是（　　）

A. 水的分解不足　　B. 五碳糖的数量不足

C. 利用光能合成的ATP不足　　D. 碳反应产生的三碳糖不足

4. 用^{14}C标记参加光合作用的二氧化碳，由此可以了解（　　）

A. 碳反应不需要光

B. 光合作用中能量的传递过程

C. 二氧化碳被还原为糖的过程

D. 光反应必须在有光条件下进行

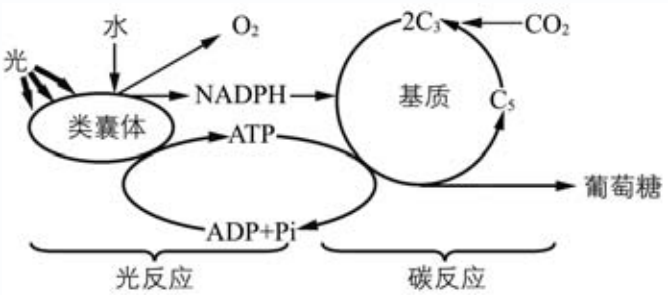
5. 将某植物的叶片放在特定的密闭容器中（有足够的氧气），在一定的条件下，给予充足的光照，容器内的二氧化碳每小时减少 44 mg。如果将其放在黑暗的条件下，二氧化碳每小时增加 8.8 mg。如果在充足的光照下，光合作用合成的有机物最后都转变为葡萄糖，那么，这些植物的叶片每小时制造的葡萄糖为（　　）

A. 36 mg　　B. 72 mg

C. 180 mg　　D. 24 mg

二、简答题

1. 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。



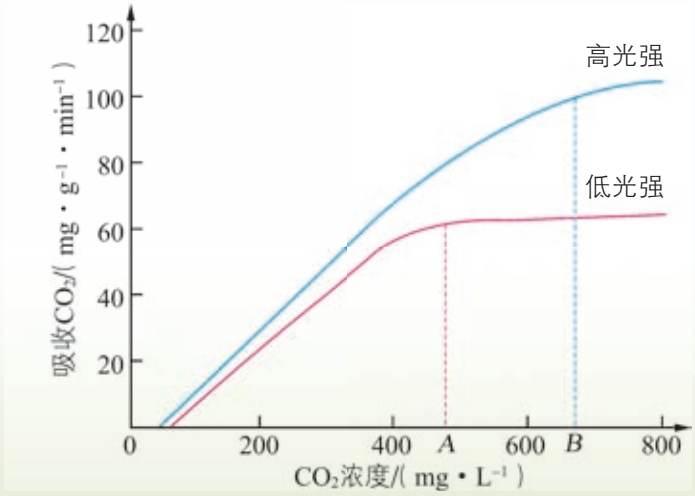
请回答下列问题：

（1）写出光合作用的总反应式：_____。

（2）在供给 $C^{18}O_2$ 极短时间后，除了糖类物质含有 ^{18}O 以外，从另一种光合产物_____中也应当能够检测到 ^{18}O。

（3）在供给 $C^{18}O_2$ 较长时间后，能够检测出 ^{18}O 的物质是糖类、_____。

2. 光合作用受多种因素影响，光照、CO_2、温度、水分等均会影响光合作用的进行。下图表示在正常温度下，不同 CO_2 浓度、不同光强度（光强）对某种植物吸收 CO_2 量的影响。



请回答下列问题：

（1）当光强度为低光强时，从*A*点开始随着_____的增加，此植物光合作用强度不再增加。

（2）当CO_2浓度为*B*、光强度为_____（填“高光强”或“低光强”）时，此植物可合成较多的有机物，原因是光反应可以产生较多的ATP和_____。

（3）据图可知，光合作用受_____和_____的共同影响。

本章小结

生命活动的本质是物质和能量的转化，其根本则是靠细胞内的化学反应来实现的，渗透了生命的物质性观点。

酶是由活细胞产生的一类生物催化剂，大多数酶是由蛋白质构成的。酶的活性受多种因素的影响，如pH、温度等。酶具有高效性和专一性，这就保证了细胞内无数错综复杂的化学反应的有序和高效进行，从分子水平说明结构与功能的统一性，同时渗透了稳态与平衡观。

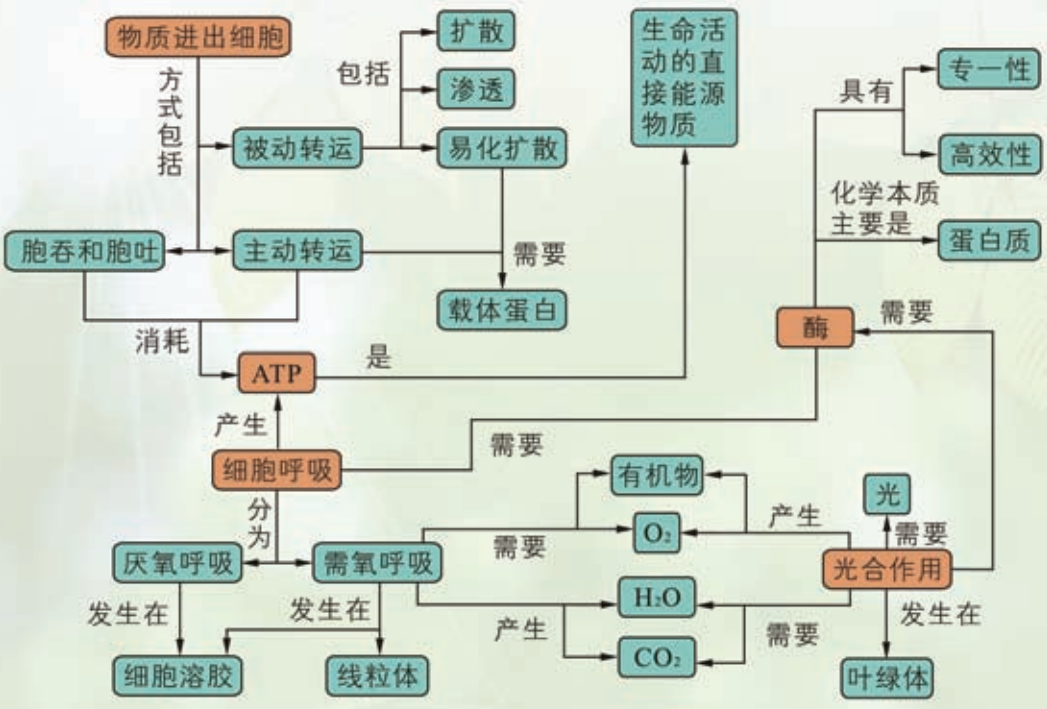
就能量而言，ATP是细胞生命活动的直接能源，可与ADP相互转化，两者在细胞内的含量保持动态平衡。ATP是细胞中普遍使用的能量载体，在细胞内能量转化和利用中起着关键作用，又称为细胞的“能量通货”。各种生物细胞生命活动都是以ATP为直接能源，体现了生物界的统一性，渗透了进化的观点。

任何生物体进行生命活动都需要能量，生物体需要的能量几乎全部来自细胞呼吸。细胞呼吸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。根据是否消耗氧气，可将细胞呼吸分为需氧呼吸和厌氧呼吸。

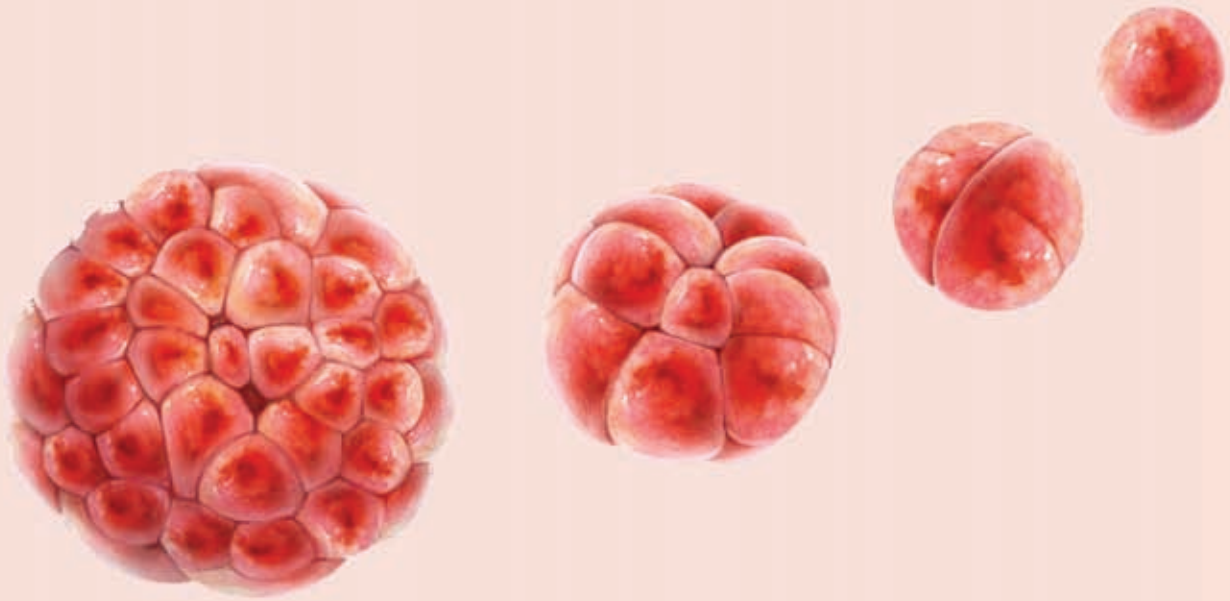
细胞呼吸所需的糖绝大部分来源于光合作用。光合作用是绿色植物等生物以二氧化碳和水为原料，通过叶绿体，利用光能合成糖类等有机物，储存能量，并释放氧气的过程。光合作用产生的有机物为其自身以及其他生物的生长、发育和繁殖提供物质和能量。

光合作用和细胞呼吸是细胞内物质代谢和能量转化的重要途径，促进了细胞内生命活动的良好运转，渗透了生命活动中物质与能量变化统一性的观点。

本章知识结构图



第四章 细胞的生命历程



昼夜交替、潮涨潮落……自然界的许多事物都在周而复始地循环着，生物也不例外。一切动物和植物都要经历生殖、发育、衰老和死亡的过程。细胞是生物体的结构和功能单位，细胞也要经历分裂、分化、衰老和死亡的过程。进行有性生殖的生物往往从一个受精卵开始，经历细胞分裂使细胞数目增多，通过细胞分化使细胞种类多样。细胞分裂是怎样进行的？分裂过程中如何保持遗传物质的稳定性？遗传物质相同的细胞为什么会形成不同类型的细胞？癌细胞为什么会无限分裂？衰老和死亡的细胞对生命个体有影响吗？

学习目标

1. 简述细胞的生长与增殖。
2. 描述细胞有丝分裂的过程。
3. 说明细胞分化。
4. 举例说明细胞的全能性。
5. 简述细胞的衰老和凋亡与人类健康的关系。
6. 说明癌细胞的主要特征，讨论恶性肿瘤的防治措施。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 通过模拟探究细胞大小与扩散作用、观察细胞有丝分裂等活动，发展观察能力和探究能力。
2. 收集有关细胞研究和应用方面的信息并进行交流，加深对科学、技术、社会相互关系的认识，运用生物学原理解释生物学社会议题。

第一节　细胞通过分裂增殖

本·节·要·点

- 细胞周期
- 有丝分裂
- 癌细胞

为什么细胞如此之小？为什么细胞长到一定大小后就停止生长？是什么使细胞停止生长？

虽然扩散作用可以给细胞提供必需的物质，并且有助于运出废物，但是物质的长距离扩散需要很长时间。细胞需要相对较大的表面积，以保证营养物质和废物向细胞内外扩散。

活　动　模拟探究细胞的大小与扩散作用的关系

目的要求

通过建构物理模型，推断细胞大小与物质扩散的关系，领悟细胞不能无限长大的原因。

探究问题

细胞体积越小，物质进出细胞就越容易吗？

材料用具

含酚酞的琼脂块，塑料餐刀，塑料勺，培养皿，吸水纸，直尺，250 mL 的烧杯，0.1%的 NaOH 溶液等。

方法步骤

1. 用塑料餐刀将琼脂块切成三块边长分别为 3 cm、2 cm、1 cm 的立方体。

2. 把三块立方体的琼脂块放在烧杯内，加入 0.1%的 NaOH 溶液将琼脂块淹没。用塑料勺不停地翻动琼脂块 3 min。

3. 取出琼脂块，放在垫着吸水纸的培养皿中将溶液吸干。尽量不让液体与皮肤直接接触，建议戴上手套。用塑料餐刀把每一琼脂块切成两半。观察切面，记录观察结果，测量每一块琼脂块上 NaOH 扩散的深度。

4. 数据记录表。

琼脂块的边长/cm	琼脂块的表面积/cm^2	琼脂块的体积/cm^3	比　值（表面积/体积）	NaOH扩散的深度/mm
3				
2				
1				

讨　论

1. 什么证据可以说明在每一琼脂块内扩散的速率大致相等？

2. 以琼脂块大小为序由大到小排列，再以它们的表面积与体积之比为序由大到小排列，这两个序列有什么关系？

3. 计算边长为0.01 cm的细胞模型的表面积与体积之比，你能预测到什么？

4. 大多数细胞和微生物边长不到0.01 cm。扩散作用与细胞大小之间的关系是什么？

5. 为什么大的生物体是由许多细胞而不是由比较大的细胞发展起来的？

6. 分析细胞大小的微小变化会对细胞活动产生很大影响的原因。

为了保证细胞进行正常生命活动，细胞体积不能太大。当一些细胞体积达到一定大小时，就开始了一系列的变化，即从一个细胞分裂成两个细胞。

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包括有丝分裂（mitosis）和减数分裂（meiosis）。其中，有丝分裂是真核生物体细胞增殖的主要方式；减数分裂是一种特殊的有丝分裂，与真核生物产生有性生殖细胞有关。

细胞的分裂经历细胞周期

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。如图4-1所示，细胞周期包括分裂期（mitosis phase，简称M期）和分裂间期（interphase）。分裂间期包括DNA合成期（synthesis phase，简称S期），以及S期前后的G_1期和G_2期。

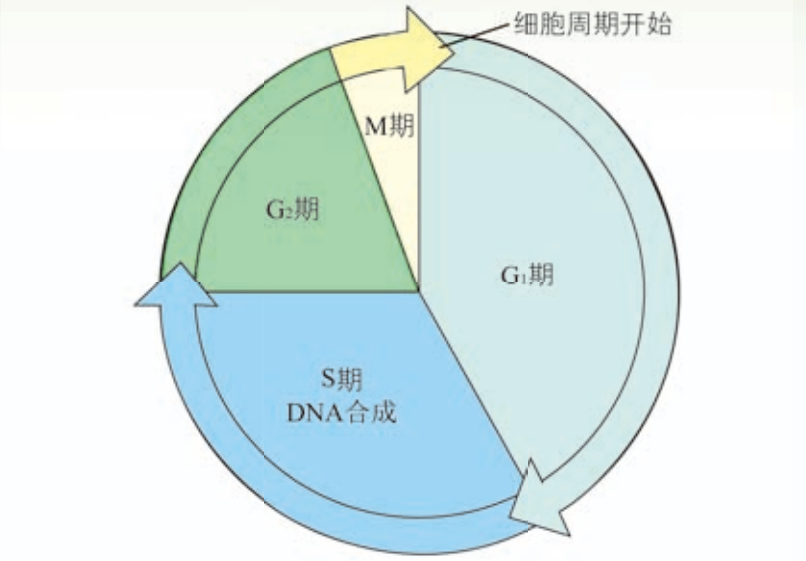


图 4–1　细胞周期示意图

分裂间期是有丝分裂的准备阶段。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 G_1 期，主要是合成 DNA 复制所需的蛋白质，以及核糖体的增生；S 期之后的 G_2 期，合成 M 期所必需的一些蛋白质。

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，分裂间期的时间总是长于 M 期。例如，哺乳动物细胞的细胞周期中，M 期为 1 h 左右，G_1 期则从 2～3 h 到几天。胡萝卜根尖细胞的细胞周期共 7.5 h，其中 M 期 0.6 h、S 期 2.7 h、G_1 期 1.3 h、G_2 期 2.9 h。

活　动　制作和观察根尖细胞有丝分裂临时装片，或观察其永久装片

盐酸能够破坏细胞间的果胶，使根尖细胞在后续的操作中彼此容易被分开。碱性染料可以使染色体着色，但盐酸会影响染色剂染色的效果。所以，要用清水把处理根尖的盐酸充分冲洗干净，再用染液将根尖染色并制成装片，这样就可以观察到细胞中染色体的形态。

目的要求

1. 制备植物根尖的临时装片。
2. 观察根尖分生区中有丝分裂不同时期的细胞。

材料用具

洋葱（或大蒜）的根，质量分数为 10%的盐酸，0.01 g/mL 龙胆紫染液，显

微镜，载玻片，盖玻片，剪刀，镊子，烧杯，滴管，表面皿（或培养皿），清水，吸水纸等。

方法步骤

1. 根尖的培养：取洋葱（或大蒜），使其底部接触到水，待根生长到2～5 cm长时就可以用于实验观察。

2. 制作临时装片。

（1）解离：从洋葱（或大蒜）的基部取下整条根，将洋葱根放在表面皿的中心后向根尖滴加2～3滴质量分数为10%的盐酸，使根尖完全浸没。在室温下解离3～5 min后，用镊子轻轻夹一下根尖，感觉根尖变得酥软，此时细胞彼此分离。

（2）漂洗：左手用镊子夹住洋葱根，右手持滴管在小烧杯的上方将清水以每秒1滴的速度滴加在洋葱根尖上进行漂洗，持续1 min。

（3）染色：将漂洗后的洋葱根放在载玻片上，向根尖滴加1滴龙胆紫染液，使根尖浸没在染液中染色1～2 min。

（4）制片：染色结束后，将整条根置于载玻片上用吸水纸吸去多余染液，用剪刀把根尖尖端的2～3 mm剪下，并轻轻压扁，滴加3～4滴清水。盖上盖玻片，用拇指垂直快速下压，将根尖压散成雾状。若细胞分散效果不好，就再覆盖上滤纸，用橡皮或笔端轻轻敲击盖玻片几下。

3. 观察：在低倍镜下寻找到根尖分生区的近正方形细胞后，转换高倍镜辨认细胞中染色体的形态和位置，识别有丝分裂不同时期的细胞。

讨　论

1. 通过按压盖玻片为什么能将根尖细胞分散开？

2. 在显微镜的视野中，根尖分生区中处于分裂期的细胞数目少于不分裂的细胞。这一现象说明什么？

3. 有同学认为“如果时间足够长，就能在临时装片中看到一个细胞连续分裂的全过程”。对此你有什么想法？

染色体在有丝分裂过程中呈现规律性变化

有丝分裂是真核细胞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。为了便于描述，常将有丝分裂的M期分为4个时期，即前期、中期、后

期和末期。现以植物细胞为例，说明有丝分裂的基本过程（图4-2，图4-3）。

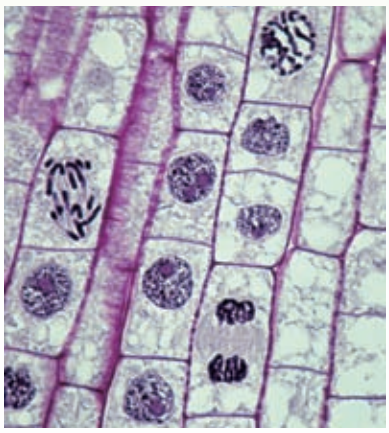


图4-2　洋葱根尖的细胞有丝分裂照片（250×）

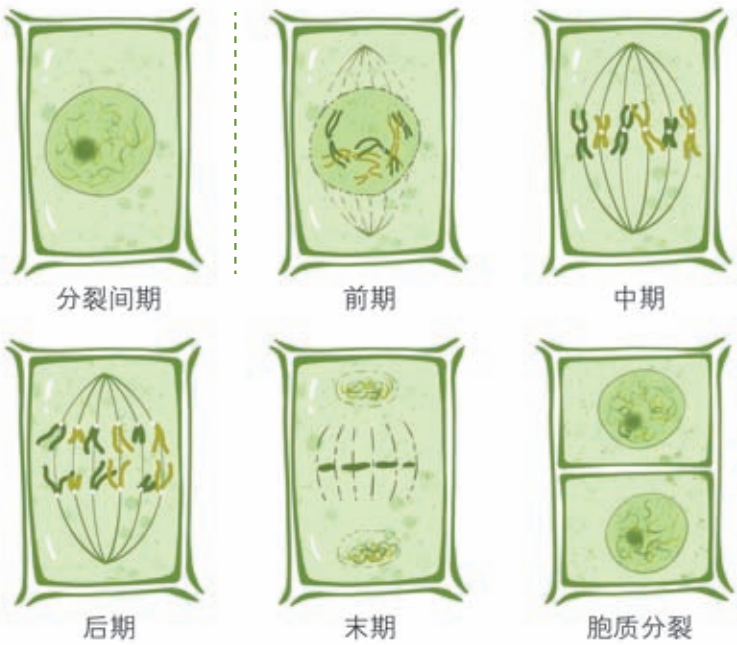


图4-3　植物细胞有丝分裂过程示意图

前期　在分裂间期，细胞核中已完成染色体复制，即组成染色体DNA的复制及相关蛋白质的合成。由于复制后的染色体仍处于松散的染色质状态，光学显微镜下不易分辨。

当分裂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。染色体是由染色质丝经螺旋缠绕而形成的，有特定结构和数目，染色后在显微镜下清晰可见。因此，染色体与染色质是同一物质在细胞不同分裂时期的不同形态。在前期，染色体变短变粗。如图4-3所示，每个染色体由两条并列的姐妹染色单体组成，由一个着丝粒连接在一起。姐妹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，这些由微管蛋白形成的丝状

纤维称为纺锤丝，有丝分裂即由此得名。此时，核膜、核仁开始解体。

中期　染色体继续凝聚变短，清晰地排列在纺锤体的中央。染色体的着丝粒也都排列在细胞中央的平面上。这个平面垂直于纺锤体的中轴，与地球赤道的位置相似，被称为赤道面。中期的染色体缩短到最小的程度，便于观察和研究。可以通过着丝粒的数目来确认染色体的数目。

后期　染色体的着丝粒分为两个，姐妹染色单体分离成两条独立的染色体，染色体的数目增加一倍。分离的染色体以相同的速率分别被纺锤丝拉向两极，原来的一套染色体变成了完全相同的两套染色体。

末期　两套染色体分别到达两极后，染色体伸展，呈现染色质状态。核膜重新形成，核仁出现，细胞核内的染色体数目与分裂前相同。

胞质分裂一般在末期开始，最终形成新的细胞壁（图4-4）。开始形成细胞壁时，先在两个新细胞间出现许多由高尔基体分泌的囊泡，这些囊泡聚集成一个细胞板，由细胞板发展成为新的细胞壁，进而产生两个新细胞。

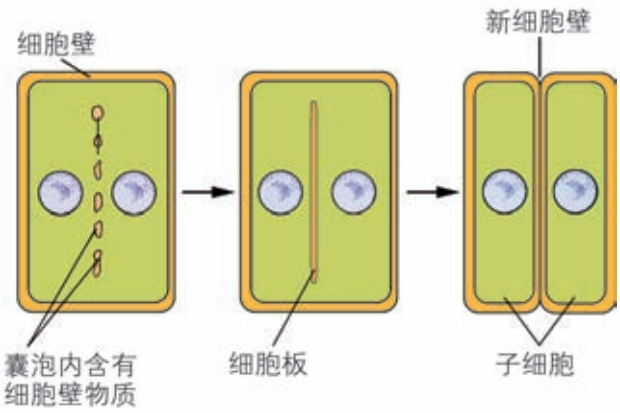


图4-4　植物细胞的子细胞形成示意图

动物细胞和植物细胞的有丝分裂过程基本相同，如图4-5所示。

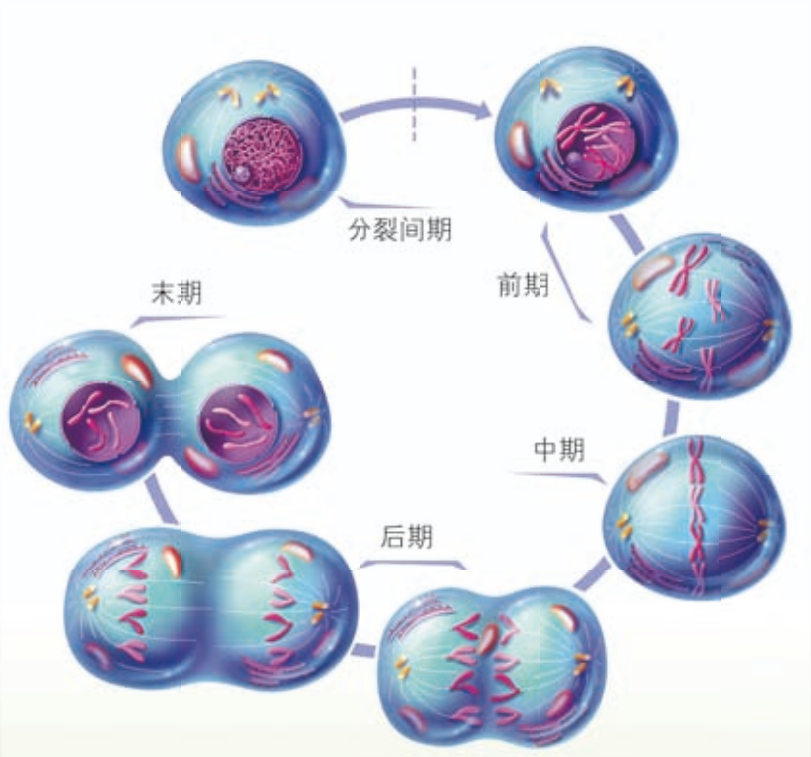


图4-5　动物细胞有丝分裂过程示意图

与植物细胞相比，动物细胞有丝分裂的差异主要为：

第一，动物细胞的细胞质中有一个中心体。G_2期时细胞中已有一对中心体（图4–5中的分裂间期）。前期，这一对中心体分开并移向细胞两极，由中心体发出的纺锤丝形成纺锤体。

第二，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，最后缢裂为两个子细胞（图4–6）。

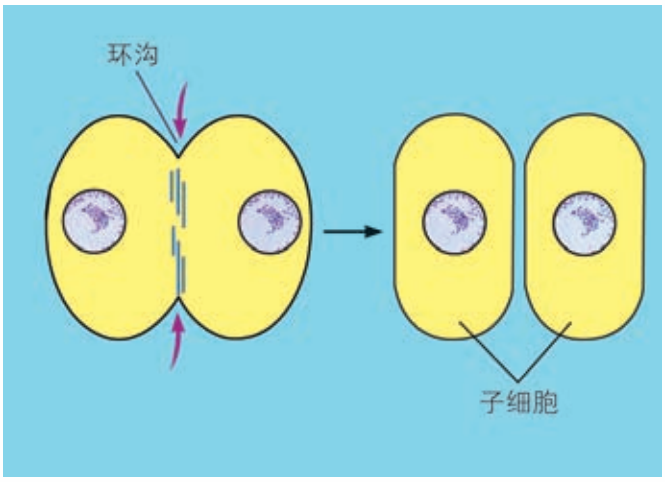


图4–6　动物细胞的子细胞形成示意图

有丝分裂可保证细胞亲子代间遗传物质的稳定性

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DNA，染色体的复制实质上是DNA的复制，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。

癌细胞可以无限制地分裂

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，称为海拉细胞（HeLa cell），是20世纪50年代初从一个非裔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，能够一代代地传下去，存活至今。

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，其中最重要的特点是有无限增殖的能力。正常细胞一般只能分裂50～60次，可是癌细胞的细胞周期失控，不受正常生长调控系统的控制，能持续地分裂与增殖，其分裂次数是无限的。

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，易于从肿瘤上脱落。许多癌细胞具有变形运动能力，容易在组织间转移。

癌细胞还常常具有下面的特点：核形态不一，并可出现巨核、双核或多核现象；代谢旺盛，蛋白质合成及分解代谢都增强，但合成代谢超过分解代谢；线粒体功能障碍，即使在氧供应充分的条件下也主要依靠糖酵解途径获取能量；正常细胞在体外培养时表现为贴壁生长和会合成单层后停止生长的特点，即接触抑制现象，而癌细胞即使堆积成群，仍然可以生长。

正常细胞发生突变而成为癌细胞的过程称为癌变。

癌变的内因往往与原癌基因和抑癌基因发生改变有关。原癌基因是细胞内与细胞增殖相关的基因，是维持正常细胞周期所必需的。抑癌基因也称为抗癌基因，其产物能够抑制细胞增殖，促进细胞分化和抑制细胞迁移等。癌变往往与原癌基因的激活和抑癌基因功能的丧失有关。

癌变的外因称为致癌因子。致癌因子有很多，包括物理因子，如紫外线、电离辐射等；化学因子，如吸烟时烟雾中的物质、亚硝酸盐等；生物因子，如某些病毒、细菌、霉菌等。

思考与练习

一、选择题

1. 细胞体积一般比较小，且与生物个体大小无关。下列叙述正确的是（　　）

A. 大的细胞一定比小的细胞复杂

B. 生物体体积越大，其细胞体积也越大

C. 细胞体积小，不利于完成各项生命活动

D. 细胞体积越小，其表面积与体积的比值越大

2. 用显微镜观察根尖细胞有丝分裂临时装片时发现，处于细胞周期中不同时期的细胞数目差异很大，其中绝大多数细胞处于分裂间期，处于中期的细胞很少见。这一现象与细胞周期中各时期长短不同有关。下列关于细胞周期的叙述，正确的是（　　）

A. 抑制DNA的合成，细胞将停留在分裂期

B. 细胞周期分为前期、中期、后期、末期

C. 细胞分裂间期为细胞分裂期提供物质基础

D. 有丝分裂各时期中，中期的时间最长

3. 下列关于动物细胞周期的叙述，正确的是（　　）

A. 分裂间期有 DNA 和中心体的复制

B. 分裂间期 DNA 含量和染色体数目都加倍

C. 纺锤体形成于前期，消失于后期

D. 染色单体形成于前期，消失于后期

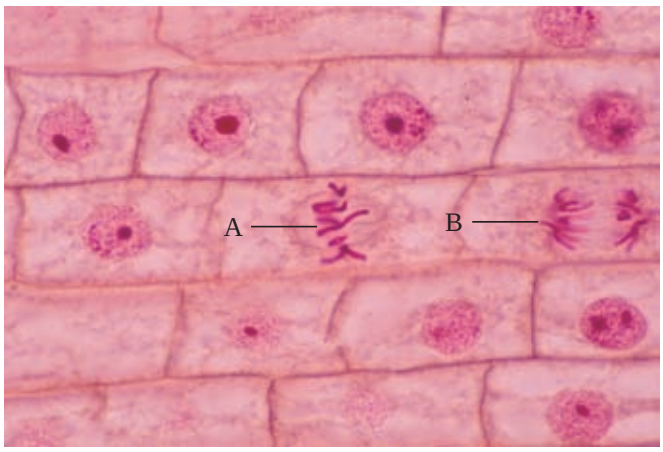
4. 着丝粒与纺锤丝的结合，最可能发生在（　　）

A. 前期　　B. 中期

C. 后期　　D. 末期

二、简答题

1. 下图是显微镜下观察到的洋葱根尖细胞有丝分裂图像（250×）。



请回答下列问题：

（1）观察洋葱根尖有丝分裂装片时，应找到_____区的细胞进行观察。

（2）在一个视野中，大多数的细胞处于_____期，该时期细胞中发生的主要变化是_____。

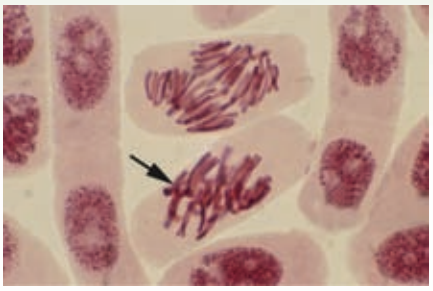
（3）图中的 A 细胞处于分裂的_____期，B 细胞处于分裂的_____期。

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

可可碱浓度/(mmol · L^{-1})	根尖细胞有丝分裂			种子发芽率/%
	有丝分裂指数/%	分裂期细胞占比/%		
		前期和中期	后期和末期	
0	3.73	3.04	0.69	81.5
0.1	2.90	2.16	0.74	68.1
0.5	2.10	1.72	0.38	18.6
1.0	1.96	1.72	0.24	2.3

注：有丝分裂指数＝分裂期细胞数÷观察细胞的总数×100%。

请回答下列问题：



（1）本实验需要制作根尖细胞有丝分裂装片，制片过程中根尖解离需要用到的试剂是_____。右图为显微镜下观察到的部分细胞图像（320×），箭头所指的细胞处于分裂期的_____期。

（2）实验结果显示，与对照组相比，当可可碱浓度达到1.0 mmol/L时，在分裂期的细胞中，后期和末期的细胞数目相对_____。产生这种结果的原因可能是_____，从而导致染色体无法移向细胞两极。

第二节　细胞通过分化产生不同类型的细胞

本·节·要·点

- 细胞分化
- 细胞的全能性
- 干细胞

多细胞生物都是由许多在形态和功能上不同的细胞组成的，这些具有不同形态和功能的细胞是通过分化过程形成的。细胞分化和细胞分裂有何不同？细胞分化成不同细胞，是由于细胞内的遗传物质不同吗？

小资料　美洲爪蟾的核移植实验

英国科学家约翰·伯特兰·格登爵士（John Bertrand Gurdon，1933—　）是2012年诺贝尔生理学或医学奖得主。他曾在20世纪60年代做了一个非常重要的实验（图4–7）：将美洲爪蟾的小肠上皮细胞核注入去核的卵细胞，结果发现一部分卵细胞依然可以发育成蝌蚪，其中的一部分蝌蚪可以继续发育成成熟的爪蟾。这是人类第一次利用动物体细胞“复制”出一个新的动物。

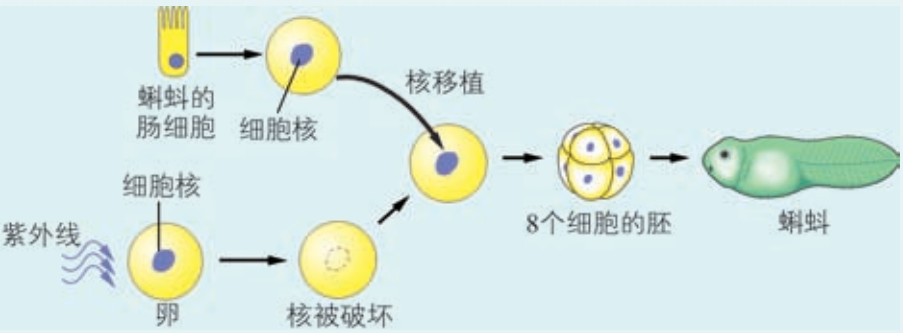


图4–7　美洲爪蟾的核移植实验示意图

细胞能产生特异性变化

多细胞生物的个体是由各种各样的细胞组成的。例如，人体胚胎发育过程中，除

了细胞数量不断增多外，细胞的结构、功能也发生很大的差异，产生很多种不同类型的细胞。

细胞在形态、结构和功能上发生持久的、差异性变化的过程称为细胞分化（cell differentiation）。我们都观察过植物根尖的纵切片，根尖中各种细胞都是由分生区细胞分化形成的。图4-8中各种各样的细胞也都来自干细胞，这些都是细胞的分化。

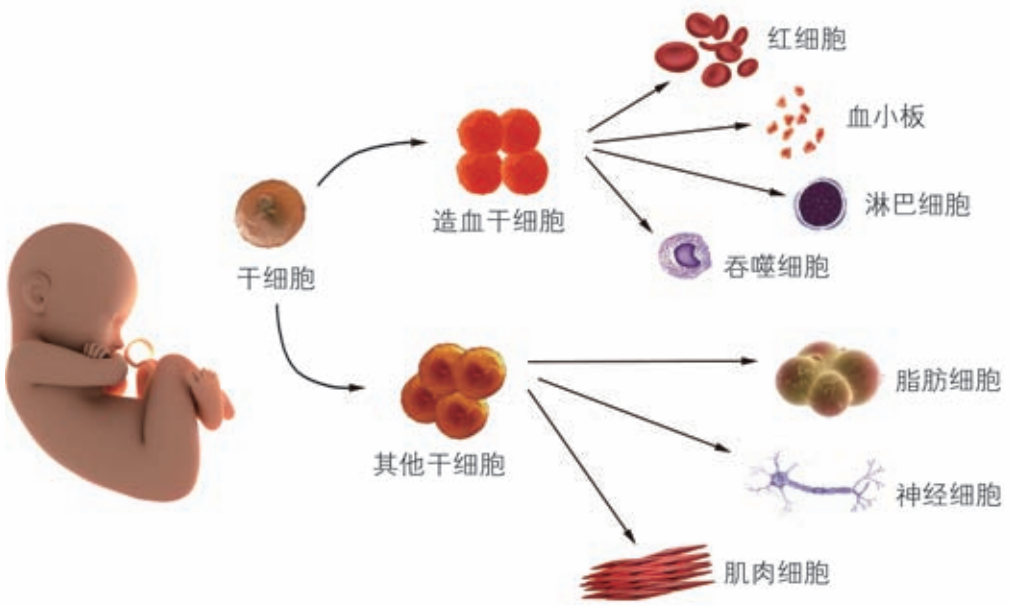


图4-8　干细胞分化产生不同类型细胞示意图

干细胞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。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），也能分化出造血系统以外的细胞。

细胞分化并非由于遗传物质丢失造成的，它与遗传物质有选择地发挥作用有关。细胞中的遗传物质，有些是维持细胞生存所必需的，在各类细胞中都处于活动状态；有些则在不同的组织细胞中表现不同的活动状态，从而使具有相同遗传物质的细胞在不同的组织中呈现出形态、结构与功能的特异性变化。

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，是细胞分化受到高度精妙调控的结果。一旦失去控制，细胞分化就会发生异常。正常情况下，细胞分化是不可逆的，一旦沿着一定方向分化，便不会返回原来的状态。前述的细胞癌变是细胞异常分化，导致细胞不受控制地分裂。

活 动　收集有关干细胞研究进展和应用的资料

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. 学会收集和处理与干细胞研究相关的信息。

活动提示

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。

细胞具有全能性

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，都可能分别发育成一个个体，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，只能发育成特定的组织。

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，单个细胞就会分裂并分化，最后形成植株。将这种植株移植到土壤中，它生长正常，并能开花结实（图4–9）。

高度分化的植物组织具有发育成完整植株的潜能，保持着发育的全能性。

动物细胞随着分化程度提高，细胞分化潜能越来越小，不表现出全能性，其原因是受到了细胞内物质的限制。尽管如此，它们的细胞核仍保持着原有的全部遗传物质，具有全能性。

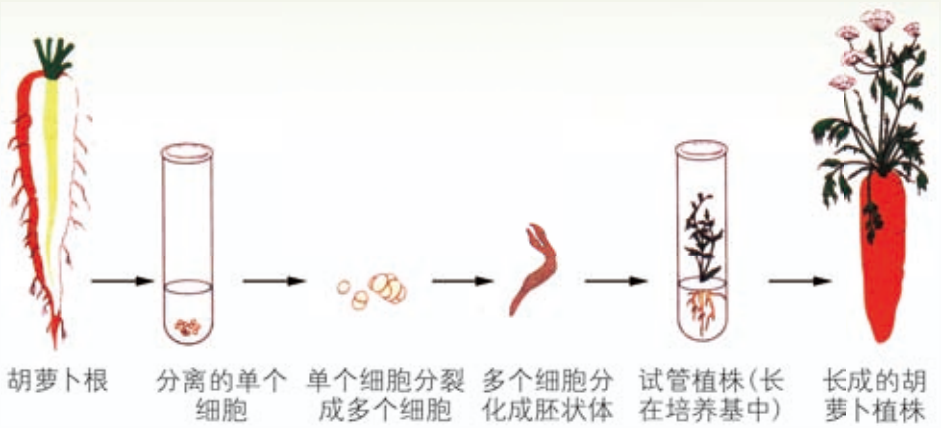


图4-9　胡萝卜根细胞分化成植株示意图

多莉羊的成功克隆证明了细胞核的全能性。研究者从一只母羊的乳房中取出乳腺细胞进行培养，从另外的母羊体内取出卵细胞并移去其细胞核，然后使培养的乳腺细胞核与无核的卵细胞融合。融合的细胞经体外培养形成早期胚胎。将胚胎移入其他母羊的子宫中发育后生下了多莉羊。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个成功案例。

课外读　诱导多功能干细胞

2012年，日本科学家山中伸弥（Shinya Yamanaka，1962—　）因在诱导多功能干细胞（induced pluripotent stem cell，简称iPSC）方面所做的开创性工作而获得诺贝尔生理学或医学奖。这项研究的意义何在？

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，会变成各式各样的体细胞。

按照来源，干细胞分为胚胎干细胞、成体干细胞和诱导多功能干细胞。若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。同样，也可以通过人工培养获得成体干细胞。诱导多功能干细胞则是通过人工方法诱导已完成分化的成熟细胞“去分化”，逆转成为具有分裂能力和分化潜能的多功能干细胞，实现细胞重新编程过程。诱导多功能干细胞这一极富创新性的研究具有重大的理论意义和实用价值，在生物基础研究领域和生物医学领域都有着巨大的推动作用。

思考与练习

一、选择题

1. 细胞全能性一直是生命科学研究的热点。细胞的全能性是指（　　）

A. 细胞具有各项生理功能

B. 已分化的细胞全部能再进一步分化

C. 已分化的细胞能恢复到分化前的状态

D. 已分化的细胞仍具有发育成完整个体的潜能

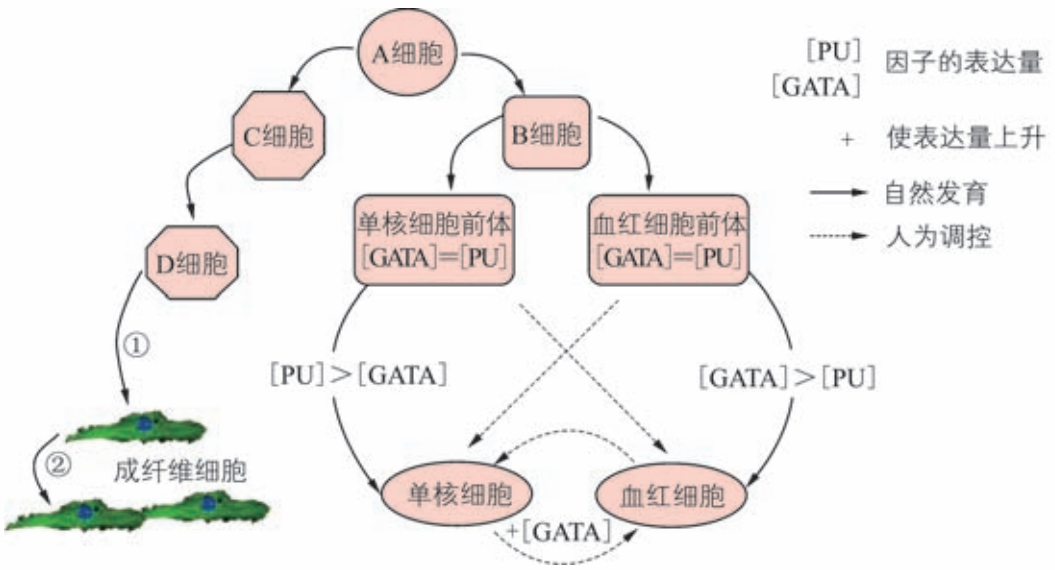
2. 比较胚胎干细胞与胰腺腺泡细胞，相同的是（　　）

A. 线粒体的功能　　B. 发育的全能性

C. 膜蛋白的种类和数量　　D. 内质网上核糖体的数量

二、简答题

下图表示人体内部分结缔组织细胞的形成过程。其中，成纤维细胞的形成过程未经人为调控。A 细胞到单核细胞、血红细胞的几种途径中部分属于人为调控过程。PU、GATA 为两种蛋白质，是细胞内调控因子。



请回答下列问题：

（1）在上图所示成纤维细胞的增殖过程②中，中心体、DNA 和染色体数的倍增分别发生在细胞周期的_____期、_____期和_____期。

（2）下表比较了过程①和②的特点，用“√”表示“发生”，用“×”表示“不发生”，完成下表。

事　件	过程①	过程②
DNA 改变		
细胞功能改变		
细胞数量增加		

（3）上图中 A、B、C、D 四类细胞，分化能力最接近胚胎干细胞的是_____。

第三节　细胞凋亡是编程性死亡

本·节·要·点

- 细胞的衰老
- 细胞的凋亡

“生老病死”是生物界的普遍现象，生物个体是这样，作为生物体基本结构和功能单位的细胞亦如此。细胞的衰老、死亡是如何发生的？对生命活动有什么意义？

小资料　早年衰老综合征

早年衰老综合征，又称儿童早衰症，属遗传病，1886年首见报道。罹患该病的儿童的身体衰老速度比正常衰老过程快5～10倍，使其貌如老人（图4-10）。患者体内的器官快速衰老，造成各种生理机能下降。儿童早衰症病童常出现的症状包括脱发、较晚长牙、身材矮小及皮下脂肪减少等，但病童的心智年龄大多与同龄儿童无异。病童一般只能活7～20年，大多死于心血管疾病等衰老病。目前没有有效治疗儿童早衰症的方法。是什么原因让这些患病儿童过早地衰老呢？

图4-10　儿童早衰症患者

衰老细胞的结构和代谢产生异常

衰老（aging）又称老化，通常指生物个体发育成熟后，随着年龄的增加，机能减退，内环境稳定性下降，趋向死亡的不可逆的现象。衰老和死亡是生命的基本现象，生命的更新、种族的延续就是在生与死的交替中进行的。衰老过程发生在生物界的整体水平、种群水平、个体水平、细胞水平、分子水平等不同的层次，所以细胞也不可

避免地衰老，这是细胞生命活动的必然规律。

生物体内的细胞不断地衰老和死亡，同时又有增殖产生的新细胞来代替它们。例如，高等动物和人的肠道上皮细胞，每24～48 h就更新一次；人红细胞的寿命为100～120天。人体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细胞生成。至于生物体表面每天死亡和脱落的细胞，更是数不胜数。

细胞衰老的过程中，细胞的形态、结构、生理和生化等方面均发生变化。衰老细胞各种结构及其功能总体上呈衰退变化。例如，膜脂氧化导致细胞膜流动性降低；细胞质色素积累、空泡形成；细胞核体积增大，染色加深，核膜内陷，染色质凝聚、碎裂、溶解；DNA的功能受抑制，RNA含量降低；蛋白质合成下降，酶的活性降低；线粒体的数量随年龄增大而减少，体积则随年龄增大而变大；呼吸变慢等。

对于细胞衰老机制的研究仍在不断深入。总的来说，细胞衰老是各种细胞成分在受到内、外环境的损伤作用后，因缺乏完善的修复，使遗传物质的“差错”积累所致。引发细胞衰老的内、外因素很多，例如，DNA分子中某些片段的长度，与细胞增殖次数密切相关的“端粒DNA”长度；一些与衰老相关基因的活化；细胞代谢产物积累到一定量后会危害细胞，引起衰老，如哺乳动物脂褐质的沉积；化学性质活泼的自由基攻击生物体内的DNA、蛋白质和脂类等大分子物质，造成损伤；随着年龄的增加，机体自我修复能力下降，导致遗传物质发生改变时不能完全修复，“错误”累积等导致细胞的衰老等。

衰老细胞的死亡受基因的调控

衰老细胞的死亡是生命的普遍现象，但细胞死亡并非与机体死亡同步。正常的组织中，经常发生“正常”的细胞死亡，这是维持组织机能和形态所必需的。

细胞凋亡（apoptosis），借用古希腊语，表示细胞像秋天的树叶一样凋落的死亡方式。它是细胞发育过程中的必然步骤，是由某种基因引发的。这种严格受基因调控的死亡，属于正常的生理性变化，不同于病变或伤害导致的病理性死亡。

细胞凋亡的表现包括：染色质聚集、分块、位于核膜上；胞质凝缩；DNA被有规律地降解为大小不同的片段，最后核断裂，细胞通过出芽的方式形成许多凋亡小体；凋亡小体内有结构完整的细胞器，还有凝缩的染色质，可被邻近细胞吞噬、消化（图4-11）。细胞凋亡因始终有膜封闭，没有内含物释放，故不会引起炎症。

动物的正常发育中都有细胞凋亡现象。例如，蝌蚪在发育过程中，尾和鳃都在一定时期消失，就是通过细胞凋亡实现的。再如，人胚胎发育过程中会产生过量的神经

细胞，需要调整神经细胞的数量，使之与受神经细胞支配的细胞数量相适应，以保证神经系统对生命活动的精确调节。这种调整也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。健康成人体内的骨髓和肠中，每小时约有10亿个细胞凋亡。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，例如，胚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，尚有待深入的研究。

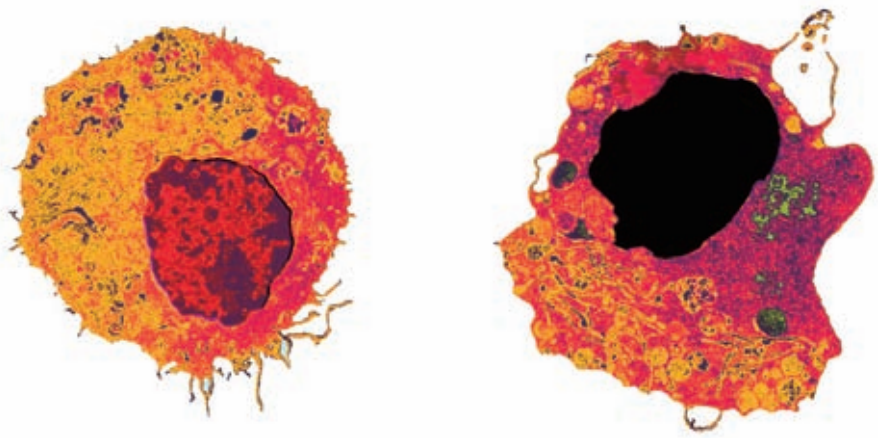


图4–11　透射电镜下正常白细胞(左)和凋亡白细胞(右)(10500×,经后期着色处理)

课外读　秀丽隐杆线虫与细胞凋亡的发现

2002年的诺贝尔生理学或医学奖被授予三位生物学家，以表彰他们开创性地利用秀丽隐杆线虫这一模式生物研究细胞凋亡及其分子机制方面所做出的卓越贡献。

秀丽隐杆线虫（图4–12）是一种在土壤中自由生活的线虫，成体仅1.5 mm长。其生命周期短，全身透明，易于观察。其雌雄同体成虫有959个体细胞，雄成虫有1031个体细胞，每一个体细胞的发育情况都研究得较为清楚，且发育规律在每个个体之间是几乎不变的。两种性别的个体，都有许多的细胞将经由细胞凋亡的过程被除去，如雌雄同体的131个细胞。秀丽隐杆线虫具有价格低廉，试验操作方便简单，基因组容量小、全序列已知，可操控性强等诸多优点，可作为模式生物应用于众多生物学研究。

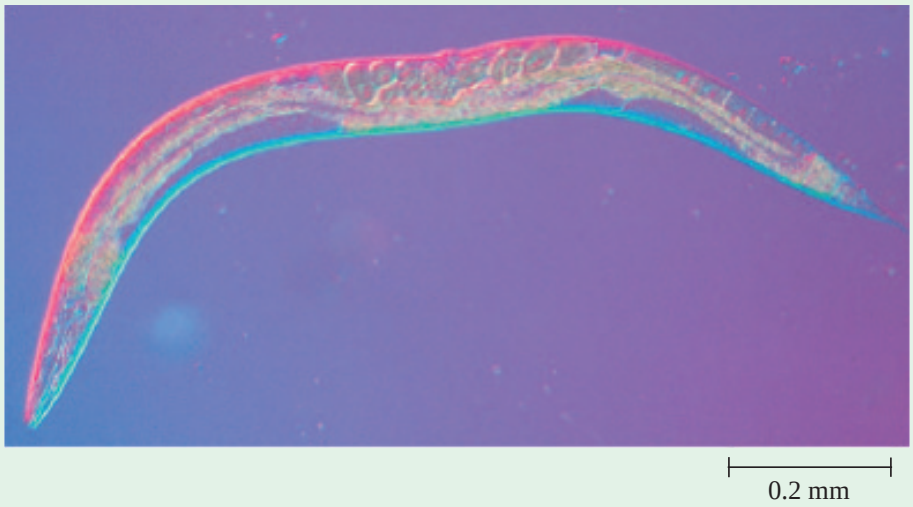


图4–12　秀丽隐杆线虫显微照片

三位科学家如何利用秀丽隐杆线虫进行实验研究，一步步揭示细胞凋亡及其分子机制的呢？

1963年，悉尼·布伦纳（Sydney Brenner，1927—　）选择秀丽隐杆线虫作为试验生物模型，把基因分析、细胞分化及组织器官发育联系起来，并通过显微镜直接观察研究细胞分化，开创了一个全新的领域，具有里程碑的意义。

约翰·萨尔斯顿（Sir John Sulston，1942—2018）拓展了悉尼·布伦纳等利用线虫的研究工作，利用微分干涉显微镜研究秀丽隐杆线虫的细胞。20世纪60年代末，约翰·萨尔斯顿开始追踪秀丽隐杆线虫发育过程中每个细胞的分裂和分化过程。他用该技术完成了从受精卵到成体的959个细胞的系统研究，绘制出秀丽隐杆线虫发育细胞谱系。在研究细胞谱系的过程中，萨尔斯顿发现秀丽隐杆线虫的全部1090个细胞中的131个细胞以一种不变的方式，在固定的发育时间和固定位置消失，即细胞凋亡。

罗伯特·霍维茨（H. Robert Horvitz，1947—　）继承了悉尼·布伦纳及约翰·萨尔斯顿的研究工作。从20世纪70年代开始，他开展了一系列的实验，研究是否存在一个控制细胞凋亡的分子机制。在1986年所发表的一篇开创性的论文中，他证明了两个“致死基因”（ced–3和ced–4）是细胞凋亡得以完成的一个先决条件。继而，他证明另一个基因（ced–9）可通过与前述两个“致死基因”的相互作用来阻止细胞凋亡。

思考与练习

一、选择题

1. 在蝌蚪发育成蛙的过程中，蝌蚪的尾会逐渐消失，这一现象与发育过程中的细胞凋亡有关系。下列叙述错误的是（　　）

A. 细胞凋亡受细胞自身基因的调控

B. 细胞凋亡也称为细胞编程性死亡

C. 细胞凋亡不出现在胚胎发育过程中

D. 被病原体感染的细胞可通过细胞凋亡清除

2. 下列关于细胞分裂、分化、衰老和凋亡的叙述，正确的是（　　）

A. 所有体细胞都不断地进行细胞分裂

B. 细胞的衰老和凋亡是正常的生命现象

C. 细胞分化仅发生于早期胚胎形成过程中

D. 细胞分化使各种细胞的遗传物质产生差异

3. 研究发现，直肠癌患者体内存在癌细胞和肿瘤干细胞。用姜黄素治疗，会引起癌细胞内 BAX 等凋亡蛋白高表达，诱发癌细胞凋亡；而肿瘤干细胞因膜上具有高水平的 $ABCG_2$ 蛋白，能有效排除姜黄素，从而逃避凋亡，并增殖分化形成癌细胞。下列叙述错误的是（　　）

A. 肿瘤干细胞和癌细胞中基因的活动状态不同

B. 肿瘤干细胞的增殖及姜黄素的排除都需要消耗 ATP

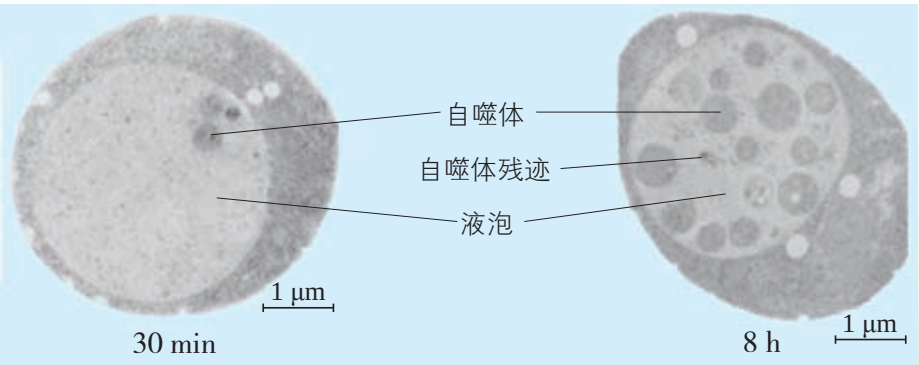
C. 编码 BAX 蛋白和 $ABCG_2$ 蛋白的基因都属于原癌基因

D. 用 $ABCG_2$ 抑制剂与姜黄素联合治疗，可促进肿瘤干细胞凋亡

二、简答题

2016 年的诺贝尔生理学或医学奖获得者是发现“细胞自噬”机制的日本科学家大隅良典。酵母细胞自噬作用是一种“应急”机制，该过程发生在液泡中。细胞的某些非必需成分被降解、回收，并重新利用，为细胞适应不良环境提供保障。请回答下列问题：

（1）科学家在缺乏含氮营养的条件下诱导酵母细胞发生自噬。显微镜下观察诱导 30 min 和 8 h 后酵母细胞液泡中的变化，如图所示。



据图可知，酵母细胞发生自噬的特征是自噬体数目_____。研究发现，自噬体中存在多种_____酶，可将包裹在自噬体中的蛋白质降解为氨基酸，释放到液泡中，最终被细胞回收利用。

（2）科学家对基因P在自噬中的作用进行研究，通过特定方法抑制基因P的作用，若显微镜下观察发现_____，则可证明基因P的表达能够激活酵母细胞的自噬作用。

本章小结

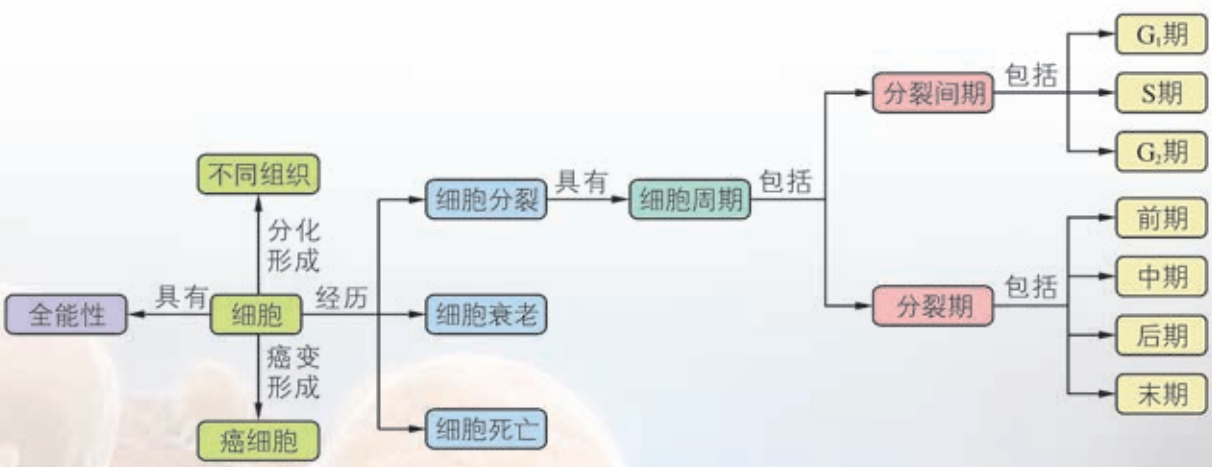
生物体的生长发育与细胞的生长、分裂、分化、衰老、凋亡等过程息息相关，体现了细胞是生物体的结构和功能单位，也是生命活动的基本单位，渗透了生命活动过程中结构与功能的观点。

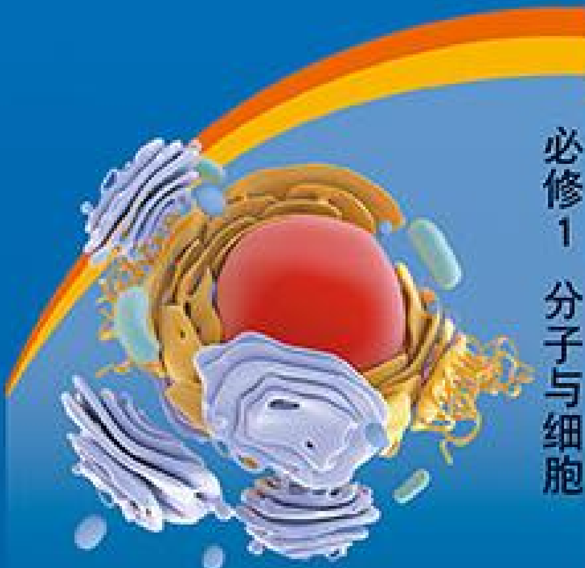
有丝分裂是真核生物体细胞增殖的主要方式。细胞周期包括分裂间期和分裂期。分裂间期最重要的是相关蛋白质的合成和DNA的复制，分裂期染色体平均分配到两个子细胞中，保证了细胞亲子代间遗传物质的稳定性。受精卵细胞经过不断分裂，以及在形态、结构和功能方面发生特异性的分化，从而形成复杂的多细胞生物体。在某些致癌因素的作用下，有的细胞分化异常，变成可无限增殖的癌细胞。干细胞具有全能性，能够自我更新、高度增殖和多向分化。在细胞的分裂和分化的过程中渗透了稳态与平衡的观点。

生物体内的细胞不断地衰老，细胞的衰老和死亡都是正常的生理过程。细胞凋亡受基因控制，在多细胞生物体发育过程中普遍存在。

染色体在有丝分裂过程中呈现规律性变化，解释了细胞分裂的统一模式，渗透了模型与建模的科学思维；模拟探究细胞大小和扩散作用的关系、观察有丝分裂临时装片等活动，需要观察、提问、实验设计与实施等科学探究能力。细胞的分裂、分化、衰老和凋亡的内容，反映了细胞生物学研究的新进展及相关应用，与人类的健康，特别是与癌症的预防和治疗关系密切。

本章知识结构图





生物学

必修1　分子与细胞

ISBN 978-7-5341-8678-3

定价：10.97元

绿色印刷产品　定价批准文号：浙发改价格〔2019〕319号、〔2020〕331号　举报电话：12345、12315

YOUJ
365优教
大学生共享家教联盟

致力于用榜样的力量提升学生成绩的共享家教平台

中国家庭教育学会荣誉会员单位

985/211大学生

1对1上门辅导

找家教就像叫“代驾”一样简单

家长们都在偷偷用的家教预约神器

记得拍照留存哦

扫码关注 预约上门

关注送200元优惠券

小初高全科辅导

学霸云集任您挑

学历真实可担保

与优秀大学生同行，激发孩子无限潜能

微信搜索公众号：365优教网

咨询热线：4000—711—365

YOUJ优教

既是找老师，更是找榜样

家教老师全国招募中