

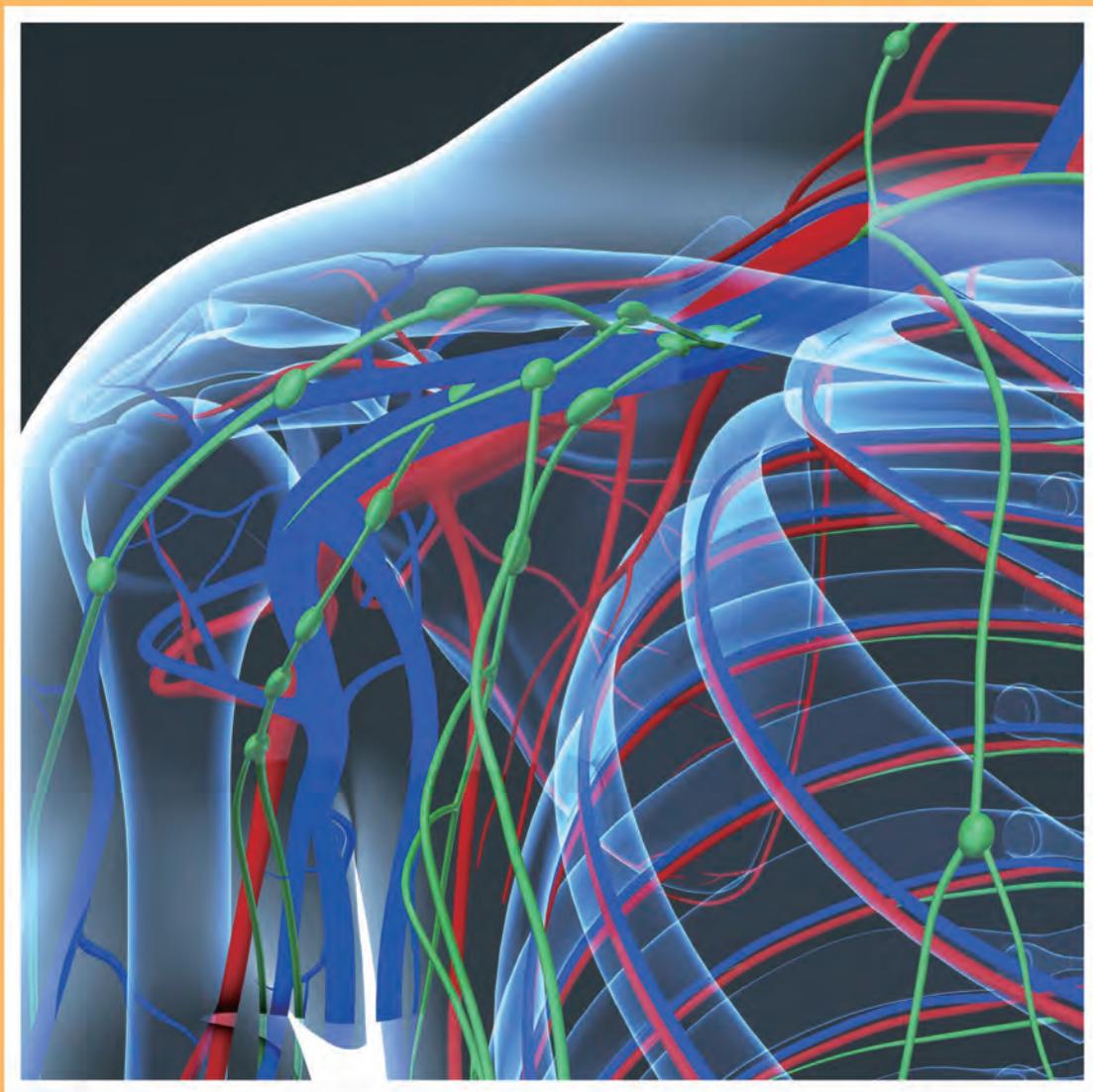


普通高中教科书

生物学

选择性必修 1

稳态与调节



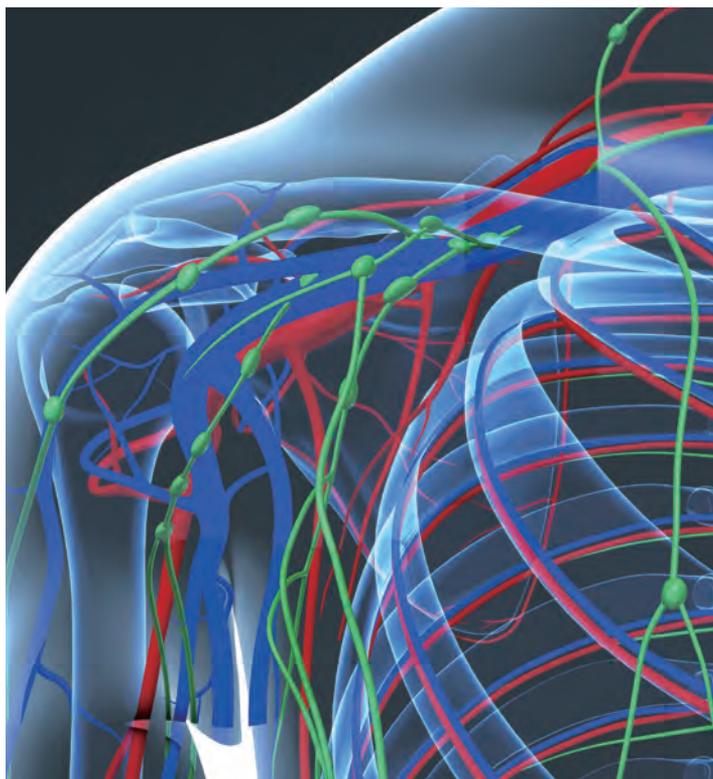
上海科技教育出版社

普通高中教科书

生物学

选择性必修 1

稳态与调节



编写人员名单

主 编 张新时

执行主编 张可柱

分册主编 樊庆义

编著者 (以姓氏笔画为序)

邢怀庆 刘家广 李广军 陈 群

周廷振 姜剑锋 黄玉娥

审 读 王仁卿 李文军

致同学们

“不经一番寒彻骨，怎得梅花扑鼻香。”这两句唐诗描述了梅花在早春寒冷环境中盛开的场景，借梅花傲雪迎霜、凌寒独放的品性，勉励人们克服困难，立志成就事业。与梅花一样，任何生物个体都生活在一定的环境中，以不同的方式调节生长、发育、遗传与变异等复杂的生命活动，保持着自身生命活动的相对稳定，以适应多变的环境，保证个体的正常成长和物种的持久延续。

貌似平淡无奇的植物，其机体内的各种稳态调节活动令人惊奇。人体必须通过一系列复杂的调节方式和途径，才能适应变化多端的外界环境，可以说，人体的稳态及调节过程更加精妙。

随着人们的生活水平不断提高，一些不合理的饮食习惯及生活方式破坏了人体的稳定与平衡，导致产生多种“富贵病”；一些人为了追求所谓的刺激，吸食毒品；还有一些人为了牟取私利，在农作物或食品生产加工过程中施加过量激素或添加剂。这些均威胁着人们的健康。

本模块是高中生物学选择性必修1《稳态与调节》，同学们将要探究生物体与环境间的相互作用，生物体各结构保持机体稳态的协调机制，包括人体的内环境与稳态、人和动物生命活动的调节，以及植物的激素调节等。希望同学们通过本模块的学习、思考和探究，对生命的调节机制有比较深刻的了解，理解高等生物个体生命活动的规律，认识个体生命系统的稳态；理解健康生活方式对于维持人体内环境的稳态、预防疾病的意义，珍爱生命，远离毒品。总之，同学们要更加科学合理地认识生命和珍爱生命，崇尚健康文明的生活方式，成为健康中国的促进者和实践者！

为了大家更好地学习，这一模块精心设立了如下栏目：

第一章 人体的内环境要维持在相对稳定状态



“朝辞白帝彩云间，千里江陵一日还。”受季节更替、气候变化和地域差异影响，人体所处的外界环境不断变化。不过，对于多细胞生物来说，机体内的细胞进行生命活动需要一个相对稳定的“环境”。法国科学家路易·巴斯德(Louis Pasteur)指出，环境不仅为生物体提供适宜的生存条件，而且为生物体提供适宜的环境。美国著名生理学家坎农(W. Cannon)在其《稳态的哲学》一书中写到，内环境并不是处于一种静止的、恒定不变的状态，而是处于一种变动的动态平衡状态。什么是内环境？内环境与个体细胞有着怎样的关系？机体通过哪些调节机制才能维持内环境“可变的动态平衡状态”呢？

1858年：英国科学家罗伯特·胡克(Robert Hooke)发现并命名“细胞”。

1859年：英国生物学家查尔斯·达尔文(Charles Darwin)发表《物种起源》，提出自然选择学说。

1869年：俄国化学家门捷列夫(Dmitri Mendeleev)发现元素周期律。

1871年：英国生物学家托马斯·赫胥黎(Thomas Huxley)发表《人类起源的演化和选择》，提出人类起源于古猿。

1884年：德国生理学家奥托·冯·梅林(Otto von梅林)提出“内环境”概念。

1905年：德国生理学家瓦尔特·道尼(Walter Dornier)提出“稳态”概念。

1924年：美国生理学家坎农(W. Cannon)提出“稳态”概念。

1937年：英国生物学家霍乱弧菌(Campylobacter jejuni)发现。

1943年：美国生物学家乔治·贝纳特·史密斯(George Beutler Smith)发现胰岛素。

1953年：英国生物学家詹姆斯·沃森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1958年：美国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1961年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1962年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1963年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1964年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1965年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1966年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1967年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1968年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1969年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1970年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1971年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1972年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1973年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1974年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1975年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1976年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1977年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1978年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1979年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1980年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1981年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1982年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1983年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1984年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1985年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1986年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1987年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1988年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1989年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1990年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1991年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1992年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1993年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1994年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1995年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1996年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1997年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1998年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

1999年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2000年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2001年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2002年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2003年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2004年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2005年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2006年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2007年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2008年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2009年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2010年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2011年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2012年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2013年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2014年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2015年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2016年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2017年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2018年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2019年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2020年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2021年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2022年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2023年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

2024年：英国生物学家詹姆斯·瓦特森(James Watson)和弗朗西斯·克里克(Francis Crick)发现DNA双螺旋结构。

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



课题研究

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



探究活动

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



阅读空间

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

思维训练

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

学业检测

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



学业要求

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

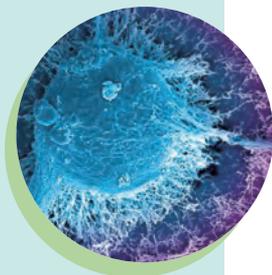
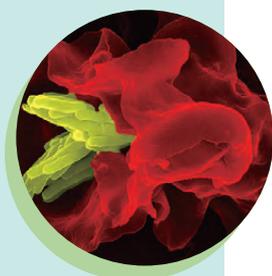


视野拓展

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

第一章 人体的内环境要维持在相对稳定状态	2
课题研究——制作运动饮料	3
第一节 内环境为机体细胞提供适宜的生存环境	4
一、机体细胞参与内环境的形成和维持	4
二、细胞通过内环境与外界环境进行物质交换	7
第二节 机体通过自动调节维持内环境的稳态	10
一、稳态是内环境理化性质维持相对稳定的状态	10
二、机体通过一定的调节机制维持内环境的稳态	11
三、内环境的稳态是细胞进行正常生命活动的必 要条件	14
第二章 人和动物通过神经系统调节生命活动	18
课题研究——蛙坐骨神经 - 腓肠肌实验	19
第一节 神经调节是人和动物生命活动调节的主要方式	20
一、反射弧是反射活动的结构基础	20
二、低级神经中枢与高级神经中枢联系紧密	22
三、中枢神经系统通过自主神经来调节内脏的活动	24
第二节 神经细胞膜内外具有电位差	26
一、科学家巧妙地设计实验发现生物电	26
二、离子的穿膜运输产生膜电位	28
第三节 神经冲动以不同的方式传导和传递	32
一、动作电位沿神经纤维传导	32
二、神经冲动在突触处的传递	33
三、毒品和烟酒危害人类健康	35





第四节 人脑具有多项高级功能38

一、语言活动是由大脑皮层控制的高级神经活动38

二、大脑皮层特定的区域控制相应的生命活动41

三、条件反射是由大脑皮层控制的高级神经活动42

第三章 人和动物通过体液调节生命活动46

课题研究——探究甲状腺激素对青蛙发育的影响47

第一节 体液调节在维持稳态中具有重要作用48

一、激素是内分泌腺的分泌物48

二、激素参与稳态的调节51

三、其他体液成分参与稳态的调节53

第二节 多种方式调节激素的分泌56

一、机体通过反馈调节机制调节激素分泌56

二、机体通过分级调节机制调节激素分泌58

第三节 神经调节与体液调节共同维持水盐平衡62

一、人体内水、无机盐的摄入和排出保持动态平衡62

二、水盐平衡是神经调节和体液调节协调作用的结果63

三、水盐平衡对维持细胞的形态和功能具有重要作用65

第四节 神经调节与体液调节共同维持体温相对恒定67

一、人的体温受多种因素影响67

二、机体的产热和散热保持动态平衡67

三、通过神经调节和体液调节维持体温相对恒定68

四、体温相对恒定是细胞正常代谢的必要条件70

第四章 人体通过免疫系统实现机体稳态74

课题研究——合理接种，预防狂犬病75

第一节 免疫包括非特异性免疫和特异性免疫76

一、非特异性免疫是人体生来就有的免疫76

二、特异性免疫是针对特定病原体发生的免疫应答77

三、免疫调节的结构与物质基础78

第二节 体液免疫主要通过产生特异性抗体发挥效应82

一、体液免疫是主要由B淋巴细胞参与的特异性免疫82

二、免疫接种主要与体液免疫有关84

第三节	细胞免疫主要通过产生效应 T 淋巴细胞发挥效应 …88
	一、移植与 T 淋巴细胞密切相关 ……88
	二、细胞免疫是主要由 T 淋巴细胞参与的特异性免疫 …90
第四节	免疫功能异常引发的疾病 ……94
	一、过敏是一种常见的免疫异常疾病 ……94
	二、免疫系统攻击正常组织会导致自身免疫病 ……95
	三、免疫缺陷会引发严重疾病 ……96
第五章	植物生命活动受多种因素调节 ……102
	课题研究——调查植物激素在生产生活中的应用 ……103
第一节	生长素是最早被发现和研究的植物激素 ……104
	一、科学家经过不断探索发现了生长素 ……104
	二、生长素从产生部位运输到作用部位 ……108
第二节	生长素对植物生命活动具有重要调节作用 ……110
	一、生长素在调节植物生长时表现出两重性 ……110
	二、生长素调节植物的其他生命活动 ……112
第三节	多种激素共同调节植物的生命活动 ……115
	一、植物体内含有多种激素 ……115
	二、植物的生命活动受多种激素共同调节 ……117
	三、植物激素类似物在生产上应用广泛 ……118
第四节	环境因素参与植物生命活动的调节 ……122
	一、光参与植物生命活动的调节 ……122
	二、温度参与植物生命活动的调节 ……125
	三、重力参与植物生命活动的调节 ……126



第一章 人体的内环境要维持在相对稳定状态



“朝晖夕阴，气象万千。”受季节更替、气候变化和地域差异影响，人体所处的外界环境不断发生着变化。不过，对于多细胞生物来说，机体内的细胞进行生命活动需要一个相对稳定的“环境”，细胞不仅要从该“环境”中获取代谢所需的物质，而且需要“环境”提供适宜的条件。美国著名生理学家坎农（W. Cannon）在其《躯体的智慧》一书中写道：“内环境并不是处于一种静止的、固定不变的状态，而是处于一种可变的动态平衡状态。”什么是内环境？内环境与机体细胞有着怎样的关系？机体通过哪些调节机制才能维持内环境“可变的动态平衡状态”呢？





课题研究

制作运动饮料

在 2014 年巴西世界杯足球赛上，因为天气非常炎热，主裁判及时吹停比赛，足球场上破天荒地出现了补水暂停。双方队员借此机会在场边饮用运动饮料，用于补充流失的水和营养物质。

运动饮料是根据人体运动时生理消耗的特点而配制的一种饮料，它可以有针对性地补充运动时流失的水分和电解质（主要是钠、钾），避免剧烈运动后产生脱水与电解质紊乱现象，起到加速消除运动后疲劳的作用。

提出问题

如何科学地制作运动饮料？

制订并实施研究计划

1. 制作运动饮料前需要做哪些准备工作？

- ◆ 查阅相关资料，了解运动饮料的类型、特点、功效、主要成分、禁忌人群等。
- ◆ 前往超市，收集不同品牌运动饮料所含营养成分的相关数据。
- ◆ 走访饮料生产厂家，调查并了解饮料的生产工艺及生产流程。
- ◆ 综合分析所收集到的资料，科学合理地制订运动饮料配料表并确定制作方式。

2. 怎样动手制作饮料？

- ◆ 按照配料表准备原料、器具，将器具清洗干净，用纯净水配成 1L 溶液。
- ◆ 将配制的溶液置于蒸馏烧瓶中，并在 121℃ 条件下灭菌 4min，冷却后分装。

成果交流

1. 请同学品尝你们制作的运动饮料，征求并记录改进建议。
2. 总结你们制作的运动饮料的突出优点，并设计相应的广告语。
3. 就“长期饮用运动饮料或其他饮料是否有利于身体健康”这一话题和同学展开辩论。



图 1-1 学生自制的运动饮料

第一节 内环境为机体细胞提供适宜的生存环境



图 1-2 显微镜下的草履虫

在显微镜下观察一滴池塘水，你会发现，看起来十分清澈的水中，生活着多种多样的单细胞动物，如变形虫、草履虫（图 1-2）等。这些单细胞动物通过质膜直接与周围的外界环境进行物质交换，以满足生命活动的需要。而对于多细胞动物来说，绝大多数细胞并未与外界环境直接接触。这些细胞生活在怎样的环境中？它们又是如何与外界环境进行物质交换的？

一、机体细胞参与内环境的形成和维持

机体内含有大量液体，这些液体总称为体液（body fluid），约占体重的 60%~70%。体液中除含大量的水以外，还含有许多离子与化合物。存在于细胞内的体液称为细胞内液（intracellular fluid），约占体液的 2/3；分布于细胞外的体液称为细胞外液（extracellular fluid），约占体液的 1/3。细胞外液包括血浆、组织液和淋巴（又名淋巴液）等。



实验探究

观察血液的分层现象

脊椎动物的血液离体后会出现凝固现象，若在离体的血液中加入柠檬酸钠、草酸钠等抗凝剂，则能够防止血液凝固。加入抗凝剂的血液在静置状态下会出现分层现象（图 1-3）。

目的要求

观察血液的颜色变化及分层现象，认识血液的组成，分析血细胞与血浆的关系。

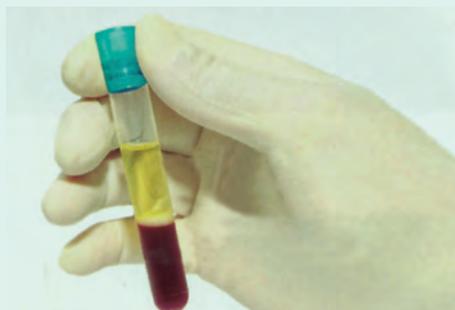


图 1-3 血液分层现象

材料器具

健康的家禽，医用碘伏（或体积分数为 75% 的酒精）、质量分数为 5% 的柠檬酸钠溶液，20mL 一次性无菌注射器、试管、试管架、棉签。

活动程序

1. 取 2 支试管，标记为 A 和 B，在 A 试管内加入 1 mL 质量分数为 5% 的柠檬酸钠溶液。
2. 用一次性无菌注射器从家禽的翼下静脉内抽取 20mL 血液。取下注射器针头，将 10mL 血液慢慢注入 A 试管内，并轻轻振荡几次。再将剩余的 10mL 血液慢慢注入 B 试管内。
3. 静置试管，注意观察现象。

▲ 安全警示

一次性采血过多或短期内重复采血，会影响实验动物的健康甚至导致其死亡，请根据实验动物的实际状况采集适量的血液。

分析讨论

1. 静置一段时间后，2 支试管内的血液分别出现了什么现象？A 试管出现该现象的原因是什么？
2. 你认为血液由哪几部分组成？各部分之间有怎样的关系？
3. 科学家曾经对人体血浆和海水的成分做过对比，经分析发现：两者之中水分都占到总质量的 90% 以上，血浆中 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Cl^- 的离子浓度与海水中这几种离子的浓度接近。从生物进化的角度，你对此有何猜想？

血液是流动在心脏和血管内的不透明红色液体，由血细胞和血浆组成。血细胞随血浆流动，血浆是一种淡黄色液体，其中水分约占总质量的 90% ~ 92%，血浆蛋白约占 7% ~ 9%，还含有无机盐以及葡萄糖、脂质、维生素、激素、尿素等物质。血浆的主要功能是运载血细胞，运输营养物质和代谢废物。

当血浆流经毛细血管动脉端时，除大分子蛋白质等物质外，许多离子、小分子物质等能够透过毛细血管壁进入组织细胞间隙形成组织液。组织液为组织细胞的新陈代谢提供了营养物质和氧，同时，组织细胞也不断地把代谢废物排入组织液中，从而维持细胞正常的生命活动。组织液与组织细胞进行物质交换后，大部分从毛细血管静脉端回流进入血浆，少部分渗透到毛细淋巴管内成为淋巴（图 1-4）。毛细淋巴管以膨大的盲端起始于组织间隙，它比毛细血管有更大的通透性。淋巴中含有与人体免疫有关的细胞，能增强机体抵抗疾病的能力。

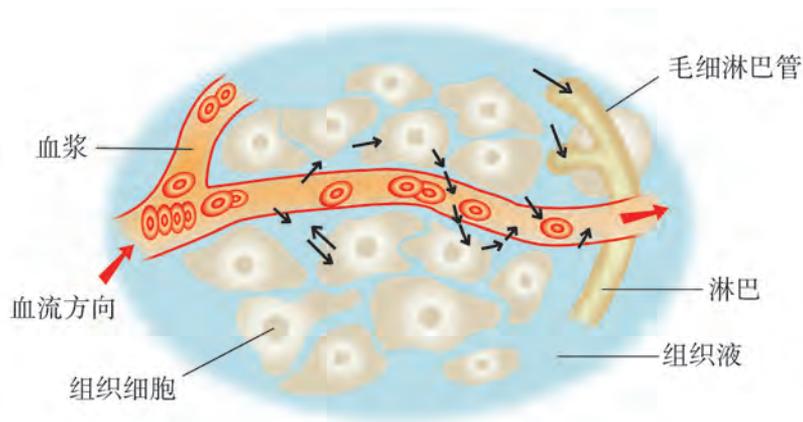


图 1-4 血浆、组织液和淋巴相互关系示意图

阅读空间

血浆蛋白

血浆蛋白是血浆中多种蛋白质的总称，种类繁多，功能各异。在生物化学研究中，可以通过盐析法将血浆蛋白分为白蛋白、球蛋白与纤维蛋白原三大类。白蛋白的主要作用是调节血浆的渗透压；球蛋白主要由白细胞产生，能够清除侵入人体的病原体；纤维蛋白原与伤口处血凝块的形成有关。血浆蛋白分子量很大，一般不能透过毛细血管壁，因此，血浆与组织液在成分上的最大差别在于血浆中含有较多的蛋白质。血浆蛋白绝大部分由肝合成，医学上通过测定血浆蛋白水平可了解肝在蛋白质代谢中的作用。例如，在肝功能检查项目中，医生通过测定白蛋白与球蛋白的数量之比来判断肝的健康状况。正常人的血液中白蛋白与球蛋白之比在 1.5~2.5 之间，而慢性肝炎、肝硬化病人，尤其是肝癌患者，白蛋白下降，球蛋白增高，这个比值会明显降低。

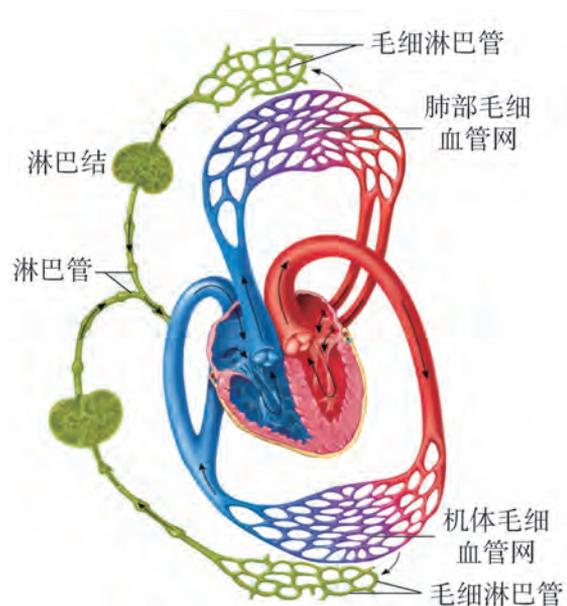


图 1-5 淋巴循环和血液循环的关系

淋巴从毛细淋巴管开始，沿各级淋巴管向心脏方向回流，经过诸多淋巴结的滤过，最后汇入左、右锁骨下静脉，参与血液循环（图 1-5）。淋巴循环不仅能使部分组织液回归血液循环，而且还能转运脂肪和从毛细血管滤出的少量血浆蛋白，对维持体液平衡具有重要作用。

血浆、组织液和淋巴紧密联系，构成人体内不同细胞直接生活的环境。人们把这个由细胞外液构成、体内细胞赖以生存的液体环境称为内环境（internal environment）。血浆在心脏和血管内不断地循环流动，是内环境中最为活跃的部分。

二、细胞通过内环境与外界环境进行物质交换

内环境中的营养物质和氧是从外界环境中获得的。人体所需的糖类、脂质、蛋白质、维生素、水和无机盐等营养物质通过消化系统的消化、吸收进入循环系统，氧在肺部经过扩散作用进入血浆，营养物质和氧再经过循环系统运送到组织细胞而被利用。组织细胞在新陈代谢过程中产生的代谢废物如二氧化碳、尿素等进入内环境中，再通过循环系统的运输，分别由呼吸、泌尿等系统排出体外（图 1-6）。

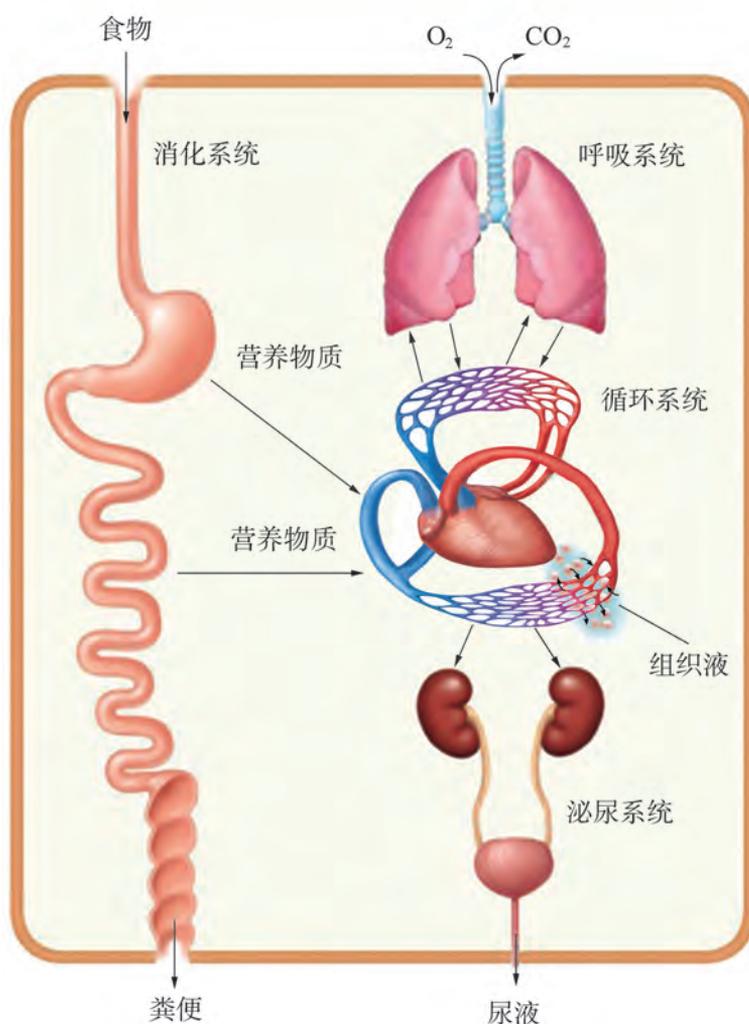


图 1-6 消化、呼吸、循环、泌尿系统功能联系示意图

由此可以看出，内环境与外界环境之间进行物质交换，需要人体多个器官、系统的参与。

思维训练

构建物质交换的物理模型或概念图

物理模型可以将抽象的知识及微观的生理活动进行直观化表达；概念图可以构建起生物学概念之间的联系，不仅有助于理解知识，而且有助于发展发散思维和创新思维。请运用物理模型、概念图等形式，阐明细胞通过内环境与外界环境进行物质交换的过程。

诞生在原始海洋中的单细胞生命直接与外界环境进行物质交换。进化过程中，高等多细胞动物逐渐出现，并在生物圈不同的环境中生存、繁衍，但其体内细胞的生命活动仍然离不开水环境。机体细胞借助内环境而相对独立于外界环境，这在一定程度上减少了机体对外界环境的依赖。机体细胞生活在内环境中，同时，也参与内环境的形成和维持。内环境为机体细胞的新陈代谢及其他正常生命活动提供了稳定的环境条件，是细胞与外界环境之间进行物质交换的媒介。

阅读空间

内环境与安全用药

大多数药物是在进入人体内环境后产生药效的。静脉注射药直接进入血浆；肌肉、皮下注射药进入肌肉和结缔组织的组织液，随后进入淋巴与血浆；除一些含服药经口腔黏膜吸收外，口服药主要是经消化系统的胃壁和小肠绒毛吸收后进入血浆与淋巴。

内环境中的药物除了在病灶处起治疗作用外，也会对人体其他部分产生并不需要甚至危险的副作用，所以安全用药十分重要。对症用药是安全用药最重要的前提；在明确诊断前不要随使用药，以免掩盖症状，造成诊断困难甚至误诊；没有医生的诊断和指导不能擅自使用处方药，在药店购买非处方药（包装上有OTC字样的药物）时也应问清其适应症、不良反应等；用药前仔细阅读说明书，尤其应关注用药剂量与慎用、禁用等事项；注意药物配伍，不清楚时应咨询医生；了解用药禁忌常识；不滥用抗生素；慢性病患者不要自行减药。

学业检测

1. 徒步是一种有目的地进行中长距离步行的户外运动方式。某同学由于平时缺乏锻炼，一次较长时间的徒步运动使其脚掌磨出了“水泡”，但是几天后“水泡”又消失了。请回答：

(1) “水泡”中的液体主要是指（ ）。

第一节 内环境为机体细胞提供适宜的生存环境

A. 血浆 B. 组织液 C. 淋巴 D. 细胞内液

(2) “水泡”在消失的过程中，其中的液体主要渗入()。

A. 组织细胞 B. 毛细血管和各级动脉、静脉
C. 各级动脉和静脉 D. 毛细血管和毛细淋巴管

2. 人体的许多“管、腔、囊”虽然位于体内，却不属于内环境，应该称为外环境。请将下列几种现象与各自对应的环境连线。

受精过程中，精子进入卵细胞内 内环境

口渴时吃西瓜，西瓜汁进入胃中 外环境

蜜蜂将蜂毒注入黑熊的皮肤内 细胞内液

3. 血浆、组织液和淋巴尽管位于不同的部位，但是在组成成分上却具有一定的相似性。下页表为人体血浆、组织液和细胞内液的部分成分及含量统计。除蛋白质的含量以 mEq/L 为单位外，其他成分以 mmol/L 为单位。

成分	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻ /H ₂ PO ₄ ⁻	蛋白质
血浆	142	4.3	2.5	1.1	104	24	2	14
组织液	145	4.4	2.4	1.1	117	27	2.3	0.4
细胞内液	12	139	0.001	1.6	4	12	29	54

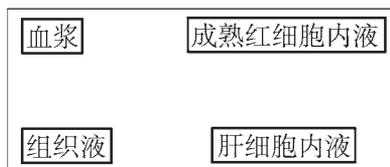
请分析回答：

(1) 比较血浆与组织液，细胞内液与细胞外液在组成成分上的异同点。

(2) 除了表中所列成分外，你认为血浆中还含有哪些物质？请说明理由。

4. 肝是人体内新陈代谢的重要器官，其细胞内能进行糖类、脂质和蛋白质等多种物质的转化反应。同时，肝细胞发挥正常的生理作用也离不开内环境各成分的参与。请分析回答：

(1) 尝试构建人体肝内的体液之间 O₂、CO₂ 扩散的概念图（在图形框间用实线箭头表示 O₂，用虚线箭头表示 CO₂；不考虑 CO₂ 进入成熟红细胞内液）。



(2) 在肝细胞内，氨基酸能够被彻底分解成二氧化碳、水和尿素等物质，请结合所学知识分析这些物质分别通过哪些器官、系统排出体外？

第二节 机体通过自动调节维持内环境的稳态



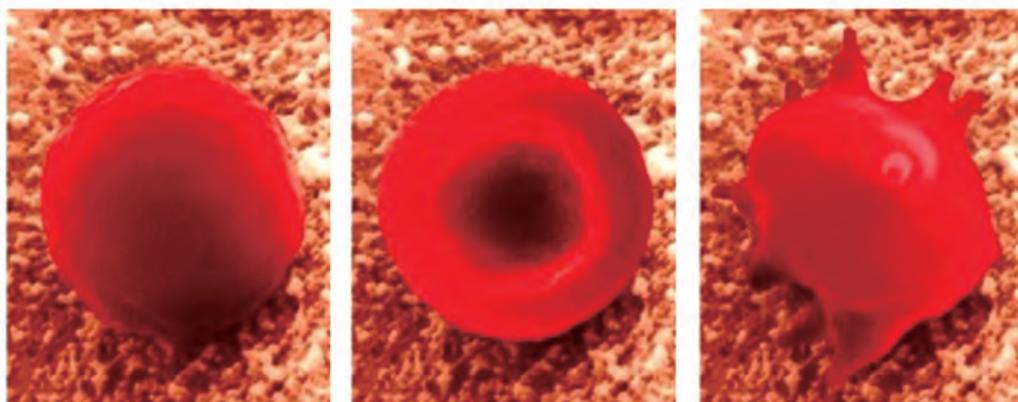
图 1-7 生活在海洋中的鱼

生活在海洋里的鱼儿,一生都离不开又咸又苦的海水(图 1-7),可是它们的肉质吃起来为什么不像海水那样咸?原来,海洋中的鱼类都有各自的“海水淡化器”,能将摄入体内的多余盐分及时排出体外,使体内细胞处在远低于海水盐度的细胞外液中,它们的肉当然就不咸了。

其实,人体细胞所处的内环境的浓度也必须维持稳定,临床上常使用生理盐水(质量分数为 0.9% 的 NaCl 溶液)或质量分数为 5% 的葡萄糖溶液给危重病人补液,就是依据这一原理。内环境的浓度为什么要维持稳定?内环境的理化性质有哪些?机体又是通过哪些机制来维持内环境理化性质的相对稳定?内环境的稳态具有怎样的生理意义?

一、稳态是内环境理化性质维持相对稳定的状态

植物细胞的质壁分离及复原实验证明,水可以通过渗透作用自由地进出植物细胞。动物细胞(包括人体细胞)也可以发生渗透作用。当人体细胞处于高浓度溶液中时,细胞内的水将透过质膜进入到溶液中,细胞因失水而皱缩;当人体细胞处于低浓度溶液中时,细胞将吸水膨胀,甚至破裂。细胞发生渗透作用的具体状况与周围的溶液浓度有密切的关系(图 1-8)。



低浓度溶液

等浓度溶液

高浓度溶液

图 1-8 红细胞在不同浓度溶液中的形态变化(放大倍数: 5000 ×)

水从低浓度溶液穿过半透膜进入高浓度溶液时产生的压力称为渗透压。渗透压的高低与溶液的浓度有关，溶液浓度越高，渗透压越高；反之，渗透压就越低。当红细胞内的渗透压与血浆渗透压相等时，红细胞就能维持其正常形态。

除了具有相对稳定的渗透压，正常人的体温、血糖浓度、血浆 pH 等也都在一定的范围内动态变化。虽然机体的各种代谢活动不断进行，外界环境不断变化，但是机体内环境的化学成分和理化性质能够维持相对稳定，生理学家把内环境的这种状态称为稳态（homeostasis）。

阅读空间

稳态概念的提出与发展

法国生理学家贝尔纳（C. Bernard）通过实验发现，肝能通过肝糖原的水解或合成来维持血糖含量的相对稳定。经过对实验结果的分析以及参考其他实验所提供的证据，他于 1857 年首次提出“内环境的稳定是机体自由和独立生存的首要条件”。

1926 年，美国生理学家坎农对这一概念的内涵做了补充。他提出内环境的稳定不只是靠生物与环境的分隔产生的，而是依靠体内各种生理过程的不断调节来实现的。内环境并不是处于一种静止的、固定不变的状态，而是处于一种动态平衡状态，并用“稳态”这一术语予以概括。

现在，稳态的概念已经不局限于内环境的范畴，而是泛指在生物的各个水平上维持相对稳定和相互协调的状态，如基因表达的稳态、心率和血压的稳态、种群数量的稳态、生态系统的稳态等。

二、机体通过一定的调节机制维持内环境的稳态

对于内环境稳态的调节机制，许多科学家做了大量实验研究。从 1904 年开始，美国生理学家亨德森（L. Henderson）对酸碱平衡进行研究。首先，他研究简单的水溶液和模拟血液的人造缓冲液，定量地测定了人造缓冲液的作用。后来他又对血液进行实验研究，发现了血液的缓冲作用。



实验探究

比较清水、缓冲液、血浆对 pH 变化的调节作用

缓冲液是由弱酸或弱碱（及其盐类）等缓冲物质组成的混合溶液，能在一定程度上抵消或减轻酸、碱的作用，缓冲溶液的 pH 变化。向清水及不同溶液中滴加酸性或碱性物质，通过测定 pH 数据，可以显示它们对 pH 变化的调节作用。

目的要求

1. 向清水、磷酸盐缓冲液和血浆中分别加入酸性或碱性物质，比较 3 种液体的 pH 变化。
2. 分析生物体 pH 稳定的调节机制，认识机体的稳态。

材料用具

清水、1000mL 0.1mol/L 磷酸盐缓冲液 (pH = 7)、1000mL 血浆 (加抗凝剂)、0.2mol/L HCl 溶液、0.2mol/L NaOH 溶液，50mL 烧杯、50mL 量筒、pH 计、玻璃棒、防护手套等。

活动程序

1. 取 1 个 50mL 烧杯，用量筒量取 20mL 清水加入烧杯中。用 pH 计测定清水的初始 pH 并记录。
2. 向烧杯中滴加 2 滴 0.2mol/L 的 HCl 溶液，然后用玻璃棒轻轻搅拌摇匀，测定溶液的 pH 并记录（图 1-9）。



图 1-9 向烧杯中滴加 HCl 溶液

3. 重复程序 2 四次，向烧杯中滴加的 HCl 溶液的量分别是 4 滴、6 滴、8 滴、10 滴，记录每次测量的 pH。
4. 另取 1 个 50mL 烧杯，用 0.2mol/L 的 NaOH 溶液代替 0.2mol/L 的 HCl 溶液，重复程序 1 至程序 3。
5. 分别用磷酸盐缓冲液和血浆代替清水，重复程序 1 至程序 4。
6. 将测定的数值记录在下页的表 1-1 中。

表 1-1 不同液体加入酸或碱后 pH 变化记录表

试剂滴数	加入 0.2mol/L 的 HCl 溶液						加入 0.2mol/L 的 NaOH 溶液					
	0	2	4	6	8	10	0	2	4	6	8	10
清水												
缓冲液												
血浆												

7. 根据表中数据，以 0.2mol/L 的 HCl 溶液或 0.2mol/L 的 NaOH 溶液的滴数为横坐标，pH 为纵坐标，分别绘制清水、磷酸盐缓冲液、血浆加入 HCl 溶液或 NaOH 溶液后 pH 的变化曲线。

⚠ 安全警示

1. HCl、NaOH 具有强腐蚀性，实验过程中应注意安全防护。
2. 磷酸盐缓冲液的 pH 易受温度影响，为避免影响实验，每次使用前最好用 pH 计测试缓冲液的 pH，如果数值变化较大，须更换新的缓冲液。

分析讨论

1. 不同液体加入 HCl 或 NaOH 后，pH 是如何变化的？有什么规律？
2. 尝试分析人体维持 pH 稳定的机制，并给出合理解释。
3. 磷酸盐缓冲液相当于人造血浆缓冲液，这是利用物理化学方法研究生物体结构和功能的一种手段，这种思想方法的利与弊是什么？

机体代谢活动会产生碳酸、乳酸等酸性物质，摄入的蔬菜、水果中往往含有碳酸钠等碱性物质，这些物质进入血浆后并没有使血浆 pH 发生较大变化，原因是血浆中含有较多的缓冲物质，如 $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4/\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 等。在一定范围内，这些缓冲物质对酸性和碱性物质具有缓冲作用，使血浆 pH 能够维持在相对稳定的状态（图 1-10）。

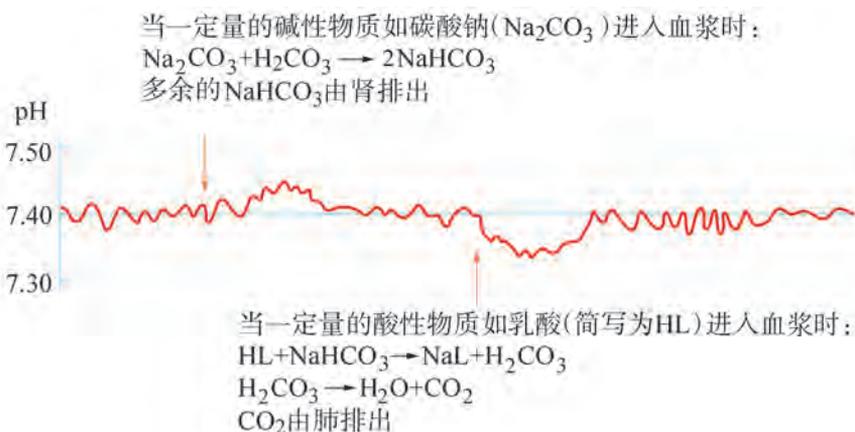


图 1-10 血浆 pH 的变化曲线

血浆 pH 保持相对稳定是缓冲物质作用的结果；而血浆渗透压和血糖平衡等的维持，除了体液中的一些物质参与调节外，还需要神经系统的参与。另外，免疫系统在维持机体稳态和健康方面也具有重要作用。

三、内环境的稳态是细胞进行正常生命活动的必要条件

机体细胞不断进行着物质代谢和能量代谢，时刻发生着大量生物化学反应。细胞代谢的正常进行离不开酶，而酶的活性会受温度、pH 等因素影响。人的正常体温保持在 37°C 左右，血浆的 pH 在 7.35 ~ 7.45 之间的小范围内波动，这种稳态有利于酶发挥催化作用，保证了细胞内各种反应的正常进行。

正常情况下，人体的血浆渗透压约为 770kPa。如果血浆渗透压降低或组织液浓度增大，就会使血浆和组织液之间出现渗透压差，导致组织液增多而造成组织水肿。

阅读空间

组织水肿

组织水肿是指组织液过多而引起的全身或身体局部肿胀的症状，又称浮肿。血浆中的蛋白质含量减少或组织液中的蛋白质含量增加，都会相应地造成组织水肿。引起组织水肿的原因主要有：过敏反应导致毛细血管通透性增大，血浆蛋白渗出毛细血管，进入组织液；营养不良时，血浆蛋白合成量减少，血浆渗透压降低。另外，淋巴回流受阻或局部组织细胞代谢旺盛，也会使组织液渗透压增高，引起组织水肿。

内环境的稳态与机体的健康密切相关，它是在神经系统和体液等的共同调节下，通过机体各器官、系统协调统一正常运行来实现的。内环境稳态是机体细胞进行正常生命活动的必要条件。

学业检测

1. 血浆渗透压可分为胶体渗透压和晶体渗透压，其中由蛋白质等大分子物质形成的渗透压称为胶体渗透压，由无机盐等小分子物质形成的渗透压称为晶体渗透压。血浆中蛋白质

第二节 机体通过自动调节维持内环境的稳态

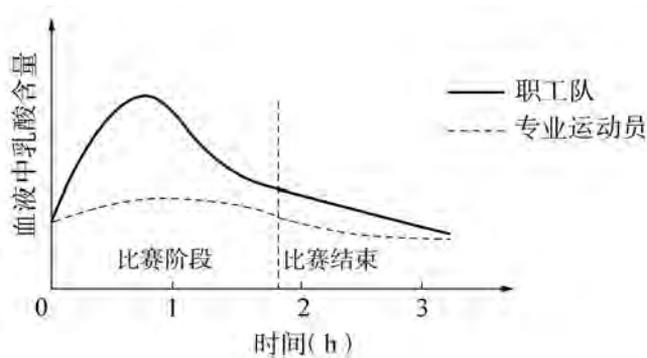
含量虽高，但相对分子质量大，分子密度小，所产生的渗透压较小，不超过 3.3kPa。回答下列问题：

(1) 在维持血细胞的细胞内液和细胞外液渗透压平衡方面，哪一种血浆渗透压所起的作用较大？在维持血浆与组织液渗透压平衡方面，哪一种所起的作用较大？

(2) 正常人大量饮用清水后，胃肠腔内的渗透压如何变化？血浆晶体渗透压如何变化？

(3) 影响组织水肿的因素中为什么只考虑胶体渗透压改变，而不考虑晶体渗透压？

2. 某单位职工代表队与专业运动员进行了一次足球友谊赛。下图为比赛过程中及赛后两队队员血液中乳酸含量的变化情况。请分析回答：



(1) 比赛开始后的一段时间内“职工队”队员血液中乳酸含量迅速增加的原因是什么？

(2) 为什么比赛的后半场“职工队”队员血液中乳酸含量有所降低？

(3) 在比赛过程中，为什么专业运动员血液中乳酸的含量始终比“职工队”队员低？

3. 在日常生活中，很多因素会引起内环境的理化性质发生一定的变化，有些变化通过机体自身的调节能维持内环境的稳态，但是机体对稳态进行调节的能力是有限的，某些因素有可能导致机体的稳态失衡。

(1) 某人一次喝了 250mL 果醋饮料后，血浆 pH 会发生变化吗？试分析原因。

(2) 班氏丝虫是我国常见的丝虫病病原体，病原体的寄生部位是淋巴。受感染病人严重时会出现淋巴管阻塞导致下肢肿胀，使机体的稳态遭到破坏。请结合所学知识，解释出现此种现象的原因。

(3) 在进行常规体检时，常对血液中的尿素氮、丙氨酸氨基转移酶、甘油三酯、血糖等成分进行检查。试举例说明内环境中某种成分的指标超出正常范围，会对身体造成哪些不利影响。

 学业要求

重要概念	节次	学科素养
1. 内环境为机体细胞提供适宜的生存环境, 机体细胞通过内环境与外界环境进行物质交换。 2. 机体通过自动调节, 维持内环境的稳态。	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆说明血浆、组织液和淋巴等细胞外液共同构成高等动物细胞赖以生存的内环境。 ◆阐明机体细胞生活在内环境中, 通过内环境与外界环境进行物质交换, 同时也参与内环境的形成和维持。通过构建内环境各组分的关系图, 形成结构与功能观。 ◆简述机体通过呼吸、消化、循环和泌尿等系统参与内、外环境间的物质交换。 ◆通过分析内环境与外界环境物质交换概念图, 提高归纳与概括的能力。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆概述稳态是内环境的各种化学成分和理化性质维持相对稳定的状态。通过比较清水、缓冲液、血浆对 pH 变化调节作用的实验, 掌握科学探究的基本思路和方法。 ◆说明机体通过自动调节, 为细胞提供适宜的生活环境。

 科学生活

心理状态的平衡和调节

人不仅是单纯的生物有机体, 也是有思想活动、有丰富情感、拥有最高智慧、能通过劳动创造财富的社会成员。美国首任总统华盛顿曾经说过: 一切的和谐与平衡, 健康与健美, 成功与幸福, 都是由乐观的心理产生与造成的。人不仅有着各种各样的生理活动, 还有着复杂的心理活动。人的心理状态的平衡状况会影响身体健康。

心理平衡是人内心精神世界的和谐、安宁状态, 在这种状态下, 人逐渐形成乐观、开朗、豁达的生活态度, 能够恰当地评价现实, 坦然应对生活中的压力, 有效率地工作、学习和生活。心理平衡也会使人体的各个系统处于最佳的协调状态, 即身心皆处于平衡状态。《黄帝内经》上也有相关记载: “精神内伤, 身必败之” “喜乐者, 神惮散而不藏; 愁忧者, 气闭塞而不行; 盛怒者, 迷惑而不治; 恐惧者, 神荡惮而不收”。一个人能保持心理平衡, 就等于掌握了身体健康的金钥匙。

青春期是人生发展的黄金时期, 但此时的生理和心理变化也给人带来一些“烦恼”。身高、体重迅速增长以及大脑皮层结构和功能的不断完善, 是青春期发育的显著特点。中学生的生理机能接近成人, 而心理水平尚处于从幼稚向成熟发展的过渡阶段。这种身心发展的不

平衡状态，容易引发逆反、迷茫、困惑、情绪波动等心理问题。

进入青春期的青少年开始出现性意识，会对异性产生兴趣和好感。这不是心理疾病，也不是不道德行为，而是进入成熟阶段的正常的生理、心理需要，是对美好生活的追求，是成长中的自然规律。正确对待异性和认识性现象，是现代健康生活方式的基本要求。中学生需要积极接受学校和家庭的有关教育，科学认知青春期生理和心理的发展变化，消除对异性的好奇心导致的交往紧张心理，把握好同异性交往的分寸，分清友谊和爱情的界限，用更多的时间去丰富精神生活，用正确的思维把控自己的情感，正确处理青春期所遇到的生理情况和心理活动问题。

一般来说，人最好在生理和心理发育都成熟之际去恋爱。“提前采摘禁果，我们只会品尝酸涩。”“透支生命，生命之花只会过早枯萎。”待到心理发育相对成熟，人生观相对稳定，社会阅历相对丰富，经济相对独立之时，才能品出爱情的真味。

高中学习压力增大以及人际关系处理不当会导致情绪波动。如果长时间的情绪低落没有得到改善，并伴随无愉快感、食欲降低、睡眠障碍或精力减退等症状，要有能够主动识别抑郁等精神疾病的意识。心理状态的变化一旦导致生理机能的紊乱，往往要经过很长时间才能恢复到正常的稳态中。

有人问一名盲人：“你什么都看不见，这么活着痛苦吗？”盲人回答：“我痛苦什么？和失聪者相比，我能听见声音；和瘫痪者相比，我能行走；和失语者相比，我能说话。”心理调节的主动权其实掌握在每个人自己手里，任何事物都有它的两面性，关键是你看哪一面多一些。

热爱生活的人一定心态阳光，对生活充满信心，对学习和工作具有强烈的上进心，通过积极学习和工作来实现自己的人生价值，遇到困难也总是以愉快的心情和积极的态度去应对，努力寻找解决困难的方法和措施。

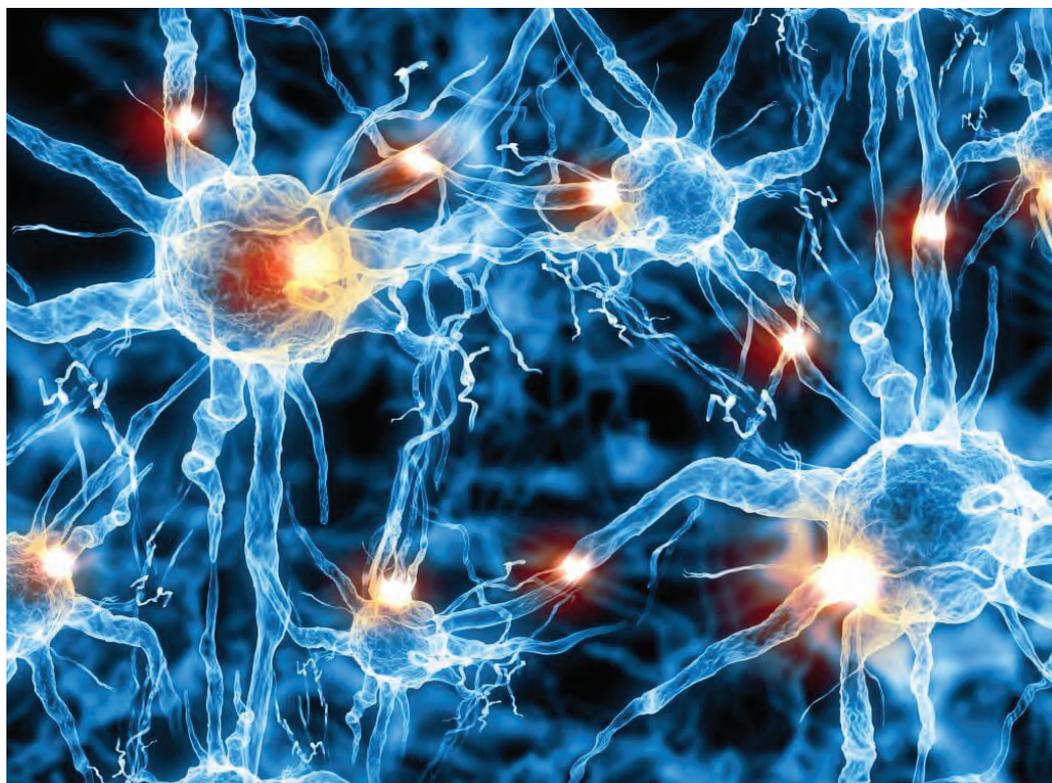
倾诉是减轻内心痛苦的良药。一旦有不愉快的情绪反应，不要过于紧张和烦闷，要常同家人、朋友谈心，交流思想和感情，倾吐心中的抑郁，这对调整自己的心情有很大的帮助。必要时，可以向心理老师或心理医生咨询，切不可长期压抑在心中。我们可以将业已产生的消极情绪如痛苦、怨愤、嫉妒等转化为积极有益的行动，即以高境界表现出来，谓之升华。不少人身处逆境，忍辱负重，但乐观进取、自强不息，取得了出众的成绩，为世人传颂，这是升华的典型。升华是调节消极情绪的最高形式，也是一种最佳方式。学会接纳和欣赏自己，懂得扬长避短、不断激发自己的潜能，努力做更好的自己。“天赋使人闪闪发光，努力也可以。”

体育锻炼是缓解心理压力的最有效方法（图 1-11）。体育运动能使人释放压力，重振精神。长期坚持体育锻炼的人，往往精力充沛、心情开朗。另外，长期体育锻炼还可以磨炼人的意志，使人树立战胜困难的决心。

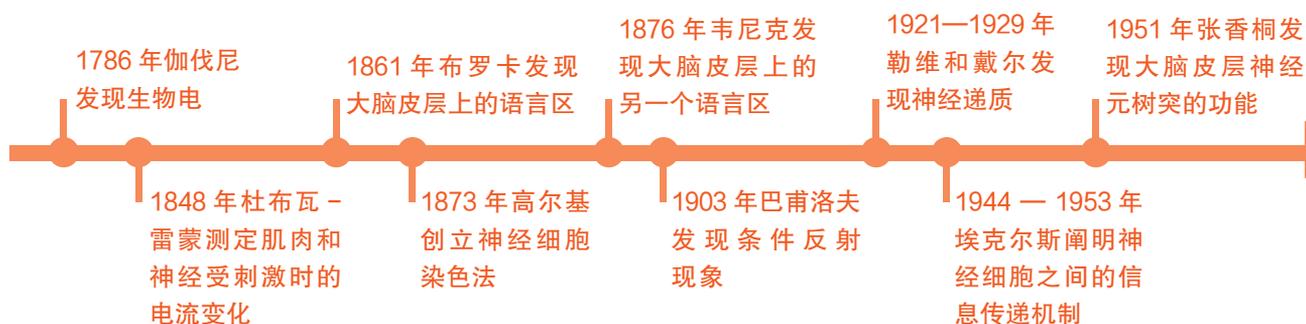


图 1-11 体育锻炼能有效缓解心理压力

第二章 人和动物通过神经系统调节生命活动



唐代诗人卢纶在《和张仆射塞下曲》中写道：“林暗草惊风，将军夜引弓。”将军看到风吹草动，迅速引弓搭箭的行为在生物学上属于反射活动，这种行为是在神经系统的参与下完成的。人和动物的神经系统能够及时感知内外环境发生的变化并迅速作出反应，协调各器官、系统的生命活动，使机体维持稳态并适应多变的环境。那么，人和动物是如何通过神经系统调节生命活动的？神经调节的基本方式和结构基础是什么？神经冲动是怎样产生和传导的？人脑有哪些高级功能呢？





课题研究

蛙坐骨神经 - 腓肠肌实验

两栖动物的离体组织、器官所需生活条件比较简单，并且容易控制。因此，青蛙或蟾蜍的坐骨神经 - 腓肠肌标本是研究神经冲动、肌肉收缩等生理实验常用的材料，在实验中可用于观察肌肉收缩现象，研究刺激、兴奋性、兴奋过程的规律和特点等。

提出问题

用不同的方式刺激坐骨神经 - 腓肠肌标本，肌肉的收缩程度是否相同？

制订并实施研究计划

1. 怎样进行实验前的准备？

- ◆各小组通过查阅资料，了解青蛙或蟾蜍后肢的生理结构，明确坐骨神经的位置。
- ◆了解青蛙或蟾蜍坐骨神经 - 腓肠肌标本的制作方法，准备所需实验器材和药品，并学会相应解剖器械的使用方法。

2. 怎样制作青蛙或蟾蜍的坐骨神经 - 腓肠肌标本？

- ◆破坏青蛙或蟾蜍的脑和脊髓，剥离后肢全部的皮肤。
- ◆分离坐骨神经，将腓肠肌和股骨头游离出来。
- ◆检验标本机能是否正常。

3. 怎样刺激坐骨神经 - 腓肠肌标本？

- ◆分别用电流、解剖针、稀盐酸、大蒜榨取液、茶溶液刺激坐骨神经，观察实验现象。
- ◆利用表格记录实验结果，也可以将实验过程录制成视频。

成果交流

1. 小组之间互相展示实验记录以及录制的实验视频并进行交流。

2. 对实验现象进行分析，讨论肌肉在不同方式刺激下收缩程度有差异的原因。

3. 青蛙在捕捉害虫时，会借助于肌肉发达的后肢奋力一跃。试分析青蛙的神经系统如何调控其跳跃行为，这种调控方式对动物的生存有何意义？



图 2-1 坐骨神经 - 腓肠肌标本

第一节 神经调节是人和动物生命活动调节的主要方式



图 2-2 梅

“望梅止渴”的故事家喻户晓。东汉末年，带兵远征的曹操在士兵们口渴难忍的情况下提及甘酸的梅子（图 2-2），不仅使士兵们满口生津，暂解干渴之苦，而且也鼓舞了士气。士兵们闻梅生津的现象属于反射活动。那么，完成反射活动的结构基础是什么？各神经中枢之间有哪些联系？神经系统如何实现对躯体和内脏活动的调节？

一、反射弧是反射活动的结构基础

人的神经系统分为中枢神经系统和周围神经系统。中枢神经系统包括脑和脊髓，周围神经系统包括与脑相连的脑神经和与脊髓相连的脊神经（图 2-3）。

神经元又称神经细胞，是神经系统结构和功能的基本单位。神经元的形态和功能多种多样，但在结构上大致都可分为胞体和突起两部分。突起又分树突和轴突。树突较短，分支多，形如树枝状。轴突往往很长，呈细索状，外部有髓鞘保护，末端常有分支（图 2-4）。神经元的轴突或长的树突以及包在外面的髓鞘，称为神经纤维。



图 2-3 人体神经系统的组成

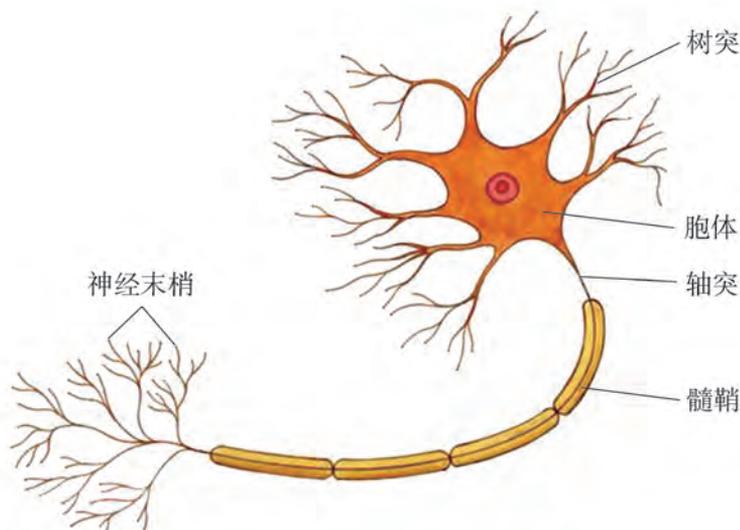


图 2-4 神经元结构示意图

手指无意中触碰到过热的东西会迅速缩回，这种现象称为缩手反射。在膝半屈和小腿自然下垂时，用橡皮锤或

手掌内缘快速叩击膝盖下方的韧带，小腿会作出急速前踢的反应，称为膝跳反射。反射是动物体或人体通过中枢神经系统对各种刺激产生的有规律的反应，是神经调节的基本方式。



资料探究

脊蛙反射过程

脑被切除或破坏，仅保留脊髓的动物称为脊动物。此时动物产生的各种反射活动为单纯的脊髓反射。由于脊髓已失去了脑的正常调控，所以反射活动比较简单，便于观察和分析反射过程的某些特征。

用解剖针从蛙的枕骨大孔中插入，向前捣毁颅腔中的脑，即为脊蛙。将脊蛙悬挂在铁架台上进行实验。

在脊蛙的右侧下腹部贴上浸有稀硫酸溶液的小纸片，可见其四肢向此处搔扒，直到将纸片扒掉为止，称为搔扒反射。用清水洗去脊蛙腹部的稀硫酸。

将脊蛙的左后肢或右后肢趾尖浸入盛有稀硫酸溶液的培养皿内（浸入的范围一致），会看到后肢发生收缩现象，称为屈肌反射（图 2-5）。用清水洗去脊蛙趾尖的稀硫酸。



图 2-5 脊蛙的屈肌反射

在脊蛙右后肢趾关节上做一个环形皮肤切口，将切口以下的皮肤全部剥除干净。再用稀硫酸溶液浸泡该趾尖，该侧后肢无反应。用清水洗去脊蛙趾尖的稀硫酸。

分离出脊蛙的左后肢坐骨神经，并将其剪断。用一定强度的电流连续刺激左后肢坐骨神经的中枢端（距离脊髓近的一端），左后肢无反应；刺激外周端（距离脊髓远的一端），左后肢收缩。

分析讨论

1. 推测搔扒反射和屈肌反射的反射弧路径。

2. 剥去脊蛙趾关节以下皮肤后，为什么不再出现原有的反射活动？左后肢坐骨神经被剪断后，脊蛙的反射活动发生了变化，分析其原因。

3. 脊髓灰质炎俗称小儿麻痹症，是由脊髓灰质炎病毒引起的一种急性传染病，患者多为 1~6 岁儿童。脊髓灰质炎病毒主要侵犯脊髓灰质中的运动神经元。尝试描述脊髓灰质炎导致的后果。如何预防脊髓灰质炎？

在反射活动中，参与反射活动的神经结构叫反射弧（reflex arc）。反射弧包括感受器、传入神经纤维、神经中枢、传出神经纤维和效应器 5 个部分，神经中枢是整个反射弧的核心（图 2-6）。

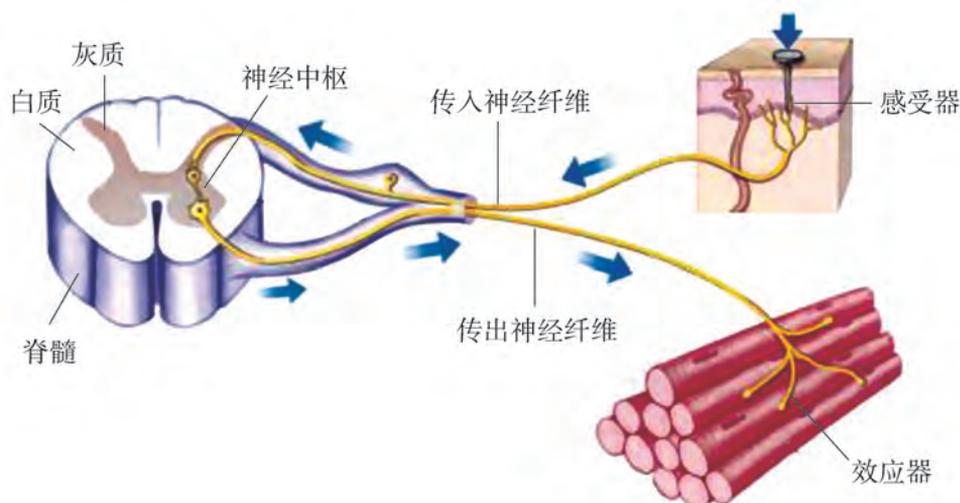


图 2-6 反射弧的基本结构示意图

最简单的反射弧由传入神经元和传出神经元构成，称为二元反射弧，如膝跳反射的反射弧。三元反射弧则在传入神经元与传出神经元之间增加了一个中间神经元，如缩手反射的反射弧。大多数反射弧包含多个中间神经元。

反射活动需要完整的反射弧来实现，如果反射弧中任何环节在结构或功能上受损，反射活动就不能完成。

二、低级神经中枢与高级神经中枢联系紧密

脑和脊髓的灰质中功能相同的神经元胞体汇集在一起构成神经中枢。外界刺激所产生的信号传入神经中枢后，通过其分析与整合，对机体的各项生命活动进行调节。各

个部位的神经中枢彼此之间相互联系，相互协调。

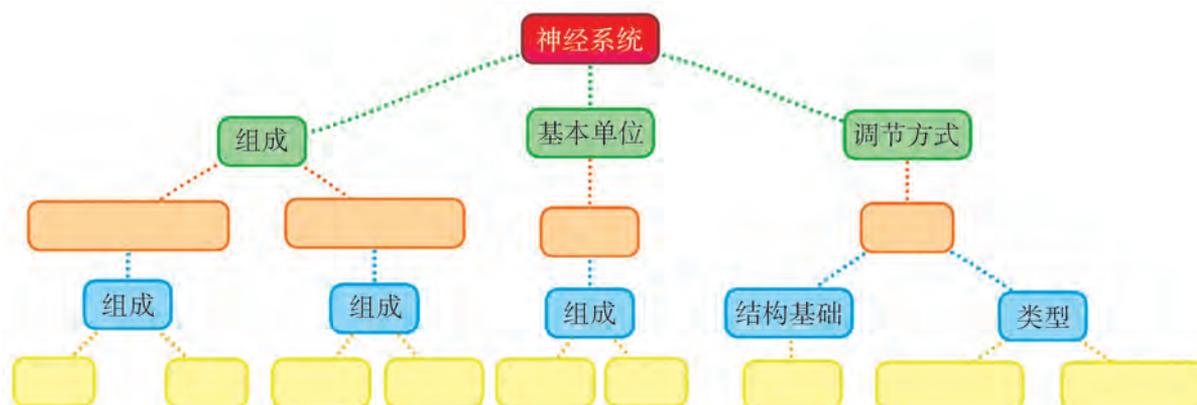
排尿反射是一种简单的反射活动，但经常在高级神经中枢控制下进行。当膀胱内储尿量达到一定程度时，膀胱被动扩张，膀胱壁内的感受器受到刺激而产生兴奋，兴奋沿传入神经纤维传到脊髓的排尿反射中枢；同时通过脊髓再把信息上传至大脑皮层的排尿反射高级中枢，并产生尿意。大脑皮层将兴奋向下传至脊髓排尿反射中枢，通过传出神经纤维将兴奋传到效应器，使膀胱壁收缩，尿道括约肌舒张，将储存在膀胱内的尿液排出。正常情况下成人可以有意识地控制排尿。但婴幼儿的大脑机能发育尚未完善，对脊髓排尿中枢的控制能力较弱，所以婴幼儿排尿次数多，且易发生遗尿现象。截瘫病人由于脊髓受到损伤，使得排尿反射中枢不能将兴奋上传到大脑，排尿反射失去了大脑的控制，所以会出现尿失禁现象。

脑和脊髓中的神经中枢分别负责调控特定的生理功能。一般来说，位于脊髓的低级神经中枢受脑中有关高级神经中枢的调控。各级神经中枢对机体的活动都有调控作用，但高级神经中枢的调控起主导作用。

思维训练

构建神经系统概念图

概念图是一种围绕特定的主题创建的知识结构图，能够以直观形象的方式表达知识结构，有效呈现思考过程及知识的关联。请完成关于神经系统的概念图。



三、中枢神经系统通过自主神经来调节内脏的活动

内脏进行反射活动的效应器为传出神经纤维末梢及其支配的平滑肌、心肌或一些腺体，但是这些反射活动不受意识控制。支配这些肌肉和腺体活动的神经叫作自主神经，又称为植物性神经，包括交感神经和副交感神经两大类。绝大多数内脏器官既接受交感神经的支配，又接受副交感神经的支配。交感神经和副交感神经对同一组织或器官的作用往往是相反的（图 2-7）。

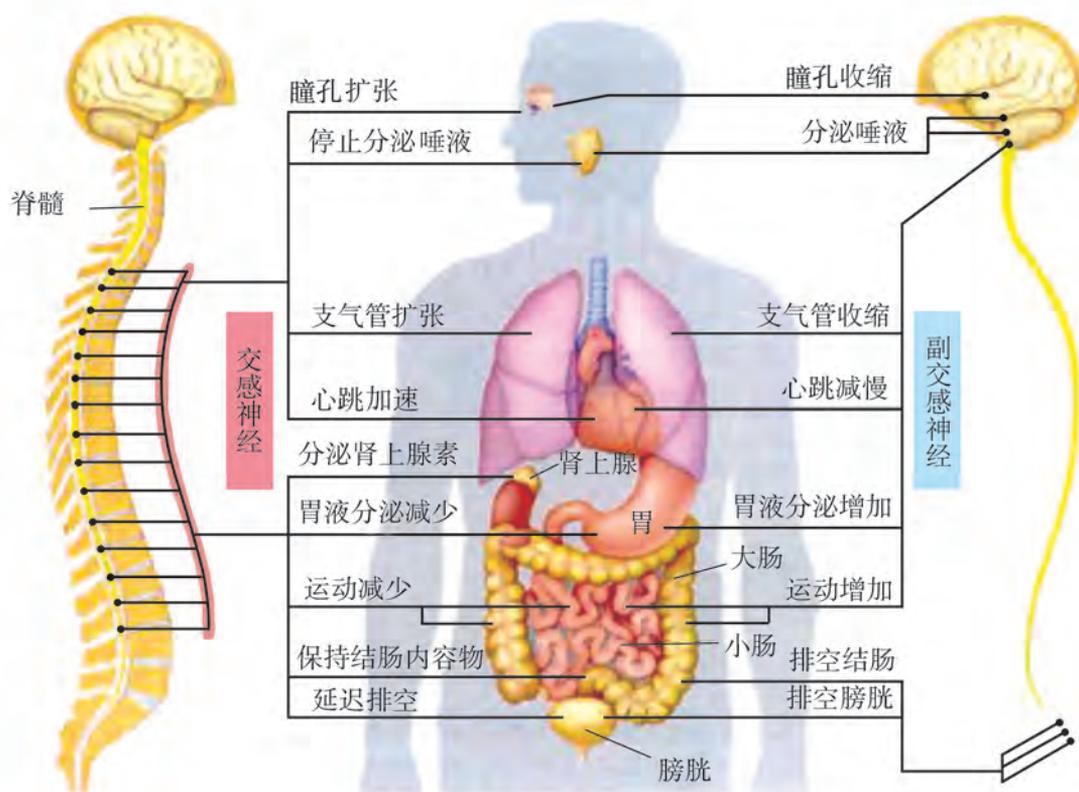


图 2-7 交感神经与副交感神经功能示意图

神经系统在调控生命活动的过程中起主导作用。内、外环境的各种信息由感受器接受后，通过传入神经纤维传递到脑和脊髓的各级中枢进行整合，再经传出神经纤维控制和调节机体各器官系统的活动，对体内各种功能不断作出及时的调整，从而使机体适应内外环境的变化。

学业检测

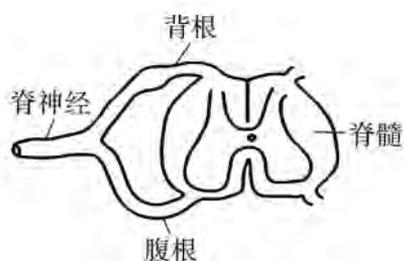
1. 人体对刺激作出反应需要一定的时间，这一时间的长短在一定程度上反映了反射的灵敏程度。甲拿着一把米尺，零刻度向下，乙将拇指和食指与米尺的零刻度持平。甲在不给乙任何提醒的情况下，突然放手让米尺下落，乙发现米尺下落时，尽快用拇指和食指将米尺捏住。记录捏住米尺处的刻度。

(1) 在该实验中，刺激信号是什么？

(2) 该实验涉及的反射弧和反射过程是怎样的？

(3) 捏住处刻度值代表乙的反应时间长短，测试多人后可以进行比较。请思考人体对外界刺激作出反应的快慢与哪些因素有关？如何提高人体的反应速度？

2. 将青蛙的脑破坏，保留脊髓，在脊柱下部打开脊椎骨，可剥离出脊神经根（如下图所示，一对脊神经根包含一个背根和一个腹根）。分别电刺激每对脊神经根背根和腹根均可引起蛙同侧后肢发生运动反应。



(1) 请以脊髓的2对脊神经根为实验材料设计简单实验，证明背根具有传入功能，腹根具有传出功能。

(2) 如果只用一对脊神经根作为实验材料，又该如何进行实验设计？

第二节 神经细胞膜内外具有电位差

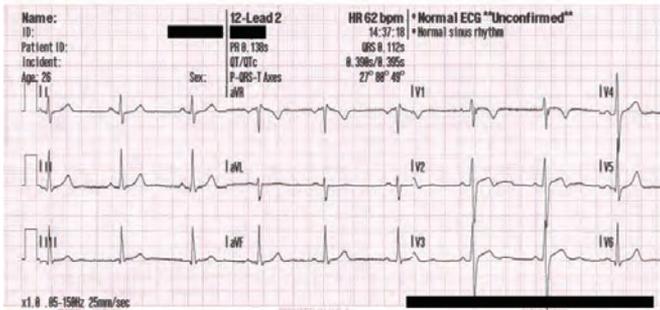


图 2-8 正常人的心电图

人体所进行的任何一项细微的活动都与生物电有关。心脏跳动、肌肉收缩、大脑思维等都伴随着生物电的产生和变化。心脏跳动时心肌细胞会发生电位改变，这种改变在胸腔皮肤表面造成 1~2mV 的电压变化，被心电图记录装置捕捉并放大即可描绘出心电图（图 2-8）。医生利用心电图可以比较准确地测定心脏的跳动节律及功能变化。生物电现象在动植物体内普遍存在。那么，生物电是如何被发现的？生物膜电位又是如何产生的呢？

一、科学家巧妙地设计实验发现生物电

在科学研究过程中，科学论战常常会促进科学的发展。为了验证对发现的科学现象所作出的描述和对其进行解释时所提出的科学假说是否正确，科学家会设计出相应的实验并进行理论推导，通过反复的论证后，最终使自然现象背后的机理得以揭示。其中，生物电的发现就是科学论战的典型实例。



经典再现

蛙腿论战

1780 年，意大利解剖学和医学教授伽伐尼（L.Galvani，图 2-9）在一次解剖青蛙时，一个助手偶然把解剖刀的刀尖碰到蛙腿上外露的神经，蛙腿发生了剧烈的痉挛。经过反复实验，他认为痉挛起因于动物体内本来就存在的电。1791 年，伽伐尼发表论文《论在肌肉运动中的电力》，震惊了科学界。

[资料 1] 伽伐尼发现，若对刚解剖出来的蛙坐骨神经-腓肠肌标本进行电击，肌肉会收缩。当用双金属组成的回路接

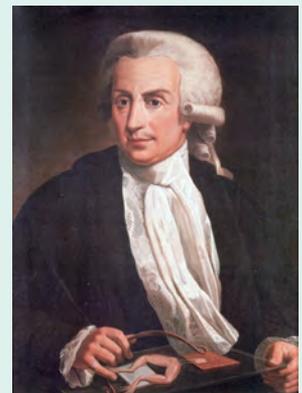


图 2-9 伽伐尼

触标本时，肌肉同样也会收缩。

伽伐尼提出，蛙的神经和肌肉组织带有不同性质的电荷，称为“动物电”。当用2种金属将神经和肌肉连在一起时，构成了“动物电”的放电回路，肌肉因此而收缩（图2-10）。

[资料2] 意大利物理学家伏打（A.Volta）看了伽伐尼的论文，起初他同意伽伐尼的观点，但通过多次重复伽伐尼的实验，伏打开始怀疑生物电是否真实存在。他认为使蛙腿收缩的原因并不是“动物电”放电，而是由于2种不同的金属与潮湿的组织接触时，产生的“双金属电流”刺激了神经和肌肉，引起肌肉收缩，蛙腿只是起到了验电器的作用（图2-11）。

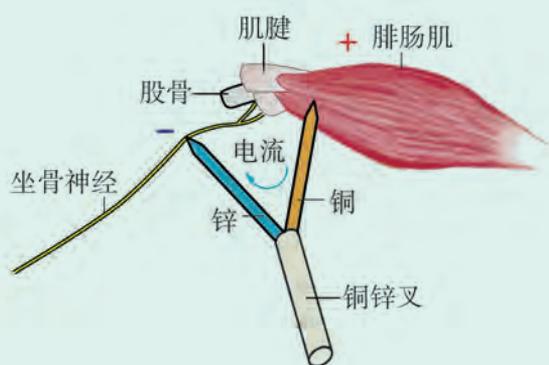


图 2-10 伽伐尼实验示意图

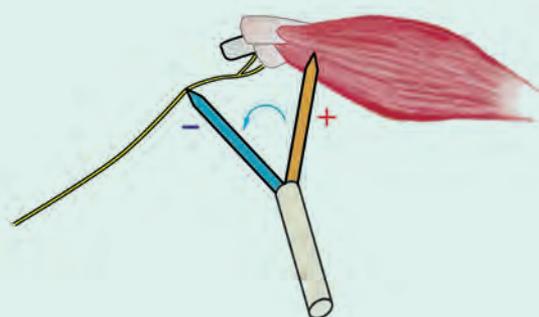


图 2-11 伏打实验示意图

[资料3] 伽伐尼的支持者们发现，将标本乙的坐骨神经搭在标本甲的腓肠肌上，当刺激标本甲的神经时，标本甲和标本乙的肌肉会同时收缩。

把标本乙的肌肉切开，形成一个整齐的切面，将标本甲神经的一端放置在标本乙肌肉的完好部分，而将另一端触碰损伤部分，也会引起标本甲肌肉收缩（图2-12）。

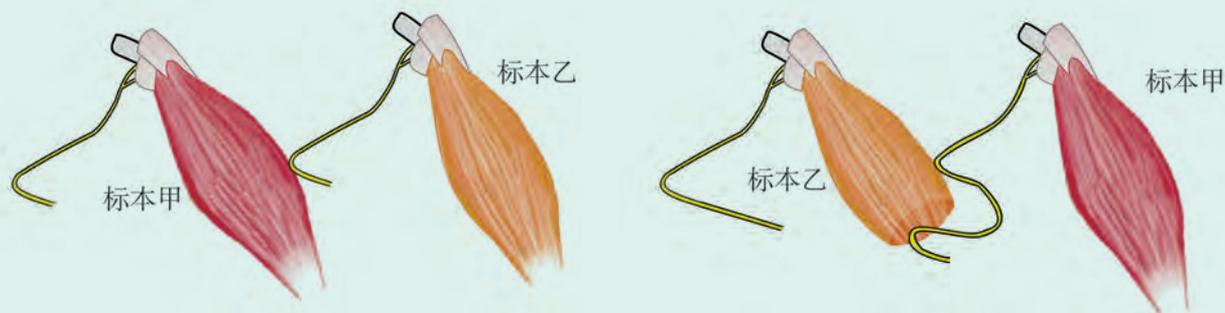


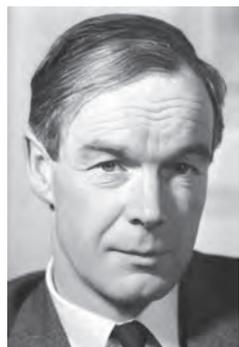
图 2-12 伽伐尼支持者实验示意图

分析讨论

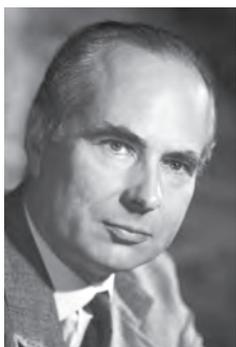
1. 伽伐尼和伏打的实验设计是否合理？他们对实验结果的解释是否确切？请说明理由。

2. 伽伐尼的支持者们进行了2个“无金属实验”。仅用第一个实验是不能证明生物电存在的，因为它不能完全排除外界电的刺激。那么，第二个实验成功的关键是什么？

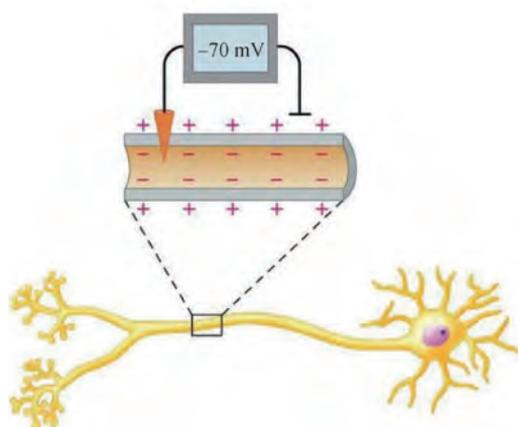
3. 科学探究的道路并不是一帆风顺的，学术争论更是司空见惯。伏打就是从伽伐尼实验中获取了灵感，再加上自己多年的实验，终于发明了著名的“伏打电池”。为了纪念伽伐尼，伏打把自己发明的电池叫作“伽伐尼电池”。对于“蛙腿论战”的前前后后，你可以作出怎样的评价？



霍奇金



赫胥黎



测量神经纤维膜电位示意图

伽伐尼及其支持者们设计的简单、令人信服的“无金属实验”最终证明了生物电的存在。英国剑桥大学的霍奇金 (A. Hodgkin) 和赫胥黎 (A. Huxley)，利用枪乌贼巨大神经纤维为材料，首次成功地测量了单个细胞质膜内外的电位差及其变化情况 (图 2-13)。这种存在于质膜内外的电位差，称为膜电位 (membrane potential)。

图 2-13 枪乌贼巨大神经纤维膜电位的测量

二、离子的穿膜运输产生膜电位

通常情况下，细胞外液中 Na^+ 、 Cl^- 的浓度远高于细胞内液，而细胞内液中的 K^+ 和一些带负电的大分子物质的浓度远高于细胞外液，其中 Na^+ 和 K^+ 的膜内外离子浓度差主要是由膜上的 Na^+-K^+ 泵来维持的。 Na^+-K^+ 泵实际上是横跨于质膜上的一种 Na^+-K^+ ATP 酶。细胞内的 Na^+ 可与该酶结合，激活该酶水解 ATP 并获得能量，从而把 Na^+ 运出膜外，同时将膜外的 K^+ 运进膜内。由于 Na^+-K^+ ATP 酶不断地工作，使膜两侧的 Na^+ 、 K^+ 各保持着一定的浓度并维持一定的浓度差 (图 2-14)。

除 Na^+-K^+ 泵以外，质膜上还有一些跨膜蛋白，它们构成了专供离子进出细胞的离子通道。由于离子通道上有闸门一样的结构，因而离子穿膜运输受到闸门的关闭和开放以及开放程度的控制。

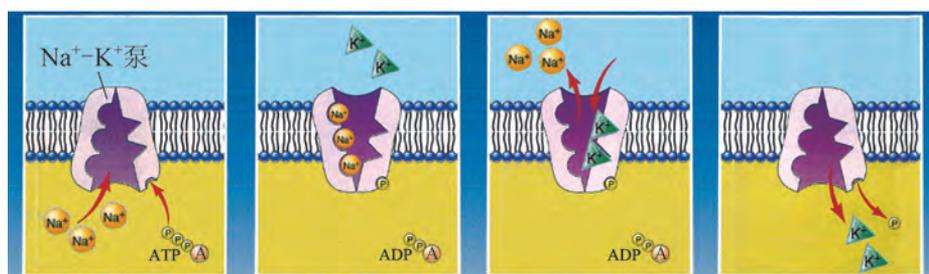


图 2-14 $\text{Na}^+\text{-K}^+$ 泵示意图

当神经细胞处于静息状态时， K^+ 通道开放，这时 K^+ 会从浓度高的膜内向浓度低的膜外以协助扩散的方式移动，使膜内外形成电位差，膜内带负电，膜外带正电。膜外正电的产生阻止了膜内的 K^+ 继续外流，最终达到膜内外的动态平衡，使膜电位相对稳定，此时的膜电位称为静息电位（图 2-15）。

当神经细胞受到刺激后， Na^+ 通道开放，这样， Na^+ 在很短的时间内会大量涌入细胞内，从而使细胞处于膜内带正电而膜外相对带负电的兴奋状态（图 2-16）。此时的膜电位称为动作电位，是细胞兴奋的主要表现。只有神经细胞的某一局部受到足够强度的刺激时，该处才产生动作电位。若刺激未达到一定强度，动作电位就不会产生；动作电位一旦产生，就不再随刺激强度的继续增强而增大。

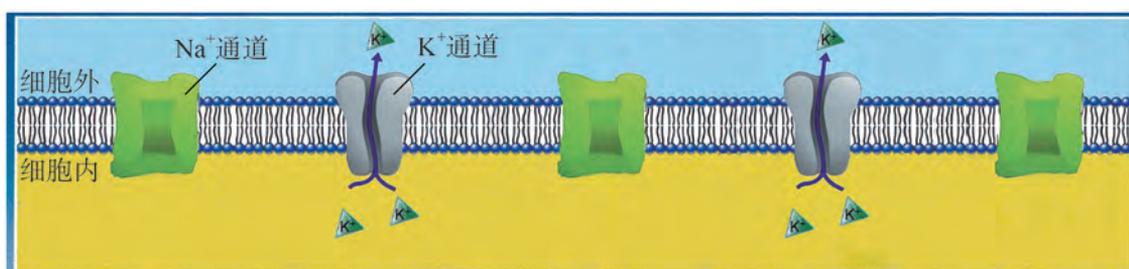


图 2-15 静息电位产生时离子通道示意图

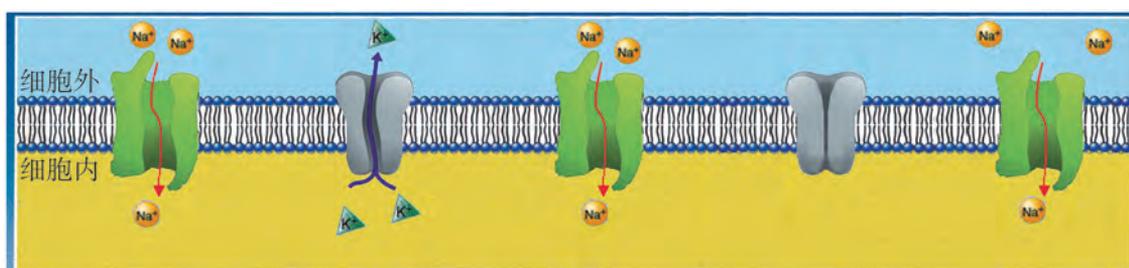


图 2-16 动作电位产生时离子通道示意图

阅读空间

静息电位的恢复

当动作电位达到峰值时，质膜的 Na^+ 通道迅速关闭，而对 K^+ 的通透性增大，细胞内的 K^+ 便顺浓度梯度向细胞外扩散，导致膜内负电位增大，直至基本恢复到静息电位的水平（图 2-17）。细胞在形成动作电位时，一部分 Na^+ 扩散到细胞内，而在静息电位的恢复过程中，又有一部分 K^+ 扩散到细胞外。这样就激活了质膜上的 Na^+-K^+ 泵， Na^+-K^+ 泵加速运转，将胞内增多的 Na^+ 泵出胞外，同时把胞外增多的 K^+ 泵进胞内，以恢复静息状态的离子分布。静息电位是兴奋性的基础，动作电位是细胞兴奋的标志。

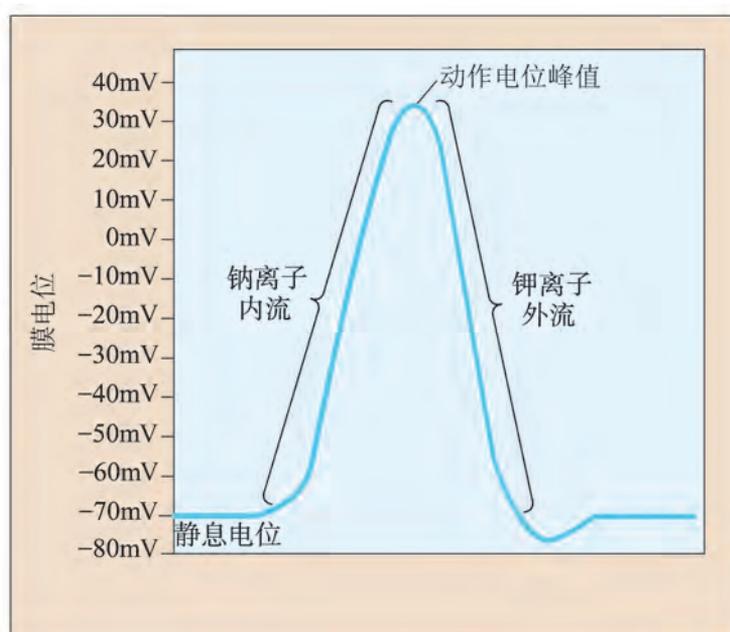


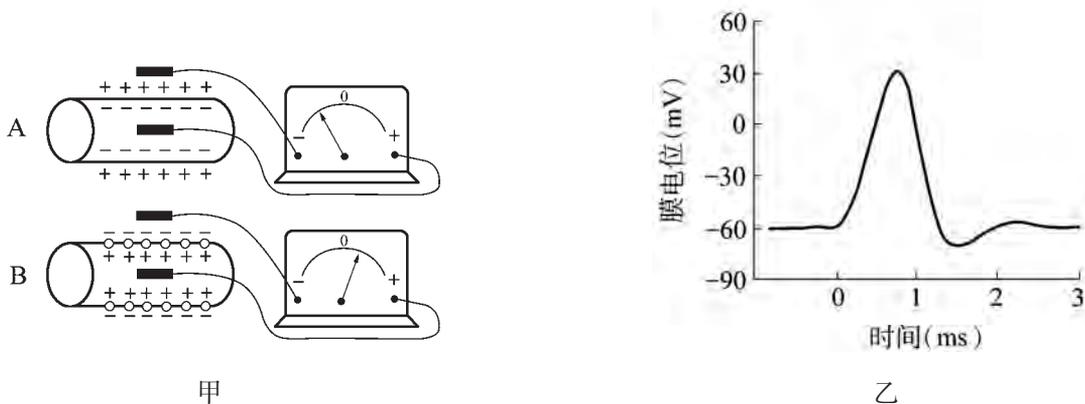
图 2-17 动作电位的形成和静息电位的恢复

生物膜电位的产生是由于质膜内外的离子浓度不同，以及离子的穿膜运输造成的。在不同的生理状态下，参与穿膜运动的离子类型和数量不同，导致的电位变化也不同。

动物体内兴奋的产生与生物电有关，生物电是由质膜内外的电位差引起的。生物体内广泛、繁杂的电现象是正常生理活动的反映，依据生物电的变化可以推知相关的生理过程是否处于正常状态。

学业检测

1. 测量神经纤维膜电位需要使用特定的仪器。将该仪器的 2 个电极分别置于某一细胞的膜内外，可以测量细胞在不同状态下膜内外的电位差。下图甲是测量神经纤维膜内外电位差的装置，图乙是离体神经纤维某一部分受到适当刺激时，受刺激部位膜电位的变化。请回答：



(1) 图甲中测量静息电位的是哪一套装置？

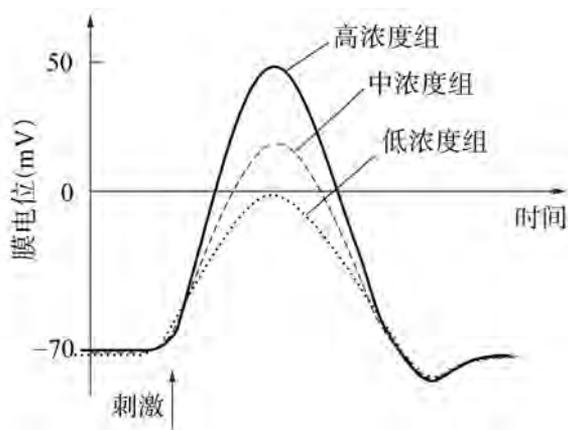
(2) 以上仪器是将神经细胞置于一种溶液中来测量膜电位的。该种溶液最可能是什么？浓度有何要求？

(3) 图乙中膜电位由外正内负转变为外负内正过程中有 Na^+ 流入细胞，膜电位恢复过程中有 Na^+ 排出细胞， Na^+ 流入和排出细胞分别属于哪种穿膜运输方式？

2. 为揭示动作电位产生的生理机制，科学家做了如下实验：将蟾蜍的神经细胞依次浸浴在低、中、高 3 种浓度的 NaCl 溶液中，然后给予相同的刺激，记录膜电位变化，结果如右图。

(1) 动作电位的形成与哪种离子有关？该离子浓度的大小与动作电位的大小有什么关系？

(2) 河豚毒素能选择性地与质膜上的某种蛋白质结合。先用河豚毒素处理神经细胞，一段时间后再将神经细胞移至高浓度 NaCl 溶液中，给予足够刺激，结果膜电位的变化幅度大幅下降。请分析其原因是什么。



第三节 神经冲动以不同的方式传导和传递



图 2-18 某种静脉麻醉药

华佗是东汉时期著名的医学家，精通多种医术，尤其擅长外科。据《后汉书》记载，他发明了“麻沸散”，对病人进行全身麻醉。“麻沸散”的历史已无从考证，但是麻醉药在现代医学中被广泛应用（图 2-18）。麻醉药可以使人暂时感觉不到疼痛，原因是其可以阻断兴奋传入大脑，从而不能产生痛觉。这与人体内神经冲动的传导和传递密切相关。兴奋以电信号的形式沿神经纤维传导，这种电信号也称为神经冲动。那么，神经冲动在神经纤维上是如何传导的？在神经元之间又是如何传递的呢？

一、动作电位沿神经纤维传导

神经细胞的动作电位一旦产生，就会向该细胞的其他部位不衰减地传送或扩展，称为神经冲动的传导。神经细胞产生动作电位的部位称为兴奋区。在兴奋区与相邻的静息区之间，膜内、外之间将产生电位差并伴随有局部电流。在膜内，兴奋区的正电荷向邻近的静息区流动，在膜外，电流流动方向与膜内相反。两者共同作用的结果，使静息区的膜外电位降低、膜内电位升高而产生动作电位。该动作电位产生后，又会按相同的方式影响与它相邻的区域，于是，动作电位就以这样的方式传遍整个细胞（图 2-19）。

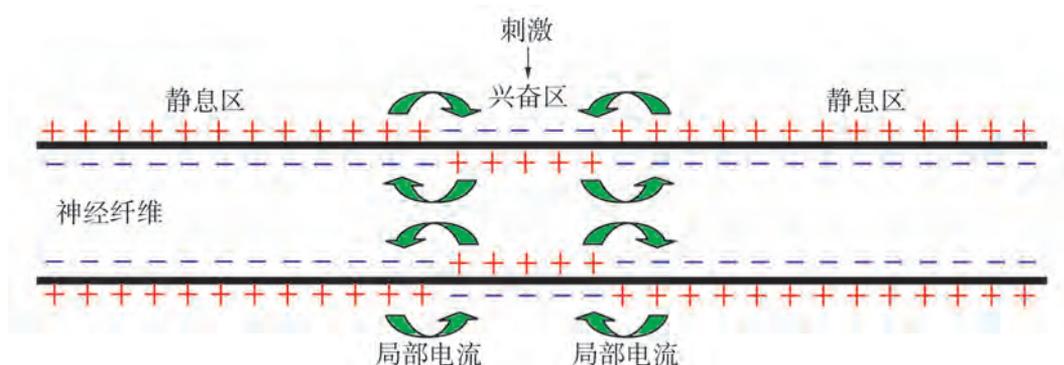


图 2-19 动作电位在神经纤维上的传导示意图

动作电位可以沿着神经纤维由兴奋区向两侧双向传导，但是不能通过结构不完整（如断口）的神经。若用机械压力、冷冻、化学药品等引起神经纤维的局部功能改变或不完整，动作电位也不能传导。

二、神经冲动在突触处的传递

神经冲动在神经纤维上的传导是一个直接和连续的过程。但是，神经元之间以及神经元与效应器之间没有细胞质的沟通或质膜的连接，因此，神经冲动在细胞之间无法直接进行传导。



经典再现

神经冲动的传递

20世纪20年代早期，药理学家勒维（O. Loewi）巧妙地设计了图2-20所示的实验，揭示了神经冲动在不同神经元或神经元与效应器之间的传递机制。

[资料1] 迷走神经是脑神经中最长和分布范围最广的一组神经，可以支配心脏的活动。解剖2只青蛙，制备2个蛙心。其中一个带有迷走神经，另一个不带。2个蛙心都装上蛙心插管，并充以少量的蛙生理溶液。保持蛙心的正常跳动。

[资料2] 将带有迷走神经的蛙心1置于盛有蛙生理溶液的容器中，心率正常。刺激蛙心迷走神经，心率减慢。吸取蛙心1中的生理溶液灌流入不带迷走神经的蛙心2中，观察并记录心率变化。

不带迷走神经的蛙心2心率逐渐减慢。

分析讨论

1. 该实验在设计上有何巧妙之处？实验结果说明了什么问题？
2. 你认为勒维设计的实验还有哪些值得改进的地方？

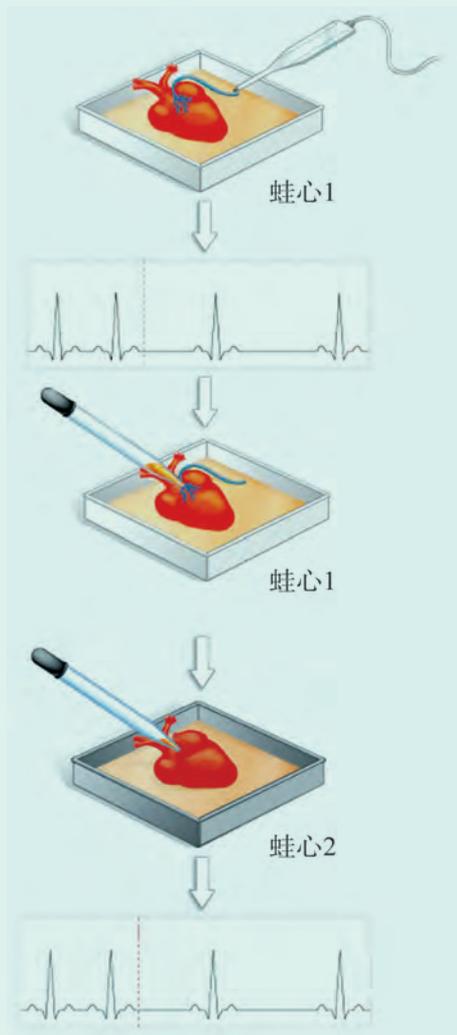


图 2-20 勒维实验示意图

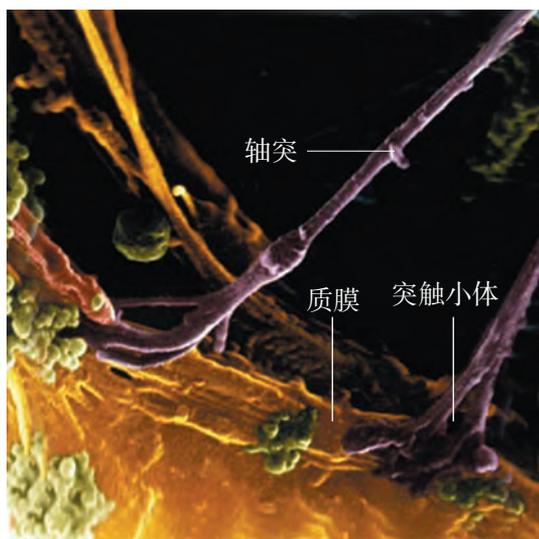


图 2-21 电镜下的突触结构
(放大倍数: 2500×)

勒维的实验在一定程度上解释了神经冲动在神经元与效应器之间的传递机制。后来，科学家在电子显微镜下观察到，神经冲动在细胞间的传递是通过突触（synapse）来完成的。

一个神经元的轴突末梢往往有很多分支，每一分支的末端膨大成球状或靴状，称为突触小体。突触小体内含有丰富的线粒体和突触小泡。突触小泡内含有能传递信息的化学物质——神经递质（transmitter）。突触小体再和其他神经元的树突、胞体或肌肉细胞等接触，共同构成突触（图 2-21）。一个突触包含突触前膜、突触间隙和突触后膜。其中，突触前膜和突触后膜略微增厚，为特化的质膜。突触间隙宽 10~50 nm，其中充满了组织液。

当神经冲动沿着轴突传导至轴突末梢时，突触前膜对 Ca^{2+} 的通透性会增加，细胞外液中大量的 Ca^{2+} 进入突触小体内。由于 Ca^{2+} 的作用，突触小泡向突触前膜靠近，并以胞吐的方式将其中的神经递质释放到突触间隙中，神经递质通过扩散的方式到达突触后膜，与突触后膜上的受体（receptor）结合，形成递质 - 受体复合物，从而改变了突触后膜对离子的通透性，使突触后膜发生兴奋或抑制（图 2-22）。

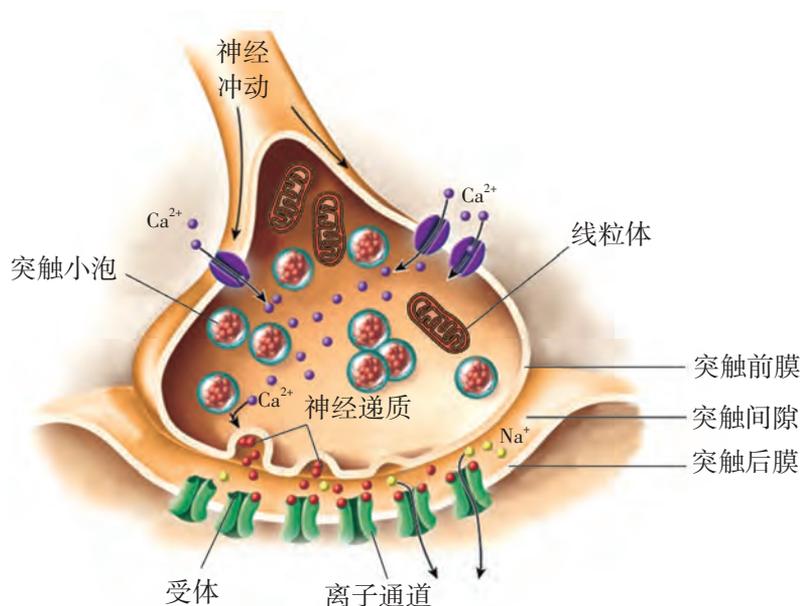


图 2-22 突触结构以及突触传递示意图

阅读空间

兴奋性突触和抑制性突触

在神经冲动传递的过程中，由于递质和受体的不同，在突触后膜上产生的效应也不同。根据突触后膜膜电位发生的变化，可将突触后电位分为兴奋性突触后电位和抑制性突触后电位 2 种。

兴奋性突触后电位的形成是兴奋性递质（如乙酰胆碱、去甲肾上腺素、谷氨酸、多巴胺等）作用于突触后膜的相应受体，突触后膜对 Na^+ 通透性增加。 Na^+ 的涌入引起突触后膜的膜外电位降低，膜内电位升高，使突触后神经元容易产生兴奋，从而完成神经冲动的传递。这一类突触称为兴奋性突触。

抑制性突触后电位的形成方式之一是抑制性递质（如 γ 氨基丁酸、甘氨酸等）作用于突触后膜，使突触后膜对 Cl^- 的通透性增加。 Cl^- 进入突触后膜后，突触后膜的膜外电位升高，膜内电位降低，引起突触后膜产生抑制性变化，使突触后神经元产生兴奋的难度增加。这一类突触称为抑制性突触。

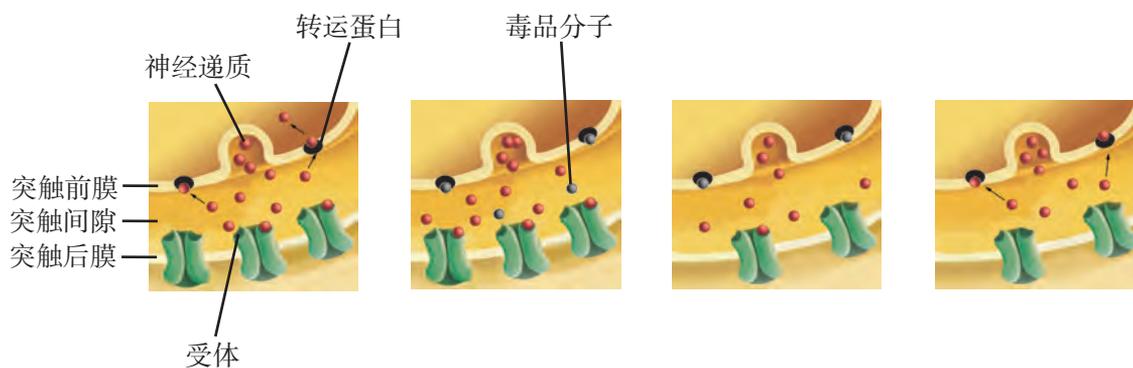
常见于老年人的帕金森病和阿尔茨海默病，都与大脑中释放兴奋性递质的神经元大量死亡有关。帕金森病主要涉及多巴胺能神经元，阿尔茨海默病主要涉及胆碱能神经元。

递质只能由突触前膜释放，然后作用于突触后膜，因此兴奋只能由一个神经元的轴突向另一个神经元的胞体或树突传递。由于突触前膜对递质的释放、递质在突触间隙的扩散以及递质与突触后膜受体的结合都需要一定的时间，因而与神经冲动在神经纤维上的传导相比，神经冲动在突触处的传递过程相对缓慢。据测定，兴奋通过一个突触所需时间为 0.3~0.5 ms。

三、毒品和烟酒危害人类健康

人脑中利用多巴胺作为神经递质的神经细胞能够传递愉悦的信息。在正常的突触中，多巴胺发挥作用后，或被酶破坏而失活，或与转运蛋白相结合，从而被迅速地重吸收。可卡因等毒品分子会与突触中多巴胺的转运蛋白紧密结合，导致多巴胺重吸收被阻断，突触间隙中的多巴胺增多，持续地刺激突触后膜，使吸毒者产生愉悦感。中枢神经系统会通过减少突触后膜上的受体数目来适应多巴胺的增加。突触间隙中的毒品分子减少后，突触前膜对多巴胺的释放和回收恢复正常状态，突触后膜的多巴胺受体数目的减少造成对多巴胺的敏感性下降。吸毒者要维持突触后膜的兴奋性（即感受到的“快感”），就必须继续使用更大剂量

的毒品，这就是“成瘾”现象（图 2-23）。



- ① 在正常的突触中，神经递质被重吸收。 ② 毒品分子阻断重吸收，引起对突触后膜过多的刺激。 ③ 受体数目减少。 ④ 除去毒品后，突触变得不敏感。

图 2-23 毒品分子成瘾机理示意图

吸毒者不仅挥霍了金钱，损害了健康，有些人甚至因此而失去了生命。屈从一时的诱惑，会使人悔恨终身。

烟草中的尼古丁进入人脑后，主要与突触后膜上的受体结合，引起多巴胺分泌增多，使人产生愉悦感并逐渐对烟草形成依赖。除尼古丁外，烟草在燃烧过程中还会产生烟焦油、一氧化碳等多种有毒有害物质，从而对人体的呼吸、神经、循环等系统造成巨大伤害。

在生物学因素、心理因素和社会因素的综合作用下，一些人养成了饮酒的不良嗜好，甚至对酒精产生依赖。摄入体内的酒精及其氧化产物乙醛会对肝、胃、心脑血管等造成损伤。酗酒更是一种不良行为，不仅严重损害个人健康，而且容易导致家庭矛盾，甚至可能构成严重的社会问题，危害社会公共安全。

在中枢神经系统中，神经元之间高度复杂的联系方式构成了一个极其庞大的信息网络系统，其高度精细的回路保证了机体对各种刺激作出灵活而准确的反应。

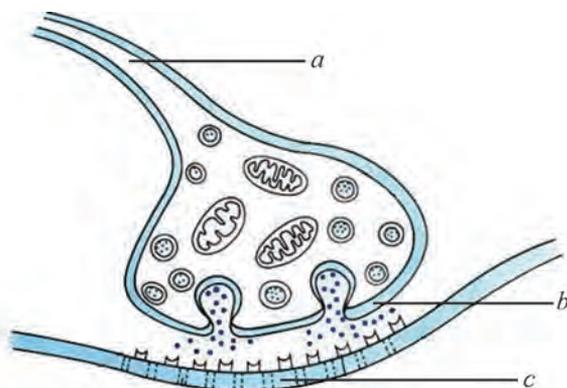
学业检测

1. 生活在南美洲热带丛林中的印第安人经常使用毒箭猎捕动物。当毒箭射入动物体内时，箭头中的箭毒会很快使猎物因呼吸麻痹而死亡。贝尔纳经过研究后认为，箭毒并不损伤肌肉，也没有对神经纤维造成物理性损伤，而是干扰了体内神经的活动而使动物死亡。

(1) 大多数有机磷农药、蝎毒都属于神经毒素。其中有机磷能使分解神经递质（乙酰

第三节 神经冲动以不同的方式传导和传递

胆碱)的酶活性受抑制, 蝎毒能破坏膜的钠离子通道, 从而抑制动作电位的产生。结合如下图示, 如果使用有机磷或者蝎毒处理动物, 引起的后果是()。

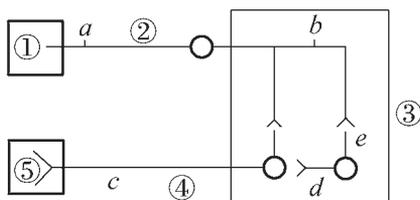


- A. 使用有机磷, 在 *a* 处给予刺激, *b* 处释放神经递质
- B. 使用有机磷, 在 *a* 处给予刺激, *c* 处保持静息电位
- C. 使用蝎毒, 在 *a* 处给予刺激, *b* 处释放神经递质
- D. 使用蝎毒, 在 *a* 处给予刺激, *c* 处产生动作电位

(2) 研究证实, 箭毒可以同突触后膜上的乙酰胆碱受体牢固地结合在一起, 使突触前膜释放的乙酰胆碱无法与受体结合, 这样, 神经冲动的传递被阻断。由于调控动物呼吸的神经无法将神经冲动传递给呼吸肌, 从而使呼吸肌一直处于松弛状态, 无法产生节律性的呼吸运动。请结合所学知识, 分析神经毒素阻断突触处信号传递的方式有哪些?

2. 为了研究兴奋在一个神经元上的传导方向和在神经元之间的传递方向, 科学家进行了相关实验。据图回答下列问题:

(1) 下图表示 3 个神经元及其联系, 其中 “—○—<” 表示从树突到胞体再到轴突及末梢 (即一个完整的神经元)。刺激图中 *b* 点, 图中_____点可产生兴奋。若刺激 *d* 点, 图中_____点可产生兴奋。由此说明: 兴奋在一个神经元上的传导是_____, 兴奋在 2 个神经元之间的传递是_____, 其原因是_____。



(2) 如下图所示, 神经纤维上有 *A*、*B*、*C*、*D* 4 个点, 且 $AB=BC=CD$, 现将一个电流计连接到神经细胞的质膜表面① *AB*、② *BD*、③ *AD* 之间。若在 *C* 处给一强刺激, 其中电流计指针能够发生 2 次相反方向偏转的连接方式有哪些?



第四节 人脑具有多项高级功能

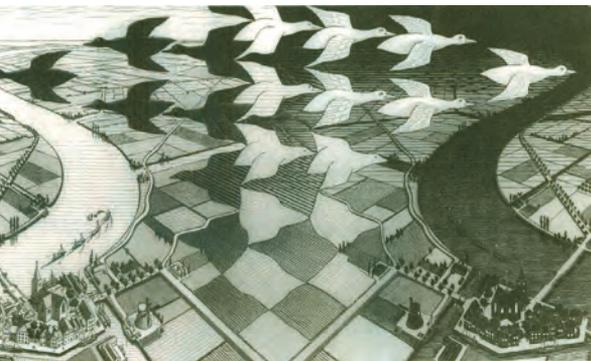


图 2-24 《日与夜》

荷兰画家埃舍尔（M. Escher）具有非凡的想象力，创作出许多令人回味的作品。《日与夜》（图 2-24）是他于 1938 年创作的。先大体浏览这幅画，说出你从画中看到了什么。稍过片刻后，再仔细地看看这幅画，说出你的新发现。再过片刻后，更仔细地分析这幅画，看你能否找出这幅画中的规律。比较你的三次发现有什么不同。

人类能够运用特有的丰富语言，并能够对复杂的事物进行分析、判断和推理，是因为我们具有善于思维的发达大脑。那么，人的大脑有哪些具体的功能？语言中枢和其他各项功能区在大脑皮层上是如何定位的？人体各个部位的活动与大脑皮层的功能区是否有对应的“投射”关系？

一、语言活动是由大脑皮层控制的高级神经活动

人类大脑皮层是自然界中最复杂的结构，大脑皮层的活动与功能是自然界中最复杂的运动形式，揭示人类大脑皮层的工作原理成为当代自然科学面临的巨大挑战之一。由于人类大脑的高级功能往往涉及多个区域，需要考虑多种神经元和突触环路，其复杂性远大于单个神经元及单个环路，所以对大脑皮层高级功能的定位研究非常困难。



资料探究

用 PET 技术对大脑皮层的高级功能进行定位

早期人们对大脑皮层高级功能区的定位，是基于对脑血栓、脑肿瘤和脑损伤病人的病灶位置与对应的病理表现进行推断的。后来，在征得实施开颅手术的病人同意后，在其处于清醒状态下，用冷、热刺激或轻触大脑皮层的不同区域，通过病人描述的感觉或观察病人的反应，也可确定大脑皮层相关功能区的位置分布。随着电生理技术和正电子发射断层造影成像技术（positron-emission tomography, PET）等的应用和发展，科学家能更加方便地对大脑皮层的各种功能区进行精细定位。

科学家将葡萄糖中的基本元素（碳、氢、氧）用超短“寿命”的放射性同位素标记，

制备成放射性示踪剂。大脑某功能区处于高度兴奋状态时，代谢旺盛，葡萄糖在该区域聚集。将示踪剂注射到受试者的血管中，具放射性标记的葡萄糖会释放正电子，通过特制的探测元件就可以获取示踪剂在受试者大脑中的三维分布及其随时间变化的信息。例如，当受试者进行思维、语言、聆听、书写等高级功能活动时，皮层中相应的中枢将处于高度兴奋状态，通过观察这些中枢对示踪剂的消耗情况，就可以得出大脑皮层各功能区的位置和分布（图 2-25）。

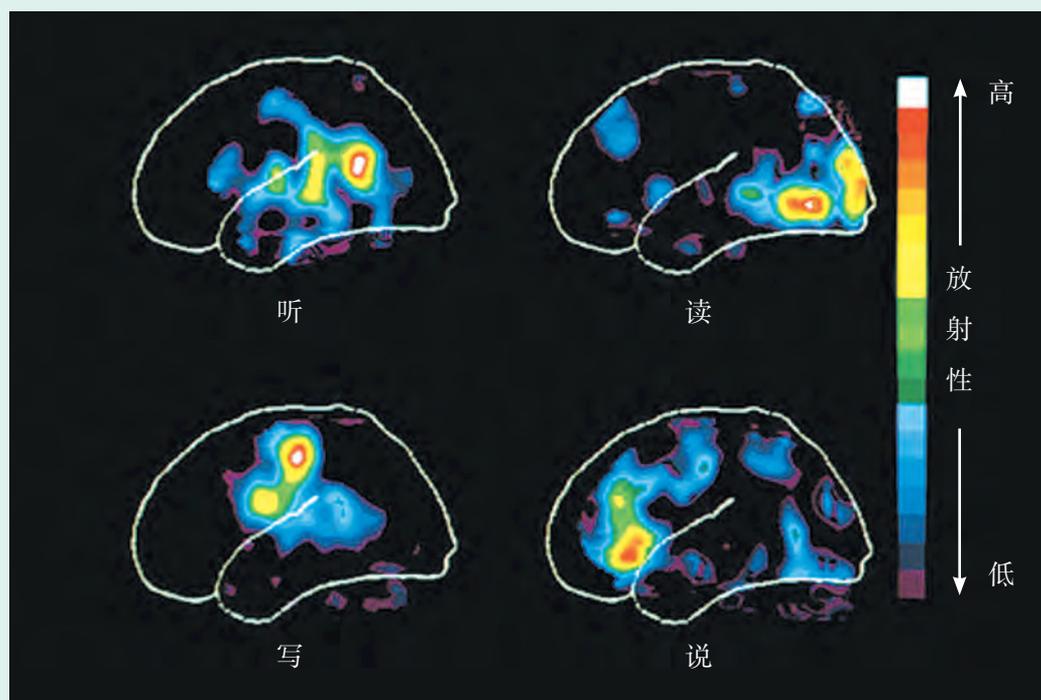


图 2-25 PET 技术对大脑皮层有关语言的功能定位

分析讨论

1. 用 PET 技术对大脑皮层有关功能区进行定位时，科学家为什么选用葡萄糖来制备放射性示踪剂？为什么要使用超短“寿命”的同位素？
2. 请根据图中显示的结果推测，当受试者朗读课文时，大脑皮层的哪些区域对示踪剂的消耗量将会大幅度增加？
3. 与早期研究方法相比，PET 技术有哪些优点？

科学家通过努力，目前对人脑的一些高级功能的定位已有了初步的认识（图 2-26）。一般认为，运动性语言中枢（说话中枢）位于额下回后部。若该区域受损，病人虽能看懂文字和听懂别人的谈话，但却不会讲话，也就是不能用语言表达自己的思想，这叫运动性失语症。听觉语言中枢位于颞上回的后部，其主要功能是理解传入到听觉中枢的声音，例如理解语言的含义、听懂音乐、分辨鸟鸣和流水声等；该中枢受损的病人能听到声音，但不能理解其

中的含义，这叫听觉性失语症。视觉语言中枢(阅读中枢)位于顶下小叶的角回，具有理解所看到的符号、图形、文字的含义等功能；该区域受损后，病人失去阅读能力。书写中枢位于额中回后部，它的功能是控制和协调与书写有关的组织和器官，完成书写动作；该区域受损后，病人手臂能完成其他较简单的动作，但却不能书写文字和绘画等。

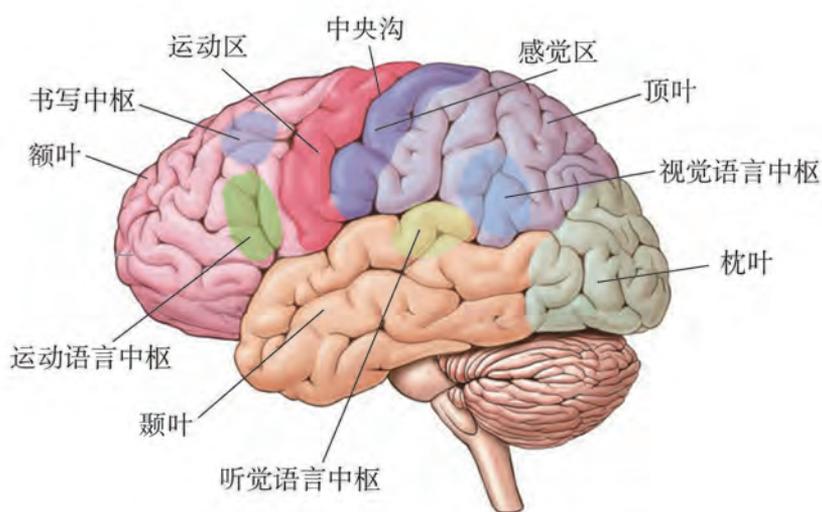


图 2-26 人脑皮层的语言功能定位示意图

阅读空间

人脑语言中枢的发现

1861年法国外科医生布罗卡(P. Broca)观察了一个病例，这位患者可以理解语言，但不能说话。他的喉、舌、唇、声带等都没有常规的运动障碍。后来在尸体解剖时发现，患者大脑的右半球正常，但在大脑左半球额叶后部，有一组织退化并与脑膜粘连的损伤区。这是第一次在人的大脑皮层上得到功能定位的直接证据。现在把这个区称为布罗卡区。布罗卡区的发现支持了人类大脑左半球皮质优势的理论。后来韦尼克(C. Wernicke)在1876年又发现人大脑左半球颞叶的后部与枕叶相连接处是另一个与语言能力有关的皮质区，称为韦尼克区。这个区受损伤的患者虽然可以流利地说话，但属于意义不明确的胡言乱语。他们听力正常，但是不能理解所听到的话语。后来人们又相继发现了大脑左半球与语言功能有关的另外几个区域。

脑科学是当今生物科学的前沿领域之一。脑是人的信息综合分析中心，具有学习、记忆、联想、语言等高级功能。随着科学技术的飞速发展，研究设备和方法越来越先进，对人类大脑结构和功能的研究也越来越深入。

二、大脑皮层特定的区域控制相应的生命活动

人脑的最高级部位是大脑两个半球，其中大脑皮层的功能最为强大。人的大脑两半球的功能并不是均等的。一般认为，左半球对语言、复杂的随意运动、读、写、抽象推理以及数学计算的控制占优势，右半球对形象思维、复杂图像的视觉、听觉和触觉识别、空间感觉、理解音乐以及直观的感觉方面占优势。但在正常的人体中，大脑两半球在大量神经纤维的联系下，互相协调、互相补充。

人体各部分的运动和感觉功能都分别由大脑皮层特定的部位来控制。例如，大脑皮层的运动区位于中央前回，按头足倒立式样与躯体形成一一对应关系，支配着对侧躯体的随意运动，并根据所支配器官运动的精细复杂程度分配皮层面积的大小。大脑皮层的感觉区位于中央后回，感觉区与躯体的对应关系与大脑皮层的运动区类似(图2-27)。

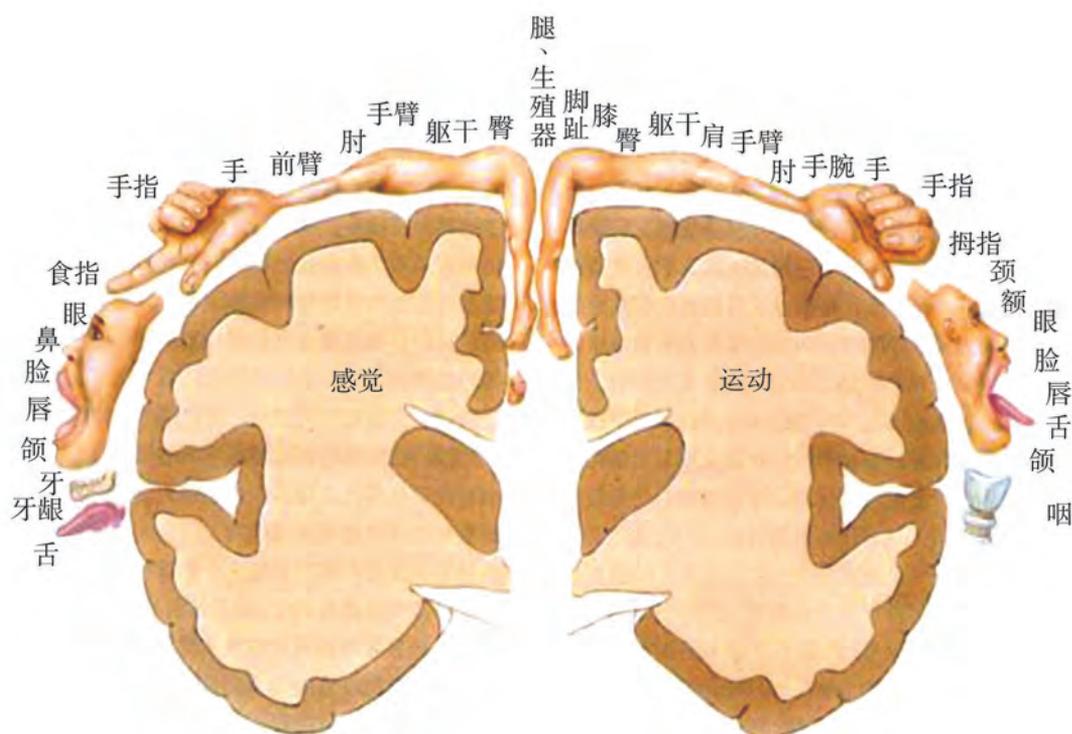


图 2-27 人大脑皮层躯体运动区和感觉区示意图

大脑皮层某一部位所具有的功能是特定的，但从执行功能的角度考虑，各功能区又是协调统一的。人在书写时，除了书写中枢要发挥作用以外，还需要相关的记忆中枢、思维中枢、躯体运动中枢等相关中枢协调配合。

三、条件反射是由大脑皮层控制的高级神经活动

反射分为非条件反射和条件反射两类。非条件反射是先天形成的，数量有限，相对比较恒定。条件反射是建立于非条件反射的基础之上，在大脑皮层的参与下，通过后天学习、训练并积累“经验”而形成的反射活动。

20世纪初，俄国科学家巴甫洛夫（I. Pavlov）针对狗唾液的“心理性分泌”现象，用客观的实验方法研究和分析脑的高级机能，并提出了著名的条件反射学说。

狗吃食物时会大量分泌唾液，这是一种非条件反射。但狗在看到食物时，也能引起唾液的分泌，这种现象称为心理性分泌。巴甫洛夫认为，唾液的心理性分泌也是一种反射，引起这类反射的刺激是一种信号或条件，不是直接刺激。为了验证这一观点，巴甫洛夫进行了一系列实验（图 2-28）。

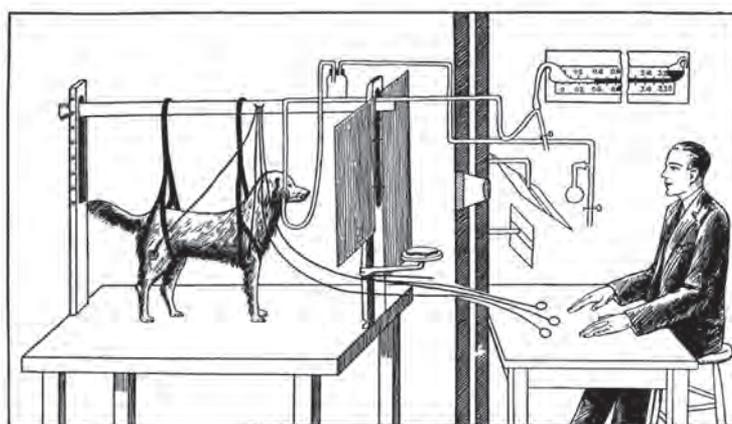


图 2-28 条件反射实验示意图

对于实验用的狗来说，铃声原本不会引起狗分泌唾液。但每次给狗喂食前几秒钟先给予铃声，重复若干次后，铃声单独作用就可以引起狗的唾液分泌。这样，铃声也可以成为唾液分泌的一种刺激信号，称为条件刺激。

在大脑皮层上，铃声刺激会引起听觉中枢兴奋，而食物刺激会导致味觉中枢兴奋。由于 2 个中枢多次同时兴奋，因而，在它们之间会建立一条新的通道，形成暂时性的功能联系。这样，当铃声刺激引起听觉中枢兴奋时，兴奋信号可通过这种暂时联系通路到达味觉中枢，并最终引起唾液分泌。

条件反射活动可以新建、消退、分化、改造等，能使动物个体有预见性地、准确地适应环境变化，提高机体对环境的适应能力。条件反射是高级神经活动的基本方式，而对语言文字作出反应是人类特有的一种条件反射。

大脑高级神经活动涉及大脑皮层中多个神经中枢之间的相互协调。由于大脑皮层的复杂性，各个中枢之间既具有结构上的联系，又具有功能上的联系。暂时接通的机制只是研究大脑高级机能的一个基本理论，有很多问题尚待解决。人类还需要进行不懈的探索，才能最终认清自己的大脑。

学业检测

1. 根据中国残联公布的数据，截至 2010 年末，我国残疾人总数超过 8500 万，其中听力残疾 2054 万，视力残疾 1263 万。

(1) 聋哑人长期生活在无声的世界里，他们一般通过手语进行交流。理解手语依靠的神经中枢是()。

①躯体运动中枢 ②躯体感觉中枢 ③视觉中枢 ④语言中枢

A. ①② B. ①④ C. ②④ D. ③④

(2) 盲文又称点字、凸字，是专为盲人设计、依靠触觉感知的文字。当盲人用手指“阅读”盲文时，参与此过程的神经中枢有_____。

2. 请阅读以下病例：某男，55 岁，有高血压史、糖尿病史多年；一周前左手发麻、无力，发作 2 次，自愈；3h 前左下肢突感乏力，继之逐渐出现左侧上下肢偏瘫，不能说话，但能听懂别人说的话，神志尚清，送急诊。

检查结果为：生命体征平稳，神志清醒，说话不清，颈软，浅表淋巴结无肿大，心肺(-)，腹平软，肝脾肋缘下未触及；血压 165/100 mmHg (1 mmHg = 133.322 Pa)；脑部 CT 检查无明显梗死灶，有轻微脑局部肿胀，右侧大脑前区脑皮层沟回变浅。

临床初步诊断为：高血压，脑梗死超急性期。

(1) 病人出现左侧上下肢偏瘫，主要是由_____功能障碍引起的。

(2) 病人自己不能说话，但能听懂别人说的话，这是由大脑皮层的_____功能障碍引起的。

(3) 根据病例分析，大脑皮层的功能定位有什么特点？

3. 在一次野外活动中，某同学的手被蜜蜂蜇了一下后，不由自主地立即缩回。过了一会儿，听同学喊“这里也有蜜蜂”，该同学马上把手插到衣袋中，并躲到一边。请分析回答：

(1) 该同学手指被蜇后立即缩回属于哪种反射？

(2) 当听到“这里也有蜜蜂”的喊声时，该同学把手插到衣袋中并躲到一边，完成该反射主要依靠大脑皮层的哪些中枢？

(3) 手指被蜜蜂蜇后立即缩回，然后产生了痛觉，这两个过程发生的时间后者比前者长，

为什么？

4. 你有过养宠物狗的经历吗？请思考如何让一只小狗从“桀骜不驯”变得“温驯听话”？这一过程运用了本章中的哪些知识？

业要求

重要概念	节次	学科素养
神经系统能够及时感知机体内、外环境的变化，并作出反应调控各器官、系统的活动，实现机体稳态。	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 概述神经调节的基本方式是反射，其结构基础是反射弧。通过分析神经系统受损对人体运动等行为的影响，形成结构与功能观。 ◆ 分析位于脊髓的低级神经中枢和脑中相应的高级神经中枢相互联系、相互协调，共同调控器官和系统的活动，维持机体的稳态。 ◆ 举例说明中枢神经系统通过自主神经来调节内脏的活动。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 阐明神经细胞的质膜内外在静息状态具有电位差，受到外界刺激后形成动作电位。通过分析静息电位和动作电位的形成过程，逐步发展归纳与概括的科学思维方式。 ◆ 通过分析“蛙腿论战”，体会科学家的探究历程，发展科学思维，养成严谨细致的科学态度。
	第三节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 阐明神经冲动以电信号的形式沿神经纤维传导，而在突触处的传递通常通过化学传递方式完成，形成结构与功能观。 ◆ 说出吸食毒品的危害，主动向他人宣传关爱生命的观念和知识，崇尚健康文明的生活方式，成为健康中国的促进者和实践者。
	第四节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 简述语言活动和条件反射是由大脑皮层控制的高级神经活动，通过分析大脑皮层高级功能的定位，逐步发展归纳与概括的科学思维方式。



人脑终生都在发展变化

近几年心理学和神经科学研究学者在思考大脑的本质方面经历了很大的转变，其中一项就是，从出生到死亡的整个人生期间，我们的大脑所发生的变化是巨大的（图 2-29）。以前，主流科学家认为，大脑在婴儿期以及童年早期会发生巨大的变化，此后大脑就开始定型，少有变化，成为人终生的活动中枢。



图 2-29 人脑一直在发生变化

现在发现，大脑的某些区域一直处在变化当中，新神经元产生的频率让人吃惊，而且思想本身可以影响大脑结构的变化，在 20 年前多数学者认为这是不可能的。大脑不变论已经让位于新的观念，即大脑可塑论和神经再生论，而这方面的研究还远未结束。

最新的研究是以大样本数据为基础的，样本数量接近于 5 万人，其年龄跨度从青少年到古稀之年。研究结果显示，心智能力的发展在各个年龄段参差不齐，一些能力较早达到顶峰，而另外一些能力则需要数十年才能发展成熟。例如，人的词汇能力（包括书面语言能力和会话能力）需要经过常年的练习，直到六七十岁才达到顶峰。人在 25 岁左右的时候，记忆所看到的事物的能力（视觉记忆）是最好的，但是记忆数字的能力在接下来的 10 年并不会达到顶峰。总体上说，在中年时期（通常是 35 岁左右）之前，短期记忆不会完全成熟。

哈佛大学心理学系教授格林（J. Greene）的观点是，在某些方面，每一个人都是晚熟者，几乎没有人在其青年时期各方面能力都达到鼎盛。

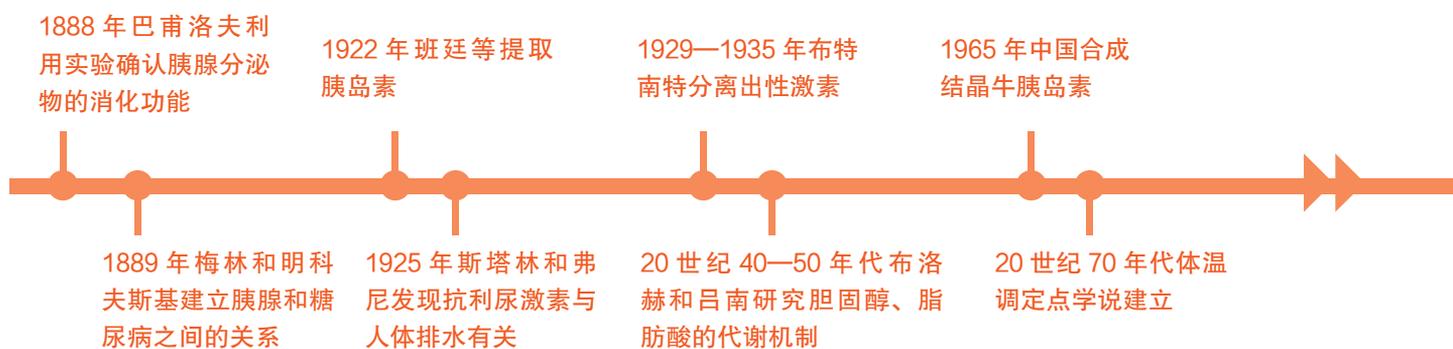
非常有趣的是，研究人员发现，人们解读他人的能力（即准确识别对面的人表现出以及并未表现出哪些情绪的能力）直到 40 岁的时候才发育成熟，在进入 60 岁之前都还会继续发展。思维能力和情感能力并不是同步发展的。

第三章 人和动物通过体液调节生命活动



从呱呱坠地的婴儿到风华正茂的青年，在发育过程中，人的身体不断发生着奇妙的变化：身高、体重不断增加，第二性征逐渐出现，智力水平明显提高……身心的这些变化与人体内分泌腺分泌的激素有关。

20 世纪之前，生物学界普遍认为人和动物体的一切生理活动都是由神经系统调节的。直到 1902 年，人类才第一次揭开了“激素”（hormone）的神秘面纱，并且逐渐认识到激素在调节生物体的生长发育和维持内环境稳态等方面具有重要作用。激素是如何调节生命活动的？激素调节的特点有哪些？体液调节和神经调节又是如何协调配合，共同维持机体稳态的？





课题研究

探究甲状腺激素对青蛙发育的影响

青蛙是一种变态发育的动物，幼体以蝌蚪形态生活在水中，经过大约3个月的复杂发育过程，最终长成适合水陆两栖生活的成蛙。在青蛙的发育过程中，甲状腺激素起到了重要的调节作用。

提出问题

甲状腺激素对青蛙的发育过程有怎样的影响？

制订并实施研究计划

1. 怎样设计研究方案？

- ◆ 查阅资料，了解青蛙生长发育的过程，熟悉适于蝌蚪生存的环境、水质、温度及饲养方法。
- ◆ 小组合作制订探究甲状腺激素对青蛙变态发育影响的实验方案。

2. 如何采集并饲养蝌蚪？

- ◆ 选择合适的季节、地点，采集活动状态良好的蝌蚪，选取体长约2cm的蝌蚪若干，作为实验材料备用。
- ◆ 将采集的蝌蚪放在适宜的环境中饲养，注意及时换水和投喂食物。

3. 如何进行探究实验？

- ◆ 安排三组实验，一组作为空白对照，另两组分别向水中添加甲状腺片和甲巯咪唑（甲状腺激素抑制剂）。
- ◆ 每天定时测量蝌蚪的体长，观察其形态变化，重点观察变态发育过程并认真记录。
- ◆ 尝试汇总、分析过程性资料，形成实验报告。

成果交流

1. 各小组根据探究实验报告及典型材料制作多媒体课件，相互展示交流。
2. 分析甲状腺激素及其他因素对青蛙发育过程的影响。
3. 青蛙、蟾蜍等蛙类因捕食农田害虫而被称为“田园卫士”，如今，却因为农药、水污染、人类捕杀等因素导致数量急剧下降。请你就如何保护蛙类谈一谈自己的看法。



图 3-1 蝌蚪

第一节 体液调节在维持稳态中具有重要作用



图 3-2 梅西（左）和他的队友

足球运动享有“世界第一运动”的美誉，是全世界最受关注的体育项目。足球明星梅西（L. Messi，图 3-2）球技精湛，屡获金球奖，深受广大球迷喜爱。但是很少有人知道，他年幼时差点因为身高问题结束自己的足球生涯。梅西患有侏儒症，在 11 岁时已经停止生长，经过治疗才达到了正常人的身高。侏儒症与体内生长激素分泌不足有关。那么，人体中主要有哪些激素？这些激素主要发挥什么作用？还有什么物质参与生命活动的调节？

一、激素是内分泌腺的分泌物

人和动物的生命活动除了受到神经系统调节外，还存在另一种调节方式——激素调节。激素是由内分泌腺或内分泌细胞分泌的具有特殊生物活性的化学物质。



经典再现

胰岛素的发现

糖尿病是一种古老的慢性代谢性疾病，在 3500 多年前就有文字记载。后来，世界各地逐渐出现治疗糖尿病的多种方法。但是，除了主张严格限制饮食，医生对该病束手无策，不少患者甚至死于限食所带来的严重营养不良。直到 20 世纪初期，人类对糖尿病的了解和治疗才有了实质性的进展。

【资料 1】 胰腺为一长条状腺体，位于人体腹后壁左上部，与胃邻近，被十二指肠所环抱，并有导管与十二指肠相连（图 3-3）。因此，人们推测胰腺与食物消化有关。

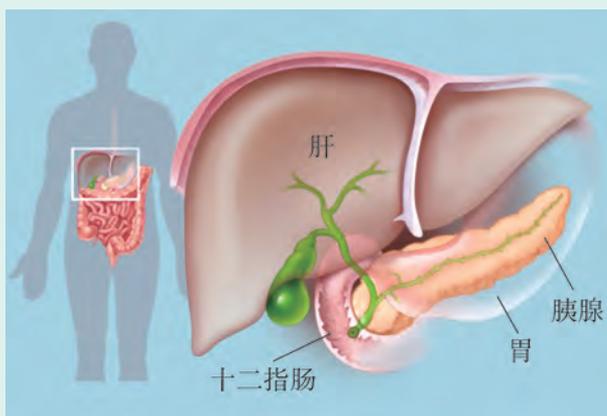


图 3-3 胰腺在人体内的位置

1888年，俄国生理学家巴甫洛夫在研究食物与消化液之间的关系时，利用实验确认了胰腺分泌物的消化功能。1889年，受巴甫洛夫实验的启发，两名德国科学家梅林（J. von Mering）和明科夫斯基（O. Minkowski）开始探索胰腺在消化过程中究竟起到何种作用。他们将健康狗的胰腺切除，几天后发现原本受过训练的狗由于尿频尿急开始四处随意排尿，而且在狗的尿液附近聚集了一群苍蝇。他们意识到这只狗表现出了糖尿病症状。通过尿液化验，发现狗的尿液中确实含有较高的糖分。这是人类历史上第一次建立了胰腺和糖尿病之间的关系。

[资料2] 19世纪后期至20世纪初，许多学者推测糖尿病与胰腺中胰岛分泌的激素有关。但是，许多人做了大量实验却搞不清胰岛分泌的激素究竟是什么，以及如何才能提取出这种神秘的激素。

1920年秋，加拿大生理学家、外科医生班廷（F. Banting，图3-4）在一篇病理学论文中看到，当胆结石堵塞了胰腺通向十二指肠的导管时，分泌消化酶的消化腺萎缩，胰岛细胞却依然存活良好。班廷灵机一动，产生了一个设想：结扎狗的胰腺导管，等胰腺萎缩到只剩下其中的胰岛后，再分离和纯化细胞中的激素。经过多次实验，1921年，班廷与其助手贝斯特（C. Best）终于从狗萎缩的胰腺中提取出这种激素，并命名为胰岛素。他们给实验性糖尿病的狗注射胰岛素，证明其有降低血糖、治疗糖尿病的作用。次年，胰岛素又成功地应用于人类糖尿病患者。胰岛素的神奇疗效震惊了整个医学界。



图3-4 班廷

分析讨论

1. 在梅林和明科夫斯基的研究之后，人们曾尝试口服动物胰腺以治疗糖尿病，但是没有达到预期的目的，原因是什么？你认为班廷基于什么推测设计了他的实验？

2. 1869年，德国医学院学生朗格汉斯（P. Langerhans）在显微镜下观察到胰腺内存在岛状细胞团，并且推测这些细胞团可能与激素分泌有关。但是，有人认为那些岛状细胞团只不过是一些淋巴结。朗格汉斯因此放弃了进一步的研究工作。你对此如何评价？

3. 结合胰岛素的发现和提取过程，总结研究激素生理功能的方法。

胰腺等消化腺将消化液分泌到消化道内发挥作用，汗腺将汗液分泌到体外，这些腺体细胞产生的物质通过导管运输到体内管腔或体外，这类腺体属于外分泌腺。甲状腺、肾上腺、性腺、下丘脑和垂体等腺体细胞将所产生的物质

直接分泌到细胞外液中，并通过血浆、组织液等体液运输到全身，对某些器官或细胞产生调节效应，这类腺体属于内分泌腺。人体内分泌系统主要由内分泌腺组成，不同的内分泌腺分泌的激素，可以调节和控制人体不同的生命活动（图 3-5）。

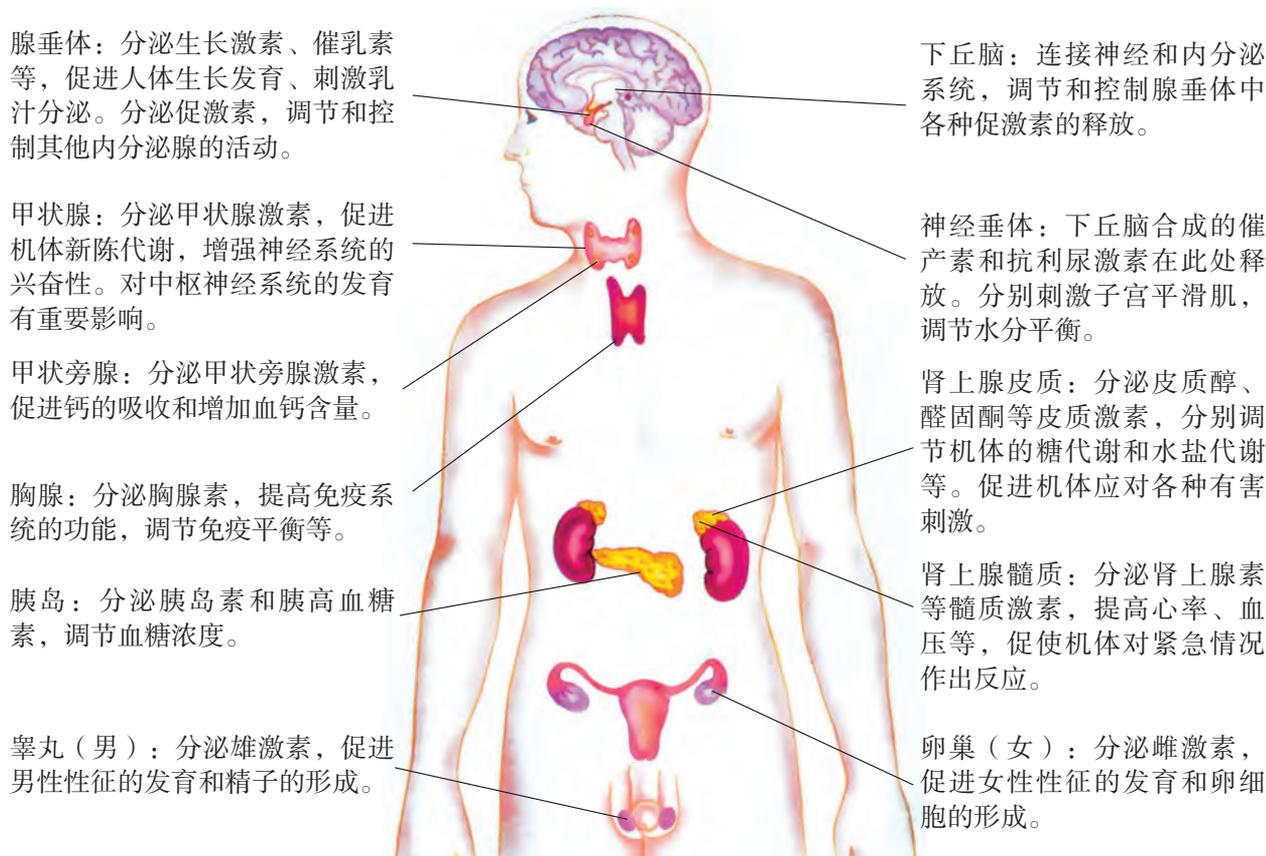


图 3-5 人体主要内分泌腺分泌的激素及主要功能

除了内分泌腺能分泌激素外，还有弥散分布于人体的胃肠黏膜和心脏等组织及器官中的内分泌细胞也可以分泌一些激素，调节机体的消化、吸收、循环等活动。

根据化学组成，激素被分为三类：第一类为蛋白质或多肽类激素，如胰岛素、生长激素、促甲状腺激素、催产素、抗利尿激素等；第二类为氨基酸衍生物类激素，如甲状腺激素、肾上腺素等；第三类为类固醇激素，如肾上腺皮质激素、雄激素、雌激素等。

阅读空间

激素与青春期

人的一生有两次生长发育的高峰期，即婴儿期和青春期。青春期一般在 11 岁至 20 岁之间，存在较大个体差异，女性青春期的开始年龄和结束年龄一般比男性早 2 年左右。生长激素在青春期分泌最多，机体生长发育最快。青春期之后，生长激素的分泌量逐渐减少，生长速度相应减缓，这是人体逐渐发育成熟的标志。

青春期最突出的特征是生殖器官发育成熟、第二性征发育，这是由于性激素的分泌所造成的。男性的睾丸分泌雄激素；女性的卵巢分泌雌激素和孕激素。进入青春期以后，男性的生殖器官不断产生精液，当精液积存多了，有时会发生遗精，这是一种正常的生理现象。女性在月经期间的抗病能力相对降低，应注意经期卫生、保健和保暖，保持心情舒畅、情绪稳定，保持外阴清洁。掌握青春期内健康常识，有助于正确处理期间所遇到的生理、心理问题。

二、激素参与稳态的调节

激素并不为组织细胞提供能量或物质，也不起催化作用，只提供调节组织细胞活动所需的信息。不同动物产生的同种激素具有相似的生理效应。

激素的作用具有高效性。例如，每星期只要几毫克的生长激素，就能使侏儒症患者的生长速度显著加快，达到正常生长水平。每毫升血液中肾上腺素含量只要增加零点几微克，就可使人明显地表现出紧张和激动。

激素是一种化学信号分子，它所作用的细胞或器官称为靶细胞（target cell）或靶器官（target organ）。激素与靶细胞的受体结合而发挥作用后就被灭活了，因此，体内需要不断产生激素，以维持激素含量的动态平衡。



观点碰撞

激素应用的利与弊

人体维持正常的生命活动离不开激素的调节，激素也影响着我们生活的方方面面。

[资料 1] 2017 年 12 月 5 日，因系统性使用兴奋剂，国际奥委会决定禁止俄

罗斯以国家名义参加 2018 年平昌冬奥会。兴奋剂不单是指那些起兴奋作用的药物，而是对禁用药物的统称。目前，国际奥委会规定的禁用药物已达 7 大类 100 多种。滥用兴奋剂不仅违背公平竞争的体育原则，而且严重损害运动员的身体健康。例如，合成类固醇对人体生理机能的危害非常大，它能增加患冠心病的风险，同时对肝有非常大的毒性，长期服用还可能导致性别畸变和生殖系统功能紊乱等。



图 3-6 长期使用醋酸氟轻松乳膏引起的痤疮样皮炎

[资料 2] 较大剂量糖皮质激素有较强抗炎作用，还能抑制免疫反应，因此常被用来治疗多种炎症、自身免疫病等疾病。醋酸氟轻松乳膏是一种肾上腺皮质激素类药物，可用于过敏性皮炎、湿疹、皮肤瘙痒症等。但长期或大面积应用，则会引起皮肤萎缩及毛细血管扩张，发生痤疮样皮炎（图 3-6）和毛囊炎，增加易感染性等。

[资料 3] 瘦肉精是包括盐酸克伦特罗、莱克多巴胺和沙丁胺醇等在内的一类 β -兴奋剂（结构近似肾上腺素）的统称。将瘦肉精添加于家畜动物饲料中，让家畜长期食用，可以促进其蛋白质合成，增加瘦肉量，减少脂肪积累。20 世纪 80 年代初，为了缩短养殖周期和降低养殖成本，美国一家公司曾经将盐酸克伦特罗作为饲料添加剂使用于饲养场。但盐酸克伦特罗耐热，分解缓慢，如果长期大量使用，该物质就会在家畜的体内如肌肉中，特别是内脏中大量残留。这些残留药物通过食物进入人体，会使人渐渐中毒，引起肌肉振颤、心慌、头疼、呕吐等症状，对高血压、心脏病等疾病患者危害更大，严重的可导致死亡。1997 年，我国农业部明文禁止在饲料和畜牧生产中使用瘦肉精。

分析讨论

1. 除激素类之外，兴奋剂还包括刺激剂、麻醉止痛剂、利尿剂等。所有兴奋剂都对人体有害吗？滥用兴奋剂对人体有哪些危害？如何正确理解奥林匹克运动所提倡的“更高、更快、更强”的体育精神？

2. 结合人们在生产及日常生活中使用激素的情况，讨论激素对人体健康的影响。

对于某一种生命活动的调节，往往是多种激素相互协调、相互作用共同完成的。对于同一生理效应，有些激素表现为协同作用（指不同激素对同一生理效应都发挥相同的作用，从而达到增强效应的结果），有些则表现为拮抗作用（指不同激素对某一生理效应发挥相反的作用）。生长激素和甲状腺激素对生长发育的调节属于协同作用。当

生长激素与甲状腺激素共同作用时，才能保证机体正常生长发育。胰岛素和胰高血糖素对血糖含量的调节属于拮抗作用。胰岛素使血糖浓度降低，胰高血糖素使血糖浓度升高，两者相互拮抗，使血糖浓度维持在相对稳定的水平。

阅读空间

激素调节的作用机制

根据溶解性质，激素可分为脂溶性激素和水溶性激素两类，两类激素通过不同的机制调节靶细胞的活动。

脂溶性激素可以轻松地穿过质膜进入细胞，并与细胞内的受体蛋白结合形成激素-受体复合物，该复合物随后与 DNA 上的特定区域结合，使特定基因的表达发生改变。类固醇激素就是一类脂溶性激素。

水溶性激素不能通过质膜，它们作为第一信使与质膜表面的受体相互识别并结合，通过一系列变化，信息由第一信使传递给细胞内的一些特定非蛋白类小分子，这类小分子被称为第二信使。第二信使包括多种类型，如环磷酸腺苷、三磷酸肌醇、钙离子和一氧化氮等，在许多情况下，第二信使会激活原本没有活性的酶。硝酸甘油可作为心绞痛急救药物，正是因为它可以在体内转化成第二信使一氧化氮，松弛血管平滑肌。这使得静脉扩张，减少回心血量，降低心脏泵血负担；同时还扩张了冠状动脉，增加心脏供血，从而缓解心绞痛发作。

三、其他体液成分参与稳态的调节

除了激素以外，二氧化碳等化学物质对机体的生命活动也有调节作用。人体剧烈运动时，体内二氧化碳含量上升。二氧化碳刺激外周感受器和中枢化学感受器，这些感受器产生神经冲动，经过脑干呼吸中枢调节呼吸相关肌群，从而增加呼吸的频率和深度（图 3-7）。

激素、二氧化碳等化学物质通过体液途径（血浆、组织液、淋巴等）到达全身或局部的组织器官，从而引起这些组织器官产生相应的反应，称为体液调节（humoral regulation）。在人和高等动物体内，激素调节是体液调节的主要形式。

神经调节和体液调节都是机体调节生命活动的基本方式，其中神经调节占主导地位。神经调节通过遍及全身的各种感受器检测着机体内外环境的变化，由各级神经中枢通过反射对这些变化作出准确而及时的反应。体液调节是

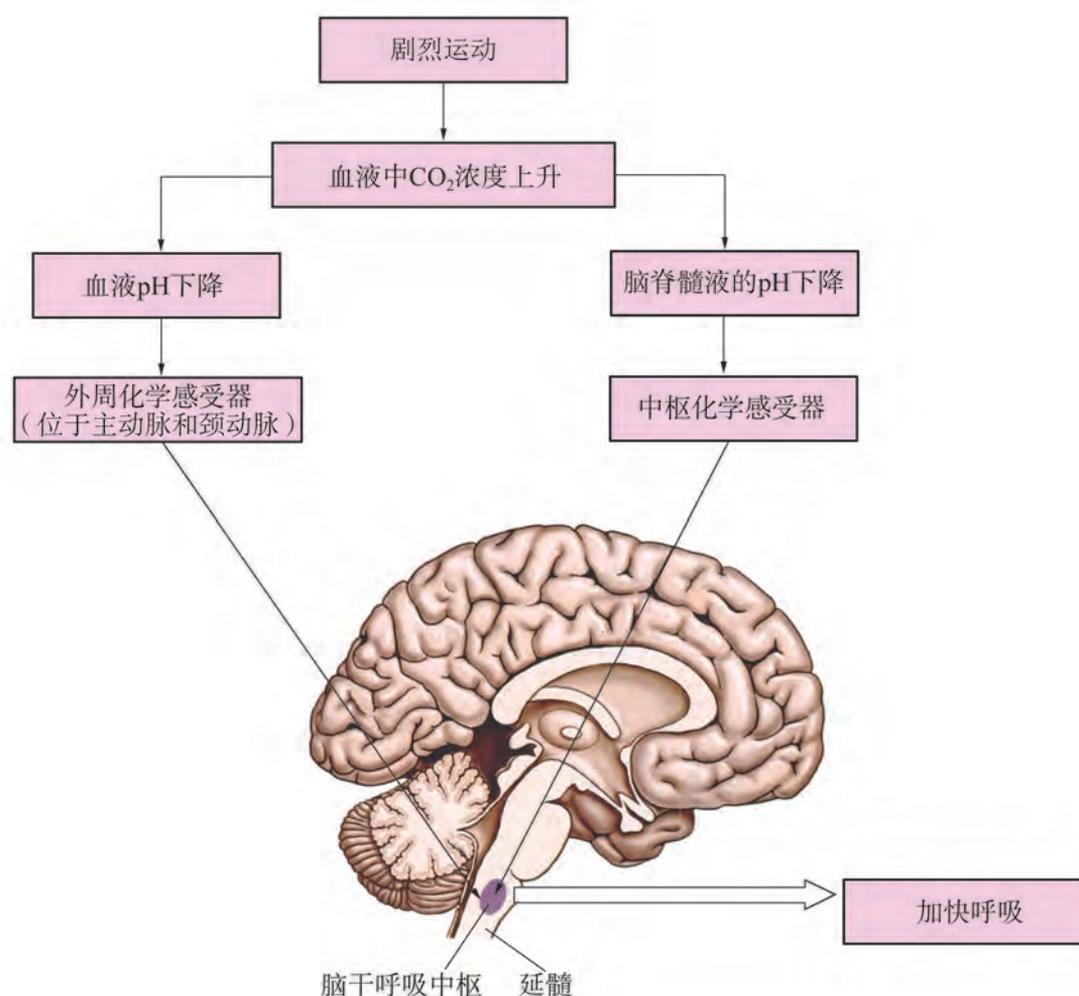


图 3-7 二氧化碳对呼吸运动的调节示意图

神经调节的延伸，起到扩大调节范围、延长调节时间的作用。同时，激素可以影响神经系统的发育和功能。

在整个机体中，神经调节与体液调节是共同协调、相辅相成的，正是两者的相互配合，机体才能进行正常的生命活动，并适应内外环境的不断变化。

学业检测

1. 给实验兔每日注射适量的甲状腺激素，连续注射多日后，可引起的生物学效应是（ ）
 - A. 体重快速增加
 - B. 糖分解代谢增加
 - C. 兔的饥饿感减弱
 - D. 放入密闭室中不易窒息死亡
2. 常见的甲状腺疾病包括甲状腺功能亢进、甲状腺功能减退、甲状腺炎和甲状腺结节等。近几年，甲状腺疾病的发病率呈上升趋势。为研究甲状腺的功能，某同学用切除法进行实验。

在实验过程中，用幼龄小鼠为材料，以体长和耗氧量作为检测指标。回答下列问题：

(1) 请完善下面的实验步骤：

①将若干只小鼠随机分为甲、乙两组后进行处理，甲组（实验组）的处理是_____；乙组（对照组）的处理是_____。

②将上述两组小鼠置于相同且适宜条件下饲养。

③实验开始时和实验中，每隔一段时间分别测定每只小鼠的_____。

④对所得数据进行统计处理和分析。

(2) 分析与讨论：

①实验结果表明，甲组小鼠的体长比乙组的短，耗氧量也比乙组的少，出现这种差异的原因是甲组的处理使小鼠缺少了来源于甲状腺产生的_____。

②用耗氧量作为检测指标的依据是_____。

③切除甲状腺后，小鼠体长变化的原因是_____。

(3) 为了验证碘是合成甲状腺激素的原料，另有同学提出一个新的实验方案：取生长状况相同的雄性小鼠甲和雌性小鼠乙，给甲喂含碘的食物，给乙喂不含碘的等量食物；两只小鼠放在不同的条件下饲养，一段时间后对两只小鼠体内甲状腺激素进行测定。请改正该方案中的两处错误做法。

3. 实验动物科学发展的最终目的，就是要通过对动物本身生命现象的研究，进而推用到人类，探索人类的生命奥秘。

(1) 用动物实验法研究某腺体的功能，实验结果如下表所示。

实验方法	观察结果
用腺体制剂喂蝌蚪	①发育加快，但体型很小
摘除成年狗的该腺体	②食欲不振，身体臃肿 ③行动呆笨，精神萎靡
摘除小狗的该腺体	④除②外还停止发育
将该腺体的分泌物注射到小白鼠体内	⑤身体消瘦，食欲旺盛 ⑥躁动不安，情绪紧张 ⑦心跳加快

根据实验结果①④可知，该腺体分泌物的生理作用是_____。

根据实验结果②⑤可知，该腺体分泌物的生理作用是_____。

根据实验结果③⑥⑦可知，该腺体的分泌物有_____的生理作用。该腺体是_____，所分泌的物质是_____。

(2) 对内分泌腺功能的研究可以有多种方法，如实验中用到的饲喂法、切除法、注射法。对胰岛功能的研究除了表中列出的注射法外，还可以采用哪些研究方法？在学习了人体内的各种内分泌腺及相关激素后，请给垂体、性腺功能的研究提出合理的方法。

第二节 多种方式调节激素的分泌



图 3-8 更年期女性

激素在人的生命活动中起着重要的调节作用，一旦激素分泌异常，人体就无法维持正常的生理状态。女性从 45 到 55 岁，会有轻度焦虑、骨质疏松、关节疼痛等症状，这是由于卵巢分泌的雌激素减少而导致的更年期综合征的症状（图 3-8）。在人体内，激素的分泌受到多种机制的严格调控。那么，激素的分泌主要有哪些调节方式？每种调节方式的作用机制是怎样的？这些调节机制在生产中具有怎样的实践意义？

一、机体通过反馈调节机制调节激素分泌

人体血糖的正常浓度为 3.9~6.1mmol/L，血糖浓度必须维持在一定水平才能满足机体对能量的需要。人体内有多条途径影响血糖含量变化，通过肝、骨骼肌以及其他组织细胞的代谢活动使血糖的来源和利用保持着动态平衡（图 3-9）。

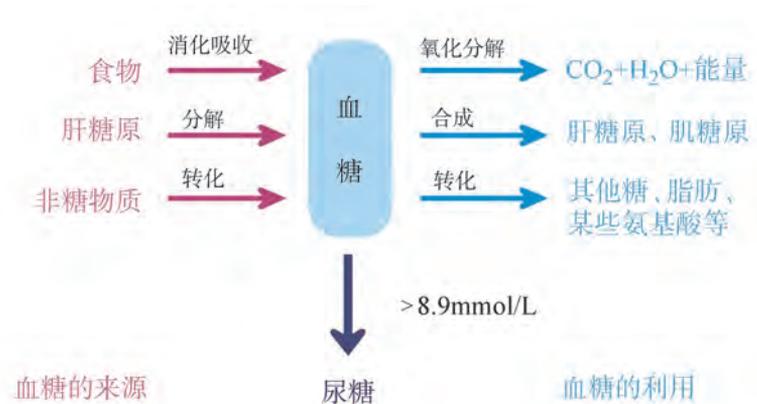


图 3-9 血糖的来源和利用示意图

血糖的平衡是通过调节来源和利用过程来实现的，其中起调节作用的主要是胰岛分泌的胰岛素（insulin）和胰高血糖素（glucagon）（图 3-10）。

人进餐后，血糖浓度升高，就会刺激胰岛 B 细胞分泌胰岛素。胰岛素通过血液运输到肝、骨骼肌以及其他组织细胞，

一方面促进血糖合成肝糖原和肌糖原，加速血糖的氧化分解或促使血糖转变成脂肪等非糖物质；另一方面又能够抑制肝糖原的分解和非糖物质转化为葡萄糖，从而使血糖含量降低。当血糖降低到一定浓度，就会抑制胰岛 B 细胞分泌胰岛素，使血糖浓度不再进一步降低。

当人体血糖浓度降低到一定水平时，就会刺激胰岛 A 细胞分泌胰高血糖素，胰高血糖素主要作用于肝，它能够促进肝糖原分解成葡萄糖进入血液，促进脂肪酸和氨基酸等非糖物质转化为葡萄糖，最终使血糖含量升高。同样，血糖升高到一定浓度，也会抑制胰岛 A 细胞分泌胰高血糖素，使血糖浓度不再继续升高。

像血糖平衡的调节过程这样，在一个系统中，系统本身的工作效果，反过来又作为信息调节该系统的工作，这种调节方式叫作反馈（feedback）调节。胰岛素和胰高血糖素通过对血糖的反馈调节，使血糖浓度维持在相对稳定的水平（图 3-11）。

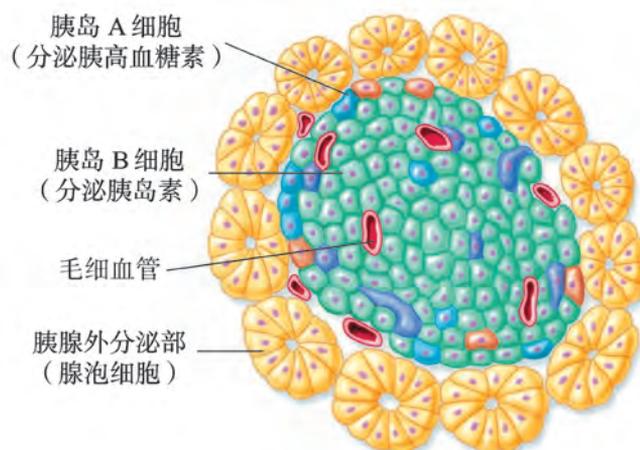


图 3-10 胰岛结构示意图

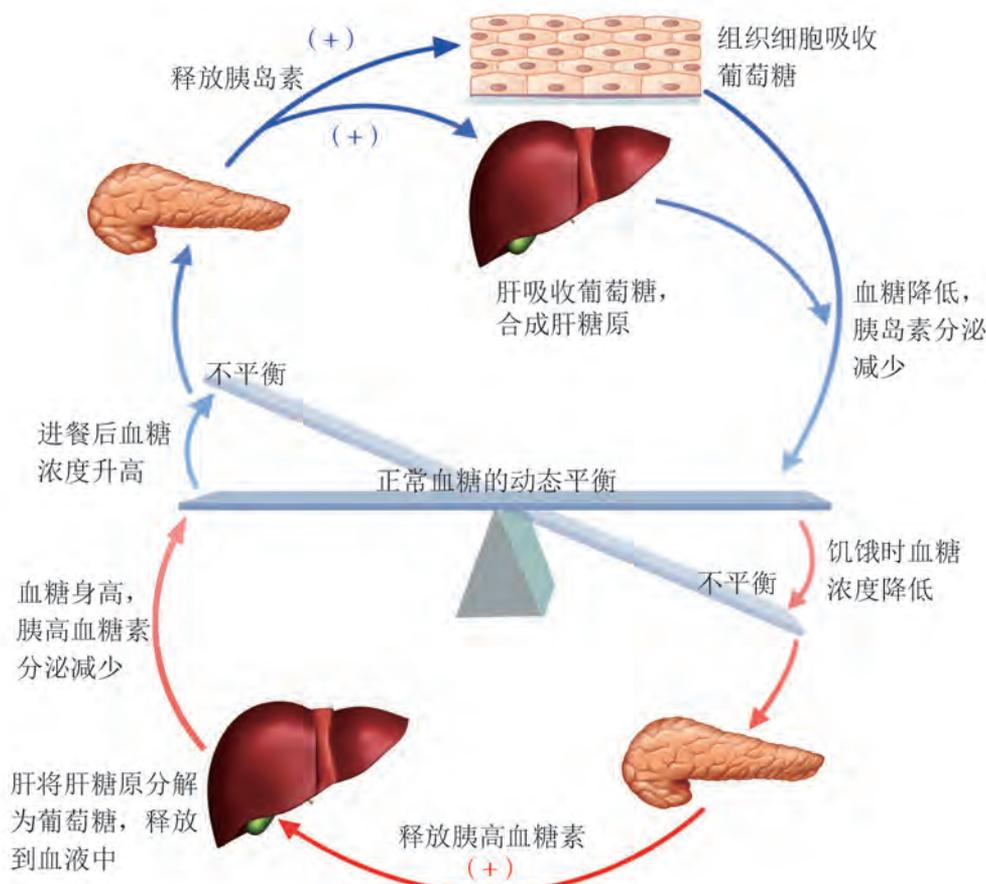


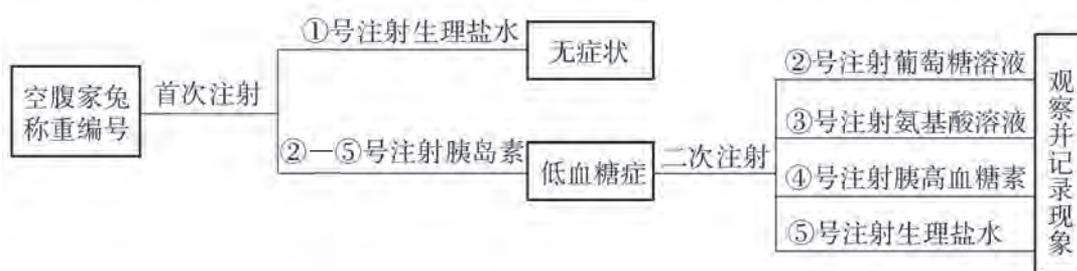
图 3-11 血糖的反馈调节示意图

人体内激素的分泌是持续不断地进行反馈调节的。反馈调节是生命系统中非常重要的调节机制，它是机体维持内环境稳态的一种重要方式。

思维训练

对照实验

在生物实验设计中，为排除无关变量的干扰，常常要设计对照实验。对照实验按照对照内容和形式的不同可分为4种类型：空白对照、自身对照、条件对照和相互对照。现利用5只家兔（编号①—⑤号）进行实验，探究血糖调节的影响因素。家兔的注射剂量和生理指标均按单位体重计算，设计实验流程如下，分析后填写下面的表格。



对照内容	对照类型
首次注射时①号家兔与②—⑤号家兔	
二次注射时②号家兔、③号家兔、④号家兔	
对②号家兔进行的首次注射和二次注射	

二、机体通过分级调节机制调节激素分泌

垂体和下丘脑在内分泌系统中具有重要作用。垂体是一种结构比较复杂的内分泌腺，由腺垂体和神经垂体两部分组成。垂体不但产生与身体骨骼和软组织的生长有关的激素，而且还分泌促激素（tropic hormone），影响其他内分泌腺（靶腺）的活动。下丘脑的一些细胞具有内分泌细胞和神经细胞的双重特性。下丘脑与腺垂体通过神经和血液建立联系，与神经垂体通过神经建立联系，形成下丘脑—垂体系（图3-12）。

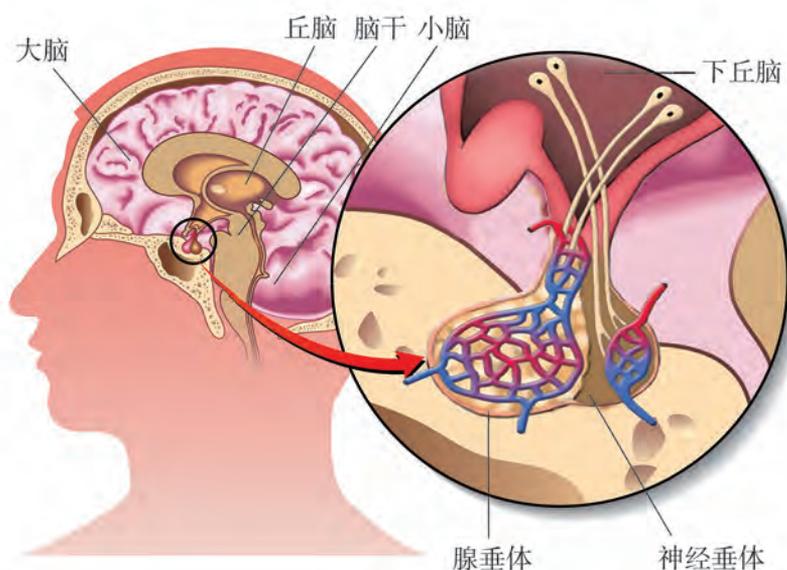


图 3-12 下丘脑 - 垂体系统示意图



资料探究

下丘脑 - 垂体系统对激素分泌的调节

下丘脑 - 垂体系统不仅在结构上具有一定的联系，而且在功能上也具有紧密的联系。下丘脑通过垂体间接调节和控制某些内分泌腺中激素的合成与分泌。

[资料 1] 1937 年，英国牛津大学内分泌学家哈里斯 (G. Harris) 在动物实验中观察到，如果把垂体和下丘脑之间的血液联系中断，可导致生殖器官萎缩。如果把血液联系恢复正常，生殖器官的功能也随之恢复正常。

[资料 2] 图 3-13 是人体受到环境温度剧烈变化、精神紧张等因素刺激时，甲状腺激素的分泌调节过程。

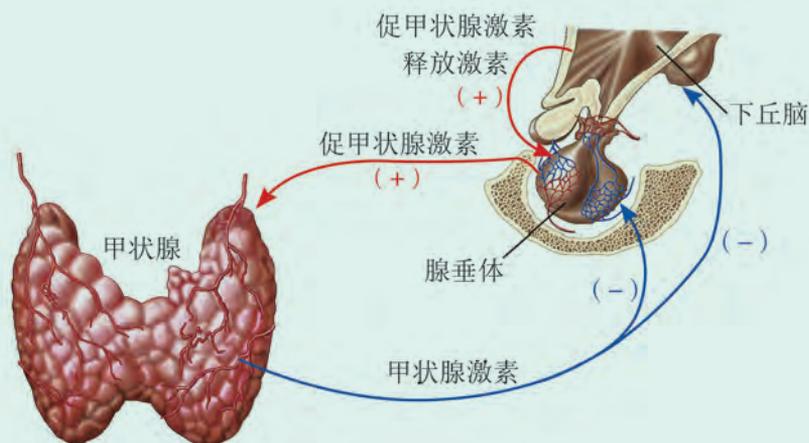


图 3-13 甲状腺激素分泌的调节示意图

分析讨论

1. 根据哈里斯的实验结果，你能得出什么结论？
2. 描述甲状腺激素分泌调节的基本途径，并分析该激素分泌的调节有什么特点？
3. 动物繁育过程中，为了加快母畜的繁殖速度，兽医常常对母畜注射促性腺激素，以促进母畜发情。试分析为什么不直接注射性激素？

下丘脑神经分泌细胞所分泌的激素，有一些能直接调节某些靶器官的功能，另一些则调节腺垂体的活动。如促甲状腺激素释放激素（TRH）可促进腺垂体对促甲状腺激素（TSH）的合成及分泌。当血液中的激素含量增加或减少到一定程度时，又会通过血液循环到达腺垂体和下丘脑，反馈影响其功能活动。

下丘脑能够控制垂体，再由垂体控制相关腺体，这种分层控制的方式属于分级调节（hierarchical regulation）。下丘脑的分泌活动，发挥着其对内分泌系统和整体功能活动的高级整合作用。机体通过下丘脑-垂体-靶腺轴这个有等级层次的调节系统，维持激素分泌的稳定。

在激素分泌的调节方式中，最普遍的是神经调节。神经系统可以直接作用于内分泌腺，调节激素的分泌。例如，肾上腺髓质直接接受交感神经的支配，当机体处于兴奋或应激状态时，交感神经兴奋会使肾上腺髓质分泌的肾上腺素增加，并通过肾上腺素的作用来应对紧张状态。

在人体内，激素的分泌受多种因素调节，可随机体的需要适时、适量分泌，及时启动和终止，从而与整个机体的机能状态相适应。内分泌系统调控激素合成与分泌的环节多而复杂，每一环节的变化都将影响内分泌系统功能的正常发挥。

学业检测

1. 碘是合成甲状腺激素的必需原料，缺碘是引起地方性甲状腺肿的首要原因。下页图为甲状腺激素分泌的分级调节示意图，a、b、c代表3种不同的激素，据图分析回答问题：
 - （1）激素a、激素b分别是哪种激素？
 - （2）为什么饮食中长期缺碘会导致地方性甲状腺肿？

(3) 怀孕母亲如果缺碘，胎儿的发育会受到影响，尤其是_____的发育受影响最大。如果用“+”表示促进作用，“-”表示抑制作用，则图中①处的作用为_____，③④处的作用为_____（填“+”或“-”）。

(4) 我国将食盐加碘纳入国家法规，1979—1995年碘缺乏地区食盐加碘，1995—2005年全民食盐加碘，其间2002年对碘浓度下调，2012年修改为各地自行选择食盐加碘量。如何理解国家食盐加碘政策的变化？

2. 为研究胰岛素的生理作用，研究人员将生长发育、生理状况基本相同的小鼠禁食一段时间后，随机分为A、B、C、D 4组，A组腹腔注射生理盐水，B、C、D 3组均腹腔注射等量胰岛素溶液。

(1) 一段时间后，B、C、D 3组都出现了反应迟钝、嗜睡等症状，原因是什么？A组在实验中起什么作用？

(2) B、C、D 3组出现上述症状后进行第二次注射，给B组注射生理盐水，给C组注射某种激素，给D组注射某种营养物质。第二次注射后，C、D组的症状都得到缓解。C组注射的可能是什么激素？D组注射的是什么营养物质？请用所学知识进行解释。

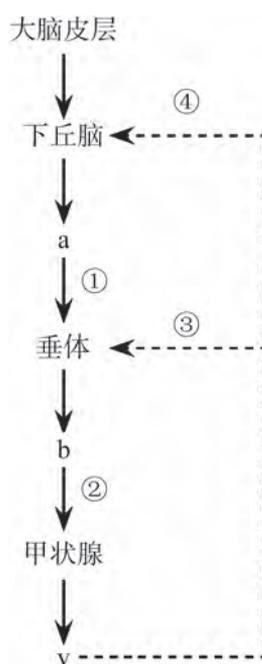
3. 糖尿病是由遗传和环境因素相互作用而引起的一种常见病，主要有2种类型：I型和II型。I型糖尿病的发病通常开始于婴儿或儿童时期，而且可遗传。病因是胰岛B细胞被自身免疫反应所破坏，胰岛分泌的胰岛素很少，甚至不能分泌。II型糖尿病发生在成年期，此类患者的胰岛B细胞活动下降或者组织细胞对胰岛素的敏感性降低。

(1) 糖尿病属于遗传病吗？请给出合理的解释。

(2) I型糖尿病的病人血糖高的原因是什么？

(3) 我国唐朝医学家甄立言在《古今录验方》里对糖尿病（中医称为“消渴症”）的症状进行了描述：“消渴，病有三：一渴而饮水多……二吃食多……三……数小便者，此是肾消病也。”请利用所学知识解释这些症状的原因。

(4) 暴饮暴食是一种不良饮食习惯，会给人的健康带来很多危害。有人认为暴饮暴食容易引起糖尿病，你对此观点有何评价？



第三节 神经调节与体液调节共同维持水盐平衡



图 3-14 女排运动员
在比赛中

2016年，中国女排夺得里约热内卢奥运会冠军。比赛结果令人振奋，女排精神更成为我们自强不息的精神动力。每一场比赛，运动员们都是每球必争、顽强拼搏，汗水把运动服都浸湿了（图 3-14）。在激烈的比赛间隙，运动员们都会喝一些特制的运动饮料，用于补充流失的水、无机盐等营养成分。其实，人体在日常生活中也要摄入适量的水和无机盐。人体为什么要摄取这些物质？机体会通过怎样的方式来调节水盐的平衡？一旦失衡会造成什么影响？

一、人体内水、无机盐的摄入和排出保持动态平衡

水是生命之源，生命一刻也离不开水。无机盐对维持机体的渗透压、调节 pH 以及维持细胞正常生命活动等具有重要作用。因此，人体必须通过一定的途径来维持水和无机盐代谢的平衡。



资料探究

婴幼儿家庭补液

腹泻是婴幼儿最常见的消化道综合征，多发于夏秋季节，一般是由细菌或其他微生物感染引起的急性肠炎所致。腹泻会引起脱水，患儿出现口渴、烦躁、少尿等现象，严重时会导致虚脱、昏迷，甚至有生命危险。

[资料 1] 家庭治疗腹泻的关键是预防和纠正脱水，及时补充体液。世界卫生组织提倡用口服补液盐（oral rehydration salt, ORS）对急性腹泻患儿推广应用，治疗效果显著。口服补液盐的配方为：葡萄糖 20g，NaCl 3.5g，NaHCO₃ 2.5g，KCl 1.5g，加水至 1000mL。

[资料 2] 米汤电解质溶液在治疗和预防患儿腹泻脱水方面也有很好的效果。这一传统补液疗法简单方便，容易被患儿接受。常用的米汤电解质溶液有两种。一种是优质口服补液盐，其配方为：炒米粉 50g，NaCl 3.5g，NaHCO₃ 2.5g，KCl 1.5g，加水至 1000mL。如果没有 KCl，可用蔬菜汁或蔬菜汤代替。另一种是方便口服补液盐，其配方为：炒米粉 25g，加水 500mL，煮沸 7~10min，冷却后加食盐 2g 而成；也可

以在煮大米饭时用米汤 500mL 加食盐 2g。

经测定，50g 炒米粉含蛋白质 4.35g，炒米粉水解后能产生 35g 葡萄糖，超过了口服补液盐中的 20g 葡萄糖。米汤为低渗溶液，可减少发生渗透性腹泻的危险。所以，用米汤电解质溶液比口服补液盐治疗脱水效果更佳。

补液时，应根据患儿脱水程度、体重等确定补液量。若病情较重，应去医院治疗，以免发生危险。

分析讨论

1. 急性肠炎会造成消化道黏膜损伤，腹泻是其突出症状。试分析急性肠炎引起脱水的原因。

2. 米汤电解质溶液与口服补液盐相比，在成分上的主要区别是用 50g 炒米粉代替了 20g 葡萄糖，从人体所需营养物质的角度，分析米汤电解质溶液治疗效果更佳的原因是什么。

人体每天都要通过饮水和摄取食物中的水分来满足生命活动所需，同时还要通过尿液、汗液等形式从体内排出一定量的水（图 3-15）。一个体重为 70kg 的健康人正常情况下每天需要和排出水的量大约各为 2500mL。

需要水的量			排出水的量	
食物中的水	1000 mL	=	尿液中的水	1500 mL
饮水	1200 mL		出汗	500 mL
物质代谢产生的水	300 mL		呼吸排出的水	350 mL
			排便排出的水	150 mL

图 3-15 人体每日进出水量的平衡

人体内的无机盐有多种，大多以离子状态存在，如 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 等。人体主要通过饮食中添加食盐摄入 Na^+ 。 K^+ 在动植物食品中含量丰富，人体主要从食物中摄入 K^+ 。内环境中过多的无机盐主要经肾和汗腺排出，肾对 Na^+ 的排出特点是多进多排，少进少排，不进不排；对 K^+ 的排出特点是多进多排，少进少排，不进也排。

一般情况下，机体内的水和无机盐通过正常的摄入和排出，其含量会保持动态平衡。

二、水盐平衡是神经调节和体液调节协调作用的结果

人体主要通过形成尿液实现机体的水盐调节。尿液形成的特殊机制，维持了内环境中水、无机盐、pH 等的相对平衡。



资料探究

水平衡调节的机理

科学研究表明，人体内水的摄入、排出与下丘脑外侧的饮水中枢以及抗利尿激素（antidiuretic hormone, ADH）密切相关。

[资料 1] 1925 年，英国生理学家斯塔林（E. Starling）和英国药理学家弗尼（E. Verney）发现抗利尿激素与体内水的排出有密切关系。1953 年，美国生物化学家迪维尼奥（V. du Vigneaud）将该物质从神经垂体中纯化出来并对其进行了人工合成。经进一步研究证明：抗利尿激素是一种九肽激素，它是由下丘脑内的神经分泌细胞合成的，这些细胞的轴突延伸到神经垂体，其合成的激素运输到神经垂体处储存。

[资料 2] 图 3-16 表示人体在失水情况下，机体通过神经和激素的作用调节水平衡的基本过程。

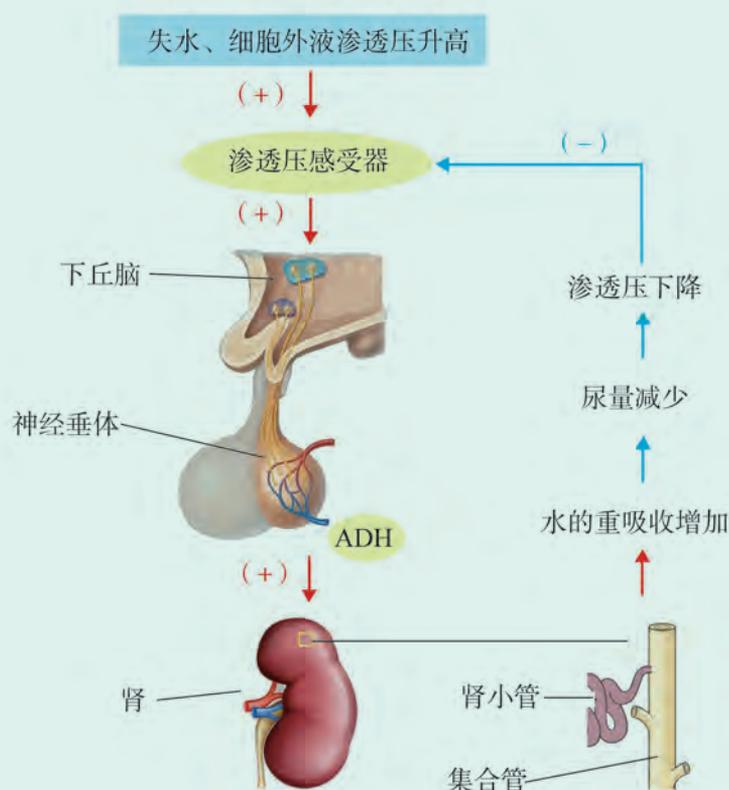


图 3-16 人体水平衡的调节示意图

分析讨论

1. 抗利尿激素的化学本质是什么？说出其在人体内合成及释放的具体部位。
2. 人在喝水多的时候，尿量就会增多，喝水少的时候，尿量也就减少。为什么会出现这样的现象？请利用水平衡调节过程进行解释。

抗利尿激素通过调控尿量的多少实现对人体水平衡的调节。抗利尿激素的生理作用是能够增大肾小管和集合管上皮细胞对水的通透性，促进肾小管和集合管对水的重吸收，从而使尿量减少。细胞外液渗透压的改变会引起释放到血液中的抗利尿激素的变化。

人体内水平衡以及内环境渗透压的稳定也受神经系统调节。细胞外液渗透压升高时，位于下丘脑的渗透压感受器受到刺激，神经冲动传至位于下丘脑外侧的饮水中枢，饮水中枢产生兴奋，传导到大脑皮层，引起口渴的感觉，使人主动饮水以补充水分。

肾上腺皮质能够合成并分泌一种叫作醛固酮的盐皮质激素，它在无机盐的平衡调节中起重要作用。当血钾含量升高或血钠含量降低时，可直接刺激肾上腺皮质，使醛固酮的分泌量增多，醛固酮能促进肾小管和集合管对 Na^+ 和水的重吸收并促进 K^+ 的分泌；当血钾含量降低或血钠含量升高时，醛固酮的分泌减少，肾小管和集合管对 Na^+ 和水的重吸收以及 K^+ 的分泌减少，从而维持了血钾和血钠含量的平衡。

三、水盐平衡对维持细胞的形态和功能具有重要作用

人体每昼夜产生的代谢废物至少需要 500mL 尿液来溶解排出。如果摄入的水不足，尿量过少，人体内的代谢废物不能及时排出，就会引起中毒而损害健康。因此，每个人都应养成主动饮水的习惯。

正常心肌的舒张和兴奋性的维持均离不开 K^+ 。人们正常饮食即能满足身体对钾的需求量。在日常生活中，多吃一些富含钾的新鲜蔬菜和水果，如香蕉、柑橘、菠菜等，可以有效预防血钾降低。当血钾大量流失时，心肌自动节律会出现异常，此时，应及时到医院就诊，避免发生危险。人体在大量丢失 Na^+ 时，会使细胞外液渗透压下降，这种变化会导致血压下降、心率加快、四肢发冷等症状，甚至会出现昏迷。在这种情况下，应适当补充生理盐水。而人体若长期摄入过多的 Na^+ ，则会引起高血压。世界卫生组织建议：成人每日摄入的食盐量应低于 6g；2~15 岁儿童，应根据其需求，将盐的摄入量相应下调。

人体内水盐的平衡以及内环境渗透压的稳定是通过神

经调节和体液调节实现的，人体内水和无机盐的含量稳定，对维持内环境的酸碱平衡和渗透压稳定有重要作用，是机体完成各项生命活动的保障。

学业检测

1. 超过 0.9% 的盐水称为高渗盐水，广泛应用于生理学实验和临床医学。如果向一只实验狗的颈动脉内灌注高渗盐水后，会出现的现象是（ ）

- A. 血浆渗透压迅速升高，尿量增加
- B. 血浆渗透压迅速升高，尿量减少
- C. 血浆渗透压迅速降低，尿量增加
- D. 血浆渗透压迅速降低，尿量减少

2. 机体内的水平衡既受神经调节，又受激素调节。某哺乳动物若长时间未饮水，其体内水平衡调节机理如下图所示。请根据所学知识填空。



3. 渗透压稳定是内环境稳态的重要指标之一，某些环境因素和人体的一些行为都可能使体内水平衡失调，甚至造成严重的后果。

(1) 喝水是每个人的日常行为之一。假如一个成年人每天饮用 1200mL 水，通过排尿排出 1500mL 水，但是体内的水分仍然处于平衡状态。你认为可能的原因有哪些？

(2) 在炎热的夏季，有人为了避免中暑，短期内摄取了大量水，可能导致水中毒现象。请解释其中的原因。

(3) 大面积烧伤病人由于严重脱水使血钾升高，细胞外液渗透压上升，此时血浆中抗利尿激素和醛固酮的浓度变化情况是怎样的？

(4) 某同学经常“以饮料代水”的做法科学吗？为了保持身体健康，维持机体水平衡，你觉得应该养成哪些科学的饮水习惯？

第四节 神经调节与体液调节共同维持体温相对恒定

北方的冬季天寒地冻，大地银装素裹，变得静寂了许多。蛙鸣蛇游的景象已经无法看到，因为这些变温动物进入了冬眠期。但是像东北虎、北极狐等绝大多数哺乳动物并不进行冬眠（图 3-17），它们在寒冷环境中仍然能够自由地生活，体温（body temperature）并没有因外界气温过低而下降。人也是如此，无论身处酷热的沙漠还是冰天雪地，体温总是保持相对恒定，这是为什么呢？若体温失衡，会出现怎样的结果？



图 3-17 冰雪中的东北虎（左）和极地北极狐（右）

一、人的体温受多种因素影响

当你感冒发烧去医院看病，医生会让你测量腋窝或耳部鼓膜处的温度，但测得的数值并不是人的真正体温。体温一般是指人体内部的温度。由于人体内部的温度不易测量，所以临床上通常用腋窝处测得的温度代表体温。此外，也可以用口腔、鼓膜、直肠等部位测得的温度来代表体温。

正常情况下，人的体温维持在 37°C 左右。但它并不是恒定不变的，而是会随着昼夜、年龄、性别和情绪等因素的变化而有所变化，幅度一般不超过 1°C 。

二、机体的产热和散热保持动态平衡

人体各种组织细胞进行呼吸作用所释放的能量，大部分转化成热能，其中的部分热能用以维持体温。人体主要的产热组织或器官包括内脏、骨骼肌和脑等。在安静时，

人体主要由内脏器官产热，其中肝产热量最大；在劳动或运动时，骨骼肌成为主要的产热器官，产生的热量可达体内总产热量的 90%。在寒冷环境中，人体会出现一种特殊的反应——寒战，这是骨骼肌通过快速的节律性收缩为机体提供热量的一种途径。

人体散热的主要部位是皮肤，身体内部产生的热量由血液循环带到皮肤表面，再散发到体外。皮肤中血管的舒张和收缩会导致皮肤血流量发生改变，进而影响皮肤温度和散热量。皮肤血管收缩，血流量减少，使皮肤温度下降，散热量减少；反之，皮肤血管舒张，血流量增加，使皮肤温度上升，散热量增加。

人体散热的方式有两种：直接散热和蒸发散热。直接散热就是通过辐射、对流和传导的散热方式将热量由体表散发到外界环境。蒸发散热是通过皮肤表面水分蒸发把热量带走。在高温环境中或从事体力劳动时，直接散热不能阻止体温继续上升，汗腺就会分泌汗液，汗液蒸发带走大量热量。一般情况下，当环境温度达到 29℃ 时人开始出汗，环境温度超过皮肤温度时蒸发散热是唯一的散热方式。

人体体温保持相对恒定，是机体产热和散热保持动态平衡的结果（图 3-18）。

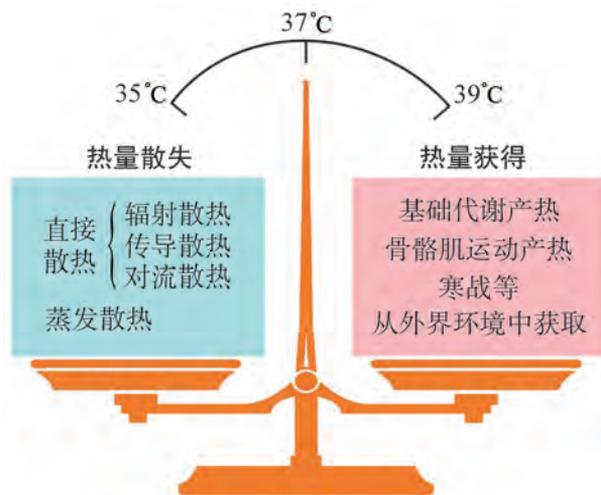


图 3-18 产热和散热之间的动态平衡示意图

三、通过神经调节和体液调节维持体温相对恒定

由于环境温度的变化和机体的活动，产热过程和散热过程间的平衡不断被干扰，但是机体经过自主性的精确调控使其平衡不会被破坏。



资料探究

体温调节的机制

人的体温调节机制相当复杂，类似于恒温箱的调节机制。如果体温偏离正常值，则通过反馈作用将信息传送到调节中枢，对产热或散热活动加以调节。科学研究表明，体温调节与下丘脑的作用密切相关。

[资料 1] 20 世纪 40 年代，神经生理学家曾以定向刺激法和局部毁损法证明下丘脑前部为散热中枢，后外侧部为产热中枢。20 世纪 60 年代，科学家先后发现中枢神经系统中存在对温度敏感的神经元，特别是在下丘脑中存在对温热刺激敏感的神经元，温热刺激该部位时引起散热反应，冷刺激时则会引起与产热有关的生理反应。根据对多种恒温动物脑的实验证明：只要保持下丘脑及其以下的神经结构完整，动物在正常情况下便具有维持相对恒定体温的能力（中暑等异常情况会导致体温调节功能失常）；如进一步破坏下丘脑，动物就无法维持体温相对恒定。

[资料 2] 环境温度的不断变化会形成冷、热等刺激信号，人体一旦感知到这种刺激，就会引发一系列生理反应来应对。图 3-19 表示受到寒冷刺激或炎热刺激时，机体进行体温调节的基本过程。

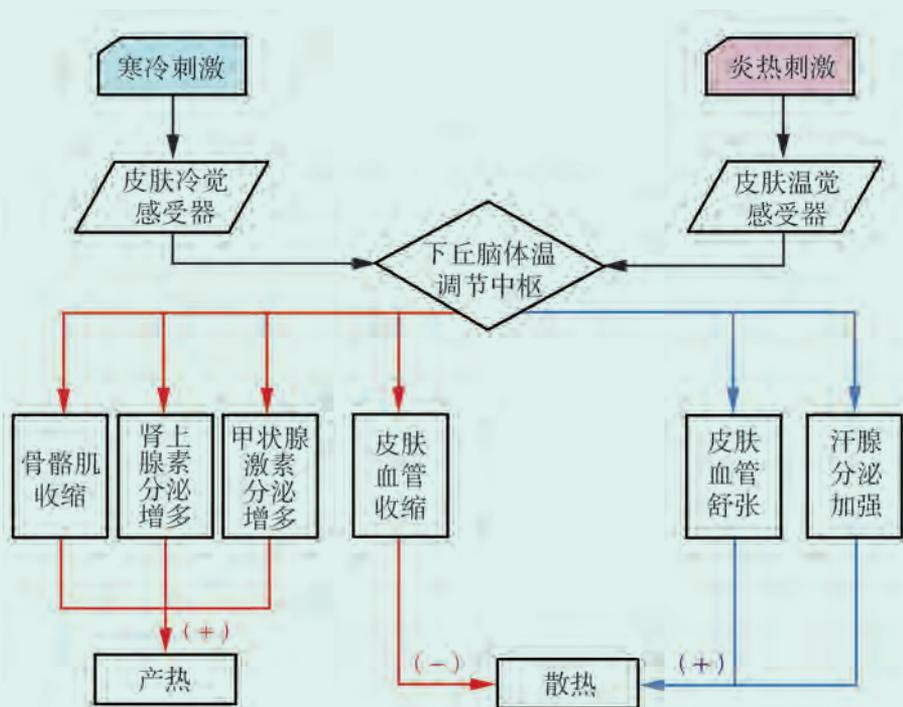


图 3-19 体温调节机制示意图

分析讨论

1. 人体内维持体温相对恒定的调节中枢位于什么部位？
2. 受到外界寒冷刺激或炎热刺激时，机体如何维持体温的相对恒定？

3. 当受到寒冷刺激时,人的皮肤会起“鸡皮疙瘩”,此时,立毛肌收缩,毛发竖立。对于“立毛肌收缩会增加产热还是减少散热”这一问题,请表明你的观点并加以解释。

人的体表、体内遍布着各种类型的温度感受器,这些感受器能够感受到机体内、外环境温度的变化,然后发出信息,作用于下丘脑体温调节中枢。体温调节中枢对得到的信息进行整合后,相应地引起骨骼肌、皮肤血管、汗腺及内分泌腺等器官活动的变化,进而调节机体产热和散热的过程,使体温维持相对恒定。

阅读空间

体温调定点学说

关于体温调节的机理,一般用调定点学说来解释。该学说认为,调定点的作用相当于恒温箱的调定器。调节体温的中枢主要在下丘脑,下丘脑的体温调节中枢起着“调定点”的作用,它的调定点预先设定在某一数值(如 37°C)。当体温高于调定的温度时,下丘脑的热敏神经元活动增加,冷敏神经元活动减弱,通过促进机体的散热和抑制机体的产热,使体温降低。反之,当体温低于调定的温度时,则引起相反的变化,使体温升高(图3-20)。某些病菌、病毒感染或者组织损伤、炎症,都可能引起体温上升而导致发烧,就是因为这些因素使机体提高了体温调定点。

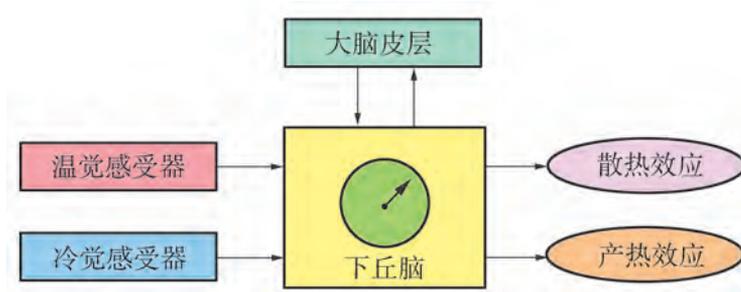


图 3-20 体温调节的调定点理论

四、体温相对恒定是细胞正常代谢的必要条件

机体通过神经调节和体液调节的相互协调,实现产热和散热的动态平衡。但是,人体调节体温的能力是有限的,如果环境温度长时间剧烈变化,或机体内调节过程发生障碍,就可能出现中暑或体温过低等病症。例如,人在高温、潮湿的环境中或在夏季炎热的日光下,体内产生的热量不能及时散失而导致体温升高,就会造成中暑。

新陈代谢是生物体进行一切生命活动的基础，代谢中各种生化反应都离不开酶的催化作用。体温过高或过低，都会影响酶的活性，使各种细胞、组织和器官的功能发生紊乱，严重时甚至导致死亡。体温的相对恒定是维持内环境稳定，保证新陈代谢等生命活动正常进行的必要条件。

学业检测

1. 1775年，英国实验生理学家勃莱登用自己的身体进行实验表明：如果空气干燥，人可以在 120°C 的环境中停留15min，并无不良反应，体温仍可保持相对恒定。而在此温度下，只用13min就可将一盘牛肉烤熟。若在湿度饱和的空气中，人只能在 $48\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的环境中坚持很短的时间。请分析回答：

(1) 人在干燥的 120°C 环境中仍能保持体温相对恒定的主要原因是什么？

(2) 医生建议，在炎热的夏季气温超过 35°C 时，每隔半小时需要喝一杯水，这样做的目的是什么？

2. 冬泳被誉为“勇敢者的运动”，其独特的健身功效被越来越多的人关注。冬泳对改善血管缩舒功能，防止血管硬化以及降低血栓形成等方面效果尤其显著，所以冬泳也被称为“血管体操”。

(1) 冬泳爱好者入水后，机体是如何维持体温相对恒定的？

(2) 神经和激素都可以对体温进行调节，你认为在这两种调节方式中以哪种为主？

(3) 有人认为冬泳运动是“逆天而为”，这里的“天”是指自然规律。你是否同意这种观点？请说明理由。

3. 小鼠的很多生理反应与人体基本一致，因此人们经常用小鼠作为实验材料。研究者在实验中发现，如果用一定的方法破坏小鼠的下丘脑，它就不再具有维持体温相对恒定的能力了。

(1) 对照实验应如何设计？根据实验可以得出什么结论？

(2) 如果你是一名研究人员，如何确定小鼠的体温是否恒定？若要对实验鼠被破坏下丘脑之前、后各24h的体温分别进行测量和记录（测量间隔为4h），请你为该实验设计一个合理的体温记录表。

(3) 如果仅仅根据一只小鼠的实验结果便得出前面的结论，你认为该结论是否可靠？为什么？

 学业要求

重要概念	节次	学科素养
内分泌系统产生的多种类型的激素,通过体液传送而发挥调节作用,实现机体稳态。	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆说出人体内分泌系统主要由内分泌腺组成,包括垂体、甲状腺、胸腺、肾上腺、胰岛和性腺等多种腺体,它们分泌的各类激素参与生命活动的调节。 ◆通过分析胰岛素的发现史,认同科学发现是一个长期的过程,加深对科学探究过程和本质的理解。 ◆通过分析激素在生产生活中应用的利与弊,关注社会议题,作出理性解释。 ◆举例说明其他体液成分参与稳态的调节,如二氧化碳对呼吸运动的调节。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆举例说明激素通过分级调节、反馈调节等机制维持机体的稳态,如甲状腺激素分泌的调节和血糖平衡的调节。 ◆通过资料探究甲状腺激素分泌的调节过程,逐步发展归纳与概括的科学思维方式。
	第三节	<ul style="list-style-type: none"> ◆阐明机体渗透压的稳定是通过神经调节和体液调节相互协调共同作用的结果。 ◆认同水和无机盐平衡对保持机体正常生命活动的重要意义。
	第四节	<ul style="list-style-type: none"> ◆阐明体温的相对恒定是机体的产热和散热保持动态平衡的结果,逐步形成结构和功能相适应的生命观念。 ◆说出机体通过神经调节和体液调节,维持了人体体温的相对恒定。认同健康生活方式对于维持人体内环境稳态、疾病预防的意义。

 科学生活

蜂蜜、蜂王浆真的“有激素”吗

蜂蜜通常被认为是滋补佳品,但是,近来有传闻称蜂蜜、蜂王浆中含有“激素”,这是真的吗?

由于蜜源植物品种不同,蜂蜜中各种成分的含量也不相同。一般地说,蜂蜜的主要成分中,水分占总质量的17%~27%,葡萄糖、果糖和蔗糖等糖类占总质量的75%~80%,其他成分不到1%。而这1%的成分通常是一些微量的维生素、氨基酸、酶、花粉粒和蜡质等。至今,并没有在蜂蜜和花粉中检测到动物激素的报道。花粉中确实含有植物激素成分,但这些成分和动物激素差别很大,不会对人体产生作用。

虽然蜂蜜不会直接导致性早熟，但是它作为食物中糖的一种来源，吃多了有增加体重和导致肥胖的风险。有研究发现，儿童超重和肥胖可能会导致性早熟。因此，蜂蜜和甜食、甜饮料一样需要控制。根据世界卫生组织的建议，儿童和成年人都应该把包括蜂蜜在内的“游离糖”摄入量控制在总能量摄入的10%以下。还需要提醒的是，1岁以下的婴儿不应该进食蜂蜜，这是因为蜂蜜中可能含有肉毒杆菌。对于1岁以上的孩子和成年人而言，即使吃进含有少量肉毒杆菌的蜂蜜，肠道原有的菌群也可以抑制肉毒杆菌的繁殖，这样就不会产生肉毒素。而1岁以下的婴儿肠道内的菌群还很脆弱，对毒素的反应更敏感，如果不小心误食，非常容易中毒。



图 3-21 蜜蜂与蜂蜜

蜂王浆是蜜蜂供给蜂王和3日龄内幼虫食用的物质，长时间吃蜂王浆的蜂王成熟期短、寿命长，还有很强的生殖能力。这不禁会让人联想，这是不是性激素的作用？给人吃了也会“催熟”吗？

蜂王浆中确实存在微量的性激素，但它的含量实在太低，根本不足以对人体生命活动造成影响。1988年，中国科学家对蜂王浆中的性激素含量测定时发现，每100g蜂王浆中含有雌二醇 4.167×10^{-7} g，孕酮 1.167×10^{-7} g，睾酮 1.082×10^{-7} g。按这个结果比较，牛、羊肉中的雌二醇含量是蜂王浆的10~400倍，羊肉中的孕酮含量是蜂王浆的500多倍，牛奶中的睾酮含量是蜂王浆睾酮含量的20~150倍。

2011年，日本科学家研究认为，蜂王浆“催熟”蜜蜂的成分并不是性激素，而是一种活性蛋白质，新鲜蜂王浆中的这种蛋白质能促进生长激素的分泌。2016年，有研究对日本科学家的结论进行了反驳，认为工蜂向蜂王的转化只是由于食物中能量供给的改变造成。虽然存在科学争议，人们也无须担心蜂王浆对人体产生影响，因为口服蜂王浆时蛋白质会被消化道中的蛋白酶消化，无法保持活性。

第四章 人体通过免疫系统实现机体稳态



玩耍是儿童的天性，亲近大自然能让他们感知世界、陶冶性情、强健体魄、增长知识。经常在山野间尽情玩耍的孩子，一般不容易生病；而有些如同温室的花朵般被精心呵护的孩子，却容易被疾病困扰。

人体并非天生就有很强的免疫力，而是在成长过程中一次次被病原体“侵犯”后才逐渐增强免疫力的。那么，人体通过什么系统抵抗病原体的侵袭？当病原体侵袭人体时，机体又是如何进行免疫反应的？如果机体免疫功能异常会造成什么后果？





课题研究

合理接种，预防狂犬病

如今，越来越多的家庭饲养猫、狗等宠物。饲养宠物有助于人们缓解孤寂，还可以培养孩子的责任心和爱心等。但与此同时，不清理宠物排泄物、随意丢弃宠物等不文明现象时有发生，被猫、狗抓伤及咬伤的人数也不断上升。

提出问题

如何文明饲养宠物？怎样预防狂犬病？

制订并实施研究计划

1. 怎样制订活动方案？

- ◆ 成立研究小组，利用网络或通讯平台建立联络群。
- ◆ 讨论需要收集的信息，小组成员分工合作。

2. 怎样实施活动方案？

- ◆ 设计并发放调查问卷，在学校或社区中调查。
- ◆ 查阅相关资料或向卫生防疫部门咨询。

3. 怎样整理、分析收集的信息？

- ◆ 回收调查问卷，统计饲养猫、狗的家庭比例及给猫、狗免疫的情况，统计社区中流浪猫、狗的数量，整理社区居民对文明饲养宠物的看法及做法等。
- ◆ 认识狂犬病的严重危害，认识给猫、狗免疫的重要性，了解被猫、狗抓伤或咬伤后即时处理伤口的方法、接种疫苗的必要性和接种流程。

成果交流

1. 组内交流，了解狂犬病疫苗的作用，探讨如何防控狂犬病，讨论饲养宠物的注意事项及如何文明饲养宠物。

2. 将研究结果总结成调查报告，发表在自媒体平台平台上，并制作展板，在学校、社区进行宣传。

3. 协助社区居民制订文明饲养宠物公约。



图 4-1 宣传文明饲养宠物

第一节 免疫包括非特异性免疫和特异性免疫



图 4-2 脏手印菌落

即使在清新的空气和清澈的水体中，也分布着肉眼难以分辨的微生物，其中包括各种病原体。没有洗干净的手上附着的微生物的数量可以达到数十万个（图 4-2）。组成人体的细胞也会衰老、损伤或病变。但在一般情况下，机体总是能化解这些频频来袭的“内忧外患”而免于罹患疾病。这是因为每个人都自带一套“私人防护系统”。那么，这个防护系统是如何构成的？又是如何发挥防卫和监控功能的呢？

一、非特异性免疫是人体生来就有的免疫

人体抵御病菌、病毒等病原体侵害和清除体内异常细胞的特殊防御机制，称为免疫（immunity）。为保护机体免受损害，人体构筑起了三道防线。

人体最外层的皮肤、黏膜及其分泌物等构成了第一道防线，是病菌、病毒等病原体入侵人体时遇到的第一道壁垒。皮肤和黏膜及其分泌物可以阻挡并黏附病原体，也可产生杀菌或抑菌物质。如汗液中的乳酸对皮肤表面的病原体有抑制作用；胃液中的胃酸可以杀死大多数细菌；泪液、呼吸道与消化道分泌的黏液中含有溶菌酶，能溶解细菌的细胞壁，使细菌解体。

若病原体突破第一道防线进入体内，体液中的溶菌酶和吞噬细胞所组成的第二道防线将发挥作用。吞噬细胞是一类具有识别、吞噬、杀伤功能的细胞，能分泌多种免疫活性物质，参与机体的防御功能（图 4-3）。

这两道防线是人类在长期进化过程中逐渐形成的，经遗传获得，具有天然的免疫防御功能，对任何入侵者都可迅速作出应答反应。由于它发挥作用时并不针对某一特定的病原体，没有特异性，因此称为非特异性免疫（non-specific immunity）。多数情况下，这两道防线可以阻止病原体对机体的侵袭。

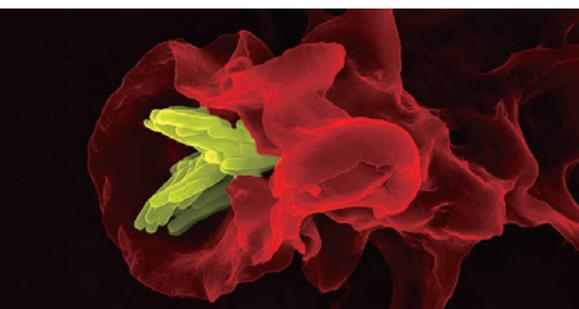


图 4-3 吞噬细胞吞噬
结核杆菌（黄色部分）
（放大倍数：1200×）

二、特异性免疫是针对特定病原体发生的免疫应答

病菌、病毒等病原体一旦突破人体免疫的前两道防线，就可能引发机体的特异性免疫（specific immunity），即启动第三道防线。特异性免疫是机体后天与病原体接触过程中形成的，能识别特定的病原体并发生一系列免疫反应，最终将其清除的防御功能。

1890年，德国医生贝林（E. von Behring）和日本学者北里柴三郎（S. Kitasato）在免疫动物血清中发现白喉外毒素抗体，此后，人们又在免疫动物血清中发现其他抗体。抗体是一类由某些淋巴细胞产生的特殊蛋白质，能与相应的细胞、微生物及其产物发生特异性结合。抗体主要分布于血浆、淋巴中，少量分布于组织液及外分泌液（如唾液和乳汁）中。

能够引起机体产生特异性免疫反应，刺激机体产生抗体，并且可以和相应的抗体发生特异性结合的物质统称为抗原。抗原通常是蛋白质，如异种血清蛋白、细菌和病毒的蛋白质，也有的抗原是多糖、脂质及核酸等。

抗原具有某些特定的化学基团，这些基团叫抗原决定簇（antigenic determinant，图4-4）。抗原决定簇大多存在于抗原表面，但也有的隐藏在抗原内部。同一种抗原可能具有多种不同的抗原决定簇，不同抗原也可能具有相同的抗原决定簇。

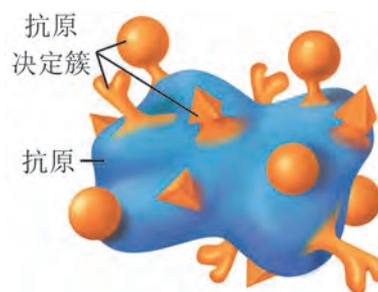


图 4-4 抗原示意图

阅读空间

抗原的特性

异物性 抗原通常为非己物质。抗原与机体的组织细胞及体液的成分有差别，结构差异越大，异物性越强，抗原性就越强。外源大分子物质、细胞、组织、器官，自身癌变的细胞表面所表达的物质，以及衰老、死亡、损伤的细胞释放出的物质也会被免疫系统所识别，引起机体产生免疫反应，也属于抗原。

大分子性 抗原必须是大分子物质，相对分子质量大于 40 000 的物质抗原性较强。大分子物质能聚集成胶体状态，不容易被排泄掉，在体内停留时间久，有充分的机会与产生免疫应答的细胞接触。而小分子物质容易被排泄掉，没有与产生免疫应答的细胞接触的机会。

特异性 一种抗原只能与相应的抗体或淋巴细胞结合，如伤寒杆菌的抗原只能与伤寒杆菌抗体结合，而不能与痢疾杆菌抗体结合。这种特异性取决于抗原表面具有的抗原决定簇。

成熟淋巴细胞的质膜上存在着一些结构特异的蛋白质，称为抗原识别受体。不同的淋巴细胞表面带有不同的抗原识别受体，每种抗原识别受体都能特异性地识别抗原决定簇，所以每一种淋巴细胞只能识别与结合一种抗原决定簇。这种识别像锁和钥匙一样精确，所以淋巴细胞参与的免疫反应是特异性的（图 4-5）。

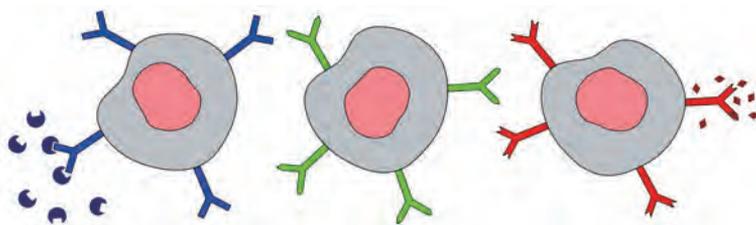


图 4-5 不同淋巴细胞识别不同抗原示意图

在特异性免疫过程中，有的抗原通过体液中相应抗体的作用被清除，完成体液免疫；有的抗原则通过特定免疫细胞的作用被清除，完成细胞免疫。

三、免疫调节的结构与物质基础

免疫调节功能的完成需要特定的细胞和器官等参与。经过近百年的努力，人们对参与非特异性免疫和特异性免疫的器官、细胞及分子都有了深入的了解。



经典再现

免疫细胞、免疫器官的发现及作用

18 世纪至 20 世纪中叶为经典免疫学时期。这一时期，人们对免疫功能的认识由对人体现象的观察阶段进入通过科学实验进行探究的阶段，并取得了许多重要成果。

[资料 1] 鸟类泄殖腔的背侧有一个特殊的腺体，称为腔上囊（bursa of Fabricius），囊壁的黏膜层富含淋巴细胞。1957 年，美国人格利克（B. Glick）发现切除鸡的腔上囊后，会导致抗体产生缺陷，遂将此类淋巴细胞称为 B 淋巴细胞。1961 年，澳大利亚免疫学家米勒（J. Miller）通过观察切除胸腺的新生期小鼠，美国免疫学家古德（R. Good）通过观察一名先天性胸腺缺陷的新生儿，都发现了外周血和淋巴器官中淋巴细胞数量减少，免疫功能产生明显缺陷的现象，因此将依赖于胸腺（thymus）发育的淋巴细胞称为 T 淋巴细胞。1965 年，古德和美国免疫学家库珀（M.

Cooper) 等在《自然》杂志发表文章, 揭示了两种淋巴细胞的存在。

1974 年, 库珀等以孕期第 14 天小鼠胚胎的肝为材料进行细胞培养, 得到了 B 淋巴细胞。与此同时, 澳大利亚医学家诺萨尔 (G. Nossal) 和瑞士学者瓦萨利 (P. Vassalli) 用小鼠骨髓 (bone marrow) 细胞也得到了类似的结果。至此科学家们发现, 在哺乳动物体内, 造血组织担负了类似鸟类腔上囊的功能。

[资料 2] 1966 年, 库珀和同事分别利用射线处理、切除腔上囊和胸腺等方法进行实验, 阐明了由这两种器官产生的淋巴细胞所具有的不同功能。为了研究免疫系统的组成及淋巴细胞的起源、分化与作用, 也有其他科学家做了大量卓有成效的实验。图 4-6 是综合了科学家所做部分免疫实验的示意图 (图中黑色箭头与红色箭头分别为两组不同的实验处理)。

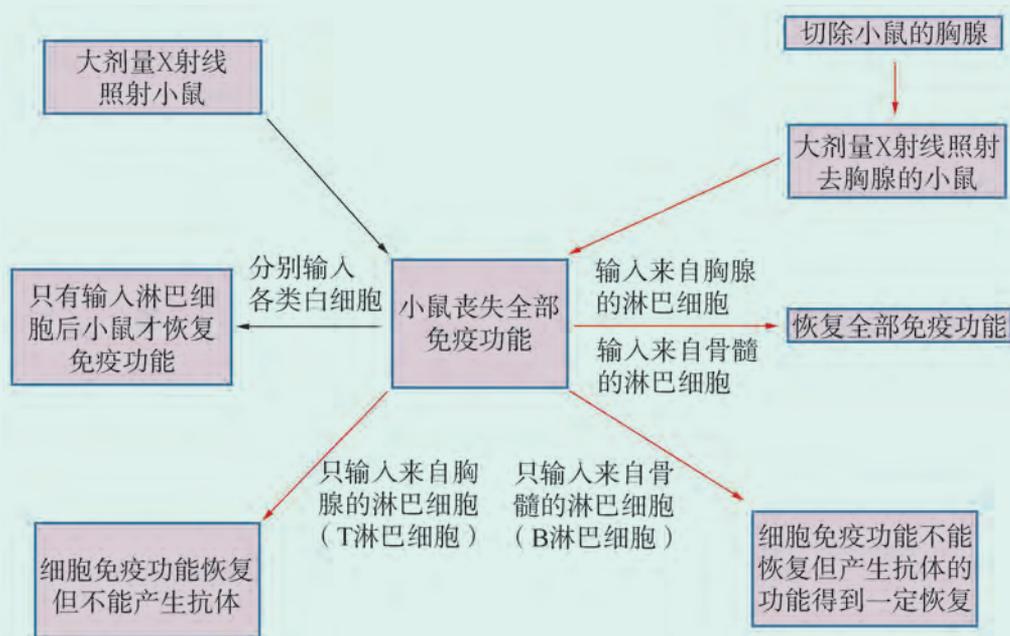


图 4-6 免疫实验示意图

分析讨论

1. 根据资料 1 分析, 哪些器官、细胞、物质参与了免疫?
2. 资料 2 中, 去除小鼠胸腺后用 X 射线照射小鼠, 可检验什么科学假设? 输入不同类型的淋巴细胞, 小鼠的免疫功能得到不同程度的恢复, 请分析相应类型淋巴细胞的功能。
3. 为什么只回输 B 淋巴细胞, 产生抗体的能力仅有部分恢复? 而同时回输 T、B 淋巴细胞后, 免疫功能可以全部恢复?

人体的免疫器官中, 胸腺和骨髓属于中枢免疫器官, 是免疫细胞发生、分化、成熟的场所, 其中骨髓是所有免疫细胞的“发源地”, 也是 B 淋巴细胞分化、成熟的场所;

胸腺是 T 淋巴细胞分化、成熟的场所。扁桃体、淋巴结、脾、黏膜相关淋巴组织等是免疫细胞定居、增殖的场所，也是发生免疫反应的主要场所，属于外周免疫器官。

淋巴细胞是最主要的免疫细胞，起源于骨髓中的造血干细胞（图 4-7）。其中 B 淋巴细胞产生抗体，主要参与体液免疫。T 淋巴细胞产生淋巴因子，如白细胞介素、干扰素等，主要参与细胞免疫；同时，T 淋巴细胞还能辅助 B 淋巴细胞完成体液免疫。除淋巴细胞外，吞噬细胞也是一大类重要的免疫细胞。吞噬细胞分布很广，主要集中于免疫器官中。

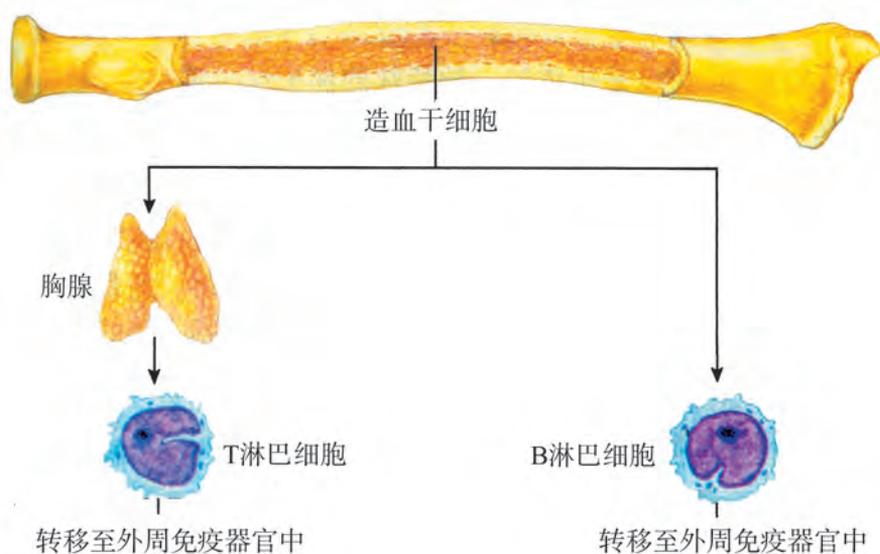


图 4-7 免疫细胞的起源与分化示意图

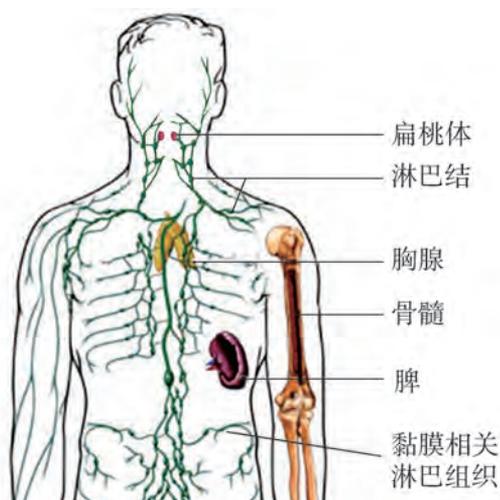


图 4-8 人体免疫系统示意图

抗体、淋巴因子、溶菌酶等都属于免疫活性物质，都是由免疫细胞等产生的发挥免疫作用的物质。

免疫细胞、免疫器官和免疫活性物质通过血液循环及淋巴循环互相联系，共同构成了人体的免疫系统（图 4-8）。

人体通过免疫系统进行的非特异性免疫和特异性免疫，起到了免疫防御、免疫监视和免疫自稳的作用：免疫防御可防止外界病原体的入侵，清除已入侵的病原体及其他有害物质；免疫监视能随时发现和清除体内出现的衰老、凋亡及癌变的细胞；免疫自稳可以通过一定的调节机制来达到免疫系统内环境的稳定。

学业检测

1. 人体大面积烧伤时，若护理不当，易发生感染而引起严重后果，其最可能的原因是（ ）。

- A. 体液大量丧失
- B. 非特异性免疫减弱
- C. 特异性免疫减弱
- D. 营养物质不能及时补充

2. 甲型 H1N1 流感为急性呼吸道传染病，其病原体是一种新型流感病毒。为有效应对甲型 H1N1 流感疫情，我国经研制、生产、临床试验、审批，在 2009 年 9 月成为世界上第一个可以应用甲型 H1N1 流感疫苗的国家。

(1) 甲型 H1N1 流感病毒的抗原成分是什么？

(2) 人注射普通流感疫苗不能有效预防甲型 H1N1 流感，这说明甲型 H1N1 流感病毒和普通流感病毒具有不同的（ ）。

- A. 侵染部位
- B. 致病机理
- C. 抗原决定簇
- D. 传播途径

(3) 为预防可能发生的甲型 H1N1 流感，可以提前注射甲型 H1N1 流感疫苗。而人被猫、狗咬伤后一般在接种狂犬病疫苗的同时，还要注射狂犬病免疫球蛋白，为什么要这样做？

3. 为了探究某种复方中草药对急性细菌性乳腺炎的疗效是否与机体免疫功能增强有关，研究小组将细菌性乳腺炎模型小鼠随机分为实验组（中草药灌胃）、空白对照组（蒸馏水灌胃）和阳性对照组（免疫增强剂 A 灌胃），并检测免疫指标。

(1) 经检测，实验组小鼠吞噬细胞的吞噬能力显著高于阳性对照组，极显著高于空白对照组。这一结果说明了什么？

(2) 实验组小鼠的 T 淋巴细胞含量显著高于空白对照组，与阳性对照组相近。这一结果说明了什么？

(3) 中草药源自天然，价格低廉，历史上对中华民族的健康发展起过重要作用，被视为我国的民族瑰宝。但中草药的成分非常复杂，作用原理也各不相同，其中许多具体机制还处于被现代医学认识并接纳的进程之中。若有人认为该复方中草药可用于治疗急性细菌性乳腺炎是因为含有抑制细菌繁殖的有效成分，你如何设计实验来探究这一观点是否正确？

第二节 体液免疫主要通过产生特异性抗体发挥效应

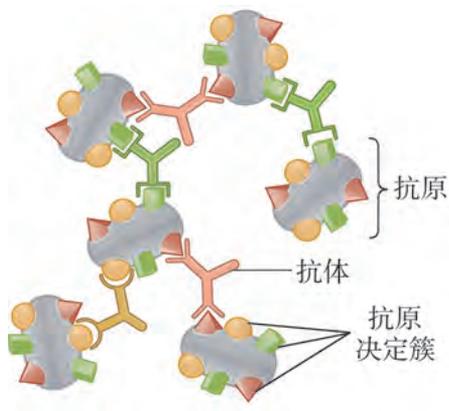


图 4-9 抗体与抗原的特异性结合示意图

人体在抵御外来入侵的抗原时，设置了多道防线。其中淋巴细胞等构成的第三道防线分工把守，可四处巡查，一旦发现“入侵者”就投入战斗。有的淋巴细胞就是一个制造抗体的微型工厂，这些抗体像一面面旗子插在抗原上，无论抗原出现在身体的哪个部位，一旦插上这面旗子，就要被清除（图 4-9）。这种免疫方式与哪些细胞有关？又是怎样发挥免疫效应的呢？

一、体液免疫是主要由 B 淋巴细胞参与的特异性免疫

抗原进入机体后诱导相应的 B 淋巴细胞增殖并分化，产生特异性抗体，发挥免疫效应。由于抗体主要存在于血浆、淋巴和组织液等体液中，故此过程称为体液免疫。

体液免疫过程可分为感应阶段、增殖分化阶段和效应阶段 3 个紧密相连、不可分割的阶段（图 4-10）。

感应阶段 即免疫细胞接受抗原刺激，对抗原进行识别与呈递的阶段。对于多数抗原来说，突破第一道防线侵入机体后，首先经过吞噬细胞的吞噬、加工和处理，将其特有的抗原决定簇暴露出来，呈递给 T 淋巴细胞，刺激 T 淋巴细胞产生淋巴因子，淋巴因子可促进 B 淋巴细胞的增殖、分化。

少数抗原可直接作用于 B 淋巴细胞，被 B 淋巴细胞识别，从而直接激活 B 淋巴细胞。

增殖分化阶段 即 B 淋巴细胞经抗原刺激后增殖和分化的阶段。B 淋巴细胞接受抗原刺激后，在 T 淋巴细胞分泌的淋巴因子的作用下，进入快速增殖期，经过增殖和分化，最终在体内形成大量效应 B 淋巴细胞（也称浆细胞）以及少量记忆 B 淋巴细胞。效应 B 淋巴细胞不再增殖，寿命较短。效应 B 淋巴细胞富含粗面内质网，主要功能是合成及分泌大量特异性抗体。

在体液免疫中，抗体能特异性识别并结合抗原，是攻击病原体的主要武器。

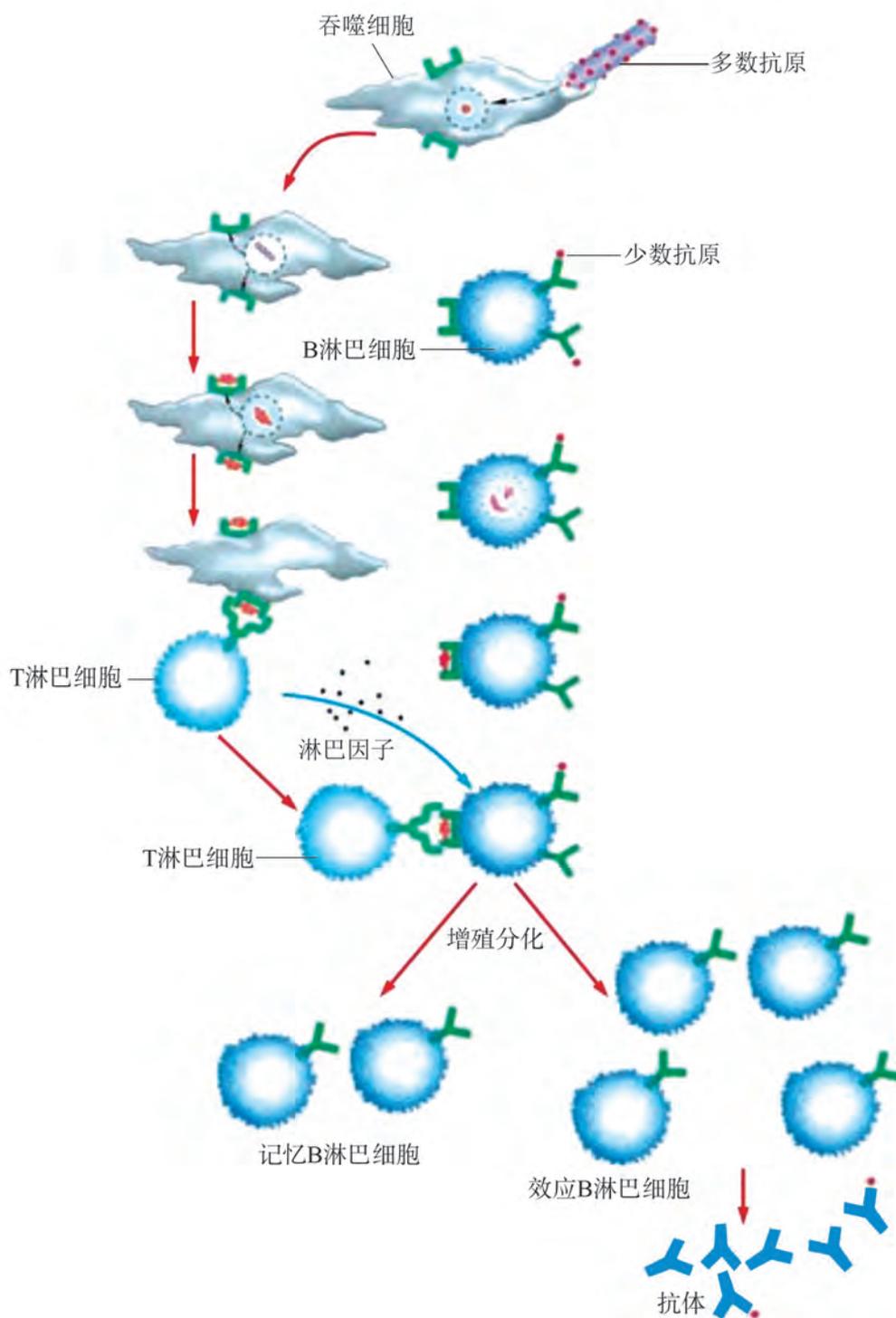


图 4-10 体液免疫过程示意图

效应阶段 即抗体发挥作用的阶段。这一阶段抗体与抗原特异性结合，发挥免疫效应。有的抗体与某些抗原（如病毒的抗原）结合，从而使病原体失去同宿主细胞表面受体结合的能力，因而不能侵入和破坏细胞。有的抗体能够中和某些病原体产生的毒素（如破伤风毒素），使之丧失

毒性，这种抗体也称为抗毒素。多数情况下，如果抗原是可溶性蛋白质，抗体的结合就使抗原失去溶解性而沉淀；如果抗原位于质膜上，抗体的结合会使这些细胞凝集成团而失去活动能力，因而更易被吞噬细胞吞噬。

二、免疫接种主要与体液免疫有关



图 4-11 詹纳接种牛痘雕像

天花是由天花病毒造成的一种烈性传染病，仅 18 世纪就曾造成欧洲 1.5 亿人死亡。我国明代就已有接种“人痘”预防天花的尝试，但接种“人痘”有一定的危险性。18 世纪末，英国医生詹纳（E. Jenner）发明了接种“牛痘”预防天花的方法，从此天花的流行逐渐得到遏制（图 4-11）。1979 年，联合国世界卫生组织宣布全世界均已消灭天花，天花成为第一个被彻底消灭的传染病。在与传染病做斗争的过程中，人类还制备了许多种疫苗，用于预防各种传染病。

免疫学发展的初期主要是抗感染免疫，病原体的发现和疫苗的研制推动了免疫学的发展。疫苗是将病原体及其代谢产物经过人工减毒、灭活或利用基因工程等方法制成的用于预防传染病的自动免疫制剂。



资料探究

免疫接种

免疫接种是用人工方法将抗原输入到机体内，使机体获得预防某种传染病的能力。20 世纪 70 年代中期开始，我国在全国范围内实行计划免疫。计划免疫是指按照规定的免疫程序，有计划、有组织地利用疫苗进行免疫接种，以提高人群的免疫水平，达到预防、控制乃至最终消灭相应传染病的目的。

[资料] 随着科技进步和国力提升，我国计划免疫工作的主要内容也在不断调整。2016 年，中国疾病预防控制中心免疫规划中心发布了新的疫苗免疫程序（表 4-1），各省、自治区、直辖市可根据地区实际情况和疫情制订实施方案，报国家卫计委审批备案。

分析讨论

1. 你曾经接种过哪些疫苗？分别是预防什么疾病的？
2. 为什么某种疫苗只能针对某种特定的传染病？
3. 为什么有些疫苗需要强化重复接种？

表 4-1 国家免疫规划疫苗儿童免疫程序表（2016 年版）

疫苗种类	接种年（月）龄														
	出生时	1月	2月	3月	4月	5月	6月	8月	9月	18月	2岁	3岁	4岁	5岁	6岁
乙肝疫苗	1	2					3								
卡介苗	1														
脊灰灭活疫苗			1												
脊灰减毒活疫苗				1	2								3		
百白破疫苗				1	2	3				4					
白破疫苗															1
麻疹疫苗								1							
麻腮风疫苗										1					
乙脑减毒活疫苗 或乙脑灭活疫苗 ¹								1			2				
								1、2			3				4
A群流脑多糖疫苗							1		2						
A群C群流脑多糖疫苗												1			2
甲肝减毒活疫苗 或甲肝灭活疫苗 ²										1					
										1	2				

说明：1. 选择乙脑减毒活疫苗接种时，采用两剂次接种程序。选择乙脑灭活疫苗接种时，采用四剂次接种程序；乙脑灭活疫苗第 1、2 剂间隔 7~10 天。

2. 选择甲肝减毒活疫苗接种时，采用一剂次接种程序。选择甲肝灭活疫苗接种时，采用两剂次接种程序。

阅读空间

结核病与卡介苗

结核病是由结核杆菌感染引起的慢性消耗性传染病。结核杆菌随空气、飞沫传播，能够侵入人体全身各种器官，但主要侵染肺。历史上，结核病曾与天花、鼠疫和霍乱等传染病一样，在世界范围内广为流行。

结核杆菌是结核病的病原体，最初由德国微生物学家科赫发现。法国免疫学家卡尔梅特和介朗于 1921 年发明了针对结核病的疫苗，后人为了纪念二人的贡献，将其命名为卡介苗。卡介苗是由减毒牛型结核杆菌悬浮液制成的活菌苗，是目前全球范围内公认的唯一可以预防结核病的疫苗。卡介苗具有增强巨噬细胞活性、活化淋巴细胞、增强机体细胞免疫的功能。婴儿一出生就应该接种卡介苗，后者因此被称为“出生第一针”。1943 年，美国微生物学家瓦克斯曼从链霉菌中析离得到链霉素，这是继青霉素后第二个生产并应用于临床的抗生素。链霉素抗结核杆菌的特效作用，使结核病得到极大的控制。

20 世纪 90 年代以来，全球流动人口增加、很多国家忽视防治工作等原因造成结核病再度在全球范围内流行。为预防结核病，我们应该养成良好的生活习惯：避免与结核病患者亲密接触；加强体育锻炼，提高免疫力；保持规律作息，注意个人卫生；不随地吐痰，咳嗽或者打喷嚏时遮掩口鼻等。

抗原初次侵入机体所引发的免疫反应称为初次应答。在初次应答的晚期，随着抗原被清除，多数效应 T 淋巴细胞和效应 B 淋巴细胞死亡。记忆 B 淋巴细胞寿命长，对抗原十分敏感，能“记住”入侵的抗原，如果遇到相同的抗原再次入侵时，会迅速增殖、分化，形成大量效应 B 淋巴细胞，继而产生更强的特异性免疫反应，即再次应答（图 4-12）。再次应答比初次应答反应快而强，能在抗原侵入的初期、尚未为患之前将它们清除。再次应答的效应可持续存在数月至数年，故在很多情况下，机体一旦被病原体感染，可在相当长时间内具有防御该病原体的免疫力，所以成年人比婴幼儿患传染病的机会少。预防接种就是根据这一原理，使人体产生针对相应抗原的记忆细胞，从而产生长期有效的抗感染能力。

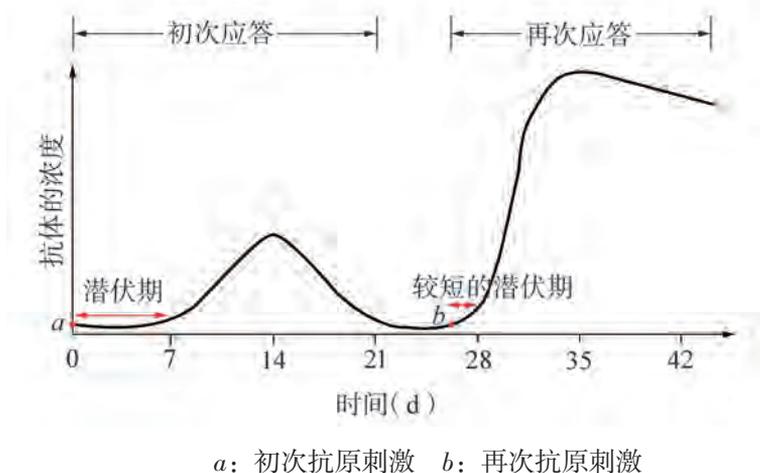


图 4-12 体液免疫的初次应答和再次应答示意图

体液免疫主要由 B 淋巴细胞参与，在 T 淋巴细胞的辅助下完成，依靠效应 B 淋巴细胞产生特异性抗体清除抗原。通过体液免疫，机体可清除入侵的病原体及其产生的有害物质，维持机体的稳态。儿童和青少年要注意营养全面均衡，积极锻炼身体，并进行预防接种，才能提高抗病能力，保证身体健康。

学业检测

1. 鸡霍乱病原菌易致鸡死亡。1880年,巴斯德用久置的鸡霍乱病原菌对鸡群进行注射,结果发现鸡全部存活。再次培养新鲜病原菌,并扩大鸡的注射范围,结果仅有部分鸡存活。进一步调查发现,存活鸡均接受过第一次注射。根据巴斯德的实验可以判断()。

- A. 第一次注射后,所用的鸡霍乱病原菌相当于抗体
- B. 第一次注射后,鸡霍乱病原菌诱导存活鸡产生了抗性变异
- C. 第二次注射后,存活鸡体内相应记忆淋巴细胞参与了免疫反应
- D. 第二次注射后,死亡鸡体内没有发生特异性免疫反应

2. 全世界每年被毒蛇咬伤的人数超过30万,死亡率约10%。蛇毒的成分复杂,主要是具有酶活性的蛋白质或相对分子质量较小的多肽。被毒蛇咬伤后要及时采取急救措施,对伤口进行清创并进行解毒治疗,其中最有效的是注射相应的蛇毒抗毒素血清。

(1) 在制备蛇毒抗毒素血清时,需要将灭毒的蛇毒液注入家兔体内引起免疫反应,参与这一免疫反应的细胞有哪些?

(2) 为什么将灭毒的蛇毒液注入家兔体内能制备蛇毒抗毒素血清?

(3) 分析血清为什么会有治疗作用,其中的有效成分蛇毒抗毒素是什么物质?为什么治疗时要用相应的蛇毒抗毒素血清?

3. 幽门螺杆菌是目前所知唯一的能够在人胃中长期生存的微生物种类。幽门螺杆菌病包括由幽门螺杆菌感染引起的胃炎、消化道溃疡、淋巴增生性胃淋巴瘤等,其不良预后是胃癌。请分析回答:

(1) 为什么几乎所有微生物都不能在人的胃中长期存活?

(2) 研究发现,幽门螺杆菌感染可使患胃癌的危险增加2.7~12.0倍。某高校研发的重组幽门螺杆菌疫苗,对该菌引发的胃炎等疾病具有较好的预防效果。实验证明,一定时间内间隔口服该疫苗3次较1次或2次效果好,请用所学知识解释主要原因。

4. 病毒甲通过呼吸道感染动物乙后,可引起动物乙的B淋巴细胞破裂、T淋巴细胞功能丧失,导致其患肿瘤病。患病动物更易被其他病原体感染。制备抗病毒甲的疫苗,给新生的乙种动物个体接种,可预防该肿瘤病。请分析回答下列问题:

(1) 感染病毒甲后,患病的动物乙更易被其他病原体感染的原因是什么?

(2) 新生的乙种动物个体接种该疫苗后,疫苗是如何发挥免疫效应的?

(3) 灭活病毒疫苗与活疫苗相比,免疫原性即引起机体产生特异性免疫反应的能力一般会有所降低,如何对新生乙种动物个体进行免疫,才能达到良好的效果?当乙种动物个体接种该疫苗后,在感染病毒甲时,会发生什么样的免疫反应?

第三节 细胞免疫主要通过产生效应 T 淋巴细胞发挥效应

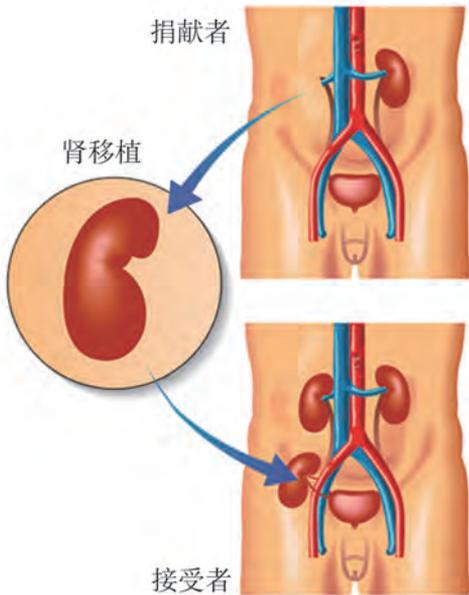


图 4-13 器官移植示意图

据《列子·汤问》记载：名医扁鹊曾用“毒酒”将鲁公扈、赵齐婴两人“迷死三日”，给他们做“剖胸探心”手术。在 2500 年前，这种手术的实施当然绝无可能。1954 年，美国医生默里（J. Murray）第一次成功实施同卵双生兄弟间的肾移植，这是移植医学史上首个长期存活的病例（图 4-13）。现在人类已能移植除人脑外几乎所有的重要组织和器官。对某些器官衰竭患者来说，器官移植是延续生命的唯一希望，但即使移植同种生物体的器官，免疫排斥反应也是器官移植术后常见且最关键的临床问题。移植的器官为什么会被排斥呢？这与免疫有什么关系？

一、移植与 T 淋巴细胞密切相关

移植是指将某个体的正常细胞、组织或器官用手术或其他方法，导入自体或另一个体的某一部位，以替代已经丧失功能部位的技术。移植作为近代医学最伟大的成就之一，促进了现代医学的进步，使临床诊断及治疗水平达到新的高度。



经典再现

小鼠皮肤移植实验

近交系小鼠是采用双亲相同的小鼠交配或亲子交配连续繁殖 20 代以上并筛选获得的，可以认为都是纯种。1953 年，英国生物学家梅达沃（P. Medawar）等用近交系小鼠进行了皮肤移植实验（图 4-14）。1960 年，梅达沃因在免疫学研究方面取得的杰出成就获得诺贝尔生理学或医学奖。

[资料 1] 将 A 系小鼠的背部皮肤移植到 B 系小鼠的背部，在开始几天内 B 系小鼠的血管长入移植的皮肤内，但 10 天后，移植的皮肤坏死、脱落，发生初次免疫排斥反应。如给已发生初次免疫排斥反应的 B 系小鼠再次移植同一 A 系小鼠的皮肤，则在移植后的第 3 天就出现了强度大于第一次的再次免疫排斥反应。

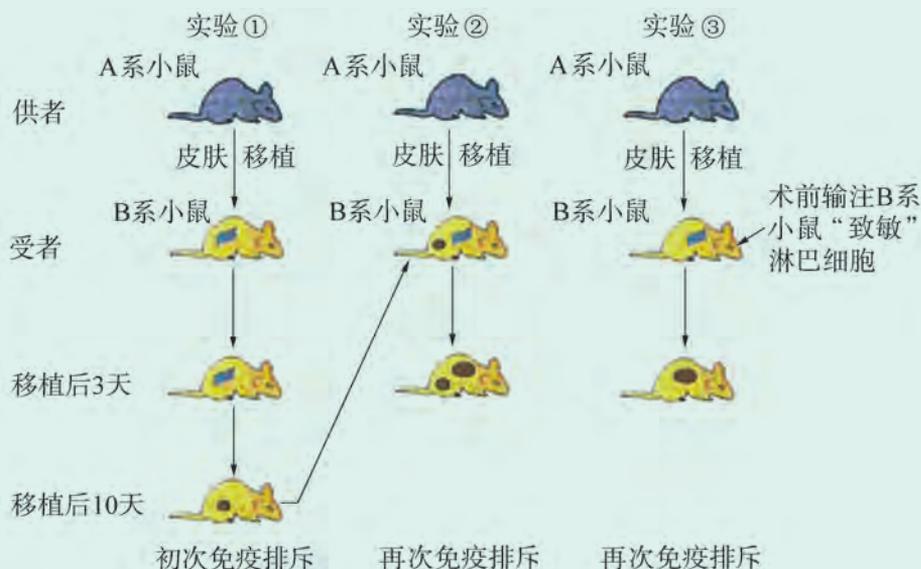


图 4-14 小鼠皮肤移植实验示意图

[资料 2] 取接受过 A 系小鼠皮肤移植的 B 系小鼠的淋巴细胞，输注给未接受过 A 系小鼠皮肤移植的 B 系小鼠，则 B 系小鼠初次接受 A 系小鼠皮肤移植即直接发生强烈的再次免疫排斥反应。

分析讨论

1. 为什么再次免疫排斥反应比初次免疫排斥反应快而强？
2. 若给已发生初次免疫排斥反应的 B 系小鼠移植 C 系小鼠的皮肤，B 系小鼠会发生什么反应？为什么？
3. 实验③中，为什么 B 系小鼠初次接受 A 系小鼠皮肤移植即直接发生再次免疫排斥反应？你认为实验③中输注的是哪种淋巴细胞？
4. 1961 年，澳大利亚的米勒做了一个实验，将新生小鼠的胸腺摘除，等到该小鼠长大后向其移植另一品系小鼠的皮肤。你预测会有什么实验结果？

异体器官能否移植成功，关键是供体与受体的组织是否相容。亲缘关系越近，相容性程度就越高，移植成功率也就越高，若组织不相容则产生免疫排斥反应。引起免疫排斥反应的抗原称为组织相容性抗原（histocompatibility antigen），通常把引起急而快免疫排斥反应的抗原称为主要组织相容性抗原（major histocompatibility antigen, MHA），它在免疫排斥反应的发生中起主要作用。人类的主要组织相容性抗原分布在所有有核细胞表面，是质膜上的一种跨膜蛋白，由于该抗原首先在白细胞表面被发现，故称为人白细胞抗原（human leukocyte antigen, HLA）。人的 T 淋巴

细胞表面有识别 HLA 的受体，当异体器官移植时，就能识别异体细胞的 HLA，并与之结合，直接杀伤外来细胞，产生免疫排斥反应。HLA 异常复杂，其种类可超过 200 万种。除非是同卵双胞胎，否则极难找到 HLA 完全相同的供受者，所以移植后必然发生免疫排斥反应。器官移植患者因此需要长期服用免疫抑制药物。

骨髓移植其实就是造血干细胞移植，是器官移植的一种，也是目前唯一经过国家批准而且技术成熟的干细胞移植。

二、细胞免疫是主要由 T 淋巴细胞参与的特异性免疫

数量众多的人体细胞在生存过程中，有一些细胞不可避免地会被抗原侵入。抗原如果侵入细胞内，存在于内环境中的抗体就无能为力了。这就需要另一支“作战部队”——T 淋巴细胞发挥细胞免疫效应。

细胞免疫过程也分为 3 个阶段。

感应阶段 即抗原识别和呈递阶段。抗原进入机体后，大多数抗原需要先经过吞噬细胞的吞噬、加工和处理，将抗原决定簇呈递给 T 淋巴细胞（图 4-15）。

少数抗原如病毒或某些其他微生物抗原会侵入细胞内部，对细胞造成感染，这些被感染的细胞称为靶细胞。经靶细胞加工、处理后，抗原的抗原决定簇会呈现在靶细胞表面，与相应的 T 淋巴细胞抗原识别受体结合，被 T 淋巴细胞识别（图 4-16）。

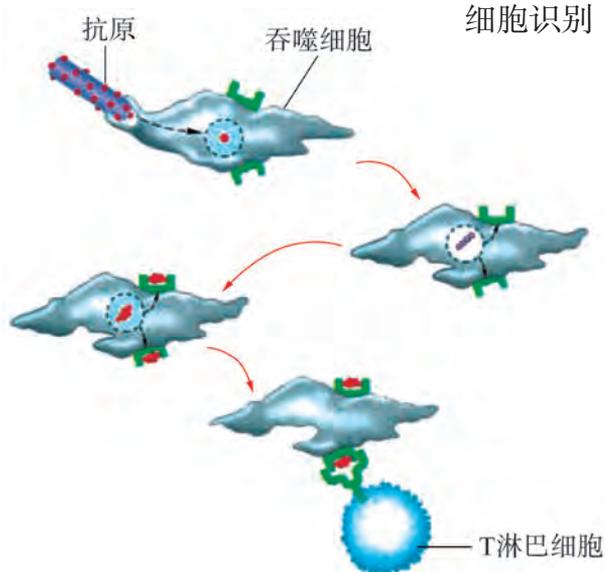


图 4-15 吞噬细胞呈递抗原示意图

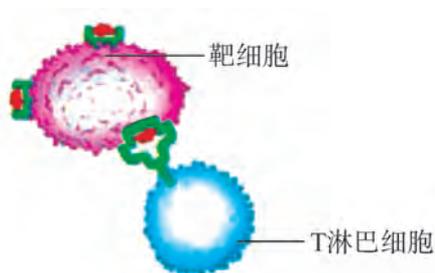


图 4-16 靶细胞呈递抗原示意图

增殖分化阶段 T 淋巴细胞接受抗原刺激后，开始进行一系列增殖、分化，产生大量效应 T 淋巴细胞和少量记忆 T 淋巴细胞（图 4-17）。

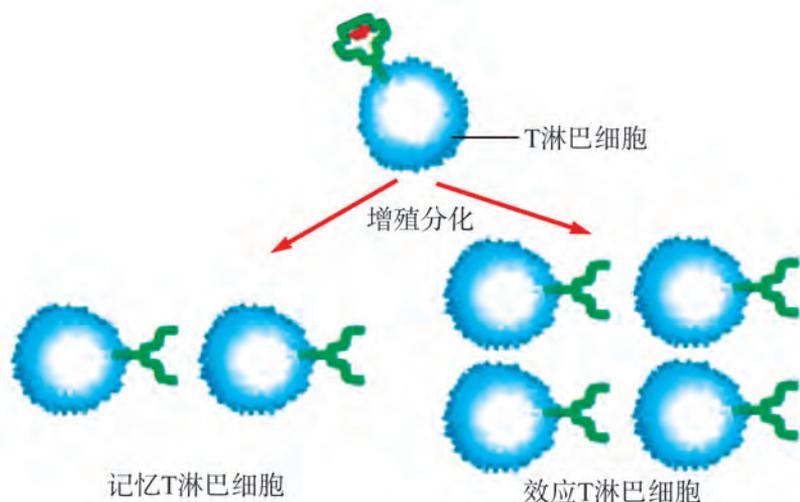


图 4-17 T 淋巴细胞的增殖分化示意图

效应阶段 抗原经吞噬细胞呈递后产生的效应 T 淋巴细胞能分泌淋巴因子，可作用于多种免疫细胞，对它们的免疫功能有调节作用。

抗原经靶细胞呈递后产生的效应 T 淋巴细胞与靶细胞特异性识别并结合，分泌一种称为穿孔素的蛋白质作用于靶细胞表面，导致靶细胞的质膜通透性增加，使其他杀伤性物质进入靶细胞发挥杀伤作用，同时激活靶细胞内的溶酶体释放水解酶，最终使靶细胞裂解死亡（图 4-18）。

靶细胞内的病毒等失去了藏身之地，抗原暴露出来，从而易与抗体结合，最终被清除掉。杀伤一个靶细胞后，效应 T 淋巴细胞结构并无损伤，还可继续攻击另一靶细胞。

记忆 T 淋巴细胞可长期存在于机体内，一旦再次遇到相同的特异性抗原，将迅速进入活化状态并大量增殖、分化，产生更多的效应 T 淋巴细胞，从而产生更为迅速、强烈和有效的再次应答。

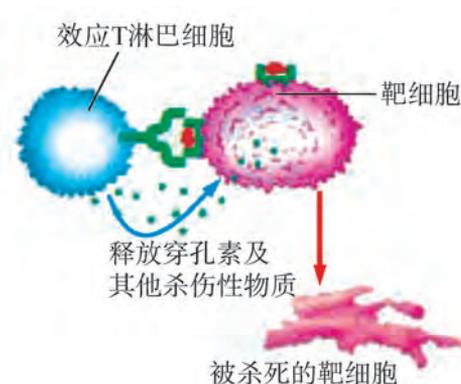


图 4-18 细胞免疫的效应阶段示意图

思维训练

免疫细胞的比较

表格归纳法是用表格的方式将所学的复杂内容简单化、系统化。这种方法不仅便于理解、记忆，而且也能培养独立思考、归纳总结的能力。下表是体液免疫和细胞免疫过程中各种免疫细胞的归纳与比较，请根据所学知识填写。

免疫细胞种类	来源	功能	能否识别抗原	能否特异性识别抗原
吞噬细胞				
B 淋巴细胞				
T 淋巴细胞				
效应 B 淋巴细胞				
效应 T 淋巴细胞				
记忆 B 淋巴细胞				
记忆 T 淋巴细胞				

体液免疫与细胞免疫，既有各自独特的作用，又可相互配合、相互影响，共同发挥免疫效应。体液免疫主要针对细胞外的病原体及其产生的有毒物质，对于胞内寄生的病原体，侵入机体后由体液免疫先起作用，阻止病原体进一步侵染。当病原体进入细胞后，需要通过细胞免疫的作用将抗原释放，最后再由体液免疫清除这些病原体。即细胞免疫主要针对细胞内寄生病原体如胞内寄生细菌、病毒等的感染。另外，体液免疫反应的产生也需要细胞免疫的辅助。免疫系统通过防御、监视和自稳功能，实现了机体的稳态。

学业检测

1. 研究发现，脾能通过多种机制发挥抗肿瘤作用，脾切除会导致细胞免疫和体液免疫功

能紊乱，影响抗肿瘤作用的发挥。

科研人员为研究脾中某种免疫细胞（简称 M 细胞）在免疫应答中的作用，开展了如下实验：

组别	处理方式	检测结果
实验组	用肺癌细胞抗原处理 M 细胞后，分离出 M 细胞与 T 淋巴细胞混合培养，再分离出 T 淋巴细胞与肺癌细胞混合培养	部分 T 淋巴细胞能杀伤肺癌细胞
对照组	未经处理的 T 淋巴细胞与肺癌细胞混合培养	T 淋巴细胞均不能杀伤肺癌细胞

(1) 根据实验结果分析，M 细胞的种类应该是 _____，其作用是 _____。

(2) 实验组再分离出的 T 淋巴细胞与原来的 T 淋巴细胞有什么不同？混合培养的产物还应含有什么？

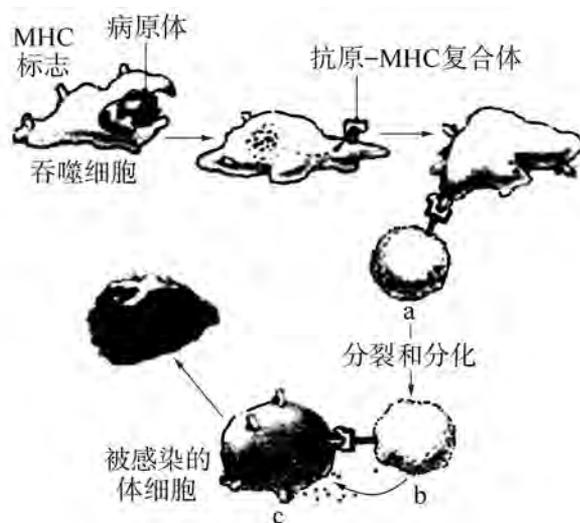
2. 英国科学家发明了一种名为“我的皮肤”的生物活性绷带。其原理是先采集一些细胞样本，让其在特殊的膜片上增殖；5~7 天后，将膜片敷在患者的伤口上，膜片会将细胞逐渐“释放”到伤口中，并促进新生皮肤层生长，达到促使伤口愈合的目的。

(1) 种植在膜片上的细胞样本最好选自什么个体？

(2) “我的皮肤”的成活与人体免疫有关吗？

(3) 膜片能否把细胞顺利“释放”到伤口中与患者自身皮肤愈合，取决于质膜中的哪种特异性分子？

3. 主要组织相容性复合体 (MHC) 是一组存在于各种脊椎动物某对染色体特定区域的基因。MHC 编码的基因产物为主要组织相容性抗原 (MHA)。MHC 标志是每一个人特有的身份标签。MHC 分子具有参与对抗原处理、诱导自身或同种淋巴细胞反应等作用。除了同卵双胞胎，没有两个人具有相同的 MHC 标志。右图所示为某种特异性免疫过程的示意图。请回答：



(1) 从图示判断该免疫过程属于哪种免疫方式？图中的 a、b 细胞分别是什么细胞？

(2) 当同种病原体再次感染人体时，能快速产生大量 b 细胞的原因是什么？

(3) 若用大剂量的射线杀死 a 细胞，对机体免疫会造成什么影响？

第四节 免疫功能异常引发的疾病



图 4-19 花粉过敏

春暖花开时节，人们纷纷走出家门，在明媚的春光中踏青赏花。可有些人此时不得不带上口罩或躲在家里，因为他们会对花粉、飞絮等过敏而出现鼻痒、打喷嚏、鼻塞等症状（图 4-19）。2005 年，世界过敏反应组织（WAO）联合各国过敏反应机构共同发起对抗过敏性疾病的全球倡议，将每年的 7 月 8 日定为世界过敏性疾病日，意在使人们更加关注这一类疾病，重视其预防和治疗。除了过敏反应，还有哪些免疫功能异常引发的疾病呢？怎样才能减少这类疾病的发生？

一、过敏是一种常见的免疫异常疾病

统计数据显示，全球过敏性疾病发病率达 22%，我国发病率已超过 20%。

凡进入人体后能引起机体发生过敏反应（anaphylaxis）的物质统称为过敏原（allergen）。常见的过敏原有某些食物、花粉、灰尘、昆虫、化妆品、药物、酒精等（图 4-20）。



花粉



海鲜



菌类



药物

图 4-20 多种多样的过敏原

过敏反应的发生与发展均与接触过敏原有关。过敏原经皮肤、黏膜或通过其他途径进入机体后，可诱导产生大量特异性抗体。这些抗体可以持久地吸附在皮肤、呼吸道或消化道黏膜以及血液中某些细胞的表面，从而使这些细胞处于对该过敏原的致敏状态，这些细胞称为致敏靶细胞。当同一过敏原再次进入机体时，就会与吸附在致敏靶细胞上的抗体特异性结合，触发致敏靶细胞释放组织胺等物质，

引起组织器官的平滑肌收缩、毛细血管扩张、血管壁通透性增强和腺体分泌物增多等，从而导致局部或全身性的过敏反应（图 4-21）。由此可见，过敏反应是已免疫的机体再次接受相同过敏原的刺激时所发生的反应。

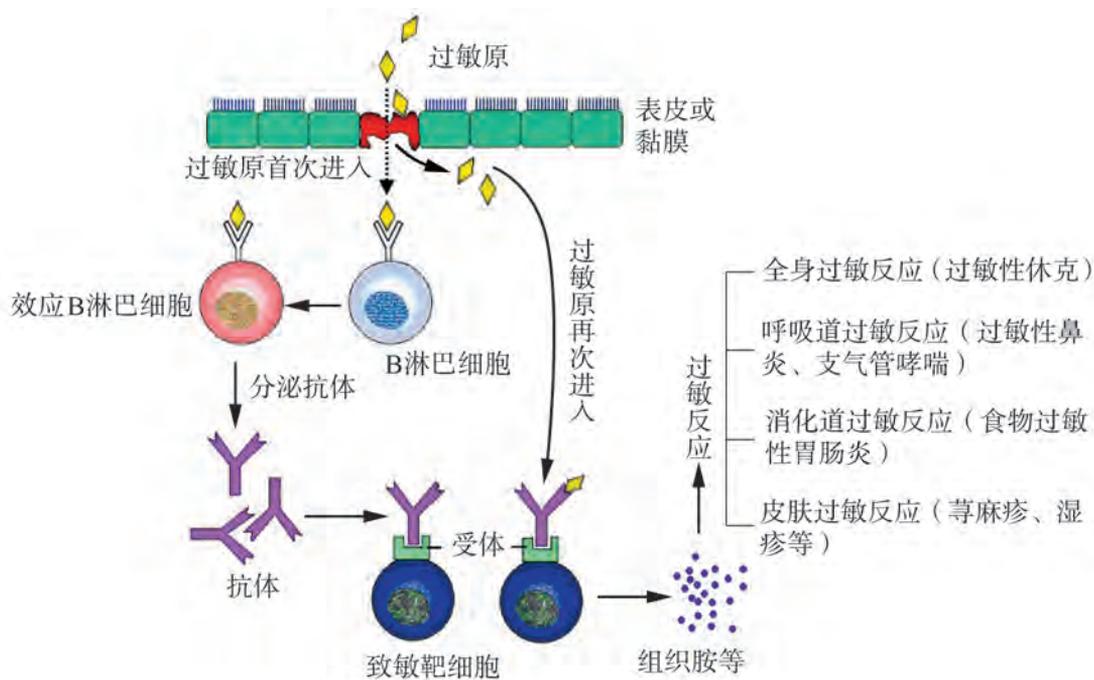


图 4-21 过敏反应原理示意图

过敏反应有明显的遗传倾向和个体差异，会引起生理功能紊乱，但一般不会导致组织细胞严重损伤。过敏反应一般发生快，会在几秒钟至几十分钟内出现症状，而消退也快。青霉素、蜂毒等引起的过敏反应发作迅速、反应强烈，如果不及时治疗可导致死亡。

对于过敏反应，最好的治疗方法就是找出过敏原，尽量避免再次与该过敏原接触。一旦发生过敏反应，应及时去医院诊治。

二、免疫系统攻击正常组织会导致自身免疫病

正常情况下，人体免疫系统可以对抗原发生免疫应答，对自身正常细胞则处于无应答状态。效应 T 淋巴细胞和抗体有利于协助清除衰老、损伤的自身成分，对维持自身稳态具有重要的生理学意义。但在某些特殊情况下，免疫系统失去了分辨自身和外来物质的能力，产生了作用于自身

细胞的抗体或效应 T 淋巴细胞，将其当作入侵的抗原进行攻击。当免疫反应对自身组织和器官造成损伤并出现炎症时，会引起自身免疫病（autoimmune disease）。

风湿性心脏病就是一种自身免疫病。人体感染酿脓链球菌后，免疫反应启动，会产生抗体向病菌发起进攻。这种病菌表面有一种抗原决定簇与心脏瓣膜上一种物质的表面结构十分相似，所以抗体在同病菌结合的同时也会围攻心脏瓣膜。当病菌被消灭、炎症消退时，心脏也受到了损伤，导致风湿性心脏病。

目前，已经发现的人类自身免疫病有 40 多种，除了风湿性心脏病，常见的还有类风湿性关节炎（图 4-22）、系统性红斑狼疮、溶血性贫血等。这些疾病几乎涉及人体所有的组织和器官，占人类疾病总和的 15% 左右。

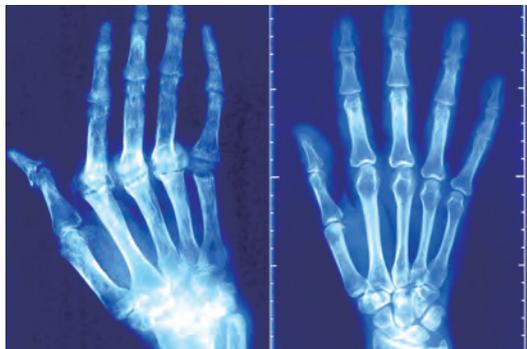


图 4-22 类风湿性关节炎患者（左）和正常人（右）的手部 X 光片

三、免疫缺陷会引发严重疾病

免疫细胞的发育、分化、成熟、执行功能等任一环节发生故障，都可能导致免疫缺陷病的发生。免疫缺陷病是指由于机体免疫功能不足或缺乏所引起的疾病。

由于免疫系统相关遗传基因异常或先天性免疫系统发育障碍引起的、生来就有的免疫缺陷病，称为先天性免疫缺陷病，常见于婴幼儿，如先天性 B 淋巴细胞缺陷、先天性 T 淋巴细胞缺陷、重症联合免疫缺陷（T、B 淋巴细胞均出现发育障碍）、吞噬细胞先天性缺陷等。

由于病毒感染、肿瘤、药物、放射损伤、营养不良等各种后天因素引起的免疫缺陷病，称为获得性免疫缺陷病。获得性免疫缺陷病的典型实例是艾滋病，它对人类健康的威胁极大。



资料探究

艾滋病的传播与发病趋势

1981 年 6 月 5 日，美国亚特兰大市疾病控制中心报告了 5 例病例，这些病人患了一种十分罕见的威胁生命的疾病。后经研究发现，该疾病的病原体是一种 RNA 病毒，研究者将其命名为“人类免疫缺陷病毒”（human immunodeficiency virus, HIV），由其引起的疾病称为“获得性免疫缺陷综合征”，简称为“艾滋病”（acquired immune deficiency syndrome, AIDS）。

[资料 1] 艾滋病的传染性极强，患者和病毒感染者的血液、精液、唾液、泪液、尿液、乳汁中都含有大量艾滋病病毒。它的主要传播途径有性接触传播、血液传播（共用被病毒污染的注射器、输入含有病毒的血液或血液制品）和母婴垂直传播（妊娠、分娩、哺乳）。在中国所有艾滋病病毒感染者中约 15% 为 15 ~ 24 岁的年轻人，且年轻男性的感染率在上升。在我国发现第一例艾滋病患者后的 30 年间，感染者和病人传播途径构成比发生了明显的变化（图 4-23）。



图 4-23 全国艾滋病病毒感染者和病人传播途径构成比变化趋势

[资料 2] 从绝对数来说，中国是艾滋病感染比较严重的国家之一。截至 2017 年 8 月 31 日，我国报告现存活艾滋病病毒感染者 431 583 例，艾滋病病人 306 498 例，报告死亡 226 557 例。

目前，艾滋病有向大学校园渗透的趋势，威胁着青年学生的健康（图 4-24）。截至 2016 年 9 月，学生新增艾滋病病毒感染病例占全国新增总病例的 3.2%，比全人群中发现感染者的概率高出 41%~66%。2011—2016 年有关调查显示，青年学生男性病例集中在 18~22 岁。

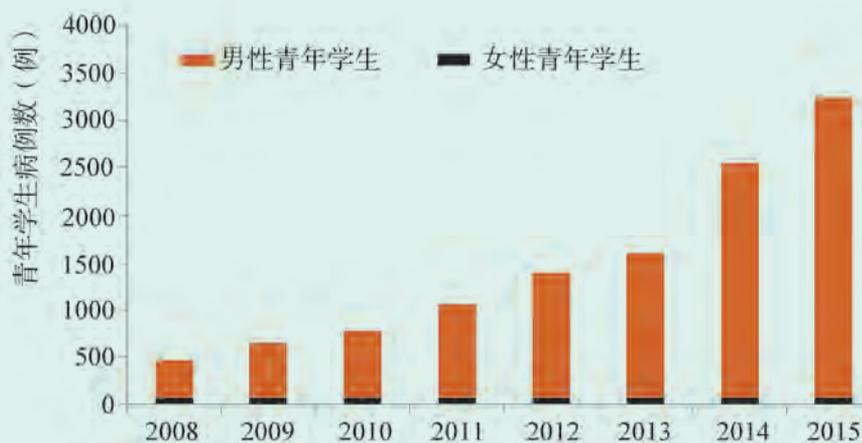


图 4-24 近几年新发现青年学生艾滋病病毒感染者数量

分析讨论

1. 艾滋病的传播速度为什么这么快?
2. 历年传播途径构成比的变化说明了什么?
3. 利用预防性病、艾滋病的基本知识,谈谈如何提高自我保护的意识和能力?

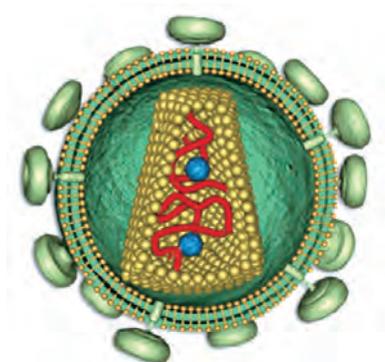


图 4-25 艾滋病病毒结构示意图

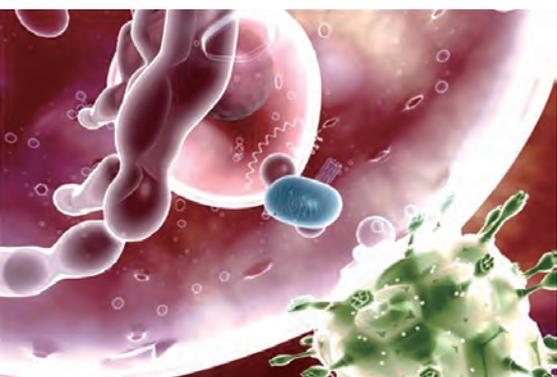


图 4-26 艾滋病病毒(绿色)攻击 T 淋巴细胞

艾滋病病毒(图 4-25)能攻击人体免疫系统,主要特异性地侵犯 T 淋巴细胞,并在 T 淋巴细胞内繁殖,导致 T 淋巴细胞大量死亡,最终使患者几乎丧失一切特异性免疫功能(图 4-26)。这时,各种病原体乘虚而入,哪怕是任何最轻微感染,都会直接危及患者的生命。艾滋病患者大多死于重度感染或恶性肿瘤。

艾滋病病毒的遗传物质突变率高,变异类型多,给疫苗的研制带来困难,人类目前还没有找到治疗艾滋病的有效药物,但是我们仍然可以通过切断传播途径来有效地预防其传播。预防艾滋病的有效方法是:培养健康的生活方式,保持严谨的生活态度。洁身自爱,不吸毒,遵守性道德,不接受被污染血液和血液制品的输入,不接受不洁针头的注射和皮下穿刺,不与他人共用牙刷和剃须刀等。

尽管艾滋病非常可怕,但艾滋病病毒暴露在空气中时很快会死亡,一般不能在人体皮肤上生存,人们不会因为同艾滋病患者或感染者握手、拥抱而被感染。另外,艾滋病病毒在蚊子体内不能存活,叮咬了感染者的蚊子,其口器上的病毒数量远不足以感染它叮咬的下一个人,因此,蚊子叮咬不会传播艾滋病。

阅读空间

鸡尾酒疗法

“鸡尾酒疗法”原指“高效抗逆转录病毒治疗”,由美籍华裔科学家何大一于 1996 年提出,是通过 3 种或 3 种以上的抗病毒药物联合使用来治疗艾滋病。该疗法把蛋白酶抑制剂与多种抗病毒的药混合使用,从而使艾滋病得到有效的控制。该疗法的应用可以降低单一用药产生的抗药性,最大限度地抑制病毒的复制,使被破坏的机体免疫功能部分甚至全部恢复,从而延缓病程进展,延长患者生命,提高患者生活质量。

“鸡尾酒疗法”已成为被国际认可的治疗艾滋病的一种有效方法。目前,这种疗法涉及 6 种药物,大体上有 5 套方案。其中 5 种药物在我国已实现批量生产,并可组成 4 套治疗方案,

基本能满足我国艾滋病患者的治疗需要。这标志着我国用于治疗艾滋病的基本药物已全部实现国产化，并做到了所有艾滋病患者“鸡尾酒疗法”用药免费治疗。

正常情况下，机体通过免疫，能够识别“自己”，排除“异己”，以维持机体的稳态。但在一定条件下，由于多种原因可能会导致免疫反应异常。当免疫反应异常时，免疫系统不但无法行使正常功能，而且还会对机体产生有害的反应，引起某些疾病的发生，严重危害人体的健康。

学业检测

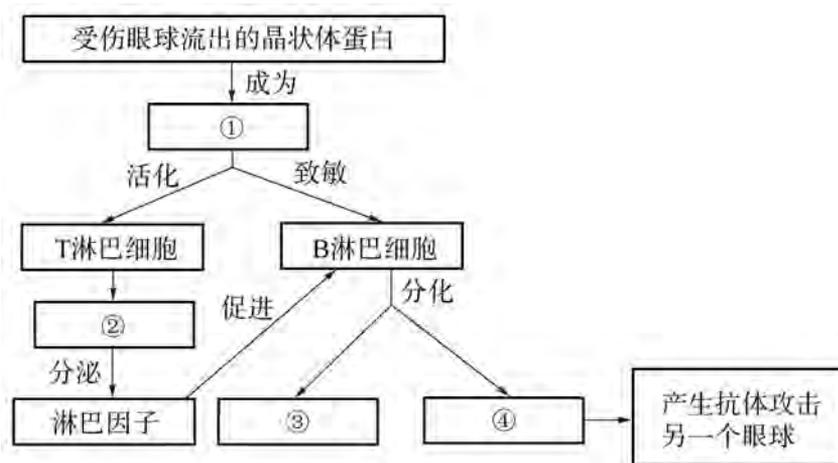
1. 有的人吃了某种海鲜会腹痛、腹泻、呕吐，有的人吸入某种花粉便打喷嚏、鼻塞等，这些都是机体产生过敏反应的症狀。

(1) 过敏反应的发生和发展具有一定的规律性，下列说法与实际不符的是 ()。

- A. 由机体初次接触过敏原刺激引起
- B. 有些发作迅速、反应强烈、消退较快
- C. 有明显的遗传倾向和个体差异
- D. 组织胺等物质的释放直接引起相关症状

(2) 过敏反应和体液免疫反应中产生的抗体有什么不同？

2. 某患者一只眼球受伤导致晶状体破裂，若不立即摘除，则另一只眼睛也将失明，免疫学上称其为自身免疫病，主要致病过程如右图所示。请将图中编号所代表的内容补充完整。



3. 肿瘤坏死因子 (TNF) 在杀伤肿瘤细胞的同时也参与对关节的攻击，引起类风湿性关节炎。肿瘤坏死因子抑制剂能与 TNF 结合，竞争性地抑制 TNF 与其受体的结合。有研究机构将编码肿瘤坏死因子抑制剂的基因导入腺相关病毒 (AAV) 中，再把 AAV 直接注射到病人的关节中，这样相当于送给病人一个持续不断地提供肿瘤坏死因子抑制剂的“定点仓库”，从而能长期有效地治疗类风湿性关节炎。

根据以上资料，分析回答问题：

根据以上资料，分析回答问题：

(1) 人体的免疫系统能通过释放 TNF 等而杀伤肿瘤细胞，这体现了免疫系统的_____功能。

(2) 从资料中可知，类风湿性关节炎是一种_____病。

(3) 目前，基因治疗技术还处在初级阶段，该疗法可能引发医疗伦理问题。在饱受慢

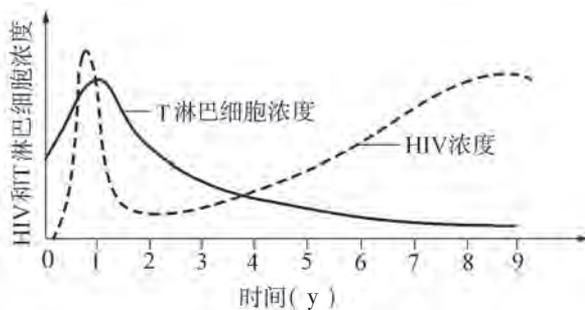
性病的痛苦和接受存在一定危险性的治疗方法之间，如何做才符合病人利益和伦理道德？

4. 2008 年的诺贝尔生理学或医学奖授予德国和法国科学家，以表彰他们在发现人乳头状瘤病毒（HPV）和艾滋病病毒（HIV）方面的成就。下图表示 HIV 浓度与 T 淋巴细胞浓度的关系，据图分析：

- (1) HIV 最初侵入人体时，为什么浓度增加后又迅速降低？
- (2) HIV 攻击 T 淋巴细胞，会不会影响到人体体液免疫能力？为什么？

(3) 艾滋病患者若不进行治疗，HIV 浓度会持续升高，进而导致多发感染和肿瘤发生，试分析原因。

(4) 由于目前还没有艾滋病疫苗，因此所有可能直接或间接接触到传染源的人都属于易感人群。你认为应如何科学预防艾滋病？



学业要求

重要概念	节次	学科素养
免疫系统能够抵御病原体的侵袭，识别并清除机体内衰老、死亡或异常的细胞，实现机体稳态。	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 举例说明免疫细胞、免疫器官和免疫活性物质等是免疫调节的结构与物质基础。通过分析免疫细胞、免疫器官的发现及作用，形成结构与功能相适应的生命观念。体会科学家的探索历程，尊重科学研究的事实和证据，发展科学思维。 ◆ 概述人体的免疫包括生来就有的非特异性免疫和后天获得的特异性免疫，形成结构与功能相统一的生命观念。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 阐明特异性免疫通过体液免疫方式，针对特定病原体发生免疫应答。通过探究和分析免疫接种，运用归纳与概括的方法，发展科学思维。宣传关爱生命的观念和知识，崇尚健康文明的生活方式，成为健康中国的促进者和实践者。
	第三节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 阐明特异性免疫通过细胞免疫方式，针对特定病原体发生免疫应答。通过分析小鼠皮肤移植实验，掌握科学探究的基本思路和方法，培养对结果的交流与讨论的能力。
	第四节	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 举例说明免疫功能异常可能引发疾病，如过敏、自身免疫病、艾滋病和先天性免疫缺陷病等。通过探究艾滋病的传播与发病趋势，宣传关爱生命的观念和知识，崇尚健康文明的生活方式，成为健康中国的促进者和实践者。



人类与传染病的博弈

2019年底新型冠状病毒来袭，一轮可怕的传染病由此爆发，并逐步在全球蔓延肆虐，这又是一场人类与传染病的战争。

传染病是由致病性的病毒、病菌、寄生虫等病原体引起，能在人与人或人与动物之间传播的疾病。曾3次流行于全球的鼠疫、1918年的大流感、2003年的严重急性呼吸综合征(SARS)、2009年的甲型H1N1流感……传染病伴随着人类文明，从未消失过。

新冠肺炎是近百年来全球最严重的传染病，其病原体是新型冠状病毒。新型冠状病毒是自然界中目前已知的最大的RNA病毒，严重威胁人类健康和生命安全。据世界卫生组织统计，截至2021年2月1日，全球累计新冠肺炎患者已经超过1亿例，死亡人数超过220万。亚洲开发银行预计，这场疫情所造成的经济损失相当于全球国民生产总值的2.3%~4.8%。

人类在与传染病斗争过程中不断积累的经验教训，增强了人类与传染病斗争的力量。以我国为例，近代传染病曾多次肆虐华夏，清政府以及国民党政府为防止传染病的流行采取了很多措施，也涌现出伍连德等一批有识之士奋斗于公共卫生领域，但因政府腐败、军阀混战、日寇入侵、国力孱弱等原因，致使我国的公共卫生事业远远落后于西方国家。新中国成立初期，针对重治轻防的问题，提出了“预防在先，预防第一”的卫生方针，初步建立起覆盖县乡村三级医疗预防保健网的公共卫生体系。改革开放之后，我国加快了公共卫生制度化、法制化进程，1989年颁布实施《中华人民共和国传染病防治法》，2003年国务院公布施行《突发公共卫生事件应急条例》等。随着“健康中国”战略的提出和实施，我国公共卫生体系从“以治病为中心”向“以人民健康为中心”转变，建立起“国家、省、市、县”四级疾病预防控制体系和卫生监督体系。2009年4月，甲型H1N1流感蔓延全球，而中国在尚无病例报告时已事先作好了预警判断与应对准备。2013年3月，因为中国及时发现了H7N9型禽流感病毒病例，世界卫生组织邀请中国专家起草相关防疫指南。在新冠疫情的应对过程中，从中央到地方均能迅速启动疾病防控应急机制，仅用三个多月时间便取得疫情防控的战略成果，这离不开我国日趋完善的公共卫生服务体系。

科技的发展从根本上改变了人类与传染病斗争的格局。大部分由病菌引起的传染病因抗生素的发现和使用而得到有效治疗，一些由寄生虫导致的疾病也有了特效药物。对于病毒性传染病，虽然目前还缺乏杀灭病原体的药物，但疫苗的广泛使用使此类传染病的发病率大幅下降。我国自主研发的新冠肺炎疫苗，为全球抗击新冠肺炎疫情作出了巨大贡献。同时，最新研制的智能化呼吸机、监护仪、负压救护车等新型医疗产品不断出现在疫情防控第一线，在抢救病人以及防止病毒扩散方面发挥了重大作用。

人类与传染病的斗争还将继续，这不仅需要我们树立信心，积极面对，更需要我们加强科技攻关和国际合作，为构建人类卫生健康共同体贡献智慧和力量。

第五章 植物生命活动受多种因素调节



“凌风知劲节，负雪见贞心。”这是南朝诗人范云对松树傲雪凌霜高贵品格的礼赞。松柏类等许多植株的树冠都呈金字塔形，这种树冠的形成反映了植物体内某些激素的作用。其实，我们所看到的春华秋实、夏盛冬衰的自然现象，都与植物激素的调节作用密切相关。植物体内有哪些激素？植物激素如何调节植物的生长、发育等生命活动？植物激素的作用机理对人们的生产实践具有怎样的借鉴意义？除植物激素外，还有哪些因素参与植物的生命活动调节？





课题研究

调查植物激素在生产生活中的应用

在植物的生长发育过程中，植物激素是植物体生命活动的主要调节物质，因此，植物激素在生产实践中具有广泛的应用，如扦插生根、培育壮苗、保花保果等。合理使用植物激素，能按照人们的意愿达到调节植物的生长和发育的目的，这对提高作物产量、降低成本具有非常重要的意义。如果使用不当，则会在生产过程中造成危害和损失。

提出问题

植物激素在生产、生活中有哪些方面的应用？

制订并实施研究计划

1. 怎样制订活动方案？

- ◆ 成立研究小组，讨论确定具体分工。
- ◆ 根据当地实际情况或社会热点，小组成员共同商定收集信息的方法和途径。
- ◆ 制订调查方案。设计表格，方便记录收集的信息。

2. 怎样实施活动方案？

- ◆ 设计调查问卷，调查社区居民对植物激素的了解和对使用激素的观点。
- ◆ 到农资超市调查植物激素或类似物的种类，了解热销产品的作用。
- ◆ 咨询种植户或去蔬菜市场调查植物激素的应用情况。

3. 怎样整理、分析收集的信息？

- ◆ 根据记录整理出调查结果。
- ◆ 分析植物激素在生产、生活中的应用情况。

成果交流

1. 以手抄报或电子小报等方式展示小组调查成果。
2. 梳理归类各组调查结果，形成班级调查结论。
3. 根据调查情况，就农业生产中应用植物激素所产生的问题提出建设性意见。



图 5-1 农资超市

第一节 生长素是最早被发现和研究的植物激素



图 5-2 向日葵

除风滚草等少数种类外，绝大多数高等植物在自然状态下不能整体移动，只有某些器官在内外因素的作用下可以发生有限的位置变化。向日葵的幼嫩花盘随太阳转动就是一个典型的例子（图 5-2）。宋代司马光在《客中初夏》诗中描述：“更无柳絮因风起，惟有葵花向日倾。”直到 900 多年后，人们才知道向日葵花盘的转动主要与植物的生长素（auxin）有关。生长素为什么能调节植物的运动？生长素的发现经历了哪些艰难的历程？植物体内的生长素又是如何运输的？

一、科学家经过不断探索发现了生长素

胚芽鞘是单子叶植物所特有的一种鞘状结构，包裹在胚芽外面，对胚芽的顺利出土具有重要的保护作用。金丝雀藨草和燕麦都属于单子叶植物，它们是植物学研究的常用材料。



经典再现

生长素的发现过程

生长素的发现应该追溯到达尔文（C. Darwin）的观察研究。1831—1836 年，达尔文以博物学家的身份参加英国军舰“贝格尔号”的环球科学考察。在旅途中，他养了几只鸟，又在船舱中种植了一些喂鸟用的金丝雀藨草。船舱很暗，只有舷窗能透进阳光。达尔文当时就注意到，植物的幼苗都向舷窗的方向弯曲生长。为了弄清引起植物向光生长的原因，达尔文等许多科学家先后进行了数十年的科学研究。

[资料 1] 完成了生物进化研究之后，1875 年，达尔文和他的儿子弗朗西斯·达尔文（F. Darwin）一起，用金丝雀藨草为材料研究植物的向光生长（图 5-3）。1882 年，

达尔文与世长辞，该实验是他晚年的重大科学贡献之一。

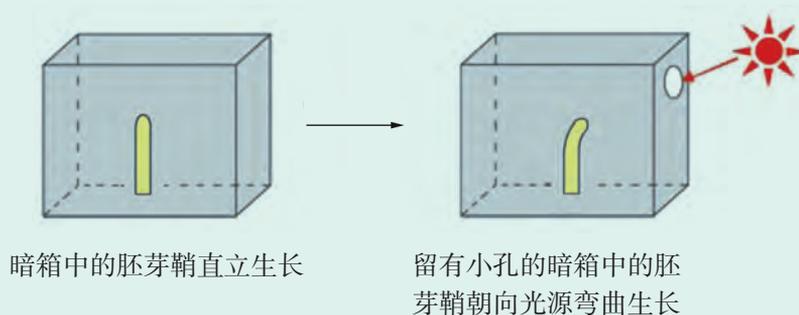


图 5-3 达尔文向光性实验示意图

[资料 2] 达尔文父子又以燕麦胚芽鞘为实验材料，采用对胚芽鞘不同部位用锡箔遮光的方法，继续研究植物的向光性（图 5-4）。

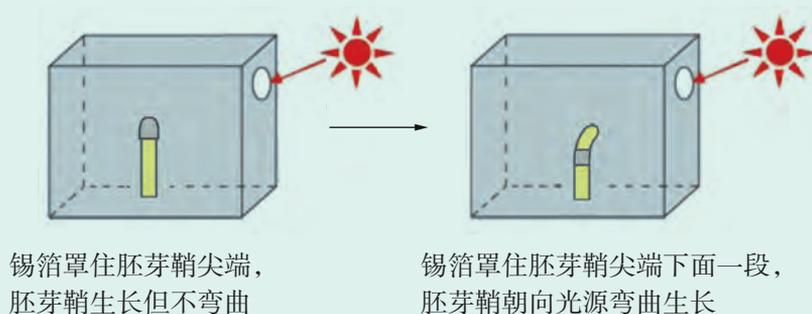


图 5-4 达尔文遮光实验示意图

[资料 3] 1910 年，丹麦生物学家詹森（P. Jensen）利用燕麦对植物的向光性进行研究（图 5-5）。

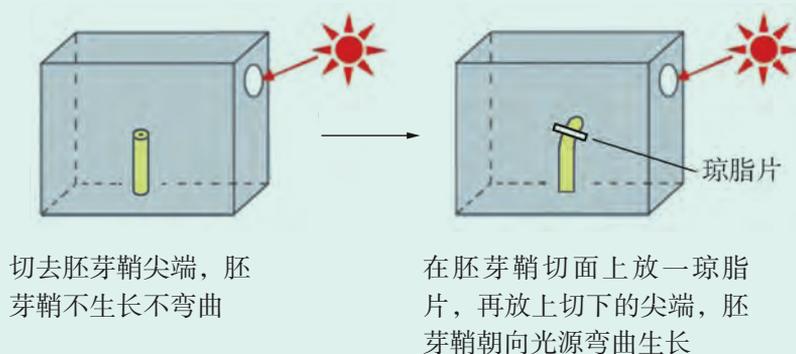


图 5-5 詹森实验示意图

[资料 4] 1914 年，匈牙利科学家拜尔（A. Paal）用另一种思路开展研究工作，在黑暗条件下，对燕麦胚芽鞘的生长进行了更为深入的实验探究（图 5-6）。



切下尖端，放回胚芽鞘一侧，无单侧光照，胚芽鞘向着对侧弯曲生长

图 5-6 拜尔实验示意图

[资料 5] 1926 年，荷兰生物学家温特 (F. Went) 对植物向光生长问题提出了新的假设，他重新设计了实验 (图 5-7)，发现胚芽鞘的尖端含有某种物质。由于发现的物质具有促进植物生长的功能，因此将其命名为生长素。

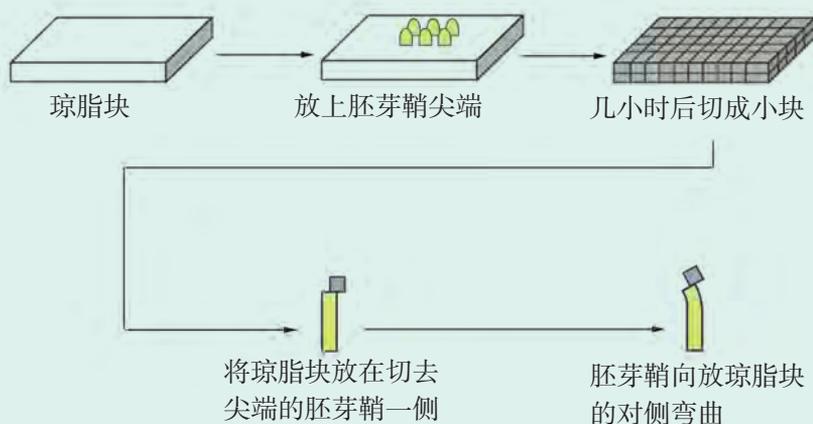


图 5-7 温特实验示意图

[资料 6] 胚芽鞘尖端所产生的物质到底是什么？生物学家花费了大量时间去研究，直到 1934 年，荷兰科学家郭葛 (F. Kögl) 终于分离出这种物质——吲哚乙酸 (indole acetic acid, 简称 IAA)，并设计了下面的实验 (图 5-8)。

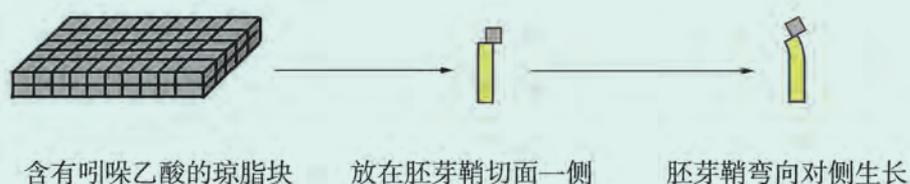


图 5-8 郭葛实验示意图

分析讨论

1. 科学家在研究生长素的每一个阶段的科学假设是什么？相关的对照实验是如何设计的？
2. 在探究植物向光性过程中，达尔文利用金丝雀藜草和燕麦设计了富有开创性的实验方案，根据实验结果作出准确的预测，为后人的研究奠定了基础。你认为达尔文的预测是什么？

由生长素的发现历程可以看出，感受光刺激的部位是胚芽鞘尖端。胚芽鞘尖端产生的生长素在运输过程中，单侧光使其在背光一侧比向光一侧分布得多，因此，背光一侧细胞生长得快，导致胚芽鞘尖端的下部朝向光源弯曲生长，使植物表现出向光性。植物受到单一方向的外界刺激而引起的定向运动，称为向性运动。

从达尔文发现植物的向光性现象，到科学家最终发现并分离出吲哚乙酸，前后经历了 100 多年的时间。科学的重大发现往往开始于对生活现象的仔细观察和质疑，离不开对产生原因的大胆猜测，更离不开精心设计实验方案，并对实验结果进行科学分析。也正是由于许多科学家的锲而不舍、科学严谨的精神，才推动了生命科学日臻完善，为最终解开生命的奥秘奠定了扎实的基础。

阅读空间

生长素家族

除了吲哚乙酸以外，科学家陆续发现植物体内还有苯乙酸（简称 PAA）、4-氯-3-吲哚乙酸（简称 4-Cl-IAA）、吲哚丁酸（简称 IBA）等作用与生长素相似的物质。苯乙酸主要存在于番茄、烟草等植物体内，4-氯-3-吲哚乙酸主要存在于豌豆等未成熟的种子中。

在生长素的早期研究中，科学家发现了两类存在状态不同的生长素。一类是可以自由移动的，叫作自由生长素，具有活性。另一类与细胞内的其他成分结合，叫作结合生长素，是无活性的。结合生长素是生长素的贮存形式，可以与自由生长素相互转化，并可以调节自由生长素处于适宜的浓度。

二、生长素从产生部位运输到作用部位

生长素主要在细胞生长旺盛的部位合成，如顶端分生组织、幼嫩叶片和发育中的种子等，此外根尖也可以合成少量生长素。在植物细胞内，生长素是由色氨酸转变而成的。合成后的生长素被运输到植株快速生长的部位。

生长素在植物体内的运输有两种方式：一种与其他有机物一样，通过韧皮部由高浓度的一端运输到低浓度一端；另一种仅局限于幼嫩部位细胞之间的短距离单方向极性运输。生长素的极性运输是从植物体形态学上端向形态学下端运输，而不能反过来运输，这种运输方式是通过主动运输实现的（图 5-9）。

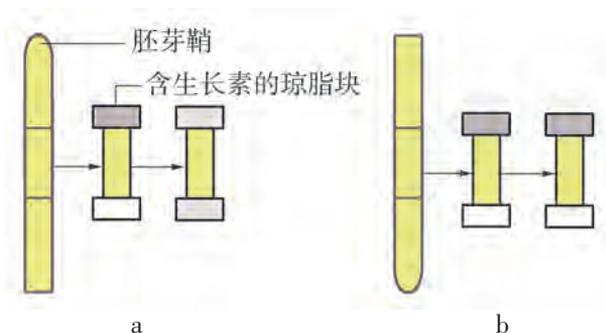


图 5-9 生长素的极性运输

- a 靠近胚芽鞘尖端处（形态学上端）琼脂块中的生长素可被运输至形态学下端
- b 颠倒上下后，形态学下端处琼脂块中的生长素无法运至形态学上端

像生长素一样，在植物体内一定部位合成，从合成部位运输到作用部位，并且对植物体的生命活动产生显著调节作用的微量有机物，统称为植物激素（plant hormone）。生长素是人们发现的第一种植物激素。生长素的发现过程也反映了科学家透过现象逐步揭示生命活动本质的科学探究过程。

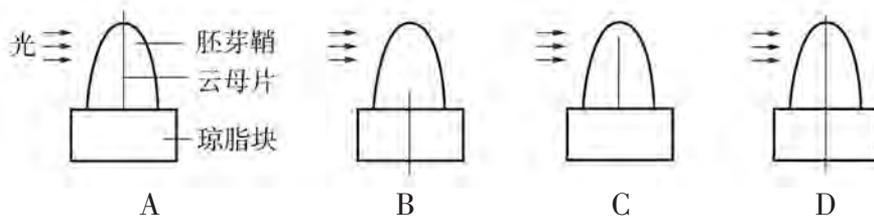
学业检测

1. 在生长素的发现过程中，科学家温特做了非常有意义的工作，其作用在于：一是证明了胚芽鞘尖端存在调节物质，二是通过燕麦弯曲测试法开创了提取和定量分析活性物质的方

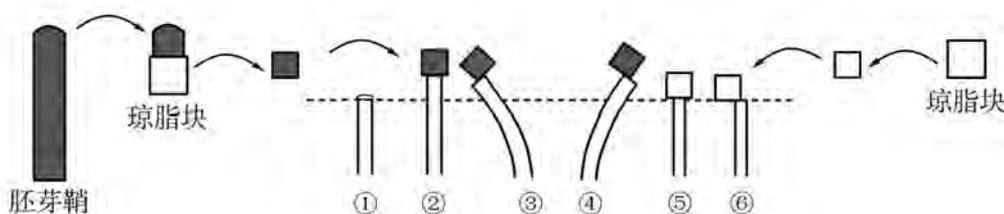
法。请回答相关问题：

(1) 胚芽鞘尖端存在的调节物质是_____，是由植物体内的_____转化而来。

(2) 某科研小组为了验证单侧光照射会导致燕麦胚芽鞘中生长素分布不均匀这一结论，需要先利用琼脂块收集生长素，之后再测定其含量。已知生长素不能通过云母片，下列收集生长素的方法中，能达到实验目的的是()。



(3) 下图为温特研究植物向光性的实验设计，①—⑥是在黑暗环境中对切去尖端的胚芽鞘进行的不同处理。若①—⑥在均匀光照的条件下处理，会出现怎样的结果？为什么？



2. 已知单侧光与重力均影响生长素的运输。为探究某强度的单侧光及重力对横放状态下植物生长的影响，研究人员对刚萌发的盆栽燕麦分别进行了如图甲所示的处理，燕麦弯曲生长情况用柱状图乙表示。



(1) 图甲中光的作用是()。

- A. 促进植物进行光合作用
- B. 促进植物细胞合成吲哚乙酸
- C. 抑制背光侧的细胞生长
- D. 影响生长素在植物体内的分布

(2) 由图乙可说明_____。若降低单侧光的强度，图甲②可能出现的变化是_____。

(3) 假如 3 组实验处于失重状态下，那么 3 组茎的弯曲状态分别为_____。

第二节 生长素对植物生命活动具有重要调节作用



图 5-10 农民在摘除棉花的顶芽

“崖州老姥晓移植，乌泥泾上黄婆祠。”明末清初诗人吴伟业在《木棉吟》中描述了宋末元初黄道婆使松江地区的棉纺织业“衣被天下”的情境。两宋时期，我国南方农民已初步掌握了一整套植棉技术。19世纪以来，我国的主要栽培棉花物种从非洲草棉和印度树棉逐渐替换为产量与质量更具优势的美洲陆地棉及海岛棉。在棉花的栽培管理过程中，需要对其进行摘心处理（图 5-10）以达到增产的目的，这与植物体内生长素的作用密切相关。生长素起到了什么作用？它是如何发挥作用的？

一、生长素在调节植物生长时表现出两重性

生长素在高等植物体内普遍存在，是植物生长发育过程中的重要激素，对植物的许多生命活动具有广泛的调节作用。



实验探究

探究萘乙酸溶液对洋葱生根的作用

萘乙酸属于人工合成的生长素类似物，其生理作用与生长素基本相同。目前，人们普遍使用萘乙酸对植物进行处理，以促进植物生根，提高成活率。生长素类似物对植物生根的促进作用与其浓度密切相关。洋葱、大蒜等植物根系发达，生根迅速，易于观察、计数和测量。

目的要求

1. 探究萘乙酸溶液促进洋葱生根的最适浓度。
2. 总结萘乙酸促进洋葱生根的作用特点。

材料器具

洋葱（或大蒜）鳞茎，50g/L 萘乙酸溶液、蒸馏水，烧杯、培养皿、试管、滴管、移液管、量筒、尺、镊子、玻璃棒、坐标纸等。

活动程序

1. 挑选大小相同的洋葱鳞茎若干，平均分成 6 组并编号。
2. 用 50g/L 萘乙酸溶液和蒸馏水配制 5 份系列浓度梯度 (10^{-14} ~ 10^{-3} g/mL) 的萘乙酸溶液。
3. 剥除洋葱鳞茎干枯鳞片叶并剪除根须。
4. 将各组洋葱鳞茎下端分别浸泡在不同浓度的萘乙酸溶液和蒸馏水中 0.5h。
5. 将洋葱转移到盛有蒸馏水的烧杯中培养，仅让其基部接触到烧杯中的水，每两天换一次水。
6. 每天定时观察各组洋葱的生根情况（如统计生根数目和长度，图 5-11），并做好实验记录。持续观察 10 天。
7. 以萘乙酸溶液浓度为横坐标，以洋葱生根数目或总长度为纵坐标，在坐标纸上画出萘乙酸的作用曲线。



图 5-11 测量洋葱根的长度

分析讨论

1. 随萘乙酸浓度增加，洋葱生根情况有什么变化规律？
2. 如何进一步设计实验，探究萘乙酸溶液促进洋葱生根的更精确的最适浓度？

在一定的浓度范围内，萘乙酸溶液能促进洋葱生根；当超过一定浓度后，萘乙酸不仅不能促进生根，反而会抑制生根。生长素的这种低浓度促进植物生命活动，高浓度抑制植物生命活动的特性称为两重性。生长素不仅能够促进植物生根，而且也能促进植物的地上部分生长（图 5-12），并且同样会表现出两重性。

在植物的生长发育过程中，一般顶芽的生长速度大于侧芽的生长速度，即顶芽优先生长而侧芽受到抑制，植物表现出顶端优势。产生顶端优势的原因是顶芽产生的生长素向下运输，大量地积累在侧芽部位，使侧芽部位的生长素浓度过高，从而使侧芽的生长受到抑制。农林生产上常根据顶端优势的原理进行果树整枝修剪，使其形成一定形状的树冠（图 5-13）。在棉花栽培过程中，适时对棉花摘心，可以达到增产的目的。

同一植物的不同器官对相同浓度的生长素敏感程度不同，与植物的芽和茎相比，植物的根对生长素最为敏感（图 5-14）。



对照组 实验组
图 5-12 生长素促进植物生长



图 5-13 经过修剪的果树

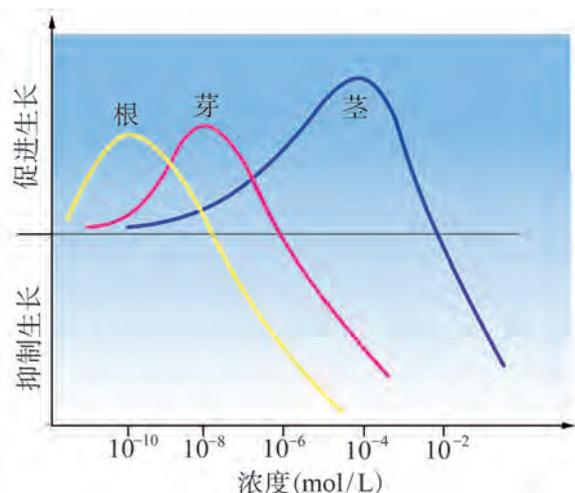


图 5-14 同一植物的不同器官对生长素浓度的反应

阅读空间

生长素促进生长的作用机制

早在 20 世纪 30 年代,有关生长素作用机制的研究就已经开始。针对生长素影响植物细胞伸长的机制,先后形成了 4 种学说。

最早出现的是膨胀度理论,该理论由于难以解释植物细胞壁的松弛,现已被扬弃。

最新的一种学说是细胞骨架理论。该理论认为,在早期阶段,生长素首先促进细胞的呼吸作用,加快产生 ATP。同时,生长素还激活了细胞质中的微管蛋白成核中心与质膜上的质子泵。成核中心生成大量微管并不断延伸,该过程需要大量 ATP 供能,所产生的大量 H^+ 不断被质子泵主动运输到质膜外。随着胞内 pH 变为酸性,胞内原本存在的纤维素酶被激活,细胞壁松弛延展伸长。当细胞内原有的微管蛋白耗尽,需要进行基因的转录翻译以表达更多微管蛋白时,细胞的伸长便进入了第二阶段。目前,细胞骨架理论能够最为全面地解释细胞伸长过程中的各种情况,包括膨压缺失乃至负膨压条件下的细胞伸长现象。

二、生长素调节植物的其他生命活动

生长素除了具有促进植物生根、生长的作用以外,还能调节植物的其他生命活动。植物的花在完成传粉和受精以后,雌蕊的子房会慢慢膨大发育成果实。这是由于在果实的发育过程中,幼嫩的种子会产生生长素,促进果实发育。如果因某种原因雌蕊没有完成授粉,果实往往不能正常发育。若人工给未授粉的雌蕊涂抹一定浓度的生长素,果实就能继续发育,产生无籽果实。无籽番茄的培育就是利用

了这一原理。

落花、落果和落叶是双子叶植物的普遍现象。一定浓度的生长素可以抑制果柄和花柄基部与植物体分离，从而防止落花落果。落花落果既与激素浓度有关，也与营养物质的供给有关，如给未授粉的番茄雌蕊涂抹一定浓度的生长素，雌蕊的子房就成了营养物质的分配中心，叶片通过光合作用制造的养料会源源不断地运到子房中，促进子房壁的发育，从而避免落果。

作为一种植物激素，生长素在植物体生长、发育的不同阶段，通过浓度的变化，实现对植物体生命活动的促进或抑制等方面的调节作用。生长素及其作用原理在农业生产中有着广阔的应用前景。

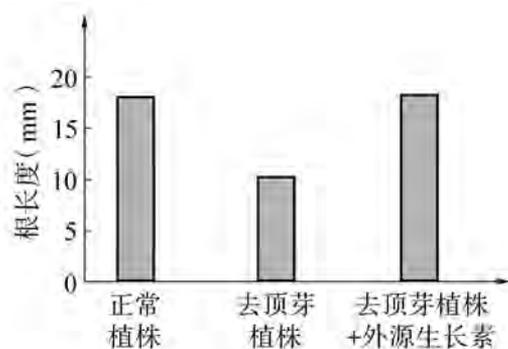
学业检测

1. 罗汉果是分布于广西北部山区的中国特有的药用植物。罗汉果内含的罗汉果甜苷 V 的应用前景广阔，需求量不断增加。有籽果实对罗汉果甜苷 V 的提取和利用会造成很大的困难。利用生长素刺激罗汉果雌蕊能获得发育成熟的无籽果实，较好地解决了生产上的难题，使加工成本和难度均大幅度地降低。

(1) 培养无籽罗汉果需用一定浓度的生长素处理雌蕊，处理的时期和条件是 ()。

- A. 开花后，去掉雄蕊 B. 开花后，不去掉雄蕊
C. 花蕾期，去掉雄蕊 D. 花蕾期，不去掉雄蕊

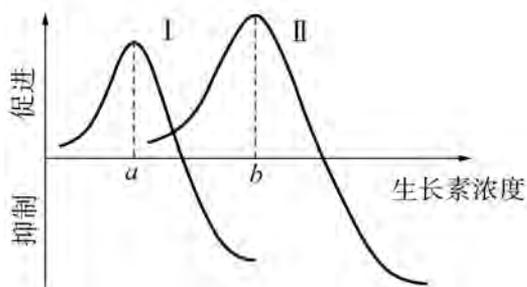
(2) 右图为摘去顶芽对罗汉果植株根生长影响的探究实验结果。分析实验结果，可以得到什么结论？



(3) 园林实践中，多采用扦插带芽枝条的方法大批量繁育苗木。选用带芽枝条有什么好处？

2. 右图中曲线表示柳树的根和茎对不同浓度生长素的反应，请据图分析回答下列问题：

(1) 图中的曲线 I 表示的器官是_____，曲线 II 表示的器官是_____。请在图中画出该植物的芽对不同浓度生长素的反应变化曲线。



(2) 人们发现双子叶植物比单子叶植物对生长素更敏感。若图中的曲线表示的是单子叶和双子叶两类植物对不同浓度生长素类似物的反应，则在农业生产实践中，去除小麦田中双子叶杂草的生长素类似物的最佳浓度是 a 点还是 b 点？

3. 像生长素一样，2,4-D 的生理作用与浓度密切相关，现已广泛应用于农林生产中。下面是探究 2,4-D 促进杨树扦插枝条生根的最适浓度范围的实验方案，请进行适当补充和完善。

(1) 实验原理

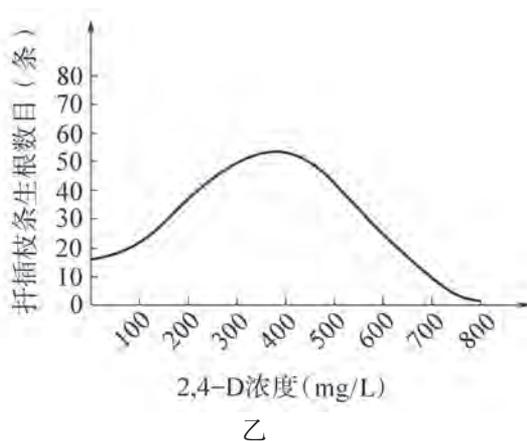
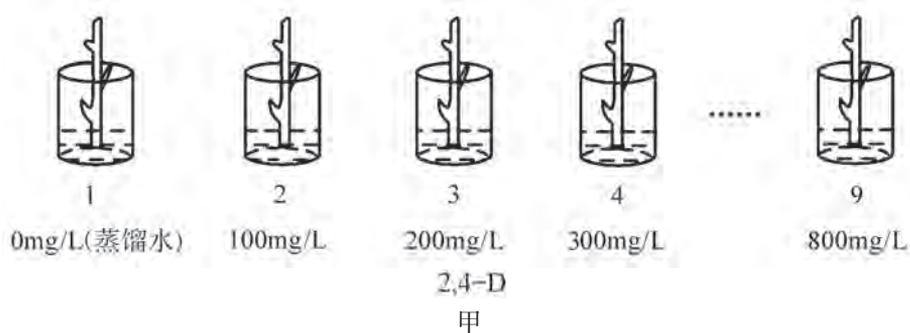
2,4-D 对植物生长的调节作用具有 _____ 性，即 _____。

(2) 实验过程与方法

①取材：将杨树枝条剪成 15 ~ 20cm 的小段，每段插条芽数相同。

②实验：将插条分别用具有一定浓度梯度的 2,4-D 溶液处理（图甲）8 ~ 12h 后，再将处理过的插条下端浸在清水中，置于适宜温度条件下培养，观察并记录实验数据。

③建模：根据实验数据，建立数学模型（图乙）。



(3) 结果分析与评价

①分析图乙，可得出的结论是 _____。

②温度、处理时间等要保持一致，其原因是 _____。

③为了提高所建数学模型的科学性和可靠性，图甲所示实验方案可以怎样改进？

④若利用与上述实验完全相同的方法，探究 2,4-D 促进葡萄插条生根的最适浓度范围，除蒸馏水外其余各组均没有长出不定根，尝试分析最可能的原因是什么？

第三节 多种激素共同调节植物的生命活动

猕猴桃含有丰富的维生素和微量元素，被人们称为“果中之王”（图 5-15）。但未成熟的猕猴桃，吃起来又酸又涩。如果将几个熟透的苹果（或香蕉）和生硬的猕猴桃一起装进保鲜袋内，密封放置两三天，猕猴桃不仅逐渐变软，而且味道变得酸甜爽口。这是由于成熟果实中散发出的一种植物激素起到了催熟的作用。植物体内常见的激素有哪几类？不同的植物激素分别有什么作用？它们又是如何共同调节植物生命活动的？



图 5-15 猕猴桃

一、植物体内含有多种激素

在植物生长和发育过程中，任何一项生命活动并非仅受单一激素控制，而是受多种激素相互作用综合影响。植物激素除了生长素以外，还有赤霉素（gibberellin, GA）、细胞分裂素（cytokinin, CTK）、脱落酸（abscisic acid, ABA）和乙烯（ethylene, ETH）等。



实验探究

探究不同浓度的乙烯利对水果催熟作用效果

乙烯利是一种人工合成的植物生长调节剂，在弱碱性条件下释放乙烯，乙烯能促进果实细胞的呼吸作用。适量增加外源乙烯可刺激内源乙烯的产生，对水果的成熟有明显的促进作用。乙烯利对水果的催熟效果受温度、湿度等环境因素影响。

目的要求

了解不同浓度的乙烯利溶液在一定的温度和湿度条件下对香蕉催熟作用的效果。

材料器具

七成熟的青香蕉，乙烯利、蒸馏水，烧杯、容量瓶、移液管、小型喷雾器、盛水大容器、保鲜袋、橡皮筋、标签、棉花、恒温培养箱等。

活动程序

1. 选择果皮完好，成熟度一致的青香蕉，随机分为 6 组。

2. 配制 100mg/kg、500mg/kg、1000mg/kg、1500mg/kg、2000mg/kg 5 种浓度的乙烯利溶液。

3. 将 6 组香蕉分别浸没于 5 种不同浓度的乙烯利溶液和蒸馏水中，1min 后取出，然后将 1—6 组香蕉分别装入保鲜袋，密封后贴好标签，放入 20℃ 的恒温培养箱。

4. 定期定时观察香蕉的变化情况。果皮颜色是用于判断果实成熟程度的一个指标：Ⅰ级，绿色；Ⅱ级，绿色开始转黄；Ⅲ级，黄色面积占全部面积的 50% 以内；Ⅳ级，全部黄色；Ⅴ级，开始出现褐色斑点。设计表格并记录香蕉颜色的变化。

分析讨论

1. 催熟香蕉的效果与乙烯利的浓度有怎样的关系？

2. 如何探究不同温度对催熟效果的影响？

3. 香蕉是世界上年产量最大的水果之一，我国的香蕉主产区分布在广东、海南、台湾等南方地区。如果在香蕉成熟后采收，然后运到遥远的北方销售，在运输过程中可能会坏掉。因此，人们必须提前采收、运输、储存，在出售前催熟。目前，人们常用乙烯利对香蕉进行催熟。你对这种做法持怎样的态度？食用被乙烯利催熟的香蕉对人体有害吗？

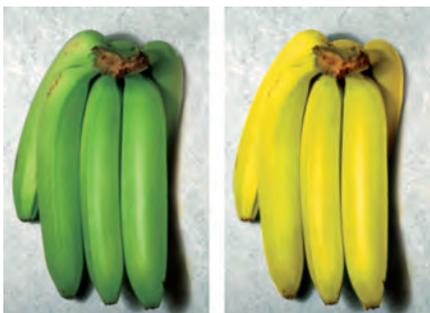


图 5-16 乙烯催熟香蕉前后

乙烯广泛存在于植物的多种组织和器官中，特别在成熟的果实中较多。乙烯能增强质膜透性和酶的活性，增强果实细胞的呼吸作用，促进果实中有机物的转化，从而促进果实的成熟（图 5-16）。乙烯还能刺激叶的脱落，抑制茎的伸长。



未经处理

经过处理

图 5-17 细胞分裂素诱导星油藤雄花转变为雌花，提高结果率

高等植物的细胞分裂素存在于植物幼嫩的根尖、萌发的种子、正在发育的果实等生长旺盛的部位。细胞分裂素的主要生理作用是促进细胞分裂和组织分化，抑制不定根、侧根的形成，延缓衰老，阻止叶绿素降解等。最新研究发现细胞分裂素还可诱导雄花转变为雌花，从而提高结果率（图 5-17）。

赤霉素普遍存在于植物的幼芽、幼根、未成熟的种子等幼嫩组织和器官中，具有促进茎的伸长、引起植株快速生长（图 5-18）、解除休眠和促进花粉萌发等生理作用。刚收获的马铃薯块茎种到地里不能萌发，原因是马铃薯块茎有一定的休眠期。用适当浓度的赤霉素溶液处理马铃薯块茎，则能解除它的休眠，实现提早播种。

脱落酸存在于植物的叶、芽、果实、种子和块茎中。它能抑制植物的细胞分裂和种子的萌发，促进花、果实和叶的脱落。在各种逆境下，植物体内脱落酸浓度会急剧上升。最典型的例子是叶片受到干旱影响时，脱落酸含量迅速增加，引起气孔关闭，减少水分散失，增强植物的抗旱能力。

除了上述五大类植物激素外，植物体内还有其他天然的调节植物生长发育的物质。如油菜素甾醇类、多胺类、多肽类、茉莉酸类和水杨酸类等。



图 5-18 赤霉素缺陷型拟南芥（左一、左二）在赤霉素帮助下可以修复缺陷（右一、右二）

二、植物的生命活动受多种激素共同调节

生长素和细胞分裂素分别通过促进细胞伸长和细胞分裂调节植物的生长发育。生长素从顶芽向下运输，而细胞分裂素主要由根部合成，从根部向上运输。另外，侧芽、叶片等地上部分也合成细胞分裂素。高浓度生长素能抑制侧芽发育，但随着植物生长，顶芽合成的生长素能运到基部侧芽的量逐渐减少。随着侧芽处生长素浓度降低，对侧芽的抑制作用越来越弱，当该处细胞分裂素的促进作用大于生长素的抑制作用时，侧芽就发育起来。可见，生长素和细胞分裂素共同参与了顶端优势的形成（图 5-19）。

在植物的生长发育过程中，生长素有促进不定根形成的作用，而细胞分裂素有抑制不定根形成的作用；乙烯具有促进果实成熟、抑制其生长的作用，而赤霉素有抑制果实成熟、促进其生长的作用，它们对同一生理效应起拮抗作用。而生长素和赤霉素都有促进植物细胞伸长的作用，这两种植物激素对同一生理效应发挥着协同作用。

植物激素间的相互作用对植物的正常发育来说非常重要。不同植物激素之间通过协同、拮抗等方式精细调控着种子的萌发、植物的生长、不定根的形成和果实的成熟，以及植物对环境的反应等。

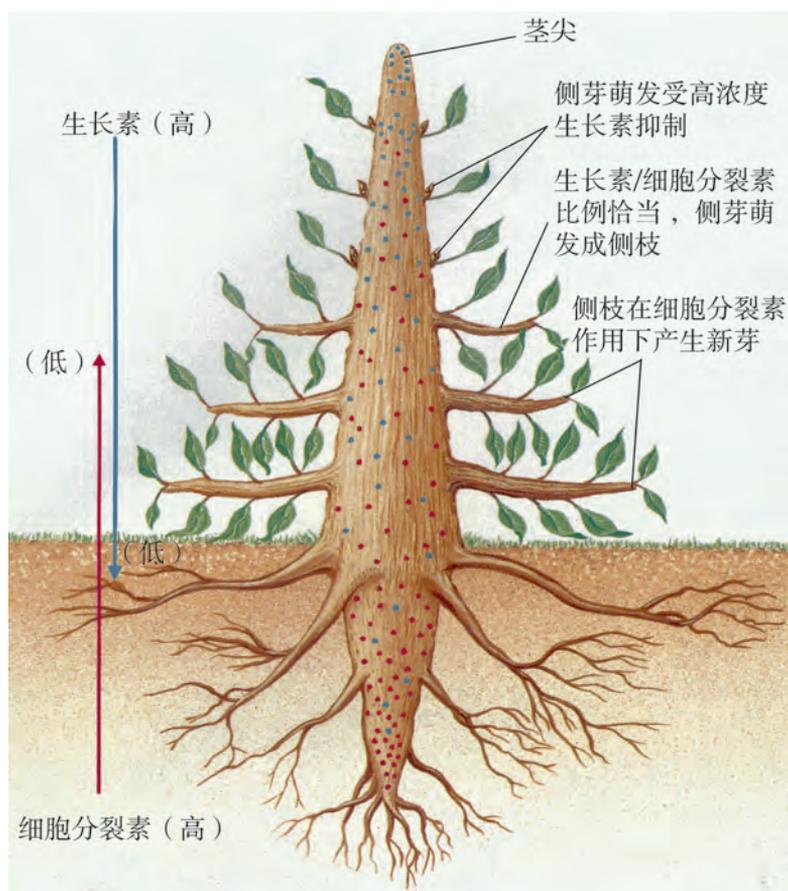


图 5-19 植物的顶端优势示意图

三、植物激素类似物在生产上应用广泛

植物激素调节植物生命活动的作用显著，但由于植物体内激素含量极低，难以提取，因此生产上使用的主要是人工合成的植物激素类似物，通常称作植物生长调节剂。由于合成植物生长调节剂的大部分原料来源丰富，生产过程简单，所以可大量生产。此外，植物生长调节剂不像植物体内的激素那样易受氧化酶破坏，因而效果稳定。植物生长调节剂可分为植物生长促进剂、植物生长抑制剂和植物生长延缓剂等。

植物生长促进剂能促进细胞分裂和伸长，促进营养器官的生长和生殖器官的发育。极少量的植物生长促进剂就具有调节植物生长的作用。一旦用量稍多，则会严重影响植物的生命活动，甚至导致植物死亡。常用的植物生长促进剂主要有以下几大类：生长素类，如萘乙酸、2,4-二氯苯氧基乙酸（简称 2,4-D）等；细胞分裂素类，如 6-苄基腺嘌呤等；赤霉素类，如赤霉酸等；乙烯类，如乙烯利等（图 5-20）。



图 5-20 植物生长促进剂

阅读空间

除 草 剂

人工合成 2,4-D 始于 20 世纪 40 年代。它具有生长素的类似功能,可用作植物生长调节剂。在 10mg/L 的浓度下,2,4-D 像生长素一样促进植物生长,如果把浓度升高到 500 ~ 1000mg/L,能够导致一些双子叶植物叶片卷缩,茎部肿胀,叶片逐渐发黄,最后死亡。其原因是过量的 2,4-D 被植物吸收后,引起形成层细胞过度分裂和伸长,组织因过度生长呈畸形,从而阻碍物质运输,造成植物死亡。后来,2,4-D 被用于田间除草,成为最早应用的有机类选择性除草剂。

凡是能使植物全部或选择性地发生枯死,用以消灭或抑制植物生长的物质均有可能用作除草剂。除了植物生长调节剂,人们根据不同的植物生理生化机制生产了更多类型的除草剂。1971 年人工合成的草甘膦,具有高效、广谱等特点,是有机磷除草剂的重大突破。多种新剂型和新使用技术的出现,大大提高了除草效果,除草剂的使用也越来越广泛。截至 1980 年,世界除草剂年销售额已超过杀虫剂而跃居农药销售第一位。

植物生长抑制剂能抑制顶端分生组织生长,使得植物侧枝多、叶小、丧失顶端优势,生殖器官发育也受影响。人工合成的植物生长抑制剂主要有三碘苯甲酸和马来酰肼等。三碘苯甲酸又称为抗生长素,能阻碍生长素在植物体内自上而下的极性运输,使植株变矮,分枝增多,结荚率提高,产量增加。马来酰肼又叫青鲜素(图 5-21),其作用与生长素的作用正好相反,它能阻止正常代谢的进行,从而抑制生长。



图 5-21 植物生长抑制剂

植物生长延缓剂是抑制赤霉素合成的一类物质。这类物质能够抑制茎尖伸长区细胞伸长,使节间缩短而达到矮化效果,一般不影响叶、花和果实的形成。农业生产上常用来培养壮苗、防倒伏的矮化苗等。矮壮素就是一种优良的植物生长延缓剂,它既能使植株变矮,茎秆变粗,防止作物徒长倒伏,又能防止棉花落铃等。目前已广泛应用于小麦、棉花、玉米和西红柿等作物。其他的还有多效唑、烯效唑等(图 5-22)。



图 5-22 植物生长延缓剂

植物生长调节剂已广泛应用于农林生产实践中,适时



图 5-23 过多使用膨大剂造成西瓜破裂

适量地使用植物生长调节剂，能获得巨大的社会效益和经济效益。然而近年来，有一些地区的瓜农因使用植物生长调节剂（如膨大剂）不当而蒙受损失（图 5-23）。

在植物的生长发育过程中，各种植物激素具有不同的作用，有的相互抑制，有的相互促进，它们通过协同、拮抗等方式共同实现对植物生命活动的调节。一种植物激素可影响到植物生长发育的不同阶段，而植物生长发育的同一阶段也受多种激素调节。植物体能够进行正常的生命活动，与多种激素共同调节密切相关。

学业检测

1. 鲜切花是从活体植株上切取的花朵、花序、茎叶等植物材料。用保鲜剂处理鲜切花能延长鲜花的开放时间，提高观赏价值。保鲜剂中一般含有水、糖、杀菌剂、赤霉素、脱落酸、萘乙酸、青鲜素、表面活性剂、细胞激动素、6-苄基腺嘌呤、可溶性无机盐等。

(1) 上述保鲜剂中有哪些成分属于植物生长调节剂？它们分别具有什么调节作用？

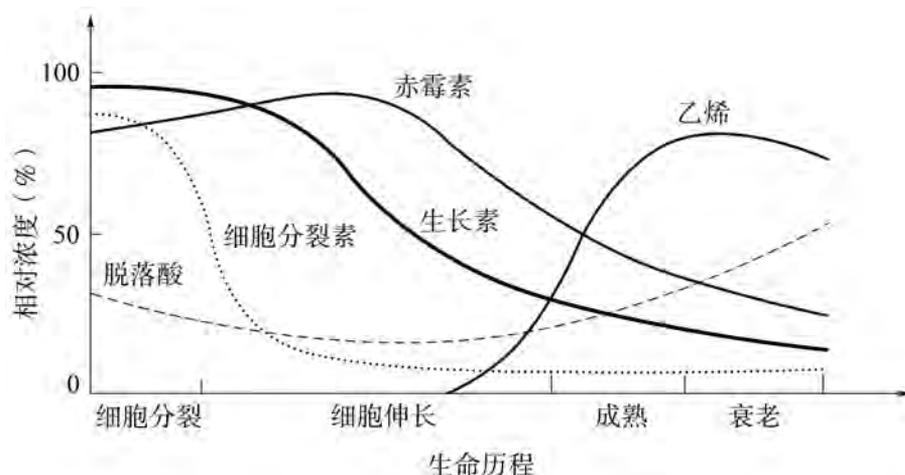
(2) 人们常利用柠檬酸将保鲜剂的 pH 调至 3~4，这样做有什么好处？

(3) 不同鲜切花的保鲜剂成分不同。请为我国北方切花菊配制简单实用的保鲜剂。

2. 植物体内赤霉素的合成主要在未成熟的种子、幼根和幼芽等部位。在小麦开花期用 20mg/kg 赤霉素药液喷洒，可以促进结实。棉花在盛花期到幼铃期用 10~20mg/kg 赤霉素药液喷洒花和铃，可以减少落铃。葡萄从花谢之后到长至绿豆大小期间用 100~200mg/kg 赤霉素药液喷果穗，可以促进果实膨大，产生无籽果实。

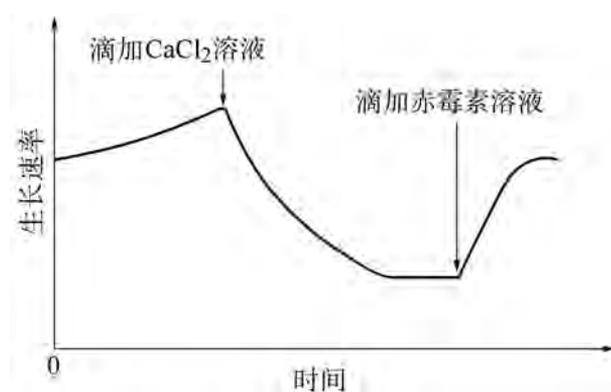
(1) 赤霉素与生长素有许多类似的作用，但与脱落酸的作用相反。赤霉素可与植物体内的其他激素通过_____作用和_____作用共同调节植物的生命活动。

(2) 下图是科研人员绘制的某种植物果实成熟过程中激素的动态变化曲线。对曲线的正确解读是（ ）。



- A. 随生长素、赤霉素浓度降低，果实成熟的速度逐渐放慢
- B. 随细胞分裂素浓度降低，果实的细胞数目逐渐减少
- C. 随乙烯浓度增加，果实的成熟速度逐渐加快
- D. 在果实发育过程中，脱落酸几乎不发挥任何作用

(3) 赤霉素促进茎的伸长主要与细胞壁的伸展性有关。有人进行了 CaCl_2 和赤霉素对某植物种子胚轴生长速率影响的实验，结果如下图所示。分析该图可知，一定浓度的 CaCl_2 溶液对细胞壁的伸展起_____作用；加入赤霉素溶液后茎的伸长速率明显加快，试推测可能的原因是什么？请设计相关实验来验证自己的假设。



(4) 植物激素及其类似物的使用促进了农林业的发展，但如果使用不当会对农林生产和人们的健康造成危害。在农林生产实践中，我们应当如何正确使用植物激素及其类似物？

第四节 环境因素参与植物生命活动的调节



图 5-24 结球甘蓝

结球甘蓝（图 5-24）是一种种植历史非常悠久的蔬菜，早在 4000 多年前就已成为人们的食物。结球甘蓝的营养价值很高，含有丰富的钙、铁、锌等营养成分，具有提高免疫力、防癌抗癌等功效。在北京培育的优质结球甘蓝品种，叶球最大的重达 3.5kg，当引种到拉萨后，叶球可重达 7kg 左右，再引回北京种植后，叶球又变回只有 3.5kg 左右。同样的结球甘蓝品种，在不同环境条件下产量差别很大，造成这些差别的环境因素可能有哪些？外界环境中的不同因素又是如何调节植物生命活动的？

一、光参与植物生命活动的调节

在影响植物生命活动的各种因素中，光是重要因素。光不仅作为光合作用的能量来源，而且还作为一种环境信号调节植物的基因表达、酶的活性以及代谢的各个环节，使植物更好地适应外界环境。



经典再现

光敏色素的发现

多数植物的种子在黑暗或光照条件下都能正常萌发，但是莨苳、烟草和拟南芥等少数植物的种子在光照条件下才能萌发。人们在研究光对种子萌发或幼苗生长的影响过程中，逐步发现光是调节植物生命活动的外界信号。

[资料 1] 1937 年，美国科学家弗林特（L. Flint）和麦卡利斯特（E. McAlister）报告了莨苳种子发芽实验：在一个暗箱内将固定光源通过分光镜分解成不同波长的光源，然后利用不同波长的光源分别照射浸泡过的莨苳种子，记录种子的萌发情况。他们注意到，波长 520~700 nm 的光照（包括黄色、橙色和红色）能促进莨苳种子的萌发，在此范围内，波长越长促进效果越明显，但促进发芽的光照临界波长约为 670nm，超过 760nm（接近红外光）的光照则明显抑制莨苳种子的萌发（图 5-25）。

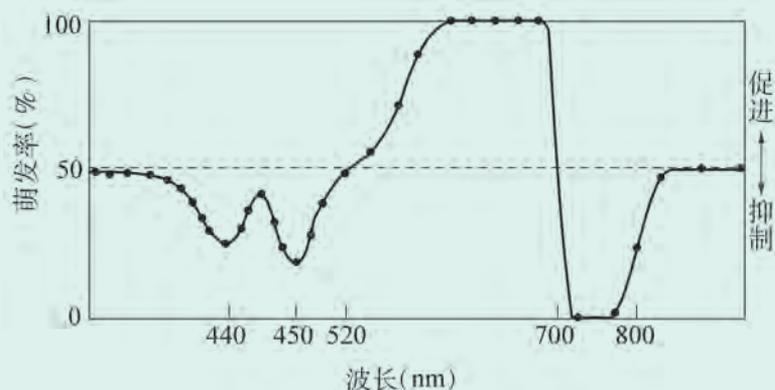


图 5-25 不同波长光照对莠苳种子萌发的作用

[资料 2] 1952 年，美国科学家博思威克 (H. Borthwick) 等用大型光谱仪将白光分解成单色光，处理莠苳种子。他们用红光 (简称为 R) 和远红光 (简称为 IR) 交替照射莠苳种子，不同光照处理条件下，莠苳种子的发芽率如表 5-1 所示。

表 5-1 不同光照处理下莠苳种子的发芽率

光照处理	发芽率 (%)
黑暗	8.5
R	98
R+IR	54
R+IR+ R	100
R+IR+ R+IR	43
R+IR+ R+IR+ R	99
R+IR+ R+IR+ R+IR	54
R+IR+ R+IR+ R+IR+ R	98

说明：表中的“R+IR”等的含义是照射种子的光波长和照射顺序。

[资料 3] 1959 年，美国科学家巴特勒 (W. Butler) 等利用双波长分光光度计测定黄化玉米幼苗对不同光质的吸收情况。发现玉米幼苗提取液经红光照射后，其红光区域吸收少，而远红光区域吸收增加；反之照射远红光后，红光区域吸收增加。红光和远红光交替照射后，这种吸收光谱可以多次可逆地变化 (图 5-26)。

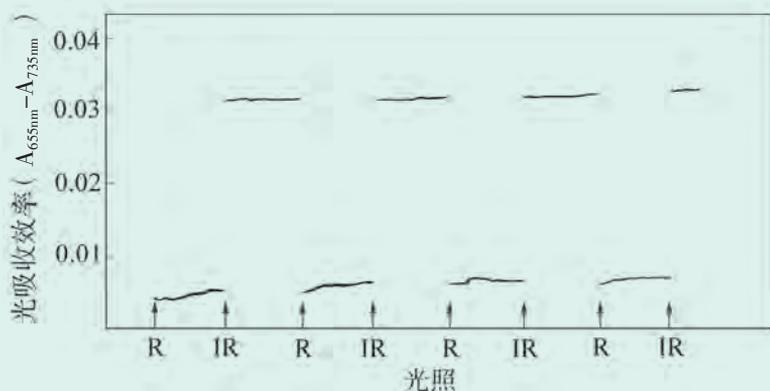


图 5-26 黄化玉米幼苗提取液对红光和远红光的可逆响应 ($A_{655nm} - A_{735nm}$ 指波长 655nm 与 735nm 处的吸光度差值)

分析讨论

1. 弗林特的实验结果说明了什么?
2. 博思威克的研究能否说明他发现了光敏色素?
3. 巴特勒的实验是否说明黄化玉米幼苗既能吸收红光又能吸收远红光? 能否认定植物体内存在两种可转换的吸光物质?

光作为调节植物代谢的信号,是通过光受体来激活植物生命活动的某些过程,实现调节植物生长发育和代谢的过程。科学家已经从植物体内提取到了吸收红光和远红光的色素分子。他们将这种吸收红光和远红光,并能发生可逆转化的光受体命名为光敏色素(phytochrome)。不同的光受体感受的光质(即光的波长)不同,其中光敏色素是发现最早、研究最为深入的一种光受体。光敏色素普遍分布在植物体的各个器官中,是一种易溶于水的浅蓝色色素蛋白,有两种可以相互转化的结构形式。目前已经知道,种子萌发、叶和茎的伸长、气孔的分化、叶绿体和叶片的运动等生命活动都受光敏色素调节。

光除了影响莴苣等植物种子的萌发,还影响许多植物的开花,这与光周期(photoperiod)有关。光周期是指一日之内光照时间长短的变化,也就是在白昼与黑夜循环中日照长短的变化。许多植物的开花受光周期控制。

阅读空间

光周期对植物开花的影响

根据植物开花对光周期的反应不同,一般将植物分为长日照植物、短日照植物、日中性植物。

长日照植物 需要长于某一临界日长的日照时间才能开花的植物。因我国地处北半球,春天日长逐渐增加,在春天开花的植物如洋葱、甜菜、胡萝卜、莴苣、菠菜、冬小麦等多为长日照植物。

短日照植物 需要短于某一临界日长的日照时间才能开花的植物。我国秋天开花的植物如水稻、棉花、菜豆、大豆、秋菊等多为短日照植物。

日中性植物 开花结果与日照时间的长短没有明显关系的植物。如番茄、番薯、玉米、黄瓜、四季豆和蒲公英等。

认识光周期对植物的影响具有重要的意义。当从一个地区引种某一植物到另一地区时，需要考虑季节等因素对植物开花的影响，我国“南麻北种”的增产经验是一个典型的例证，即通过南种北引，延长营养生长期，推迟生殖生长，促进营养器官生长发育，使作物优质高产。

二、温度参与植物生命活动的调节

温度是各种植物生存的重要条件。即使其他环境条件适宜，如果没有适宜的温度条件，植物也难以生存。

温度变化能引起器官两侧不均匀地生长。对于郁金香而言，通常在白天温度升高时，适于花瓣的内侧生长，而外侧生长很少，花朵开放；夜晚温度降低时，花瓣外侧生长超过内侧而使花朵闭合。这样，随每天内外侧的昼夜生长，花朵逐渐增大并表现出昼开夜合现象。

牡丹的种子若在秋季播种，则第二年春天发芽（图 5-27）；若春季播种，当年只能生根而不能分化出地上芽。冬小麦必须在 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ 环境中经历 5~8 天以上才能开花。上述现象的原因是牡丹、冬小麦等植物在种子萌发期间必须经一段时间的低温作用，才能发芽或开花。这种需经过低温诱导植物才能开花的现象叫春化作用。萌发的作物种子经过人为的低温处理，可以提早开花、成熟。我国农民创造的“闷麦法”很早就用于春天补种冬小麦。在冬小麦的育种过程中，进行人工春化处理，可以在一年内培育多代冬小麦，加速育种进程。一定时间的低温可通过影响酶的活性和基因的表达，进而影响植物的生长发育。认识温度对植物的影响，对指导农业、园艺、林业等生产实践有重要的意义。



图 5-27 牡丹种子及其萌发

三、重力参与植物生命活动的调节

播入土壤中的种子，在土壤中的位置都是随机的，或平躺，或倒置，但它们的幼芽总是向上拱出地面得到阳光和空气，而根则总是扎入土壤中吸收水分和养料（图 5-28）。在无重力作用的太空中，将植物幼苗横放，茎和根总是水平生长，不会弯曲。



图 5-28 种子萌发

许多科学实验证实，植物根系感受重力的部位是根冠。当根处于水平状态时，在重力作用下，根冠细胞内的一系列变化，能引起根尖伸长区下侧细胞积累较多钙离子和生长素。钙离子能增强组织细胞对生长素的敏感性，过多的生长素则抑制根下侧的细胞伸长，最终使根向下弯曲生长。

思维训练

根向地生长的实验

探究根冠对根生长的影响，实验过程如下（图 5-29）：



图 5-29 根冠对根生长影响的实验

A 组：若根冠完整，根正常生长。

B 组：若将根冠一部分切除，根向有根冠的一侧弯曲生长。

C 组：若用云母片将根一侧部分阻断，根向非阻断的一侧弯曲生长。

该实验说明根冠分泌了什么物质？该物质对根的生长有什么作用？植物的根向地弯曲生长的调节过程及根本原因是什么？

植物个体一般不能自由移动，但植物的器官可以在空间位置上有限度地移动，植物的局部移动具有重要的生物学意义。植物的生长发育过程，不仅受自身基因表达控制，而且受光照、温度、重力等外界环境因素影响。另外，水分、无机盐、土壤有机质等也能对植物的生长发育进行调节（图 5-30）。植物的生长发育是植物生命活动与外界环境因素相互作用的结果。



图 5-30 根向水生长

学业检测

1. 当归是二年生药用植物，当年收获的肉质根药用价值较低。第二年春天肉质根的抽苔开花同样会降低根的药用价值。生产实践中，人们常在寒露前后挖出当归根进行越冬储藏，第二年清明前后移栽。请回答下列问题：

(1) 在什么样的储藏条件下，可以有效降低当归的抽苔开花率？

(2) 研究者推测：低温诱导植物开花的原因是植物产生了一种称为春化素的物质。请利用嫁接方法设计实验，证明这种推测是否正确。

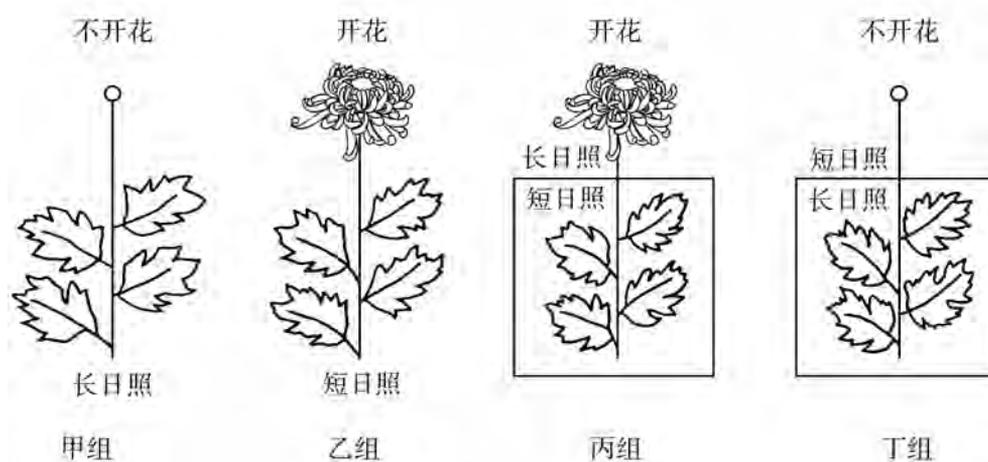
2. “不是花中偏爱菊，此花开尽更无花。”菊花是花中四君子之一，多数种类属于短日照植物，科学家为探究菊花感受光的部位，分别做了如图所示的实验。实验开始前，先去掉菊花顶芽附近的叶片。

甲组：全株接受长日照处理，不开花。

乙组：全株接受短日照处理，开花。

丙组：叶接受短日照处理，顶端长日照处理，开花。

丁组：叶接受长日照处理，顶端短日照处理，不开花。



请回答下列问题：

(1) 菊花在正常情况下于国庆节前后开花，如果想要其在五一前后开花，可采取的

措施是_____。

(2) 实验结果说明了短日照植物的感光部位在植物体的哪一部分?

(3) 根据实验结果猜测, 光敏色素可能在植物体的哪些部位产生?

(4) 黄麻原产于热带和亚热带地区, 是春天播种的一年生植物。人们种植黄麻是为了收获茎秆, 剥取纤维。如果将黄麻由原产地北移到华北地区种植, 它的开花时间和产量将分别发生什么变化?

学业要求

重要概念	节次	学科素养
植物生命活动受到多种因素的调节, 其中最重要的是植物激素的调节。	第一节	<ul style="list-style-type: none"> ◆概述科学家发现植物生长素的主要历程, 认同科学发现是一个长期的进程, 形成科学探究的基本思路和方法, 加深对科学研究过程和本质的理解。 ◆简述生长素的产生部位和运输途径, 解释植物激素的概念, 初步形成结构与功能相适应的观点。
	第二节	<ul style="list-style-type: none"> ◆举例说明生长素在调节植物生长时表现出两重性, 认同生物的独特性和复杂性, 形成科学的自然观。 ◆通过萘乙酸溶液促进植物生根的探究实验, 形成科学探究的基本思路和方法。 ◆简述生长素调节植物的其他生命活动, 认同生物的复杂性, 提高解决生产实际问题的能力。
	第三节	<ul style="list-style-type: none"> ◆举例说明几种主要植物激素的作用, 认同这些激素可通过协同、拮抗等方式共同实现对植物生命活动的调节。 ◆通过乙烯利对水果的催熟作用探究实验, 形成科学探究的基本思路和方法, 提高实践能力。 ◆举例说明生长素、细胞分裂素、赤霉素、脱落酸和乙烯等植物激素及其类似物在生产上得到了广泛应用; 基于对植物激素的认识, 比较不同植物激素在生产实践中的应用。
	第四节	<ul style="list-style-type: none"> ◆概述光、温度、重力参与植物生命活动的调节, 认同生命活动过程是内外因素共同作用的结果。 ◆概述科学家发现光敏色素的主要历程, 认同科学发现是一个长期的进程, 加深对科学研究过程和本质的理解。 ◆举例说明日照长短对植物开花的影响, 指出在不同地域进行作物引种应注意的问题。



中国植物激素研究的历史、现状和展望

植物的生长发育受营养、内源激素和生长环境调控。植物激素几乎参与调控植物生长发育的每一个过程，既包括调控植物自身的生长发育，又包括通过与植物所生存的外部环境相互作用调节植物对环境的适应。植物激素研究历史悠久，对于推动农业发展发挥了巨大作用。由于遗传学和分子生物学的发展，近年来国际上对植物激素作用的分子机理研究有了不少重大突破。在国家相关研究项目的支持下，我国的植物激素代谢调控、转运、激素信号转导等研究取得重要进展，特别是在激素受体基因分离鉴定、激素控制株型以及激素间的相互作用等方面取得突破性进展。

我国学者在植物激素方面的研究最早可以追溯到1930年，李继侗教授在荷兰科学院院报上发表论文《去顶燕麦胚芽鞘新的生理尖端的再生》，他因此享有“中国植物生理学研究第一人”之称。李继侗、罗宗洛、崔澍和罗士韦等教授自20世纪30年代起从事组织培养研究，其中崔澍在组织培养研究中证明简单的化学物质（腺嘌呤）能够调节细胞分化，促进芽的形成。罗士韦对茎尖培养的成功，推动了这一领域的研究。他们的工作促使我国形成了一支相当强的植物组织培养团队。植物激素在组织培养中的广泛应用使我国科学家在20世纪70年代末成功地完成了许多作物茎尖的无毒培养，使700余种植物能够通过茎尖或原生质体获得再生，并且这些成果当时已经被应用到生产实践中。之后，植物组织培养技术逐步用于禾本科作物的花药离体培养方面，推动了植物的单倍体育种。

20世纪80年代以后，各种经济作物和粮食作物的组织培养研究发展迅速，使我国成为国际上在该领域中总体研究成果处于领先水平的主要国家，同时我国的一些林木花卉培养也实现了产业化。

20世纪90年代中后期以来，我国科学家在植物激素代谢、转运和信号转导等领域取得一系列重要成果，特别是在最近几年里有了突飞猛进的进展，在国际高端期刊连续发表研究论文，受到国际同行的高度关注。以往，人们一直认为，生长素的生物合成主要依赖色氨酸途径，而我国科学家证实了生长素生物合成不依赖色氨酸的另一条途径。同样，在细胞分裂素的生物合成中，我国科学家对拟南芥 *AtIPT8/PGA22* 基因的研究方面也作出了重要贡献。

我国的植物激素研究工作在整体上同国际前沿水平还有一定差距，尤其是在植物激素的成分分析和超微量检测手段等方面相差较远。今后的研究目标应该是：围绕植物激素作用机理研究的重大科学问题和粮食安全这一国家最迫切的重大需求，重点加强并系统研究激素在作物中的代谢途径、信号转导以及和环境相互作用的分子机制；阐明激素调节植物生长发育以及对环境应答的分子机理，从而了解激素控制农作物产量和质量性状形成的分子基础；通过塑造理想株型与提高光合及营养利用效率相结合的高产育种新思路，实现资源节约型理想株型的育种潜力目标，加速推进第二次绿色革命的进程。

后 记

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

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

本套教科书是集众人智慧的成果。本书编写过程中，得到了诸多教育界前辈和专家学者的热情帮助和大力支持。在教科书出版之际，我们特别感谢郑光美、刘植义、杨帆、孔维华、张少妮、李亚、孙海基、贾洪涛、樊海等专家、学者、教师与社会各界人士。

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

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

电话：021-64702058

E-mail: office@sste.com

高中生物学教科书编写组

2019年3月

PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU
SHENGWUXUE

普通高中教科书
生物学 选择性必修1
稳态与调节

上海科技教育出版社有限公司出版
(上海市柳州路218号 邮政编码200235)
各地新华书店发行 上海昌鑫龙印务有限公司印刷
开本890×1240 1/16 印张8.5
2019年7月第1版 2019年7月第1次印刷
ISBN 978-7-5428-7028-5/G·4069
定价:9.75元

ISBN 978-7-5428-7028-5

