

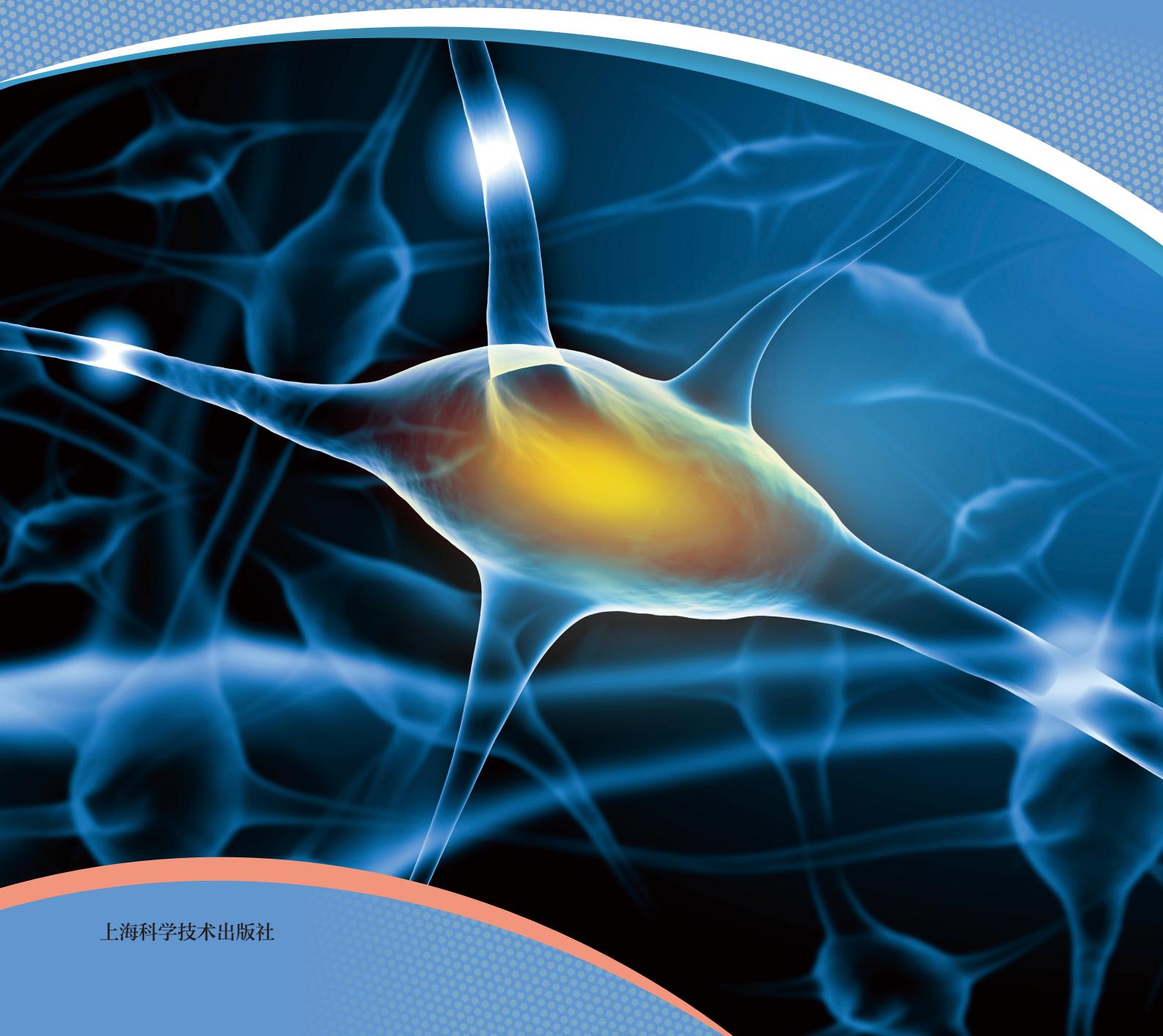


普通高中教科书

# 生物学

选择性必修 1

## 稳态与调节

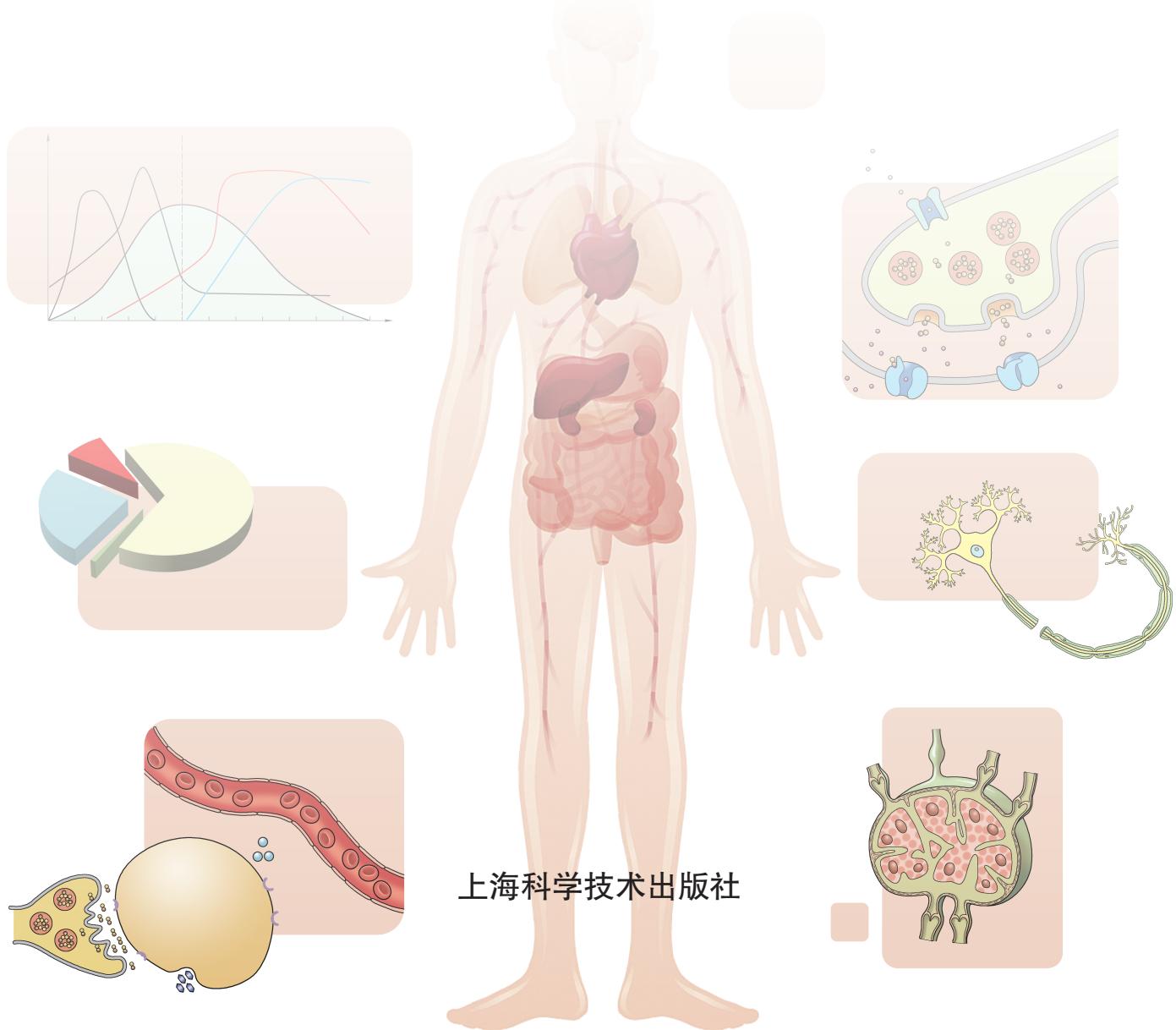


普通高中教科书

# 生物学

选择性必修 1

## 稳态与调节



上海科学技术出版社

主 编：赵云龙 周忠良

本册主编：禹 娜

编写人员：（以姓氏笔画为序）

马 骞 乐黎辉 陈云杰 郑方方 赵 玥

责任编辑：文 波 吴 玥

美术设计：蒋雪静

普通高中教科书 生物学 选择性必修 1 稳态与调节

上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写

---

出 版 上海世纪出版（集团）有限公司 上海科学技术出版社

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

发 行 上海新华书店

印 刷

版 次 2022 年 8 月第 版

印 次 2025 年 8 月第 次

开 本 890 毫米 × 1240 毫米 1/16

印 张 7.5

字 数 174 千字

书 号 ISBN 978-7-5478-5297-2/G · 1035

定 价

---

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分·违者必究

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

全国物价举报电话：12315

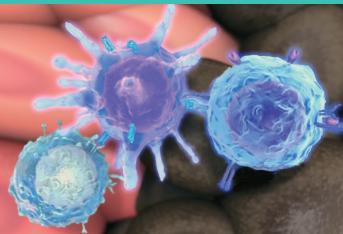
**声明** 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条有关规定，我们已尽量寻找著作  
权人支付报酬。著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

# 目录

	<b>第 1 章 人体的内环境和稳态 1</b>
	第 1 节 内环境是机体细胞赖以生存的环境 / 2
	第 2 节 内环境稳态是机体细胞生命活动的保障 / 7
	探究·实验 1-1 探究生物体维持 pH 稳定的机制 / 11
	<b>第 2 章 人体的神经调节 19</b>
	第 1 节 反射是神经调节的基本方式 / 20
	第 2 节 神经调节过程涉及信息的转换及传递 / 23
	第 3 节 神经中枢调控机体的生命活动 / 30
	第 4 节 条件反射是大脑的高级调节功能 / 36
	探究·活动 2-1 成瘾的生理基础及危害 / 39
	<b>第 3 章 人体的体液调节 45</b>
	第 1 节 激素调节是体液调节的主要形式 / 46
	探究·活动 3-1 模拟诊疗 / 48
	第 2 节 激素通过反馈调节和分级调节维持稳态 / 51
	探究·活动 3-2 认识生活中使用激素类物质对人体健康的影响 / 54
	第 3 节 神经调节与体液调节共同维持稳态 / 56

## 第 4 章

### 人体的免疫调节 65



- 第 1 节 免疫系统是免疫调节的基础 / 66
- 第 2 节 免疫系统具有防御功能 / 73
- 探究 · 建模 4-1 构建炎症反应的概念模型 / 74
- 第 3 节 B、T 淋巴细胞参与特异性免疫应答 / 78
- 第 4 节 免疫功能异常可能引发疾病 / 83

## 第 5 章

### 植物生命活动的调节 91



- 第 1 节 生长素对植物生长的调节作用 / 92
- 第 2 节 植物激素及其类似物调节植物的生命活动 / 99
- 探究 · 实验 5-1 探究乙烯利对香蕉的催熟效果 / 101
- 探究 · 实验 5-2 探究植物生长素类似物对扦插枝条生根的作用 / 105
- 第 3 节 环境因素参与植物生命活动的调节 / 108

# 第1章 人体的内环境和稳态

我国南极科学考察站——中山站寒冷多风，年平均气温仅 $-10^{\circ}\text{C}$ 左右，最低甚至可达 $-36.4^{\circ}\text{C}$ ，在如此严酷的环境下，科学家们却常年驻守，坚持不懈地从事着各类戶外科考工作。而以“火焰山”著称的吐鲁番炎热干燥，夏季极端气温更高达 $49^{\circ}\text{C}$ ，但当地居民一直过着幸福安定的生活。高山、荒岛、沙漠、沼泽……地球上各种不同环境中无不留下了人类的足迹。人体在面对多变的外界环境时，能展现出强大的适应能力，始终维持着内部生理功能的平衡与稳定。那么，机体内部的平衡稳定主要体现在哪些方面？这种平衡稳定状态又是如何得以实现的呢？



# 第1节 内环境是机体细胞赖以生存的环境



## 学习目标

- 分析实验现象，阐明细胞外液为机体细胞提供适宜的生存环境。
- 利用图示，说明构成内环境的血浆、淋巴和组织液之间的物质交换关系。
- 通过构建概念图，简述人体各系统参与机体内、外环境间物质的交换。

## 概念聚焦

- 血浆、淋巴和组织液共同组成高等动物细胞赖以生存的内环境。
- 内环境是机体细胞与外界环境进行物质交换的渠道。
- 内、外环境间的物质交流依靠呼吸、消化、循环和泌尿等系统的共同参与。

水是构成机体细胞的最基本物质之一，同时作为良好的溶剂，它承载着多种离子、化合物、气体，形成环绕在机体细胞周围的液体环境，在体内不断地进行着运输和再分配。那么，机体细胞与其周围的液体间存在着怎样的关系？在机体细胞的新陈代谢过程中，其周围的液体环境又发挥着怎样的作用呢？



## 细胞的生存环境

用新鲜鸡血进行分层实验，发现原来颜色均匀的血液分成了三层：上层浅黄色的血浆，下层深红色的红细胞，中间还有薄薄的一层为白细胞和血小板（图 1-1）。

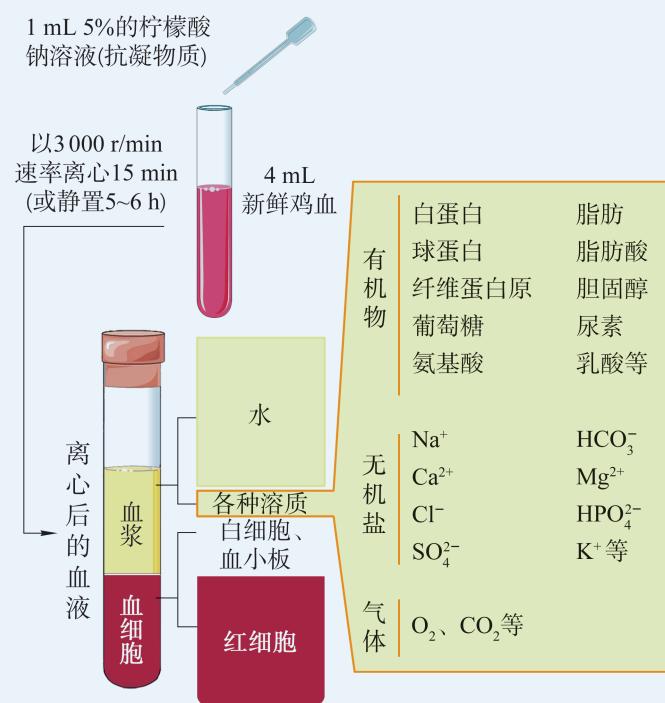


图 1-1 血液分层实验及血液主要成分

### 思考与讨论：

- 从细胞新陈代谢的角度，尝试分析血细胞与血浆之间的关系。
- 试推测机体内其他细胞的生存环境又是怎样的？

## 1. 细胞外液是机体细胞生活的内环境

高等动物机体中，无论是悬浮于血液中的血细胞、分布较松散的疏松结缔组织细胞，还是排列紧密的上皮细胞，每个细胞周围都有或大或小的间隙，主要被各种液体所填充（图 1-2），这些液体统称为细胞外液（extracellular fluid）。细胞外液为浸浴其中的机体细胞提供了生存的环境。为了区别机体生活的外界环境，将细胞外液所构成的液体环境称为**内环境**（internal environment）。机体的内环境并不与外界环境直接接触。

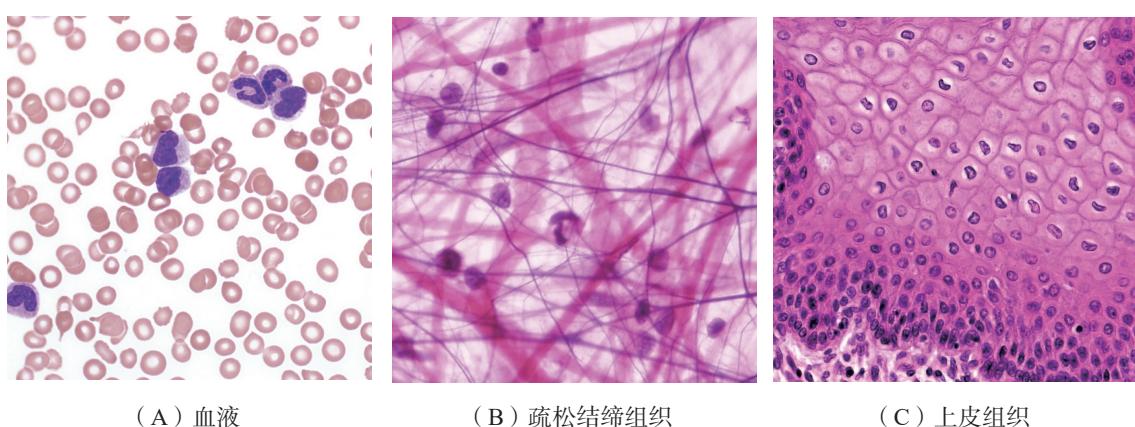


图 1-2 各种机体细胞的间隙都充满液体（ $1000\times$ ）

此外，人体内部还有大量的液体分布于细胞内，称为细胞内液（intracellular fluid）。细胞外液和细胞内液间存在直接的物质交换，两者共同组成了机体的体液（body fluid，图 1-3）。

**细胞外液**

- 血浆：**由水和溶质组成。参与运送生命活动所需的各种血浆蛋白、无机盐、脂质、糖类、激素、 $O_2$ ，以及机体代谢产生的尿素、 $CO_2$ 等。这些溶质中有的为血细胞提供各种生存必需，有的在维持血浆酸碱度和渗透压等平衡中起着重要的作用。另外，血浆还参与机体免疫、凝血及体温恒定等调节。
- 组织液（又称细胞间液）：**绝大部分呈凝胶状态，不能自由流动，但水和各种溶质分子在组织液中的扩散运动并不受阻碍，能与血浆、细胞内液进行物质交换。因而组织液为体内绝大多数组织细胞提供了最基本和相对稳定的生活环境。
- 淋巴（又称淋巴液）：**是在淋巴管中流动的液体。淋巴流动时经过的淋巴结中有大量免疫细胞，它们能清除淋巴带来的细菌等病原体。所以，淋巴既为淋巴细胞提供了生存环境，也起到机体防御屏障、参与维持内环境稳定的作用。

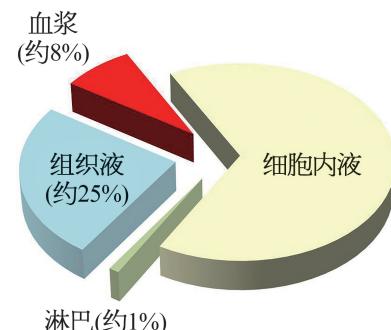


图 1-3 细胞外液和细胞内液共同构成机体的体液

绝大多数机体细胞并不直接与外界环境相接触，而是浸浴在血浆、淋巴和组织液共同构成的内环境中，经细胞膜从内环境直接吸收营养物质和氧气，并将代谢产物及某些分泌物排入内环境，从而完成自身的新陈代谢及相关功能。

人体的血液循环系统具有遍布全身的血管网络，凭借其深入组织内部的毛细血管网，通过高通透性的毛细血管壁，进行着组织液的生成和回流。该过程中，营养物质和O<sub>2</sub>等从血浆扩散至组织液，同时将细胞排入组织液的代谢产物尿素、CO<sub>2</sub>等收回至毛细血管，由此完成组织液的物质更新及稳定（图1-4）。毛细淋巴管（lymphatic capillary）的盲端也分布于组织细胞的间隙中，其管壁上呈覆瓦状排列的上皮细胞只允许组织液单向流入毛细淋巴管形成淋巴。这种结构的管壁比毛细血管壁的通透性更大，一些不易透过毛细血管壁的大分子物质（如蛋白质）、细菌、病毒甚至肿瘤细胞等都可以进入毛细淋巴管。淋巴流经各级淋巴管道，最终汇入血液循环，因此，淋巴循环可以看作是血液循环的辅助。由于途中会经过多个淋巴结，淋巴中的细菌、病毒大多会被清除。

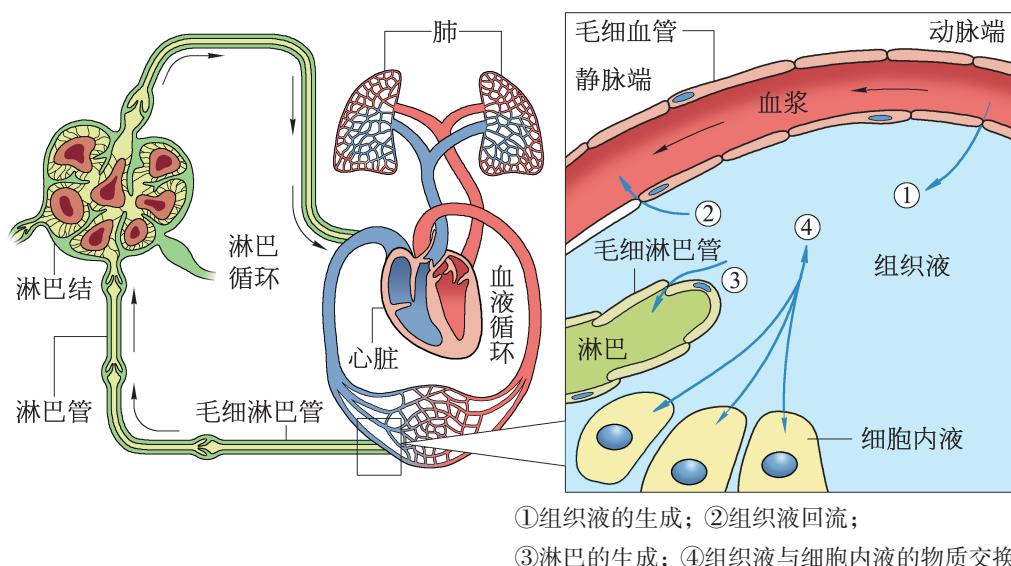


图1-4 内环境的物质交换示意图

组成内环境的血浆、淋巴和组织液始终处于动态平衡状态。其中，组织液大部分渗入毛细血管静脉端，少部分（约10%）经淋巴管道进入循环系统。它们行使各自功能的同时，也通过相互沟通使各自的成分与含量维持相对稳定。三者的基本化学

组成比较接近，但略有不同，如血浆中含有较多的血浆蛋白，而淋巴和组织液中仅含极少量蛋白质。

机体细胞依靠内环境获得各种生存必需的条件，同时也通过物质的合成、分解、贮存和释放，时刻参与着内环境的形成与维持。例如，肝细胞代谢所需的O<sub>2</sub>和营养物质由内环境提供，同时肝细胞通过葡萄糖与肝糖原的相互转化参与维持内环境中葡萄糖含量的相对稳定。此外，内环境中的激素、CO<sub>2</sub>、乳酸等物质也均来自机体细胞的代谢过程。

## 2. 呼吸、消化、循环和泌尿等系统参与内、外环境间的物质交换

内环境中的O<sub>2</sub>及大部分营养物质都来源于外界环境，细胞的代谢废物最终也将排至外界环境，因此，内环境又是细胞与外界环境进行物质交换的渠道。那么，内环境中的物质是通过什么途径与外界环境进行物质交换的呢？

机体所需的O<sub>2</sub>和营养物质等通过呼吸、消化和吸收等过程从外界摄入，并经循环系统运送至全身各处参与机体细胞代谢活动。同时，细胞代谢所产生的并进入内环境的CO<sub>2</sub>、尿素等物质也会被运送至肺、肾、皮肤等器官排出体外。在此过程中，呼吸系统、消化系统、循环系统和泌尿系统等密切协作，确保了机体细胞、内环境及外界环境之间高效而有序的物质交换（图1-5）。

当机体的这些系统或器官出现功能异常时，内、外环境的沟通就可能发生障碍，从而影响内环境的正常功能。例如，肺气肿会使内环境中CO<sub>2</sub>浓度升高，从而造成机体酸中毒；急性肾衰竭则会引起内环境中电解质和酸碱平衡的紊乱。

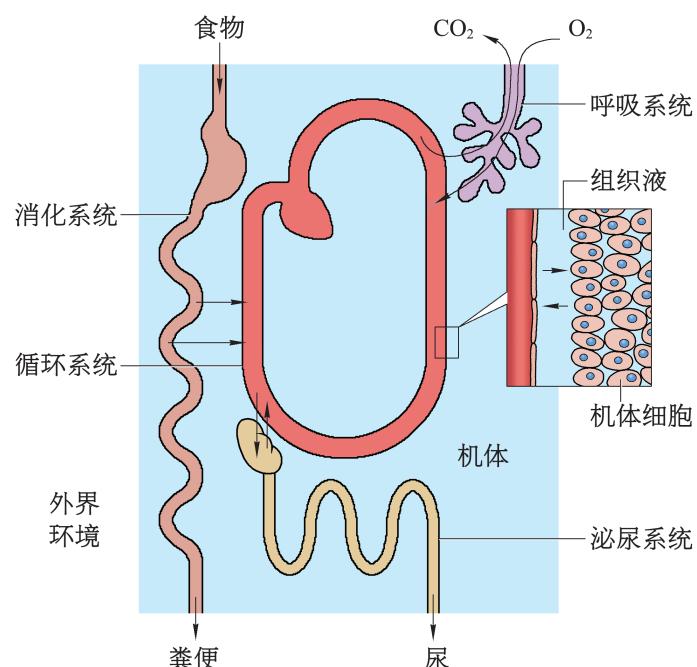


图1-5 各系统参与内、外环境间的物质交换示意图



## 科学史话

### 贝尔纳与“内环境”

19世纪，科学界普遍认为人体需要的糖类物质不能自身产生，须从食物中吸收并运送到肝脏、肺或其他一些器官后被分解利用。法国实验生理学家贝尔纳（C. Bernard）为了验证糖吸收利用的观点，将实验狗分为两组，分别用碳水化合物和肉进行投喂。几天后，两组实验狗的静脉中都检测到了大量的葡萄糖，这种现象引发了贝尔纳的思考。在随后针对不同代谢器官的物理化学检测中，他注意到，当血液中葡萄糖含量升高时，肝脏可以将葡萄糖转化成糖原储存起来；反之，肝脏也可以利用其他物质合成糖原，而后转化为葡萄糖进入血液，即动物体的血糖水平可以通过肝脏调节使之处于相对稳定的状态。由此，贝尔纳发现肝脏具有糖原合成和转化功能，同时也意识到机体内各部分间存在相互协调的关系。此后，贝尔纳在胰腺的消化功能、神经影响血管舒缩等方面的研究中，逐渐确信机体各器官的活动并不完全独立，而是各种功能彼此相关，从属于整体的生理需要。

1857年，贝尔纳首次提出了“内环境”概念，并于1865年在其专著《实验医学研究导论》中作了详细阐释。他认为，内环境是围绕在多细胞动物细胞周围的体液，为机体细胞提供了适宜的生存环境。此外，贝尔纳还敏锐地意识到：身体内所有的器官、系统，尽管种类不同、功能各异，但目的只有一个——使内环境保持稳定，这是动物体自由独立生活的必要条件。这种整体生命观将生理学研究由关注现象推向了关注本质，并为后来美国生理学家坎农（W. Cannon）提出“稳态”概念奠定了基础。

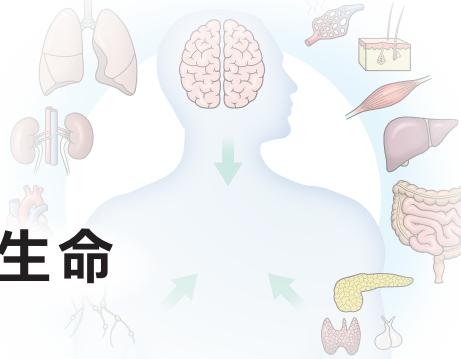
#### 思考与讨论：

结合以上材料，运用批判性思维，针对这几种观点谈谈你的看法：①科学发现的最大困难在于摆脱一些传统或权威的束缚。②对一切事物都应持有怀疑态度。③科学推理都基于观察与实验。④良好的方法能使科学家进一步发挥运用天赋的才能。



### 自我评价

- 请判断人体的汗液、尿液以及唾液是否属于内环境的组分，并陈述理由。
- 参与体内细胞与外界环境之间气体交换的系统包括\_\_\_\_\_。
- 尝试用文字和箭头等概念图形式，说明机体细胞内液及内环境各组成部分间的物质交换关系。
- 某同学连续几天发热不止，并且咳嗽愈加严重。到医院检查后，医生告知得了肺炎，需要进行抗生素治疗。如果采用肌内注射的方式，请分析药物到达患病部位经历的运送途径。



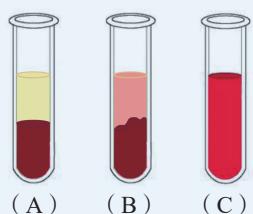
## 第2节 内环境稳态是机体细胞生命活动的保障

随着健康意识的不断增强，人们逐渐养成了定期体检的良好习惯。体检项目中，通常包含血糖、甘油三酯、胆固醇、尿酸、尿素、各种离子等血液生化指标的检测。你了解检测这些指标的目的吗？当患者需要静脉补液时，常会使用0.9%的NaCl溶液，这又是为什么呢？



### 环境离子浓度对红细胞的影响

单位体积溶液中溶质颗粒越多，渗透压越高。如果细胞膜内外两侧的液体渗透压不同，水分子就会从渗透压较低的一侧渗透至较高的一侧。那么，机体内环境的渗透压高于或低于细胞内液的渗透压时，会对细胞产生怎样的影响？在5支试管中分别加入2 mL浓度不同的NaCl溶液和2滴抗凝鸡血，混匀、静置一段时间后观察（图1-6）。



溶液浓度(%)	试管呈现结果	显微镜观察结果
0	C	红细胞几乎全部破裂
0.4	B	红细胞明显膨胀，部分发生破裂
0.8	A	红细胞形态无明显变化
1.2	A	红细胞明显皱缩
1.6	A	红细胞严重皱缩

图1-6 不同浓度NaCl溶液下试管与显微镜观察结果

#### 思考与讨论：

1. 正常状态下，细胞内液与周围组织液的渗透压是否相等？你能判断出实验中接近鸡血浆渗透压的NaCl溶液浓度吗？

2. 如果将人的红细胞置于1.9%尿素溶液（该浓度尿素溶液与血浆具有相等的渗透压，尿素通过自由扩散方式穿过细胞膜）中，会发生什么情况？

#### 学习目标

- 通过图示、实验观察和列举等，阐述内环境理化特性的稳定状态。
- 基于物质与能量观，阐释内环境理化特性维持稳定是机体正常生命活动的保证。

#### 概念聚焦

- 内环境中各种理化性质相对稳定——稳态，是人体正常生命活动的基本条件。
- 在机体的调节下，各器官、系统协调统一地活动，是维持内环境稳态的基础。



## 广角镜

## 渗透压的测量

中央由半透膜分隔的U形管两侧分别加入等量的纯水和蔗糖溶液。纯水中的水分子会以较快的速度透过半透膜向蔗糖溶液一侧扩散，由此纯水侧的液面会不断下降，蔗糖溶液液面则不断上升，两者之间就形成一个压力差（图1-8）。这一压力差持续增大，直至两侧的水分子扩散速度相等时，渗透达到平衡，此时的压力差值即为该蔗糖溶液的渗透压。

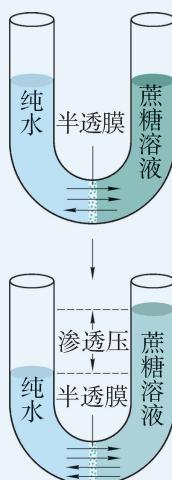


图1-8 蔗糖溶液渗透压测量示意图

## 1. 内环境中的各种理化性质处于相对平衡状态

当机体细胞周围液体的渗透压发生大幅度的变动时，细胞的形态会因水分的进出而出现明显变化，从而可能导致其功能受到影响，甚至会出现解体现象。由此可见，内环境渗透压的稳定对于生活于其中的细胞至关重要。

内环境渗透压的大小与其单位体积内溶质颗粒的数量有关。例如，血浆渗透压的大小主要是由血浆中的各种微粒，尤其是无机盐离子和血浆蛋白分子的数量决定。血浆中颗粒数量最多的是 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ ，它们为血浆提供了近90%的渗透压。正常人体血浆渗透压为770 kPa。

细胞处于渗透压高于细胞内液的溶液中，会由于失水而皱缩；而处于渗透压低于细胞内液的溶液中，则由于吸水而膨胀甚至破裂（图1-7）。机体细胞只有处于与周围内环境渗透压相对平衡稳定时，其正常的形态和功能才能得以维持。因此，临幊上通常利用与人体血浆渗透压相等的0.9% NaCl溶液作为补液的生理盐水。

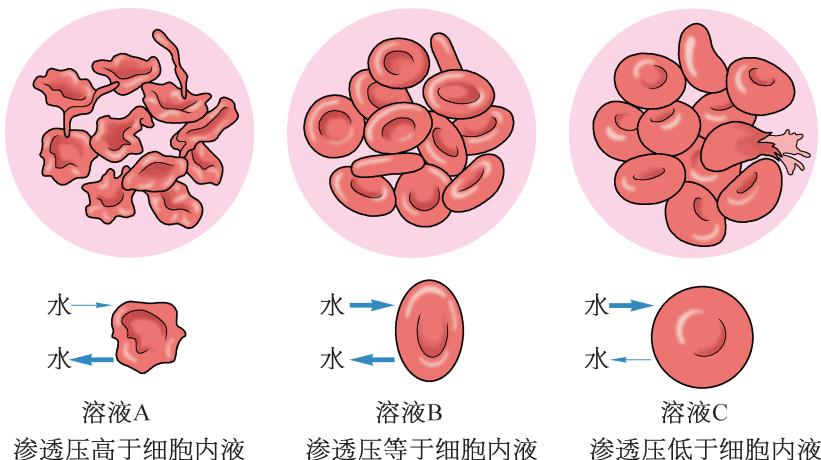


图1-7 红细胞在不同渗透压溶液中的形态示意图

除了渗透压外，机体内环境中酸碱度、温度、血糖等理化性质的相对稳定对机体细胞正常的生命活动也十分重要。

正常情况下，人体不同部位细胞外液的酸碱度接近中性，如血浆pH为7.35~7.45，组织液和淋巴的pH也都与之相近。

内环境酸碱度的相对稳定是细胞进行正常生命活动（如维持酶活性等）的必要条件。人体摄入的各种营养成分及机体细胞新陈代谢产生的各种酸性物质（如乳酸）或碱性物质（如 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ）都会进入血浆。但血浆中存在着 $\text{NaHCO}_3$ 和 $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 和 $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 等多种对酸碱度具有调节作用且成对存在的缓冲物质，它们可通过化学反应在一定范围内对酸碱度进行调节，进而使血浆的酸碱度维持相对稳定（图 1-9）。

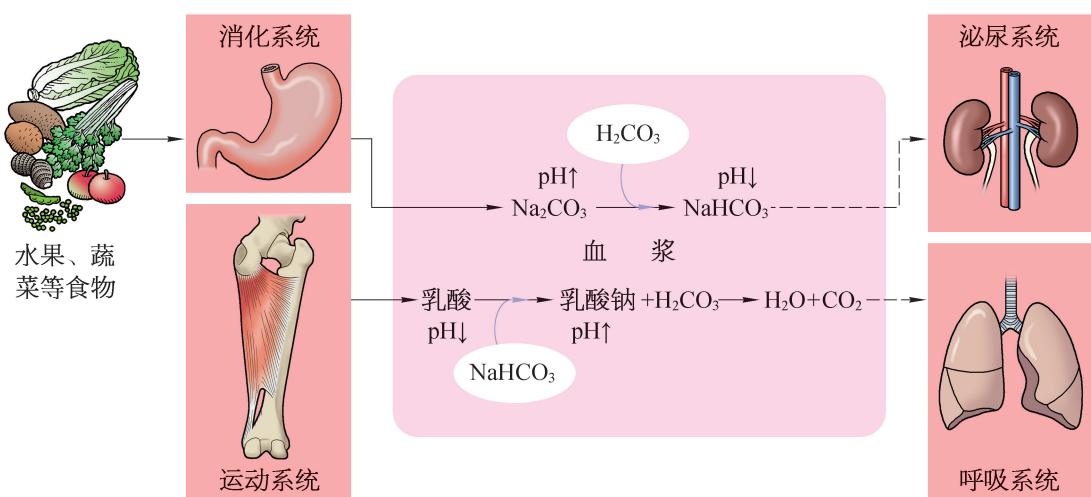


图 1-9 血浆保持 pH 相对稳定机制的示意图  
(小圈中的  $\text{H}_2\text{CO}_3$  和  $\text{NaHCO}_3$  代表血浆中存在的缓冲物质)

温度对维持机体正常生命活动同样至关重要。例如：人体内的酶在 35~40℃时，催化效率最高。安静状态下，正常人体内环境的温度通常在 37℃左右，这为细胞新陈代谢及机体正常生理活动提供了保障。尽管人的体温会随着昼夜、年龄、性别、活动等因素有所变化，但在神经系统和内分泌系统等调节下，机体通过产热和散热等途径使体温保持相对稳定，变化幅度一般不超过 1℃（图 1-10）。

血浆中含有一定浓度的葡萄糖（即血糖），它是人体各种组织、器官正常活动的主要能量来源。正常情况下，一天中随着人体生理活动的变化，血糖浓度也会发生波动。例如，空腹时血糖浓度维持在 3.90~6.10 mmol/L，而在餐后会出现暂时性升高，但最高值不会超过 9.10 mmol/L。尽管人体的血糖始终处于波动之中，但总体保持在一个相对平衡的范围内（图 1-11）。

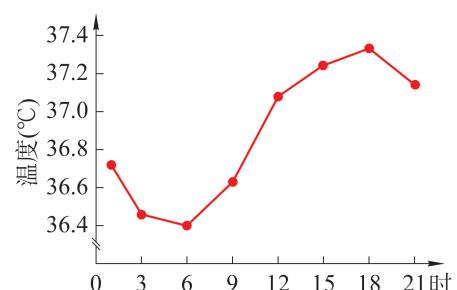


图 1-10 人体体温的昼夜波动

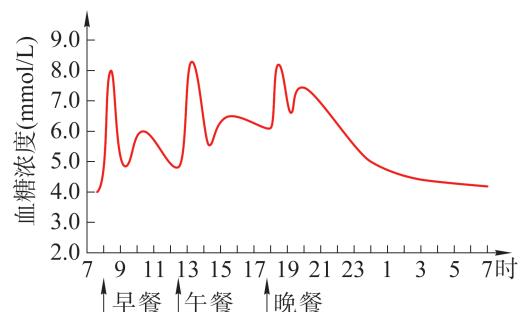


图 1-11 人体血糖水平的昼夜波动

## 2. 内环境稳态是正常生命活动的基本条件

贝尔纳观察到，尽管人体所处的外界环境无时无刻不在发生变化，甚至会出现高温、严寒、低氧、干燥等极端状况，但机体内环境中的渗透压、酸碱度、温度等理化性质和各种物质成分始终在较狭小的范围内变动，即处于相对稳定状态。坎农于1926年将这种状态定义为**稳态**(homeostasis)。稳态是一种动态平衡，是人体调动自身各系统和器官共同活动的结果，所以又称为**自稳态**。

内环境的稳态对于生物的生存具有极其重要的意义，是细胞乃至人体进行正常生命活动的基本条件(图1-12)。它是多细胞生物进化过程中形成的一种适应机制，相对稳定的内环境使机体内的各种生命活动对外界环境的依赖性降低，大大提高了机体对环境因素的耐受能力。

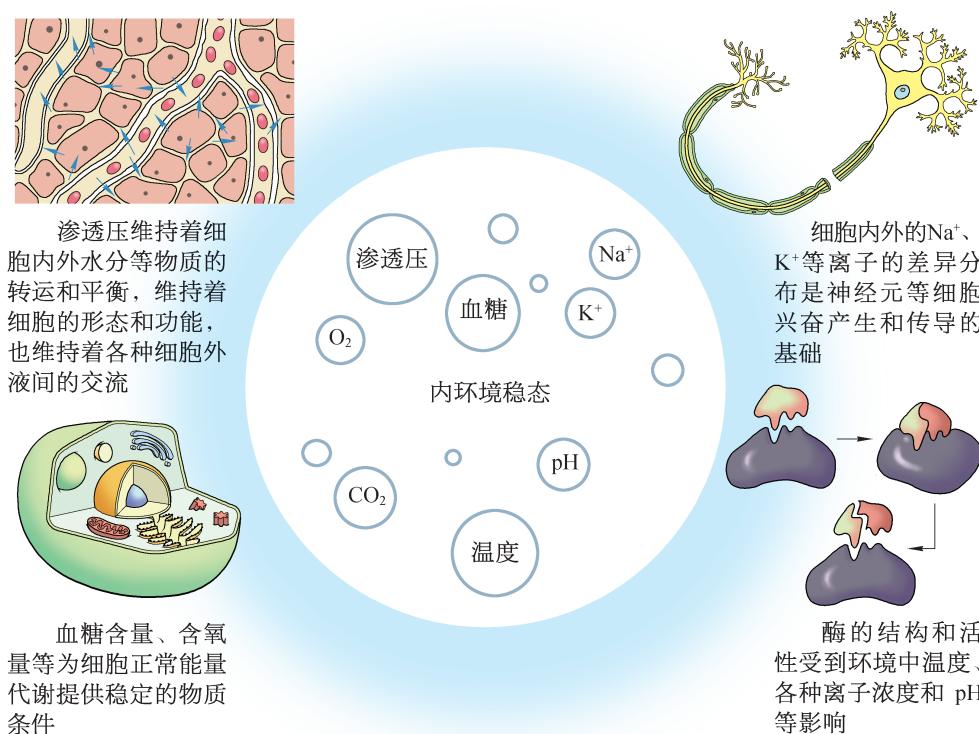


图1-12 人体内环境稳态的生理意义



## 探究·实验

### 1-1 探究生物体维持 pH 稳定的机制

在正常情况下，糖类、蛋白质和脂肪三大营养物质在人体内代谢的最终产物都有  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ，同时也会产生乳酸、丙酮酸等酸性物质。人体每天产生这些酸性物质的量可达到 60 mmol，而且  $\text{CO}_2$  也会导致内环境中碳酸的含量增加。如果它们不能及时得到处理，将会导致内环境 pH 的剧烈改变，引起酸中毒，最终对机体产生危害。

#### ► 实验目标：

比较血浆、蒸馏水和磷酸缓冲液维持 pH 稳定的能力。

#### ► 实验原理：

磷酸缓冲液是生物学实验中的一种常见试剂，其中含有成对的化学物质 ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  和  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ )，能对加入其中的酸性或碱性物质起到一定的缓冲作用，从而保持 pH 的稳定。

#### ► 材料器具：

抗凝血浆；磷酸缓冲液(pH7.0)、蒸馏水、0.1 mol/L HCl、0.1 mol/L NaOH；pH 传感器(或 pH 计)、100 mL 量筒、50 mL 烧杯、滴管、玻璃棒。

#### ► 实验步骤：

- 请利用提供的实验材料和器具设计实验，比较蒸馏水、磷酸缓冲液和血浆在酸或碱作用下维持 pH 稳定的能力。
- 利用数据处理软件设计表格填写实验记录，并根据实验结果绘制以 pH 为纵坐标、滴液量为横坐标的折线图。

#### ► 结果分析：

- 根据绘制的折线图，比较蒸馏水、磷酸缓冲液和抗凝血浆在维持 pH 稳定方面有何不同？并分析原因。
- 请查阅资料，了解人体在什么情况下会造成“酸中毒”或“碱中毒”，并说一说它们对人体健康的危害。

- HCl 或 NaOH 逐滴加入后，应充分混匀再测量。
- pH 传感器探头或 pH 计每次测量后需用蒸馏水洗净，才能再次使用。

### 3. 机体系统和器官共同调节以维持内环境稳态

科学家在动物实验研究中发现，当血液中  $\text{CO}_2$  分压或  $\text{H}^+$  浓度高于正常值时，动物的呼吸节律会增强，呼吸程度也会加深；同时，肾脏中的肾小管向尿中分泌  $\text{H}^+$  的作用会增强，并且加强对原尿中碳酸氢盐的重吸收作用。这些现象在短时间内会使血浆中  $\text{CO}_2$  分压和 pH 恢复正常。那么，机体是如何做到及时调整的呢？

正常生理状况下，无论是外部环境变化，还是自身生理活动导致的机体内环境波动，都会在体内各种器官及系统的相互配合下恢复到相对平衡状态（图 1-13）。而这些器官系统的相互配合主要依靠神经系统和内分泌系统整体协调得以实现。内环境的 pH、体温、血糖等理化特性的稳态维持都是如此。

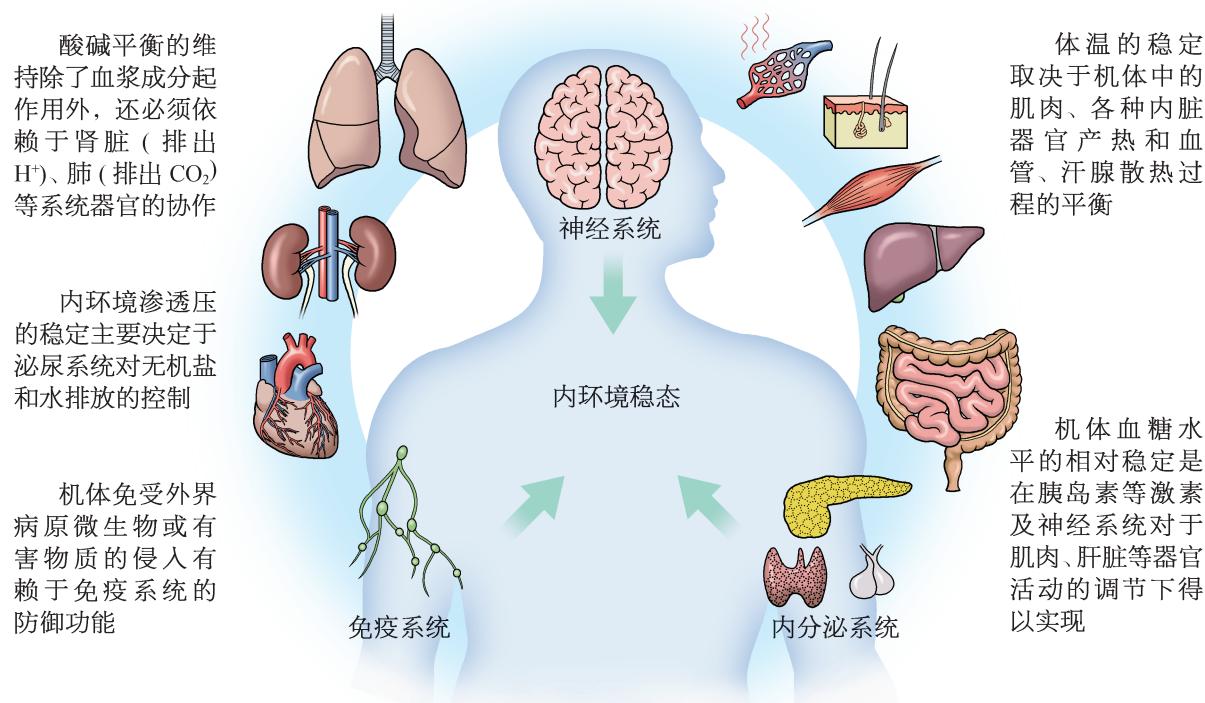


图 1-13 人体内环境稳态的维持依靠各器官和系统的共同协调工作

侵入机体的细菌、病毒等病原体，以及自身的病变细胞也会破坏内环境稳态。若要快速恢复，仅靠神经系统和内分泌系统显然是不够的，此时，免疫系统将发挥重要作用。例如，患病毒性感冒后，免疫系统的功能因病毒入侵而被激活，通过多

种方式识别并清除病原体及被感染的细胞。此时，神经系统和内分泌系统的活动能够促进机体代谢，同时抑制皮肤的散热过程，从而使体温上升。一定程度的体温升高（发热）能进一步促使机体免疫系统能力增强，并能抑制病毒等病原微生物的活性和繁殖。这些都有利于清除病原体，最终促进疾病的痊愈。

在人体中，神经系统、内分泌系统和免疫系统是协调体内各种生命活动最主要的调节者（图 1-14）。三者既具备各自独特的调节方式，又彼此密切联系、相互作用。内分泌腺的活动受到神经系统的控制，同时，其产生的激素也能影响神经系统的功能；此外，神经和激素共同调控着免疫系统的功能，而免疫系统又通过产生各种化学物质反过来作用于神经和内分泌系统。这样就形成了维持人体稳态的“神经—内分泌—免疫”调节网络。正是在该网络的调节下，机体内的各器官和系统才能得以协调有序地发挥功能，最终恢复并维持内环境稳态。

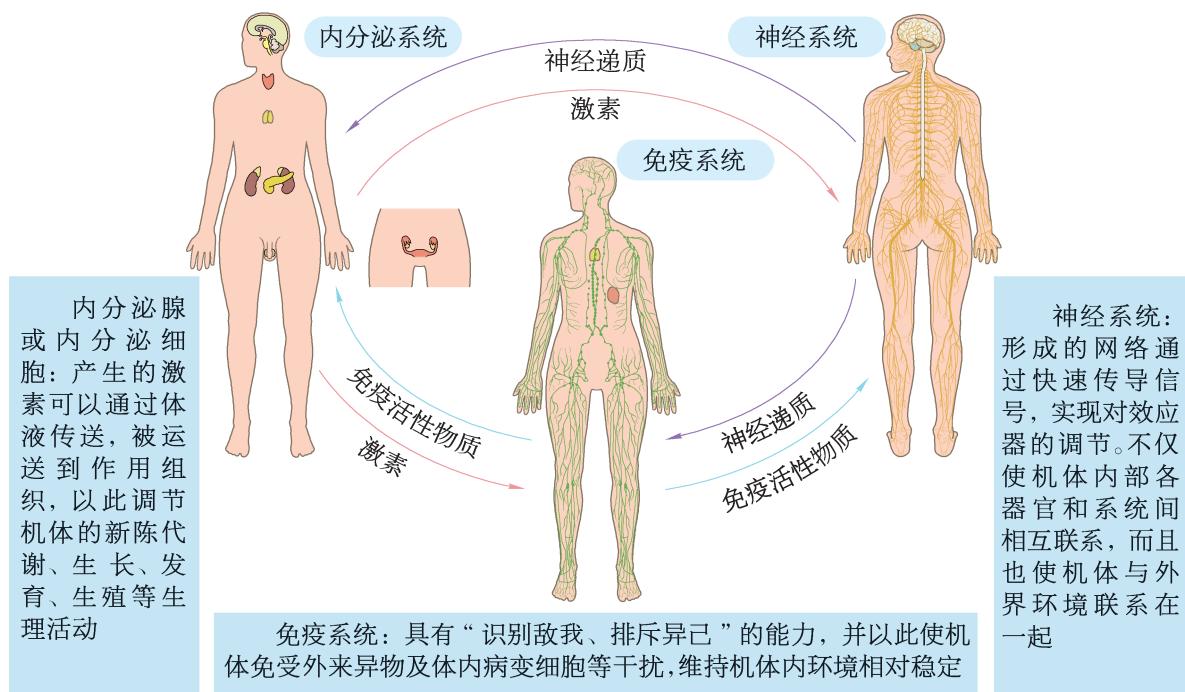


图 1-14 神经系统、内分泌系统和免疫系统的功能与相互联系

当然，人体维持内环境稳态的调节能力具有一定限度。如果外界环境变化过于剧烈或由于感染病毒等原因对机体造成损伤，可能会导致机体调节的某些方面发生紊乱，相应的代谢活

动及机能就会出现障碍，内环境的稳态也就遭到破坏，机体细胞失去了赖以生存及发挥功能的环境，最终可能会导致疾病甚至死亡。



## 广角镜

### 自身调节

自身调节并不依赖神经或激素的作用，是机体内一些组织、细胞自身对周围环境变化产生的适应性反应。例如，脑血流量稳定的维持。脑组织耗氧量高（占全身20%），因而必须有稳定的血液供应。当人的动脉血压在50~160 mmHg间变动时，血压上升会使脑血管壁受较强的牵张刺激，引起管壁平滑肌紧张性收缩增强，血流阻力上升，血流量降低；反之，血压下降，血管平滑肌紧张性降低，阻力下降，血流量增大。类似的机制也存在于肾血流量和微循环毛细血管活动的稳定调节中。当然，自身调节能力相对较小，作用范围也非常有限。



### 自我评价

1. 内环境稳态是人体正常生命活动的基本条件。

- (1) 内环境稳态的意义主要在于( )。
- A. 将细胞功能活动固定在一个水平
  - B. 使机体与环境变化保持一致
  - C. 保证细胞正常的新陈代谢
  - D. 保证机体处于安静状态
- (2) 大量出汗后快速饮用大量纯净水，可能造成的危害是( )。
- A. 迅速扩充循环血量
  - B. 导致尿量明显增加
  - C. 稀释胃肠道消化液
  - D. 破坏内环境的无机盐平衡
- (3) 当内环境的稳态发生波动时，必将引起( )。
- A. 细胞代谢速率加快
  - B. 渗透压下降
  - C. 酸碱度失调
  - D. 神经、内分泌等系统调节活动增强
2. 环境极端变化、疾病或受感染都会影响人体内环境的稳态，可能出现以下情况：
- ①在炎热环境中，长时间体力劳动引起人体体温升高，甚至出现昏迷；②饮食不当引起严重的腹泻、呕吐，易造成人体疲劳、肌肉痉挛、虚弱、恶心、眩晕等；③机体内分泌缺陷或长期高脂高糖饮食，引起人体出现糖尿；④慢性肾功能衰竭引起尿毒症；⑤攀登高山时，容易造成头痛、乏力、呼吸困难、血压上升、失眠等反应。查阅相关资料，分析这些症状分别由于哪些内环境因素紊乱而造成？若要使人体内环境恢复正常状态，可以分别采取什么措施？



## 前沿视窗

### 人体的“神经-内分泌-免疫”网络

人类有关神经系统和内分泌系统影响机体免疫功能的感性认识由来已久。中医对“七性（喜、怒、忧、思、悲、恐、惊）致病”的描述就提示精神、情绪因素可以部分地影响机体的抗病能力，从而加速或延缓疾病的发生、发展和治疗。现代临床医学也发现内分泌系统中肾上腺皮质所分泌的糖皮质激素对治疗大多数自身免疫病有效。1972年，科学家发现机体接受外源物质刺激后，脑内某些部位神经元兴奋状况发生了改变。1979年，研究证实了人的T淋巴细胞上存在阿片肽（一种神经递质）的受体，这意味着阿片肽可以通过该受体参与机体免疫调节。

随着研究不断深入，人们认识到神经系统、内分泌系统、免疫系统通过共同的化学信号分子和受体，使得它们的功能有机地整合在一起（图1-15）。三个系统相互交织，构成机体内多维立体调节网络，参与机体防御，调节机体的生长发育及其他基本生理功能，共同维持机体内环境的稳态。相应的理论学科——“神经-内分泌-免疫学”也随之兴起，其研究目标旨在探索这三大系统相互作用的生物学物质基础、联系途径和分子作用机制等。

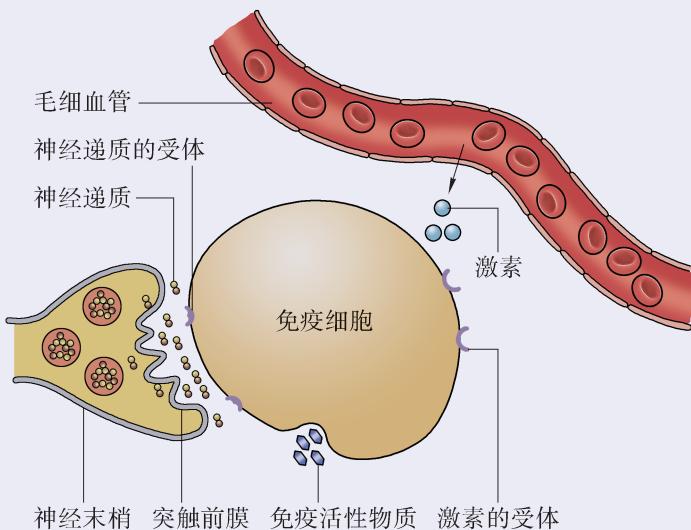


图1-15 神经、内分泌、免疫调节关系示例图

20世纪80年代，“神经-内分泌-免疫”网络理论首先被引入自身免疫疾病病因的临床研究。随着学科发展，对高血压、糖尿病、哮喘及癌症等疾病发生发展相关机制的认识逐步加深，为治疗提供了更为全面的理论基础和科学依据。此外，由于这三大系统与精神及心理活动都存在极其密切的联系，该研究的发展也为传统医学模式向“生物-心理-社会”医学模式的转化提供了崭新的理论依据。

# 本章回顾



## 本章小结

犹如生物的生存依赖一定的环境，人体细胞的生存依赖于血浆、组织液和淋巴等细胞外液构成的内环境。因此，机体内环境中物质的相对稳定和理化性质的相对平衡，是细胞正常生命活动的保障。

细胞新陈代谢过程中，会从内环境中摄取营养物质和氧气，并将代谢废物等释放到内环境。内环境中上述物质相对稳定的维持，是在呼吸系统、消化系统、泌尿系统和循环系统等参与下，通过与外界环境间的物质交换得以完成的。

机体细胞的生存和正常生命活动，需要内环境中温度、渗透压、pH等理化性质及血糖等化学成分处于相对稳定的状态——稳态。机体内环境作为一个相对开放的系统，会受到外界环境变化的影响。人体内环境的稳态在神经系统、内分泌系统和免疫系统的共同调节下，通过协调各种器官和系统的活动得以维持。

人体内环境稳态的维持具有一定限度，当外界环境的变化过于剧烈或人体自身的调节功能出现障碍时，内环境的稳态就会遭到破坏，从而引发疾病甚至危及生命。因此，养成良好的生活习惯，对维持机体内环境稳态，保证身体健康具有重要意义。

内环境稳态是多细胞生物进化过程中形成的一种适应机制，相对稳定的内环境使机体内的各种生命活动对外界环境的依赖性降低，大大提高了机体对环境的适应能力。

## 学业评价

1. 图1-16是某同学学习本章内容后，绘制的机体细胞和外界环境间的物质交换示意图。

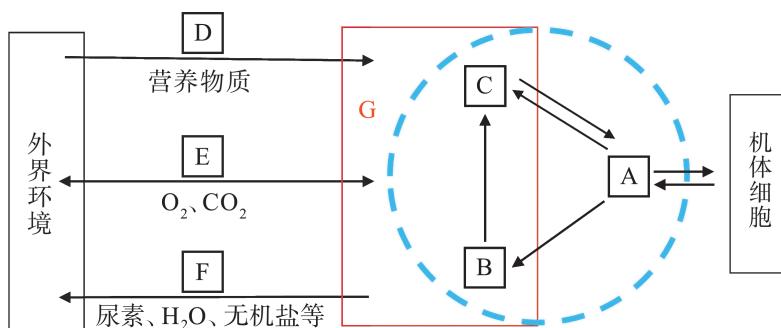


图1-16 机体细胞和外界环境间的物质交换示意图

- (1) 图中的蓝色虚线表示的是内环境，请根据相应信息，写出下列字母代表的各部分名称。

A表示组织液；B表示\_\_\_\_\_；C表示\_\_\_\_\_；D表示消化系统；E表示\_\_\_\_\_系统；F表示\_\_\_\_\_系统；G表示\_\_\_\_\_系统。

- (2) 以下可直接发生在内环境中的生命活动过程有：\_\_\_\_\_。

- ① 体内胰岛素的运输                   ② 消化道中淀粉分解成麦芽糖
- ③ 丙酮酸转化成乳酸                   ④ 血红蛋白与 O<sub>2</sub> 的结合
- ⑤ 乳酸与碳酸氢钠反应生成乳酸钠 ⑥ 淋巴细胞识别细菌

- (3) 大多数机体细胞直接与组织液进行物质交换，而部分细胞还能与内环境的其他组成部分进行物质交换，如\_\_\_\_\_。

- ① 淋巴细胞                           ② 口腔上皮细胞                   ③ 红细胞
- ④ 肌肉细胞                           ⑤ 毛细淋巴管上皮细胞

- (4) 根据图1-16，描述内环境中葡萄糖可能的来源和去路，以及在这些过程中有哪些系统参与。

2. 图1-17显示人体内某组织的局部显微结构。正常情况下，人体各部分组织液的量是相对恒定的。但某些原因尤其是渗透压变化，会造成内环境中各部分物质交换的失衡，从而导致皮肤及皮下过多的组织液积聚形成肿胀，临幊上称之为组织水肿。

- (1) 据图分析，通常组织液的来源和去路分别是什么？  
 (2) 为什么长期营养不良的人会出现组织水肿？静脉注射血浆蛋白为什么能够缓解该症状？

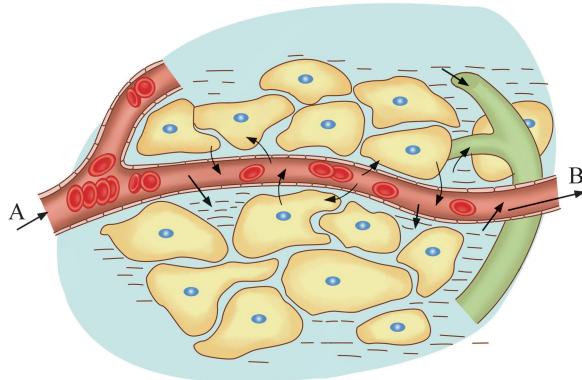


图 1-17 人体某组织局部显微结构示意图

- (3) 人体血浆渗透压主要取决于血浆中  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  的颗粒数，上述长期营养不良导致的组织水肿是否能通过静脉注射  $\text{NaCl}$  溶液进行治疗？
- (4) 除了营养不良外，造成组织水肿的原因也可能是（ ）。(多选)
- A. 过敏引起毛细血管壁的通透性增加      B. 毛细淋巴管阻塞  
 C. 肾小球肾炎形成蛋白尿      D. 运动后大量补充水分
3. 科研人员为了研究某种多肽类合成药物（相对分子质量较小，可透过毛细血管壁）在人体内的代谢、分布和排泄等特点，利用稳定性同位素  $^{15}\text{N}$  标记了构成该药物结构中的氨基酸，在实验小鼠体内进行相关测试。实验中分别通过灌胃（相当于口服）和皮下注射向小鼠适量给药。此后，分别于不同时间点采集血液、排泄物等，进行同位素检测，部分结果显示如表 1-1。

表 1-1 给药后小鼠血液和尿液中同位素检测的部分结果

项目	灌胃组	注射组
给药后血液中检测到 $^{15}\text{N}$ 的时间	15 min	5 min
给药后尿液中检测到 $^{15}\text{N}$ 的时间	20 min	10 min
血液中最高药物浓度	10 ng/L	110 ng/L

- (1) 灌胃组小鼠血液中检测到最高药物浓度明显低于注射组的原因可能是什么？
- (2) 为什么注射组小鼠尿液中检测到  $^{15}\text{N}$  的时间明显短于灌胃组？
- (3) 应用图示描述灌胃组小鼠体内  $^{15}\text{N}$  标记物质从胃腔到尿液的主要转移过程，并指出机体哪些系统参与该过程？
4. “酸性体质的人易患疾病，碱性体质的人更长寿，为了您的健康，应该少吃酸性食物，多喝碱性水！”你认为这样的说法是否科学？请运用本章所学知识进行分析。

## 第2章 人体的神经调节

生活在纷繁复杂的大千世界里，我们随时都在接收并处理海量的信息。快速而灵敏地获取来自机体内、外的各种信息，并做出相应反应，是我们赖以生存的重要条件。这一切都依靠人体的神经系统来完成。大脑的进化，更使人类发展出语言活动等高级神经功能，推动着社会的进步。神经系统的结构基础是什么？面对各种变化，神经系统是如何进行精确调节的？学习和记忆又是怎样进行的呢？通过本章学习，让我们了解神经系统的工作机制，探究脑的奥秘，深刻理解信息传递对于协调生命活动的重要意义，学会科学用脑、健康生活！





# 第1节 反射是神经调节的基本方式



## 学习目标

- 从结构与功能相适应的角度，简述神经元的形态结构特点及其功能。
- 分析实验现象，阐明反射弧是反射的结构基础。
- 比较常见的反射现象，归纳非条件反射与条件反射的异同。

## 概念聚焦

- 反射是高等动物神经调节的基本方式。
- 反射弧是反射发生的结构基础。
- 神经元是神经系统结构与功能的基本单位。

你是否有过不小心被烫或刺痛的经历？当手无意中接触到灼热或尖锐的物体时，你会“不假思索”地迅速缩回。此时，感到隐隐作痛的你才觉察被烫或刺到了。为什么在受到此类伤害性刺激时，机体首先会迅速产生防御性反应，然后才产生感觉呢？



## 牛蛙的脊髓反射实验

观察牛蛙的脊髓反射实验或视频，并在表2-1中记录实验的现象。

表2-1 脊蛙反射实验操作步骤和现象

步骤	操作	现象
①	用浸有清水的小滤纸片贴在脊蛙左后肢的中趾部位	
②	用浸有0.5%HCl的小滤纸片贴在脊蛙左后肢的中趾部位	
③	环割并剥除左后肢中趾皮肤，用浸有0.5%HCl的小滤纸片贴在该部位	
④	用浸有0.5%HCl的小滤纸片贴在脊蛙腹部皮肤	
⑤	捣毁脊髓，重复步骤④	

### 思考与讨论：

1. 实验中用盐酸刺激脊蛙皮肤后，会产生怎样的反应？
2. 环割中趾皮肤与破坏脊髓对反射的影响分别是什么？
3. 这些反应是否一定要在脑的控制下完成？你认为实验中用盐酸刺激脊蛙皮肤后，脊蛙是否会“感到疼痛”，为什么？由此推断假如不去除脑，或者去除不彻底，对实验结果是否会有影响？

## 1. 反射弧是反射的结构基础

高等动物在中枢神经系统的参与下，对来自体内外的刺激做出迅速反应的过程称为**反射**，它是神经系统调节生命活动的基本方式，是一种常见的生命活动现象。例如，飞虫突然撞到眼前，我们会“不自觉地”眨眼；忽遇强光刺眼，瞳孔会迅速缩小等。

参与反射活动的神经结构基础称为**反射弧**，包括感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器（图 2-1）。在脊蛙的屈肌反射中，皮肤中的感受器接受刺激信息并转化为神经信号，经传入神经传至脊髓的神经中枢分析整合，再经传出神经传至效应器（相关的肌肉）执行“防御”的指令。反射弧的完整性是反射发生的基础，其中某一环节缺失，则反射不能发生。

反射包括非条件反射和条件反射两种类型。脊蛙的屈肌反射和搔扒反射都属于**非条件反射**，非条件反射的神经中枢主要分布于脊髓，但有的也分布于脑中。例如，脑干中存在控制心跳和呼吸的神经中枢，丧失了意识的植物人不能自主运动，但脑干仍具有正常调节功能，能保持其心跳和呼吸正常。非条件反射是生物长期进化的结果，动物出生时就具备，保证了个体基本的生存能力。

动物出生以后，通过学习或训练会建立大量更为高级的**条件反射**。例如，食草动物嗅到天敌的气味时，立刻警觉，随即启动防御反应，迅速逃跑。由此可见，条件反射极大地提高了动物适应复杂环境的能力，是动物神经系统进化的结果，对于物种的存续及发展具有重要意义。

## 2. 神经元是神经系统结构与功能的基本单位

神经元（神经细胞）和神经胶质细胞是组成神经系统的两类基本细胞。其中，承担信息转换及传递功能的是神经元。反射弧由相关的神经元参与构成。所以，神经元是神经系统结构与功能的基本单位。

神经元作为真核细胞，由细胞膜、细胞质和细胞核构成。与人体其他细胞相比，神经元在形态上具有较多的突起（图 2-2），从而使得神经元之间可以建立广泛的联络，为整个神经系统信息的输入、整合、处理以及“指令信息”的输出提供高效的网络渠道。

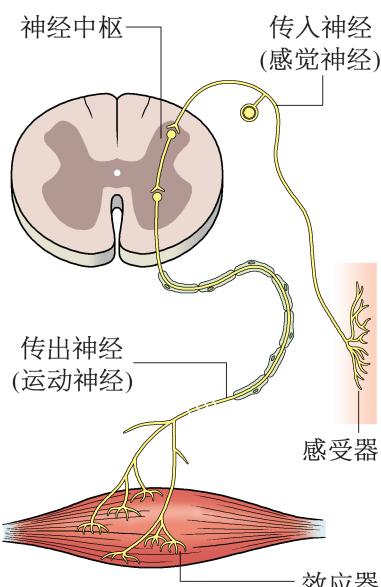


图 2-1 反射弧的基本结构示意图

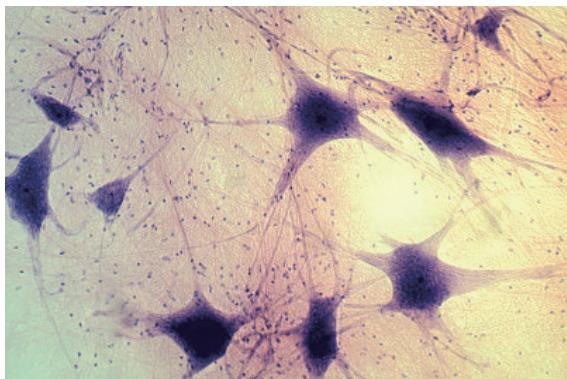
### 广角镜

#### 眼和耳

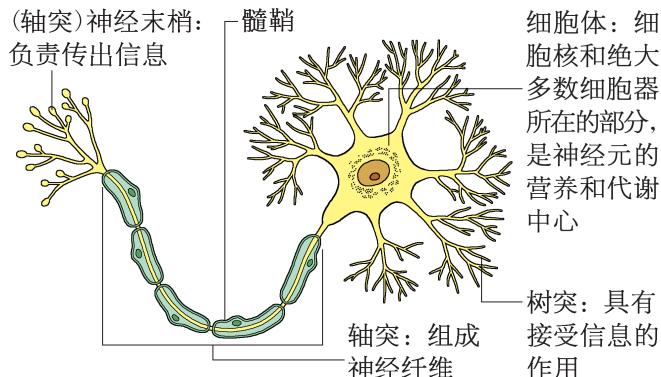
眼和耳内有特定的细胞执行着“感受器”的功能，是人们获取外界信息的重要感觉器官。值得注意的是，电子屏幕和耳机的过度使用可能会给眼、耳的健康带来危害，如炎症、视力和听力下降、耳鸣等。因此，日常生活中应该养成良好的用眼、用耳习惯。

### 学习提示

神经元细胞体上发出的突起——树突和轴突，其结构差异决定了它们功能的不同。



(A) 高倍镜下染色后的神经元 (640×)



(B) 神经元结构模式图

图 2-2 神经元的形态及结构模式图

按照功能(信号传递方向)划分,神经元包括感觉神经元(传入神经元)、运动神经元(传出神经元)和联络神经元(中间神经元)等。神经元发出的长突起称为神经纤维。神经纤维末端的细小分支称为神经末梢。感觉神经末梢参与感受器的构成,而运动神经末梢则参与效应器的构成(图 2-1)。某些神经元长的树突或轴突外面往往包着髓鞘(某种神经胶质细胞),成束的神经纤维由结缔组织膜包被及保护,构成神经,在外周和中枢之间传递信息。



### 自我评价

- 在反射过程中,单个神经元上神经信号的传递方向是( )。
  - 树突→轴突→细胞体
  - 轴突→树突→细胞体
  - 轴突→细胞体→树突
  - 树突→细胞体→轴突
- 如果踩到钉子,正常情况下脚会迅速抬起来。
  - (1) 被钉子刺激的痛觉感受器属于( )。
    - 感觉神经元的细胞体
    - 运动神经元的树突
    - 感觉神经元的树突
    - 联络神经元的树突
  - (2) 若受到刺激部位的皮肤坏死,其下肢是否会产生反应?若只是相关的肌肉功能障碍,是否会产生疼痛的感觉?请分别阐述其原因。
- 查阅资料,了解神经元形态及大小的多样性,并尝试从结构与功能相适应的角度,分析导致这种多样性的原因。

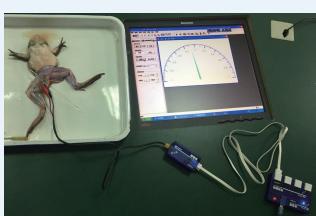
## 第2节 神经调节过程涉及信息的转换及传递

上课铃声响起，同学们快速回到自己的座位等待上课。在这个反射中，感受器将接受的刺激信息（上课铃声）转变为神经信号，经过一系列的传递，最终效应器做出相应的反应。在此过程中，反射弧上的神经信号是以什么形式传递的？

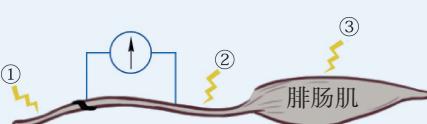


### 牛蛙坐骨神经 - 腓肠肌电生理实验

观察演示实验或视频。将探针刺入牛蛙枕骨大孔，向前刺入脑室捣毁蛙脑；向后刺入椎管捣毁脊髓。如图 2-3 所示，用玻璃针分离其坐骨神经，将连接微电流传感器的两个电极（红色、黑色）分别连在坐骨神经两个位点上，中间间隔一定的距离。用锌铜弓分别刺激坐骨神经近脊柱侧电极处①及近腓肠肌侧电极处②，观察腓肠肌的反应和微电流传感器表盘指针偏转情况。



(A) 实验装置



(B) 刺激位点

图 2-3 牛蛙坐骨神经 - 腓肠肌电生理实验示意图

#### 思考与讨论：

1. 刺激①处，微电流传感器表盘指针发生偏转，腓肠肌发生收缩。这说明什么？
2. 刺激②处，微电流传感器表盘指针也发生了偏转，腓肠肌收缩。这又说明什么？
3. 刺激③处，微电流传感器表盘指针不发生偏转，说明什么？

#### 学习目标

- 从结构与功能相适应的角度，阐述静息电位和动作电位形成的原因。
- 分析资料，阐明动作电位产生的过程。
- 观察实验、分析模型，概述神经冲动在神经纤维上传导和在神经元间传递的形式及特点。

#### 概念聚焦

- 神经元上的信息以生物电的形式传导。
- 神经元间的信息以化学信号的形式传递。
- 神经系统中信息的产生和传递与细胞膜的结构与功能密切相关。

## 1. 信息在神经元上以生物电的形式传导

在牛蛙坐骨神经的不同部位用锌铜弓刺激后，腓肠肌都发生了收缩，指针也都发生了偏转，说明刺激引发神经上产生生物电流，而且电流通过神经传到了腓肠肌。由此可知，在神经纤维上，信息以生物电的形式传导。

神经纤维上产生的电信号非常微弱且转瞬即逝，而上述实验中所记录到的生物电其实是许多神经纤维电信号的叠加。1939年，英国的霍奇金（A. L. Hodgkin）和赫胥黎（A. F. Huxley）以直径达1 mm的枪乌贼巨大神经纤维为实验材料，记录到单根神经纤维的生物电（图2-4）。结果发现，在静息状态下膜内电位低于膜外，存在65 mV的电位差，称为**静息电位**（resting potential）。随着研究的深入，目前已知在正常情况下，生物细胞膜内外的电位差现象普遍存在。

为什么在细胞膜内外会存在电位差呢？

这种“内负外正”静息电位的维持与膜内外 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 的扩散及分布差异有关（图2-5）。细胞内 $\text{K}^+$ 浓度是细胞外的30倍，而细胞外的 $\text{Na}^+$ 浓度比细胞内高约13倍，这是细胞膜上 $\text{Na}^+-\text{K}^+$ 泵活动的结果。此外，膜上 $\text{K}^+$ 通道蛋白的开放程度较大，而 $\text{Na}^+$ 通道蛋白的开放程度很小，因此 $\text{K}^+$ 容易扩散至膜外，膜外的 $\text{Na}^+$ 极少扩散进膜内。可见，静息电位的维持主要与 $\text{Na}^+-\text{K}^+$ 泵的活动及 $\text{K}^+$ 向外扩散有关。

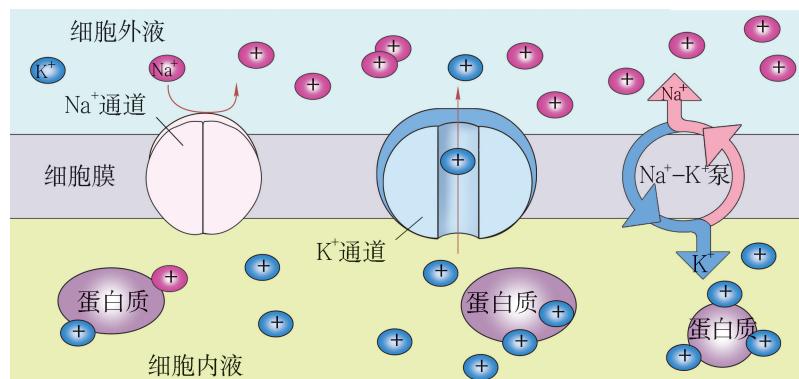


图2-5 静息电位产生原理示意图

当适宜强度的刺激作用于神经元时，膜上的 $\text{Na}^+$ 通道开放程度显著增大，大量 $\text{Na}^+$ 顺浓度梯度瞬时涌入膜内，导致神经元细胞膜两侧电位由“内负外正”反转为“内正外负”（图2-7中a→b段）。随即 $\text{Na}^+$ 通透性显著降低，而膜对 $\text{K}^+$ 通透性增

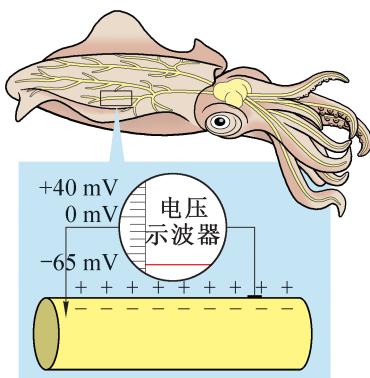


图2-4 测枪乌贼巨大神经纤维膜内电位示意图

### 广角镜

#### $\text{Na}^+-\text{K}^+$ 泵

细胞外液中的阳离子主要是 $\text{Na}^+$ ，细胞内液中的阳离子主要是 $\text{K}^+$ ，这与分布在细胞膜上的 $\text{Na}^+-\text{K}^+$ 泵的活动有关（图2-6）。每消耗一个ATP分子， $\text{Na}^+-\text{K}^+$ 泵会泵进2个 $\text{K}^+$ ，同时泵出3个 $\text{Na}^+$ 。

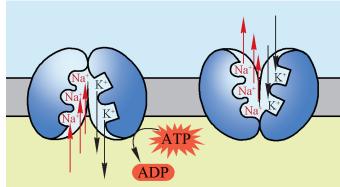


图2-6  $\text{Na}^+-\text{K}^+$ 泵示意图

大,  $K^+$ 大量向膜外扩散, 使膜电位恢复到“内负外正”的状态 ( $b \rightarrow c$  段)。最后, 在  $Na^+-K^+$  泵的工作下, 内流的  $Na^+$  被泵出膜外, 外流的  $K^+$  被泵回到膜内, 使神经元细胞膜电位恢复至静息状态 ( $c \rightarrow d$  段)。这种在受到适宜强度的外界刺激后, 神经元细胞膜两侧电位发生的短暂波动即为**动作电位** (action potential), 又称神经冲动。

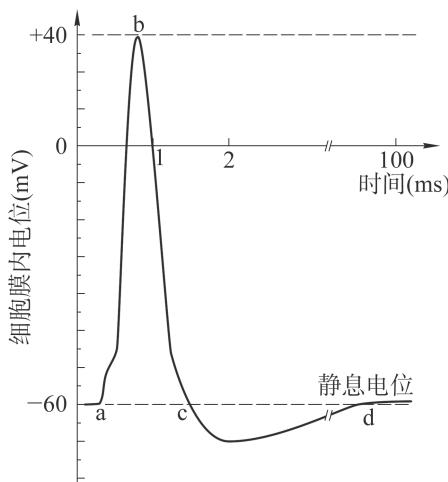


图 2-7 神经元静息状态与兴奋状态的转换

神经元上产生的神经冲动又如何传至其他区域呢?

当受到刺激的部位处于兴奋状态时, 邻近未受刺激的部位仍处于静息状态。此刻, 兴奋区和未兴奋区之间出现了电位差, 形成局部电流。在局部电流刺激下, 未兴奋部位的细胞膜产生动作电位。神经冲动就以这样的形式传遍整个神经元 (图 2-8)。

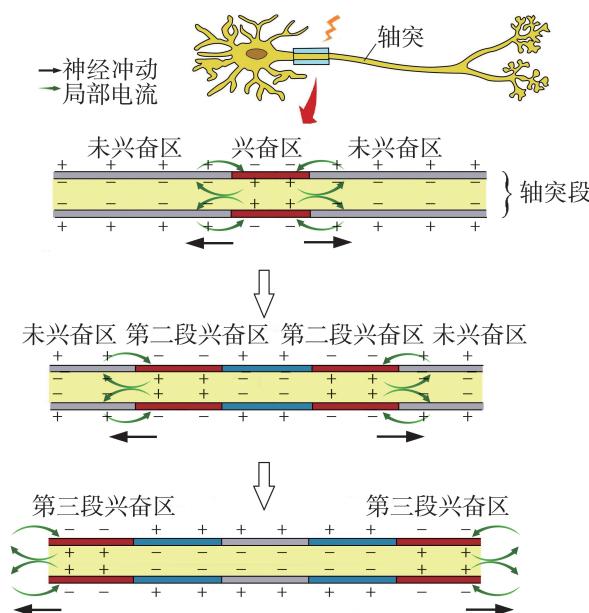


图 2-8 神经冲动的双向传导示意图

### 广角镜

#### 髓鞘的功能

较长的神经纤维一般都有髓鞘保护。然而, 髓鞘并不覆盖整个轴突, 在覆盖处形成节段, 相邻节段间存在无髓鞘的间隙。由于髓鞘隔离了细胞膜与组织液的接触, 且电阻极高, 所以, 电信号只能在髓鞘的节段之间 (细胞膜裸露处) 发生跳跃式传导 (图 2-9)。这一特点极大地加快了神经纤维上冲动传导的速度。

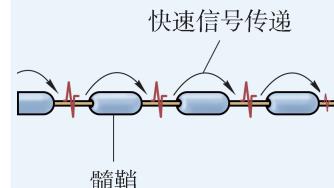


图 2-9 髓鞘示意图

## 2. 神经元间主要通过化学物质传递信息

在反射过程中，神经冲动在反射弧上传导，至少要有两种及两种以上的神经元参与。如屈肌反射中，神经冲动可以由感觉神经元依次传至联络神经元和运动神经元，运动神经元再将冲动传至相关的效应器（肌肉）。因此在反射发生的过程中，神经冲动除了在神经纤维上传导外，也必然要在神经元间传递。

沿神经冲动传导方向，前神经元轴突的末端膨大形成突触小体，其内含有包裹小分子化学物质（神经递质）的突触小泡。突触小体与后神经元的树突或细胞体，或肌肉、腺体细胞相衔接。前神经元末梢的细胞膜为突触前膜，与之相对应的是突触后膜，两者间不直接接触而形成突触间隙，这三者共同组成突触（synapse），也称为化学突触（图 2-10）。传至突触小体的电信号无法直接引发突触后膜产生动作电位，那么信息是如何跨越突触间隙传递的呢？

### 学习提示

每个神经元发出的树突反复分支，其表面的棘状突起与其他神经元轴突末端形成数量众多的突触，这种结构有利于信号的传递。

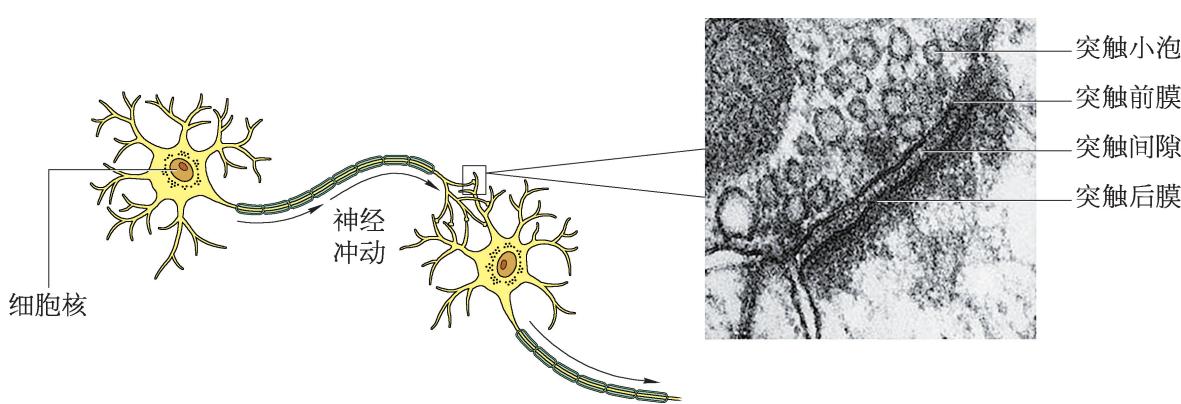


图 2-10 神经元之间的突触示意图和局部透射电镜照片（ $40\,000\times$ ）

当神经冲动传导到突触小体时，引起  $\text{Ca}^{2+}$  内流，并促使一些突触小泡与突触前膜融合，小泡内的数万个神经递质被排入突触间隙。这些神经递质与突触后膜上特定的受体结合后，引起突触后膜的膜两侧电位发生变化。若引起后神经元发生动作电位，则神经冲动产生并在该神经元上继续传导（图 2-11）。完成传递后，神经递质很快被突触间隙的酶催化降解而失去活性，或被前神经元重新摄取。

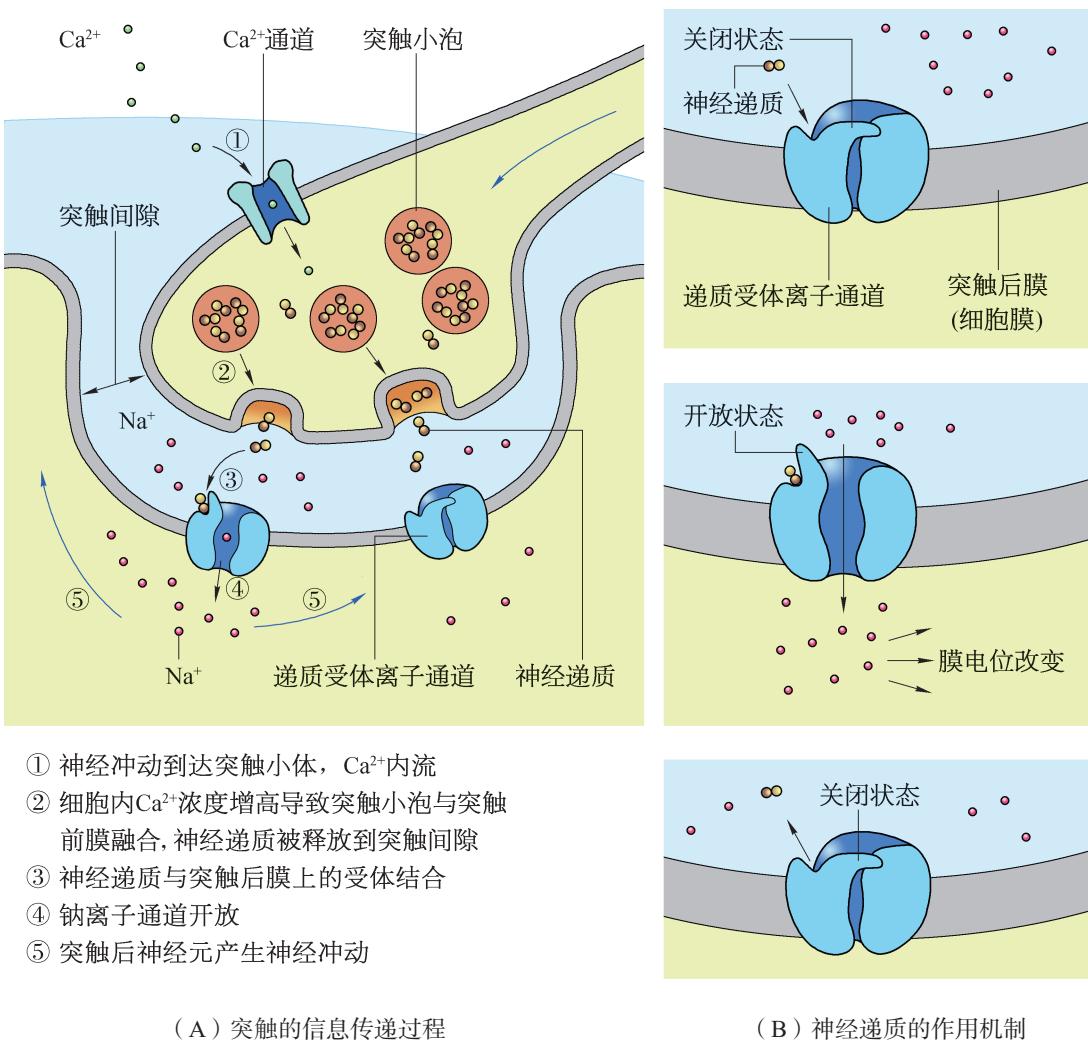


图 2-11 突触的信息传递示意图

与神经元上传导神经冲动的双向性不同, 突触间信息的传递是单向的。所以, 刺激牛蛙腓肠肌时, 连接在坐骨神经上的微电流传感器表盘指针不发生偏转。



### 广角镜

#### 电突触

除了化学突触, 神经元间的联结还有一种“电突触”(图 2-12)。其实触前膜与后膜间的间隔仅 2~3 nm (化学突触的间隙宽约 20 nm), 有离子通道穿越突触前膜和突触后膜, 离子易通过, 因而动作电位能从一个神经元直接传导至下一个神经元, 信息传递速度快且通常具有双向性。

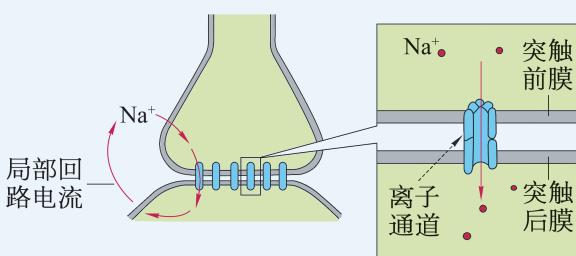


图 2-12 电突触结构及信息传递示意图



## 科学史话

### 神经电生理学的发展

1771年，意大利科学家伽伐尼（L. Galvani）在解剖青蛙时偶然发现，解剖刀触及蛙腿外露的神经后，蛙腿猛烈地抽搐了一下。伽伐尼没有放过这个细节，立即重复了该操作并观察到了同样现象。他抱着严谨的科学态度，选择各种不同的金属，如铜和铁、铜和银，将两种金属的一端接在一起，把未连接的另一端分别与蛙腿的肌肉和神经接触，结果蛙腿也出现屈伸抽动。但他用玻璃、橡胶、松香、干木头等非金属材料进行实验时，则未发生这种现象。因此，他推测收缩是由沿着神经到达肌肉表面的电流刺激引起的，并在此后发表的论文中表明了动物组织可产生生物电的观点。该观点首次将电现象与生理活动联系起来。但当时的仪器却无法测量这种微电流。

1925年，英国科学家阿德里安（E. Adrian）完善了电生理检测方法，首创单根神经纤维分离技术，并将放大器与毛细管静电计结合使用，观测到了蛙胸皮肌中单根神经纤维受牵拉刺激后，传入脉冲频率显著增加的现象。

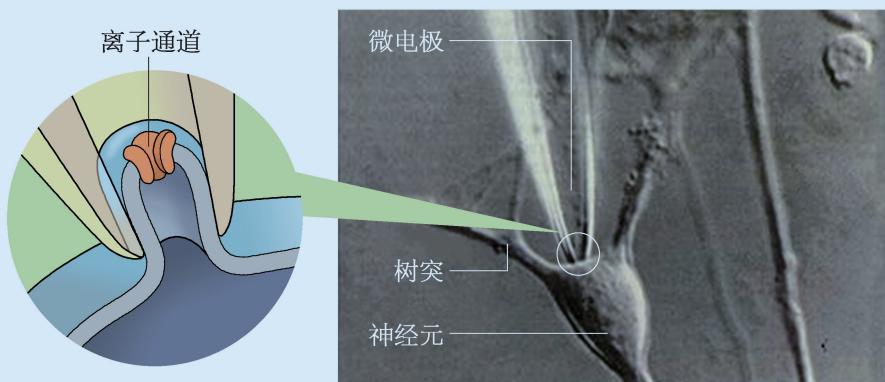


图 2-13 膜片钳技术显微照片及示意图

生物电的本质究竟是什么呢？在霍奇金和赫胥黎研究的基础上，1976年德国的内尔（E. Neher）和萨克曼（B. Sakmann）研制了更为先进的“膜片钳技术”，即

将玻璃微电极靠近神经元，利用负压将神经元紧紧吸在电极的尖端，从而在几平方微米的细胞膜上检测到单通道离子电流（图2-13）。此后，该技术的灵敏度和分辨率不断被提高。因膜片钳技术能显示细胞膜单一或多个离子通道分子的活动，从而使细胞水平的生理学研究与分子水平研究结合起来。该技术推动了神经科学研究的重大变革。

20世纪初，英国生理学家戴尔（H. H. Dale）揭示了副交感神经末梢可以分泌乙酰胆碱。这促使神经化学与神经生理学的研究方法相关联，为神经药理学的深入研究奠定基础。另一位德国生理学家勒维（O. Loewi）首创蛙心灌流实验，并证实心肌收缩的神经调节也是通过化学递质作用引起。由此“化学递质说”才被广泛接受。之后，英国的弗什潘（E. Furshpan）和波特（D. Potter）指出在鳌虾的可兴奋

细胞之间有电传递，这为电突触的存在提供了直接证据。目前，有证据表明，哺乳动物大脑皮层发育早期，兴奋性神经元间普遍存在电突触。但随着大脑皮层不断发育，电突触被化学突触所取代。目前，学术界认为电突触可能在大脑皮层神经环路的发育中发挥重要作用。

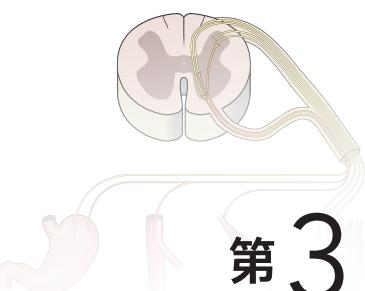
### 思考与讨论：

试举例说明，多学科交叉研究对科学进步的推动作用，并就未来社会对人才的要求谈谈你的看法。



### 自我评价

- 将神经元浸浴在高钾溶液中，则静息状态下膜内电位由正常情况下的  $-85\text{ mV}$  变成了  $-68\text{ mV}$ ，原因是\_\_\_\_\_；如果将细胞浸浴在低钠溶液中，对\_\_\_\_\_（静息电位 / 动作电位）的影响更大，表现为\_\_\_\_\_。
- 神经冲动沿坐骨神经从脊髓传导到脚趾（长约  $1\text{ m}$ ）需  $10\text{ ms}$ ，而神经冲动经过一个突触（约  $20\text{ nm}$ ）的传递就需要  $1\text{ ms}$ 。为何在神经纤维上信息的传导速度比突触处的信息传递快得多？
- 反射发生的过程中，神经冲动只能由感受器传至效应器，这是为什么？对于神经调节有何意义？
- 自然界有许多神经毒素，有的来自植物，有的来自动物。
  - 毒扁豆碱是非洲出产的毒扁豆种子中所含的一种生物碱，具有可逆性抑制胆碱酯酶（能分解释放到突触间隙的一种神经递质——乙酰胆碱）活性的作用，其导致中毒的症状之一是骨骼肌\_\_\_\_\_（抽搐 / 松弛）。
  - 河鲀毒素是鲀科鱼类及其他生物体内含有的一种生物碱，被人体吸收后迅速作用于神经末梢和神经中枢，可高选择性和高亲和性地阻断神经元细胞膜上钠离子通道。以下说法中正确的是（\_\_\_\_\_）。(多选)
    - 河鲀毒素既能作用于神经末梢，也能作用于神经中枢，可以抑制神经、肌肉兴奋
    - 低剂量的河鲀毒素可用于镇痛和解除痉挛
    - 鲀科鱼类的神经元和肌肉细胞膜上无钠离子通道，因而对河鲀毒素具有抵抗力
    - 改造对河鲀毒素敏感的神经递质受体，可能获得对河鲀毒素的抵抗力
  - 探讨这些神经毒素对生物自身生存的意义。



## 第3节 神经中枢调控机体的生命活动



### 学习目标

- 列举并分析生活实例，阐明神经中枢对机体生命活动的调控。
- 基于生活体验，举例说明中枢神经系统通过自主神经系统调节内脏的活动。
- 归纳导致中枢性运动障碍的原因，关注康复治疗的研究进展。

### 概念聚焦

- 高等动物体内，位于脊髓的低级神经中枢和位于脑的高级神经中枢之间通过相互联系、协调，共同调控生命活动，维持机体的稳态。
- 交感神经和副交感神经共同参与调节内脏和腺体的生命活动，两者作用效应相互拮抗。

体验验血时，明知道采血针刺入皮肤会疼痛，我们也不会缩回手臂；正常成年人在产生“尿意”后，可以控制自己不立刻发生排尿……这些是通过怎样的生理机制实现的呢？



### 人体排尿反射的调控

人体的肾脏中不断生成尿液，经输尿管流入膀胱内暂时储存。尿液量增加到一定程度会对膀胱壁产生压力，牵张感受器受到刺激而兴奋，传入神经将冲动向中枢神经系统传递，使我们产生“尿意”。尿道内、外括约肌像“阀门”，只有在放松状态下，尿液才能从尿道流出（图 2-14）。健康的成年人能有意识地控制排尿。但婴儿或脊髓受到重创导致截瘫的患者，还有部分老年人却无法控制排尿。

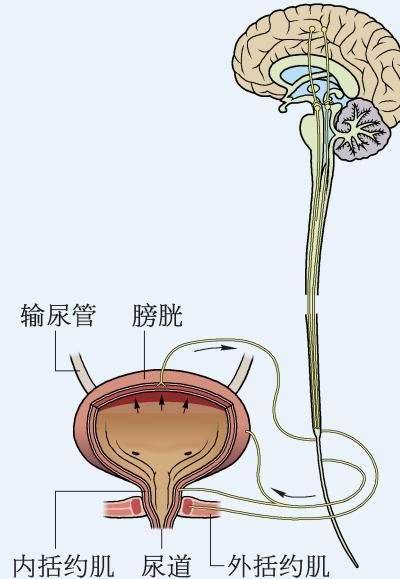


图 2-14 排尿反射示意图

### 思考与讨论：

1. 婴儿和截瘫患者无法自主控制排尿的原因有何不同？
2. 脊髓受到重创导致截瘫的患者，往往先发生“尿潴留”（不能排尿），然后发生“尿失禁”，其原因可能是什么？
3. 从上述实例可以看出，参与“有意识控制排尿”的神经中枢不止一个，尝试推测它们之间可能存在怎样的联系。

## 1. 承担生命活动调节作用的神经中枢分布于脑和脊髓

高等动物的神经系统高度集中，90%以上的神经元细胞体都分布在中枢神经系统（脑和脊髓）的灰质中（图2-15）。脊髓灰质中分布着许多神经中枢，如排尿、排便中枢和躯体低级运动中枢；而大脑皮层中则分布着相应的高级神经中枢。脊髓和脑中的白质则由许多集合成束的神经纤维组成，因有髓鞘包裹呈白色，起传递神经冲动的作用。中枢神经系统发出的神经（脑神经和脊神经）构成了周围神经系统。根据其功能（传导冲动的方向）又可分为感觉（传入）神经和运动（传出）神经。其中运动神经包括支配骨骼肌的躯体神经和支配内脏器官的自主神经（autonomic nerve）。自主神经又叫植物性神经，由交感神经和副交感神经两部分组成，主要调节内脏的活动，不受人的意识控制。

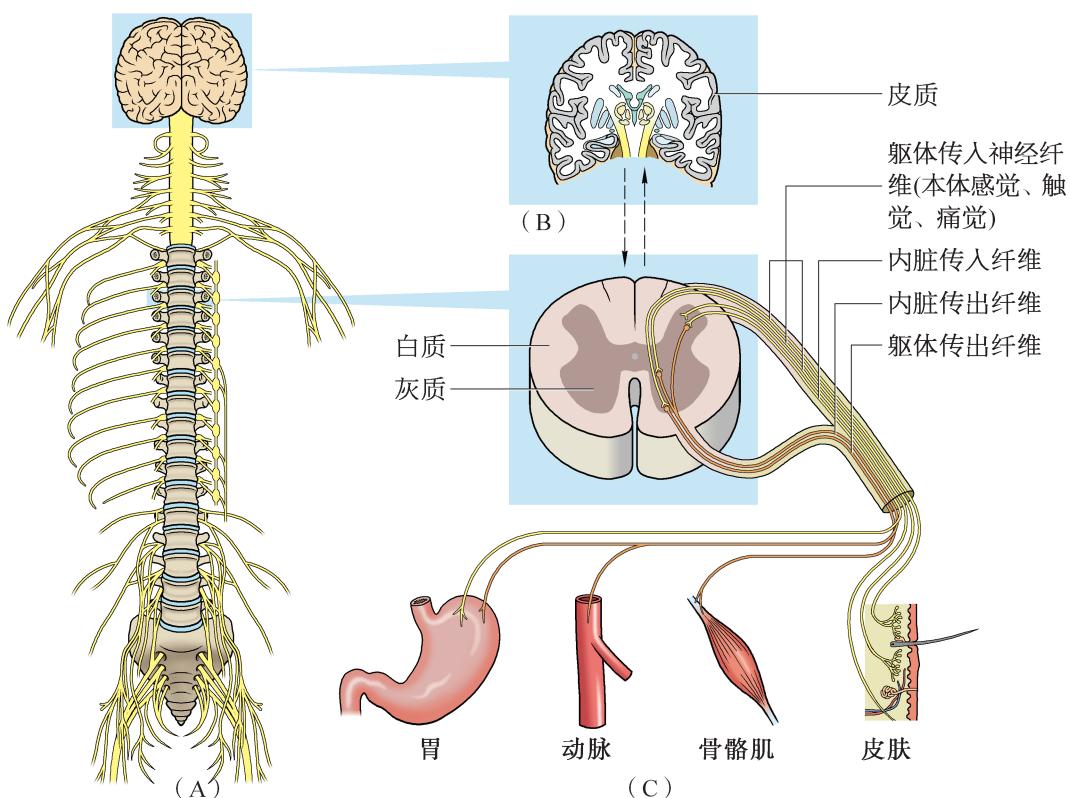


图2-15 人体神经系统(A)、脑结构纵切面(B)及脊髓横切(C)示意图

## 2. 脑和脊髓共同参与调控内脏的活动

婴儿脑还未发育完善，当膀胱充盈时，膀胱壁内的牵张感受器受压兴奋，进而引发排尿反射。此过程主要由脊髓内的中枢调节完成，基本不受大脑控制。虽然脊髓参与的调节效应比较有限，例如排尿往往不彻底，但调节速度快，有助于机体迅速完成反射。

随着生长发育，脑功能逐渐成熟，幼儿就能够自主控制排尿了。当膀胱充盈的信号传入脊髓后，会通过脊髓的白质向脑传递，在大脑皮层形成“尿意”。若时间、场所不合适，大脑会发出暂时不排尿的“指令”；反之，脊髓排尿中枢会接收到来自大脑的排尿“指令”，控制膀胱收缩、尿道括约肌舒张，同时在脑的参与下，人还会“有意识”施加腹压，直至尿液排尽。可见，脊髓低级神经中枢的调节往往受脑中相应高级中枢的控制。

脊髓控制膀胱收缩，是由交感神经和副交感神经共同支配的。除此以外，人体大部分内脏活动的调节也是如此（图 2-16）。比较交感神经和副交感神经的主要功能可以发现，交感神经的兴奋增强能使人体提高“应急”能力。例如，心率加快使血液更多地分布在骨骼肌中；肝糖原加快水解为葡萄糖，提高向骨骼肌供氧、供血糖的能力。当机体处于紧张状态时，交感神经的

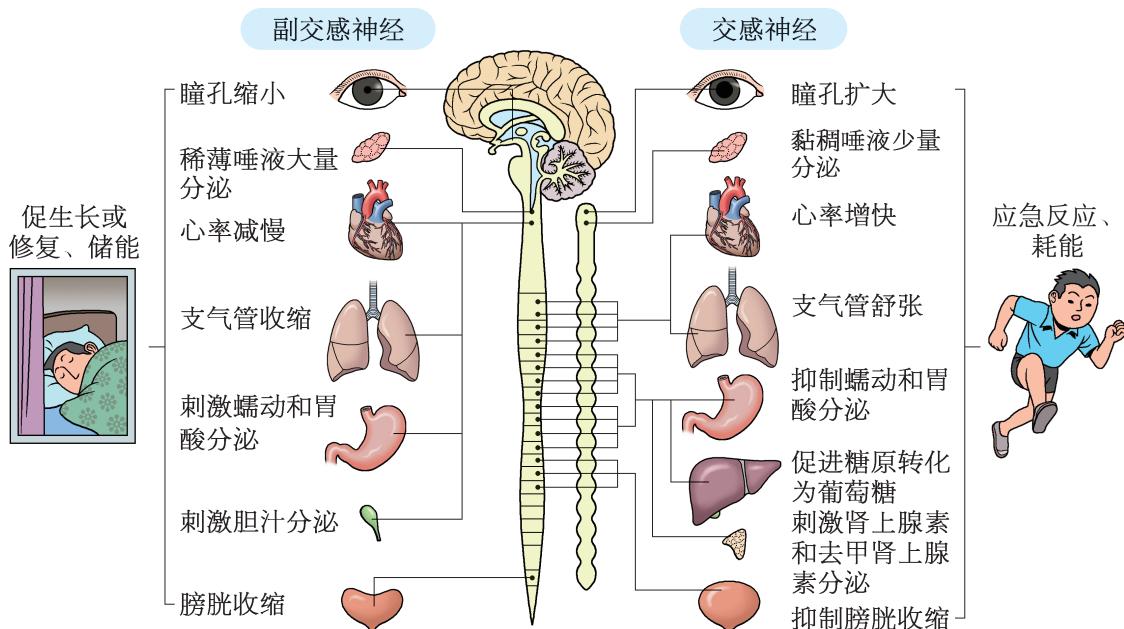


图 2-16 人体的自主神经作用示意图

兴奋占优势。副交感神经的作用与交感神经的作用相反，这有利于能源储备、生长和恢复。例如，人体处于餐后、休息放松状态时，副交感神经的兴奋占优势。

正常情况下，交感神经和副交感神经的一方兴奋加强时，另一方就会受到抑制。自主神经的两部分相互拮抗，在各级神经中枢的相互联系和协调下共同控制内脏器官的生理活动，维持机体的稳态。现代社会，部分人由于学习和工作任务重、压力大，或作息紊乱时，交感神经和副交感神经的平衡就可能被打破，使机体出现某些功能障碍，表现出心悸、失眠、血压升高、消化不良、食欲不振、倦怠易疲劳等症状，被称为植物神经紊乱症或植物神经失调症。

### 3. 脑和脊髓共同调节躯体运动

当手无意中被刺或烫到，我们会在感觉到疼痛之前就迅速缩回手臂，这主要是在分布于脊髓中的神经中枢调节下机体迅速做出的反应；但如果是体检采血，我们却可以忍受疼痛而不缩回手臂，这是我们有意识的行为，此时，脊髓中的神经中枢受到了大脑中高级运动中枢的控制。利用功能性磁共振成像技术，能清楚地观察到躯体不同部位运动时，大脑皮层相关区域的神经元活动信号显著增强（图 2-17），这也证明在大脑皮层中存在控制躯体运动的神经中枢。

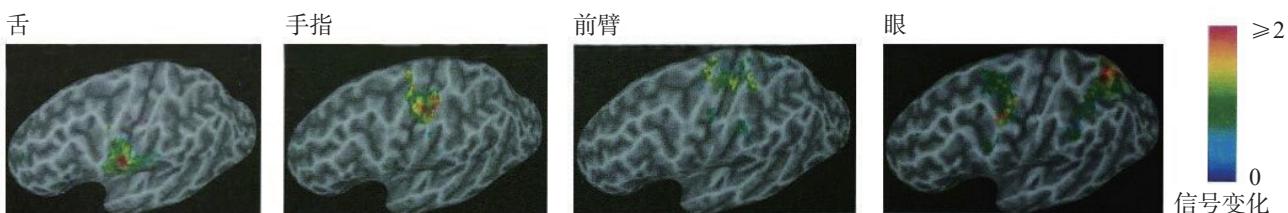


图 2-17 人初级运动皮层的功能性磁共振成像

虽然通过大脑高级中枢对脑干、脊髓中低级中枢的控制，能启动有意识的躯体运动，但要保证运动的精确协调，还需要在运动过程中不断进行调整。此时，分布于全身各处的感受器所接收的信息被及时反馈给大脑，让大脑时刻“感知”肌肉活动、身体方位、运动速度等状态。脑中各级神经中枢通过对这些信息的分析整合，协调肌肉群的活动，能保证动作平衡协调。



## 自我评价

- 有些同学喜欢在午餐后立即跑去打球。请你应用所学的知识指出这种习惯对健康的危害，给出正确做法的建议并说明其科学原理。
- 饮酒后，酒精会很快被吸收进入血液，并对中枢神经系统产生抑制作用。在醉酒状态下的行为会出现哪些异常？为什么要严禁“酒驾”？
- 人类的大脑皮层躯体运动代表区示意图（图 2-18）是科学家根据神经外科手术的观察结果绘制出的。请查阅资料，了解大脑皮层躯体运动代表区范围的大小可能与什么相关？并尝试推测，如果遭遇肢体神经损伤，或者经过动作技巧训练，其相应的代表区范围是否会发生改变？

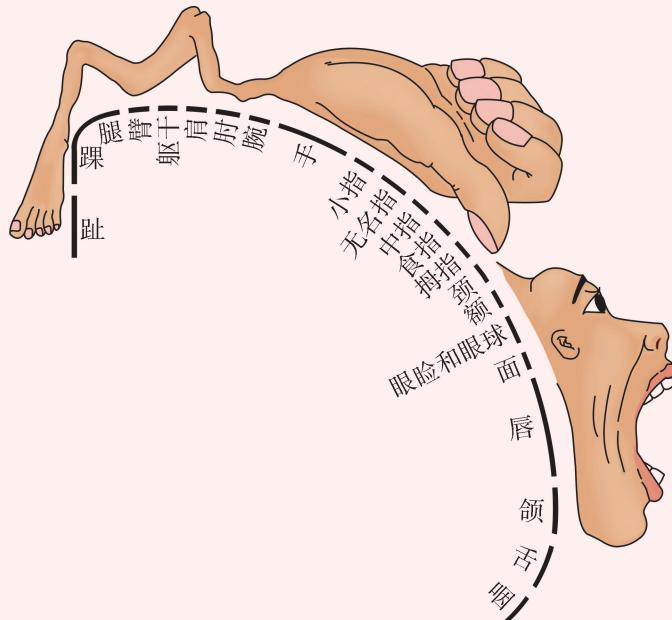


图 2-18 大脑皮层躯体运动代表区示意图



## 前沿视窗

### 脊髓损伤致瘫患者的康复治疗

脊髓受损后最常见的症状是感觉障碍或运动障碍（即瘫痪）。正常情况下，神经元很少进行分裂和自我更新。如果损伤仅限于轴突和树突，仍可生成新的突起。而细胞体一旦受损，就很难长出新神经元来代替其功能。所以，由脊髓受损导致的瘫痪往往令医生束手无策。

2018年9月24日，《自然·医学》杂志报道了首例利用电子设备帮助脊髓损伤瘫痪患者重获行走能力的研究成果。这位患者因在意外事故中脊柱骨折导致下半身完全瘫痪，失去了站立和行走能力。2016年，研究者将一个硬脊膜电刺激系统植入患者体内，使他的大脑与腿部神经元“进行了重新连接”（图2-19）。当该系统处于开启状态时，患者的下肢在电刺激下立刻恢复了运动能力，并能按照大脑发出的“指令”站立或迈步。目前该研究仍处于早期阶段，尽管做到了让患者自主控制腿部运动，但他仍需在助行器和训练师等帮助下才能保持平衡（图2-20）。

该研究的成效超出了预想，但研究者仍不清楚神经是如何在电刺激下被再次“唤醒”，并从大脑中再次获取信息来指挥双腿移动的。部分学者猜测，脊髓受损后，损伤部分下方的神经环路可能处于休眠状态，施加电流的作用“唤醒”了其中某些“环路”，使突触恢复了信息传递，能够接收简单的命令。

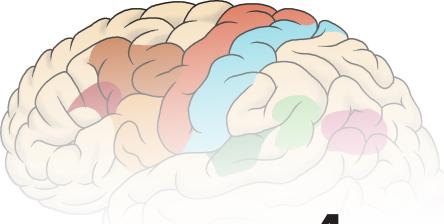
这项研究的初步成果令科学家倍感兴奋，他们希望通过进一步的研究和改进技术，使患者不仅能控制运动，也能恢复神经的自主功能，以达到有意识地控制排便排尿等生理活动的目标。



图2-19 植入电极阵列及脉冲发生器



图2-20 术后的患者在康复师指导下借助助行器行走



## 第4节 条件反射是大脑的高级调节功能



### 学习目标

- 分析案例，描述条件反射的形成过程。基于进化和适应观，阐述非条件反射与条件反射对动物生存的意义。
- 说出大脑皮层的语言中枢及其功能，应用学习和记忆的原理尝试提出提高学习效率的方法。
- 查找资料，合作探究“成瘾”的生理基础，深刻认识毒品的危害，自觉远离毒品并积极宣传，保持良好的生活习惯。

### 概念聚焦

- 高等动物可以通过位于大脑皮层的高级神经中枢完成条件反射。
- 人类不仅能对具体信号做出反应，还能对语言、文字建立条件反射，产生复杂的思维。

“望梅止渴”是个关于条件反射的典型例子。生活中类似的现象还有很多。例如，经过训练的小狗能表演做算术题。实际上，小狗并不能理解人类的文字符号，这种条件反射是怎样建立的？人类大脑除了能以语言文字为工具进行交流，还有哪些高级功能呢？



### 训练狗与主人“握手”

狗是很多家庭喜欢饲养的宠物。许多主人会训练狗按照指令完成一些简单的动作。如图 2-21 是训练狗完成“握手”动作指令的训练步骤。

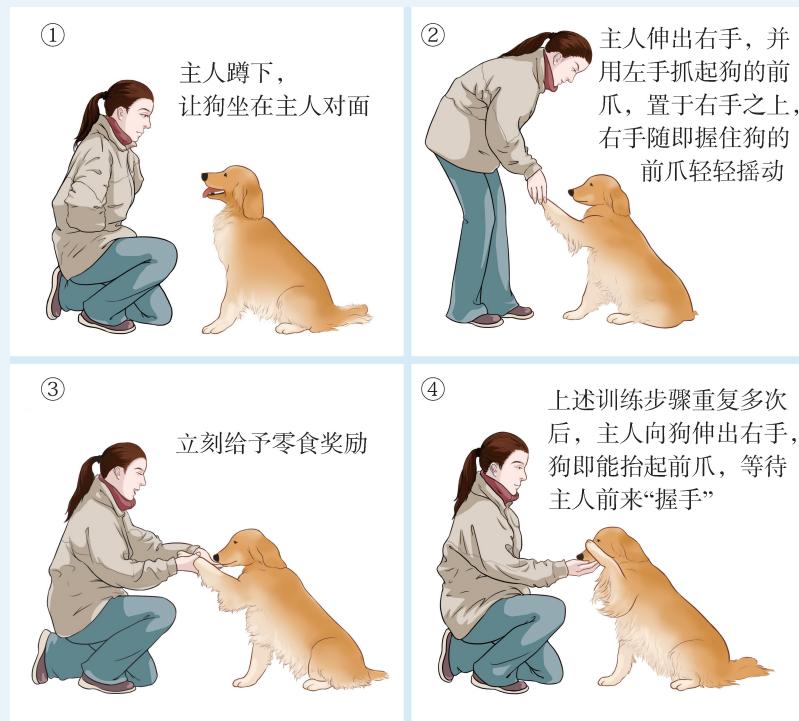


图 2-21 训练狗“握手游戏”步骤示意图

#### 思考与讨论：

1. 为何在训练过程中，狗完成动作后需要立刻给予零食？如果间隔时间较久，你认为训练目标能实现吗？
2. 这个反射属于什么类型？一旦建立是否终生不会消退？

## 1. 条件反射是脑的高级调节功能

人和哺乳动物的脑由大脑、小脑、间脑、中脑、脑桥和延髓组成，其中大脑最发达。大脑由两个大脑半球组成，表面的大脑皮层分为许多功能区，如躯体运动中枢、躯体感觉中枢、视觉中枢和听觉中枢等（图 2-22），它们都是调节机体生理功能的高级神经中枢。当不同区域受损时，会表现出不同的功能障碍。例如，脑卒中（中医称之为“中风”）患者，临床症状表现为眩晕、昏迷、半身不遂、大小便失禁、言语障碍等神经功能缺失，就是对应的局部脑组织缺血、缺氧性病变或坏死导致的。

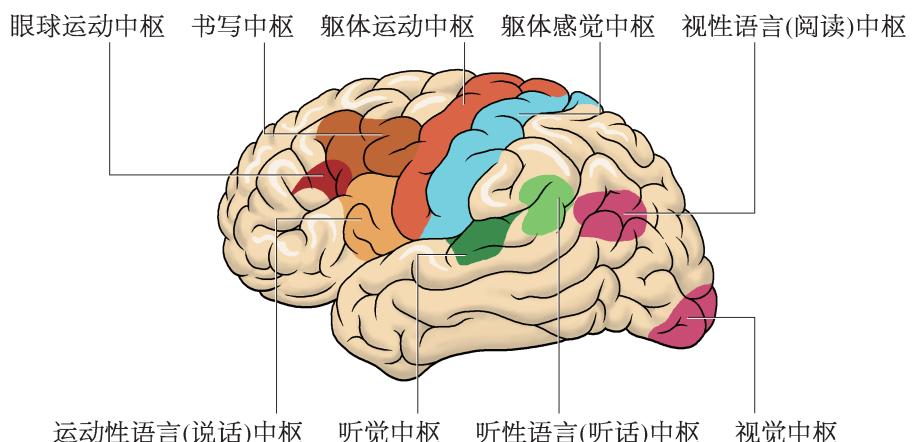


图 2-22 大脑皮层功能定位区示意图

高等动物出生后，脑的功能随着发育趋于完善。在复杂环境中，机体通过感受器接受来自体内外的多种信息刺激，在大脑皮层的参与下形成后天性反射，即条件反射。条件反射是脑的一项高级调节功能，它提高了人与动物对环境的适应能力。

条件反射是在非条件反射的基础上，经过一定的过程形成的。例如狗出生后，当口腔黏膜接触到食物，会引起唾液分泌，这属于非条件反射，食物为非条件刺激。若给狗以灯光刺激，则不会引起它分泌唾液，因为灯光是一种与分泌唾液无关的刺激。但若先给狗以灯光刺激后立即喂食，经多次重复，狗只要见到灯光，即使不给予食物，也会分泌唾液。此时灯光成了条件刺激，狗分泌唾液的条件反射也就形成了（图 2-23）。在该条件反射中，条件刺激（灯光）作为非条件刺激（食物）将要出现的信号，必须先于非条件刺激的出现，两者在时间上的反复结合强化了狗分泌唾液的反应。该条件反射建立后，若灯光频

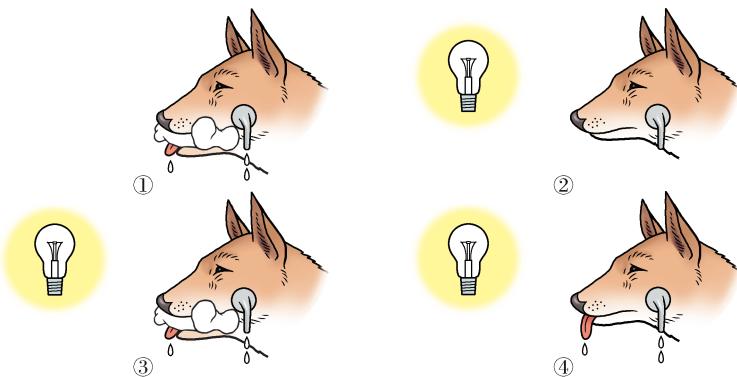


图 2-23 狗分泌唾液条件反射的形成过程示意图

繁出现，但不再给予狗食物，这两种刺激间的联系会逐渐消失，灯光引起狗分泌唾液的量会逐渐减少，甚至完全停止分泌。

实际生活中常见的一些条件反射的建立过程往往与上述实验有所不同。以训练狗“握手”为例，当驯狗师向狗伸出手后，一旦狗无意中抬起前爪，驯狗师立即抓握并与之完成“握手”动作，再给予食物奖励。该过程若能够成功重复多次，狗就建立了一种条件反射。这种条件反射建立过程中，强化刺激（如食物）是紧随行为反应（如抬前爪）之后发生的。所以这种条件反射建立时，若行为反应后并未得到强化刺激，则该反射也会减弱。人类游泳、写字、读书等学习行为大多属于这种条件反射，其行为代表着动物体对环境的主动适应。



## 广角镜

### 大脑语言区的发现

1861年，法国医生布罗卡（P. P. Broca）注意到一位有严重语言缺陷的患者——他只能发出一个音“tan”，但是认识和理解语音却没有任何问题。患者去世后对其检查发现，大脑左颞叶部位存在损伤。此后，布罗卡通过大量调查，发现大脑左侧颞叶特定区域受损的患者都会出现类似的症状。后人将大脑该区域称为布罗卡区，该病症被称为布罗卡失语症。

1874年，德国医生韦尼克（C. Wernick）遇到了有着相反症状的患者。这位患者能够清楚地表达，却不能理解书面和口头的语言。患者去世后的检查结果显示，距离大脑左颞叶不远的区域受到了损伤，该区域被后人称为韦尼克区。布罗卡和韦尼克的工作是神经科学史上里程碑式的发现，他们明确了大脑各区域具有特定的功能。

## 2. 语言中枢是人脑特有的高级神经中枢

人和高等动物都有条件反射，但人类的条件反射更为丰富多样，而且在本质上也存在区别。对动物来说，一般只能对具体的外界刺激，如光、声音、气味、食物和敌害的形象等发生反应，建立条件反射。人类不但能对具体信号发生反应，而且还能对由具体信号抽象出来的语言、文字发生反应，建立条件反射。

语言文字是人类社会信息交流的主要工具。从出生开始，人类不断通过视觉、听觉、触觉等途径获取大量的信息，刺激大脑皮层的相关区域，从而建立与语言文字的听、说、读、写有关的神经中枢。运动性语言（说话）中枢、书写中枢、听性语言（听话）中枢和视性语言（阅读）中枢分别位于大脑皮层的不同区域（图2-22）。这些语言中枢与大脑皮层中的其他神经中枢间建立了密切而广泛的联系，形成复杂的神经环路，是针对抽象的语言文字信号建立条件反射的结构基础。语言中枢负责人类语言文字的交流，也可参与思维和意识等高级活动。

学习和记忆也是大脑的高级功能，是两个相联系的神经活动过程。科学家认为记忆就是信息被储存，继而影响行为的现象。因此，条件反射就是记忆的形成过程，而获取记忆的过程就是学习。所以，学习是记忆建立的基础。由于人类能对除客观存在的具体信号以外的语言、文字、符号等抽象信号刺激产生反射活动，所以人类与其他高等动物不同之处就在于能以语言文字为工具进行学习和记忆。关于人类的学习和记忆的原理是神经科学领域研究的难题。



### 探究·活动

#### 2-1 成瘾的生理基础及危害

成瘾行为（addictive behavior）是一种额外的超乎寻常的嗜好和习惯，是通过刺激中枢神经造成兴奋或愉快感而形成的。成瘾行为是与人类文明共生的一种现象，它的发生至少有5 000 年的历史，现已发展成为影响人类身心健康的全球性

问题。成瘾行为分为物质成瘾和精神行为成瘾。物质成瘾包括药物成瘾（如使用兴奋剂、麻醉剂等）、毒品成瘾、酒瘾、烟瘾等；精神行为成瘾包括电子游戏成瘾、网络成瘾等。

目前，世界精神病学界已经普遍认为，成瘾性疾病尤其是毒品成瘾是一种慢性复发性脑疾病，更有学者提出成瘾不仅是一类躯体疾病，还是一种心理疾病。一旦染上毒品，机体由于毒品作用建立起新的生理平衡，无论是生理上还是精神上都会产生强烈的依赖。当毒品“断供”时，机体就会出现严重的反应及并发症；精神上的强烈依赖致使吸毒者会为了不断获得毒品而不择手段，丧失基本的道德底线，对家庭和社会带来极大危害。再如，深陷网瘾不仅会造成肩背肌肉劳损、视力低下、睡眠节奏紊乱、免疫功能低下，甚至引发焦虑抑郁症等生理问题，而且还会使人迷恋虚拟世界，自我封闭，遇事态度消极悲观、影响正常认知、情感和心理定位，甚至导致人格异化。因此，我们应正确认识并谨防成瘾行为的建立和发生，积极宣传和践行健康的生活方式。

#### ▶ 活动目标：

探究不良成瘾行为产生的神经科学原理及危害，制定健康的生活方案。宣传健康中国行动，倡导文明健康生活方式。

#### ▶ 活动内容：

选择某一种不良成瘾行为作为研究对象，通过查找专业资料，咨询专家，了解成瘾的危害及其神经生理机制。设计问卷，通过网络平台调查成瘾行为对身体健康、公共安全的危害以及公众对此的了解程度。

合理分工，技能准备（如调查问卷的设计、调查报告或小论文的撰写、网页的制作、课件的制作等），寻找学术支持资源（如咨询专家、邀请指导老师），商讨探究成果的呈现形式。

#### ▶ 活动评价：

交流活动中的收获并互相评价在活动中的表现，在学校或社区积极开展相关宣传活动。



## 生物学与社会

### 脑科学

人们对蕴藏着无穷智慧的大脑一直感到好奇，渴望彻底揭示其工作原理，更好地为人类服务。21世纪被称为“脑的世纪”，世界各国普遍重视对脑的研究工作。“认识脑”是基础——阐明脑和神经系统的工作原理及运行机制；“保护脑”是将“认识脑”的成果应用于诊断和治疗脑病，提升人类的健康水平和生活质量；而挖掘脑的潜能，开发出像人脑一样“高效率、低能耗、小体积”的“类脑智能”则是另一个重要的应用领域——“创造脑”。

在“认识脑”方面，神经系统内信息转换、传递和调控的相关结构及分子机制等已逐渐被揭晓。例如“视觉的脑机制”研究获得了重大突破：不但克隆出视色素蛋白基因，而且探明了光能信号转换成神经信号的机制。在此基础上，“光遗传学技术”不仅被应用于神经科学的研究，而且还应用于疾病治疗。再如，关于“学习和记忆”的研究发现，中间神经元能加强或削弱神经环路中细胞的连接强度，从而决定大脑信息存储和程序记忆的效率。

在“保护脑”方面，科学家着力揭示脑发育及衰老的机制，其目的是研究神经性和精神性疾病的发生机制，尽早诊断和有效治疗这些疾病。当然，健康人群也可应用其机制，通过采取积极措施加以预防。

在“创造脑”方面，多学科综合发展推动了“人工智能（artificial intelligence）”的发展。如：脑型信息产生和处理系统的设计与开发（支持人类机能的机器人系统）给运动障碍患者带来了福音。利用大脑传感技术，由特定软件对照人体运动模式即时“解码分析”从大脑特定位置传来的信号，生成操作机械手臂的代码，患者就能够用大脑意念来操控机械手臂。目前这种脑控机械手臂已经能做许多复杂的精细动作。如果其重量和人体真正的手臂相近，就可能安装在瘫痪患者的身上，真正实现“心想事成”。

“认识脑”是“创造脑”的助推器，“创造脑”反过来也帮助人类加快了“认识脑”的进程：对不同层次有关脑的研究数据进行检索、比较、分析、整合、建模和仿真，并绘制出脑功能、结构和神经网络图谱，用来解决神经科学所面临的海量数据问题，适应脑科学的快速发展。脑科学研究意义深远，不仅关乎人类的健康和福祉，也会为下一轮新技术革命提供重要支撑。



### 自我评价

- 人们喜欢饲养锦鲤作为观赏鱼，当走近鱼池时，鱼就蜂拥而至。该反射属于什么类型？请分析该反射建立的过程。
- “学而时习之”出自《论语》，请根据本节所学的内容对这句话做出解释。

# 本章回顾

## 本章小结

人和高等动物通过神经系统形成的网络，对体内外的各种刺激做出迅速反应，以趋利避害，保持机体内环境稳态，该过程即为神经调节，它是机体重要的调节方式。

反射是高等动物神经系统对各种刺激做出反应的过程，是神经调节的基本方式。反射弧是反射的结构基础，一般包括感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器五个环节。反射包括非条件反射和条件反射。条件反射是建立在非条件反射基础之上，由大脑皮层的高级神经中枢参与完成的神经活动，它提高了人和动物适应环境的能力。人类在进化过程中，还建立了针对语言、文字等抽象信号的条件反射，这增强了人类社会信息的交流，促进了社会发展。

神经元是神经系统结构与功能的基本单位。静息状态时神经元膜内外具有电位差，当受到刺激后产生动作电位，并以生物电形式在神经纤维上传导；在突触处信息通常以化学物质形式传递。神经系统突触的结构保证了神经冲动在反射弧中传导的单向性。

躯体运动和内脏活动是由位于脊髓的低级神经中枢和位于脑的高级神经中枢相互联系、相互协调、共同调控的。正常情况下，低级神经中枢的调节会受脑中高级中枢的控制。

自主神经又称植物性神经，不受人意识控制。组成自主神经的两部分——交感神经和副交感神经，相互拮抗，在机体内脏的活动中起协调平衡的作用。不规律的作息会打破原有的平衡，进而影响机体正常的生理机能，严重时可能造成植物神经紊乱症（又称植物神经失调症）。因此，日常规律作息对我们身心健康的维持十分重要。

## 学业评价



1. 下列现象中属于条件反射的是( )。
  - A. 沸水烫手, 立即收回
  - B. 青梅入口, 分泌唾液
  - C. 强光刺眼, 瞬即闭目
  - D. 预备铃响, 走进教室
  
2. 某人被黑布蒙住眼睛, 用针刺指尖, 其反应为先缩手、后感到疼痛。请回答下列问题。
  - (1) 上述缩手属于\_\_\_\_\_反射, 其神经中枢位于\_\_\_\_\_中。
  - (2) 如果去掉黑布, 被试者看到针刺向其指尖时, 就会产生缩手反应, 这属于\_\_\_\_\_反射, 是由\_\_\_\_\_参与的高级神经活动。如果仍蒙住眼睛, 测试者喊“刺”但实际上并未做出针刺行为, 被试者也会产生缩手反应。这是由\_\_\_\_\_信号引起的\_\_\_\_\_反射。
  
3. 多巴胺和去甲肾上腺素(NE)都是单胺类的神经递质, 而COMT是一种单胺类物质转移酶, 广泛分布于多种组织中。如图2-24所示, 多巴胺可以转化成去甲肾上腺素, 其过程存在负反馈调节机制。
  - (1) 研究发现, 缺乏多巴胺往往导致抑郁。以下说法正确的是( )。(多选)
    - A. COMT抑制剂可促进多巴胺的合成
    - B. COMT抑制剂不影响去甲肾上腺素的释放
    - C. 去甲肾上腺素重摄取抑制剂能促进多巴胺的合成
    - D. 去甲肾上腺素重摄取抑制剂能减少对多巴胺的利用

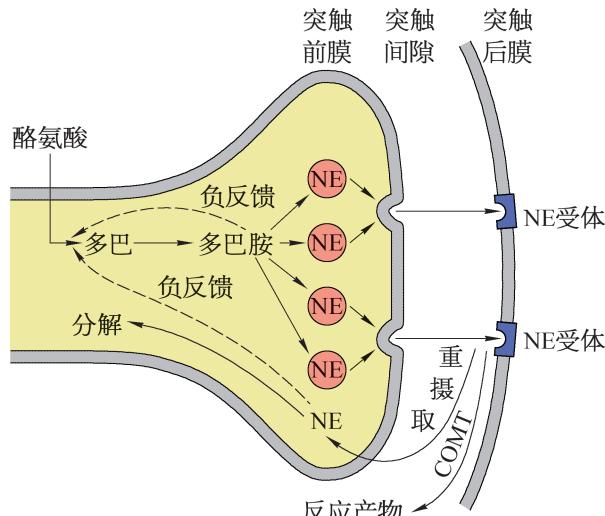
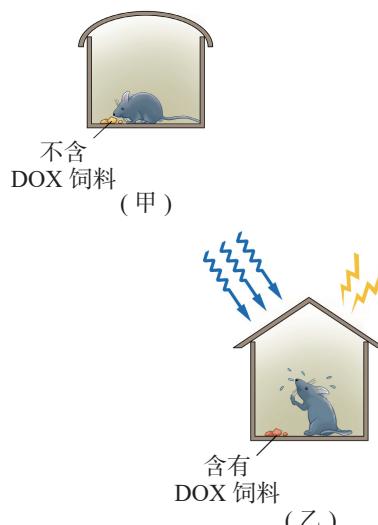


图2-24 多巴胺转化成去甲肾上腺素示意图

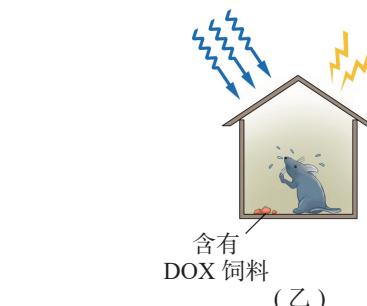
- (2) 常见于老年人群的帕金森病是一种由于多巴胺分泌减少所致的疾病。临幊上常通过补充药物“美多芭”缓解症状, 但患者在服药一段时间后, 往往会出现疗效欠佳的现象。医生常建议\_\_\_\_\_ (减少/增加)“美多芭”服用剂量, 通过服用其他药物来\_\_\_\_\_ (降低/提高)多巴胺受体敏感性。
- (3) 脑内去甲肾上腺素功能亢进可表现为狂躁, 而功能低下则表现为抑郁。根据所提供的信息, 分析帕金森病患者情绪淡漠的原因。

4. 在动物体完成某种行为或者形成某种意识的时候，大脑中的不同区域就会以一个神经环路的形式，在一定的时空顺序下对此有所反应，这也是记忆的形成机制。科学家利用以下技术原理进行了相关实验研究：利用光遗传学技术将光敏蛋白特异性地表达在被特定激活的神经元（有记忆痕迹的神经元）上，如果给小鼠饲喂含有多西环素（DOX）的饲料，则光敏蛋白不表达，如此可以对这些被标记的神经元进行操控。实验过程如图 2-25 所示。

① 小鼠放入环境甲饲养一天后，熟悉环境、形成记忆（相关神经环路中的神经元被激活，表达光敏蛋白）。



② 转移至环境乙中喂食含有 DOX 的饲料，与记忆环境乙相关的神经元不表达光敏蛋白。用蓝光刺激，激活在环境甲中表达了光敏蛋白的神经元，唤醒了小鼠对环境的记忆。再用电刺激，致小鼠恐惧僵立。



③ 重新回到环境甲，喂食含有 DOX 的饲料，小鼠在没有受到电击的情况下恐惧僵立。



④ 转移至环境丙中饲喂含有 DOX 的饲料，无电击，小鼠反应正常。

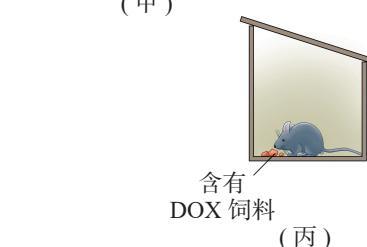


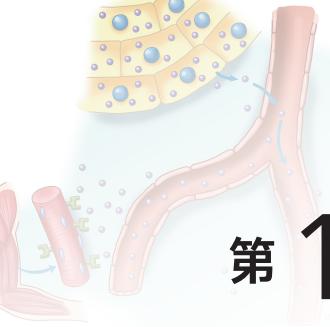
图 2-25 小鼠实验示意图

- (1) 对小鼠施以电击是在环境乙中进行的，为什么将小鼠放入“安全”（无电击刺激）的环境甲中却仍会表现出恐惧反应？这个恐惧反应属于哪一种反射？这说明了什么？
- (2) 放入环境丙，为何小鼠不出现恐惧反应？若用蓝光激活表达光敏蛋白的神经元，是否会出现恐惧反应？请说明你的理由。
- (3) 根据上述材料，请重新设计实验，“消除”人为给小鼠植入的关于环境甲的“虚假恐怖记忆”，而让小鼠变得“喜欢”环境甲？

# 第3章 人体的体液调节

冽冽寒冬中，我们瑟瑟发抖，但体温依然维持在37℃左右；炎炎夏日里，我们不断喝水，但排尿却较少……当处于不同的外界环境或生理状况时，机体内组织、器官、系统的活动也会相应发生改变，从而使机体不偏离稳态。机体这些适应环境的方式在受到神经调节的同时，也离不开体液调节。在内环境稳态中，激素等体液因素发挥怎样的功能，又是如何进行调节的呢？激素调节和神经调节有怎样的关系呢？





# 第1节 激素调节是体液调节的主要形式



## 学习目标

- 以图示、表格的形式，概括人体内分泌系统的组成。
- 从结构与功能相适应的角度，说出激素参与生命活动调节的特点。
- 通过模拟诊疗活动，运用激素调节的知识，关注与内分泌相关的健康问题。
- 举例说明其他体液成分对维持内环境稳态的意义，并尝试归纳体液调节的特点。

## 概念聚焦

- 内分泌系统分泌的激素通过体液传送到作用部位发挥调节作用。
- 激素调节具有特异性、高效性等特点。
- $\text{CO}_2$ 通过调节呼吸运动参与内环境稳态的调节。

内环境稳态对于机体细胞正常的生命活动至关重要，但它会受到外界环境及细胞生理活动产物的影响。机体内环境自稳态的维持，如血糖、体温、水盐等平衡，都与激素调节密切相关。那么，激素从哪里来，又是如何发挥作用的呢？



## 第一种被发现的激素——促胰液素

科学家很早就发现酸性食糜进入小肠会引起胰液的分泌，并以狗为实验对象完成了图3-1中的实验①~③，但受“神经论”的影响，这被认为是反射现象。英国科学家贝利斯（W. M. Bayliss）和斯他林（E. H. Starling）则大胆推测：在盐酸作用下，小肠黏膜产生的某种化学物质随血液循环到达胰腺后，引起了胰液的分泌。他们设计完成了图3-1中的实验④，取得了成功。这种化学物质就是第一种被发现的激素——促胰液素。由此，激素调节的神秘面纱也逐渐被揭开。

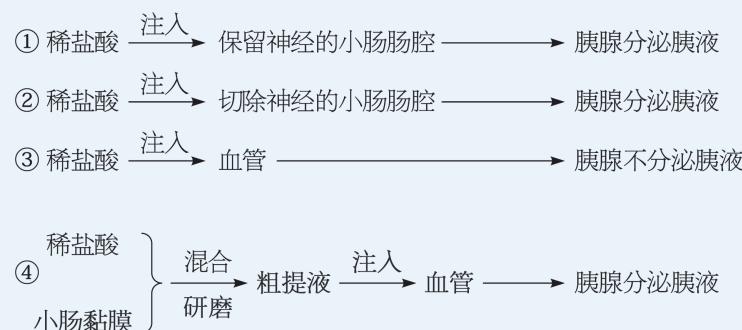


图3-1 促胰液素发现的主要实验

### 思考与讨论：

1. 你能分析出促胰液素分泌的部位吗？它是通过何种方式传送的？
2. 贝利斯和斯他林的实验获得了哪些科学发现？
3. 查阅资料，了解研究激素生理功能的方法。

## 1. 内分泌系统分泌激素调节生命活动

正常情况下，动物和人体内能分泌多种激素，它们不仅在机体生长、发育、繁殖等生命活动过程中发挥着重要的调节作用，而且还参与维持机体组织细胞的新陈代谢。这种由动物体内特定内分泌腺或内分泌细胞分泌的激素，通过体液传送来调节生命活动的方式称为**激素调节**（hormonal regulation）。

内分泌腺和分散在其他组织器官中的内分泌细胞（如分泌促胰液素的小肠黏膜细胞）共同组成内分泌系统（endocrine system）。图3-2展示了人体主要的内分泌腺和它们分泌的激素及其生理作用。

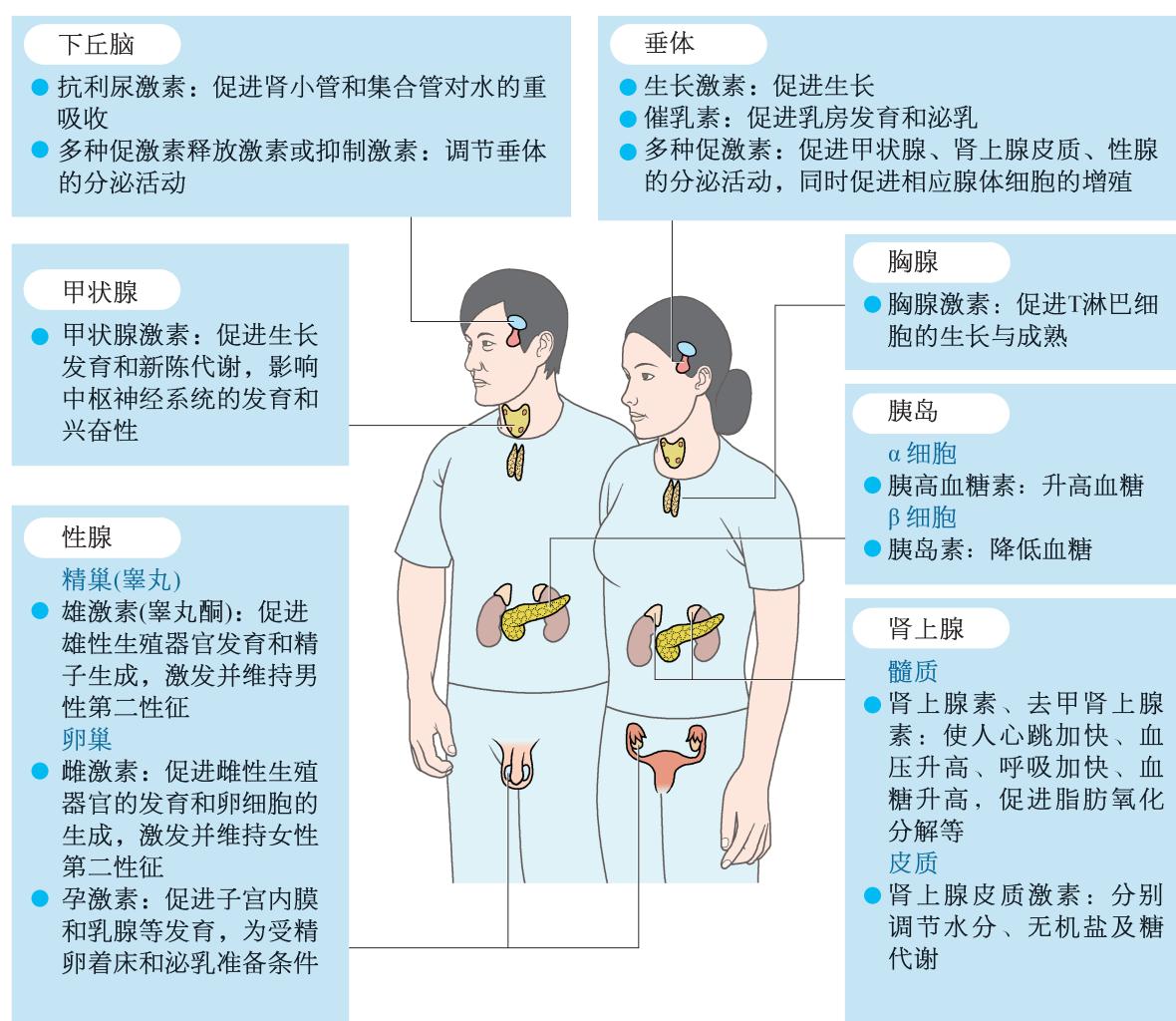


图3-2 人体主要内分泌腺及其分泌的主要激素



## 广角镜

## 青春期

青春期是儿童到成人的转变期，在此时期，体内促性腺激素、性激素等激素水平升高，生殖器官发育加速、第二性征出现直至成熟。受神经、激素、环境等多重因素的影响，青春期时人的心理变化也很明显：渴望被认可、对异性产生爱慕、对新鲜事物充满好奇、易偏激等。

正确认识青春期身体和心理的正常变化，有助于我们平稳而精彩地度过人生的这一重要时期。当我们受到身体、心理变化的困扰时，应积极调整心态，及时寻求家长、老师、医生等的帮助。



## 探究·活动

## 3-1 模拟诊疗

人体需要适量的激素来维持机体细胞的新陈代谢及个体的生长发育等生命活动。激素水平一旦偏离正常生理范围，无论偏多或不足，都会给机体带来一系列生理生化等方面的影响，严重的可能引发疾病。

## ▶ 活动目标：

了解常见内分泌相关疾病的症状、病因以及初步治疗建议。

## ▶ 活动内容：

请根据图3-3中患者的症状，从激素分泌异常角度分析患者可能的病因，并给出确诊时需做的检查建议以及生活中的注意事项或建议。



图3-3 四位患者的症状描述

表3-1 四位患者的诊断及治疗建议

患者	可能病因	检查建议	注意事项或建议
甲			
乙		糖耐量测试……	
丙			炒菜时用无碘盐……
丁			遵医嘱服用甲状腺片……

## ▶ 活动评价：

查阅资料，对做出的检查建议及相关注意事项等的合理性进行评价。

## 2. 激素调节具有特异性、高效性等特点

内分泌系统通过分泌激素调节机体的生命活动，激素本身并不提供代谢所需的物质或能量，而只作为“信使”，将信息传递给靶器官、靶细胞。虽然各种激素的结构、效应不尽相同，但它们的调节过程却具有共同特点。

首先，激素的传送途径相似。激素从分泌部位经体液传送到达作用部位，才能发挥调节作用（图3-4）。

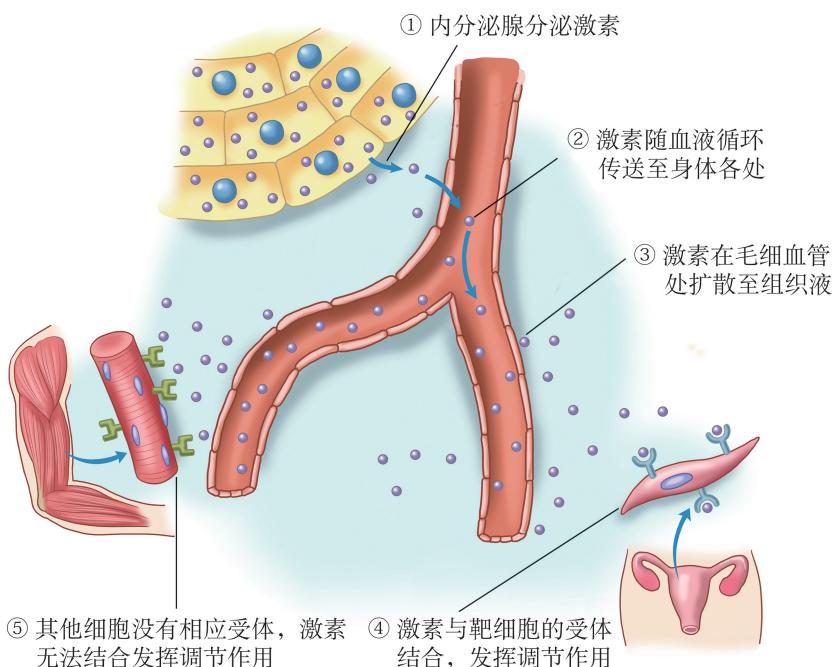


图3-4 激素的传递及作用过程示意图

其次，激素调节具有特异性。激素随血液循环传送到全身各处，能广泛接触各细胞，但激素只能作用于特定的靶细胞。这主要取决于细胞表面或胞内是否有激素的特异性受体。例如，生长激素能作用于肌肉细胞，而促性腺激素则不能。

此外，激素调节具有高效性。正常情况下，血液中激素的浓度都很低，为 $10^{-12}\sim10^{-9}$  mol/L，并维持在一个相对平衡的状态，但它们对细胞功能的影响非常强大。例如： $1\times10^{-9}$  mol/L的肾上腺素作用于肝细胞，可引起肝糖原分解生成 $3\times10^{-3}$  mol/L葡萄糖。

## 3. 体液中CO<sub>2</sub>等成分也参与体液调节

平静状态下，健康人的呼吸节律是均匀而整齐的，一般为

12~18 次/min，这受到多种因素的调节。当体液中  $\text{CO}_2$  浓度升高时，会引起人体呼吸频率、呼吸深度增加，从而排出体内过多的  $\text{CO}_2$ ，使其浓度下降并维持在相对稳定的水平。体液中的  $\text{CO}_2$  浓度过低时，也可能引起呼吸抑制，威胁生命。所以体液中  $\text{CO}_2$  浓度的稳定对维持人体正常的呼吸节律非常重要，是调节人体呼吸运动的重要体液因子。

除  $\text{CO}_2$  外，人体细胞代谢产生的  $\text{NO}$ 、 $\text{H}^+$  等物质，以及生理活动产生并释放到体液中的特殊化学物质（如某些神经递质），均可通过体液传送后作用于靶细胞并调节其生理活动。这些调节方式与激素调节统称为**体液调节**（humoral regulation）。



### 自我评价

- 抗利尿激素分泌不足可导致尿崩症，表现为尿量大于  $3\ 500\ \text{mL/d}$ （按体重  $70\ \text{kg}$  计算），临幊上常用抗利尿激素类似物 DDVAP 治疗，每日只需注射  $2\ \mu\text{g}$  即可维持正常尿量（约  $1\ 000\ \text{mL/d}$ ）。以上事实说明激素（或其类似物）的作用具有（ ）。
 

A. 高效性      B. 多样性      C. 特异性      D. 长效性
- 我国从 1995 年起开始实施食盐加碘。请你根据所学知识分析其原因，并举例说明什么情况下不适合长期食用加碘盐。
- 在医疗抢救中，吸氧常作为一种辅助医疗手段，供给的氧气中往往混合一定比例（如 5%）的  $\text{CO}_2$ ，你知道这是为什么吗？请做简要解释。
- 家蚕一生要经过卵、幼虫、蛹和成虫四个发育阶段。整个过程与保幼激素和蜕皮激素有关，两者同时作用时，家蚕保持幼虫状态并蜕皮成为下一龄幼虫；当保幼激素减少后就化蛹。图 3-5 表示家蚕从 4 龄幼虫到羽化为成虫阶段两种激素（用 A、B 表示）的变化，其中①~⑤表示 5 个时间点。

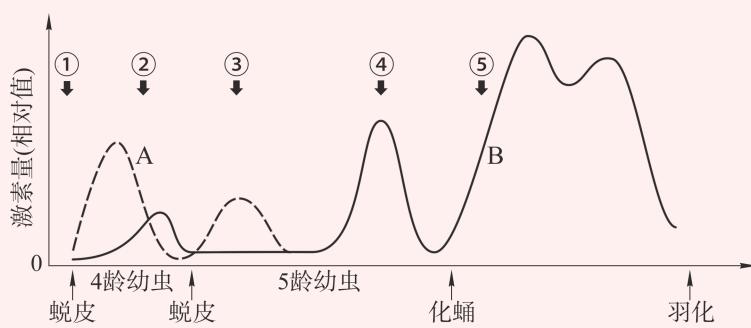


图 3-5 家蚕不同发育阶段的激素含量变化

- (1) 推测 A、B 分别表示哪种激素？
- (2) 家蚕幼虫越大，所结的茧就越大，产丝也越多。结合以上信息，提出一种提高蚕丝产量的方法。

## 第2节 激素通过反馈调节和分级调节维持稳态

当我们进食后，血糖浓度随之升高，但很快就恢复至正常水平；运动时，虽然能量需求激增，但血糖浓度并未因消耗量大而出现明显下降。这主要是激素调节的结果，激素是通过哪些机制调节机体以维持内环境稳态的呢？



### 血糖浓度与激素调节的关系

图3-6是正常人空腹时，口服葡萄糖溶液前后的血糖、胰岛素和胰高血糖素的浓度变化曲线图。

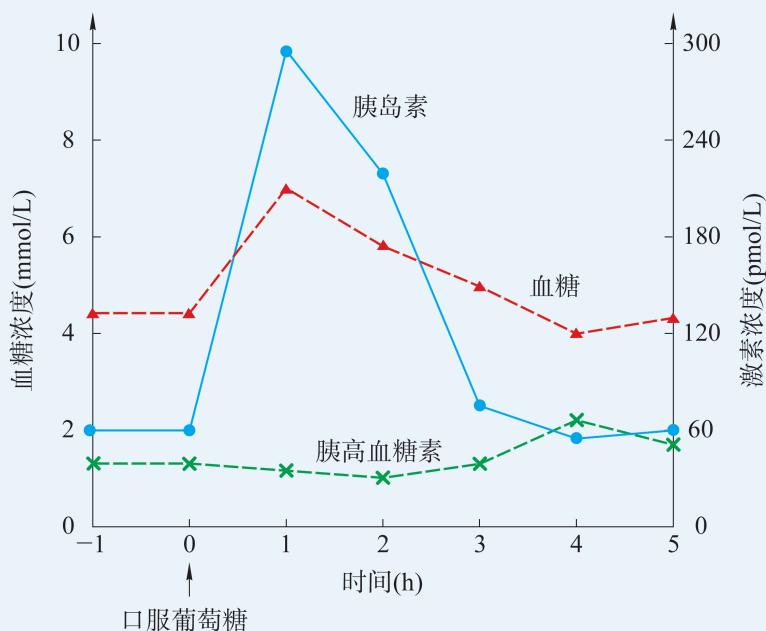


图3-6 血糖、胰岛素、胰高血糖素浓度变化曲线图

#### 思考与讨论：

- 请分析血糖浓度变化与胰岛细胞分泌激素间的关系。
- 有同学不吃早饭就匆匆赶去上学。虽然前两节课并未感觉到不适，但在临近中午时可能会出现心慌、出虚汗、注意力不能集中等现象。请尝试分析出现这些现象的原因，并说明早餐对人体健康的重要意义。

#### 学习目标

- 基于稳态与平衡观，举例说明激素的分级调节和反馈调节机制，并能提出预防糖尿病的科学建议。
- 通过探究活动，辩证地认识使用激素对人体健康的利弊，并能阐明自己的观点。

#### 概念聚焦

- 反馈调节和分级调节是激素调节的重要机制。

## 1. 反馈调节是激素调节的重要机制

正常情况下，人体空腹血糖浓度维持在 3.90~6.10 mmol/L 范围内。机体内血糖的相对稳定主要是在胰岛素、胰高血糖素等激素的共同调节下实现的（图 3-7）。

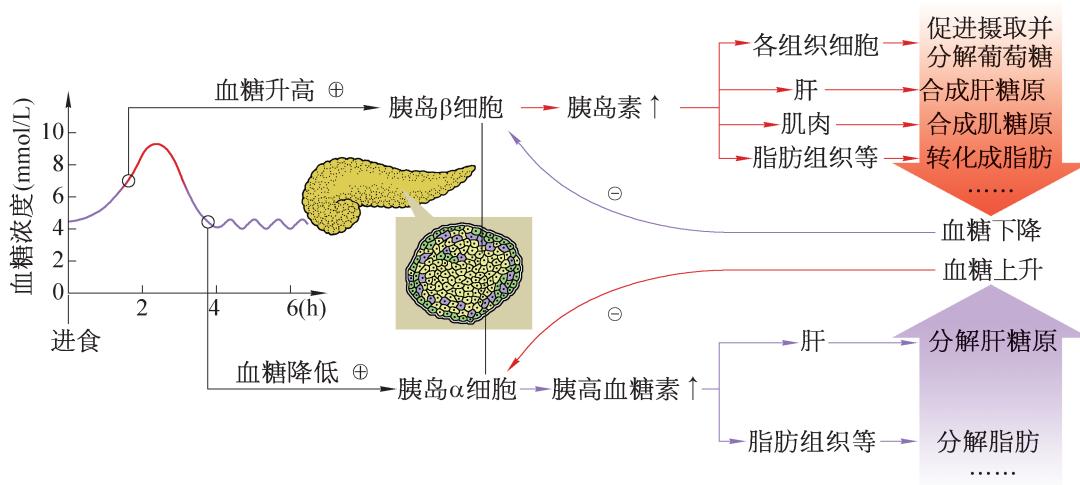


图 3-7 维持血糖平衡的激素调节过程示意图

餐后，食物中的淀粉等糖类经消化、吸收进入血液，引起血糖浓度的暂时升高，胰岛  $\beta$  细胞接受此信息后，胰岛素分泌增加。胰岛素经体液传送到靶细胞，与靶细胞表面的特定受体结合，促进组织细胞从血液中摄取葡萄糖（图 3-8）用于细胞呼吸；同时，促使肝脏和肌肉细胞摄取葡萄糖并将其转变为糖原储存，促进葡萄糖转变为脂肪等非糖物质。而且，胰岛素还能抑制糖原及非糖物质转变为葡萄糖，最终使血糖浓度降低至正常水平。

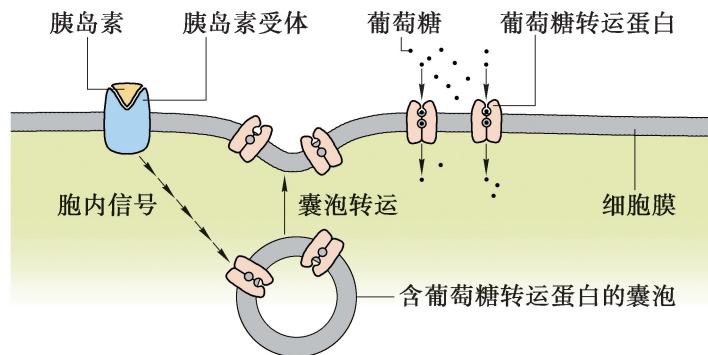


图 3-8 胰岛素促进组织细胞摄取葡萄糖示意图

反之，当人体运动消耗大量能量时，血糖浓度会略微降低。胰岛 $\alpha$ 细胞接受该信息后，分泌胰高血糖素，传送至靶细胞，促使肝糖原水解、非糖物质转变为葡萄糖并进入血液，从而提高血糖的浓度。

在血糖调节过程中，胰岛素的作用结果（即血糖浓度降低）会反过来抑制胰岛素的分泌活动；胰高血糖素使血糖浓度升高后，也会抑制胰高血糖素的分泌。像这样，激素调节的结果反过来又作为信息调节该激素的分泌，这种调节方式称为**反馈调节**（feedback regulation）。反馈调节对机体维持内环境稳态具有重要意义。机体内的激素分泌普遍存在反馈调节。例如，当肾上腺素合成增多时，也会通过抑制肾上腺髓质细胞内某些酶的活性来减少肾上腺素的合成。



### 广角镜

#### 正反馈与负反馈

反馈信号对神经细胞、内分泌细胞等的活动会产生不同的影响。如果反馈使其活动减弱，就称为负反馈（negative feedback regulation），反之称为正反馈（positive feedback regulation）。负反馈调节有利于机体维持一种稳定状态，血压、pH、渗透压、体温等的调节过程均为负反馈。正反馈调节则会打破原先的平衡状态，如排尿、分娩、凝血过程，机体的正反馈系统比负反馈系统少得多。负反馈一般也简称反馈。



#### 学习提示

肝糖原水解是空腹时血糖的直接来源。肝糖原和肌糖原都可以在一系列酶的作用下分解为葡萄糖-6-磷酸。葡萄糖-6-磷酸酶能将其进一步分解为葡萄糖，但该酶只存在于肝、肾中，而不存在于肌肉中。因此，肝糖原能分解成葡萄糖，并进入血液补充血糖浓度。

## 2. 分级调节是激素调节的机制之一

甲状腺激素与人体中枢神经系统兴奋性的维持密切相关，甲状腺功能亢进（简称甲亢）患者往往精神亢奋、容易失眠；而甲状腺功能减退（简称甲减）患者却萎靡不振、嗜睡。那么，正常情况下，人体是如何调节甲状腺激素水平的呢？

甲状腺的分泌活动受下丘脑和垂体的两级调节（图3-9）。首先，下丘脑中的某些神经元具有内分泌功能，它们能分泌促甲状腺激素释放激素（thyrotropin-releasing hormone，简称TRH），经血液传递至垂体，促使垂体分泌促甲状腺激素（thyrotropin，简称TSH）。然后，促甲状腺激素再经血液传递到甲状腺后，促进甲状腺分泌甲状腺激素。这种调节方式就是**分级调节**。

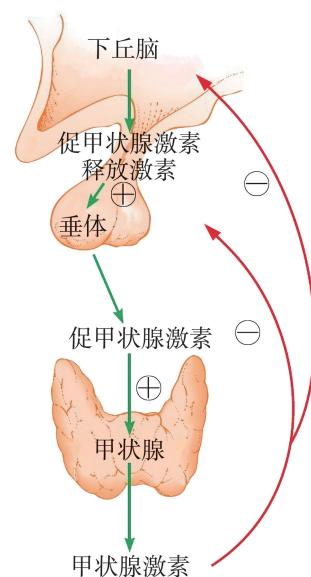


图3-9 甲状腺激素分泌的分级调节示意图

若血液中甲状腺激素浓度超过一定量，也会抑制下丘脑和垂体的分泌活动，使血液中甲状腺激素的浓度不至于过高。可见，在甲状腺激素的分级调节中也存在着反馈调节。

激素的分级调节还存在于性激素和肾上腺皮质激素的分泌调节中，其调节机制与甲状腺激素的分泌调节类似。



## 探究·活动

### 3-2 认识生活中使用激素类物质对人体健康的影响

生活中，我们免不了会接触含有激素的药品、食品和生活用品。使用得当，可以治病救人、造福人类；若使用不当，也会给人类和生态系统带来危害。例如，部分糖尿病患者需要按时注射胰岛素，才能维持机体血糖的正常水平；给生长激素合成不足的儿童注射生长激素可有效预防侏儒症；在养殖业中，人们可以通过给亲代鱼注射促性腺激素类药物，促进精子和卵的同步成熟，从而有效地进行人工育苗……但你也可能听说过，一些不法商贩在猪饲料中添加激素类药物（如瘦肉精），来促进猪的生长，提高瘦肉率，人食用这种猪肉后，会出现肌肉震颤、头疼、恶心等症状，严重的还可能导致死亡。

#### ► 活动目标：

通过讨论，正确认识使用激素类物质对人体健康的影响，理性评价应用激素类物质的利弊。

#### ► 活动内容：

1. 请通过网络、图书馆等途径查阅资料，举例说明生活用品或食品中含有过量激素会对人体健康产生怎样的影响？如何合理利用激素为人类服务？

2. 与同学们讨论交流，并将资料汇总成小报，向周边居民宣传与激素相关的知识，引导居民正确认识激素。

#### ► 活动评价：

能基于充分的证据，阐明应用激素的利弊，并取得良好的宣传效应。



## 自我评价

- 科学家发现进食后，在蛋白质消化产物作用下，小肠细胞会分泌胆囊收缩素（简称 CCK）释放肽，促进 CCK 释放和胰蛋白酶分泌增加，而分泌的胰蛋白酶又可使 CCK 释放肽水解。以上事实说明 CCK 的分泌存在怎样的调节机制，这种机制对消化有怎样的积极意义？
- 部分运动员为了提高成绩，会违背体育精神使用睾丸酮衍生物。男性运动员在服用后容易导致睾丸萎缩、精子生成减少，请你从激素调节的角度予以解释。
- 图 3-10 显示的是空腹时，口服葡萄糖前后血糖检测结果，两条曲线分别代表了正常人和糖尿病患者的血糖浓度变化情况。请判断两条曲线分别对应哪类人群，并简要解释原因。查阅资料，了解糖尿病的发生与人们的饮食习惯、生活方式有怎样的关系？如何预防糖尿病的发生？

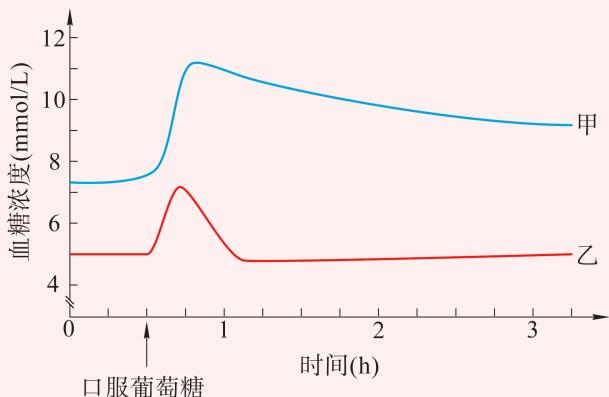


图 3-10 正常人和糖尿病患者的血糖浓度变化



## 第3节 神经调节与体液调节共同维持稳态



### 学习目标

- 构建概念图，说明体温和水盐平衡的调节过程，并能提出与之相关的科学运动的建议。
- 归纳与概括神经调节和体液调节的关系。

### 概念聚焦

- 体温和水盐平衡的维持都受到神经和体液的共同调节。
- 神经调节和体液调节既相互协调，又相互影响。

百米赛跑即将开始，运动员们在起跑线上等待着发令枪响。他们心跳加快、呼吸急促、手心出汗——这是否只与交感神经的调节有关呢？此时，机体还有哪些系统参与调节此过程？它们有怎样的关系呢？



### 运动前后生理活动的变化

运动过程中，人的体温、血压、脉搏和呼吸频率等指标会有所上升。停止运动后，这些指标又从“高位”逐渐回落，直到与运动前相差无几。图 3-11 是运动前后血液中肾上腺素浓度的变化。

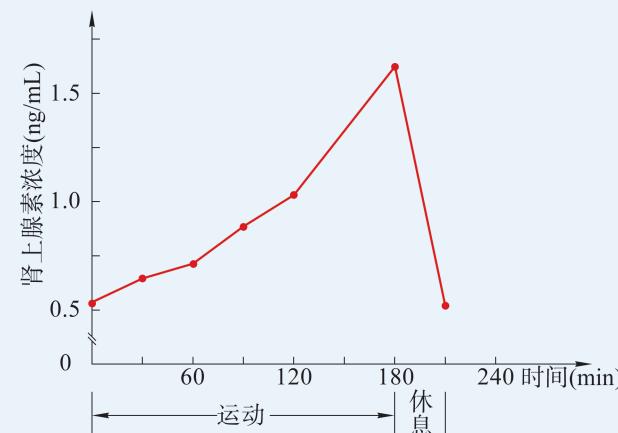


图 3-11 运动前后肾上腺素浓度变化曲线图

### 思考与讨论：

- 体温等四项指标都经历了升高再恢复的过程。请以其中一项指标为例，说明其变化过程涉及机体的哪些调节方式。
- 推测神经调节和体液调节是如何协作的？

## 1. 神经和体液共同调节体温平衡

人体的体温之所以能维持在37℃左右，是在神经系统、内分泌系统、循环系统、运动系统等诸多系统协作下，通过调节产热和散热过程来实现的。

在人的皮肤、黏膜、内脏及下丘脑、脊髓等处均分布着感受温度变化的温度感受器，包括温感受器和冷感受器（图3-12）。温度感受器能接受机体内外环境温度变化的刺激，产生的信号经传入神经传至下丘脑中的体温调节中枢。这些信息在中枢得到整合，经传出神经传至相应效应器（如皮肤、骨骼肌、肾上腺等）并引起反应，从而改变机体的产热和散热状况。

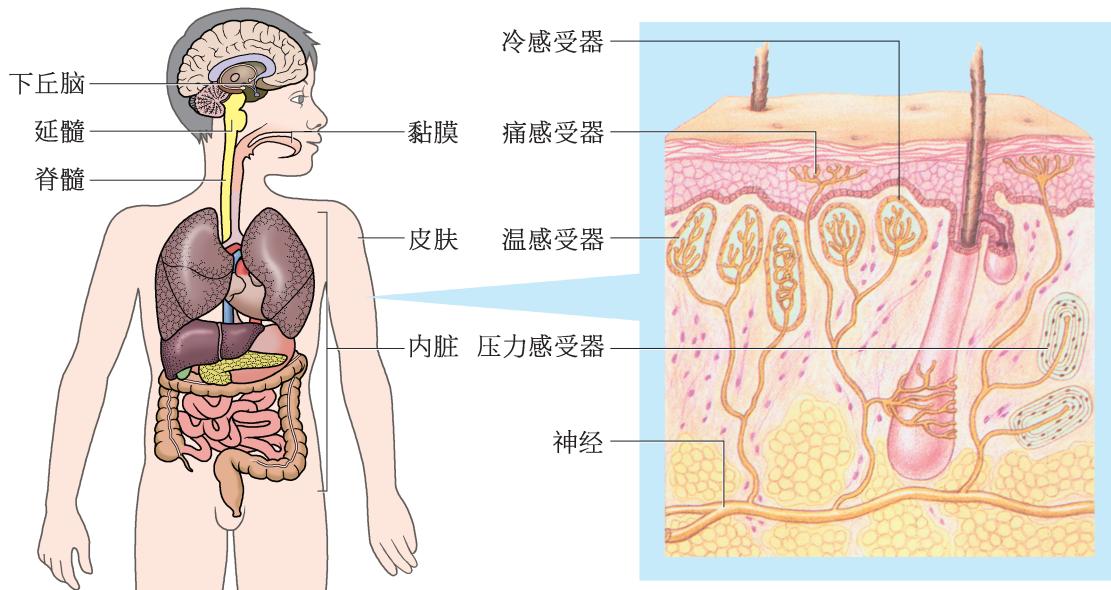


图3-12 人体温度感受器的分布及皮肤中的感受器示意图

当进入寒冷环境，冷感受器受到刺激，最终引起骨骼肌非自主战栗，肾上腺素和甲状腺激素分泌量增加，引起体细胞新陈代谢增强，增加产热量；同时，皮肤血管收缩，血流量减少，汗腺活动减弱，立毛肌收缩，减少散热（图3-13）。

### 学习提示

立毛肌收缩，会使毛发直竖，这样吸附在皮肤表面的空气就变厚了。由于空气是热的不良导体，皮肤的散热量就少了。

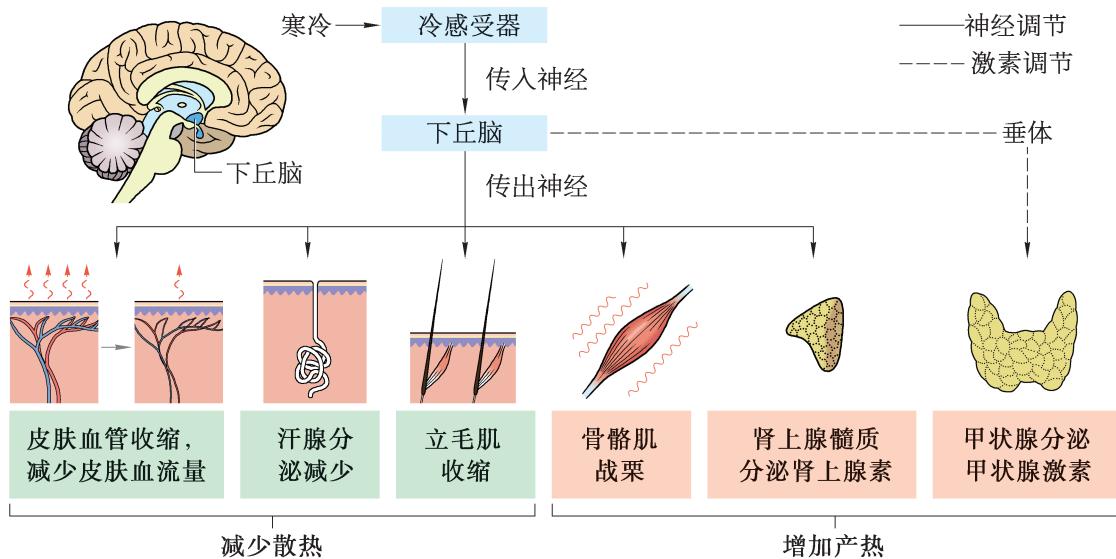


图 3-13 寒冷条件下人体体温调节示意图

相反，突然进入炎热环境，皮肤血管舒张，血流量增加，汗液分泌增加，立毛肌舒张，最终使散热量增加。体温调节过程也是一种反馈调节（图 3-14）。

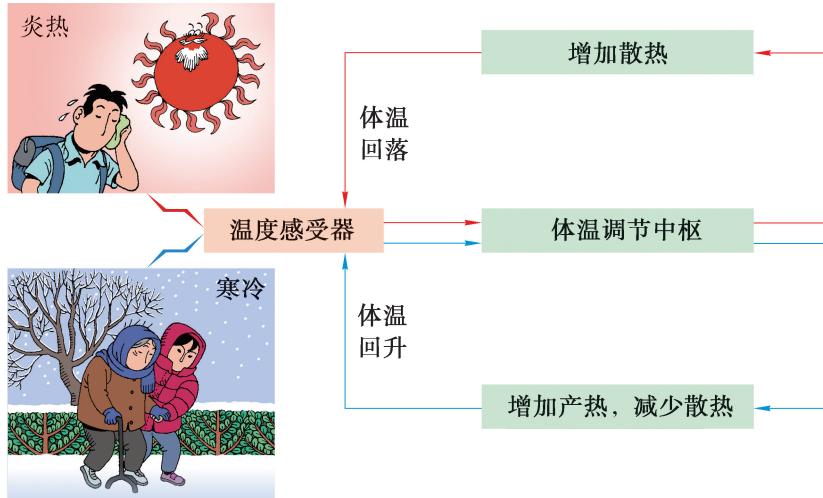


图 3-14 体温的反馈调节示意图

但人的体温调节能力是有一定限度的，如果人在寒冷环境中停留过久，产热不足以补偿散热，会使体温降低，造成冻伤，甚至危及生命；如果在高温，尤其是在湿热环境中停留过久，散热困难，会使体温升高，易造成中暑（热射病）。若出现上述情况，需采取急救措施并及时就医。

## 2. 神经和体液共同调节水盐平衡

水和无机盐的摄入量和排出量需保持动态平衡，才能维持人体内环境的稳态。水和无机盐的平衡密不可分，水分的增加或减少，会引起无机盐浓度的变化，进而影响人体的新陈代谢。人体往往是通过调节机体的含水量来维持体液中无机盐浓度的稳定。

水和无机盐平衡的维持，不仅涉及神经调节，还涉及由抗利尿激素（antidiuretic hormone，简称ADH）、肾上腺皮质激素等十几种因子共同参与的体液调节。这里仅以抗利尿激素及相关神经调节为线索，探讨水盐平衡的调节过程（图3-15）。

### 广角镜

#### 抗利尿激素参与血容量调节

人体内血容量的维持也与抗利尿激素的调节有关。当失血等原因使血容量减少时，抗利尿激素释放增加，通过减少尿量而有助于血容量的恢复。

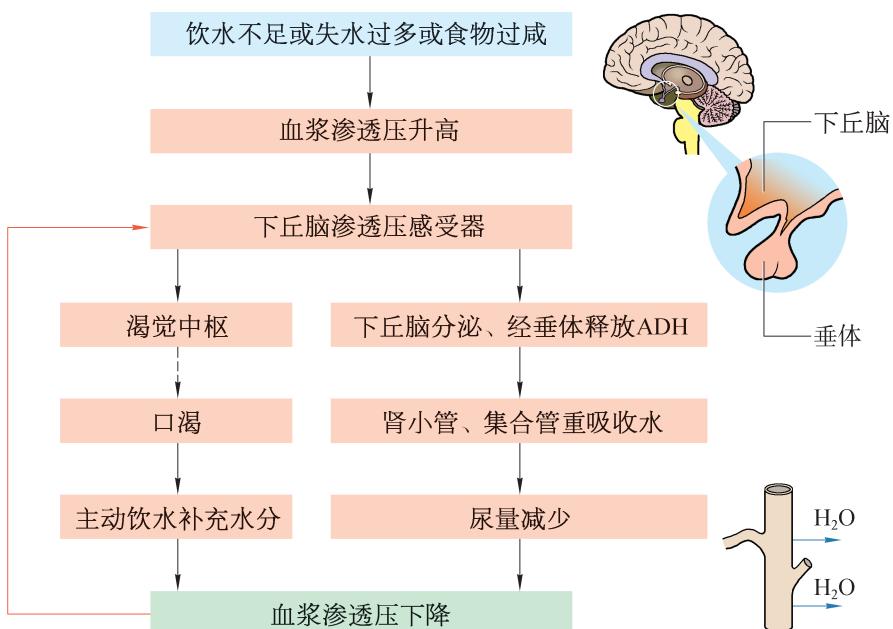


图3-15 水盐平衡的调节示意图

水的摄入需求主要由渴觉中枢控制，水的排出主要取决于血浆中抗利尿激素的浓度。机体饮水不足、大量出汗或吃的食品过咸，都会使血浆渗透压升高，渗透压感受器接受刺激后，

促使下丘脑分泌抗利尿激素，经垂体释放进入血液，增强肾小管和集合管对水的重吸收，使尿量减少。同时，渴觉中枢兴奋，引起口渴，主动饮水，使机体含水量增加。通过上述两种调节途径，血浆渗透压下降，随后抗利尿激素的释放量减少，使细胞外液渗透压维持在稳定范围内。

如果一次性饮用大量的清水，血浆渗透压降低，抗利尿激素分泌就会减少，尿量增加，通过排出多余的水分使机体含水量恢复正常。

## 生物学与社会

### 精神压力与体液调节

人民健康是民族昌盛和国家强盛的重要标志。保持身体健康的同时，也要重视精神和心理健康。当今社会，学习、工作、生活的压力都很大，许多人的紧张情绪无法得到舒缓，导致心情低落、失眠，甚至产生抑郁症等精神障碍。这不仅受社会环境的影响，也与人体神经和内分泌失调、遗传等很多因素有关。

研究发现，精神障碍患者的下丘脑、垂体、肾上腺、甲状腺、性腺等腺体的分泌活动会出现异常（图3-16），例如血浆中甲状腺激素浓度显著降低，而肾上腺皮质激素浓度升高。可见，患者体内有些内分泌信号通路被过度激活，有些信号通路被抑制。同时还发现，患者的负反馈调节也出现异常，靶细胞激素受体的类型和数量发生改变。凡此种种都显示精神压力会导致内分泌功能的紊乱，而内分泌功能的紊乱又会加剧精神障碍患者的痛苦体验。

面对精神压力时，首先要注意生活规律，平衡膳食、加强运动，善于向亲人、朋友倾诉，正确对待学习、生活中的挫折。如果发展为精神疾病（严重的心理障碍，以精神、行为异常为主要特征的疾病），不能讳疾忌医，要敢于面对，及时在医生的指导下进行治疗。

结合对神经调节和体液调节的认识，你还有哪些缓解精神压力的好方法吗？

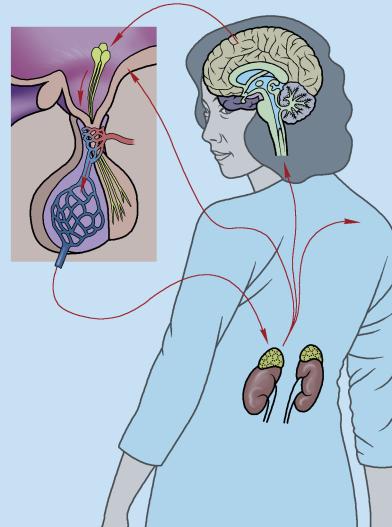


图3-16 人体内分泌调控示意图



## 自我评价

1. 据图 3-17 分析，机体调节胰腺分泌胰液的过程属于（ ）。
- A. 神经调节      B. 体液调节      C. 免疫调节      D. 神经、体液调节

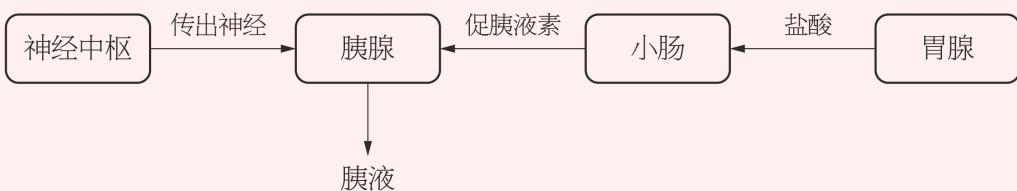


图 3-17 胰液分泌过程的调节示意图

2. 人的血压受多种神经、体液因素的调节，表 3-2 为几种因素对血压的影响作用（↑表示血压升高，↓表示血压降低）。高血压患者要尽量避免情绪激动，请结合下表解释原因。

表 3-2 神经、体液对人体血压的影响

调节因素	交感神经	副交感神经	肾上腺素	一氧化氮
对血压的影响作用	↑	↓	↑	↓

3. 基于体温平衡、水盐平衡等调节过程，归纳概括神经调节和体液调节的特点与联系。
4. 炎炎夏日，学校足球队的队员们在球场上挥汗如雨。此时，他们的体温、血浆渗透压也发生了波动。
- (1) 机体是如何调节体温和血浆渗透压，并使之保持相对的稳定？
- (2) 如果队员们不做相应的防护措施，这种稳态也可能被打破。请你为运动员提出夏季运动的健康贴士。

# 本章回顾



## 本章小结

体液调节是指机体细胞代谢产生的特殊化学物质，通过体液传送的方式对生命活动进行的调节，激素调节是体液调节的主要形式。人体内环境的稳态是在神经调节和体液调节相互协作、共同调节下完成的，如血糖平衡、体温调节、水盐平衡等。

人体的内分泌系统主要由垂体、甲状腺、胸腺、肾上腺、胰岛和性腺等内分泌腺及分散在其他组织器官中的内分泌细胞共同组成。激素是由内分泌腺或内分泌细胞分泌的调节物质，作为“信使”参与生命活动的调节，其调节具有高效性和特异性。

反馈调节是激素调节的机制，普遍存在于各种激素调节中。当血糖浓度、体温、渗透压等发生改变时，机体通过反馈调节使之相对稳定，保障了内环境的稳态。分级调节也是激素调节的重要机制，如甲状腺激素的分泌受下丘脑、垂体的逐级调控。反馈调节和分级调节广泛存在于生命系统的调节过程。基于既有事实和证据，运用归纳、概括、推理等科学方法有助于深入理解体液调节的机制。

人体维持正常的激素水平是内环境保持稳态的基础之一，而内分泌失常可能会导致疾病的发生。正确认识并科学利用激素，理性看待生活中接触的含激素的药品、食品和生活用品，才能更加健康幸福地生活。

## 学业评价



1. 某女士近日总感觉怕热、多汗、乏力、心悸、烦躁、失眠，食量增加而体重下降。医生诊断后，确诊她患有甲亢。

(1) 基于激素功能的知识，解释引起甲亢患者怕热、心悸等诸多临床表现的原因是什么？

(2) 下列关于甲亢病因的分析中，正确的是（ ）。(多选)

- A. 如果患者的甲状腺激素含量升高而促甲状腺激素含量降低，可能是甲状腺病变
- B. 如果患者的甲状腺激素含量升高而促甲状腺激素含量降低，可能是垂体病变
- C. 如果患者的甲状腺激素含量和促甲状腺激素含量均升高，可能是垂体病变
- D. 如果患者的甲状腺激素含量和促甲状腺激素含量均升高，可能是下丘脑病变

(3) 部分甲亢患者有甲状腺肿大的症状，而缺碘也会引起甲状腺肿大，俗称“大脖子病”，但二者的病因完全不同。请分析缺碘引起甲状腺肿大的原因。

(4) 甲亢患者除了遵医嘱服药外，生活中还应注意养成哪些生活习惯，才能更快地恢复健康？

2. 跑步是大众喜爱的一种健身方式，每天坚持慢跑已成为很多人的时尚选择。

(1) 跑步过程中，人体的能量需求增大，而血糖浓度却能稳定维持在正常的范围内，以下解释合理的是（ ）。(多选)

- A. 胰岛 $\alpha$ 细胞分泌的胰高血糖素增加
- B. 胰岛 $\beta$ 细胞分泌的胰高血糖素增加
- C. 肝糖原分解为葡萄糖，进入血液
- D. 肌糖原分解为葡萄糖，进入血液
- E. 肾上腺素转变为葡萄糖，进入血液
- F. 脂肪水解后氧化供能，减少血糖消耗

(2) 以下为跑步过程中人体的部分生理反应及其解释，其中错误的是（ ）。

- A. 呼吸加快加深—— $\text{CO}_2$ 的产生量增加
- B. 血压升高——交感神经活动加强
- C. 产热量增加——骨骼肌收缩加强
- D. 排尿量减少——抗利尿激素分泌量减少

- (3) 从开始跑步到跑步结束后一段时间，人体的体温会出现“由正常上升至略高水平，再回落至正常”的过程，请结合已学知识描述该过程中人体的调节机制。
- (4) 有人认为“跑步后要及时补充淡盐水”，你认为这种说法有道理吗？请做简要解释。
- (5) 有些肥胖人士采用“不吃主食、不吃脂肪、高强度运动”的方法来减肥，你认为这种做法科学吗？为什么？

3. 用于治疗Ⅰ型糖尿病的胰岛素泵（图3-18）是利用智能控制的胰岛素输入装置，通过持续皮下注射胰岛素的方式，模拟胰岛素的生理性分泌模式，从而达到控制血糖的目的。

- (1) 下面几种原因引起的糖尿病，可以用胰岛素泵治疗的是（ ）。(多选)
- 免疫异常导致的胰岛 $\beta$ 细胞受损
  - 细胞表面的胰岛素受体结构改变
  - 慢性胰腺炎导致的胰岛细胞萎缩
  - 细胞的葡萄糖转运蛋白结构改变
- (2) 胰岛素泵能“模拟胰岛素的生理性分泌模式”，请结合健康人体血糖水平的昼夜波动（图1-11），解释“模拟胰岛素的生理性分泌模式”的含义。
- (3) 目前，胰岛素泵的价格比较昂贵，未能普及，请你结合相关学科知识，为设计更加质优价廉的胰岛素泵提出建议。

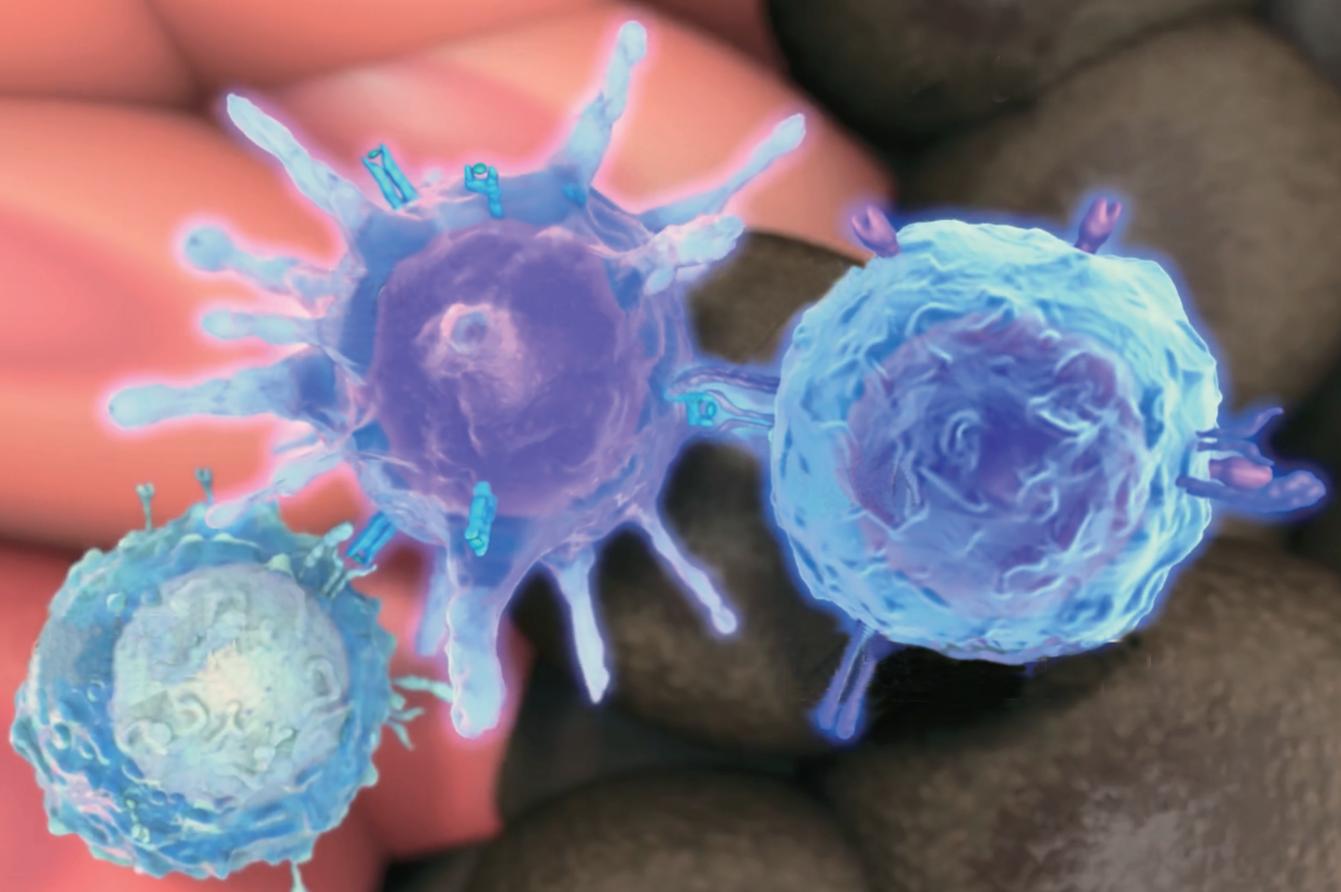


图3-18 胰岛素泵

# 第4章 人体的免疫调节

地球是所有生物的共同家园，在人类生存的每一寸空间中都生活着各种肉眼无法看见的细菌、病毒等病原微生物。这些病原体潜伏在我们呼吸的空气、摄入的食物、饮用的水，或者与我们有接触的宠物身上，它们会伺机侵入人体进行繁衍。同时，机体内部也会出现衰老、损伤或病变的细胞，这些都有可能会打破机体内环境原有的“平静”，威胁我们的健康。

幸运的是，在长期进化的过程中，机体建立起了一套强大的免疫系统。这套系统可以防御外来病原体，监视并清除体内异常的细胞，维持机体的稳态。人体的免疫系统由哪些部分组成？免疫系统如何保护人体健康、维持机体的平衡与稳态？如果免疫功能异常，可能会引发哪些疾病呢？





# 第1节 免疫系统是免疫调节的基础

## 学习目标

- 从结构与功能相适应的角度，举例说明免疫系统是免疫调节的结构与物质基础。
- 基于细胞具有识别能力的实验证据，概述免疫应答启动的原因。
- 通过表格或图示，比较与概括人体主要的免疫器官、免疫细胞与免疫活性物质的分布、结构与功能。
- 能运用免疫系统结构与功能的相关知识，通过逻辑推理，解释日常生活中的免疫学现象。

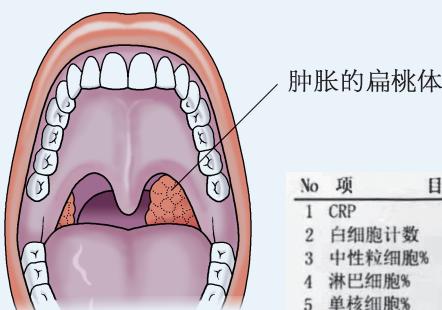
## 概念聚焦

- 免疫系统主要由免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质组成，它们协调统一地调节机体稳态。

如果将人体比作一个“国家”，那么免疫系统就是这个国家的“安保体系”，它拥有设置严密的“安保机构”和分工明确的“安保人员”。这个“体系”具体有哪些组成？又各自发挥什么功能？

## 生活中的免疫学现象

当细菌、病毒、立克次氏体等病原体入侵人体时，可能会引发炎症，如化脓性扁桃体炎等。此时，机体的免疫系统会发出各种“信号”（图4-1）。



肿胀的扁桃体

No	项 目	结 果	参 考 值	单 位
1	CRP	13	↑ <8	mg/L
2	白细胞计数	11.54	↑ 4~10	10 <sup>9</sup> /L
3	中性粒细胞%	70.6	↑ 50~70	%
4	淋巴细胞%	24.50	20~40	%
5	单核细胞%	4.00	3~8	%
6	嗜酸粒细胞%	0.70	0.5~5	%
7	嗜碱粒细胞%	0.20	0~1	%
8	中性粒细胞绝对值	8.15	↑ 1.4~6.5	
9	单核细胞绝对值	0.46	0~0.7	
10	淋巴细胞绝对值	2.83	1.2~3.4	
11	嗜酸粒细胞绝对值	0.08	0~0.7	10 <sup>9</sup> /L
12	嗜碱粒细胞绝对值	0.02	0~0.2	

图4-1 急性炎症患者的扁桃体肿大及血液化验结果

## 思考与讨论：

1. 该患者机体发出了哪些“信号”？
2. 位于人体口腔和咽喉部的扁桃体是淋巴结的集合体，是免疫系统的组成器官之一。扁桃体所处位置有何生物学意义？
3. 你能说出免疫系统还有哪些组成，又各自发挥什么功能吗？

## 1. 免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质组成 人体的免疫系统

免疫器官 (immune organ) 犹如“安保机构”，免疫细胞犹如“安保人员”，而各种免疫活性物质犹如“武器”或“联络信号”，三者共同组成人体的免疫系统。免疫系统将入侵的病原体以及机体内病变、衰老和死亡的细胞识别为“异己”的物质，其识别和清除“异己”物质以维持内环境稳定的过程，称为**免疫应答** (immune response)。

免疫器官是免疫细胞发生、成熟或集中分布的场所，主要由骨髓、胸腺、脾脏和淋巴结等组成（图 4-2）。

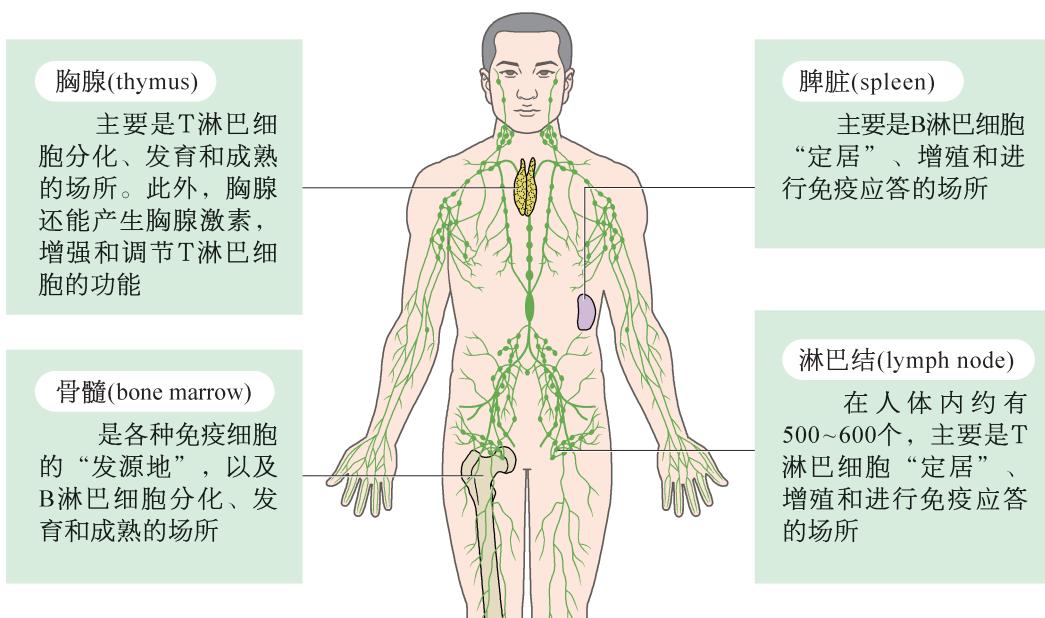


图 4-2 人体的主要免疫器官及其功能

免疫细胞俗称白细胞，是免疫系统的功能单位，主要包括淋巴细胞和吞噬细胞等，由骨髓多能造血干细胞 (hematopoietic stem cell) 分化而来（图 4-3）。

正常情况下，人体血液中免疫细胞的数量为 4 000 ~ 10 000 个 /  $\mu\text{L}$ ，能通过淋巴与血液循环遍及全身，发挥免疫应答作用。免疫学上，将那些能引起 B、T 淋巴细胞产生免疫应答的物质称为**抗原** (antigen)。

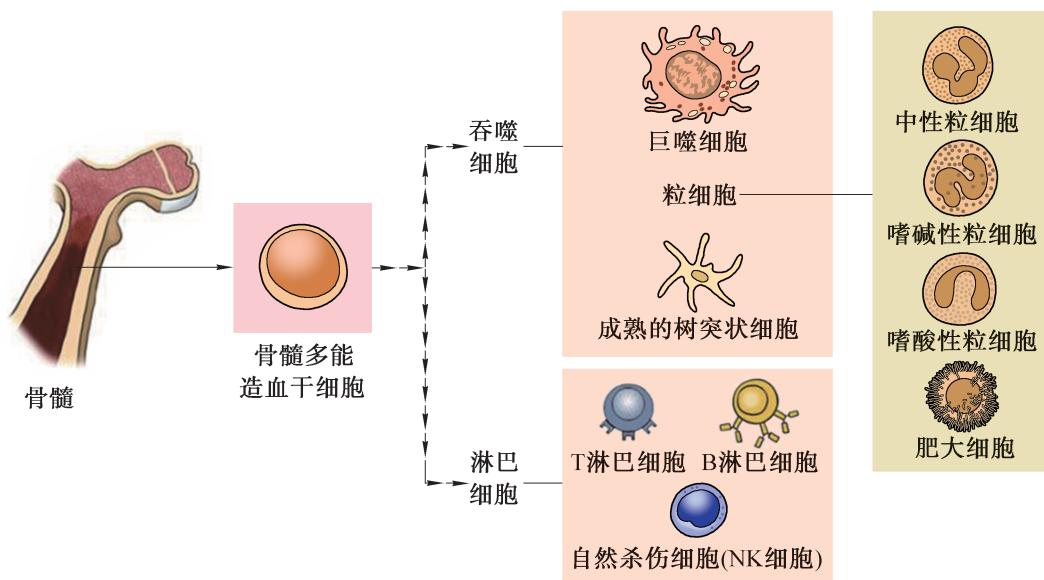


图 4-3 人体主要的免疫细胞及来源示意图



### 广角镜

#### 粒细胞的功能

粒细胞约占血液白细胞的 60% ~ 80%，由中性粒细胞、嗜碱性粒细胞、嗜酸性粒细胞等组成。其中，中性粒细胞数量最多，吞噬活性强，在机体对病原体产生的早期免疫应答中起重要作用；嗜酸性粒细胞数量较少，在机体感染寄生虫时发挥重要的功能；嗜碱性粒细胞数量更少，能产生与引起过敏反应有关的组胺等物质。此外，还有一种功能类似于嗜碱性粒细胞的肥大细胞，它们主要分布于机体呼吸道、消化道黏膜、皮肤、血管、淋巴管及末梢神经周围的结缔组织等处。

免疫活性物质是由免疫细胞或其他细胞产生并发挥免疫作用的化学物质，主要包括细胞因子、抗体、溶菌酶等（图 4-4）。



图 4-4 主要的免疫活性物质

免疫活性物质有的能向免疫细胞传递信息，有的能促进免疫细胞增殖分化，有的能结合抗原，还有的具有酶解“异己”等功能。

免疫系统中的免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质三者密不可分，是人体发挥免疫功能的结构与物质基础。以人体分布最广、数量最多的免疫器官淋巴结为例（图 4-5），它们犹如循环系统里的“关卡”，其内部的各种免疫细胞和免疫活性物质不但能清除淋巴携带至此的病原体，还能通过淋巴循环与血液循环“巡查”全身各处，并将产生的免疫活性物质等运送到全身。

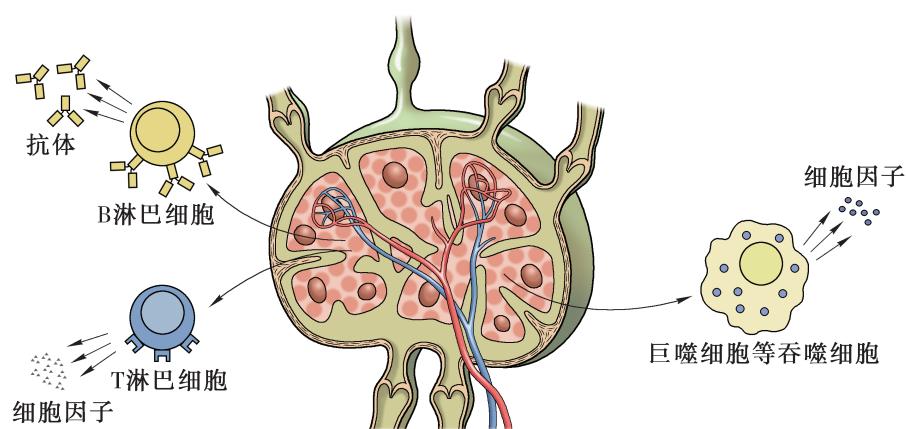


图 4-5 淋巴结中的部分免疫细胞及免疫活性物质示意图

## 2. 免疫应答的启动依赖于免疫细胞对“异己”的识别

1907 年，美国科学家威尔逊（H. V. Wilson）用海绵细胞做了一个有趣的实验。他用机械方法将海绵分离成一个个单独的细胞，当把颜色不同的两种海绵细胞混合后，发现分离的细胞又重新聚集成团，而每个聚合团只含一种颜色的海绵细胞（图 4-6）。原来，动物细胞对“自己”和“异己”的细胞或物质具有一定的识别能力。

那么，免疫细胞是如何识别“异己”的呢？

研究发现，每种生物的细胞都带有自己独特的“标志”，其中人和其他脊椎动物细胞表面的这类特定分子结构的“标志”统称为 MHC 分子（主要组织相容性抗原）。由于编码 MHC 分子的基因序列具有个体差异，因此，每个个体间的 MHC 分子结构不同。人体的免疫细胞对此会通过其特定受体加以识别，进而区分“自己”或“异己”。

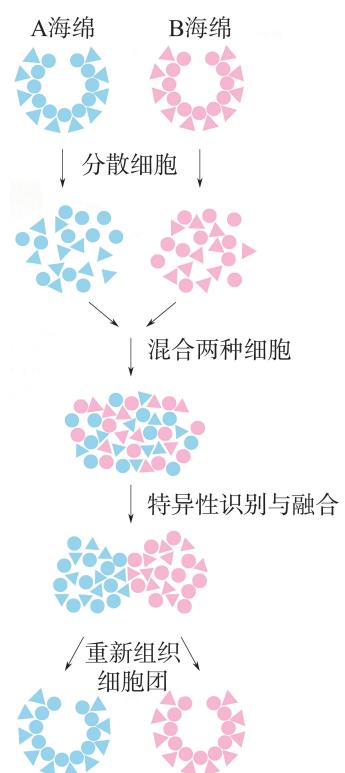


图 4-6 海绵细胞的识别与融合示意图

一般来说，被人体免疫细胞识别为“异己”的包括细菌、真菌、病毒、寄生虫等病原体，异体器官和组织细胞，以及一些非自身的大分子有机物等。它们均带有与被入侵者自身细胞不同的“标志”。此外，人体自身衰老、损伤或突变的细胞因其携带的 MHC 分子结构发生变化，也会被免疫细胞识别为“异己”。而那些被 B、T 淋巴细胞识别的抗原大多数是蛋白质，也有多糖和脂类。

免疫应答以机体免疫细胞对“异己”物质的识别为基础。由于每种免疫细胞表面识别抗原的受体不同，它们对“异己”的识别存在差异。例如，人体内的吞噬细胞表面具有多种抗原受体，能识别多种抗原，具有非特异性。再如，受抗原刺激后，成熟的 B、T 淋巴细胞表面会出现大量相应的抗原受体，识别和结合该抗原，引起免疫应答，具有特异性。

通过免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质的协调统一，免疫系统能在全身各处识别并抵御病原体的侵袭，监视和清除机体内衰老、死亡或异常的细胞。因此，免疫调节与神经调节、体液调节一样，在维持机体内环境平衡与稳态中发挥着重要作用。



## 科学史话

### 器官移植与 MHC 分子

随着免疫学、免疫抑制药物学、器官保存技术等迅速发展，人体的组织和器官移植已成为代偿功能丧失组织或器官的一种重要医疗手段。

关于器官移植的相关研究可以追溯到 20 世纪初。当时人们发现，无论在异种动物间，还是在同种哺乳动物的不同个体间进行器官移植都会发生排斥反应，即组织不相容（图 4-7）。人们却不清楚产生这种组织不相容现象的原因是什么。直到 1937 年，英国科学家戈勒（P. A. Gorer）在鉴定纯系小鼠血型抗原时发现了 I、II、III 和 IV 四种红细胞抗原。当他把含有抗原 II 的肿瘤移植到小鼠体内时，小鼠未产生排斥反应，而移植的肿瘤不含抗原 II 时，却产生了排斥反应。因此，小鼠红细胞抗原 II 被认为是一种主要组织相容性抗原（major histocompatibility antigen，简称 MHA）。

20 世纪 50 年代，美国科学家斯奈尔（G. D. Snell）等人发现，小鼠组织相容性抗原是由位于 17 号染色体上的若干紧密连锁的基因所编码，故该基因群被称为主要组织相容性复合体（major histocompatibility complex，简称 MHC，图 4-8）。主要组织相容性抗原由 MHC 编码，是位于细胞表面具有一定空间结构的特定分子，也常被称为 MHC 分子。

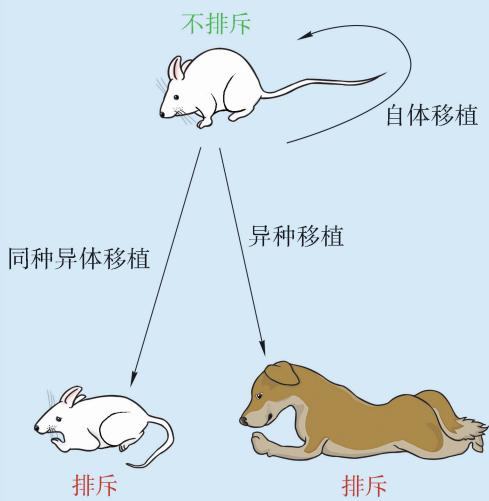


图 4-7 动物皮肤移植手术示意图

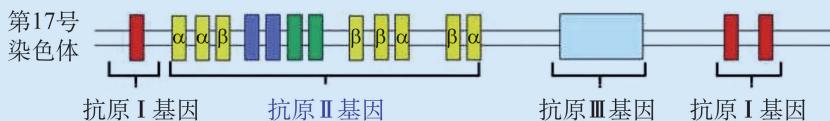


图 4-8 小鼠的主要组织相容性复合体示意图

随后，人类、恒河猴、黑猩猩、狗、兔和豚鼠等脊椎动物的主要组织相容性抗原被陆续发现。其中，1958年法国科学家多塞（J. Dausset）等人发现，人类MHC是位于6号染色体上的基因群，能编码人类的MHC分子。美国病理学家贝纳塞拉夫（B. Benacerraf）等人研究发现，MHC分子在参与抗原呈递和T淋巴细胞激活中也起重要作用。

如今，MHC分子被认为是脊椎动物细胞的身份“标志”，在医学等领域有着广泛应用。例如，器官移植配型时，会尽量选择MHC分子与被移植者相同的供体者，这大大降低了移植的排斥反应，延长了移植器官或组织的存活时间；此外，MHC分子也被用于亲子鉴定和法医学的鉴定，该成果还获得了1996年诺贝尔生理学或医学奖。

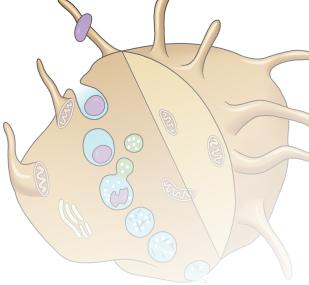
### 思考与讨论：

- 请结合科学家的研究历史，梳理器官移植与MHC分子的关系。
- 目前，在人体缺损器官修复中采用的异体移植或组织代用品（如硅胶、不锈钢、金属合金等）均存在一定弊端。请运用组织相容性抗原的相关知识尝试分析原因。
- 我国科学家曾应用干细胞移植技术成功救助了一名由于交通事故导致颅骨受伤缺损的7岁儿童。具体过程包括抽取患者自身的骨髓基质干细胞，经诱导分化为骨细胞，并在体外培育再造成一块颅骨后，移植入患者体内使之与头骨相融共生。请进一步查找资料，探讨干细胞移植的价值。



## 自我评价

1. 免疫应答以机体免疫细胞对“异己”物质的识别为基础。下列能被B、T淋巴细胞识别为“异己”物质的是（ ）。  
A. 抗体      B. 抗原      C. 细胞因子      D. 溶菌酶
2. 科学家将成鼠的部分皮肤移植到切除胸腺的小鼠身上。发现与未切除胸腺的小鼠相比，切除胸腺小鼠的皮肤移植更易成功。据此推测，机体对异体皮肤排斥起主要作用的免疫细胞是（ ）。  
A. 造血干细胞      B. T淋巴细胞      C. B淋巴细胞      D. 吞噬细胞
3. 人体内往往存在着针对一种病毒的多种抗体。例如，在乙肝患者体内可以检测到三种不同的抗体。对此的合理推测是（ ）。  
A. 乙肝病毒存在三种抗原  
B. 乙肝病毒能自主复制  
C. 乙肝病毒表面存在多个同种蛋白质分子  
D. 乙肝病毒的基因能在肝脏细胞内选择性表达
4. 科学家发现，引起流行性感冒的病原体——流感病毒是强效的细胞因子诱生剂，可刺激人体迅速产生大量多种细胞因子。请结合所学知识回答下列问题。  
(1) 细胞因子的种类及数量是否越多越好？为什么？  
(2) 请解释为什么科学家通过检测人体免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质的变化，就可以找到流感等疾病临床治疗的有效途径。



## 第2节 免疫系统具有防御功能

面对病原体的入侵，人体免疫系统通过三道防线有序地对病原体发挥防御或清除功能，以维持机体内环境稳定。免疫系统的三道防线在保护人体健康方面各自发挥着什么作用？它们之间又存在怎样的关联呢？



### 人体免疫的三道防线

回顾初中所学的免疫学相关知识，完成表 4-1 的填写。

表 4-1 人体免疫的三道防线

人体免疫系统	组成	功能	举例
第一道防线			
第二道防线			
第三道防线			

#### 思考与讨论：

尝试阐述上述人体免疫三道防线间的关系，以及它们如何共同实现免疫系统的防御功能。

### 1. 非特异性免疫是人体生来就有的防御能力

人体完整的皮肤和黏膜构成了机体的第一道防线。它们不仅能阻挡病原体入侵，而且能分泌多种杀菌和抑菌物质，如汗腺的酸性分泌物、皮脂腺分泌的不饱和脂肪酸、胃黏膜分泌的胃酸。此外，寄居于体表及与外界相通腔道（消化道、呼吸道、生殖道等）中的正常菌群也会对外来病原体产生拮抗或抑制作用，例如口腔中链球菌产生的过氧化氢对白喉杆菌具有抑制作用。

#### 学习目标

- 概述非特异性免疫和特异性免疫的特点，举例说明免疫系统具有抵御病原体入侵、维持机体稳态的功能。
- 运用免疫系统功能方面的知识，采用概念建模的方法解释炎症反应。

#### 概念聚焦

- 免疫系统通过非特异性免疫和特异性免疫发挥防御功能。
- 非特异性免疫是人体生来就有的免疫防御能力。
- 特异性免疫是人体后天获得的免疫能力。

虽然在大多数情况下，病原体无法突破第一道防线进入人体，但当皮肤或黏膜受损时，病原体就可能乘虚而入。此时，体液中的溶菌酶等杀菌物质和吞噬细胞将发挥第二道防线的功能。

在第二道防线中，吞噬细胞发挥着十分重要的作用。以巨噬细胞为例，当病原体侵入组织时，邻近的巨噬细胞因非特异性地识别和结合病原体而得以活化。活化后的巨噬细胞通过吞噬作用清除病原体（图 4-9）。

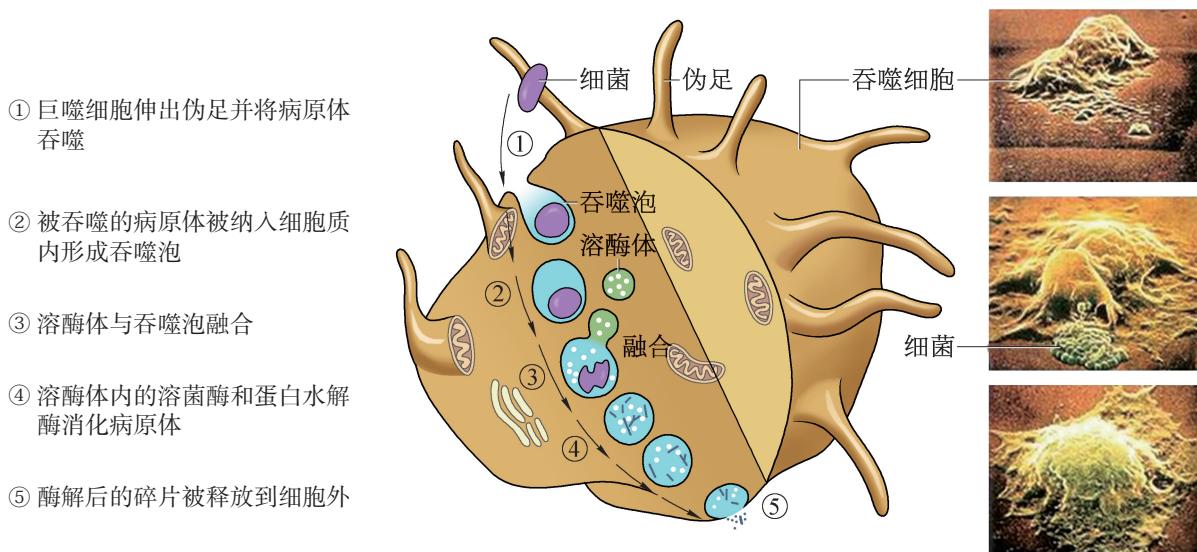


图 4-9 巨噬细胞吞噬并清除病原体的过程示意图

人体的第一、二道防线都是人类在长期进化过程中逐渐形成并通过遗传巩固下来的，是人生来就有，并能对众多“异己”发挥一定程度的防御作用，无特殊的针对性，所以称为**非特异性免疫**（non-specific immunity），也叫先天性免疫。多数情况下，这两道防线可以抵御病原体对机体的侵袭，这也是我们虽然时刻处在病原体的包围之中，却并不容易患病的主要原因。非特异性免疫在机体防御病原体入侵方面具有重要作用。



### 探究·建模

#### 4-1 构建炎症反应的概念模型

皮肤受损后，受损部位为什么会出现红、肿、热等现象？

原来，当细菌等病原体从皮肤破损处进入后，受损部位

的组织细胞会释放免疫活性物质，引起邻近的毛细血管舒张、通透性增大，促使吞噬细胞以及部分血管内的液体、蛋白质等物质逸出，积聚在受伤部位，从而形成红肿。通过血管管壁细胞间隙进入感染部位的吞噬细胞在吞噬病原体及死亡细胞的过程中，机体的血液循环和新陈代谢都会加快，导致机体局部体温升高并出现发热现象。此外，皮肤伤口处的血液会凝集形成凝血块并转变为血痴，以阻挡病原体进一步入侵机体。这些因皮肤受损后出现的红、肿、热等现象都属于炎症反应（inflammatory response，图 4-10）。

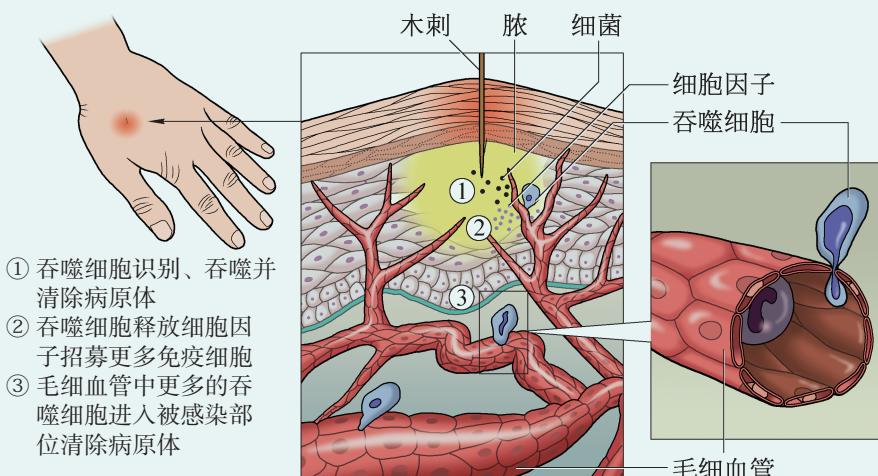


图 4-10 机体炎症反应示意图

随着病原体的消失，体内免疫活性物质不再产生，吞噬细胞也不再被吸引至炎症部位，机体组织恢复正常。

#### ► 思考与讨论：

1. 请结合上述材料，以文字、图示等形式构建炎症反应概念模型。
2. 请结合生活经历，列举人体炎症反应的实例，并构建“概念模型”来解释出现这些现象的原因。
3. 机体炎症反应常伴有免疫反应，免疫反应一定会导致炎症反应吗？请举例说明。

## 2. 特异性免疫是人体后天获得的防御能力

吞噬细胞酶解病原体的同时，会将抗原加工成多肽片段，并与 MHC 编码出的特定分子结合后一起被呈递至吞噬细胞表面，形成抗原肽-MHC 分子复合体（图 4-11）。能摄取、加工抗

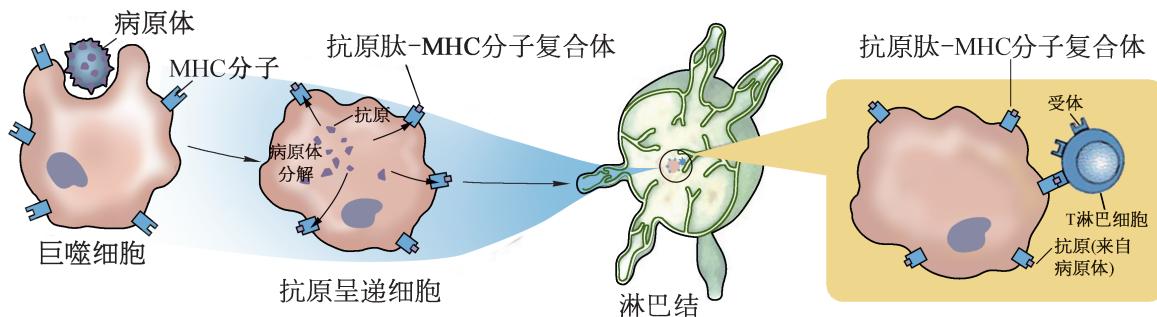


图 4-11 巨噬细胞对抗原的加工和呈递示意图

原，并将抗原肽–MHC 分子复合体呈递给 T 淋巴细胞的这类细胞，称为抗原呈递细胞（antigen presenting cell）。抗原肽–MHC 分子复合体能够被 T 淋巴细胞表面相应的受体识别，进而启动人体免疫系统的第三道防线，针对特定病原体产生免疫应答。

人体 B、T 淋巴细胞及其产生的免疫活性物质共同构成免疫的第三道防线。由于 B、T 淋巴细胞参与的免疫应答需要经抗原诱导产生，所以，是人在出生后逐渐形成的、新的防御能力。同时，成熟的 B、T 淋巴细胞的特定抗原受体只能识别和结合一类抗原并进行免疫应答，具有高度特异性，因此，第三道防线的免疫被称为**特异性免疫**（specific immunity），又称获得性免疫。



### 广角镜

#### 抗原呈递细胞协助 T 淋巴细胞识别抗原

T 淋巴细胞的特异性抗原受体不能直接识别病原体抗原，所以需要抗原呈递细胞的协助。抗原呈递细胞的种类很多，包括树突状细胞、巨噬细胞、B 淋巴细胞等。树突状细胞是目前已知抗原呈递功能最强的一类免疫细胞。



### 生物学与社会

#### 滥用抗生素对机体免疫力的影响

健康人的皮肤和胃肠道内寄居着数以千亿、种类繁多的微生物，即正常菌群。在长期进化过程中，这些菌群与人体建立了密切的关系。正常菌群会与致病微生物竞争营养物质以及上皮细胞的黏附位点，在机体的第一道防线中起着微生物屏障的作用。近年来研究还发现，肠道内正常菌群的代谢产物能够促进人体免疫系

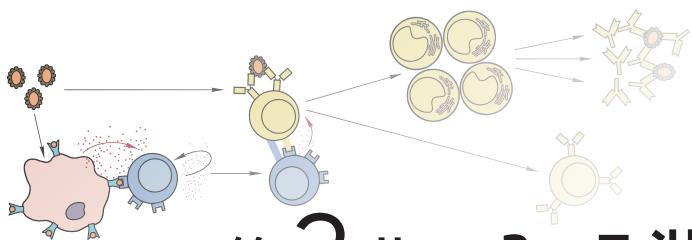
统的发育，甚至还可以直接调节机体的免疫系统。例如，树突状细胞通过特定的受体识别肠道细菌的代谢产物后，相应的信号通路被激活并产生不同的细胞因子，进而调节T淋巴细胞分化，从而实现细菌耐受与免疫的平衡。此外，还有研究表明，肠道微生物群参与了癌症患者化疗、放疗和免疫治疗等抗癌过程。

虽然在正常情况下，人体和正常菌群间及正常菌群内各细菌间保持着生态平衡，但如果这种平衡被打破，可能导致正常菌群的数量和种类发生变化，即引起菌群失调。例如，人们不恰当地大量或长期使用广谱抗生素可能会抑制或杀死大部分正常菌群，破坏它们对致病微生物的制约和干扰作用，从而引发耐药性葡萄球菌性肠炎等菌群失调症。



## 自我评价

1. 人体感染致病性大肠杆菌后，将启动一系列免疫反应。下列属于人体免疫第二道防线的是（ ）。
  - A. 吞噬细胞溶酶体中的溶菌酶和蛋白水解酶会酶解大肠杆菌
  - B. 胃黏膜分泌的胃酸起到一定的杀菌作用
  - C. 免疫细胞会产生特异性抗体与抗原结合
  - D. 吞噬细胞将抗原呈递给T淋巴细胞，进而启动T淋巴细胞的免疫应答
2. 白喉杆菌分泌的白喉毒素会抑制宿主细胞蛋白质的合成。当人体感染白喉杆菌后，以下属于机体特异性免疫的是（ ）。
  - A. 鼻腔黏膜分泌杀菌物质抑制白喉杆菌繁殖
  - B. 吞噬细胞通过溶菌酶将胞吞的白喉杆菌消化
  - C. 口腔中的链球菌产生过氧化氢杀死白喉杆菌
  - D. 体液中的抗体与白喉杆菌毒素反应，中和其毒性
3. 人体在皮肤受伤严重时容易出现“化脓”现象。“脓”通常是机体组织在炎症过程中形成的混合物，含有坏死的免疫细胞、细菌代谢产物及病菌等。
  - (1) 以巨噬细胞为例，简述吞噬细胞在炎症反应中的功能及其作用途径。
  - (2) 运用免疫相关知识，阐释“脓”是怎样形成的。
4. 机体分泌的肿瘤坏死因子(TNF)除杀伤肿瘤细胞外，还可能参与对自身关节的攻击，引起类风湿关节炎。请结合上述资料，尝试推测免疫系统的功能及其对人体健康的意义。



## 第3节 B、T淋巴细胞参与特异性免疫应答



### 学习目标

- 基于B、T淋巴细胞在免疫应答中的作用特点，阐明人体特异性免疫有体液免疫和细胞免疫两种方式。
- 读图分析，概括细胞免疫与体液免疫应答的过程，并归纳两者区别和联系。
- 阐释特异性免疫应答在抵御病原体和维持机体稳态中的重要作用，养成健康文明的生活习惯。

### 概念聚焦

- 人体T淋巴细胞通过细胞免疫方式抵御病原体、机体病变细胞或移植到体内的异体组织细胞等。
- 人体B淋巴细胞通过体液免疫方式抵御体液内的病原体等。

非特异性免疫屏障能有效阻挡病原体的入侵，但少量病原体仍能突破人体第一、二道防线。此时，机体就会启动特异性免疫应答。那么，特异性免疫通过哪些方式来清除入侵的病原体呢？



### 特异性免疫与非特异性免疫的关系

患病毒性感冒时，人体可能会出现打喷嚏、流涕、咳嗽甚至发热等症状。正常情况下，适当休息几日后，机体逐渐恢复健康（图4-12）。

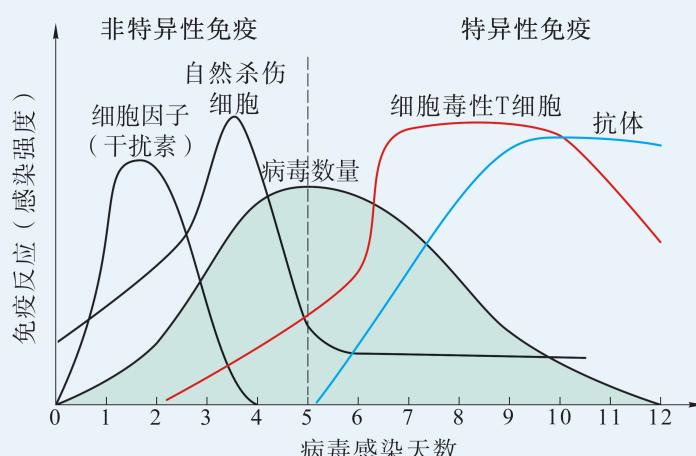


图4-12 人体针对病毒感染的免疫应答过程示意图

### 思考与讨论：

1. 感染病毒的5天内，人体如何通过非特异性免疫应答抵抗病毒？
2. 感染病毒5天后，人体特异性免疫应答通过哪些方式来清除病毒？
3. 上述两种免疫应答有何异同？

## 1. 特异性免疫包括细胞免疫和体液免疫两种应答方式

人体的特异性免疫应答主要在 B、T 淋巴细胞参与下完成。

T 淋巴细胞在抗原呈递细胞的协助下，可通过直接接触被病原体感染的细胞、机体病变细胞，以及移植到体内的异体组织细胞等靶细胞产生免疫应答。像这样，由免疫细胞通过密切接触方式，针对病原体或靶细胞产生的免疫应答，称为**细胞免疫** (cellular immune response)。

人体的 B 淋巴细胞被活化后产生并释放抗体到体液中，抗体针对体液中进行繁殖与扩散的病原体或有毒物质产生特异性免疫应答。像这样，通过免疫细胞释放到体液中的免疫活性物质对抗原产生的免疫应答，称为**体液免疫** (humoral immune response)。因此，人体的特异性免疫通过细胞免疫和体液免疫两种方式，针对特定病原体产生免疫应答。

## 2. T 淋巴细胞执行细胞免疫功能

病毒和部分细菌(如结核分枝杆菌等)会寄生在宿主细胞内。以病毒为例，当机体组织细胞被感染后，T 淋巴细胞在抗原呈递细胞及多种细胞因子的辅助下，增殖分化形成细胞毒性 T 细胞 (Tc) 和辅助性 T 细胞 (Th) 等。细胞毒性 T 细胞与被感染的靶细胞密切接触，并导致靶细胞膜通透性增大而裂解死亡 (图 4-13)。辅助性 T 细胞能通过分泌各种细胞因子，以增强吞噬细

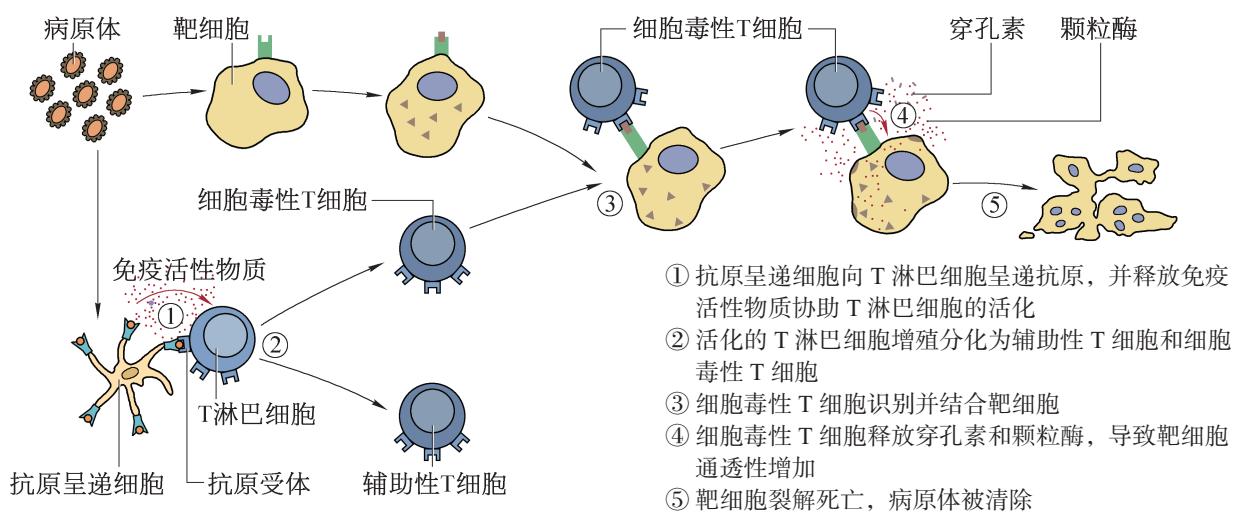


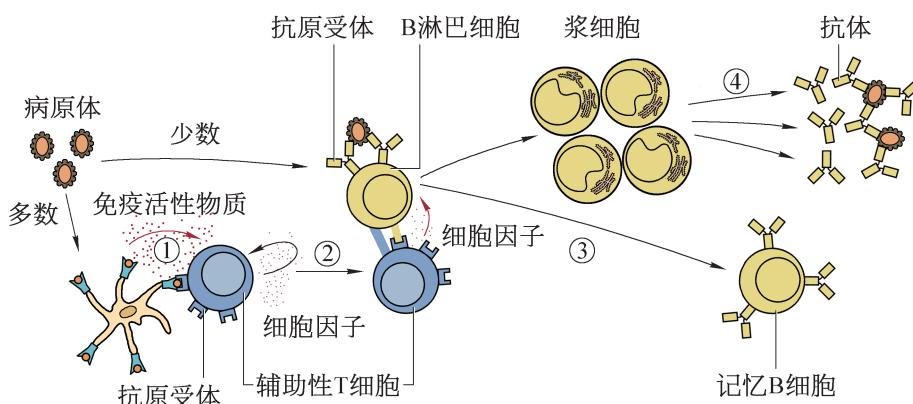
图 4-13 细胞免疫的主要过程示意图

胞的吞噬能力，促进抗体产生，以及促进T淋巴细胞的分化等，最终达到清除靶细胞的目的。随着病原体逐渐地被清除，刺激T淋巴细胞增殖分化的信号不复存在，免疫系统重归稳态。

在细胞免疫的过程中产生了具有较长寿命的记忆T细胞（memory T cell），它们随淋巴循环大量分布在黏膜组织、皮肤和淋巴器官中。有的记忆T细胞能在体内存活数年，有的甚至能终身存活。当机体再次接触相同的抗原时，记忆T细胞能快速启动细胞免疫应答，保护机体的健康。

### 3. B淋巴细胞执行体液免疫功能

当环境中的病原体侵入机体后，有些会在宿主的细胞外液中进行繁殖，并在细胞间传播与扩散。尽管B淋巴细胞能够直接识别未经抗原呈递细胞加工的抗原，但B淋巴细胞往往不能有效地被激活。1967年，科学家通过对小鼠开展的相关研究也证明在诱导B淋巴细胞产生抗体的过程中，多数情况下需要T淋巴细胞的协助。图4-14显示了B淋巴细胞在T淋巴细胞的协助下进行免疫应答的主要过程。



- ① 抗原呈递细胞向辅助性T细胞呈递抗原，并释放免疫活性物质协助辅助性T细胞活化
- ② 辅助性T细胞被激活后产生的细胞因子与抗原分子共同促进B淋巴细胞的活化
- ③ 活化后的B淋巴细胞增殖分化为浆细胞和记忆B细胞
- ④ 浆细胞合成并分泌抗体，抗体与抗原结合

图4-14 体液免疫的主要过程示意图

体液中的大多数抗原经抗原呈递细胞的呈递并被辅助性T细胞识别后，刺激辅助性T细胞产生细胞因子，进而刺激B淋巴细胞增殖分化为大量的浆细胞（plasmocyte）和少量的记忆B细胞。浆细胞能产生和分泌抗体到体液中，抗体特异地识别并结合抗原，进而促使吞噬细胞清除抗原。

在体液免疫应答过程中产生的记忆B细胞会进入血液参与循环。当机体再次遇到相同抗原刺激时，记忆B细胞能迅速增殖分化产生浆细胞和新的记忆B细胞，更快、更强地进行免疫应答。随着抗原逐渐被清除，B淋巴细胞的增殖和分化速度也会减缓，免疫系统逐渐恢复稳态。



## 思维训练

### 人类如何运用免疫学原理预防疾病？

疫苗在人类预防疾病方面起到极为重要的作用。接种疫苗可减少易感人群数量，保护易感人群，从而达到预防效果。因此，接种疫苗是目前预防微生物传染病最有效的措施。

乙肝疫苗是我国儿童计划疫苗之一。《中华人民共和国传染病防治法》和《疫苗流通和预防接种管理条例》都明确规定：国家对儿童实行预防接种证制度，在儿童出生后1个月内，其监护人应当到儿童居住地承担预防接种工作的接种单位为其办理预防接种证。按照规定，新生儿出生后24 h内需及时接种首针乙肝疫苗，之后的一个月和五个月需及时进行第2、3次疫苗的接种，进一步加强和提升机体抵抗乙肝病毒的能力（图4-15）。

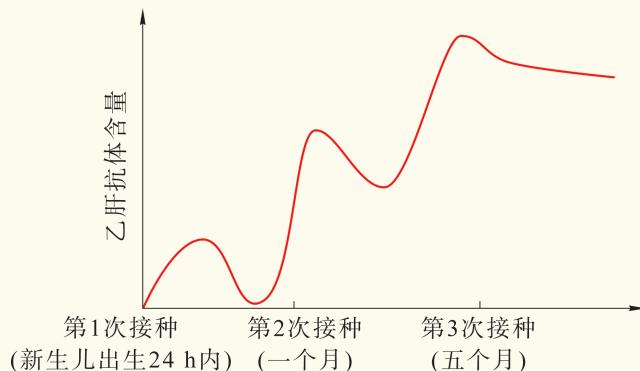


图4-15 乙肝疫苗的接种过程示意图

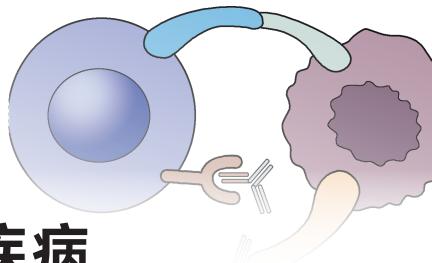
#### 思考与讨论：

- 根据图中注射疫苗与产生抗体间的相关性，推测乙肝疫苗的本质及其作用机制。
- 结合你接种疫苗的经历，尝试解释各种疫苗接种次数不同的原因。
- 所有的传染病都有对应的疫苗可以接种预防吗？请举例并分析原因。
- 疫苗是免疫制剂的一种类型。请查阅资料，对常见的免疫制剂进行分类与比较。



## 自我评价

1. 有些寄生虫，如丝虫会寄生在人体淋巴管内。下列关于淋巴中免疫细胞的叙述，正确的是（ ）。
  - A. 淋巴细胞只能出现在淋巴中
  - B. 淋巴和血浆中只有T淋巴细胞
  - C. 被寄生虫感染后，人体非特异免疫与特异性免疫应答都将启动
  - D. T淋巴细胞不会对寄生在体液中的寄生虫产生免疫应答
2. 接种新型冠状病毒疫苗后，能在人体内环境中出现相应的（ ）。（多选）
  - A. 抗体
  - B. 细胞因子
  - C. 病毒核酸
  - D. 病毒抗原
3. 有同学认为，非特异性免疫在启动特异性免疫的过程中起着重要作用。你同意这一说法吗？请简述理由。
4. 秋冬季节，教室的门窗时常紧闭。若此时有同学已患病毒性感冒，其他同学则有被感冒病毒感染的可能。
  - (1) 个别曾经感染过同种病毒且已痊愈的同学未出现病症，请解释原因。
  - (2) 若有同学曾感染过同种病毒且痊愈，这次又出现了感冒症状，可能是什么原因呢？
  - (3) 请用概念图的形式，归纳机体通过体液免疫与细胞免疫两种方式，针对感冒病毒发生免疫应答的主要过程。
5. 2020年，新型冠状病毒感染(COVID-19)被世界卫生组织列为全球性大流行病。同年10月2日，国家卫生健康委员会发布《中华人民共和国传染病防治法》(修订草案征求意见稿)，将坚持总体国家安全观、保障人民群众生命安全和身体健康写入法中，从法律上完善重大新发突发传染病防控措施，防范化解公共卫生领域重大风险。
  - (1) 针对新型冠状病毒感染的常见检测方法有核酸检测、抗原检测和抗体检测。请查阅资料，对比这几种检测方法的异同。
  - (2) 该病康复患者的血清有助于救治危重症患者。请结合你学过的免疫学知识，阐明其中的原理。
  - (3) 请查阅资料，了解《中华人民共和国传染病防治法》和《突发公共卫生事件应急条例》以及我国公共卫生政策和体系的发展历程，理解健全的公共卫生体系对保障人民健康的重要意义。



## 第4节 免疫功能异常可能引发疾病

正常情况下，免疫系统能识别并清除“异己”，维持内环境的稳态。然而，某些特定原因却可能导致机体免疫功能异常，进而引发免疫疾病。人类常见的免疫疾病有哪些呢？



### 预防青霉素过敏

青霉素是一种常见的抗生素，其给药方式主要有三种：口服、肌内注射和静脉滴注。在使用青霉素治疗前，医生一定会询问患者是否有过敏史，并要求先进行皮下测试（图 4-16）。如果是青霉素过敏体质的患者，一定不能使用该抗生素。



图 4-16 青霉素皮下测试

#### 思考与讨论：

1. 你知道为什么注射青霉素前要做皮下测试吗？

2. 有同学认为，曾经注射青霉素未出现不良反应，再次注射前就无需进行皮下测试。你对此有什么看法？请查找资料并说明理由。

3. 请列举你在生活中还遇到过哪些过敏现象。

#### 学习目标

- 基于平衡与稳态观，举例说明免疫功能异常可能引发疾病。
- 基于事实和证据，说明免疫学相关原理与健康的关系。
- 尝试对日常生活中的免疫学现象进行分析，养成珍爱生命的观念和健康文明的生活习惯。

#### 概念聚焦

- 免疫功能异常可能会引起过敏、自身免疫病及免疫缺陷病等。

### 1. 机体再次遇到同种抗原可能会导致过敏反应

青霉素皮下测试时，受试皮肤处若出现明显凸起，或伴有局部痒、刺的感觉，甚至呼吸困难等不良反应，说明出现了**过敏反应** (anaphylaxis)。过敏反应是机体再次遇到同种抗原刺激后所引起的生理功能紊乱或组织细胞损伤等特殊的免疫应答反

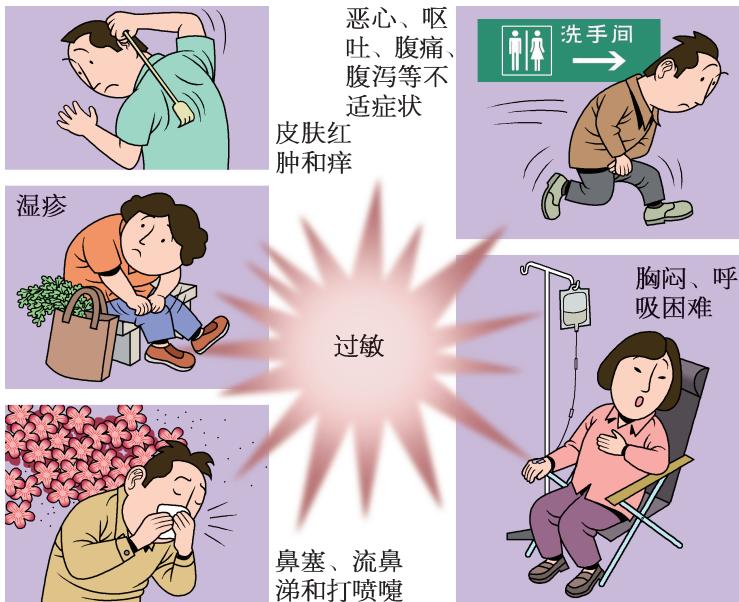


图 4-17 过敏反应的主要症状示意图

应。在日常生活中除某些药物外，花粉、灰尘、螨虫、动物皮屑及各类食物等都有可能引起某些人出现鼻塞、流鼻涕和打喷嚏等症状，严重时甚至会出现胸闷、呼吸困难等。有些食物如牛奶、虾蟹等还可能会导致部分人出现恶心、呕吐、腹痛、腹泻等症状（图 4-17）。这些会引起人体过敏反应的物质被称为过敏原。

### 广角镜

#### 过敏反应的机制

1966 年，科学家发现并证明了抗体是引起快速过敏反应的致病因子。当过敏原首次进入机体后，在 T 淋巴细胞的协助下，由 B 淋巴细胞增殖分化产生的浆细胞会分泌抗体。其中部分抗体并没有消失，而是与肥大细胞和嗜碱性粒细胞结合，使机体处于致敏状态。这种致敏状态可维持半年至数年。当同种过敏原再次进入机体时，过敏原与处于致敏状态的肥大细胞和嗜碱性粒细胞特异性结合，刺激这些细胞释放免疫活性物质，导致机体平滑肌收缩、毛细血管扩张和通透性增加、腺体分泌增多等不同程度的反应。如果长期不接触相应的过敏原，致敏状态会逐渐消失。临幊上，通过对血清中抗体种类的检测来判断常见的过敏反应类型，并可通过脱敏疗法或免疫抑制疗法等进行治疗。

## 2. 免疫系统可能会攻击自身组织导致自身免疫病

免疫系统具有协助机体识别和清除衰老或损伤的细胞，以维持机体内环境稳态的功能。正常情况下，免疫系统能区分“自己”和“异己”，但在环境改变、组织损伤、基因突变等情况下，

免疫系统可能会攻击自身组织和器官并导致损害。免疫系统针对自身正常组织或器官发生免疫反应而引发的疾病称为**自身免疫病** (autoimmune disease)。

目前，已发现的人类自身免疫病有近百种，常见的有类风湿性关节炎、系统性红斑狼疮（图 4-18）、重症肌无力、胰岛素依赖型糖尿病、慢性甲状腺炎、风湿性心脏病等。迄今为止，自身免疫病的致病机制尚不明确。



图 4-18 红斑狼疮

### 3. 免疫系统发育障碍或损伤可能会导致免疫缺陷病

机体免疫系统因先天发育障碍或后天损伤而导致的疾病，称为**免疫缺陷病** (immunodeficiency disease)。

遗传因素或先天性免疫系统发育不全所引起的免疫功能障碍性疾病，称为先天性免疫缺陷病 (congenital immunodeficiency disease)。迄今为止，这类疾病已发现百余种，它们的发生机制较为复杂，主要包括原发性 B 淋巴细胞缺陷、原发性 T 淋巴细胞缺陷、联合免疫缺陷、吞噬细胞缺陷等多种类型。例如，一些严重的原发性 T 淋巴细胞缺陷和联合免疫缺陷胎儿，如果不采取有效保护措施，出生后会因感染或自体病变等很快离世，这也是导致新生儿死亡的重要因素之一。

此外，人类在出生后，可能因为感染或自体病变等因素导致的后天性免疫缺陷病称为获得性免疫缺陷病 (acquired immunodeficiency disease)。其中，倍受关注的艾滋病 (获得性免疫缺陷综合征，acquired immune deficiency syndrome，简称 AIDS) 患者因感染人类免疫缺陷病毒 (human immunodeficiency virus，简称 HIV) 而致病。

HIV 主要攻击人体免疫系统的辅助性 T 细胞等，成功入侵机体后可分布于血液、精液、阴道液、羊水、乳汁等处，主要通过与病毒携带者或患者共用注射器、性接触及母婴传播等途径传播。

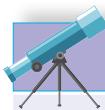
感染 HIV 初期，由于机体免疫系统的作用，被感染者往往不表现出明显的症状。但随着病毒在人体内不断地增殖，机体免疫系统的功能逐渐减弱。健康成年人被 HIV 感染后，一般在 8~10 年后会发病。由于免疫系统受损，最终艾滋病患者往往死于各种病原体感染或机体内病变所引发的并发症。



## 自我评价

1. 请在括号内填入与下述案例对应的选项。

- (1) 某人每次吃海鲜就出现严重的腹泻。(      )
  - (2) 由于基因突变导致自身无法形成成熟T淋巴细胞的婴儿。(      )
  - (3) 流感病毒侵入人体时，有时可作用于红细胞，使红细胞成为靶细胞，导致体内产生抗红细胞抗体，这种抗体也可对正常红细胞发挥作用，引起红细胞裂解。(      )
  - (4) 人体感染酿脓链球菌后，机体产生的抗体不仅向它发起进攻，也向心脏瓣膜发起进攻。(      )
  - (5) 当细菌的外毒素进入人体后，机体产生特异性的抗毒素与之结合，使它丧失毒性。(      )
- A. 正常免疫      B. 自身免疫病      C. 免疫缺陷      D. 过敏反应
2. 人工免疫时，可将经过理化方法杀死的病原微生物作为疫苗，这表明抗原刺激免疫系统的决定因素在于(      )。
- A. 抗原细胞的完整      B. 病原微生物的活性  
C. 抗原的空间结构      D. 病原微生物感染的特异性
3. 目前，并无针对艾滋病的有效药物和治疗措施。下列与此病有关的表述中，正确的是(      )。(多选)
- A. HIV主要攻击辅助性T淋巴细胞，使患者丧失免疫功能  
B. 从感染HIV到发展为艾滋病患者，往往会经过一段时间的潜伏期  
C. 患者(或携带者)的血液、精液、乳汁等均可能含有HIV  
D. HIV不仅可以通过血液或血液制品传播，也可通过皮肤接触传播
4. 请查阅资料，了解日常生活中有哪些常见物质会引起过敏反应？尝试为过敏体质的人制订科学合理且可行的防控措施，并积极向家人和朋友进行宣传。



## 前沿视窗

### 肿瘤的免疫治疗

肿瘤是严重危害人类健康的疾病之一，对它的治疗刻不容缓。在人体免疫系统的防御、监视和自稳三大功能中，免疫监视的主要任务是识别并清除体内发生突变或畸变的恶性细胞。但肿瘤细胞可借助自身引起免疫应答的性能较低或者能够抑制免疫应答的发生等特点，避开免疫系统的监视，从而达到增殖分化并转移的目的。

了解肿瘤细胞的致病机制后，科学家尝试采用多种措施来维持免疫系统对患

者肿瘤细胞的监视、识别和杀伤功能，以恢复机体正常的抗肿瘤免疫反应，从而达到控制与清除肿瘤的目的，这被称为肿瘤免疫治疗。目前，已在临幊上得到应用的免疫治疗方法，除了主动免疫治疗（如肿瘤疫苗）、被动免疫治疗（如CAR-T疗法）外，还有免疫检查点治疗。

科学家发现，免疫细胞不仅拥有识别并结合抗原的受体，而且还拥有可加强及可抑制免疫反应的信号分子，两者被形象地比喻为免疫反应的“加速器”和“刹车片”。当它们的功能维持正常时，可确保人体免疫系统在对抗“异己”的同时，也不会因过度免疫反应而破坏自身的健康器官和组织，因此，两者间微妙的平衡关系对机体健康至关重要。“免疫检查点”其实就是在免疫系统中起到负调控作用的那类“抑制因子”。部分肿瘤细胞上的一些结构能与“抑制因子”结合，这就相当于踩住了免疫系统的“刹车片”，机体的抗肿瘤免疫功能受到抑制，使得肿瘤细胞得以逃脱免疫系统的攻击。而免疫检查点治疗的目的就是阻止肿瘤细胞的结构与“抑制因子”结合，使免疫功能恢复到正常的攻击状态，从而利用患者自身的免疫系统消灭肿瘤。目前科学家已经发现，T淋巴细胞表面的CTLA-4和PD-1等发挥着免疫检查点的作用。临床实验也证明，通过抑制剂阻断肿瘤细胞与CTLA-4的结合，可大大增强T淋巴细胞对肿瘤的攻击力；通过抑制剂阻断肿瘤细胞与PD-1的结合，能使那些被肿瘤细胞抑制的T淋巴细胞全力对抗肿瘤细胞（图4-19）。同时，大量临床试验也证明，联合使用CTLA-4抑制剂和PD-1抑制剂比单独使用其中任何一种都更有效。

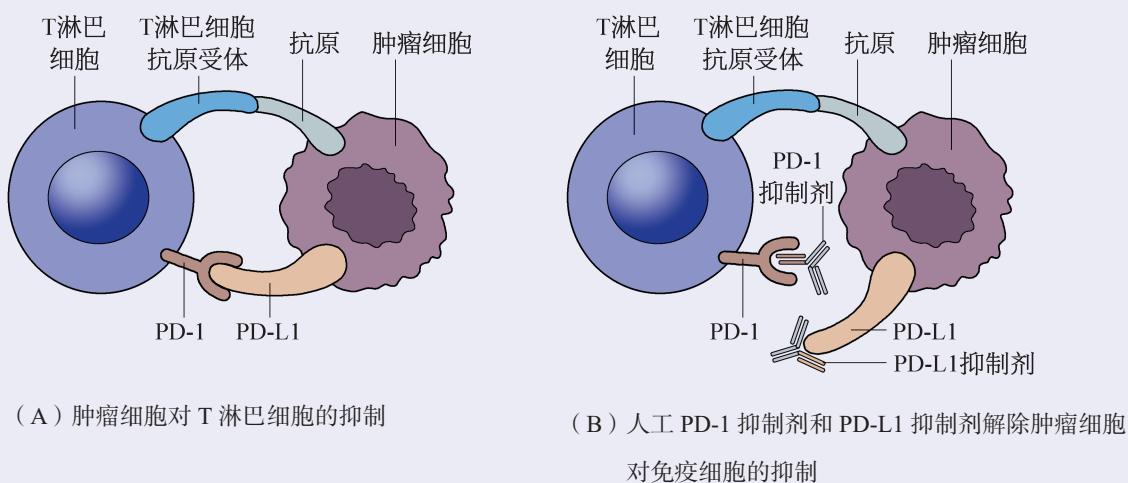


图4-19 免疫检查点治疗原理示意图

如今，肿瘤免疫治疗方法已成为继手术治疗、放射治疗和化学药物治疗之后的一种重要的肿瘤治疗方法。美国免疫学家艾莉森（J. P. Allison）和日本科学家本庶佑（Tasuku Honjo）也因在CTLA-4和PD-1的肿瘤免疫调控研究中做出的杰出贡献，于2018年共同获得了诺贝尔生理学或医学奖。

# 本章回顾



## 本章小结

免疫调节通过防御病原体入侵、监视并清除自身衰老和病变的细胞，维持机体内环境稳态。

免疫系统作为机体免疫调节的结构与物质基础，其由免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质共同组成，其中免疫细胞对“异己”的准确识别是启动免疫应答、实现免疫调节的基础，因此免疫细胞是免疫系统的功能单位。免疫器官是免疫细胞发生、成熟或集中分布的场所，而免疫活性物质由免疫细胞或其他细胞产生并与免疫细胞一起发挥免疫作用。

人体的免疫包括非特异性免疫和特异性免疫，其中非特异性免疫是机体与生俱来的抵抗病原体侵袭、清除体内抗原的一系列防御能力，人们形象地将它们称为免疫的第一、二道防线；特异性免疫是机体后天形成的针对特定抗原的防御能力，人体的B、T淋巴细胞参与特异性免疫，属于人体免疫的第三道防线。机体内非特异性免疫和特异性免疫相互配合，共同维护着人类的健康，这是人类长期进化过程中对环境适应的结果。

特异性免疫针对特定的病原体，通过体液免疫和细胞免疫两种方式发生免疫应答。T淋巴细胞主要针对被病原体感染的细胞、机体病变细胞以及移植到体内的异体组织等靶细胞产生免疫应答；B淋巴细胞能通过浆细胞产生特异性抗体进入体液，从而清除体液中的病原体和有毒物质。B、T淋巴细胞相互协作共同抵御入侵机体的特定病原体，以维持机体内环境稳态。利用特异性免疫的特性，人类研制并开发出了疫苗等免疫制剂，用以预防和治疗因病原体导致的疾病，维护机体的健康。

免疫调节在维持机体稳态的过程中起到重要作用，但是当免疫功能异常时，机体可能引发过敏、自身免疫病、艾滋病和先天性免疫缺陷病等疾病。免疫学是一门发展较快的科学，其发展与进步有利于提升人类的健康水平。学习并运用免疫学相关知识不仅能使我们学会预防某些疾病的发生，而且也有利于指导自身和他人养成健康的生活方式。

## 学业评价



1. 以下属于人体免疫器官的有( )。(多选)
  - A. 骨髓
  - B. 胸腺
  - C. 淋巴结
  - D. 脾脏
2. 巨噬细胞可以吞噬多种病原体,这一免疫过程的特点是( )。
  - A. 特异性
  - B. 非特异性
  - C. 记忆性
  - D. 高效性
3. 人体的免疫系统有三道防线,下列属于第一道防线的是( )。
  - ①胃液对病菌的杀灭作用
  - ②吞噬细胞的胞吞作用
  - ③呼吸道纤毛对病菌的外排作用
  - ④皮肤的阻挡作用
  - ⑤细胞毒性T细胞与靶细胞接触
  - ⑥抗体与细菌外毒素结合
  - A. ②③⑥
  - B. ②③⑤
  - C. ①③④
  - D. ①③⑥
4. 人类的致病细菌大多为胞外菌,它们可以在宿主细胞外液中生长繁殖。胞外菌的荚膜等多糖物质能直接刺激B淋巴细胞产生浆细胞分泌特异性抗体(图4-20A);胞外菌的多数蛋白质抗原需要抗原呈递细胞和T淋巴细胞的辅助,才能促进B淋巴细胞增殖分化产生浆细胞再产生抗体(图4-20B)。白喉杆菌(胞外菌)是引起小儿白喉的一种急性呼吸道传染病的病原菌,请据图回答下列问题。

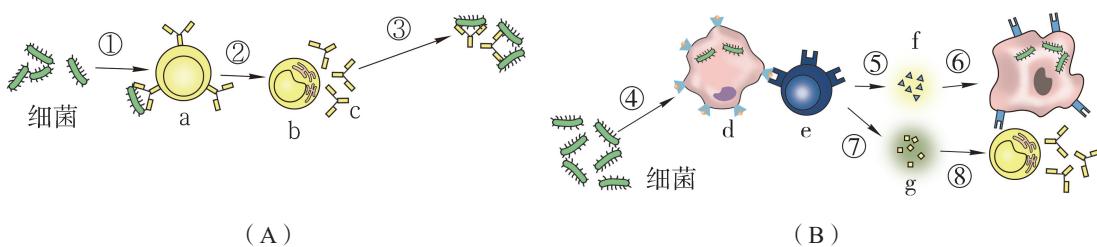


图4-20 机体部分免疫应答过程示意图

- (1) 图中具有特异性识别能力的免疫细胞是( )。
  - A. a 和 b
  - B. b 和 d
  - C. d 和 e
  - D. a 和 e
- (2) 细胞a实现①过程依赖细胞膜上的\_\_\_\_\_来实现,此结构的化学本质是\_\_\_\_\_,体现细胞膜的\_\_\_\_\_功能。
- (3) 概述细胞b的结构与功能特点。
- (4) 根据图中的信息,简述人体针对白喉杆菌产生的免疫应答过程。
- (5) 非特异性免疫应答对特异性免疫应答也具有重要作用。请以吞噬细胞为例,阐明非特异性免疫与特异性免疫应答的区别和联系。
- (6) 查阅资料,结合题干信息,比较人体对结核分枝杆菌与白喉杆菌产生免疫应答的异同,并简述降低和控制上述病原体危害的措施。

5. 20世纪90年代初，科学家在用人类生长素基因进行基因治疗时发现，转入人体的抗原蛋白基因能引起机体产生特异性抗体，这是科学家最早对DNA疫苗开展的相关研究。随着科学技术的不断发展和成熟，DNA疫苗已经应用在抵御多种病原体和肿瘤中。图4-21展示了DNA疫苗作用的机制（字母表示结构或细胞，数字编号表示过程），请据图回答下列问题。

- (1) 疫苗的本质是\_\_\_\_\_。
- (2) 图中由各免疫细胞参与的免疫应答过程属于人体的第\_\_\_\_\_道防线。
- (3) 细胞D经过③后会分化形成\_\_\_\_\_细胞。
- (4) 请结合图中信息，推测人体注射DNA疫苗后，机体能抵御病原体的主要机制。

6. 艾滋病是一种危险性极大的传染病，迄今为止尚无有效的治疗措施，所以仍然以预防为主。图4-22显示了健康人感染HIV后，机体T淋巴细胞数量与HIV数量间的关系，请据图回答下列问题。

- (1) 描述T淋巴细胞数量与HIV数量变化间的关系。
- (2) 分析HIV会导致人体免疫能力下降甚至丧失的原因。
- (3) 设计宣传方案，向身边更多的人科普HIV致病的原因及预防艾滋病的措施。

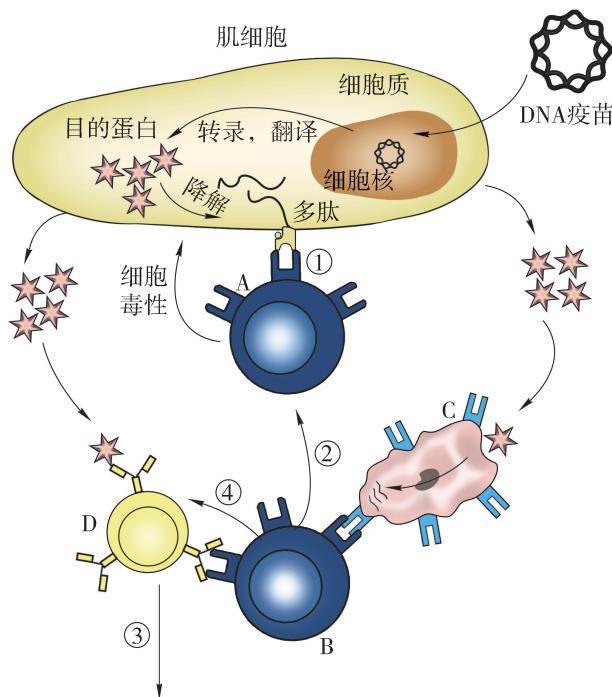


图4-21 DNA疫苗的作用机制示意图

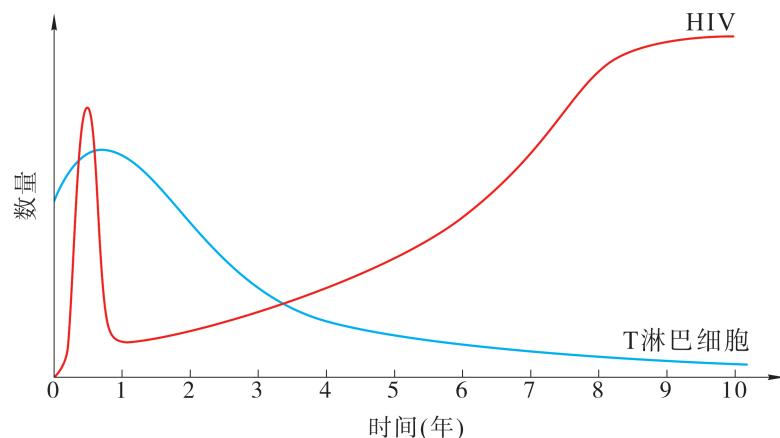


图4-22 T淋巴细胞数量与HIV数量的关系示意图

# 第5章

# 植物生命活动的调节

傲立峭壁、探身云海的苍松翠柏常引来人们驻足欣赏，墙角石缝间钻出的小草也默默宣示着生命的顽强！从发芽、生长，到开花、结果，植物的一生也像动物一样，受到机体内部因素及外界环境因素的共同调节，这是植物长期进化的结果。那么，对植物生命活动起调节作用的主要因素有哪些？它们的作用方式有什么独特之处？在遵循植物生长规律的前提下，人们又是如何利用这些调节作用来指导生产实践的呢？





# 第1节 生长素对植物生长的调节作用



## 学习目标

- 学习生长素的发现史，概括科学家的研究思路，尝试归纳科学家采用的思维方法。
- 概述生长素对植物生长的调节作用，说明其作用特点。

## 概念聚焦

- 生长素是最早被发现对植物生长具有调节作用的物质。
- 生长素在低浓度时促进生长，当浓度高于一定值时抑制生长。

很早以前人们就发现，植物具有向光生长的特点。已经发生向光弯曲生长的植物幼苗，被原地转动 180 度，过一段时间后会再次向有光侧弯曲生长。这是为什么呢？科学家又是如何探究其中原因的呢？



### 小麦胚芽鞘伸长区的细胞形态变化

胚芽鞘是单子叶植物胚芽外的锥形套状物，可以保护胚芽出土时免受损伤。胚芽鞘的生长主要体现在伸长区细胞的伸长生长。取弯曲生长的胚芽鞘伸长区纵切制成装片，在高倍镜下观察其背光和向光两侧细胞的形态特征。利用目镜测微尺分别测定并记录两侧细胞的相对长度（图 5-1）。

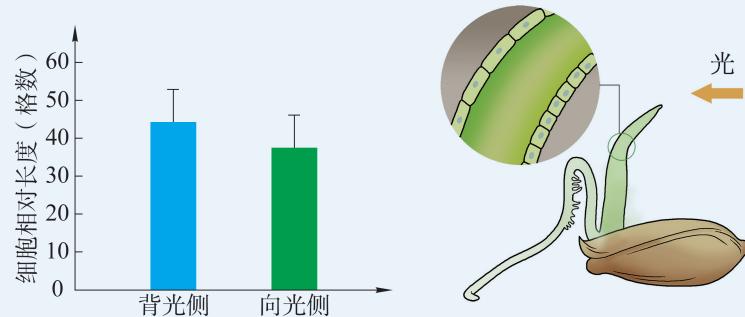


图 5-1 单子叶植物胚芽鞘伸长区细胞测量结果

#### 思考与讨论：

1. 请依据上图，说出引起植物弯曲生长的环境因素是什么？从细胞层面来看，直接导致胚芽鞘弯曲生长的原因是什么？
2. 尝试推测植物向光弯曲生长的生物学意义。

## 1. 生长素是最早被发现对植物生长具有调节作用的物质

植物幼苗在单侧光照下会向光弯曲生长的现象，称作向光性（phototropism）。1880年，英国科学家达尔文（C. R. Darwin）父子对植物的向光性生长产生了兴趣，他们用禾本科植物金丝雀虉草幼苗作为实验材料进行了实验（图5-2）。结果发现，尽管弯曲发生在胚芽鞘尖端下部数毫米的伸长区，但胚芽鞘尖端才是感光的区域。于是，他们推断：胚芽鞘尖端产生了某种生物活性物质，这种物质作为信号从胚芽鞘尖端传递到伸长区，从而刺激伸长区细胞的伸长生长。

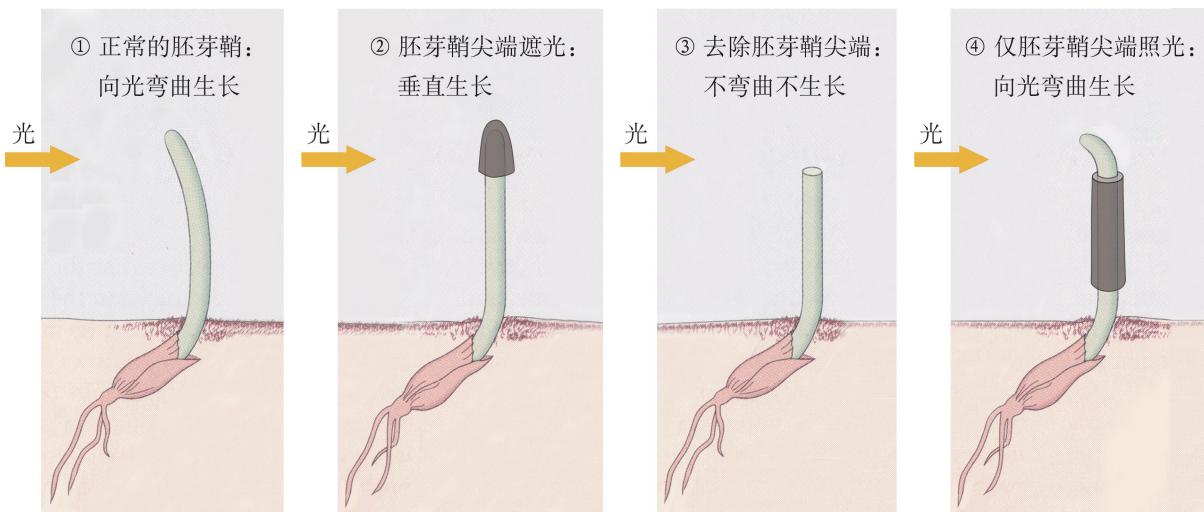


图5-2 达尔文父子进行的植物向光性实验

胚芽鞘尖端是否真的产生了生物活性物质呢？

许多科学家对这个问题展开了实验研究（图5-3）。其中，1913年，丹麦植物学家杰逊（B. Jensen）通过将具物质透过性的明胶和不具物质透过性的云母片分别插入胚芽鞘，结果证明胚芽鞘尖端确实产生了影响伸长区生长的某种生物活性物质；1919年，匈牙利植物学家拜尔（A. Paál）又发现，胚芽鞘尖端产生的这种生物活性物质在植物伸长区背光侧和向光侧的不均匀分布是造成胚芽鞘伸长区向光弯曲生长的原因。

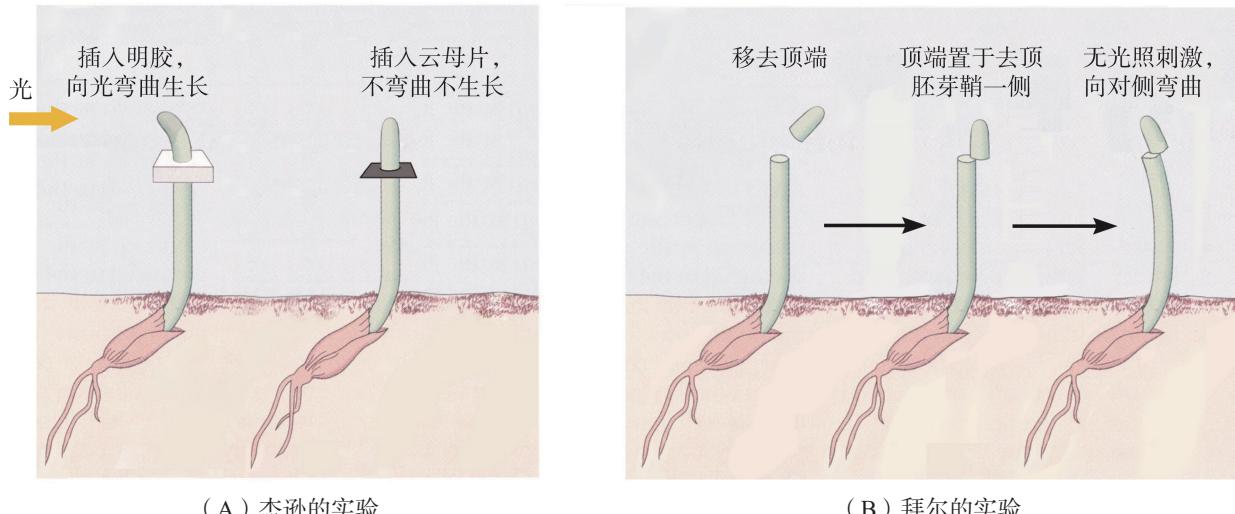


图 5-3 胚芽鞘尖端活性物质的研究实验

如何更直观地证明这种生物活性物质的存在呢？

1926年，荷兰植物学家温特(F. Went)改进了前人的实验方案。他先将燕麦胚芽鞘尖端切下，放置在琼脂块上。接下来，他将经上述处理的琼脂块和未经处理的琼脂块分别放置在去顶的胚芽鞘上。一段时间后，他观察到了下列结果(图5-4)：如果将处理后的琼脂块放置在去顶胚芽鞘伸长区的正上方，则去顶的胚芽鞘能继续直立生长(第1组)；如果放置在去顶胚芽鞘的一侧，胚芽鞘就会向对侧弯曲生长(第2、3组)；而放置未经上述处理的琼脂块则胚芽鞘既不生长也不弯曲(第4、5组)。结合前人的实验结果，温特确信：是胚芽鞘尖端产生的生物活性物质刺激了伸长区细胞的生长，且当植物单侧受光照时造成了这种物质在伸长区的不均匀分布，使背光侧浓度高于向光侧，最终导致胚芽鞘在生长阶段持续向光弯曲。因为这是一种在胚芽鞘尖端产生后被运输到伸长区发挥作用的化学信号物质，其作用类似于动物生长激素，所以这种化学物质被命名为生长素(auxin)。

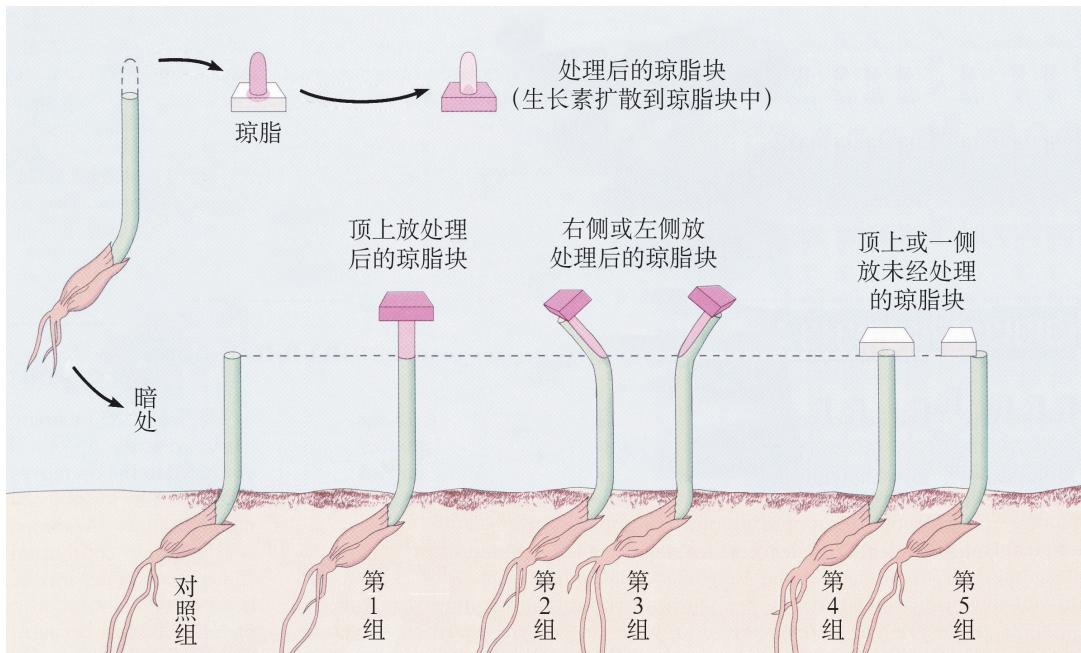


图 5-4 滕特的实验直观证明了活性物质的存在

胚芽鞘尖端产生的生物活性物质是什么呢？

1934年，荷兰科学家郭葛（F. Kögl）等人从菠萝嫩枝、燕麦胚芽鞘等植物中提取并分离到了吲哚-3-乙酸（IAA）。由于能引起燕麦胚芽鞘弯曲生长，早期人们认为生长素就是吲哚-3-乙酸。随着研究的深入，科学家在植物体内又陆续发现了4-氯吲哚乙酸、苯乙酸等更多天然生长素。

## 2. 生长素主要通过两种方式运输

生长素的合成部位主要在高等植物生长活跃的部位，如茎尖、嫩叶和发育中的种子等，但它也广泛分布于植物各种组织器官，这涉及生长素的运输。在高等植物中，生长素的运输方式主要有两种：一种是通过韧皮部进行的被动运输；另一种是在胚芽鞘、幼芽和幼根的薄壁细胞间进行短距离的单方向极性运输（polar transport，图 5-5），该运输方式是由生长素运输载体参与的主动运输过程，因此，可以逆浓度梯度运输。

### 学习提示

植物体内物质的长距离运输是通过木质部和韧皮部来实现的。水和无机盐主要通过木质部的导管向上运输，有机物主要通过韧皮部的筛管向上或向下运输。

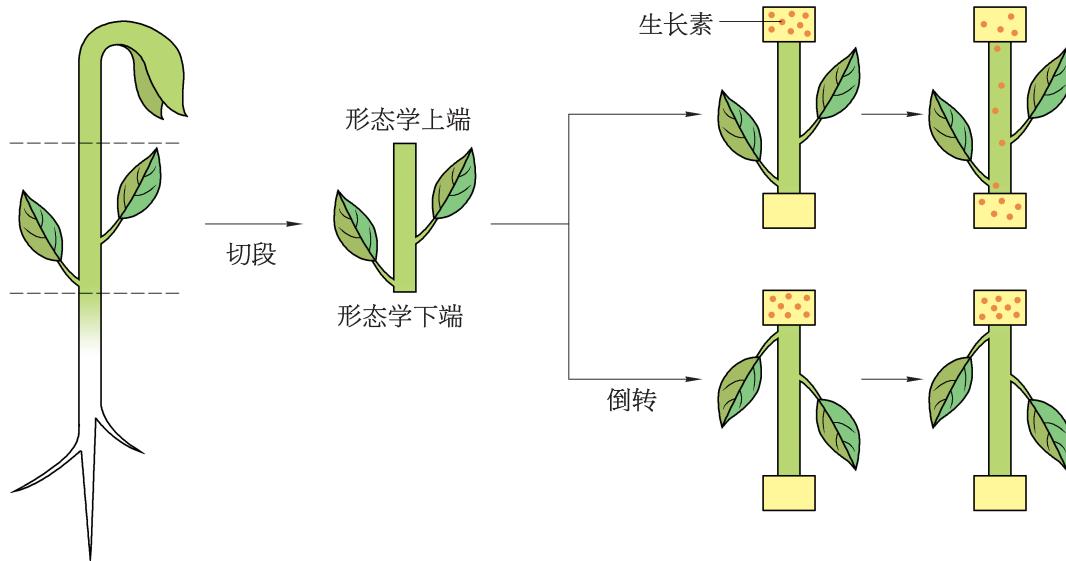


图 5-5 生长素的单方向极性运输示意图

### 学习提示

生长素的单方向极性运输只能从植物体的形态学上端向 下端运输，而不能反向运输。这是生长素所独有的特征。

生长素的含量与植物的种类、生长发育阶段、分布的器官等密切相关。例如，玉米的秸秆中 IAA 含量约为  $24 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，其种子中的含量可高达  $1000 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，随着种子发芽到成熟，IAA 含量呈下降趋势；而大豆种子中的 IAA 含量仅约为  $4 \mu\text{g}/\text{kg}$ ，比玉米种子中的含量低得多。

### 3. 生长素在调节植物生长时表现出两重性

生长素的生理功能十分广泛，包括促进细胞的伸长生长及细胞的分裂和分化，从而在器官水平上导致茎的伸长、侧根形成、果实发育等。生长素还与顶端优势 (apical dominance)、向光性和向重力性 (gravitropism) 等植物生命活动紧密相关。

生长素浓度越高对植物生长的促进作用就越明显吗？

研究发现，烟草体内 IAA 过量时，不仅未能促进植株生长，反而使其生长受到抑制（图 5-6）。此外，同一植物不同器官对生长素的敏感性不尽相同，如浓度为  $10^{-5} \text{ mol/L}$  的生长素可以促进茎的生长，但抑制根和芽的生长（图 5-7）。可见，生长素只有在较低浓度才能促进生长，而超过一定浓度后（往往是较高

浓度), 则抑制生长。因此, 生长素在调节植物生长时表现出两重性。



图 5-6 生长素对烟草生长状态的影响

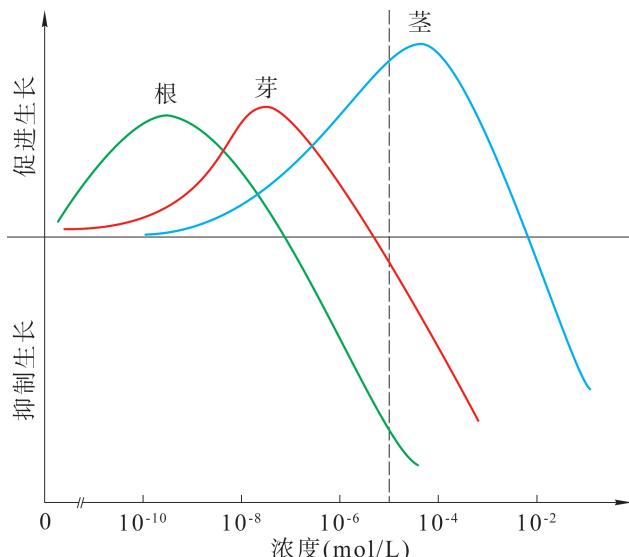


图 5-7 植物不同器官对不同浓度生长素的反应



### 广角镜

#### 植物株型受到生长素的调控

通常看到松树、水杉等植物的株型呈宝塔状。这种植物顶芽优先生长、侧芽发育受抑制的现象, 称为顶端优势。这种现象是怎么产生的呢?

目前, 大多数科学家认为, 植物生长素从合成部位(顶芽)向下运输, 大量积累在侧芽部位, 导致距顶芽越近的侧芽部位生长素浓度就越高。超过一定的浓度后, 就抑制侧芽的生长, 从而保证了顶芽的优先生长(图 5-8)。同时, 距离植株顶芽较远的侧芽, 由于生长素浓度较低, 更能充分地生长, 从而形成宝塔状株型。

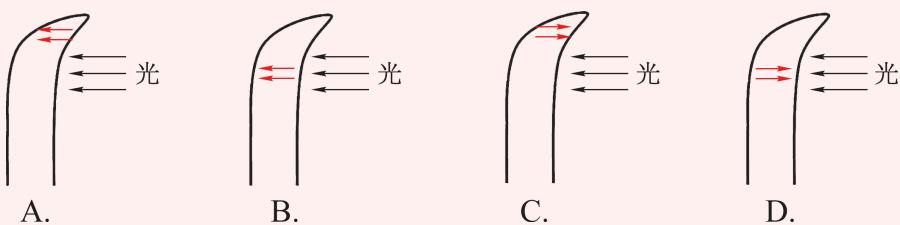


图 5-8 顶芽对侧芽生长状态的影响



## 自我评价

1. 植物的向光性对其生长发育具有重要的意义。生长素的分布不均是植物弯曲生长的主要原因。单侧光照下，关于生长素的运输（红色箭头）表示正确的是（ ）。



2. 在单侧光照射下，若胚芽鞘向光侧细胞中的生长素浓度为图 5-9 中的 a，则背光侧细胞中的生长素浓度范围为（ ）。

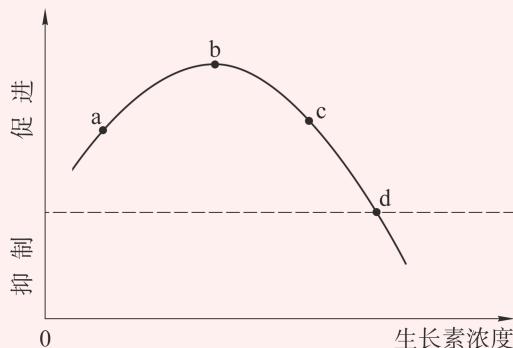


图 5-9 胚芽鞘对不同浓度生长素的反应

- A. 小于 a      B. a~c      C. c~d      D. 大于 d
3. 在农业生产中，为了便于采收和获得更高的产量，果农每年都需要对果树进行适当的修剪。结合本节所学的知识，请分析果农修剪果树的科学依据。
4. 科学史上的重大发现往往需要历经几代科学家坚持不懈的努力。请根据植物生长素的发现历程，概述科学家是如何在前人实验的基础上开展研究的？谈谈科学家运用了哪些科学思维方法？



## 第2节 植物激素及其类似物调节植物的生命活动

生长素的发现使人们认识到，植物的生长发育受到体内活性物质的调控。但植物学家却无法根据生长素的生理功能来解释植物生长发育过程中的所有现象。那么，是否还有其他物质在植物生命活动的调控中发挥作用？它们之间的关系是什么？它们能在人类的生产实践中发挥什么样的作用呢？



### 赤霉素对植物生长的影响

早在1930年，科学家就发现赤霉菌感染是引发水稻恶苗病的原因。在深入研究赤霉菌与恶苗病关系的过程中，科学家发现从该菌中分离出来的赤霉素对矮生禾本科类（如矮生玉米）及莲座叶类（如甘蓝）等植物节间伸长的促进效果明显。此外，用生长素和赤霉素共同处理时，伸长效果大于这两种植物激素单独处理时的效果（图5-10）。

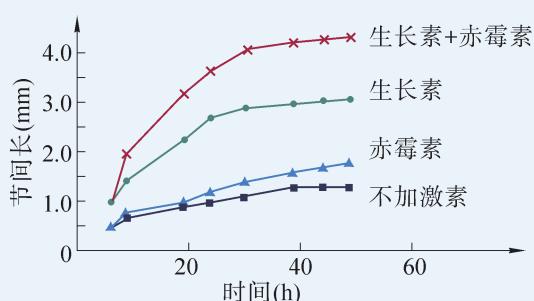


图5-10 生长素和赤霉素处理植物的效果对比

#### 思考与讨论：

1. 分析植物如果缺乏赤霉素，其生长发育会有怎样的变化？推测生长素与赤霉素在促进植物伸长生长方面有什么关系？

2. 查阅资料，了解植物体内是否还存在其他对植物生命活动具有调控作用的物质？

### 学习目标

- 基于事实和证据，概括并归纳植物激素的生理作用。举例说明植物激素及其类似物在生产实践中的应用，形成科学合理使用植物生长调节剂的意识。
- 举例说明各种植物激素相互作用、共同调节植物生命活动是植物有序生长发育过程的保障。

### 概念聚焦

- 植物激素是对植物生命活动具有显著调节作用的微量化学物质。
- 植物激素通过协同、拮抗等方式调节植物的生命活动。
- 植物激素类似物是人工合成的、与天然植物激素作用相似的化合物。

## 1. 植物生命活动受到多种植物激素的调节

19世纪末，德国植物学家萨克斯（J. Sachs）提出：高等植物代谢、生长和形态建成的调控需要植物体内移动着的化学信号。尽管当时并不知道这些化学信号的性质，但该观点却促进了植物体内这些信号物质的最终发现。

继生长素之后，赤霉素成为第二类被鉴定出来的对植物生长发育具有调节作用的生物活性物质。科学家把这些和生长素一样，在植物体内合成、从合成部位运输到作用部位、并对植物体的生命活动能产生显著调节作用的微量有机物统称为**植物激素**（phytohormone），主要有生长素、细胞分裂素、赤霉素、脱落酸和乙烯五大类（图5-11）。近年来，科学家又发现了一些植物体内存在的天然物质（如油菜素内酯、茉莉酸和水杨酸等）对植物的生命活动同样具有调节作用。



图5-11 调节植物生长发育的五大类植物激素及其主要生理功能



## 探究·实验

### 5-1 探究乙烯利对香蕉的催熟效果

果实成熟时，植物体内的乙烯含量会显著升高，进而加速果实成熟。农业生产中为了使果实同步成熟，常使用乙烯利来催熟水果。乙烯利催熟水果是目前国际通用的方法，已经有上百年的历史。但值得注意的是，不同水果对乙烯利的敏感度不同，因此，探索乙烯利对各种水果的催熟效果具有重要的应用价值。

#### ► 实验目标：

探究乙烯利对香蕉的催熟效果。

#### ► 实验原理：

水果成熟过程中，果皮颜色会发生变化，且其中的可溶性糖含量也会逐渐增加，据此，可以判断水果的成熟度（图5-12）。而果实中的可溶性糖是可溶性固形物（total soluble solid，简称TSS）的主要成分。不同品种香蕉成熟后的TSS含量范围为14%~20%。实际操作中，可利用手持折光仪（图5-13）直接测定果蔬的TSS含量。



图 5-12 香蕉成熟度对照卡

#### ► 材料器具：

未成熟的青香蕉若干（未受激素处理，无明显病虫害或机械损伤），手持折光仪，40% 乙烯利溶液，蒸馏水，烧杯，玻璃棒，保鲜袋，迷你压汁器，300 目或 400 目尼龙滤网等。



#### 学习提示

果蔬中的TSS主要由可溶性糖、有机酸、维生素C等组成。当光线从一种介质进入另一种介质时会发生折射现象，且入射角正弦与折射角正弦的比为定值，即折光率。TSS与折光率在一定条件下是成正比的。手持式折光仪通过测定果蔬汁液的折光率来换算出果蔬汁液中可溶性固形物（糖的含量）的百分比。



图 5-13 手持折光仪

### ► 实验步骤：

- 根据颜色和大小，将香蕉相对平均分为三组，每组 7 根，包括对照组（蒸馏水）、处理组 1（适宜浓度乙烯利）、处理组 2（高浓度乙烯利）。
- 实验开始前，从三组各抽 2 根，通过挤压过滤的方式获得去皮香蕉汁液，用手持折光仪测定香蕉的起始 TSS 含量，取平均值填写在表 5-1 中。
- 依据 40% 乙烯利溶液商品的使用说明书，配制新鲜的乙烯利处理液。（注：适宜浓度参照乙烯利商品说明书配制；高浓度为适宜浓度的 2~5 倍。）
- 依据使用说明书的施用方法，用蒸馏水和配制的乙烯利稀释液分别处理三组香蕉。然后，用保鲜袋密封保存于室温条件下。
- 对比香蕉成熟度对照卡，每天定时观察、拍照。当处理组 1 完全变黄时，分别测定各组的 TSS 含量，并将结果记录于表 5-1 中。

表 5-1 实验前后香蕉可溶性糖含量记录表

TSS 含量平均值			
实验前			
实验后	对照组 (蒸馏水)	处理组 1 (适宜浓度乙烯利)	处理组 2 (高浓度乙烯利)

### ► 结果分析：

- 结合乙烯的主要生理功能，解释本实验现象。
- 比较两处理组香蕉从完全变黄到出现褐斑的时间间隔，以及从出现褐斑到开始腐烂的时间间隔，阐述过量施用植物激素可能导致的后果；并查阅资料，了解科学施用植物激素的重要性。

### ► 拓展探究：

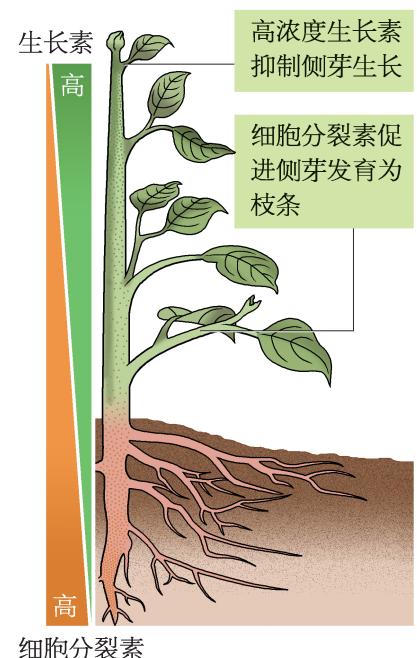
任选一种水果，设计实验探究乙烯利对其催熟效果。同时，思考水果储存或运输过程中，各种水果混放可能带来的影响。

## 2. 植物激素通过协同、拮抗等方式共同调节生命活动

植物激素在植物体内分布广泛，在植物的生长发育过程中，各种植物激素往往是相互作用、共同调节植物的生命活动。两种或多种植物激素共同作用于植物某种生理活动，效果大于其中单独一种激素作用效果的现象（图 5-10），称为植物激素的**协同作用**（synergism）。植物激素的协同作用普遍存在，例如，生长素和细胞分裂素在延缓叶片衰老方面表现为协同作用；乙烯促进脱落的效果可因脱落酸而得到增强，两者之间也存在协同作用。

科学家发现，植物激素的调节效果还会表现为一种激素的效果被另一种激素所抑制，这种现象称为植物激素的**拮抗作用**（antagonism）。例如，高浓度的生长素能够抑制侧芽的生长，形成顶端优势，而细胞分裂素能够促进侧根和侧芽的发育，因此生长素造成的植物顶端优势会被细胞分裂素解除（图 5-14）。

此外，不同植物激素的浓度和比例对其生理效应也具调节作用。以烟草的组织培养为例（图 5-15），当生长素与细胞分裂素比例处于中间某个水平时，愈伤组织只生长而不分化；当两者比例较高时，愈伤组织就分化出根；当两者比例较低时，则有利



细胞分裂素

图 5-14 生长素与细胞分裂素在植物顶端优势中的拮抗作用示意图

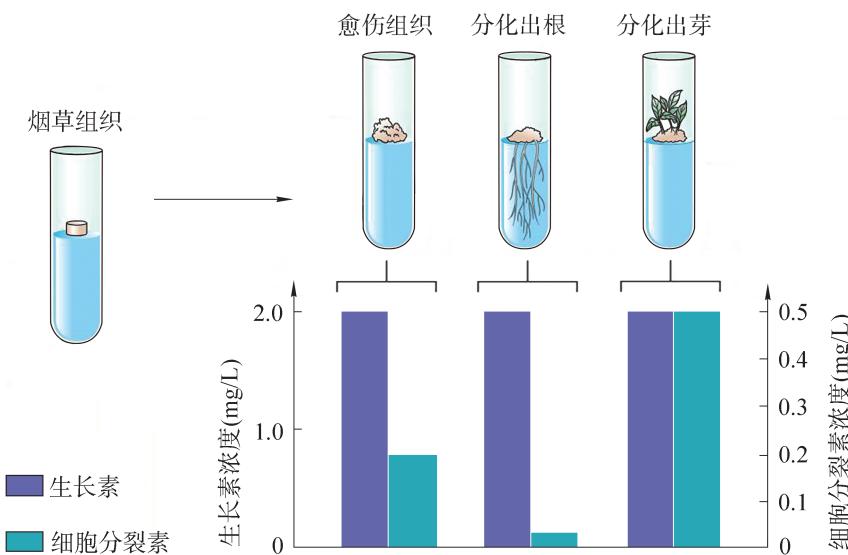


图 5-15 生长素和细胞分裂素在烟草组织培养中相互作用示意图

于芽的分化。

在植物的生命活动中，不同的生理过程往往都是多种植物激素相互作用的结果。不同植物激素间的相互协调、共同作用，伴随着植物生长发育的各个阶段。

### 3. 植物激素及其类似物在生产中应用广泛

天然的植物激素种类繁多，对植物生命活动的调节作用明显，但它们在生产应用中往往有一定局限性。例如，最早应用于农业的生长素，在植物体内含量甚微，每克鲜重植物中仅含 $10^{-8} \sim 10^{-7}$  g，且易被酶降解和发生光氧化导致分解破坏。再如，乙烯以气体形式存在，极易扩散，很难在田间利用等。

因此，科学家在发现并了解植物激素的生理功能和分子结构后，人工合成了与天然植物激素作用相似的化合物，即**植物激素类似物**，又称植物生长调节剂。它们不仅具有与天然植物激素相似的生理作用效果，而且原料来源丰富，生产过程简单，可以大量生产。同时，植物激素类似物还克服了天然植物激素在应用中的各种局限性，目前已广泛应用于农业生产实践中，是近代植物生理学及农业科学的重大进展之一。



#### 广角镜

##### 植物激素类似物的种类

依据植物激素类似物的作用机制，可以大致将其分为：(1) 植物生长促进剂，包括以2,4-D为代表的生长素类，以GA<sub>3</sub>为代表的赤霉素类，以6-BA为代表的细胞分裂素类，以乙烯利为代表的乙烯类等；(2) 植物生长延缓剂，包括矮壮素、丁酰肼、助壮素、吡啶醇、多效唑等；(3) 植物生长抑制剂，包括三碘苯甲酸、整形素、青鲜素（抑芽丹）等（图5-16）。



图5-16 几种常见的植物激素类似物产品



## 探究·实验

### 5-2 探究植物生长素类似物对扦插枝条生根的作用

扦插技术具有使植物生长快、开花早、繁殖数量大、可保持植物原有的优良性状等优点，因此，在园林植物培育等方面得到了广泛应用。扦插时，常使用生长素类似物处理扦插枝条，主要包括浸泡法、点蘸法、涂抹法等。

#### ► 实验目标：

探究植物生长素类似物促进扦插枝条生根的作用。

#### ► 实验原理：

扦插是将植物的一部分根、茎或叶，插入排水良好的壤土、砂土或其他基质中，使枝条长出不定根或不定芽，进而获得完整、独立新植株的方法。生长素类似物具有促进扦插枝条生根的作用，处于最适浓度时，扦插枝条的生根数最多，生长最快；浓度过高或过低均不利于扦插枝条生根。

#### ► 材料器具：

植物：校园内易生根的花卉或绿化树木的半木质化枝条，如月季；植物生长素类似物：吲哚丁酸（IBA）、 $\alpha$ -萘乙酸（NAA）、2,4-D等任一种；蒸馏水、毛笔、烧杯、量筒、玻璃棒、室内温度计等。

#### ► 实验过程：

- 通过查阅资料，了解本实验提供的几种植物生长素类似物对促进扦插枝条生根的有效浓度及条件。
- 基于上述结果，采用单因素实验法，经全班同学讨论，确定多个实验方案。
- 分组后，每组选择一个实验方案，设计并开展预实验。
- 基于预实验结果，设计更为合理、精确的正式实验。
- 各组对实验数据进行分析，撰写实验报告。
- 汇总实验结果，小组交流，得出实验结论并尝试提出“植物生长素类似物有效促进扦插枝条生根”的生产实践方案。



## 生物学与社会

### 植物激素类似物与绿色农业

“米袋子”和“菜篮子”工程保证了农产品的供应，是国家重要的一项惠民工程。随着人们生活水平的不断提高，绿色农业逐渐取代了单纯依赖农药、化肥的传统农业。植物激素类似物在绿色农业中的应用日益广泛（图 5-17）。

水稻是我国重要的粮食作物，但是“倒伏”现象在水稻生产中普遍存在。“倒伏”不仅严重影响稻米的产量和品质，还给收割脱粒带来不便，是限制水稻高产稳产的重要因素之一。利用“矮壮素”等植物生长延缓剂可以调节植株节间长度、株高、株型等，有效防止水稻生长过程中倒伏现象的产生。

上海崇明岛是华东地区花菜主产地之一，崇明花菜目前已远销国内外，在运输及售卖过程中需要能够长久保鲜。有研究显示，在花菜采收前3~5天，喷洒生长素类似物后，其冷藏期至少比未经处理的花菜延长了3倍且不脱叶。同样的方法，也可以用来防止卷心菜和大白菜等脱帮现象，达到延长市场供应期的目的。

很多果蔬中的种子在一定程度上会影响食用口感，如番茄、黄瓜等。在授粉前，用生长素类似物涂抹未授粉的雌蕊柱头能促进子房发育成果实，可以培育出无籽番茄、无籽黄瓜等。

此外，田间杂草会与农作物竞争资源，导致农作物产量和品质下降。人工除草不仅增加劳动力成本而且效率低下，而使用传统的除草剂会危害环境、威胁人体健康。科学家发现生长素类似物能选择性杀除双子叶植物而不伤害单子叶植物，因此，在去除农田双子叶植物杂草方面也能发挥重要作用。

除了上述应用外，植物激素类似物还能解决农业生产中的哪些问题？请查阅资料了解更多吧！



(A) 防止水稻倒伏



(B) 花菜保鲜



(C) 培育无籽番茄



(D) 杀除双子叶杂草

图 5-17 植物激素类似物的各种应用



## 自我评价

- 荔枝是很多人喜爱的水果，但荔枝成熟后极易变质。根据所学的知识，分析在荔枝成熟过程中起主要作用的植物激素是（ ）。
  - A. 生长素
  - B. 细胞分裂素
  - C. 脱落酸
  - D. 乙烯
- “春华秋实”描述了植物春生、秋收的发育过程，其间各种植物激素的浓度均处于动态变化中。图 5-18 为某植物生长过程中不同植物激素的相对浓度变化，以下叙述不正确的是（ ）。

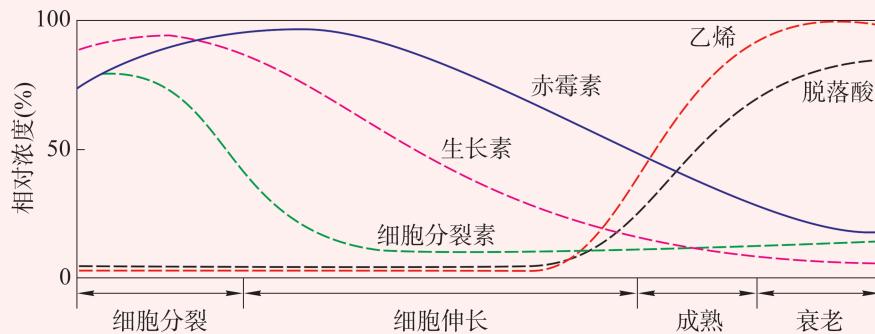


图 5-18 植物生长过程中各种激素相对浓度变化

- 植物生长的各个时期，均有多种植物激素相互作用共同调节
- 赤霉素和生长素只在细胞伸长生长阶段起作用
- 在植物成熟之前起作用的激素，主要有生长素、细胞分裂素和赤霉素
- 在植物成熟和衰老阶段，乙烯和脱落酸发挥主要作用
- 植物激素类似物的广泛使用，为农业生产带来了巨大的经济效益。但随意加大剂量等不当使用，也会导致明显的副作用。例如，过量使用乙烯利催熟水果可能会造成坏果，膨大剂的不当使用会引起果实发育畸形、炸裂等。
  - (1) 分析植物激素和植物激素类似物的区别及联系。
  - (2) 花生秧苗生长过旺会影响其产量，结合本节内容，请你提出生产建议解决该问题。
  - (3) 查阅资料，分析植物激素类似物使用时的注意事项，提出使用植物激素类似物的合理化建议。

## 第3节

# 环境因素参与植物生命活动的调节



### 学习目标

- 分析自然现象，概述光、重力和温度等环境因素参与植物生命活动的调节。
- 举例说明外界环境因素对植物生命活动的调节作用是植物长期适应和进化的结果。
- 了解生产实践中应用环境因素调节植物生命活动的案例，关注植物生理学在生产中的应用。

### 概念聚焦

- 重力对植物的生长方向具有调节作用。
- 光、温度等是植物生命活动调节的重要环境因素。

“咬定青山不放松，立根原在破岩中。千磨万击还坚劲，任尔东西南北风。”刻画了竹子扎根破碎岩石，顽强生存的场景。是什么让植物的根深植于地下呢？季节变化、昼夜转换，历经数亿年的进化，植物还形成了哪些应对外部环境变化的适应机制？



### 植物生长方向受到环境因素的影响

将待萌发的玉米种子分别按照不同朝向摆放于含1%琼脂的无菌培养基中。在黑暗中培养一段时间后，可以观察到：无论最初种子如何摆放，发芽后总是呈现根向下生长，芽向上生长的现象（图5-19）。



图5-19 玉米种子的生长状况

#### 思考与讨论：

1. 分析影响玉米种子根和芽生长方向的内外因素，讨论该现象的生物学意义。
2. 若将上述平板置于光下继续培养，玉米芽的颜色会出现什么变化？请解释引起该现象的原因。

## 1. 重力对植物的生长方向具有调节作用

植物的生长方向总是根向下、茎向上。植物是如何辨别“上”和“下”呢？

地球上，所有生物的生长发育都是在重力条件下进行的，很多植物可以依靠重力来引导其生长方向。植物的茎背离重力向上生长，根趋向重力向下生长，这种现象称为向重力性。

在重力的刺激下，植物细胞近地侧生长素浓度偏高。由于根和茎对生长素的敏感性不同（图5-7），根因近地侧细胞生长被抑制而表现出向下弯曲生长，茎则因近地侧细胞生长被促进而表现出向上弯曲生长的现象（图5-20）。向重力性是植物进化过程中长期自然选择的结果，对其充分获得营养物质和能量有重要的生物学意义。例如作物倒伏后，茎向上弯曲生长能保证植物继续正常生长发育。

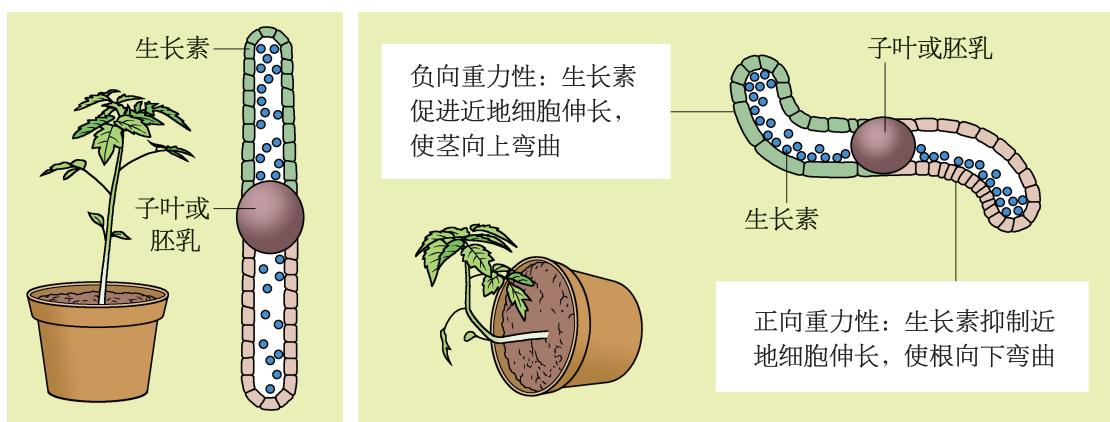


图 5-20 植物的向重力性现象及内在机制示意图



### 广角镜

#### 植物如何感受重力信号？

对于植物感受重力的机制，科学家广泛认可的是“淀粉体-平衡石假说”。该假说认为植物的根和茎的平衡细胞中含有能够感受重力、由淀粉颗粒组成的淀粉体（即平衡石，图5-21）。在重力的刺激下，淀粉体下沉至细胞底部引起植物对重力信号的响应。

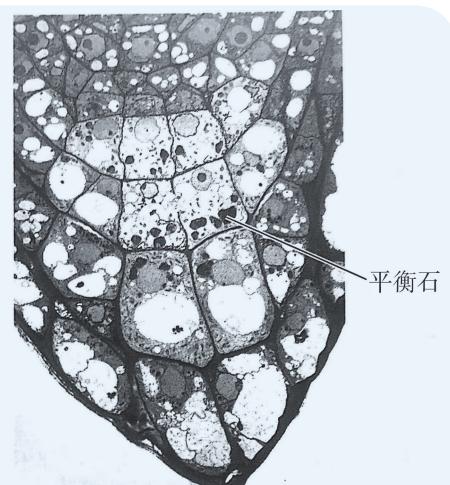


图 5-21 植物根尖的显微结构  
(600×)

## 2. 光是调节植物生命活动的重要信号



(A) 光照



(B) 黑暗

图 5-22 光照和黑暗中生长的植物形态差异

光作为一种重要的环境信号，对植物的影响贯穿其整个生命历程。光可以作为刺激信号决定植物生长的方向、影响植物的生长周期、诱导叶绿素形成等。例如，在植物种子萌发期，弱光下与正常光照下生长的植株相比，其形态将会呈现显著的差异，如茎叶淡黄、茎干细长、叶小而不伸展。光照还是诱导植物叶绿素形成的必要信号，韭黄就是利用黑暗条件下叶绿素不能合成的原理而培育形成的（图 5-22）。

光的不同波长、强度及周期变化均能影响植物的生长发育。例如，红光和远红光能够影响种子的萌发（图 5-23）。再如，紫外光能够抑制植物的生长，因此在农业生产中，人们利用浅蓝色薄膜能够透过紫外光的原理，从而达到抑制秧苗过快生长、使植株健壮的目的。高山上的植物往往比平原植物矮小，也是因为高山空气稀薄、受到紫外线辐射强的缘故。

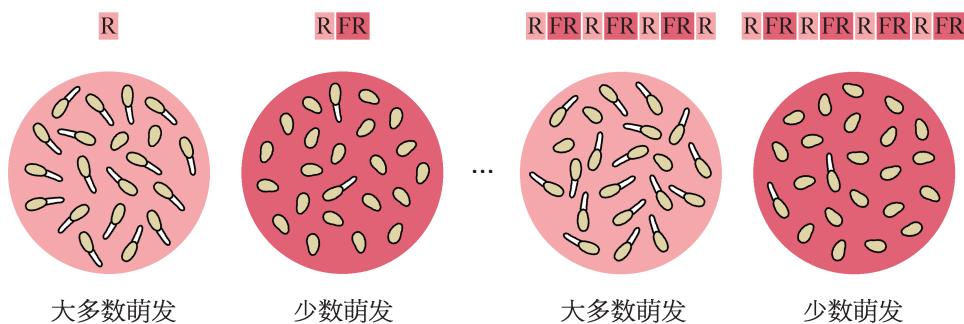


图 5-23 红光 (R) 或远红光 (FR) 对种子萌发的影响示意图  
(种子若最后感受到红光刺激则萌发；最后感受到远红光刺激则保持休眠状态)



### 广角镜

#### 植物如何感受光信号？

光信号对植物的生长发育至关重要。但是植物无法像动物一样利用眼睛感受光线。那么，植物是如何感受光质、光强、光照时间和光照方向等光信号的呢？

原来，植物中含有一些微量的色素蛋白复合体，它们能够接受光信号，进而引起植物形态结构的变化，该类蛋白复合体统称为光受体 (photoreceptor)。光受体主要包括光敏色素、隐花色素、向光素及 UV-B 受体等。其中，光敏色素主要感受红光和远红光，隐花色素（又被称为蓝光受体）主要吸收蓝光和 UV-A。UV-A 为长波紫外线，波长 320 ~ 400 nm；UV-B 为中波紫外线，波长 290 ~ 320 nm。



## 思维训练

### 植物开花的秘密

早期，人们认为日照长短决定着植物是否开花。因此，将植物大致分为：(1) 短日植物（如大豆、菊花、水稻、草莓等），当每天光期短于一定临界长度并经一定天数后，它们才能开花；(2) 长日植物（如小麦、胡萝卜、油菜等），这些植物要求每天光期长于一定临界长度并经过一定天数才能开花；(3) 日中性植物（如番茄、黄瓜、辣椒等），它们对每天光期要求范围很广，在任何日照长度条件下都能开花。长日植物与短日植物的临界日长因物种而异，并非一成不变。

但科学家在研究中发现，短日植物必须在长于一定时间的黑暗下才会开花，而夜间只要有一个短时间的闪光，就不能开花；长日植物只有黑暗时间短于一定长度时才会开花，黑暗时间延长则不会开花；但若用短暂的闪光打断黑暗，植物便能够开花（图 5-24）。

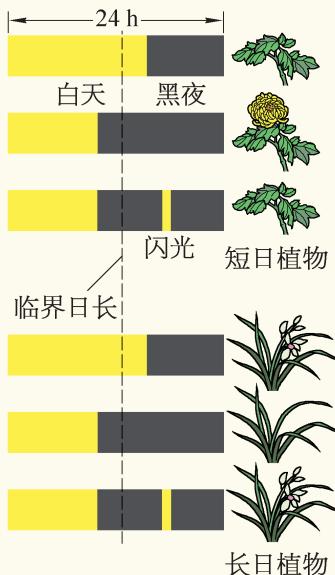


图 5-24 光照调节植物开花示意图

#### 思考与讨论：

- 根据上述实验现象，你觉得控制植物开花的是日照长度，还是夜间长度？为什么？
- 八月桂花飘香，九九重阳菊花绽放。在自然花期上，菊花比桂花晚一个多月。但我国园艺工作者通过调整昼夜光照的方法，能使通常只在“暮秋”开放的菊花提前开放，从而实现国庆节“菊桂同台”的绚丽风景。你能运用昼夜相对长度诱导植物开花的原理，还原出园艺工作者实施的方案吗？

### 3. 温度对植物生命活动具有调节作用

“人间四月芳菲尽，山寺桃花始盛开。”形象地描述了高海拔、低气温导致植物开花较晚的自然现象。季节变化、昼夜转换以及纬度和海拔等造成的温差，均会影响植物的生命活动（图 5-25）。温度除了通过影响酶的活性来调节植物的新陈代谢外，还能够作为信号调节植物发芽或开花。科学家发现，一段时间的低温能够诱导某些植物相关基因的表达，从而使植物从营养生长阶段转人生殖生长阶段。例如，北方的冬小麦和南方的油



图 5-25 不同季节植物的形态变化

菜都必须经历一段时期的低温（1~7℃）才能开花。因此，冬小麦和油菜只有秋季播种，来年才能开花结果。

除了光、重力和温度参与植物生命活动的调节之外，植物个体的生长发育不可避免的还会受到其他生物或非生物因素的影响，这些因素共同构成了植物生命活动的生态环境。它们并非孤立地对植物起作用，而是作为一个紧密联系的整体，影响着植物的生长发育。



### 自我评价

- 高山上的植物往往比平原地区的矮小，这种现象产生的原因不正确的是（ ）。
  - 高山上缺乏水分、土地较贫瘠
  - 高山上气温较低、风力较大
  - 高山上紫外辐射较强，抑制了植物生长
  - 高山上人迹罕至，缺少精心管理
- 向重力性对植物的生长发育具有重要的生理意义。图 5-26 为植物倒伏后的生长变化，图中生长素主要对细胞伸长生长起抑制作用的位置为（ ）。

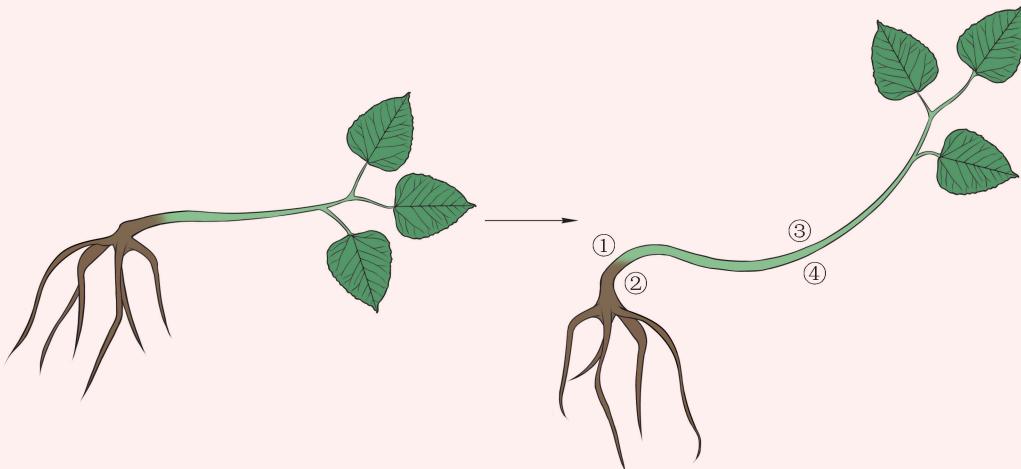


图 5-26 植物倒伏后的生长变化示意图

- ①
  - ②
  - ③
  - ④
- 尽管太空中不具备地球上植物生长所必需的各种环境条件，但我国科学家经过不懈努力，在“天宫二号”空间站中成功种植出了蔬菜。查阅资料，回答下列问题。
    - 请分析科学家想要在太空种出新鲜蔬菜，需要考虑哪些关键的环境因素？
    - 结合本节所学知识，尝试设计一款可以在太空中培育蔬菜的培养箱。

# 本章回顾



## 本章小结

植物生长发育等生命活动均受到植物激素和外界环境因素的共同调节，这是植物长期进化和适应的结果。揭示植物激素和外界环境因素对植物生命活动的调节机制，不仅有助于我们解释植物的生命现象，还可以指导农业的生产实践。

植物激素是在植物体内合成，对植物生命活动具有显著调节作用的微量物质。植物激素主要有生长素、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸和乙烯五大类。它们的生理功能各异，往往通过协同、拮抗、浓度和比例变化等方式共同调节植物的生命活动，以维持植物生长发育、开花结果等生理过程的有序性。

生长素是第一种被发现的植物激素，其对植物生长发育的调节表现出两重性，即低浓度促进植物生长，高浓度抑制植物生长。生长素的这种调节特性能够解释植物的顶端优势、向性生长等生命现象，并在果树打顶等生产实践中得到应用。对生长素发现过程中科学家研究思路的梳理，有助于发展我们的科学思维。

人们基于对天然植物激素分子结构及作用机制的认识，人工合成了能够对植物生长发育起调节作用的化学物质——植物激素类似物（植物生长调节剂），弥补了天然植物激素含量低、易降解等局限性，已广泛应用于农业生产。通过探究植物激素类似物对植物生命活动的作用，不仅可以了解植物激素在实践中的应用，还有助于培养提出问题、科学论证等探究素养，树立科学合理使用植物激素类似物的社会责任感。

光、重力和温度等外界环境因素对植物生命活动具有重要的调节作用。光作为一种重要的环境信号，可以决定植物生长的方向、影响植物的生长周期、诱导叶绿素形成等；温度除了影响植物体酶的活性外，一段时间的低温也是某些植物开花的必要信号；重力通过影响生长素的分布造成植物的向重力性，进而调节植物的生命活动。

## 学业评价

1. 图 5-27 表示某种植物的茎生长至同等长度所需时间与生长素浓度的关系，以下说法错误的是（ ）。

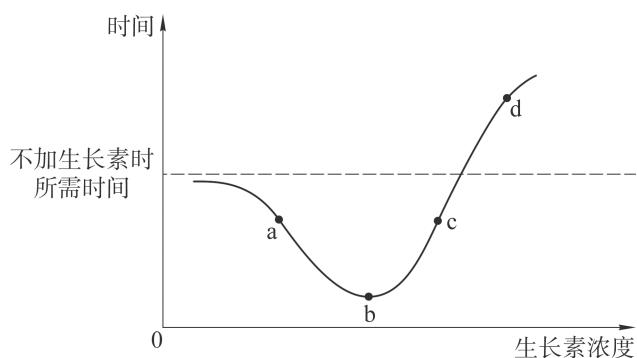


图 5-27 不同浓度生长素对茎生长的作用效果

- A. 生长素具有低浓度促进茎的生长，高浓度抑制茎生长的两重性  
 B. a、b 点生长素浓度促进茎的生长，c、d 点生长素浓度抑制茎的生长  
 C. b 点对应的浓度为促进茎生长的最适浓度  
 D. 两种不同浓度的生长素溶液也可能发挥相同的作用效果
2. 下列关于“探究植物生长素类似物对扦插枝条生根的作用”实验，叙述正确的是（ ）。(多选)  
 A. 扦插的枝条应保留相同数量的芽  
 B. 生长素类似物浓度越低，扦插枝条生根的数量就越少  
 C. 生长素类似物浓度越高，扦插枝条生根的数量就越多  
 D. 可以利用单位时间内，每根扦插枝条上生出根的数目作为记录指标
3. 请分析表 5-2，回答下列问题。

表 5-2 五大类植物激素的部分生理效应

植物激素	种子发芽	顶端优势	果实生长	器官脱落
生长素		促进	促进	抑制
赤霉素	促进	促进	促进	抑制
细胞分裂素	促进	抑制	促进	抑制
脱落酸	一般抑制			促进
乙烯			抑制	促进

- (1) 下列有关植物激素及其类似物的应用，说法正确的是（ ）。

- A. 顶端优势现象的存在不利于植物对光的利用，应该消除顶端优势
- B. 用赤霉素处理马铃薯块茎，可延长其休眠时间，有利于储存
- C. 细胞分裂素可用于农产品收获后的保鲜储存
- D. 果树开花后，喷施适宜浓度的乙烯可防止果实脱落

(2) 若解除植物的顶端优势，可采用的措施有①\_\_\_\_\_，  
②\_\_\_\_\_。

(3) 膨大剂是一种植物激素类似物，其作用主要是促进细胞分裂、增加细胞的数量，因此膨大剂最可能是\_\_\_\_\_类的植物激素类似物。在西瓜坐果初期适量使用膨大剂可提高产量，但有些瓜农使用膨大剂后出现西瓜爆裂现象，可能的原因是施用膨大剂的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_不合适。

4. 氯吡脲是一种植物激素类似物，能让更多的花结成果，也可以使黄瓜长得更大。实验证明，严格依据其推荐的用法和用量，氯吡脲在果实和土壤里的残留量都很少，不会对人类健康产生影响，但是过量使用不但不能使效果更好，反而会使果实畸形。某科研小组设计实验探究氯吡脲对黄瓜坐果的影响，请完善以下实验步骤及结果与分析。

实验材料：

盆栽黄瓜幼苗若干、质量分数为 0.1% 的氯吡脲溶液 50 mL、蒸馏水等。

实验步骤：

- (1) 在盆栽黄瓜幼苗生长至花蕾期时，选取花蕾数目和生长状况大体相同的黄瓜幼苗若干，均分为 10 组，分别标记为 1~10。
- (2) 用蒸馏水稀释氯吡脲溶液，配制成 10 种浓度的溶液（分别稀释 5 倍、10 倍……50 倍，梯度稀释）。
- (3) 在开花当天或前一天用\_\_\_\_\_分别涂抹 1~10 组黄瓜瓜柄。
- (4) 连续观察 4 周，记录并统计\_\_\_\_\_。

实验结果预测与分析：

低浓度氯吡脲溶液能够促进黄瓜结果和膨大，高浓度的氯吡脲溶液会导致果实畸形，即氯吡脲的作用具有\_\_\_\_\_性。

有同学认为上述实验方案不够完善，你是否同意该观点？说出你的理由。

5. 食品安全一直是大众热议的话题。随着现代农业生产中植物激素类似物的广泛使用，其安全性也越来越引起人们的重视。一则“使用乙烯利催熟香蕉存在食品安全问题”的报道导致海南香蕉大量滞销，同时也对其他水果产业造成了冲击。请你结合本章所学的知识并查阅文献，分析该报道内容是否科学，并提出科学合理使用植物激素类似物的相关建议。

# 后记

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

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

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

2020年5月

---

本册教材图片提供信息：

本册教材中的图片由视觉中国、国家极地科学数据中心（第1章章首图，中国极地研究中心胡正毅摄影）等提供。

生物学  
选择性必修1  
稳态与调节

SHENGWUXUE



绿色印刷产品

ISBN 978-7-5478-5297-2



9 787547 852972 >