

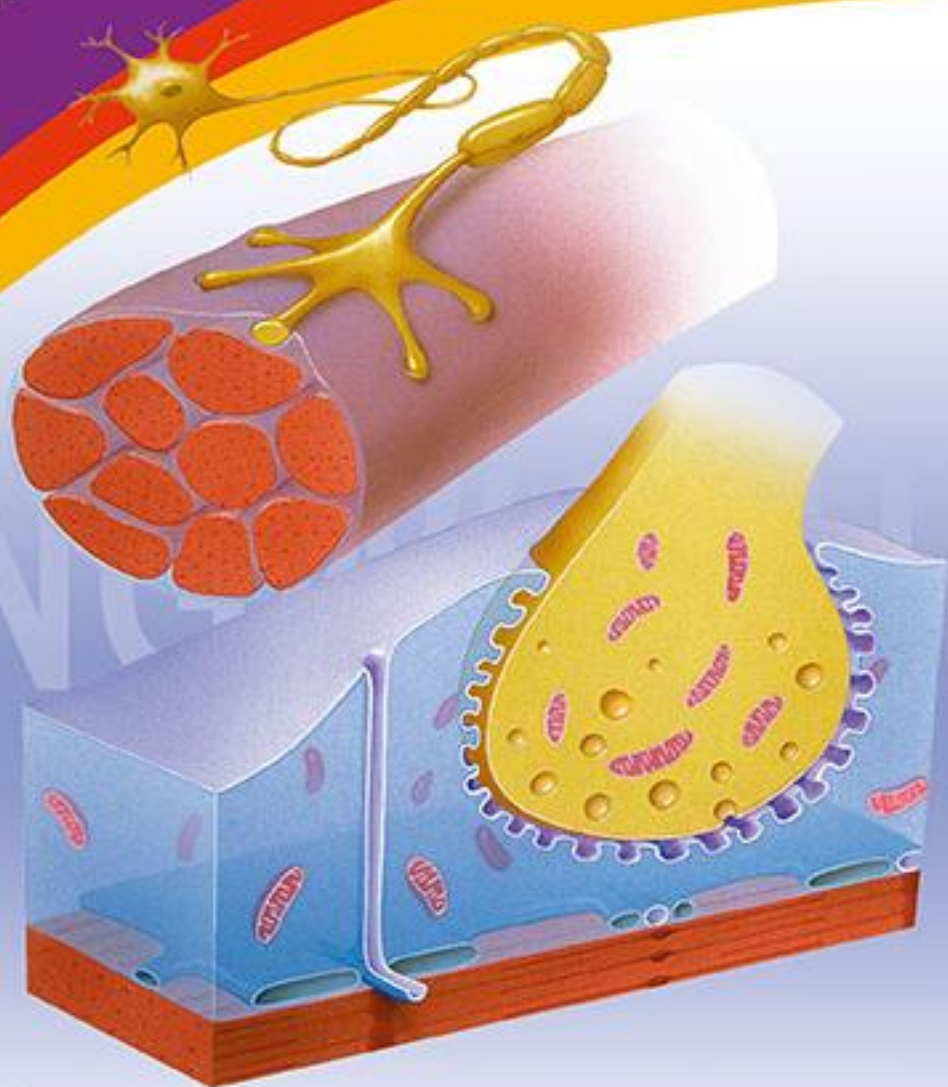


普通高中教科书

生物学

选择性必修1

稳态与调节



浙江科学技术出版社

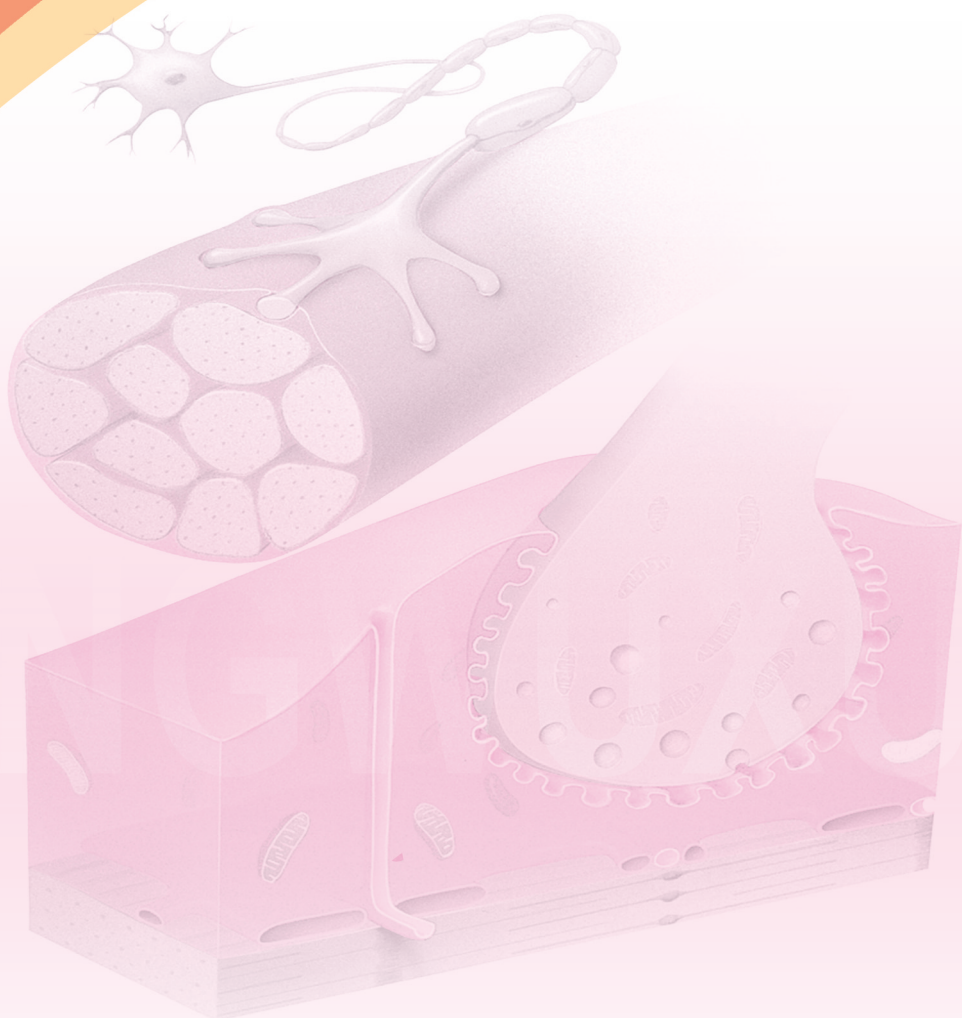
普通高中教科书


生物学

选择性必修1

稳态与调节

主编 刘恩山



 浙江科学技术出版社

主 编 刘恩山

副 主 编 朱立祥 李晓辉

本册执行主编 安 军

本册编写人员 (按姓氏笔画排序)

卢 群 安 军 杨文源 余建云

书 名 普通高中教科书·生物学 选择性必修1 稳态与调节
主 编 刘恩山

出版发行 浙江科学技术出版社
杭州市体育场路347号 邮政编码:310006
办公室电话:0571-85176593
销售部电话:0571-85176040
网 址:www.zkpress.com
E-mail:zkpress@zkpress.com

排 版 杭州兴邦电子印务有限公司
印 刷 浙江新华数码印务有限公司

开 本	890×1240 1/16	印 张	8.25
字 数	170 000		
版 次	2021年1月第1版	印 次	2021年1月第1次印刷
书 号	ISBN 978-7-5341-8680-6	定 价	10.12元

版权所有 翻印必究

(图书出现倒装、缺页等印装质量问题,本社销售部负责调换)

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

责任编辑 顾旻波 曹梦洁
责任美编 金 晖

责任校对 张 宁
责任印务 田 文

致同学们

同学们：

生活中我们可能经历过类似的情况：一个篮球突然向你飞来，你会迅速躲避；面对考试，有些人心里会紧张，出现考试前吃不下早餐、心跳加快、手心出汗等现象；人生活在满是微生物的环境中，其中不乏致病微生物，人体却不会经常生病。这些生理过程都是机体通过调节来实现的，体现出机体良好的适应性。

学习《稳态与调节》模块，我们将会运用相关原理来解释上述现象。动物经常生活在不可预料的环境之中，因此，它的行为必须足够灵活以应付多变的环境。

动物的神经系统可以及时感知机体内、外环境的变化，协调各器官、系统做出及时的适应性反应。考试前一定程度的紧张并不是坏事，心跳加快可以促进血液循环，使脑和运动器官得到更多的能源物质



和氧气。紧张所引起的这些反应是机体面对紧张状态时的调整，是机体适应环境的表现。人体还能通过免疫系统防御致病微生物的侵袭。生物体对刺激能做出反应是生物的应激性，是生命的特征之一。

植物体对环境刺激做出适应性反应的实例也不胜枚举。绿色植物弯向光源生长，是对单侧光源刺激做出的反应，有利于植物的光合作用。北方冬季大部分植物落叶，是对低温刺激做出的反应，有利于植

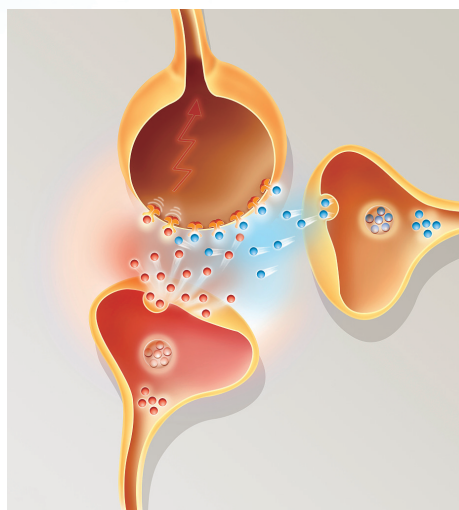


物度过寒冷干旱的冬季。烟草植株受到蛾幼虫的啃食后，能释放一种挥发性物质来吸引蛾幼虫的天敌。生物体对环境的感知和做出反应的能力可提高其生存和繁衍的机会。

动物和植物都生活在不断变化的环境中，通过自我调节机制维持自身的稳态，使生物体成为一个统一的整体，

以适应多变的环境，从而保证了生物体的生存、生长、发育和繁殖。学习本模块，可以帮助同学们理解生物个体的生命活动规律，从系统分析的角度认识个体生命系统的稳态，理解健康生活方式对维持人体内环境稳态的意义。

生命活动的调节需要物质基础和结构基础。动物体通过神经系统、内分泌系统和免疫系统执行调节功能，通过反馈机制维持机体稳态。植物体主要通过植物激素调节生命活动。生命系统的调节离不开信号，生物体各器官、系统之间通过信号彼此联系、协同配合。信号传递使高度分化的多细胞生物成为一个统一的整体。信号包括生物电信号以及神经递质、激素、淋巴因子等化学信号。信号到达细胞，引起细胞内部生理活动发生变化，这些代谢水平的调控最终对多细胞的个体产生影响。本模块对许多重要概念和原理解释会深入到细胞水平和分子水平，需要以必修模块的知识作为基础。通过对本模块的学习，同学们能深刻领悟细胞生活中物质、能量和信息变化的统一，生物体局部和整体的统一，体会系统内部成分间、系统与外部环境间的相互作用及相互影响，逐步建立稳态与平衡观。



生命科学是一门自然科学，离不开观察和实验。生物学的概念和原理是通过科学研究积累起来的知识体系，我们在继承的同时更要学会科学的思维方法，领悟假说-演绎的科学思维逻辑，学会设计和分析对照实验。科学是在不断地自我修正中向前发展的，科学发展需要冲破原有观念的束缚，大胆猜想并仔细求证，更需要创新思维和坚持不懈、实事求是的品质。这是生命科学作为自然科学带给我们的文化体验。本模块讲述了许多生物科学史上的经典实验和科学家的故事，如“体液调节的发现”“生长素发现史”“寻找脑激素”“胰岛素发现与糖尿病治疗”等，希望同学们能仔细阅读、积极思考。面对教材中设计的实验，希望同学们能够像科学家那样，认真观察、翔实记

录、分析反思，养成善于观察和思考的习惯。实验中的动脑和动手过程都是宝贵的实践体验，也许你会因此对生物学科产生浓厚的兴趣。

另外，也鼓励同学们多读有关生命科学的课外读物。读书能使我们开阔视野，如果所读的内容能与课内所学知识相互联系、相互印证，则会对理解和掌握教材知识起到积极作用。读书使我们了解生命科学的新发现、新进展，让我们更多地体验和感受生命科学与社会生活息息相关，更多地体验和感受生命世界的丰富多彩与科学探究的乐趣。

本模块涉及许多与健康生活相关的知识，还包含许多与社会生活相关的议题。例如，接种疫苗、远离毒品、预防艾滋病、控制兴奋剂、合理使用激素等。同学们要运用这些生物学的概念和原理来指导自身生活，面对社会热点问题时能采取正确的态度和立场。



目录

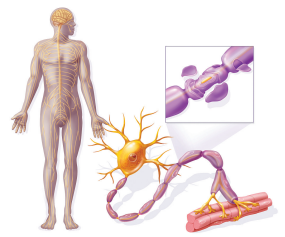
第一章 内环境与稳态 /1

- 第一节 人体细胞生活在内环境中 /3
- 第二节 内环境的稳态保障正常生命活动 /11
- 本章小结 /16



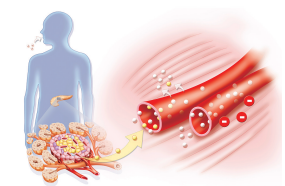
第二章 神经调节 /17

- 第一节 神经系统是神经调节的结构基础 /19
- 第二节 神经冲动的产生和传导 /24
- 第三节 人体通过神经调节对刺激做出反应 /32
- 本章小结 /42



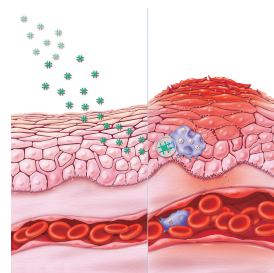
第三章 体液调节 /43

- 第一节 体液调节是通过化学信号实现的调节 /45
- 第二节 神经系统通过下丘脑控制内分泌系统 /50
- 第三节 激素调节身体多种机能 /55
- 第四节 体液调节与神经调节共同维持机体的稳态 /63
- 本章小结 /68



第四章 免疫调节 /69

- 第一节 免疫系统识别“自己”和“非己” /71
- 第二节 人体通过非特异性免疫对抗病原体 /76
- 第三节 人体通过特异性免疫对抗病原体 /79
- 第四节 免疫功能异常引发疾病 /88
- 本章小结 /94



第五章 植物生命活动的调节 /95

- 第一节 生长素的发现开启了人类对植物激素调节的探索 /97
- 第二节 植物激素调节植物生命活动 /107
- 第三节 植物对多种环境信号做出反应 /117
- 本章小结 /123



第一章

内环境与稳态



恒温动物体温的维持

热爱旅行和探险的人们，无论是在炎热干燥的撒哈拉大沙漠，还是在冰雪覆盖的阿尔卑斯山脉，他们的体温都能保持相对稳定。如果打算在夏季一览撒哈拉大沙漠的风光，那么，你需要准备充足的饮用水以便及时补充身体出汗而蒸发的大量水分；如果想在白雪皑皑的冬季到阿尔卑斯山享受滑雪的乐趣，那么，你需要穿上厚厚的棉衣来抵御严寒。出汗散热、御寒保暖都是我们身体维持体温的方法。

陆地上最大的哺乳动物非洲象躯体庞大，一头成年非洲象可重达6000 kg。非洲象的身体进行细胞代谢时会产生大量的热。由于其躯体庞大，表面积与体积之比相对较小，外界温度较高时，非洲象主要依靠扇动耳朵、皮肤散热、往身上喷水等方式调节体温，即使在温度高达40℃的环境中也能“闲庭信步”。外界温度是变化的，但人和高等动物能通过调节保证体内细胞生活的温度条件相对稳定。那么，细胞直接生活的环境是怎样的？这个环境是如何维持相对稳定的呢？



动物在不断变化的环境中，有些变化来自动物体外，如环境温度的升降、天敌的出现等；有些变化来自动物体内，如体内代谢废物的增多等。动物要生存，必须对内、外环境的变化做出适当的反应。在长期进化过程中，动物形成了一套调节机制，使机体保持稳态，以适应多变的环境。

学习目标

1. 描述内环境的组成，逐步建立稳态与平衡的生命观念。
2. 通过归纳与概括等科学思维方法认识内环境处于动态变化的相对稳定状态。
3. 通过归纳与概括认识内环境稳态的意义，并体会健康生活方式的重要性。
4. 通过实验探究血浆对pH变化的调节作用。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 通过分析血浆的化学成分、探究血浆对pH变化的调节作用、内环境偏离平衡的病例分析等活动，学会运用证据、归纳与概括等科学思维方法。
2. 通过探究血浆对pH变化的调节作用实验，发展实验设计、数据处理等科学探究能力。

第一节 人体细胞生活在内环境中

细胞是一个开放的生命系统，细胞内部每时每刻都在进行生物化学反应，需要不断地与环境进行物质和能量的交换。

单细胞的原生动物如变形虫（图 1-1A）和简单的多细胞动物如水螅（图 1-1B）生活在水中，它们的细胞能直接与外部环境接触，直接从外部的水环境中获取所需的食物和氧气，并将代谢产生的废物排出体外。

本·节·要·点

- 内环境
- 细胞外液

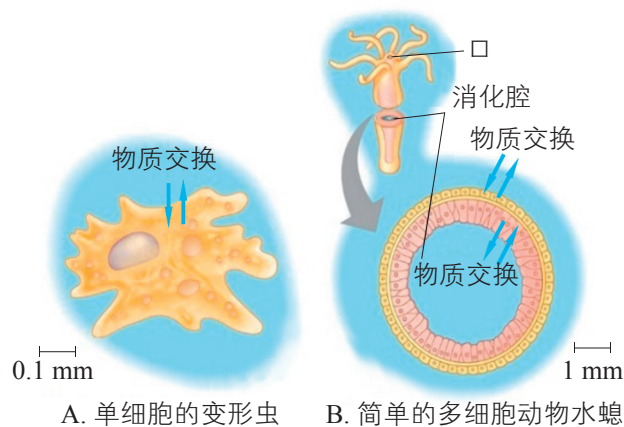


图 1-1 细胞直接与外界进行物质交换

人体约由 10^{14} 个细胞组成，每个细胞都是一个相对独立的生命单位。这些细胞生活在怎样的环境中呢？

细胞外液是人体细胞生活的内环境

人体的绝大多数细胞不能和外部环境直接接触，它们周围的环境就是人体内细胞外面的液体，称为细胞外液（extracellular fluid）。细胞外液包括血浆、组织液和淋巴等。



活动

观察血液分层现象，分析血浆的化学成分

动物细胞生活的环境是怎样的？通过观察动物血液的分层现象，认识血细胞生活的环境；通过分析表1-1中列出的数据，了解人体血浆的化学成分。

目的要求

1. 观察并描述血液分层现象。
2. 分析并归纳表格中血浆的化学成分。

材料用具（4人一组）

血液抗凝剂，新鲜的兔血液，试管，离心机等。

方法步骤

1. 将血液样品放置在一个添加了抗凝剂的玻璃试管中，离心（3000 r/min, 15 min）或静置一段时间。
2. 观察试管中出现的分层现象，参见图1-2。

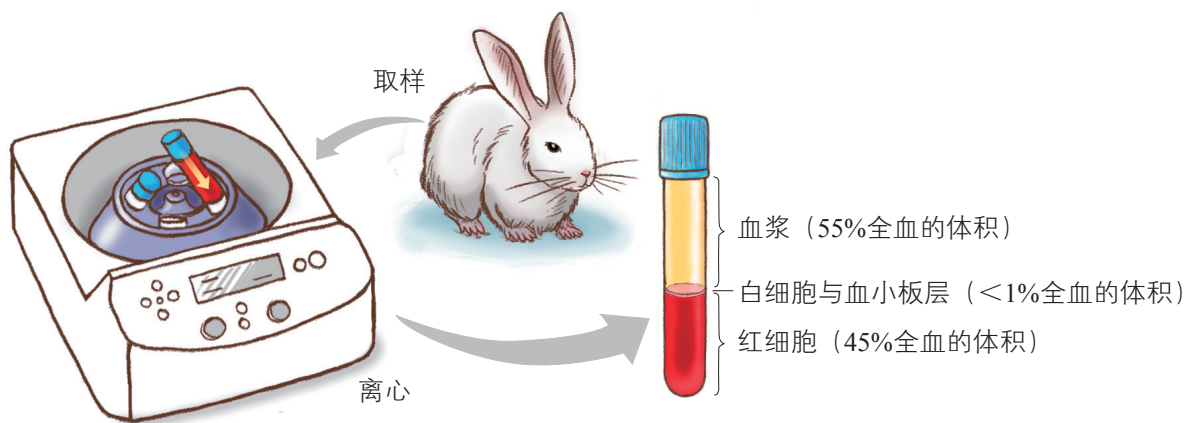


图1-2 血液的组成

讨论

1. 血液、血浆、血细胞三者的关系是怎样的？
2. 分析人体血浆中的主要成分表（表1-1），血浆中的化学成分主要包括哪些？
3. 选取你熟悉的一些化学成分，说明该化学成分的来源和去路，并分析其在机体中所起的作用。

表 1-1 人体血浆中的主要成分

分类	物质	正常浓度范围	分类	物质	正常浓度范围
阳离子	Na ⁺	136~145 mEq/L	糖、维生素 和酶	葡萄糖	80~120 mg/dL
	K ⁺	3.5~5.0 mEq/L		维生素 B ₁₂	200~800 pg/mL
	Ca ²⁺	4.3~5.2 mEq/L		维生素 A	0.15~0.6 μg/mL
	Mg ²⁺	1.2~1.8 mEq/L		维生素 C	0.4~1.5 mg/dL
	Fe ³⁺	60~160 μg/dL		2, 3-二磷酸甘油酸	3~4 nmol/L
	Cu ²⁺	70~155 μg/dL		氨基转移酶	10~40 U/mL
	H ⁺	35~45 nmol/L		碱性磷酸酶	30~92 U/mL
阴离子	Cl ⁻	98~106 mEq/L	其他物质	磷酸	0.5~2 U/mL
	HCO ₃ ⁻	23~28 mEq/L		肌酸酐	62~133 μmol/L
	乳酸盐	0.67~1.8 mEq/L		尿酸	0.15~0.48 mmol/L
	SO ₄ ²⁻	0.9~1.1 mEq/L		血尿素氮	8~25 mg/dL
	HPO ₄ ²⁻ /H ₂ PO ₄ ⁻	3.0~4.5 mg/dL		碘	3.5~8.0 μg/dL
蛋白质	总量	6~8 g/dL		CO ₂	23~30 mmol/L
	白蛋白	3.4~5.0 g/dL		胆红素 (总量)	0.1~1.2 mg/dL
	球蛋白	2.2~4.0 g/dL		醛固酮	3~10 ng/dL
脂类	胆固醇	150~200 mg/dL		皮质醇	5~18 μg/dL
	磷脂	150~220 mg/dL		酮体	0.2~2.0 mg/dL
	甘油三酯	145~250 mg/dL			

血液由血细胞和血浆组成。血浆是血细胞生活的液体环境，它是一种淡黄色的液体，由约90%的水和10%溶于其中的物质组成。血浆溶质的绝大部分是蛋白质，其他物质还包括无机盐、单糖和氨基酸等营养物质，N₂、O₂和CO₂等气体，激素和代谢产生的废物等。

组织液是组织细胞生活的液体环境，它充满了细胞与细胞之间的间隙。组织细胞通过细胞膜直接与组织液进行物质交换，获得所需的营养物质，并将代谢的终产物释放到组织液中。

人体的各部分都有丰富的毛细淋巴管。广泛分布的各级淋巴管和淋巴器官构成了人体的淋巴系统。淋巴管中的液体被称为淋巴液，也称淋巴。淋巴中含有吞噬细胞和淋巴细胞。

血浆、组织液、淋巴等细胞外液是多细胞动物体内细胞直接接触的生活环境。相对于多细胞动物生活的外部环境而言，细胞外液则是身体的内部环境，称为内环境 (internal environment) (图 1-3)。

动物体内所含液体统称为体液。体液分为细胞内液和细胞外液。细胞内液是指存在于细胞之内的液体，约占体液的2/3；细胞外液约占体液的1/3，机体内细胞的物质交换都是通过细胞外液进行的。

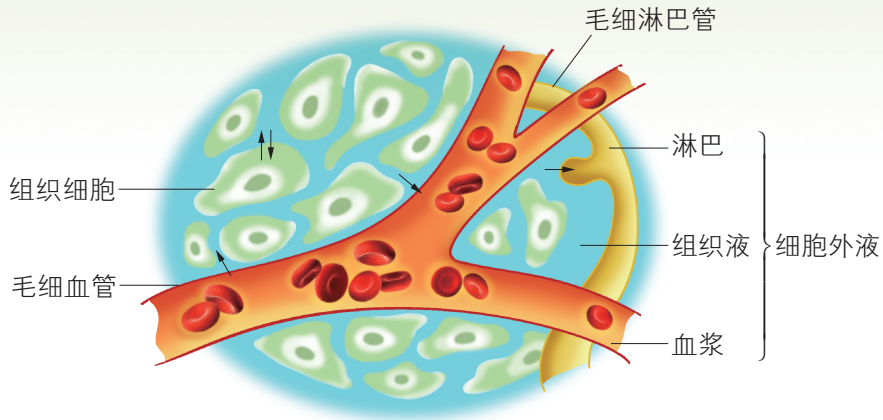


图1-3 人体细胞及内环境示意图

细胞通过内环境与外界环境进行物质交换

我们体内的每一个细胞要进行正常的代谢，必须不断和内环境进行物质交换。那么，内环境是如何实现与细胞的物质交换的？我们所吃的食物中的营养物质、呼吸道吸入的空气中的 O_2 是怎样顺利到达组织细胞的？细胞代谢产生的废物又是如何最终排出体外的呢？

血浆是内环境中最活跃的部分，在全身血管中不断流动。血浆沿动脉到达毛细血管后，水、葡萄糖、氨基酸、气体等物质可以通过毛细血管壁，从血浆进入组织液，而红细胞和血浆蛋白等则不能通过毛细血管壁。组织液可为组织细胞提供营养物质、 O_2 等，细胞产生的代谢废物进入组织液，与细胞进行物质交换的组织液大部分流回毛细血管，少部分进入毛细淋巴管。组织液进入淋巴管就被称为淋巴液（图1-4A）。

毛细淋巴管以膨大的盲端起始于组织间隙，内皮细胞的边缘像瓦片一样排列，形成向管腔内开启的单向活动瓣膜，阻止淋巴回流组织液（图1-4B）。毛细淋巴管汇合成淋巴管，淋巴管汇合成左淋巴导管和右淋巴导管，分别汇入左、右锁骨下静脉。

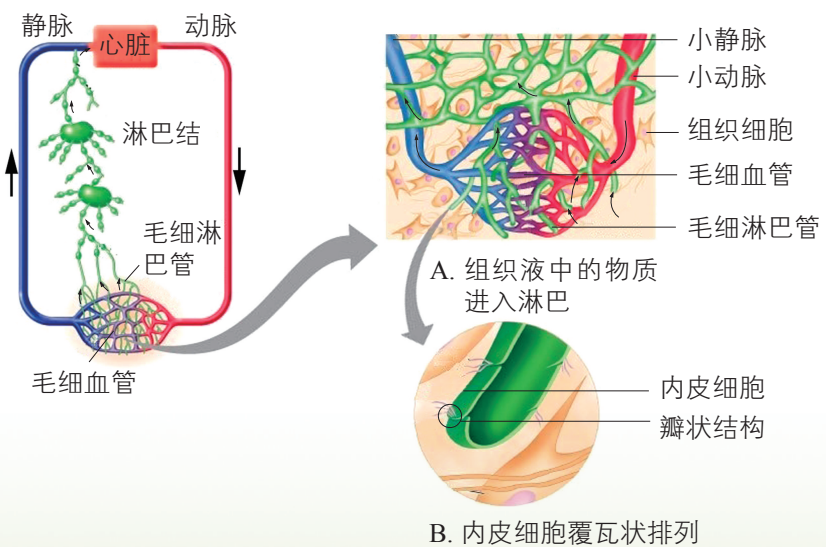


图1-4 淋巴与组织液、血浆之间的关系示意图



活动

绘制概念图解释“细胞通过内环境与外界环境进行物质交换”

人体通过呼吸系统、消化系统、循环系统、排泄系统等系统，与外界环境进行物质交换，以保证每个细胞对物质和能量的需求。

目的要求

1. 用概念图表示人体内环境的组成。
2. 结合图1-5中的已有知识，尝试绘制概念图解释人体的各器官系统如何分工协作，使得组织细胞通过内环境与外界实现物质交换。

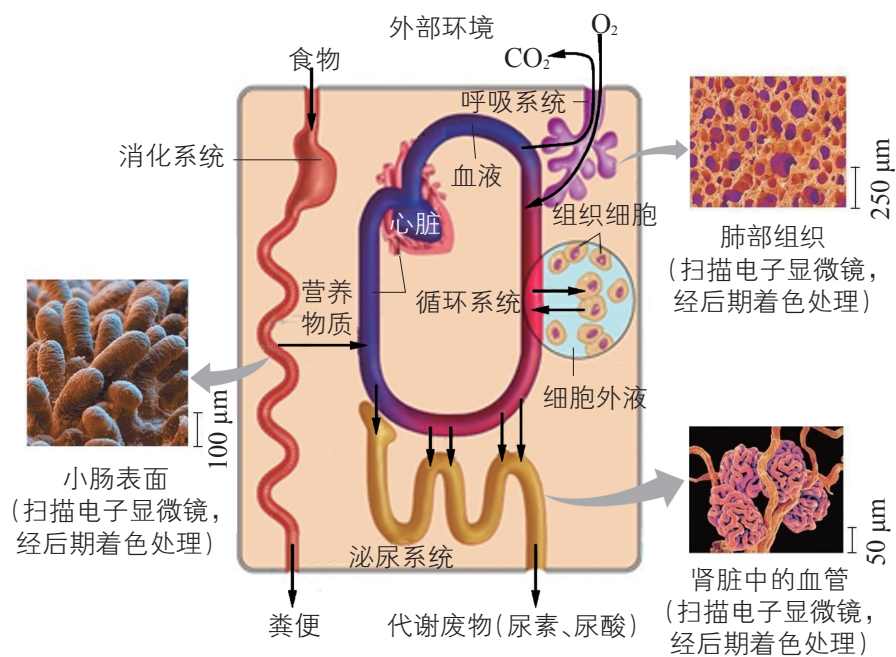


图1-5 细胞通过内环境与外界环境进行物质交换

活动提示

1. 头脑风暴阶段：用术语或简短的语言描述与“细胞通过内环境与外界环境进行物质交换”相关的概念、事实和观点等内容。此时不用考虑概念有多重要，也不用考虑它们之间的相互关系，尽可能多地列出你知道的内容。
2. 区分概念的层级关系：对概念进行分组，将最重要的概念放在中心位置。有些术语或者概念可以归入一类，尝试进行归纳分类。有层次地对概念进行排列，重要的概念下分出几个相关联的次要概念，次要概念下又可以分出几

个小概念。

3. 建立联系：将上面所有的概念或术语用方框或者圆圈圈起来，用带箭头的连线建立两个概念之间的联系，连线上尽可能选用意义表达明确的连接词，任何两个概念加上连接词后必须能表达一个完整的观点，箭头可以交错。

讨 论

1. 内环境的作用是什么？
2. 为什么称血浆是内环境中最活跃的部分？
3. 为保证人体细胞代谢的顺利进行，你认为内环境应具备哪些适宜的条件？

内环境是细胞与外界进行物质交换的媒介。大部分细胞通过细胞膜直接与组织液进行物质交换；同时，组织液又通过毛细血管壁与血浆进行物质交换。血浆在全身血管中不断流动，再通过各器官和系统与外界进行物质交换。

内环境为细胞提供相对稳定的生存条件

人体生活的外部环境经常发生变化，但内环境可以保持相对稳定，这给细胞提供了一个物理、化学因素都比较稳定的环境。内环境的相对稳定是细胞正常生存的必要条件。细胞代谢是指细胞内发生的，由多种多样的酶催化的化学反应。这些酶促反应的顺利进行，需要合适的温度、适宜的pH、一定的离子浓度和底物浓度等。

内环境中的理化特性主要包括体温、酸碱度和渗透压。人体细胞外液的温度通常维持在37℃左右。血浆中的pH为7.35~7.45，略偏碱性。血浆中pH保持相对稳定，这与血浆中存在大量的缓冲对有关。例如，缓冲对 H_2CO_3 和 NaHCO_3 ，当人体剧烈运动产生乳酸时， NaHCO_3 和乳酸反应生成乳酸钠和 H_2CO_3 ， H_2CO_3 分解成 H_2O 和 CO_2 ， CO_2 可由肺部排出；当蔬菜和水果中的 Na_2CO_3 进入血浆时， H_2CO_3 与 Na_2CO_3 反应生成 NaHCO_3 ，多余的 NaHCO_3 会从肾脏排出。血浆中缓冲对的存在，使得血浆在一定范围内既能抗酸又能抗碱。溶液的渗透压是指溶液中溶质微粒对水的吸引力，渗透压的大小取决于单位体积中溶质微粒的数目。在体温为37℃时，血浆渗透压约为770 kPa，其渗透压的大小主要由无机盐决定，与蛋白质等物质也有关系。人体血浆的渗透压与0.9%的NaCl溶液基本相等。



活动

探究血浆对pH变化的调节作用

细胞直接生活的液体环境是否会因细胞的代谢而不断发生改变？细胞代谢产生的酸性物质、剧烈运动产生的乳酸、食物中的酸性或碱性物质是否会影响体液的pH？

目的要求

1. 比较清水、缓冲液、血浆在加入一定浓度的盐酸或氢氧化钠后的pH变化。
2. 设计记录表格，对收集的数据进行分析处理，绘制曲线图。

探究问题

血浆对pH变化的调节作用如何表现？

材料用具

动物血浆，清水，pH为7的磷酸缓冲液，0.1 mol/L的HCl，0.1 mol/L的NaOH，烧杯，量筒，pH计等。

方法步骤

1. 用量筒分别量取20 mL的清水加入编号为1和4的烧杯中，分别取20 mL pH为7的磷酸缓冲液加入编号为2和5的烧杯中，分别取20 mL动物血浆加入编号为3和6的烧杯中。
2. 用pH计测出每个烧杯中溶液的pH并记录。
3. 向1号烧杯中滴加5滴0.1 mol/L的HCl，轻轻振荡摇匀，用pH计测溶液的pH并记录。依次滴加至10滴、15滴、20滴、25滴、30滴，每次都需轻轻振荡摇匀后测pH并记录。
4. 向2号烧杯中滴加0.1 mol/L的HCl，重复方法步骤3。
5. 向3号烧杯中滴加0.1 mol/L的HCl，重复方法步骤3。
6. 向4号烧杯中滴加5滴0.1 mol/L的NaOH，轻轻振荡摇匀，用pH计测溶液的pH并记录。依次滴加至10滴、15滴、20滴、25滴、30滴，每次都需轻轻振荡摇匀后测pH并记录。
7. 向5号烧杯中滴加0.1 mol/L的NaOH，重复方法步骤6。
8. 向6号烧杯中滴加0.1 mol/L的NaOH，重复方法步骤6。

讨论

1. 尝试设计实验结果记录表格，分别绘制随HCl和NaOH滴数的增加，各

第二节 内环境的稳态保障正常生命活动

动物体的每个细胞都像是一台复杂精巧的机器，通过自身的细胞代谢实现其在整个机体中的精确功能。一旦细胞生活的内环境不能维持相对稳定的状态，代谢活动就不能正常进行，细胞的生存就会出现危机，进而影响整个机体正常的生命活动。

阅读下面小资料，并思考：内环境偏离稳态后会出现什么现象呢？

本·节·要·点

- 稳态
- 调节



小资料

分析霍乱对内环境的影响

霍乱是由霍乱弧菌（图1-6）所致的一种烈性肠道传染病。1817年，霍乱的第一次世界性大流行始发于气候炎热的印度，继而蔓延至中国、日本及东南亚部分地区。迄今为止，霍乱已经发生了7次全球性大流行，波及世界五大洲100多个国家和地区。霍乱是全球公共卫生的一大问题，每年约有数十个国家或地区的十几万人感染霍乱弧菌而患病，几千人死亡。



图1-6 扫描电镜下的霍乱弧菌(19000×,经后期着色处理)

霍乱的致病原因：霍乱弧菌存在于水中，人体饮用被霍乱弧菌污染过的水后，正常胃酸可杀死弧菌，但当胃酸分泌不足或入侵病毒菌数量较多时，未被胃酸杀死的弧菌便会进入小肠，在碱性肠液内迅速繁殖，并产生大量强烈的外毒素。这种外毒素使肠液大量分泌，小肠黏膜上皮细胞内大量钠离子和水持续外流，引起不可控制的呕吐和腹泻，造成严重脱水，致使血浆容量明显减少、体内盐分缺乏、酸中毒等内环境紊乱，甚至死亡。

上述资料中，内环境的哪些物理化学特性发生了改变？对人体造成怎样的影响？

内环境处于动态变化的相对稳定状态

内环境中的血糖浓度、温度、pH、渗透压等理化特性都处于相对稳定的动态平衡中。内环境的任何变化，都会引起机体自动调节组织和器官的活动，使它们产生一些反应来减少内环境的变化。动物体通过调节作用使得机体内部环境保持相对稳定的状态称为稳态（homeostasis）。稳态并不意味着固定不变，而是指一种可变的却又相对稳定的状态。

在人体的常规体检中，我们要对尿液和血液进行生化分析。人体血浆中葡萄糖的含量通常在80~120 mg/dL，正常人体检时空腹血糖的含量会在这个范围内，但测定值并不是恒定不变的。



小资料

人的体温

人是恒温动物，体温是相对稳定的。人体直肠温度的平均值为37.5℃，口腔温度比直肠温度低0.2~0.3℃，腋窝温度比口腔温度低0.3~0.5℃。人体的体温还具有周期性波动的特征，在一昼夜中，凌晨的体温最低，17~19时体温最高。体温存在个体差异，但同一个体的体温变化一般不超过1℃。人的体温在一定范围内波动，但变化范围不大，表现出相对稳定性。

各器官系统协调统一共同维持内环境稳态

当血液中葡萄糖的浓度下降时，胰腺中的特定胰岛细胞感受到血糖浓度的下降，会分泌相关激素，引起肝释放葡萄糖进入血液以维持一定的血糖浓度。肝的活动维持着血糖浓度以及整个组织液中糖浓度的稳定。血糖稳定主要依赖体液调节来实现。

当外界气温降低时，身体的神经系统会参与体温的调节，机体出现战栗、皮肤血管收缩等现象，同时身体中某些激素的分泌量会增加以促进细胞代谢产热。体温稳定主要依赖神经调节来实现，体液调节也共同参与。

当外界病原体入侵机体时，身体的免疫系统会清除入侵机体的病原体以维持内环境的稳态。

血液中血糖浓度的调节依靠内分泌系统，体温调节是神经系统和内分泌系统共同作用的结果，人体抵抗病原体侵害需要依靠免疫系统，人体任何内、外环境出现变化都需要多个器官系统协调统一来维持内环境的相对稳定。这就是说，人体内环境稳态是依靠神经-体液-免疫调节机制来实现的。



活动

案例分析

病例研究是医生工作中的重要内容，通过分析病例可以帮助医生诊断患者的疾病并制订合理的治疗方案。

目的要求

1. 阅读并分析病例，描述病例中患者内环境理化因子的变化。
2. 分析内环境理化因子偏离正常范围对机体造成的影响。

活动提示

以4人为一小组进行小组合作学习，分析下面的两个病例并讨论问题。

患者症状

病例A，女，30岁，自诉3天前开始出现咳嗽、咽痛症状。今日因体温38.9℃入院发热门诊就诊，患者诉浑身肌肉酸痛，伴乏力。

病例B，男，52岁，因昏迷前来急诊。自一个月前患者妻子去世后，情绪逐渐低落。其妻在世时，患者只是适度饮酒，但近几周饮酒量明显增大，并且进食量很少。周六女儿回家探望他，发现其躺在客厅沙发上，失去知觉，桌上

有两个空酒瓶。经检查发现，其不能被唤醒，呼吸深而有声，呼出气体可闻及酒精味，体温 35.5 ℃。

实验室检查，血标本送检结果见表 1-2。

表 1-2 病例 B 血标本检查结果

血浆或血清	测定值	参考值
酒精	500 mg/dL	0
葡萄糖	2.7 mmol/L	3.6~6.1 mmol/L
乳酸	8.0 mmol/L	0.5~2.2 mmol/L
pH	7.21	7.35~7.45

讨论

1. 病例 A 和病例 B 内环境中的哪些理化因子发生了变化？
2. 通过对上述两个病例的分析，说明内环境偏离正常范围时，机体会出现什么情况。
3. 内环境理化因子保持稳定对机体的意义是什么？

思考与练习

一、选择题

下列关于稳态的叙述，正确的是（ ）

- A. 内环境中的各种因素是一成不变的
- B. 血糖浓度、尿液中无机盐离子相对稳定属于稳态
- C. 稳态的维持需要神经-体液-免疫调节机制来完成
- D. 人因为剧烈运动而大量出汗会使机体偏离稳态

二、简答题

1. 如果在体外培养人体细胞，你认为应该给细胞提供怎样的培养条件，以保证这些细胞能存活。

2. 小明患严重腹泻，全身无力，医院诊断其患细菌性肠炎。此时小明身体内环境中哪些理化因子偏离了稳态？医生处方中除了消炎药外还有“口服补液盐散（Ⅱ）”，其成分是：氯化钠 1.75 g、氯化钾 0.75 g、枸橼酸钠 1.45 g、无水葡萄糖 10 g。请分析此药的作用。

3. 哺乳动物可通过一定的调节机制维持体温的相对稳定，而爬行动物通常需要利用周围的环境来调节体温，如蛇在阳光的照射下提高身体的温度。请分析说明哺乳动物体温维持相对稳定的意义。

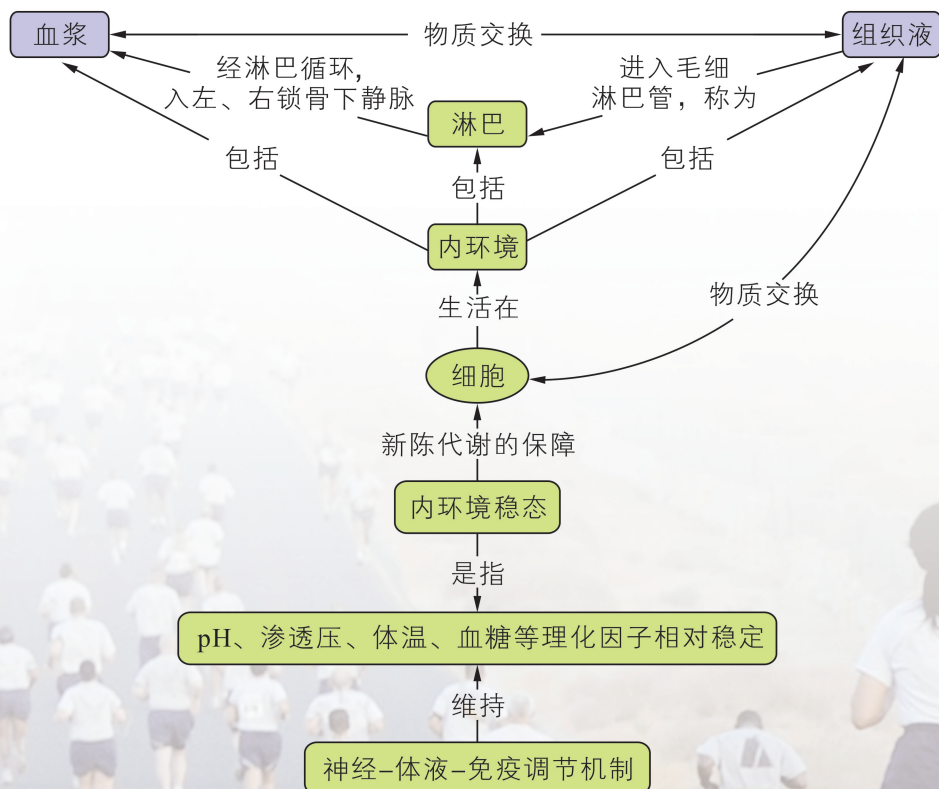
本章小结

人体必须适应不断变化的外部环境，同时也必须维持内部环境的相对稳定。组织液、血浆、淋巴等细胞外液共同构成了人体细胞赖以生存的内环境。细胞通过内环境间接地与外界发生物质交换。呼吸、消化、循环和泌尿系统参与内、外环境的物质交换。

细胞生存通常需要严格的条件。内环境的理化因子，如渗透压、酸碱度、温度、血糖和氧气浓度等，在很小的范围内上下波动，以满足细胞代谢的需要。内环境理化因子的任何变化，都会引发机体的自动调节。机体通过神经-体液-免疫调节机制，协调呼吸、消化、循环和泌尿等系统的活动，共同维持内环境稳态，保障细胞代谢的顺利进行。构成人体的每一个细胞既参与稳态调节又分享稳态成果。

本章知识主要渗透了结构与功能观、稳态与平衡观。尝试运用图示和模型等方法，表征并阐释内环境为机体细胞提供了适宜的生存环境并与外界进行物质交换，解释生活中引起稳态偏离的原因，以养成健康生活的意识和习惯，培养科学素养。

本章知识结构图



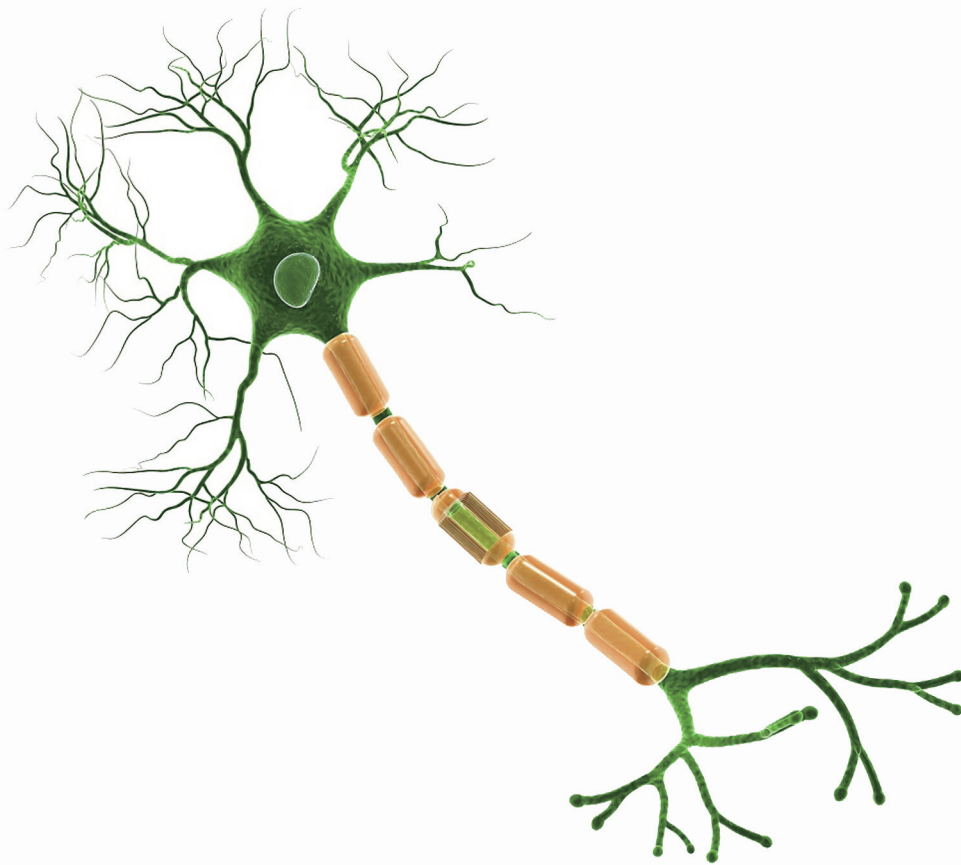
第二章 神经调节



动物的奔跑

落日的余晖映衬着广袤无际的草原，一只羚羊正悠闲自在地觅食，享受着夜幕降临前的美餐。猎豹的出现打破了平静的画面，羚羊顿时扬起四蹄奋力狂奔，草原上奔跑的猎豹和羚羊展开了一场生死时速的较量。

在这场奔跑的较量中，猎豹和羚羊的运动都依赖收缩特定部位的骨骼肌。骨骼肌的收缩是在复杂的神经系统的支配和调节下实现的，这个由一个个神经元细胞组成的连接全身所有器官的网络系统控制着动物的运动，使得动物能够快速应对复杂多变的环境。那么，神经系统的结构是怎样的？神经调节为什么能对内、外环境变化做出快速的反应？



我们生活的环境复杂多样，人和动物必须适应外界环境的变化以求得生存和发展。个体的生存能力和保持稳态的能力，在很大程度上取决于其感知内、外环境的变化并做出反应的能力，这种能力主要依赖人和动物的神经系统。

学习目标

1. 概述神经调节的结构基础，认识生命系统结构与功能的整体性。
2. 分析神经冲动的产生与传导，解释突触的信号传递。
3. 分析低级神经中枢和高级神经中枢在维持稳态中的作用。
4. 说明条件反射和非条件反射对生命活动的意义。
5. 通过对药物依赖和毒品成瘾的分析，认同健康的生活方式，珍爱生命，远离毒品。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 通过分析反射弧的组成、神经系统受损对人体运动等行为的影响，学会基于生物学事实和证据进行逻辑推理的思维方法。
2. 关注药物依赖和毒品、精神疾病等社会中的科学议题，参与讨论并做出理性解释，主动向他人宣传健康生活和关爱生命等相关知识。

第一节 神经系统是神经调节的结构基础

动物对环境的迅速反应主要是通过神经调节实现的。神经系统能感受机体内、外环境的变化，直接或间接地协调各器官、各系统的活动，使它们相互配合，形成一个整体，使人和动物能应对内、外环境的各种变化，维持正常的生命活动。人体神经系统由哪些器官组成？其结构单位是什么？神经元的基本特征是什么？

本·节·要·点

- 中枢神经系统
- 周围神经系统
- 神经元
- 神经冲动

人体神经系统由中枢神经系统和周围神经系统组成

人的神经系统分为中枢神经系统和周围神经系统两部分。中枢神经系统包括脑和脊髓。周围神经系统包括与脑相连的脑神经和与脊髓相连的脊神经。若从功能上划分，周围神经系统分为传入神经（感觉神经）和传出神经（运动神经）。传出神经又可分为支配骨骼肌的躯体运动神经和支配内脏器官的植物性神经。植物性神经还可再分为交感神经和副交感神经（图2-1）。

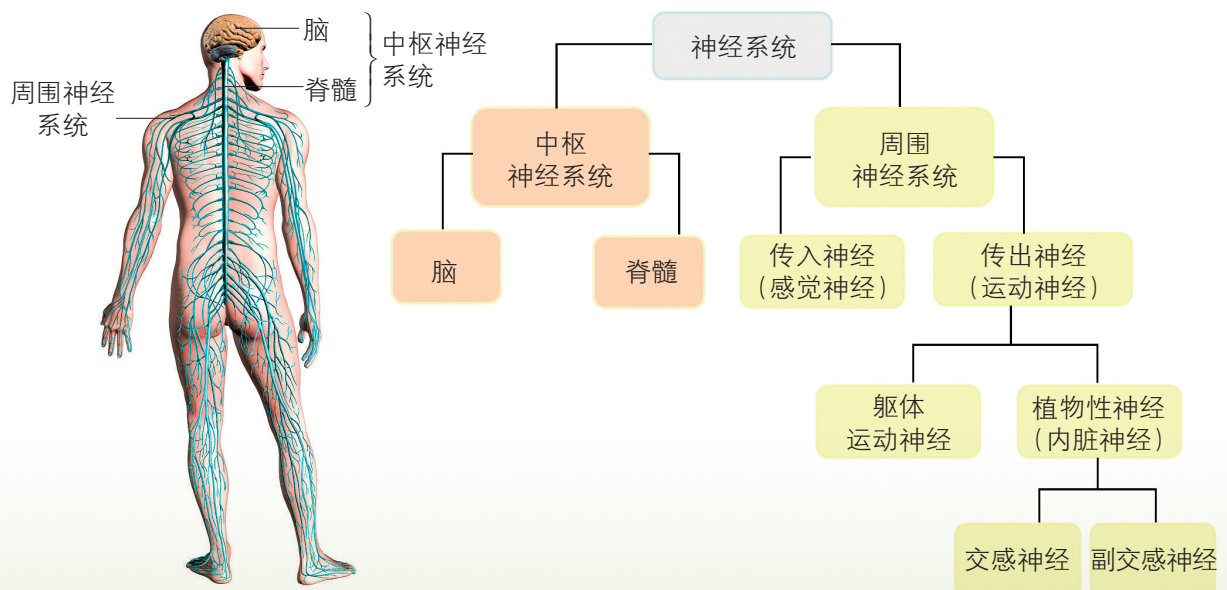


图2-1 人体神经系统的组成

神经元是人体神经系统的基本单位

人体的神经系统是由几百亿到上千亿个神经细胞（神经元，neuron）和数目更多的支持细胞（胶质细胞，glial cell）构成的。

神经元是神经系统结构和功能的基本单位。神经元一般包含胞体、树突、轴突三部分。树突是神经元胞体发出的如树枝状的短突起，是神经元接收信息的结构。轴突是神经元胞体发出的长突起，又称神经纤维，是神经元传出信息的结构。

人体内的神经元，根据其功能可分为三大类：感觉神经元、中间神经元和运动神经元（图2-2）。感觉神经元，也称为传入神经元，它通过特化的神经末梢，接受来自内、外环境的刺激，并将信息传递给脑或脊髓。中间神经元分布在脑部和脊髓，连接感觉神经元和运动神经元。运动神经元，也称为传出神经元，它将信息由脑或脊髓传向肌肉或腺体。

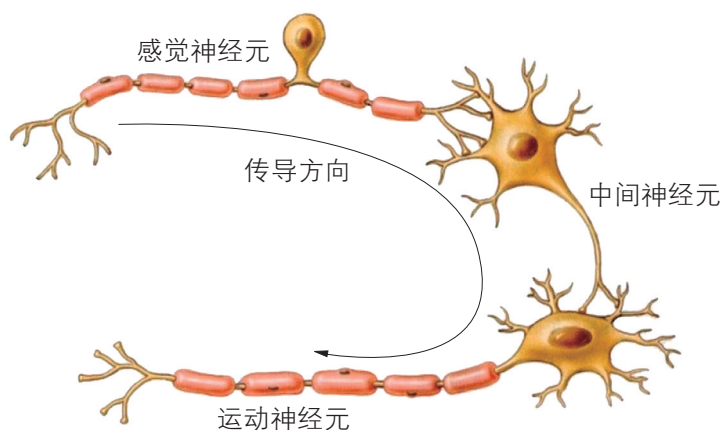


图2-2 神经元的三种类型

运动神经元（图2-3）的胞体位于脊髓，它发出轴突支配骨骼肌纤维。轴突的外周通常有髓鞘。神经元的树突和胞体的表面能接收其他神经元轴突末梢的信息。

神经元是一种可兴奋细胞。兴奋是指某些组织（如神经组织）受到刺激后，由相对静止状态变为显著活跃状态的过程。可兴奋细胞的特性就是在受到刺激后能迅速产生反应。神经元的基本特性是受到刺激后会产生神经冲动并沿轴突传送出去。

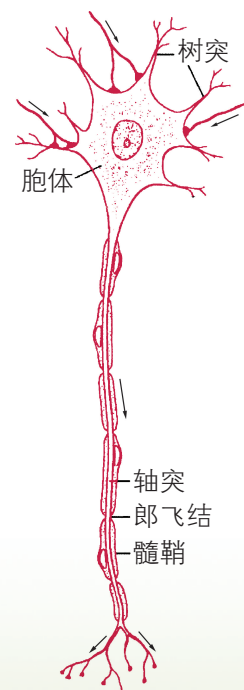


图2-3 运动神经元

我们常用蛙的坐骨神经腓肠肌（图2-4）来研究神经肌肉组织的兴奋性。神经是由许多神经纤维被结缔组织包围而成的。在蛙的坐骨神经上，给一个适当强度的电刺激，腓肠肌便会收缩。



图2-4 蛙的坐骨神经腓肠肌

在蛙的坐骨神经上，放置两个电极b、c，这两个电极连接到一个灵敏电位计上（图2-5）。在静息时，电表上没有电位差（图2-5，1），说明坐骨神经表面各处电位相等。在神经纤维的一端（a）刺激神经（图2-5，2），引起兴奋，便可看到靠近刺激端的电极处（b）先变为负（图2-5，3），再恢复到零（图2-5，4），然后另一端电极处（c）变为负（图2-5，5），再恢复到零（图2-5，6）。可见，刺激神经纤维会产生一个沿着神经传导的负电位，这就是动作电位。

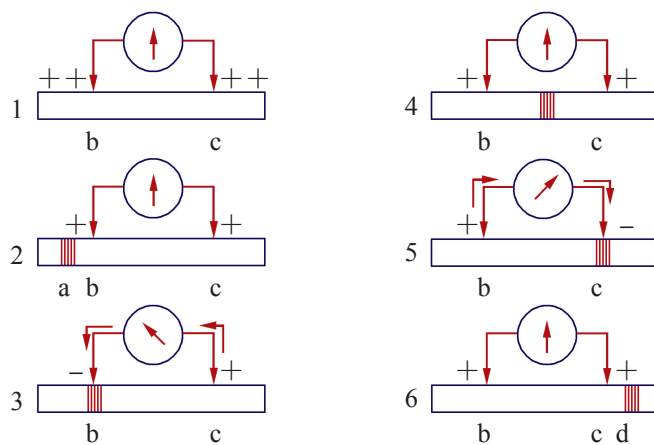


图2-5 蛙坐骨神经的动作电位示意图

以图2-5说明动作电位传播的过程：①放置在静息的神经纤维上的两个电极是等电位的；②在a点刺激神经产生冲动；③冲动传播到b点，b的电位变为负，b、c之间出现电位差，电位计指针偏向b；④冲动离开b点，b、c又恢复到等电位；⑤当冲动传播到c点，c点的电位变为负，b、c之间再次出现电位差，电位计指针偏向c；⑥冲动离开c点，b、c又恢复到等电位。

动作电位就是神经冲动，神经冲动的传导就是一个动作电位的传播。


课外读

神经冲动的传导速度

神经冲动在神经上传导的速度有多大呢？1844年，德国著名的生理学家弥勒（Johannes Peter Muller, 1801—1858）宣称，神经传导的速度是不可测量的，一种刺激由身体的外周传到脊髓和脑后，再引起肌肉收缩的时间是非常短的。

6年后，他的学生亥姆赫兹（Hermann von Helmholtz, 1821—1894）（图2-6），运用自己设计的方法准确测定了蛙坐骨神经冲动的传导速度。他先刺激坐骨神经靠近腓肠肌的一端，随后再刺激坐骨神经靠近脊髓的一端，分别测量出每次从刺激到肌肉反应的时间。然后测量出远端和近端之间的长度，除以两次刺激肌肉反应的时间差，则可计算出神经冲动的传导速度。亥姆赫兹经计算得出蛙坐骨神经冲动传导速度的平均值为27.25 m/s。该速度比物理电流的传播速度慢很多，由此表明神经冲动的传导不同于电流在金属导线中的传导。



图2-6 亥姆赫兹

思考与练习

一、选择题

- 下列神经元中，将神经冲动传送到脊髓的是（ ）
 - 感觉神经元
 - 运动神经元
 - 中间神经元
 - 前三种都可以
- 下列关于神经元的叙述，错误的是（ ）
 - 神经元是构成神经系统结构和功能的基本单位
 - 神经元由胞体和突起组成，其轴突组成神经纤维
 - 神经元接受刺激后能产生兴奋，并能把兴奋传导到其他神经元
 - 神经元包括神经纤维和神经末梢两部分，它在神经组织中大量存在

二、简答题

阅读以下资料：

1771年，意大利解剖学家伽伐尼（Luigi Galvani, 1737—1798）用蛙的坐骨神经腓肠肌标本来研究生物电现象。他用两种金属导体在肌肉和神经之间建立回路，肌肉就会产生颤抖，即发生收缩。他把这种现象归因为“生物电”，肌肉带正电，神经带负

电，金属导体把神经和肌肉之间的回路接通。这是人们第一次将电现象与生命活动联系起来。意大利物理学家伏特（Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, 1745—1827）对伽伐尼的实验提出异议，他认为由于伽伐尼实验中所用导体的金属属性不同，两种不同的金属接触可以产生电位差，所以使蛙肌肉收缩的实际上是一种“双金属电流”，纯属物理现象。伽伐尼则坚持认为生物体内有电现象存在。这就是有名的伽伐尼与伏特的争论。

请继续查找有关资料，回答下列问题：

- (1) 伽伐尼和伏特在科学上突出的成就分别是什么？
- (2) 伽伐尼和伏特的争论在科学发展中有什么价值？

第二节 神经冲动的产生和传导

本·节·要·点

- 动作电位
- 神经冲动的传导
- 突触的传递

人群中，突然有人从后面拍了一下你的肩膀，你立即转过头去，看到了一张熟悉的笑脸。乒乓球台前，你的伙伴发球后，你迅速击球，在空中画出一道完美的弧线。这些行为和动作的完成都是神经调节的结果。神经调节为什么会如此迅速、准确？神经冲动产生的细胞学基础是什么？

环境刺激使得神经细胞产生动作电位

生理学家进行了约半个世纪的探索，最终找到了为什么刺激神经会产生动作电位的答案。他们发现，在静息状态时神经纤维膜两侧存在电势差，膜内的电位低于膜外的电位，即静息膜电位是膜外为正电位、膜内为负电位。也就是说，膜处于极化状态（图2-7A）。在膜上某处给予刺激后，该处极化状态被破坏，称为去极化。在极短时间内，膜内电位会高于膜外电位，即膜内为正电位、膜外为负电位，形成反极化状态（图2-7B）。接下来神经纤维膜又迅速恢复到原来的外正内负状态，即复极化状态（图2-7C）。去极化、反极化和复极化的过程，也就是动作电位——膜外负电位的形成和恢复的过程，全部过程只需数毫秒。

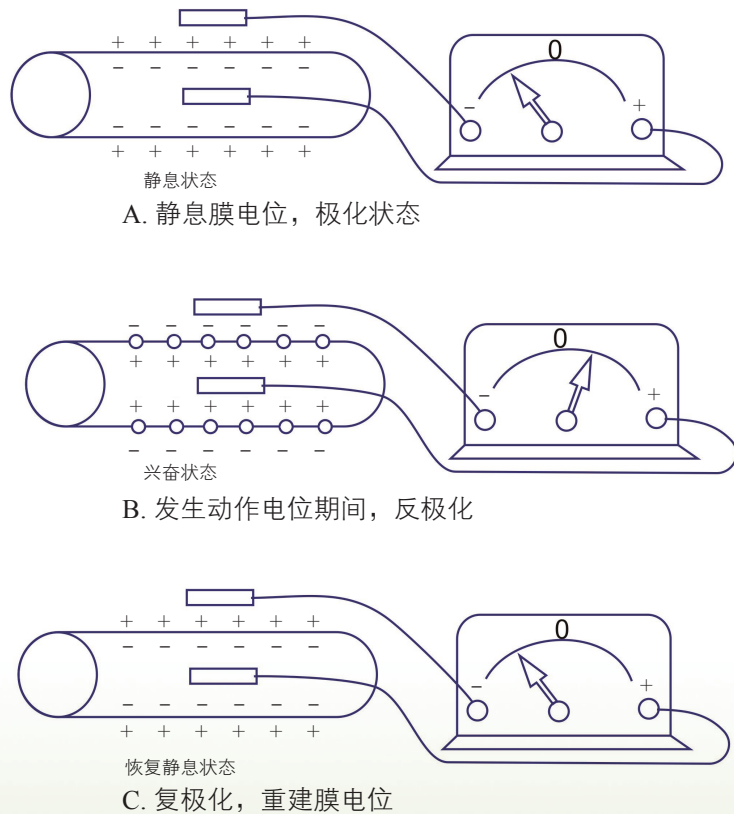


图2-7 动作电位期间膜的极性变化示意图

为什么在神经细胞膜上会出现极化状态呢？这是由于神经细胞膜内、外各种电解质的离子浓度不同，膜外钠离子浓度大，膜内钾离子浓度大（表2-1），而神经细胞对不同离子的通透性各不相同，造成细胞膜内、外电位差异。静息状态下，膜外为正电位，膜内为负电位。

表2-1 细胞质和细胞外液的离子组成

离子	细胞质中的浓度/ (mmol · L ⁻¹)	细胞外液中的浓度/ (mmol · L ⁻¹)	比值
钠离子	15	150	1 : 10
钾离子	150	5	30 : 1

神经细胞的膜外带正电，膜内带负电，主要与以下三个因素相关（图2-8）：①细胞内的有机负离子如蛋白质为大分子，这些大分子不能透过细胞膜到细胞外。②细胞膜上存在Na⁺-K⁺泵，每消耗1个ATP分子，逆着浓度梯度，从细胞内泵出3个钠离子，但只从膜外泵入2个钾离子。③神经细胞膜在静息时对钾离子的通透性大，膜内的钾离子顺着浓度梯度扩散到细胞外，但对钠离子的通透性小，膜外的钠离子不能扩散进来。这些因素使得神经细胞膜上出现极化状态，膜外为正电位，膜内为负电位。

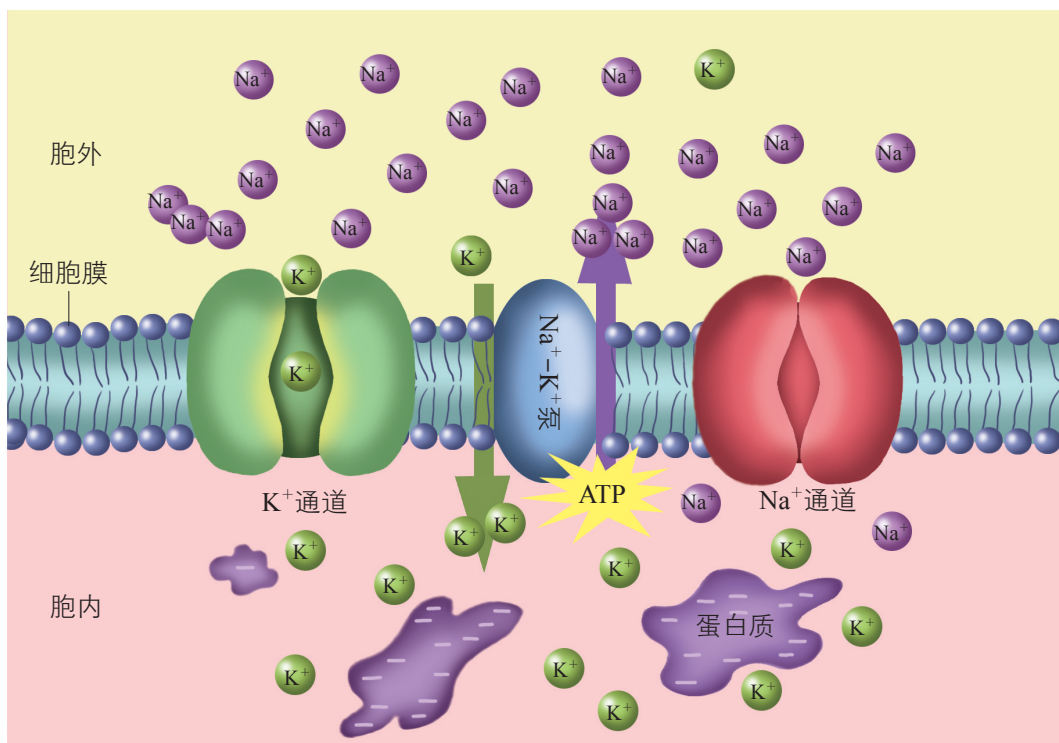


图2-8 静息膜电位的产生

动作电位是怎样产生的呢？在神经纤维膜上存在离子通道，其中包括钠离子通道和钾离子通道。当神经某处受到刺激时会使钠通道开放，于是膜外钠离子在短时间内顺浓度梯度大量涌入膜内，使膜内电势升高，造成了内正外负的反极化现象。但在很短的时间内钠通道又重新关闭，钾通道随即开放，钾离子又很快涌出膜外，使得膜电位又恢复到原来外正内负的状态。

冲动在神经纤维上以电信号的形式传导

当刺激部位处于内正外负的反极化状态时，邻近未受刺激的部位仍处于外正内负的极化状态，两者之间会形成局部电流。这个局部电流又会刺激没有去极化的细胞膜，使之去极化，也形成动作电位。这样，不断地以局部电流（电信号）向前传导，将动作电位传播出去，一直传到神经末梢（图2-9）。

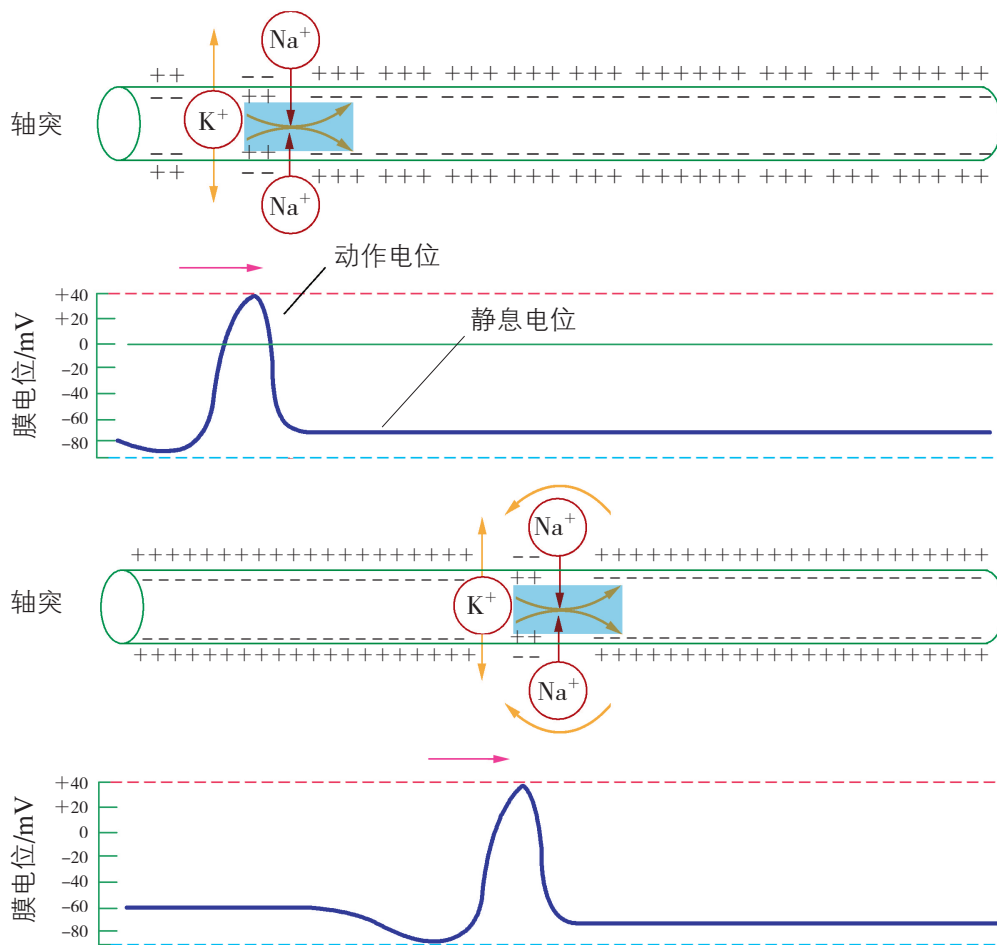


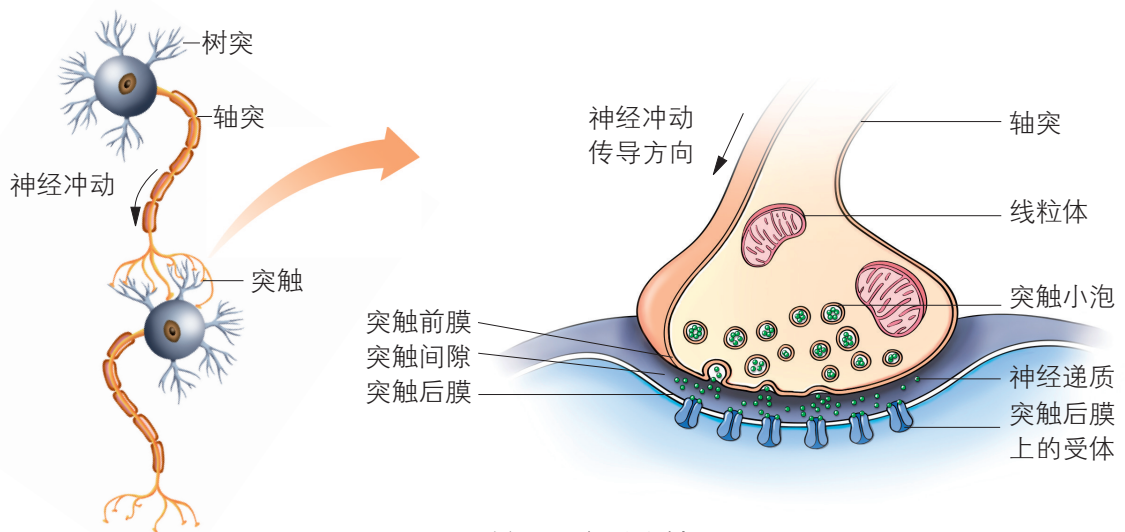
图2-9 动作电位传导示意图

动作电位沿着神经纤维传导时，其电位变化总是一样的，不会随传导距离的增加而衰减。此外，一条神经中包含很多根神经纤维，一根神经纤维传导神经冲动时不影

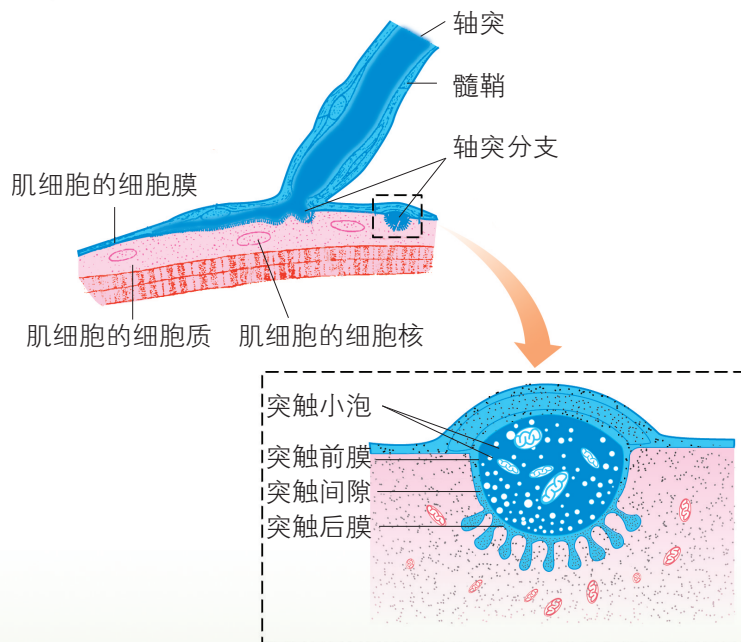
响其他神经纤维，也就是说，各神经纤维之间具有绝缘性。这正像在一根通信电缆中有很多根电话线，通话时彼此不干扰。

神经冲动在突触处的传递通常通过化学传递方式完成

神经冲动如何在神经元之间传递呢？前一个神经元的轴突末梢的细小分支处膨大，与下一个神经元的树突或胞体相接触。两个神经元相接触部分的细胞膜，以及它们之间微小的缝隙，共同形成了突触（synapse，图2-10A）。在突触处，神经末梢的细



A. 神经元之间的突触



B. 神经肌肉接点

图2-10 神经冲动在突触处的传递示意图

胞膜称为突触前膜，与之相对的树突或胞体的细胞膜称为突触后膜。突触前膜与突触后膜之间的间隙，称为突触间隙。

神经末梢内部有许多突触小泡，小泡中含有的化学物质称为神经递质。不同的神经元的轴突末梢可以释放兴奋性或者抑制性的神经递质。现发现的神经递质有乙酰胆碱、多巴胺、去甲肾上腺素、5-羟色胺等。以乙酰胆碱为例，当神经冲动传到末梢后，突触小泡中的乙酰胆碱释放到突触间隙中，并扩散到突触后膜处。乙酰胆碱可以和突触后膜上的乙酰胆碱受体结合。这种受体是一种通道蛋白，结合后通道开放，改变突触后膜对离子的通透性，正离子内流，引起突触后膜去极化，产生动作电位。同时，与受体相结合的乙酰胆碱很快会被相应的酶催化水解，保证神经细胞做好准备接受下一次兴奋的传递。

突触的结构使得神经冲动的跨膜传递只能沿着一个方向进行，即从前一个神经元的轴突传递到下一个神经元的树突或胞体。神经冲动也可以传递到肌肉，使之兴奋而收缩。神经末梢与肌肉接触处称为神经肌肉接点（图2-10B），也称之为突触。



课外读

药物依赖与毒品成瘾

有些药物具有可怕的魔力，往往使一些人着迷，养成用药习惯，这种药物的特殊性质称为药物的依赖性。产生药物依赖性的个体为了获得药物的精神作用或逃避停药后的痛苦，会产生不断地摄取某种药物的强迫性行为。药物依赖性具有精神性依赖和生理性依赖两种。精神性依赖是指药物使人产生的一种特殊的欣快情绪，它驱使用药者周期性、连续反复用药，以满足欢愉感觉和对用药的渴求。生理性依赖是指药物反复使用后产生的一种特殊身体状态，一旦中断用药，机体就会产生严重的身体症状，出现异常痛苦的感受，并有明显的生理功能紊乱，甚至危及生命。具有代表性的依赖性药物主要包括麻醉药品类（吗啡、大麻、可卡因等）、精神药品（巴比妥类的镇静催眠药、苯丙胺类的精神兴奋药等）以及酒精、尼古丁等。

巴比妥类药物具有镇静、催眠、抗惊厥和麻醉等药理作用。 γ -氨基丁酸（GABA）受体是巴比妥类药物发挥中枢抑制作用的靶受体。GABA为广泛分布于中枢神经内的抑制性递质。神经冲动传递时，突触小泡中的GABA作用于突触后膜上GABA受体位点上，使得突触后膜上Cl⁻的通透性增加，Cl⁻顺浓度差进入细胞内，细胞内膜电位增大而引起超极化。巴比妥类药物可通过与GABA受体上的特殊位点结合，延长Cl⁻通道开放的时间而起抑制作用。

毒品是指鸦片、海洛因、甲基苯丙胺（冰毒）、吗啡、大麻、可卡因以及国家规定管制的其他能够使人形成瘾癖的麻醉药品和精神药品。

可卡因，又称为古柯碱，在医疗中被用作局部麻醉药或血管收缩剂，因对中枢神经系统的兴奋作用而导致滥用，成为世界性的主要毒品之一。研究发现，可卡因会延长大脑中与愉悦传递有关的神经递质多巴胺的作用时间。正常情况下，多巴胺与突触后膜的受体结合后，多巴胺转运蛋白会将多巴胺清除出去（图2-11A）。当突触间隙存在可卡因后，其与多巴胺的转运蛋白紧密结合，使得多巴胺在突触中停留的时间延长，不断刺激突触后膜而增加愉悦感（图2-11B）。中枢神经系统长时间暴露在高浓度的多巴胺环境下，会通过减少突触后膜受体数目来适应这种变化（图2-11C）。神经递质受体数目减少，突触变得不敏感，此时人就迫切地需要获得更多的可卡因来维持正常的生理活动，这就是上瘾（图2-11D）。只有这种毒品被永久性除去，神经系统才能逐渐恢复原来受体的数量，但精神上的依赖往往持续更长的时间。据统计，毒品成瘾者在戒除毒品后的复吸率超过90%。因此，请珍爱生命，远离毒品！

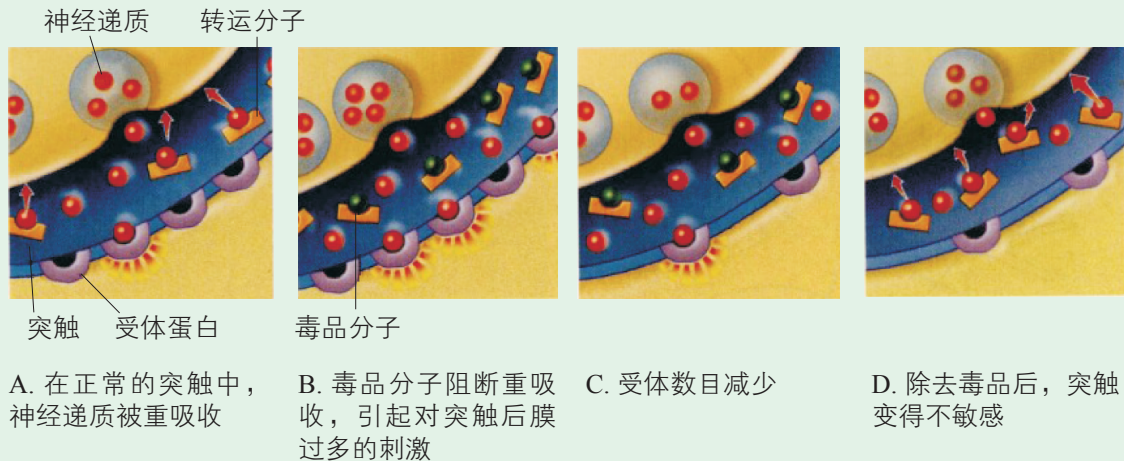


图2-11 毒品成瘾的原因

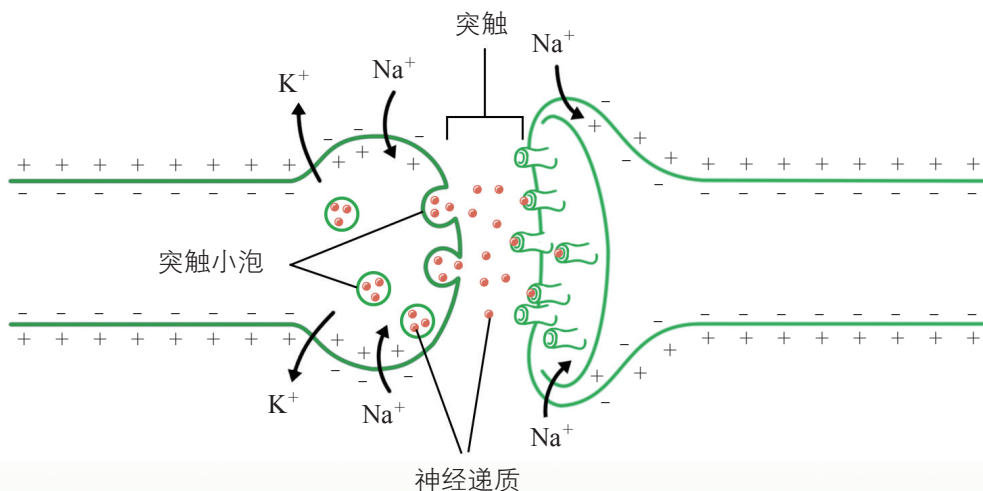
思考与练习

一、选择题

- 下列关于神经兴奋的叙述，正确的是（ ）
 - 静息状态时神经元的细胞膜内外没有离子进出
 - 组织液中 Na^+ 浓度增大，则神经元的静息电位减小
 - 神经纤维接受刺激产生的兴奋以电信号的形式传导
 - 突触间隙中的神经递质经主动运输穿过突触后膜而传递兴奋
- 兴奋在突触处只能单向传递，其原因是（ ）
 - 构成突触的两个神经元之间是有间隙的
 - 递质（如乙酰胆碱）只能从突触前膜释放
 - 构成突触的两个神经元的兴奋是同时发生的
 - 神经纤维膜经过去极化、反极化、复极化的过程
- 已知突触前神经元释放的某种递质可使突触后神经元兴奋，当完成一次兴奋传递后，该种递质立即被分解。某种药物可以阻止该种递质的分解，这种药物的即时效应是（ ）
 - 突触前神经元持续性兴奋
 - 突触后神经元持续性兴奋
 - 突触前神经元持续性抑制
 - 突触后神经元持续性抑制

二、简答题

- 下图为相互联系的两个神经元的部分结构示意图。



请回答下列问题：

- (1) 上图所示的结构通过哪两种类型的信号传递信息？
- (2) 图中左边的神经元是如何将神经冲动传递到右边的神经元的？
- (3) 神经调节为什么反应迅速？神经冲动产生的细胞学基础是什么？

2. 阅读第28页课外读“药物依赖与毒品成瘾”，举例说明药物和毒品是如何影响人的神经系统的。

第三节 人体通过神经调节对刺激做出反应

本·节·要·点

- 反射和反射弧
- 脑和脊髓的调节功能
- 语言活动
- 条件反射
- 内脏活动控制

神经系统通过感受器接受体内外的刺激并做出反应，直接调节或控制身体各器官、系统的活动。神经系统进行调节的方式是怎样的？神经系统是如何协调各种生理活动的呢？

反射是神经活动的基本形式

反射（reflex）是神经系统最基本的活动形式。反射是指在中枢神经系统参与下，机体对刺激所产生的规律性反应。反射活动多种多样，几乎全身的每一块骨骼肌和每一个内脏器官都有反射活动。完成反射的结构基础是反射弧（reflex arc）。



活动

分析反射弧的组成

膝跳反射是一种简单的反射活动。在教室中进行膝跳反射的体验活动，分析反射弧的组成。

目的要求

1. 体验膝跳反射过程。
2. 将体验过程与膝跳反射示意图（图2-12）相联系，归纳反射弧的组成。

材料用具

橡皮槌。

方法步骤

1. 两位同学一组进行膝跳反射的体验活动。

2. 一位同学坐在凳子上，一条腿自然搭在另一条腿上，另一位同学用橡皮槌或手掌边缘快速叩击被敲击者的腿膝盖下方的髌骨韧带。

3. 注意观察小腿的反应。

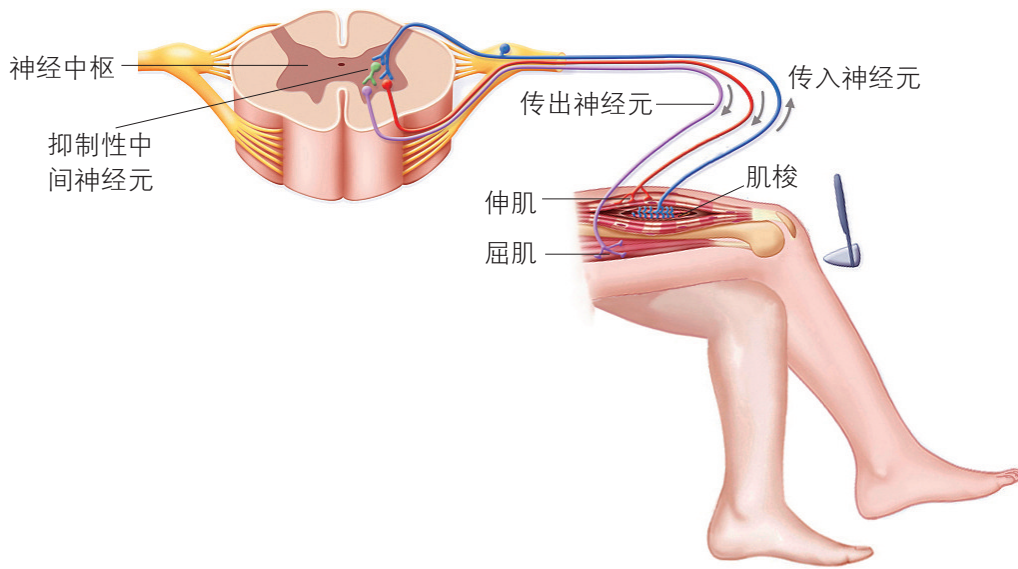


图2-12 膝跳反射示意图

讨 论

1. 回顾神经冲动在神经纤维上传导和在神经元间的传递过程，结合图2-12分析说明神经系统是如何完成膝跳反射的。

2. 反射是在一定的神经结构中进行的，这种结构就是反射弧。归纳反射弧的组成。

反射弧包括感受器、传入神经元、神经中枢、传出神经元和效应器。反射弧中任何一个环节受损伤，反射活动都不能实现。

膝跳反射、脚被钉子扎到的疼痛逃避反射中，神经中枢都位于脊髓中，仅仅依靠脊髓中的神经中枢就可以完成反射。膝跳反射中，先是小腿踢出，然后是脑感觉到膝盖下方被叩击；脚被钉子扎到的疼痛逃避反射中，先是腿部立即缩回，然后是脑感觉到脚部被钉子扎了。这些说明，脊髓通过上行的神经束将神经冲动传给大脑，产生感觉。

脑和脊髓中的神经中枢调控器官、系统的活动

脊髓（图2-13）从脑发出，并沿着脊柱向下延伸。脊髓的内部分为两个区域：灰质和白质。灰质在内，呈H形，是中间神经元和运动神经元的胞体集中的部位。脊髓的灰质中有很多神经中枢，可以完成某些躯体运动和内脏活动的基本反射活动，如膝跳反射、缩手反射、排尿反射等。白质围在灰质四周，由神经纤维聚集而成，主要为上下纵行的神经纤维，色泽白亮。上行与下行的神经束能够传导感觉和运动的冲动，将躯体各部分组织器官与脑的活动联系起来。因此，脊髓参与完成的基本反射都是在高级中枢的调节下进行的。

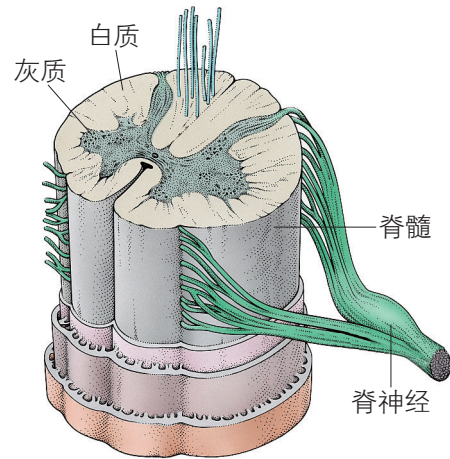


图2-13 人的脊髓

脑（图2-14）位于颅腔内，是整个神经系统的控制中心。人和哺乳动物的脑由大脑、小脑和脑干组成。脑干是脊髓与大脑间的上下通路，脑干中有调节呼吸、循环等活动的基本生命中枢。小脑位于脑的后部，调节躯体运动，控制躯体的协调与平衡。

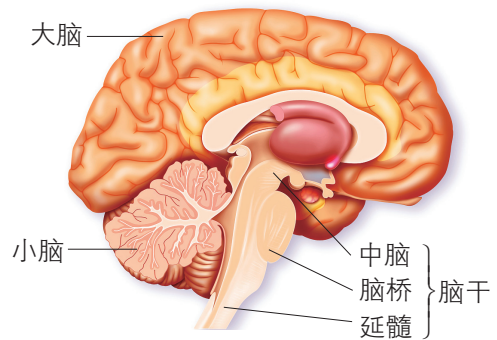


图2-14 人脑的结构

大脑分为左、右两个半球，中间通过胼胝体连接。大脑半球的表面布满深浅不同的沟，沟之间隆起的部位称为脑回。大脑半球可分为四个叶：额叶（位于中央沟之前，外侧沟以上）、颞叶（位于外侧沟以下）、顶叶（位于外侧沟以上，中央沟和枕顶沟之间）、枕叶（位于枕顶沟后方）（图2-15）。覆盖在大脑半球表面的一层灰质称为大脑皮层，是神经元细胞体集中的区域。大脑皮层之下为白质，由大量神经纤维组成。人的大脑是中枢神经系统的最高级部分，数量如此庞大的神经元以及它们之间的极为复杂的联系是神经系统高级功能的基础。研究发现，大脑皮层躯体运动中枢主要位于中央前回，躯体感觉中枢主要位于中央后回，视觉中枢主要集中在大脑皮层枕叶后部，听觉中枢主要集中在颞叶的上部。

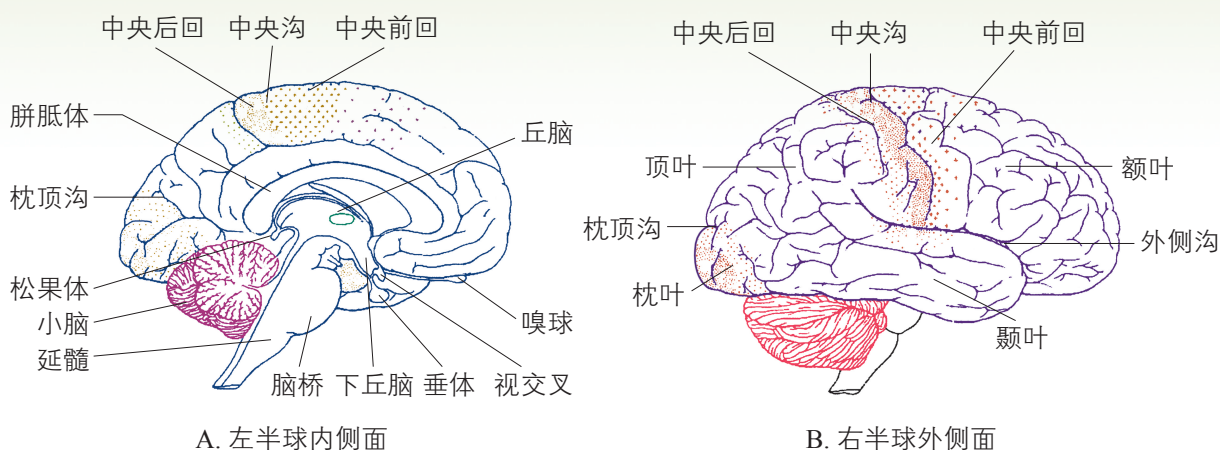


图2-15 人大脑的两个半球



活动

分析神经系统受损对人体运动行为的影响

当人体的神经系统受到损伤时，机体往往会出现病症。阅读病例，分析神经系统受损对患者的运动行为产生了哪些影响。

目的要求

1. 阅读并分析病例，分析病例中患者神经系统的受损部位。
2. 分析神经受损对人体的运动行为造成的影响。

活动提示

以4人为一小组进行小组合作学习，分析下面的两个病例并讨论问题。

患者A 男，40岁，失足从高处坠落，臀部着地摔伤，急送医院就诊。CT检查见第11胸椎压缩性骨折，脊髓受压。局部明显压痛，双下肢瘫痪，感觉丧失。有排尿活动，但不受控制。经医生诊断为胸腰段脊柱脊髓损伤。

患者B 女，53岁，于入院前一日下午4时出现无明显诱因的精神紧张、烦躁不安。当时肢体活动正常，1h后出现四肢抖动，强哭强笑，行为异常，送医院就诊。头颅CT检查提示：左侧额叶脑出血（量约20 mL）。为进一步诊治，以“急性脑血管病（脑出血）”收住神经内科。

讨论

1. 阅读患者A和患者B的病例，分析两位患者是神经系统的什么结构受损。
2. 分析说明患者A和患者B的神经受损是如何影响人体的运动行为的。

位于脊髓的低级神经中枢和脑中相应的高级神经中枢相互联系、相互协调，共同调控器官、系统的活动，维持机体的稳态。

条件反射是大脑皮层控制的高级神经活动

高等动物的反射有两种：非条件反射和条件反射。非条件反射是生来就具有的先天性反射。例如，眨眼反射、婴儿的吮吸反射、进食过程中的吞咽反射等。条件反射是建立在非条件反射的基础上，在生活过程中建立起来的反射。例如，当我们听到上课铃声时会做好上课的准备；经常用食物和铃声同时刺激实验狗，使得狗对铃声建立了条件反射。这些反射活动是在后天生活的过程中建立起来的，是大脑皮层参与的高级神经活动。狗听到铃声就分泌唾液，是把铃声当作食物就要出现的信号，有利于为进食提前做好准备。后天建立起来的条件反射提高了人或动物适应环境变化的能力。

语言活动是由大脑皮层控制的高级神经活动

1860年，法国外科医生布罗卡（Paul Broca，1824—1880）发现，人大脑左半球额叶后部有一鸡蛋大的区域如果受到损伤，则患者可以理解语言，但不能说完整的句子，也不能通过书写表达他的思想。现在把这个区称为表达性失语症区，或布罗卡区（图2-16）。后来，韦尼克（Carl Wernicke，1848—1905）又发现人大脑左半球颞叶的后部与顶叶和枕叶相连接处是另一个与语言能力有关的皮层区，现在称为韦尼克区（图2-16）。这个区受损伤的患者可以说话，但不能理解语言，即可以听到声音，却不能理解它的意义。不同区域的皮层功能有所分工，语言活动的神经中枢位于大脑皮层。

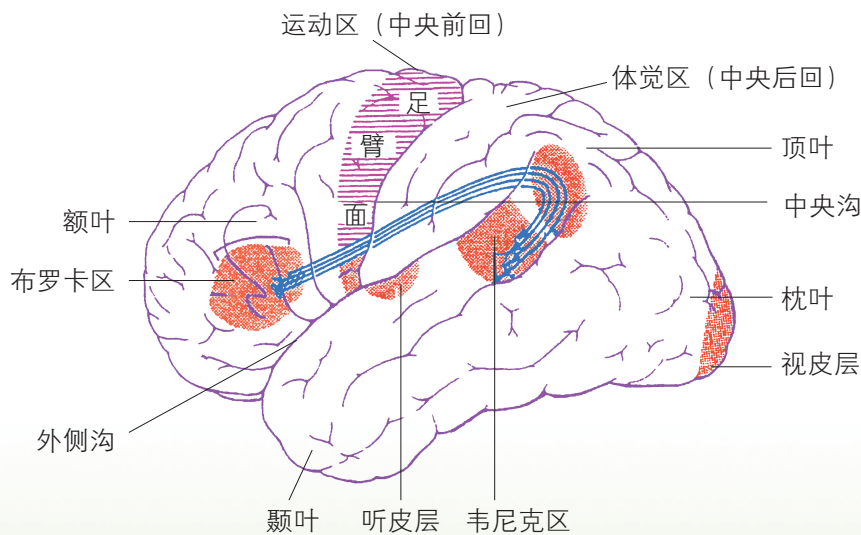


图2-16 人大脑左半球外侧面的功能定位

植物性神经调节内脏的活动

膝跳反射、缩手反射等反射产生运动的效应器是接受意识支配的骨骼肌，这类反射称为躯体反射。构成消化道的平滑肌、心脏的心肌，也要受神经系统的控制，也有它们的反射活动和规律，但一般不会被我们的意识所支配，这类反射被称为内脏反射。

控制内脏器官的传出神经称为植物性神经，也称自主神经。植物性神经包括交感神经和副交感神经（图2-17）。身体的绝大多数内脏器官既接受交感神经的支配，也接受副交感神经的支配，形成双重神经支配。在一个有双重神经支配的器官上，交感神经和副交感神经的作用往往是拮抗的，如交感神经兴奋使心跳加速，副交感神经兴奋使心跳减慢，这种交互作用使得神经系统对内脏活动的调节更灵敏、更有效、更准确。

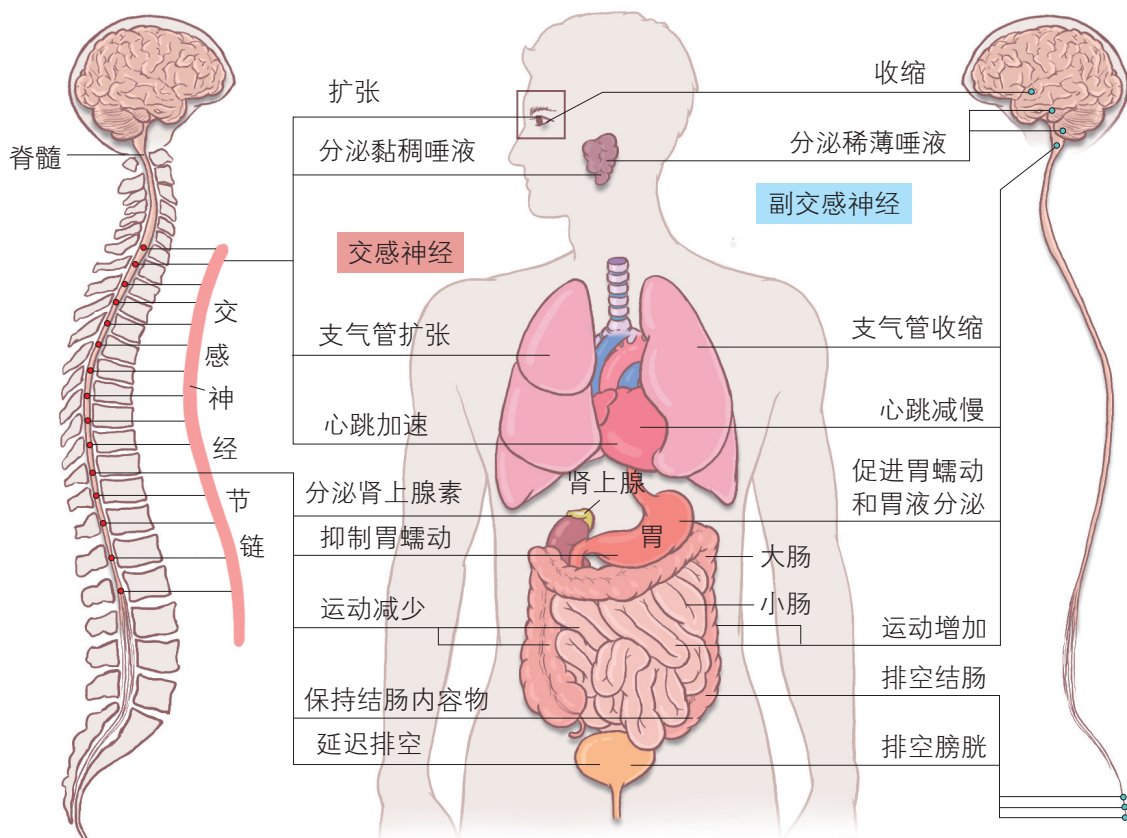


图2-17 植物性神经包括交感神经和副交感神经

植物性神经的主要功能是维持机体内环境的稳态，主要包括调节体温、心率、血压、肠胃蠕动、腺体的分泌以及膀胱的运动等，这些生理活动是个体的基本生存需求。

躯体反射和内脏反射是维持动物机体生存和健康的两类反射活动。通过躯体反射调节骨骼肌的活动，使动物体对外部环境的变化产生迅速的反应；植物性神经系统调节内脏器官的活动，对维持内环境的稳态发挥重要作用。

 课外读

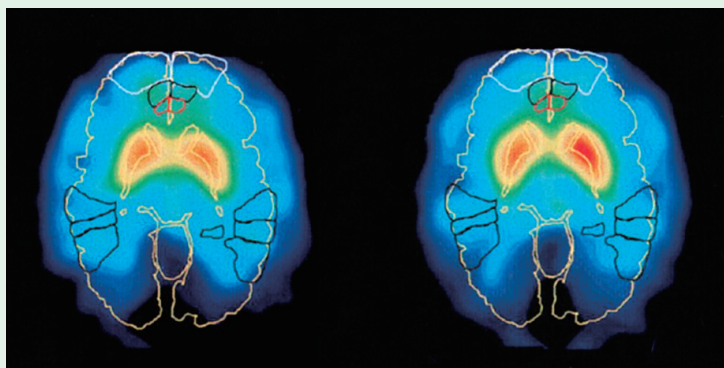
精神疾病的科学

生活中,每个人都可能偶尔感到伤心或郁闷。我们曾在电影中看到过精神疾病患者和他们疯狂的行为,也或多或少接触过精神疾病,但是我们真正了解它们吗?或者知道什么是精神疾病吗?其实,我们对精神疾病的许多先前的认识都是不正确的。精神疾病可以定义为一种改变人的思想、感觉和行为的健康问题,它造成了患者的痛苦和机能障碍。

精神疾病与其他疾病一样,有些患者会患病较重,而另一些患者则比较缓和。一些患有精神疾病的人,尤其是那些患病较缓和的人看上去并不像生病,而另一些患者可能会表现出明显的症状,如困惑、激动或退缩。精神疾病有许多种,包括抑郁症、精神分裂症、多动症、自闭症、强迫症等。每一种精神疾病都通过不同的方式改变人的思想、感觉和行为。

并不是所有脑的疾病都归入精神疾病。癫痫、帕金森病和硬化症是脑的疾病,但是它们属于神经系统疾病而非精神疾病。科学家对精神疾病患者的研究发现,精神疾病也是与脑的结构、化学物质、功能的变化相关联,有其生物学基础。

在对脑的活动以及精神疾病如何改变脑的研究中,正电子发射断层显像(PET)是一种被广泛使用的技术。PET技术可以用于研究脑活动的变化对行为和生理的影响。通过PET技术发现,正常人的脑和精神分裂症患者的大脑活性区域和活跃程度发生了改变(图2-18)。不过,通过药物治疗和精神治疗,精神疾病患者脑部的PET扫描图会重新接近正常人。



正常人的脑

精神分裂症患者的脑

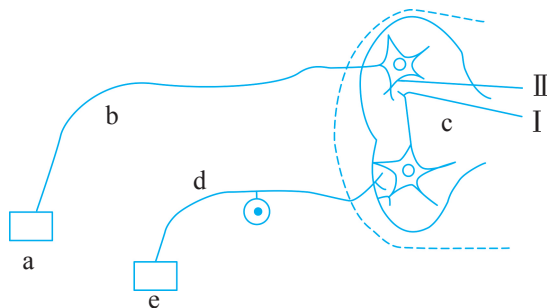
图2-18 正常人和精神分裂症患者脑部的PET扫描图

“患精神疾病的人很危险，应该关在精神病院里。”这种观点反映了公众对精神疾病患者的普遍歧视。当人们患上疾病比如支气管炎、哮喘、糖尿病或心脏病时，大多数人会毫不犹豫地去看医生。然而，许多精神疾病患者没有获得本来能缓解其精神痛苦的治疗。据统计，约三分之二有精神疾病的人没能获得他们需要的帮助。这种疾病与身体患其他疾病一样，是可以通过治疗而得到有效改善的，因此患有精神疾病应及时就医。

思考与练习

一、选择题

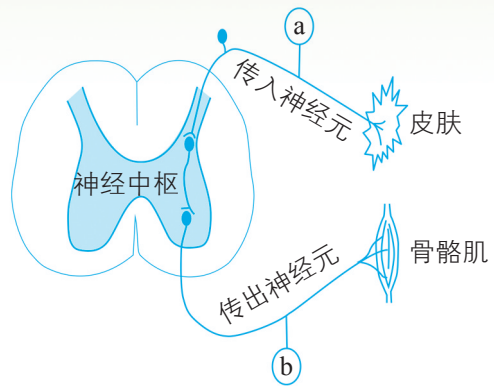
- 短跑运动员听到发令枪声后迅速起跑，下列叙述正确的是（ ）
 - 该反射有多个中间神经元先后兴奋
 - 起跑动作的产生是非条件反射的结果
 - 调节起跑动作的神经中枢是听觉中枢
 - 起跑反应的快慢取决于小脑兴奋的程度
- 下图是反射弧的模式图（a、b、c、d、e表示反射弧的组成部分，I、II表示突触的组成部分）。下列叙述正确的是（ ）



- 切断d、刺激b，不会引起效应器收缩
 - 兴奋在结构c和结构b的传导速度相同
 - 正常机体内兴奋在反射弧中的传导是单向的
 - II处发生的信号变化是电信号→化学信号→电信号
- 聋哑人之间用手语交谈，要依靠（ ）
 - 语言中枢、躯体感觉中枢
 - 视觉中枢、躯体感觉中枢
 - 躯体感觉中枢、语言中枢、视觉中枢
 - 视觉中枢、语言中枢、躯体运动中枢

二、简答题

1. 将蛙脑破坏，保留脊髓，做蛙心静脉灌注，以维持蛙的基本生命活动。暴露蛙左后肢屈反射的传入神经元和传出神经元，分别连接电位计a和b。将蛙左后肢趾尖浸入0.5%硫酸溶液后，电位计a和b有电位波动，出现屈反射。右图为该反射弧结构示意图。

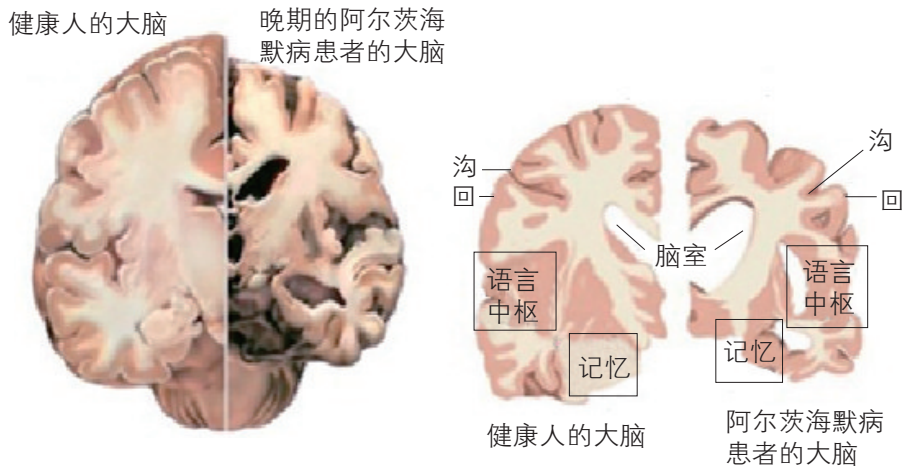


(1) 用简便的实验验证兴奋能在神经纤维上双向传导，而在反射弧中只能单向传递。

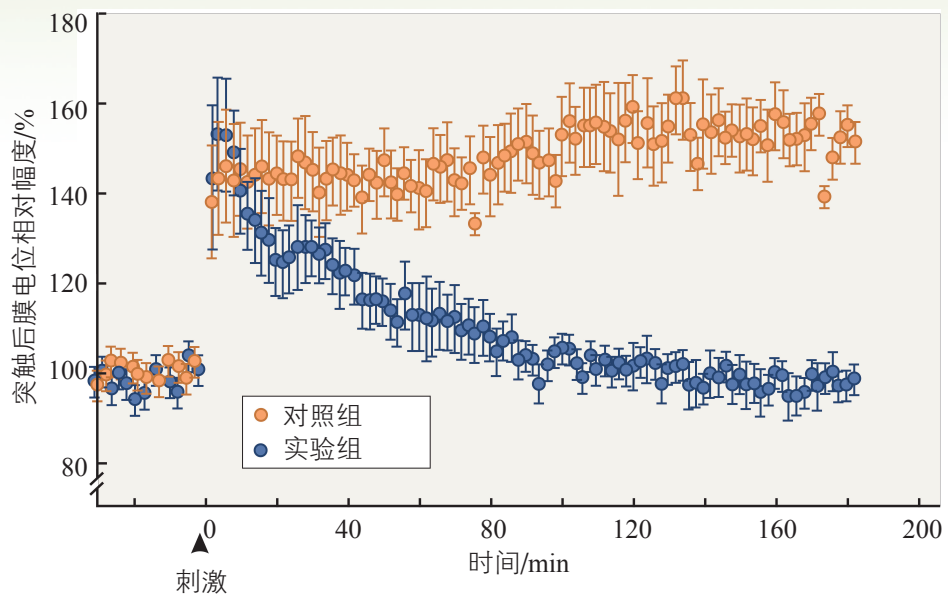
(2) 若在灌注液中添加某种药物，将蛙左后肢趾尖浸入0.5%硫酸溶液后，电位计a有波动，电位计b未出现波动，左后肢未出现屈反射，其原因可能有：①_____；②_____。

2. 阿尔茨海默病 (Alzheimer disease, AD) 是一种多发于老年人群的神系统退行性疾病，又称老年性痴呆。患者主要表现为渐进性的记忆力衰退、认知能力下降，出现情感及语言障碍，最终因运动、感觉等功能都逐渐丧失而导致死亡。经脑解剖发现，患者的大脑皮层弥漫性萎缩，沟回增宽，神经元大量减少，显微镜下可见神经元之间存在着淀粉样蛋白斑块。

(1) 请结合下图尝试推测患者出现记忆衰退和语言障碍的原因。



(2) 随后的研究发现，淀粉样蛋白斑块是由 β -淀粉样蛋白 (β -amyloid β -protein) 在细胞外聚集而成的。研究人员以小鼠为实验材料，探究了 β -淀粉样蛋白的聚集对突触后膜电位的影响。实验组处理如下：向成年小鼠的脑室中注射 $1.5 \mu\text{L}$ 的 β -淀粉样蛋白提取物，一段时间后，刺激小鼠的海马区域 (与记忆相关)，结果如下图中蓝色数据所示。



橘色曲线为对照组的实验结果，你认为该实验中对照组应如何处理？分析数据可能得出什么结论？

本章小结

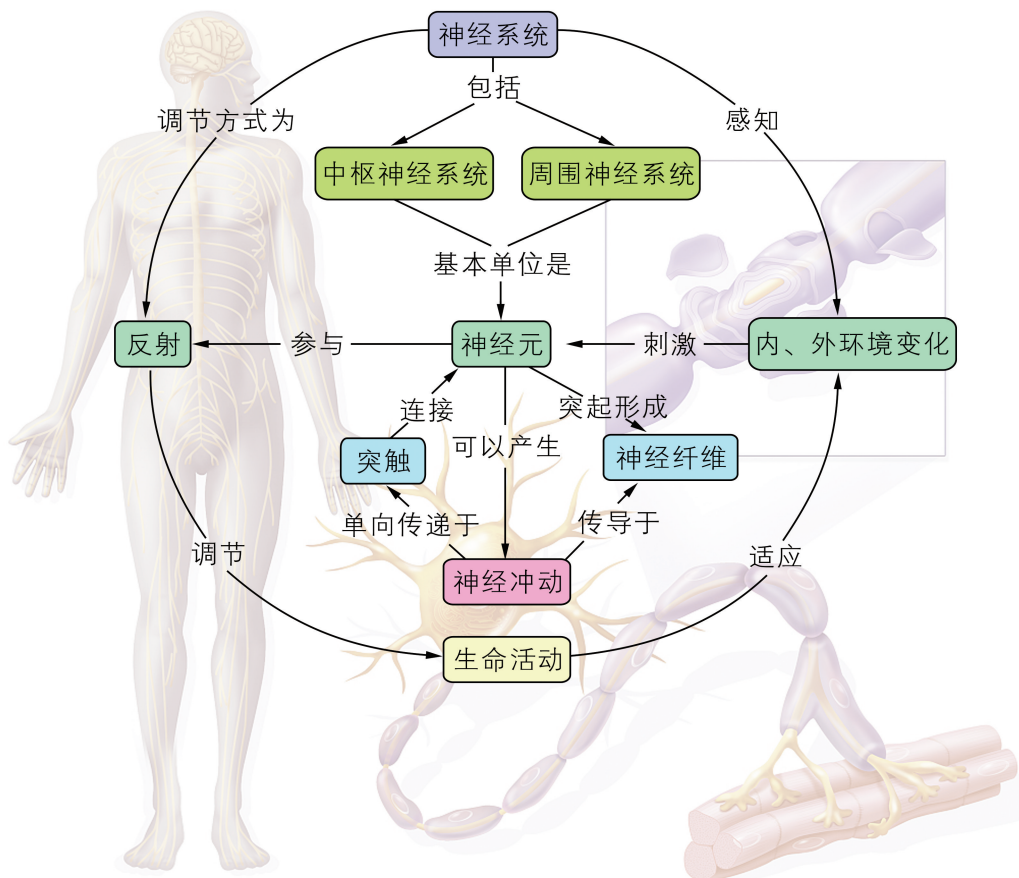
神经系统能够及时感知机体内、外环境的变化，并做出反应调控各器官、系统的活动，维持机体稳态。

高等动物的神经系统可分为中枢神经系统和周围神经系统两部分。位于脊髓的低级神经中枢和脑中相应的高级神经中枢相互联系、相互协调，共同调控器官、系统的活动。周围神经系统还可分出负责调节内脏活动的内脏神经，又称自主神经或植物性神经。

人的神经系统由神经元和神经胶质细胞构成。神经元是可兴奋的细胞，在静息状态下，细胞膜内外具有电位差，受到刺激后可产生动作电位，也称神经兴奋或神经冲动。神经冲动在神经纤维上以电信号的形式传导，在神经元之间通常以化学递质的形式单向传递。由多个神经元构成的反射弧是反射活动的结构基础，保证机体对环境信号做出快速反应。反射包括非条件反射和条件反射，均有利于人和动物的生存和繁衍。条件反射建立的意义在于使动物适应变化的环境。大脑是中枢神经系统的最高级部分，可分为若干个功能区，控制着语言和条件反射等高级神经活动。

本章知识主要渗透了结构与功能观、稳态与平衡观。在神经调节的学习中，运用文字、图示、模型等方式来表征和阐明神经调节的机制和原理，培养科学素养。通过对药物依赖和毒品成瘾的分析，旨在认同和采纳健康文明的生活方式，并能向他人宣传毒品的危害，提升关爱生命的社会责任意识。

本章知识结构图

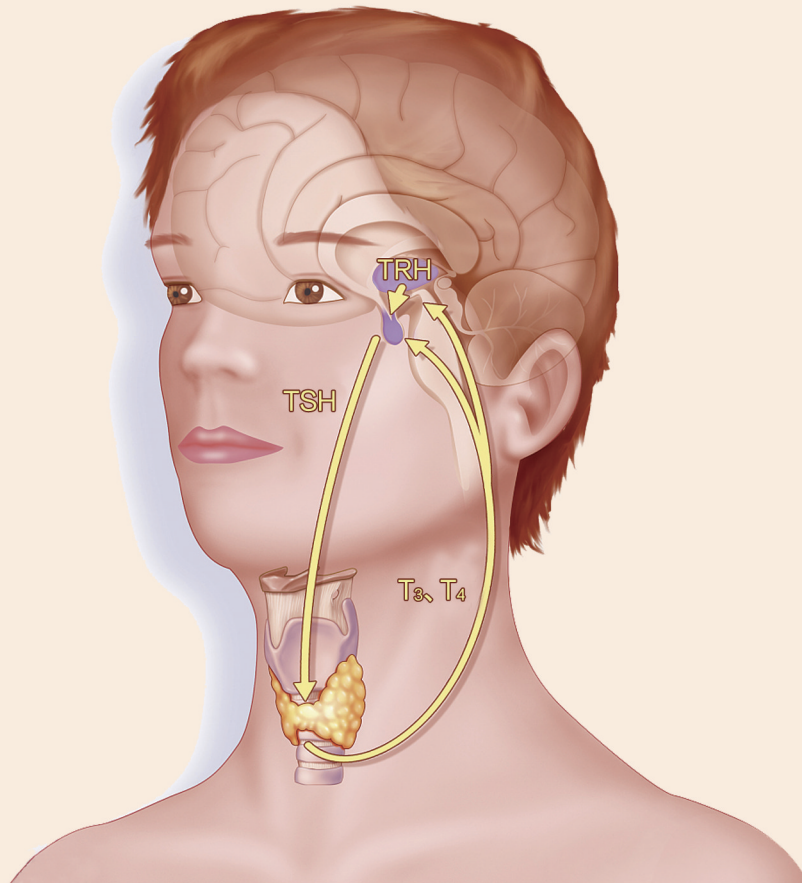


第三章 体液调节



猕 猴

猕猴生活在一个亲密的大家庭中，成员们共同生活并养育后代。但并不是每个个体都同时生育，因为个体间的激素水平是不一样的。猕猴生命活动的调节不仅存在神经调节，还存在体液调节。激素通过体液的运输发挥调节作用，能强烈影响猕猴的生理和行为。那么，人和猕猴能分泌哪些激素？这些激素发挥什么生理作用？体液调节和神经调节的关系是怎样的呢？



内分泌系统分泌激素（化学信号）通过体液的运输传递调节信息，在机体生长、发育、繁殖和维持内环境稳态方面发挥重要作用。在动物面对紧张和危险时，体液调节配合神经调节做出及时的反应，保证动物的生存。内分泌系统与神经系统相辅相成，共同调节生命活动，维持机体内环境稳态。

学习目标

1. 说出内分泌系统的组成及相关激素的生理作用。
2. 举例说明激素通过分级调节和反馈调节机制维持内环境稳态。
3. 举例说出神经调节和体液调节协同配合，共同应对环境变化，维持机体稳态。
4. 运用科学方法研究和分析内分泌腺的功能和激素的生理作用。
5. 感悟体液调节经典实验研究体现出的科学本质和科学精神。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 通过分析体液调节的发现过程，分析激素的生理作用等活动，发展演绎推理、模型建构等科学探究能力。
2. 关注激素类药物的利弊等社会中的科学议题，主动向他人宣传健康生活和关爱生命等相关知识。

第一节 体液调节是通过化学信号实现的调节

20世纪初期，人类发现了第一个化学信使——促胰液素，它不仅使人类发现了一个新的化学物质，而且发现了调节机体功能的一个新概念、新领域，动摇了机体完全由神经调节的思想。它指出，除了神经系统之外，机体还存在着一个通过化学物质的传递来调节远处器官活动的方式，即体液调节。体液调节是如何被发现的？人们在探究内分泌系统的组成和功能，以及激素的作用机理方面积累了哪些新的认识？

本节要点

- 体液调节
- 内分泌腺
- 激素
- 受体



活动

分析体液调节的发现过程

科学是在不断自我更正中逐步发展的。科学发展离不开观察、思考、实践和求证，需要突破原有思想观念的束缚，大胆提出猜想和设计精巧的、有说服力的实验。体液调节的发现过程很好地诠释了上述观点。分享一段科学家的故事，感悟科学的特征和科学精神，尝试分析科学研究的一般过程。

目的要求

1. 运用“假说-演绎”法分析斯他林发现体液调节的思维过程。
2. 说明科学的特征。

阅读资料

在19世纪，人们发现胃酸流入小肠后会促进胰腺分泌胰液。学术界普遍认为这是神经调节的结果，即盐酸刺激了分布于小肠的感受器，经由反射弧的传出神经支配胰腺分泌胰液。研究发现，如果去除这段支配小肠的神经，这种现象依然发生。有些科学家坚持认为是神经没有去除干净，称这是一种顽固的神经反射活动。英国科学家斯他林（Ernest H. Starling, 1866—1927）另辟蹊径，对此现象提出了大胆的假说：上述实验中反射弧已经被破坏，但血管还完好，可能是盐酸刺激小肠黏膜，小肠黏膜分泌了某种化学物质，这种化学物质经血液循环运

送到胰腺，刺激胰腺分泌消化液。为了验证这一假说，他把狗的一段小肠剪下，刮下黏膜，将黏膜与稀盐酸混合磨碎，制成提取液注射到另一只狗的血液中，结果引起了胰液的分泌，而单独把稀盐酸输入狗的静脉，不会引起胰液分泌。这个实验有力地证明了他的假说的正确性。斯他林把这种化学物质命名为促胰液素。正常生理状态下，当酸性食糜进入十二指肠，肠黏膜细胞即分泌促胰液素，经血液运送到胰腺，促进胰腺分泌更多的胰液，有利于进一步的消化过程。促胰液素的发现，使人类第一次证明机体还存在另一种调节方式——体液调节。

俄国生理学家巴甫洛夫（Ivan Petrovich Pavlov, 1849—1936）是近代消化生理学的奠基人、诺贝尔生理学或医学奖获得者。他和他的学生在实验中也观察到了同一现象，但他们没能跳出“神经反射”的局限，最终失去了一次发现真理的机会。

分析资料

1. 请用图示方法表示斯他林发现体液调节的逻辑思维过程。
2. 斯他林的实验设计精巧在哪里？为什么说这个实验设计有说服力？

讨论

1. 斯他林发现的体液调节的方式与神经调节的方式有什么不同？
2. 在科学上能有新的发现必须具备哪些品质？
3. 科学具有哪些特征？

激素通过体液传递发挥调节作用

机体产生某种化学物质作为信息分子，经过体液的运输作用于靶细胞，发挥调节作用，这种调节方式称为体液调节。

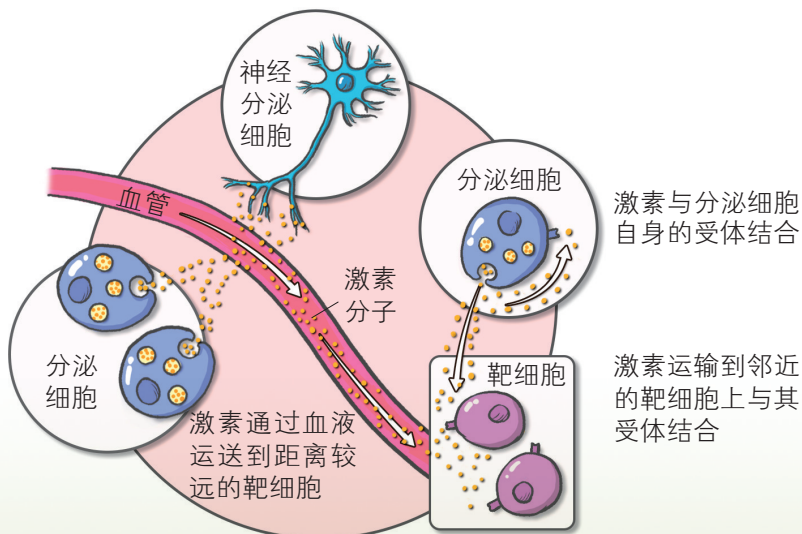


图3-1 化学信号经体液运输作用于靶细胞

激素由人体内分泌腺和内分泌细胞合成并分泌，如促胰液素就是由分布在肠黏膜上的内分泌细胞分泌的。激素会随体液运输自动寻觅靶细胞。靶细胞带有与激素分子特异性结合的受体（图3-1），不具备某种激素受体的细胞，不会对这种激素做出响应，也就是激

素不对这些细胞起调节作用。除激素外， CO_2 、 H^+ 等物质也可以随体液传递，发挥调节作用。血液中的 CO_2 会刺激呼吸中枢，使呼吸加深、加快。

内分泌系统通过分泌激素发挥调节作用

人体内分泌系统包括多种腺体和组织，其中有的内分泌细胞比较集中，形成内分泌腺，如垂体、甲状腺、肾上腺、性腺；有的比较分散，如胃、肠黏膜中的内分泌细胞；有的是神经组织兼有内分泌作用，如下丘脑的神经细胞。图3-2列出了人体主要的内分泌腺及其分泌的主要激素。

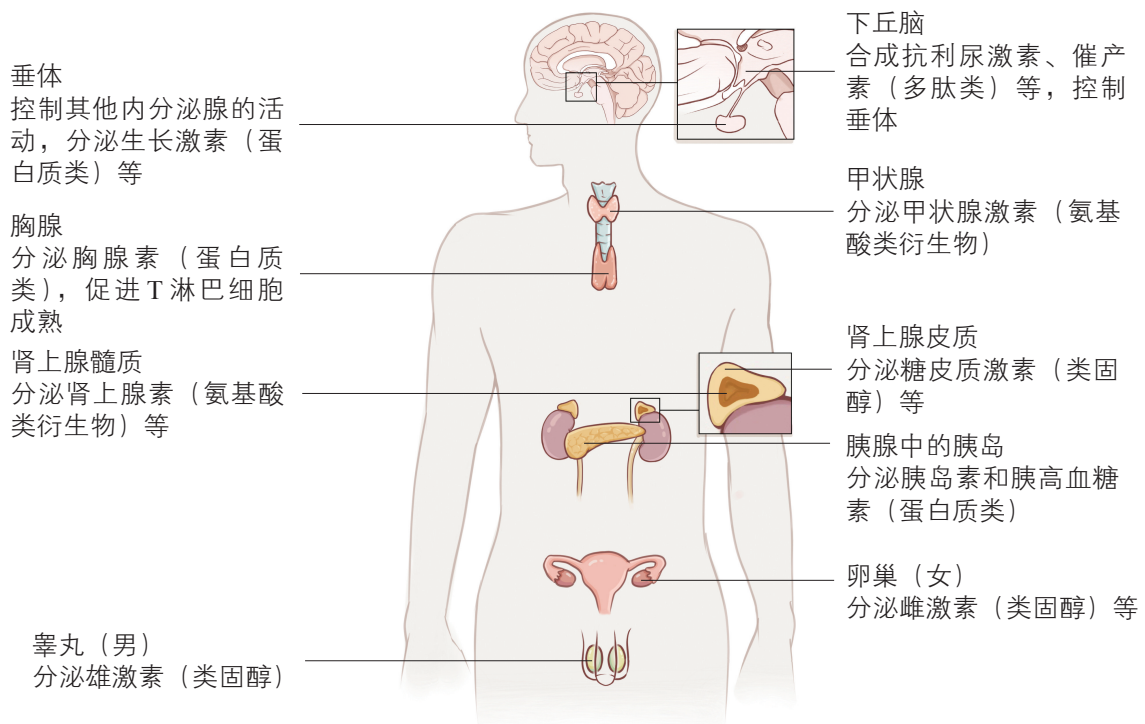


图3-2 人体内分泌腺及其分泌的主要激素

激素对机体的调节作用大致归纳为以下几个方面：第一，参与内环境稳态的调节，如胰岛素和胰高血糖素参与血糖平衡的调节。第二，调节新陈代谢。多数激素都参与调节组织细胞的物质代谢和能量代谢，如甲状腺激素、肾上腺素均可提高细胞代谢的速率，使机体产能增加。第三，调节生长发育和生殖过程，如生长激素、甲状腺激素、性激素的生理作用。

课外读

激素与靶细胞受体结合调节细胞生理活动

激素因其化学本质不同，可以分为固醇类、蛋白质类、肽类、氨基酸衍生物。例如，性激素属于亲脂的类固醇激素，胰岛素是由51个氨基酸组成的蛋白质类激素，下丘脑分泌的抗利尿激素是由9个氨基酸脱水缩合形成的短肽，肾上腺素则是由酪氨酸衍生出来的极性小分子物质。

不同种类的激素作用于细胞的方式不同。脂溶性的类固醇激素穿过靶细胞膜，与细胞内的受体蛋白结合，形成激素-受体复合物，随后与染色质上特定区域结合，激活基因，从而调节靶细胞（图3-3）。

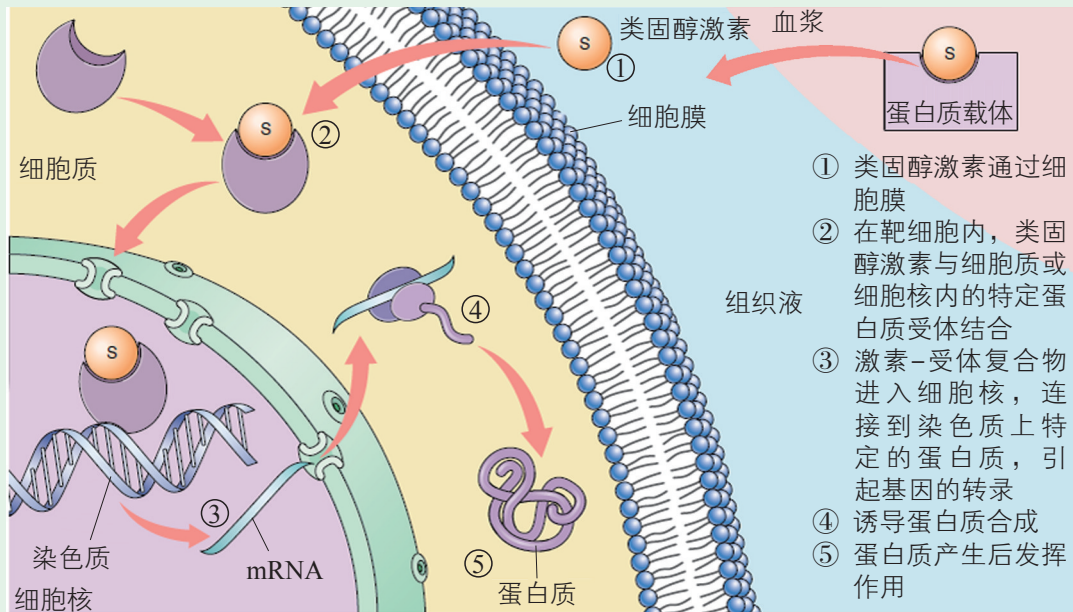
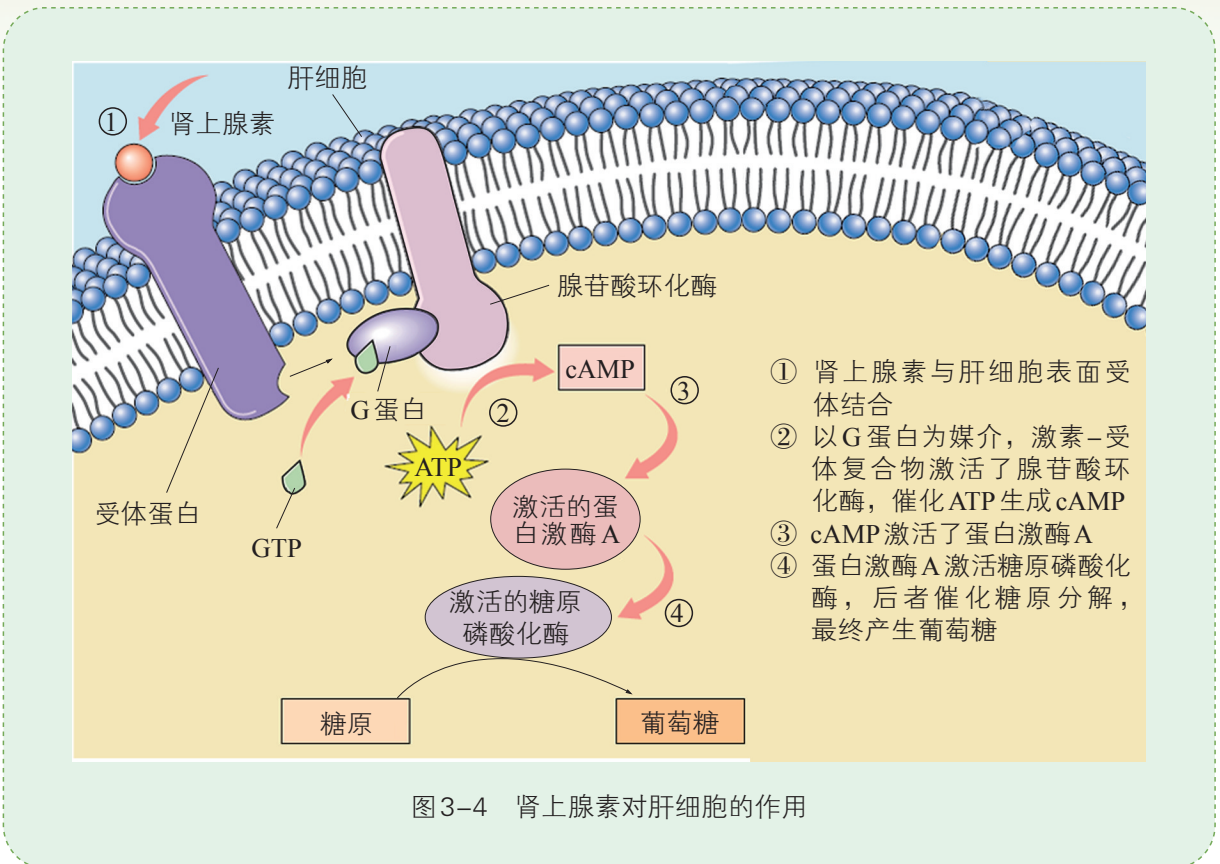


图3-3 类固醇激素作用机制

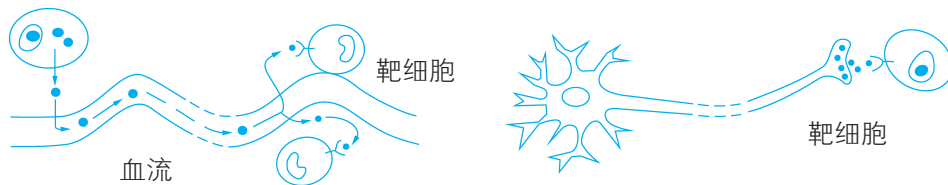
大分子的蛋白质类激素或小分子的亲水性强的激素往往与细胞膜上的特异性受体结合，引起细胞内一系列变化，最终激活某种酶或引发基因表达出新的蛋白质，从而影响细胞代谢。例如，肾上腺素对肝细胞的作用（图3-4）。肾上腺素与肝细胞表面特定受体结合，使受体蛋白的构象发生改变，进而与膜内侧的一些膜蛋白相互作用。这类膜蛋白具有GTP水解酶活性，称为G蛋白。G蛋白与GDP（鸟苷酸二磷酸）结合后，处于非活性状态；与GTP（鸟苷酸三磷酸）结合后，G蛋白被活化并传递信号。G蛋白将细胞外的肾上腺素和细胞内的环腺苷酸（cAMP）联系起来。cAMP是ATP在腺苷酸环化酶的作用下生成的，cAMP通过活化蛋白激酶A，激活糖原磷酸化酶，促使糖原分解，血糖升高。



思考与练习

一、选择题

- 下列属于人体内分泌腺的是 ()
 ①甲状腺 ②唾液腺 ③肾上腺 ④脑垂体
 A. ①②③ B. ①③④ C. ②③④ D. ①②④
- 下图为动物细胞间信息交流方式的示意图。下列叙述错误的是 ()



- 左图表示激素依靠体液运输作用于靶细胞
- 右图表示神经细胞释放神经递质作用于靶细胞
- 神经细胞释放的神经递质发挥作用后会被分解
- 激素远距离运输作用于靶细胞不如递质作用准确

二、简答题

- 激素这种化学信息是如何发挥调节作用的?
- 体液调节与神经调节的方式有什么不同? 体液调节与激素调节的关系是怎样的?

第二节 神经系统通过下丘脑控制内分泌系统

本·节·要·点

- 内分泌受神经系统调控
- 分级调节
- 反馈调节

很久以来，人们便注意到一些神经系统活动引起内分泌变化的事实。一次紧张的考试会引起考生血液中某些激素水平的变化；情绪不安可使妇女月经失调；某些鸟兽感受长日照后，性激素分泌增加，引起繁殖活动。神经系统是如何影响内分泌的呢？

神经系统与内分泌系统存在着某种联系。从解剖学上知道，垂体位于脑的下部，通过一个短柄与下丘脑相连（图3-5）。

成人的垂体大小如豌豆。垂体分为两部分，前部是腺质的，称为腺垂体或垂体前叶；后部是由下丘脑神经细胞的一束轴突构成的，称为神经垂体或垂体后叶（图3-6）。

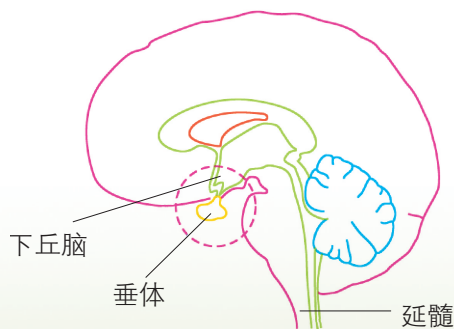


图3-5 下丘脑与垂体的位置

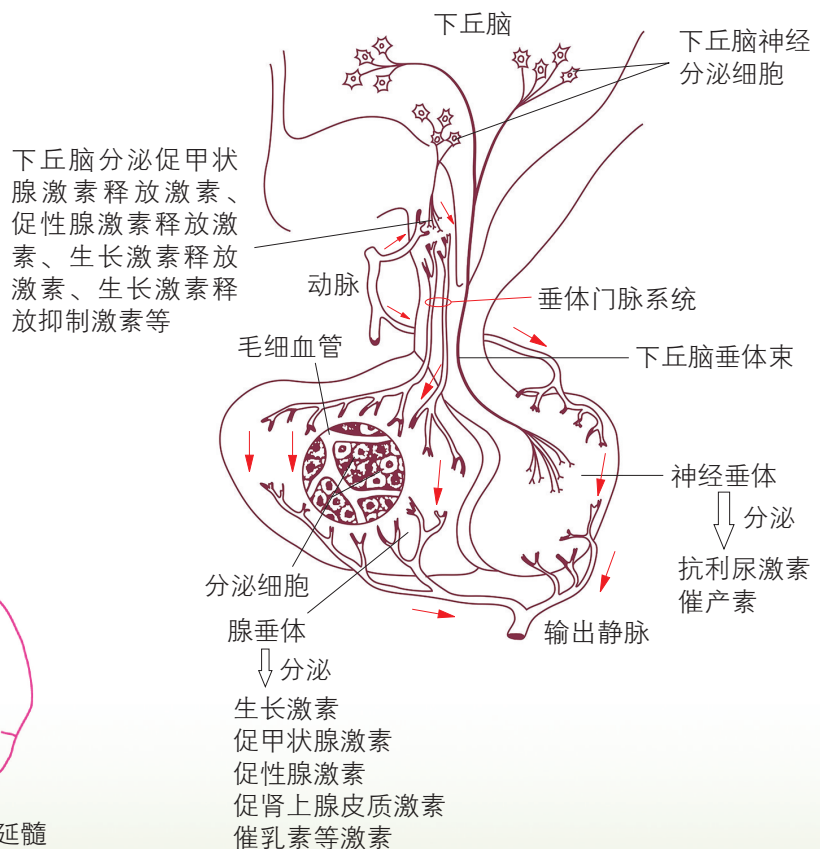


图3-6 下丘脑与垂体结构和功能的联系

下丘脑调节腺垂体分泌

下丘脑与腺垂体之间存在丰富的血管网，即垂体门脉系统。下丘脑部分神经细胞分泌的激素可以直接释放到垂体门脉血管的血液中，调节腺垂体的分泌。机体存在下丘脑-腺垂体-甲状腺调控轴（图3-7），调节控制甲状腺的分泌。甲状腺激素可以提高细胞代谢速率，使机体产热增加。当外界寒冷刺激人的冷觉感受器，相应的神经冲动传到下丘脑，由下丘脑分泌促甲状腺激素释放激素（TRH）。TRH运输到腺垂体，促进腺垂体分泌促甲状腺激素（TSH）。TSH随血液运输，作用于甲状腺，促进甲状腺激素的合成和分泌，使机体产能增加。当甲状腺激素超过一定量时，又会反过来抑制下丘脑和垂体分泌相关激素，进而使甲状腺激素分泌量减少，这样使甲状腺激素的含量不会过高，保持在正常范围内。内环境中甲状腺激素稳态的调节体现了机体的反馈调节机制。在一个系统中，系统本身工作的效果反过来又作为信息调节该系统的工作，这种调节方式称为反馈调节。反馈调节是生命系统中非常重要的调节机制，它对于机体维持稳态具有重要意义。

下丘脑是神经组织，又具有内分泌细胞的功能，这使得它能将神经中枢传来的电信号转变为激素信号，通过调节腺垂体，影响机体许多其他的内分泌腺的活动，实现激素的分级调节。除上述下丘脑-腺垂体-甲状腺调控轴之外，机体还存在下丘脑-腺垂体-性腺调控轴等，即下丘脑分泌促性腺激素释放激素作用于腺垂体，促进腺垂体分泌促性腺激素，从而促进性腺的分泌活动。图3-8列出了垂体分泌的主要激素及其作用的靶器官。并不是所有内分泌腺的活动都受下丘脑-腺垂体-靶腺这一调控轴的调节。例如，胰岛和肾上腺髓质直接受神经支配，并不受垂体分泌激素的调节；胰岛还受血糖浓度的调节。

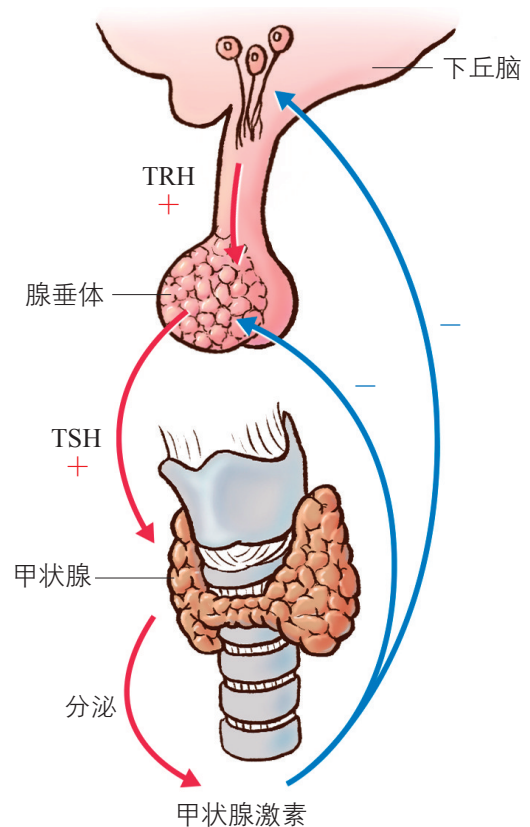


图3-7 下丘脑-腺垂体-甲状腺调控轴

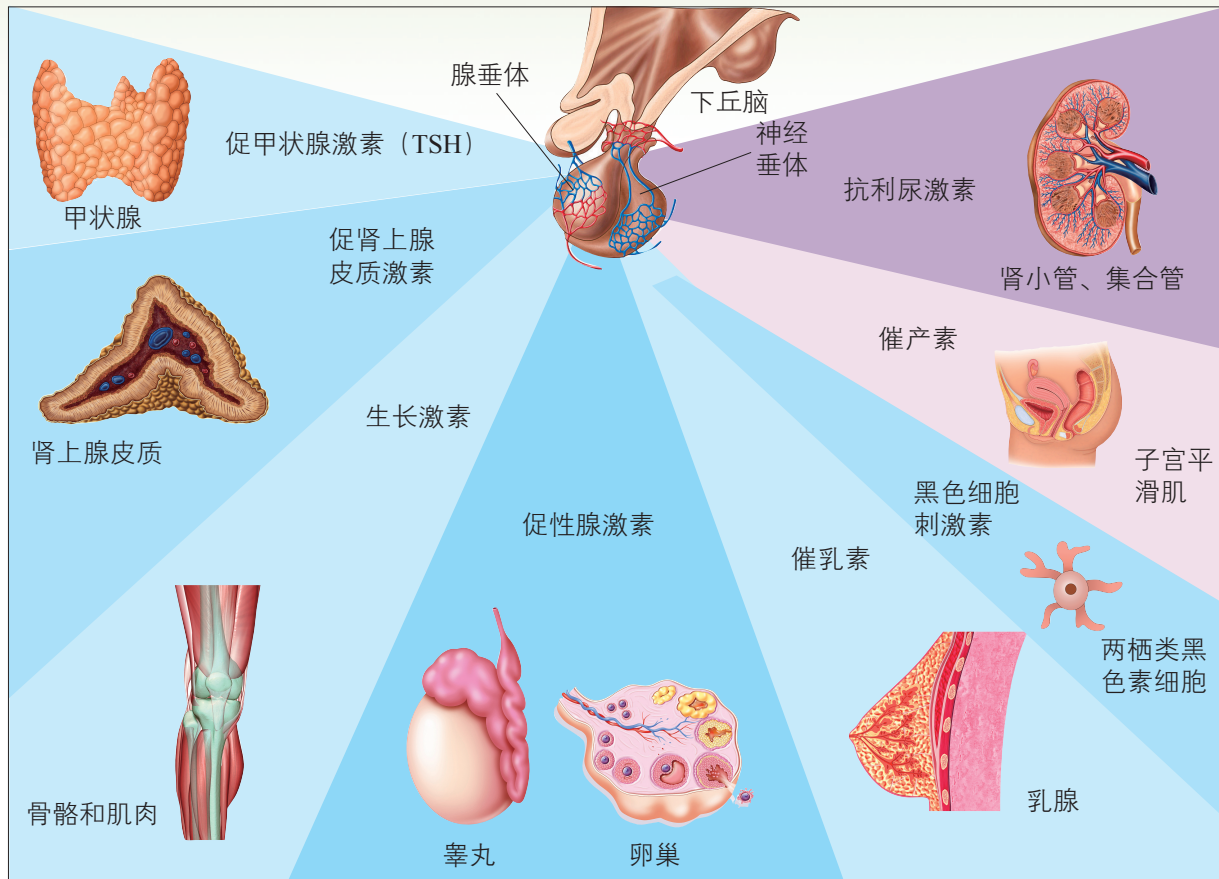


图3-8 垂体分泌的主要激素及其靶器官

神经垂体储存下丘脑合成的激素

神经垂体不含腺细胞，自身不能合成激素。神经垂体释放的抗利尿激素和催产素是由下丘脑神经细胞合成，然后经轴突运输到神经垂体的末梢储存。

抗利尿激素的作用是促进肾小管和集合管对水分的重吸收，使尿量减少，起到保水作用。抗利尿激素参与内环境水盐平衡的调节。人体饮水不足、脱水、失血或吃得过咸会使血浆渗透压升高，这一信号被下丘脑渗透压感受器转换成动作电位传至位于大脑皮层的神经中枢，一方面引起渴觉，通过神经调节主动饮水，另一方面刺激神经垂体释放抗利尿激素，促进肾脏的肾小管和集合管重吸收水分，使尿量减少，实现保水，使细胞外液渗透压下降（图3-9）。

下丘脑是神经系统与内分泌系统活动相互联络的枢纽。下丘脑的上行和下行神经通路复杂而广泛，内、外环境各种形式的刺激都可能经这些神经通路影响下丘脑内分泌细胞的分泌活动，实现对内分泌系统的调控。

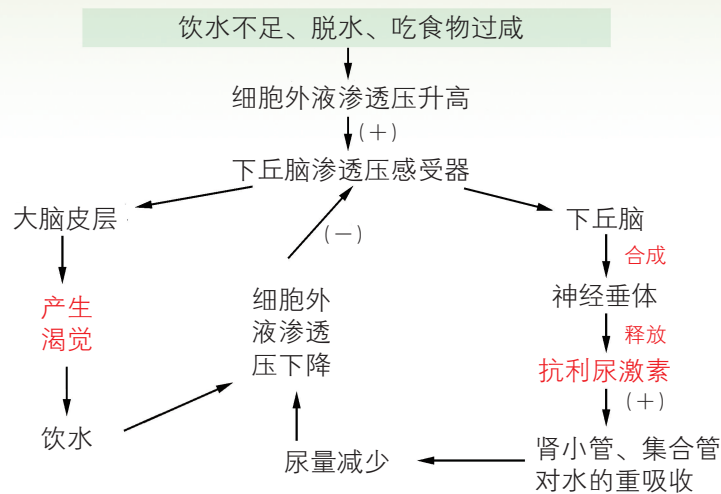


图3-9 水盐平衡(渗透压平衡)的调节



课外读

寻找脑激素

英国内分泌学家哈里斯 (G. H. Harris, 1913—1971) 于1945年提出假说: 下丘脑产生“促××激素释放激素”, 通过血液作用于垂体, 调控垂体的分泌活动。下丘脑是神经组织, 它怎么会分泌激素呢? 由于哈里斯的假说与传统观念格格不入, 因此遭到了许多人的反对。然而, 这一开创性的新见解却深深地打动了法国生理学家吉耶曼 (R. Guillemin, 1924—) 和波兰生理学家沙利 (A. V. Schally, 1926—) 这两位初出茅庐的年轻人, 使他们毅然踏上了寻找脑激素的坎坷旅程。

1965年, 沙利研究小组终于从10万只猪的下丘脑中提取了3 mg的促甲状腺激素释放激素 (TRH), 并测定出它的氨基酸组成。但是, 人工合成出来的TRH没有表现出与天然激素相同的生物活性, 而且后来证明最初的提取物不是纯净物。沙利轻率地放弃了对TRH的寻求, 转而寻找其他脑激素。吉耶曼从沙利那不纯的3 mg TRH中受到启示, 继续不屈不挠地分离TRH。1968年, 吉耶曼小组从27万只羊的下丘脑中提取出1 mg纯的TRH, 并利用红外线分光光度测定、质谱分析等先进方法反复核实, 查明了羊下丘脑TRH的氨基酸组成。沙利放下手头的工作, 对以前得到的3 mg TRH再进行分析, 很快证明了猪下丘脑的TRH与羊的完全相同, 并首先人工合成了TRH。

吉耶曼和沙利各自领导的研究小组历经10多年的研究, 终于揭示了脑分泌激素的功能。他们发现并合成了三种脑激素——促甲状腺激素释放激素 (TRH)、促黄体生成激素释放激素 (LHRH) 和生长激素释放抑制激素 (GHRH)。两人

于1977年获诺贝尔生理学或医学奖。当有人向吉耶曼请教成功的秘诀时，他深有感触地说：“什么是成功？成功就是连续不断地解剖100万只羊脑。”的确，在科学研究的过程中，希望与焦虑、危机与曙光、轻率与清醒、曲折与顺利、艰辛与荣誉、友谊与竞争交织在一起。在同行们不能理解的情况下，把一项有重大意义的研究工作坚持下去，并做出开创性的成果，非常不容易。也有一些和吉耶曼、沙利几乎同时起步的科学家却半途而废，原因是下丘脑激素含量极少，在上百万个研究样品中逐一提取，实在需要非凡的毅力和耐心。由于吉耶曼和沙利锲而不舍、孜孜不倦，终于取得了成功。吉耶曼在获奖后曾说：“那是一条漫长的道路，一条艰辛的道路，它需要坚韧不拔、始终如一和真才实学。”

思考与练习

一、选择题

- 下列关于甲状腺激素的叙述，错误的是（ ）
 - 甲状腺激素的分泌受下丘脑和垂体的调节
 - 甲状腺激素分泌增多时，机体耗氧量和产热量都增加
 - 血液中甲状腺激素水平降低会引起促甲状腺激素释放激素分泌减少
 - 促甲状腺激素主要作用于甲状腺，而甲状腺激素可作用于多种器官
- 血浆中的抗利尿激素由下丘脑分泌，下列会引起抗利尿激素分泌减少的是（ ）
 - 大量饮水
 - 血容量减少
 - 食用过咸的菜肴
 - 血浆电解质浓度增加
- 将蛙的卵巢放入含有蛙脑垂体提取液的培养液中，同时检测某种激素的含量。经过一段时间培养后，再检测培养液中该激素的含量，发现该激素含量增加。这种激素是（ ）
 - 促甲状腺激素
 - 雌激素
 - 促性腺激素释放激素
 - 促性腺激素

二、简答题

- 请分析机体内环境水盐平衡的调节是否存在反馈调节机制。
- 1937年，英国牛津大学内分泌学家在实验中观察到：如果把垂体与下丘脑之间的血液联系中断，则可导致生殖器官萎缩。如果把血液循环恢复正常，生殖器官的功能也恢复正常。请用下丘脑-腺垂体-靶腺的知识解释这一现象。

第三节 激素调节身体多种机能

激素在动物个体生长、发育、繁殖和维持内环境理化因子相对稳定的过程中发挥重要作用。某些激素还能配合神经系统对环境突发的危险情况，提高机体的反应力和耐受力。激素是如何发挥上述调节作用的？科学家是怎样探究内分泌腺的功能的呢？

本节要点

- 激素的生理作用
- 血糖平衡
- 协同作用
- 拮抗作用



活动

研究激素的生理作用

对内分泌腺功能和激素作用的研究成果主要来自大量的临床观察和动物实验。对某一内分泌腺及其分泌激素的认识大致遵循下面的研究步骤：①动物实验中将怀疑有内分泌功能的器官或组织切除，观察动物出现的症状；②对上述切除器官或组织的动物再次植入该器官或组织，或注射该组织的提取物，观察症状是否消失，如果症状消失，就证明该器官或组织具有内分泌功能；③可对正常动物注射该组织的提取物，观察注射后动物机能亢进的反应；④提纯激素和人工合成该激素，阐明激素的化学本质和作用机制；⑤运用同位素示踪法，观察激素分泌的规律和在体内的代谢情况。本次活动列举科学史中研究激素功能的实例，判断激素的功能，分析激素功能的研究方法。

目的要求

1. 分析资料中科学史实验，与内分泌腺的研究方法进行比较。
2. 推测甲状腺激素和睾丸分泌的雄激素的生理作用。

阅读资料

资料一 1827年，科学家第一次报告了切除动物甲状腺的实验。蝌蚪在切除甲状腺后发育异常，不能变态发育为成蛙，只是长得更大一些。如果用甲状腺喂养这些动物，变态发育又可正常出现。给正常的蝌蚪喂甲状腺，可使变态加速。

资料二 1849年，德国生理学家贝特霍尔德（Arnold Adolph Berthold, 1803—1861）将幼年雄鸡的睾丸切除，结果鸡冠萎缩不能发育。然后他将另一

只正常幼雄鸡的睾丸移植到去睾丸的幼雄鸡体内，不久鸡冠发育，雄伟美丽如常。

分析资料

1. 由资料一判断，甲状腺是否为内分泌腺？理由是什么？甲状腺激素有什么生理作用？
2. 由资料二判断，睾丸是否为内分泌腺？理由是什么？雄激素有什么生理作用？

讨论

1. 资料一和资料二的实验中，哪一组为对照组？对照组起什么作用？
2. 实验设计应该遵循哪些原则？

激素调节人体生长发育

生长激素 腺垂体分泌生长激素。人生长激素由191个氨基酸残基组成，相对分子质量为21500。生长激素促进蛋白质的合成，促进骨、软骨和肌肉等组织细胞的生长和分裂，从而加速骨骼和肌肉的生长发育，对肌肉的增生和软骨的形成与钙化有特别重要的作用。人幼年时缺乏生长激素将患侏儒症（身材矮小，智力正常），生长激素分泌过多会患巨人症。

甲状腺激素 甲状腺分泌两种甲状腺激素：甲状腺素（ T_4 ）和三碘甲状腺原氨酸（ T_3 ），它们都是酪氨酸的衍生物。甲状腺激素几乎作用于机体的所有组织，其主要作用是促进物质与能量代谢，使机体产能增加，促进生长发育，提高中枢神经系统的兴奋性。



小资料

碘与甲状腺激素

人体甲状腺分为两叶，紧贴在气管上端甲状软骨的两侧。甲状腺分泌的甲状腺素（ T_4 ）和三碘甲状腺原氨酸（ T_3 ）两种甲状腺激素（图3-10），分子中都含有碘， T_3 比 T_4 少一个碘原子。

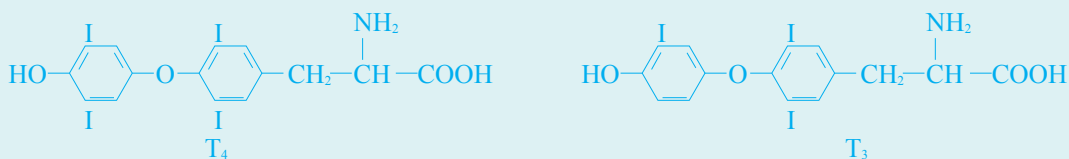


图3-10 两种甲状腺激素

碘在人体内含量极少，大约是体重的千万分之四，一个体重50 kg的人体

内的碘约为 20 mg，这些碘的 70%~80% 都聚集在甲状腺中。碘是甲状腺分泌的 T_4 和 T_3 的重要成分。

甲状腺激素是胎儿和新生儿脑发育的关键激素。甲状腺激素促进神经元的增殖、分化，以及突起和突触的形成。在胚胎发育和婴幼儿时期，得到必要的甲状腺激素才能保证大脑正常发育。如果得不到，过了这个时期再补给甲状腺激素，大脑也不能恢复正常。

甲状腺激素促进骨骼发育，与生长激素有协同作用。甲状腺激素缺乏会影响生长激素正常发挥作用，导致长骨生长缓慢。

呆小症是一种婴幼儿时期缺碘造成甲状腺激素分泌不足引起的病症，患者以智力低下、身材矮小为特征。



小资料

瘰——地方性甲状腺肿

2000 多年以前的中医文献中已有关于瘰的记录，瘰就是现在所说的地方性甲状腺肿。地方性甲状腺肿是饮食中缺少碘，造成甲状腺激素分泌不足，刺激甲状腺过度生长而引起的。中医文献中说“山居多瘰”，又说“海藻治瘰”，这是对地方性甲状腺肿的正确描述和有效防治方法的记载。因为山区土壤和水中缺碘，而海藻中含碘丰富，多食海藻可以治疗地方性甲状腺肿。现在，我国已在食盐中加碘，可以有效地预防地方性甲状腺肿。

性激素 睾丸产生精子并分泌雄激素，卵巢产生卵子并分泌雌激素和孕酮。性激素是类固醇激素，是以胆固醇为原料合成的，属于亲脂激素。

雄激素的主要成分是睾酮。当青春期启动时，睾酮不仅促进精子产生，对全身还有多方面的作用。它促使全部附属生殖器官——输精管、腺体和阴茎生长，以利于发挥其成年后的功能。男性第二性征也依靠睾酮的刺激。男性第二性征包括阴阜、腋下和面部长出毛发，喉部长大，出现喉结，声音低沉，皮肤增厚和出油，骨骼生长和骨密度增加，骨骼肌发育增强。睾酮也会增加代谢率，促进蛋白质合成，影响人的行为。

当青春期雌激素浓度升高时，它促进卵巢中的卵子成熟和卵泡生长，以及输卵管、子宫和阴道生长，准备支持妊娠活动；外生殖器逐渐成熟。雌激素也支持青春期突发性快速生长，使女孩在 12~13 岁时比男孩长得快得多。女性在 15~17 岁就达到了她们身高的最大值，而男性青春期较迟，生长持续到 19~20 岁。雌激素引发女性第二性征，包括乳腺生长、皮下脂肪积聚（特别是在臀部和乳房）、骨盆变宽（适应于生育）、腋下和阴阜长出毛发。孕激素与雌激素一起建立和调节月经周期。孕激素的主要

作用表现在妊娠时抑制子宫运动，并刺激乳房准备哺乳。

激素调节内环境稳态

内环境理化因子的相对稳定是细胞代谢顺利进行的重要保障。激素参与内环境稳态的调节，例如，下丘脑分泌的抗利尿激素参与水盐平衡的调节，胰岛分泌的胰岛素和胰高血糖素参与血糖平衡的调节。

人体血糖的正常含量为80~120 mg/dL，若超过160 mg/dL，多余的葡萄糖无法被肾脏重吸收，就会以尿糖形式随尿排出，形成糖尿。如果长时间出现血糖超过正常范围就是糖尿病。若血糖低于正常范围，会导致低血糖。脑细胞主要以葡萄糖作为供能物质，低血糖会引起头晕，严重时失去知觉。维持正常的血糖浓度是保持内环境稳态的重要方面。

血糖含量取决于血糖的来源和去向，人体内有各种可以使血糖含量增加或减少的途径（图3-11）。胰岛素和胰高血糖素在维持血糖平衡的过程中发挥重要作用。

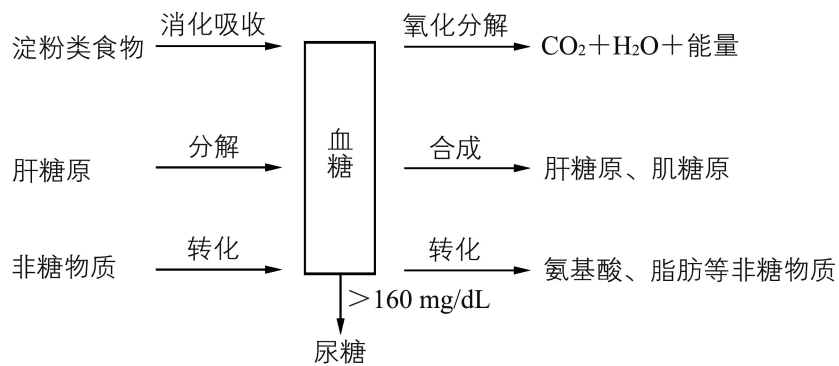


图3-11 血糖的来源和去向

胰腺中有两种组织，一种是腺泡组织，分泌消化酶；一种是胰岛组织，分散在腺泡组织中，像小岛那样（图3-12）。人胰腺中分布着几十万个胰岛，但仅占胰腺总体积的1%。胰岛α细胞分泌胰高血糖素，胰岛β细胞分泌胰岛素。

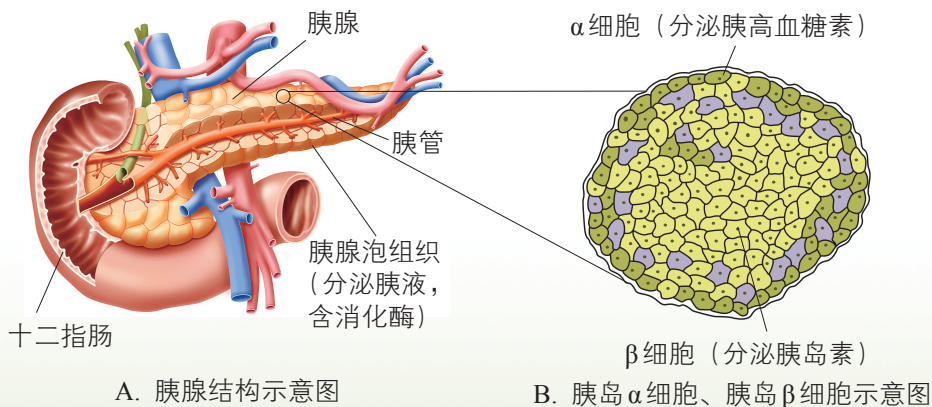


图3-12 胰腺及其中分布的胰岛

胰岛素是由51个氨基酸形成的两条肽链所组成的蛋白质，是已知的唯一能降低血糖的激素。胰岛素能促进组织细胞加速摄取、储存和利用葡萄糖，抑制非糖物质转化成葡萄糖。

胰岛素是调节机体多种营养物质代谢的重要激素之一，对于维持正常代谢和生长是不可缺少的。

胰岛素的分泌决定于血糖浓度。血糖直接作用于胰岛以调节胰岛素的分泌。当血糖升高时，如进食后血糖浓度超过120 mg/dL，胰岛 β 细胞释放的胰岛素增加，胰岛素通过调节细胞代谢，促进细胞对血糖的利用，从而降低血糖浓度。血糖浓度降低，胰岛 β 细胞分泌的胰岛素减少，使血液中胰岛素浓度随之下降。

胰高血糖素是由29个氨基酸脱水缩合形成的多肽，它与胰岛素的作用正好相反，即两者有拮抗作用。胰高血糖素可以促进糖原分解，使非糖物质转化为葡萄糖。肝糖原的分解可以使血糖升高。肌糖原分解产生的葡萄糖只能在肌肉细胞内参与代谢，不能升高血糖。当两餐之间血糖浓度下降时（低于80 mg/dL），这一信号直接作用于胰岛 α 细胞引起胰高血糖素分泌，使血糖升高。血糖升高作为信号又会反馈调节胰岛 α 细胞，使其减少分泌胰高血糖素（图3-13）。除了胰高血糖素之外，肾上腺素、糖皮质激素等也具有升高血糖的作用。

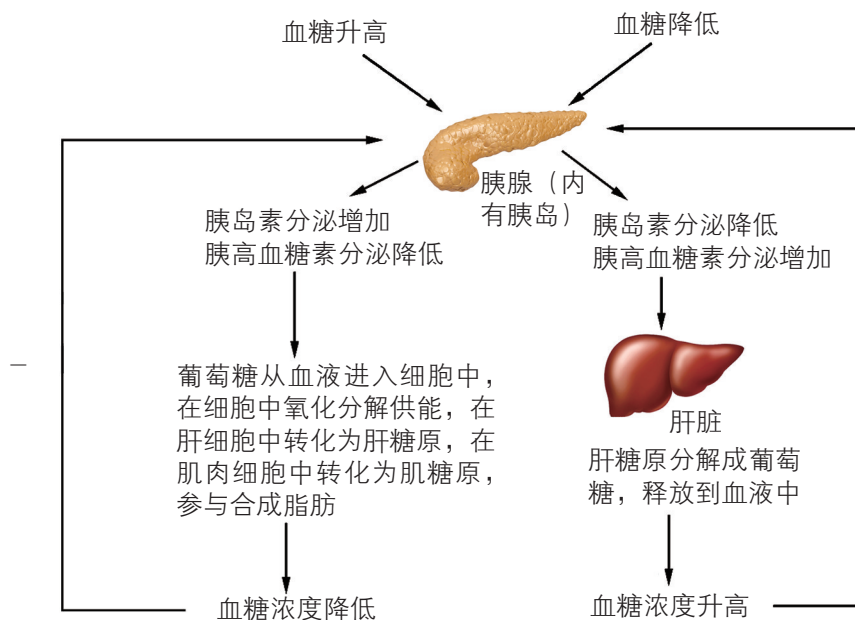


图3-13 激素参与血糖平衡调节

胰岛也受神经调节。血糖浓度升高除直接作用于胰岛外，也作用于胰岛组织中的神经末梢或血管内感受器，反射性地引起胰岛素的分泌。胰岛受交感神经和副交感神经双重支配。副交感神经促进胰岛素的分泌，交感神经抑制胰岛素的分泌。

激素参与“应急”和“应激”反应

人的肾上腺由皮质和髓质两部分组成，皮质包在髓质外面（图3-14）。这两部分的胚胎起源不同，实际上是两个内分泌器官。肾上腺髓质接受交感神经支配。

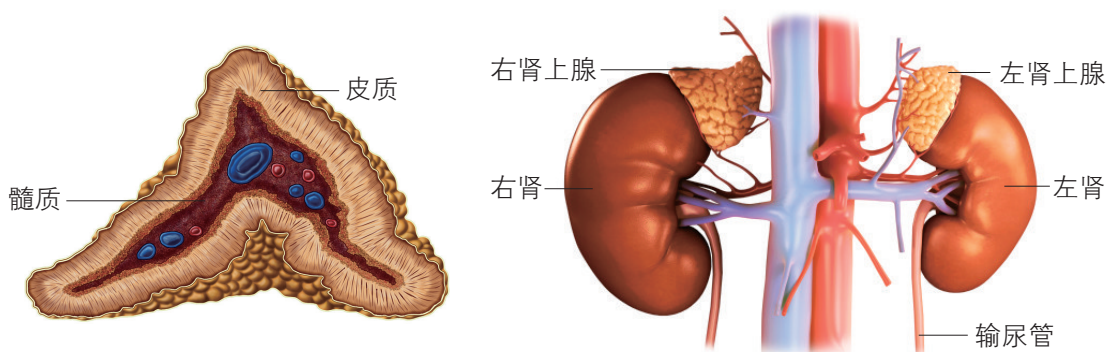


图3-14 肾上腺皮质和髓质

肾上腺髓质主要分泌肾上腺素。肾上腺素是酪氨酸衍生物。交感-肾上腺髓质系统参与机体应急反应。当机体遭遇紧急情况，如剧烈运动、缺氧、剧痛、畏惧、焦虑、失血、低血压、脱水、寒冷、暴热、情绪激动时，交感-肾上腺髓质系统即刻调动，大量分泌肾上腺素，作用于中枢神经系统，使机体处于反应机敏、高度警觉的状态。肾上腺素的大量释放引起一系列爆发性典型体征，如心跳加快、呼吸加深、通气改善、流经肌肉的血流量增加、皮肤出汗并变白、竖毛肌收缩、瞳孔散大、糖原分解加强、基础代谢率增加等。这些反应针对伤害性刺激，使动物做好逃避或争斗的准备，有利于动物的生存。

肾上腺皮质分泌的糖皮质激素参与机体应激反应。糖皮质激素属于类固醇激素。糖皮质激素因升高血糖效应而得名，它促进肝细胞将氨基酸转化为葡萄糖，与胰岛素有拮抗作用。应激反应是机体遭受伤害刺激时所产生的适应性和抵抗性变化的总称。机体在多种有害刺激，如感染、中毒、疼痛、寒冷以及精神紧张等因素的作用下，糖皮质激素释放的水平升高，使机体对这些有害刺激的耐受力大为增强。临床上大剂量的糖皮质激素被用于抗炎症、抗过敏、抗休克等。

“应急”和“应激”实际上都是机体在受到伤害刺激的状态下，通过中枢神经系统整合，出现的保护性反应，以应对并适应环境突变而确保生存。前者提高机体的警觉性和应变力，后者则重在增强机体的耐受力和抵抗力。



胰岛素的发现与糖尿病的治疗

早在1886年，生理学家为了研究胰脏的消化作用，将狗的胰脏用外科手术切除，结果狗的尿量大增，并且这种尿招来许多蚂蚁，而正常狗的尿不招蚂蚁。原来，切除胰脏后，狗的尿中含糖很多。由于狗手术后的症状和人的糖尿病症状很相似，这一偶然的发现使他们推想，人糖尿病的病因可能是胰脏出了问题。

那么，胰脏的哪一部分与糖尿病有关呢？胰脏有一个特点，即结扎胰液管后，胰脏的有管腺部分就逐渐萎缩而失去功能，但胰岛不萎缩。据此，人们做了结扎胰液管的实验，结果表明，结扎胰液管的狗不患糖尿病。由此可知，胰脏的有管腺部分与糖尿病没有关系，故可判断糖尿病是由于胰岛发生病变而引起的。



图3-15 班廷(右)和贝斯特

1922年，加拿大多伦多大学的班廷(Frederick Grant Banting, 1891—1941)和贝斯特(Charles Herbert Best, 1899—1978)(图3-15)将狗的胰液管结扎，待胰脏萎缩至只剩胰岛保持正常时，将萎缩的胰脏取出，用等渗盐水制成滤液，将滤液注射给切除胰脏的狗，结果狗不出现糖尿病症状；胰脏被切除，但未注射提取液的狗则发生了糖尿病。他们又将纯化的胰岛素注入了一个患有糖尿病的13岁男孩体内。这个男孩当时体重只有29.3 kg，并且生存机会渺茫。注射胰岛素后，男孩的血糖降了25%，并很快降到正常值。这是医生首次用胰岛素成功治疗了糖尿病。

科学家于1926年提纯胰岛素，1954年测出了胰岛素分子的氨基酸序列。1965年，我国成功合成了结晶牛胰岛素。

糖尿病有两种类型，即Ⅰ型糖尿病和Ⅱ型糖尿病。Ⅰ型糖尿病也称胰岛素依赖型糖尿病，是缺少分泌胰岛素的 β 细胞导致的，治疗方法是注射胰岛素。由于胰岛素是多肽，口服会被消化，所以只能通过注射方式进入人体内环境。过去人们只能从猪或羊身上获取胰岛素，产量非常低。现在可以用基因工程的方法生产人胰岛素。科学家正在研究如何移植胰岛，以从根本上治愈糖尿病。大多数糖尿病是Ⅱ型，又称非胰岛素依赖型糖尿病。Ⅱ型糖尿病患者有正常的甚至高于正常水平的胰岛素，但细胞对胰岛素的敏感性降低了。这种患者无须注射胰岛素，可通过食疗或锻炼缓解病症。

思考与练习

一、选择题

1. 给小白鼠注射一定剂量的胰岛素后，小白鼠进入休克状态。要使其苏醒，可适量注射（ ）

- A. 生理盐水 B. 甲状腺激素 C. ATP溶液 D. 葡萄糖溶液

2. 研究者给家兔注射一种可以特异性破坏胰岛β细胞的药物——链脲佐菌素(STZ)进行血糖调节研究。为了准确判断STZ是否成功破坏胰岛β细胞，应进行的操作是（ ）

- ①在兔饱足状态下 ②在兔空腹状态下 ③测定血糖含量
④测定尿液是否含糖 ⑤测定血液胰岛素含量
- A. ①③④ B. ①③⑤ C. ②③⑤ D. ②③④

二、简答题

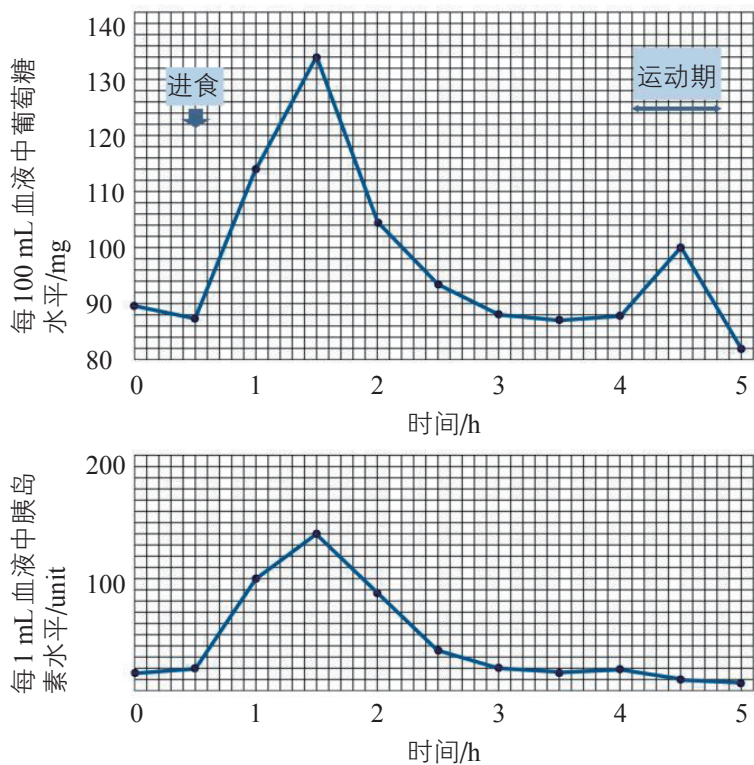
1. 请以蝌蚪为实验材料设计实验，验证甲状腺激素的生理作用。

2. 右图分别表示5 h内某人血液中葡萄糖水平和胰岛素水平的变化。其间，此人进食了米饭和做了些运动。请回答下列问题：

(1) 0.5~1.5 h，血糖为什么升高？请解释0.5~3 h内胰岛素水平的变化。

(2) 4~5 h，体内哪一器官提供了额外的葡萄糖？如何提高的？

3. 下面是一位患者的甲状腺功能检测报告单，请分析报告单数据，判断患者可能的症状。



检验项目	结果	单位	提示	参考区间
甲状腺素 (T ₄)	55.3	nmol/L	↓	66.0~181.0
三碘甲状腺原氨酸 (T ₃)	1.35	nmol/L		1.3~3.1
促甲状腺素 (TSH)	12.426	mIU/L	↑	0.27~4.20

第四节 体液调节与神经调节共同维持机体的稳态

体液调节与神经调节的职能范围不同，各有不同的特点，但彼此又密切联系、相互影响。人体生命活动的调节以神经调节为主导，常常是神经和体液共同发挥调节作用。根据前面所学内容，你能列表比较神经调节和体液调节的区别吗？神经系统和内分泌系统又是如何相互联系、共同调节其他器官系统，维持内环境稳态的？

本·节·要·点

- 激素调节特点
- 神经-体液调节
- 体温调节

体液调节与神经调节特点不同但两者紧密联系

神经调节通过感受器收集内、外环境的变化，通过反射活动对环境变化做出迅速的适应性调整；体液调节通过体液传递化学信息，调节细胞内部代谢等生理活动。两种调节方式有各自的作用范围和特点。

激素调节具有特异性。尽管多数激素通过血液循环广泛接触各部位的组织细胞，但激素只能选择性地识别拥有这种激素受体的靶细胞。各种激素作用范围差异很大，有些激素仅作用于较少的特定目标，如促甲状腺激素主要作用于甲状腺；有些激素作用范围遍及全身，如生长激素、甲状腺激素、胰岛素等。激素的作用范围取决于受体的分布。

激素发挥信使作用。激素是信号分子，通过体液运输在不同细胞间传递信息，犹如信使的角色。激素分子既不作为反应物参与细胞代谢，也不为细胞提供额外的能量，仅作为信号分子，启动靶细胞固有的、内在的一系列生理效应。激素调节使细胞的生理活动服务于个体的需要，配合神经调节使多细胞动物成为一个统一的整体。激素发挥作用后会被灭活，因此机体需要不断分泌激素以维持内环境中激素含量的动态平衡。

激素微量高效。在生理状态下，激素的血浓度很低，多在 $10^{-12} \sim 10^{-7}$ 的数量级(pmol/L~nmol/L)。这也是科学家从27万只羊的下丘脑中仅提取出1 mg纯的TRH的原因。激素是高效能的生物活性物质。激素与受体结合引发细胞内信号转导程序，微弱的化学信号可以被逐级放大。例如，1分子胰高血糖素可引起肝糖原分解，生成 3×10^6

分子葡萄糖，其生物效应放大约300万倍。

神经调节和体液调节的职能范围和特点虽然不同，但两者紧密联系、相互作用、相互影响（表3-1）。生命活动的调节以神经调节为主导，神经系统通过下丘脑调节垂体的活动，从而影响其他内分泌腺的功能。许多内分泌腺受神经直接支配，相当于反射弧的效应器。内分泌腺所分泌的激素也可以影响神经系统的发育和功能。例如，甲状腺激素促进神经系统的发育，提高神经系统的兴奋性；肾上腺素使中枢神经系统保持高度警觉等。

表3-1 神经调节和体液调节比较

比较项目	神经调节	体液调节
信息传递途径	反射弧	体液运输
反应速度	迅速	较缓慢
作用范围	准确、比较局限	较广泛
作用时间	短暂	比较长
调节结果	肌肉收缩、腺体分泌	调节细胞内的代谢过程等生理效应

神经调节和体液调节协调各个器官、系统的活动，使多细胞动物成为一个统一的整体，应对内、外环境的变化，维持内环境的稳态，保证机体正常代谢。

体液调节与神经调节共同维持体温恒定

地球上气温变化很大，从零下70℃到零上60℃。恒温动物能通过神经-体液共同调节，维持比较稳定的体温，保证代谢顺利进行。

人体各器官组织新陈代谢的过程中会产生能量。安静时主要的产热器官是内脏、肌肉、脑。劳动和运动时，肌肉成为主要产热组织，所产热量可达体内总产热量的90%。人体面对寒冷时打寒战，就是骨骼肌不自主地收缩，为机体提供一个快速的产热源。

人体散热的主要部位是皮肤，身体内部产生的热量由血液循环带到皮肤毛细血管，经由皮肤表面直接散发到体外。散热机制包括辐射、传导、对流和蒸发。当人体处于高于体温的环境中时，汗液蒸发是唯一的散热方式。

人的体表和体内分布着温度感受器。温度感受器能将内、外环境温度的变化转换成动作电位，即接受刺激产生兴奋。兴奋沿传入神经到达下丘脑体温调节中枢，由体温调节中枢整合信息，再由传出神经支配骨骼肌、皮肤毛细血管、汗腺及内分泌腺等器官做出适当的反应，从而调整机体产热和散热，以维持体温相对稳定（图3-16）。

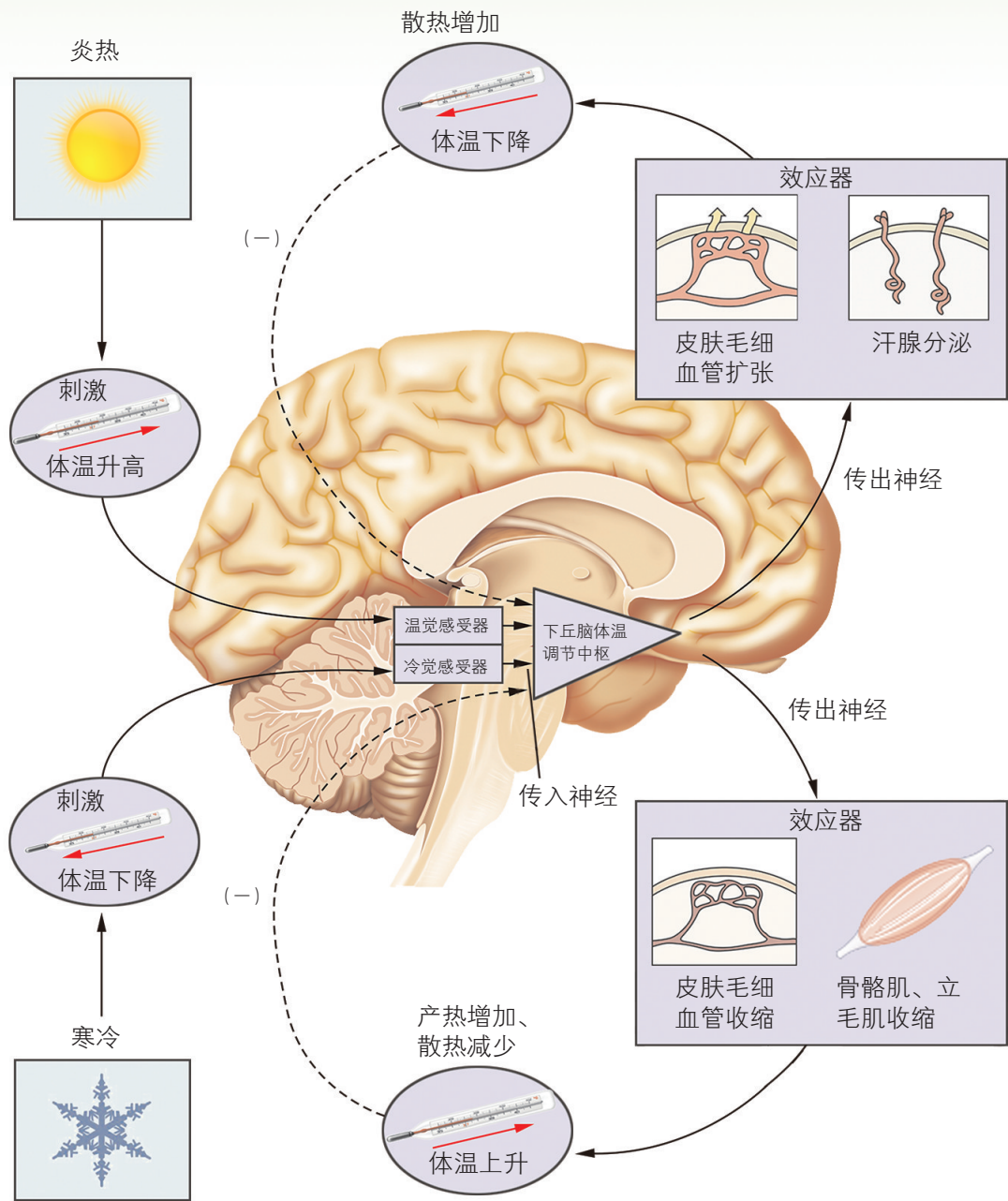


图3-16 体温调节

人体处于寒冷环境时，甲状腺激素和肾上腺素分泌增加，调节细胞代谢，使机体产能增加。

体温调节过程主要通过反射活动来实现，即以神经调节为主导，内分泌腺作为反射弧的效应器。体温稳态的维持是神经-体液共同调节的结果。

动物体的许多生命活动是神经-体液共同调节的结果，除了上述的体温调节之外，还包括渗透压平衡的调节、血糖平衡的调节等。神经调节和体液调节相互配合，协调各器官、系统的活动，共同维持内环境稳态，为动物的生存和繁衍提供保障。



活动

调查激素类药物的利与弊

因为对内分泌功能的认识，人类开发了许多激素类药物，这些药物用于临床治疗和社会生活，造福人类。例如，利用基因工程生产胰岛素治疗Ⅰ型糖尿病；发明可抑制妇女排卵的口服避孕药——孕激素类药物，用于计划生育、控制人口。

也有些人滥用或违规使用激素类药物，如在体育赛事中使用兴奋剂。兴奋剂种类很多，早期使用的多为类固醇激素。例如，睾丸素的医疗用途是治疗睾丸素分泌不足和严重营养缺乏，如果给运动员注射可增强运动员的肌肉，但也会干扰运动员体内自然激素的平衡，产生一系列严重的副作用，如精子数量减少，长期使用还会使性腺萎缩等。

目的要求

1. 能利用图书馆、互联网收集激素类药物的相关信息。
2. 解释滥用激素类药物的危害。

活动提示

1. 注意鉴别网络信息的真伪，学会使用“中国知网”，从学术期刊或专业书籍中获取相关信息。
2. 将收集的材料归类、整理，选择自己感兴趣的一个话题在班里进行交流。例如，某种激素类药物的开发过程或应用于临床治疗取得的成果，兴奋剂的种类及滥用兴奋剂的危害等。

讨论

科学技术是一把双刃剑，技术发明可以造福人类，也可能危害社会。试从激素类药物的开发和利用出发，谈谈对上面这句话的理解。

思考与练习

一、选择题

1. 在我国北方，游泳爱好者冬泳入水后，身体会立即产生一系列生理反应，以维持体温稳定。此时，机体不会产生的反应是（ ）
 - A. 通过神经调节减少汗腺分泌
 - B. 兴奋中枢神经系统，加强肌肉收缩
 - C. 通过反射活动引起皮肤毛细血管收缩
 - D. 抑制垂体活动导致甲状腺激素分泌减少

2. 养鸡场鸡舍中清晨和傍晚用稳定的灯光延长光照时间, 以提高产蛋率。下列分析错误的是 ()

- A. 鸡的产蛋率与体内的雌激素水平密切相关
- B. 延长光照刺激可直接通过体液调节提高产蛋率
- C. 鸡的产蛋行为受神经调节和体液调节共同作用
- D. 鸡的产蛋行为受遗传因素和环境因素共同影响

3. 以下过程不存在反馈调节的是 ()

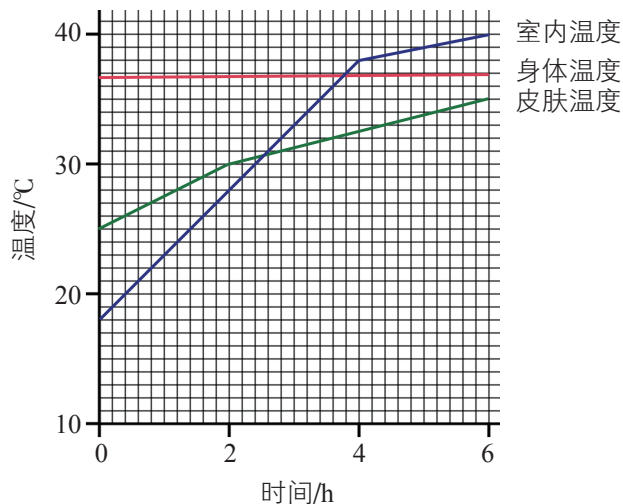
- A. 运动强度对汗腺分泌的影响
- B. 胰岛素分泌量对血糖浓度的影响
- C. 抗利尿激素分泌量对细胞外液渗透压的影响
- D. 促甲状腺激素分泌量对甲状腺激素含量的影响

4. 当人们参加强体力劳动大量出汗时, 为了维持内环境相对稳定, 机体必须进行多项调节, 其中包括 ()

- ①抗利尿激素分泌增加
 - ②抗利尿激素分泌减少
 - ③胰岛 α 细胞的分泌活动增强
 - ④胰岛 β 细胞的分泌活动增强
- A. ①③ B. ①④ C. ②③ D. ②④

二、简答题

有一项实验研究环境温度对人皮肤温度和身体温度的影响。实验时, 受试者处于一个相对湿度保持在65%的房间内, 可以进食和自由活动, 但不可以改变所穿衣服的数量。下图显示实验结果。



请回答下列问题:

- (1) 当室内温度由18°C上升至28°C时, 描述受试者皮肤温度的变化, 并解释原因。
- (2) 当室内温度由38°C上升至40°C时, 描述受试者身体温度的变化。此时, 体热散失的主要途径是什么?
- (3) 请解释为什么房间内的相对湿度如果上升至95%时会危害受试者的生命。

本章小结

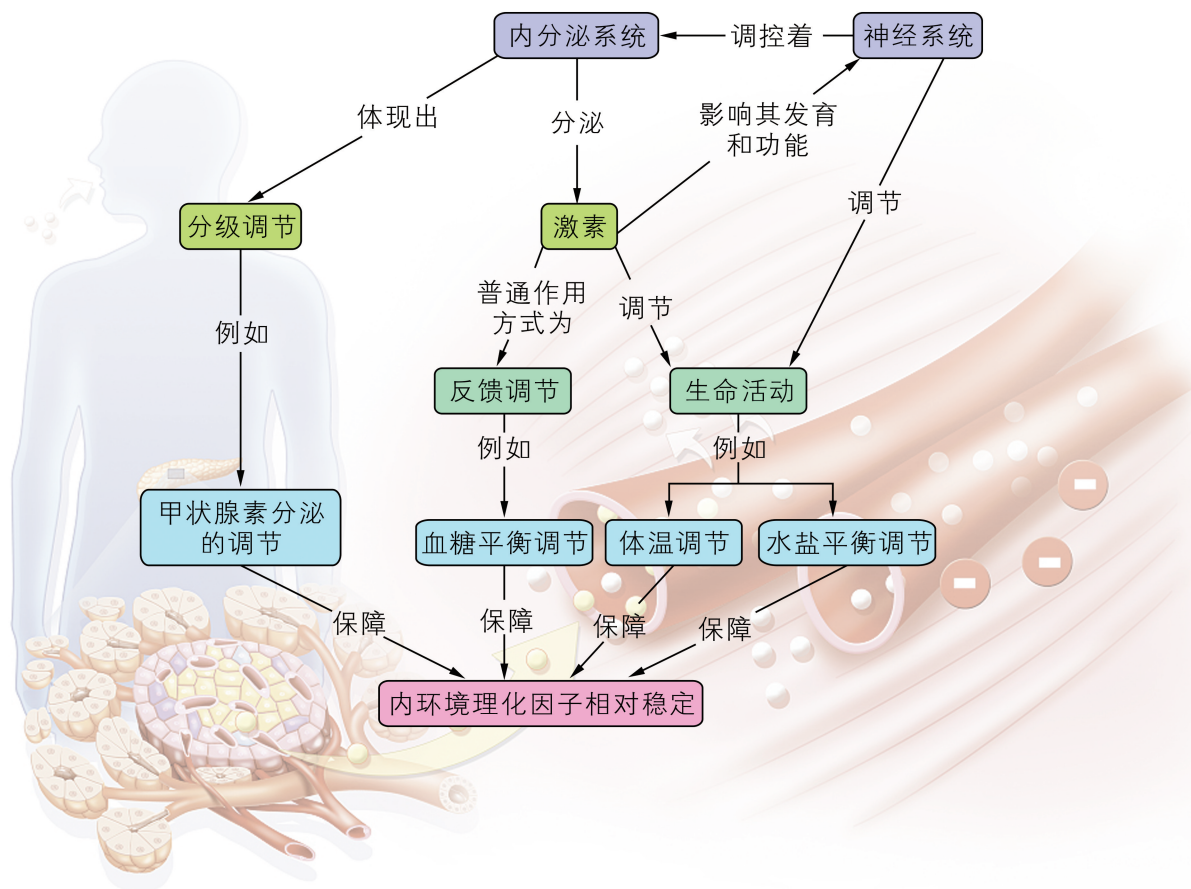
激素、二氧化碳等化学物质通过体液运输对生命活动进行的调节，称为体液调节。激素由内分泌腺和内分泌细胞分泌，人体的内分泌腺包括垂体、甲状腺、胸腺、肾上腺、胰岛和性腺等多种腺体。激素通过分级调节和反馈调节机制，维持机体的稳态，例如甲状腺激素的调节和血糖平衡的调节。

生命系统的成分间通过信号相互作用、协调统一。激素作为细胞间传递的信息分子，与靶细胞上的受体结合，调节靶细胞的生理活动，使细胞的功能服从个体的需要，配合神经调节使多细胞动物体成为一个统一的整体，以应对内、外环境的变化，维持生命系统的稳态。

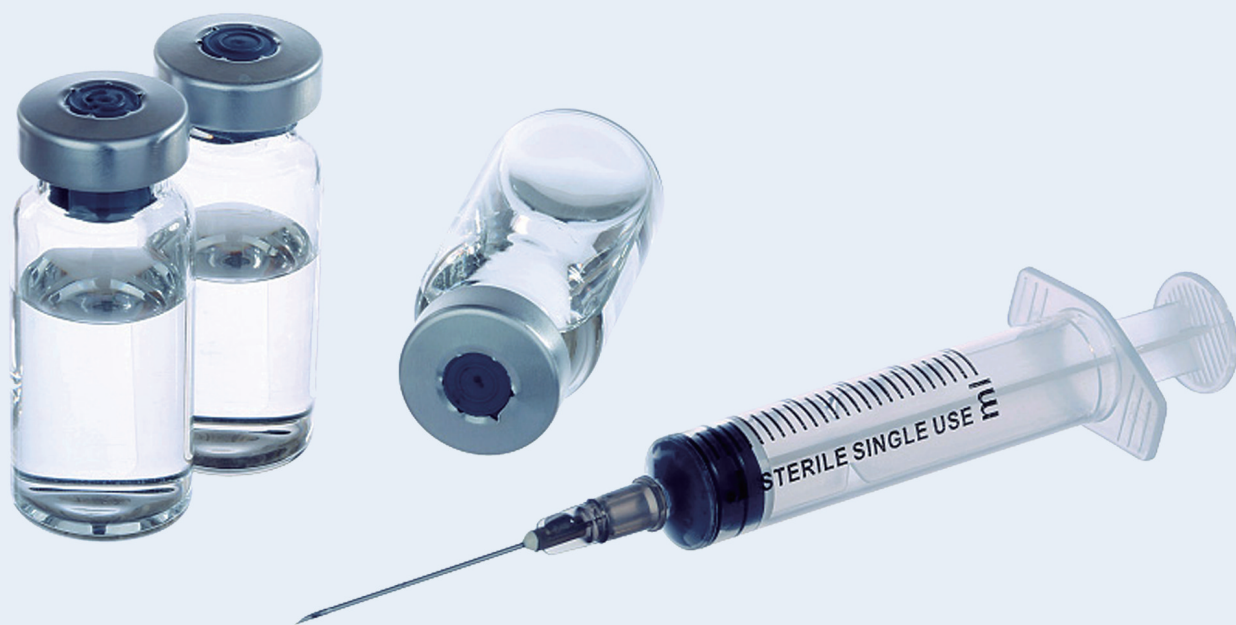
内分泌系统的活动受到神经系统的调控，而神经系统的发育和功能又受到激素的影响。神经调节和体液调节紧密联系、密切配合，又相互影响。机体内环境稳态依靠神经-体液共同调节来实现，例如体温调节、水盐平衡的调节等。

学习激素的生理作用，有助于我们认识自身的生长发育规律，了解糖尿病等相关疾病，选择健康的生活方式。运用科学探究方法探讨某种激素对生命活动的作用，构建模型阐明体液调节的作用机制以及体液调节与神经调节的协作方式，有助于提升科学思维能力和科学探究素养。

本章知识结构图

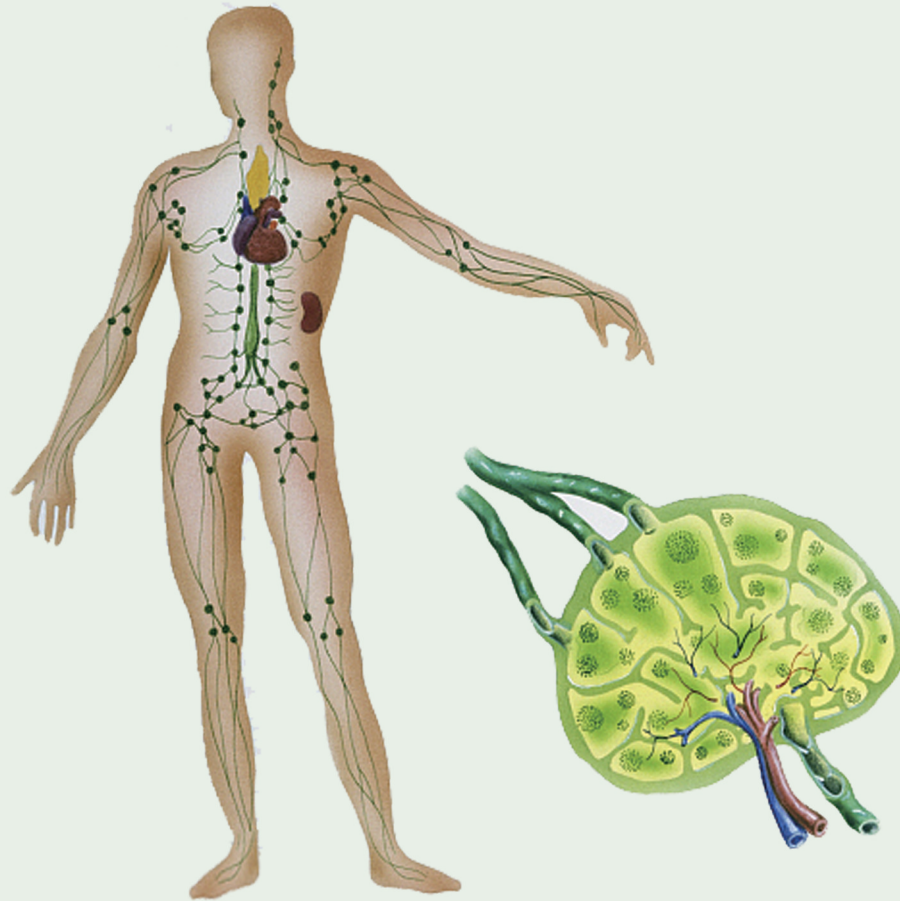


第四章 免疫调节



免疫接种

据世界卫生组织估计，免疫接种每年能避免200万~300万例因白喉、破伤风、百日咳和麻疹导致的死亡。接种疫苗还能限制抗生素耐药性的蔓延。可以说，没有一种预防性卫生干预措施比免疫接种更具成本效益。2013年世界卫生组织拟定了全球疫苗行动计划，旨在提高全球免疫覆盖率。截止到2015年，全球估计仍有1940万名婴儿未被常规免疫接种服务覆盖。世界卫生组织及其合作伙伴把每年4月的最后一周作为世界免疫周。我国已成为世界上为数不多的靠自己力量解决全部计划免疫需求的国家之一。据估算，我国实施有计划的预防接种以来，麻疹、百日咳、白喉、脊髓灰质炎、结核和破伤风6种疾病的发病率和死亡率降幅达99%以上。国家免疫规划创造了极大的经济效益和持久的社会效益，在保障儿童健康、增加我国人均期望寿命等方面发挥了重要作用。免疫接种是一个社会健康话题。那么，什么是免疫？接种疫苗为什么可以防疫？



在长期的进化过程中，人和动物对病原体的侵害形成了特殊的防御机制，这种抵制疾病的机制称为免疫（immunity）。我们生活在一个充满微生物的世界中，其中不乏使人致病的种类，我们能生存下来全凭人体拥有一套十分有效的防御系统——免疫系统，致病微生物可以被我们的免疫系统作为“非己”成分识别并清除。神经调节和体液调节不能直接消灭入侵机体的病原体，也不能直接清除体内出现的衰老、破损或异常细胞，清除“非己”成分维持内环境稳态需要通过免疫调节来实现。

学习目标

1. 举例说明免疫调节的结构基础和人体防御病原体的三道防线。
2. 概述细胞免疫应答和体液免疫应答的过程和特点。
3. 解释免疫调节的过程依赖免疫细胞对信号的识别和响应。
4. 懂得免疫接种的道理；保持心理健康、加强锻炼、调节作息，使免疫调节发挥正常作用。
5. 关注艾滋病，预防艾滋病，消除对艾滋病患者的歧视。
6. 举例说明免疫功能异常可能引发疾病。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 关注器官移植、艾滋病等社会中的科学议题，主动向他人宣传健康生活和关爱生命等相关知识及传染病的防控措施。
2. 运用免疫学知识解释疫苗防疫的原理，关注疫苗安全性，做到科学防疫。

第一节 免疫系统识别“自己”和“非己”

1907年，威尔逊（H. V. Wilson）用两种不同颜色的海绵做了一个实验。他用机械方法将海绵体分成单个细胞，当把两个不同种属的海绵细胞在体外混合时，分离的细胞迅速重新聚集成团。有趣的是，只有同种细胞发生聚集，每个聚集体只含同一种着色的海绵细胞（图4-1）。这是为什么呢？

本·节·要·点

- “自己”和“非己”
- 抗原
- 免疫器官
- 免疫细胞
- 免疫活性物质

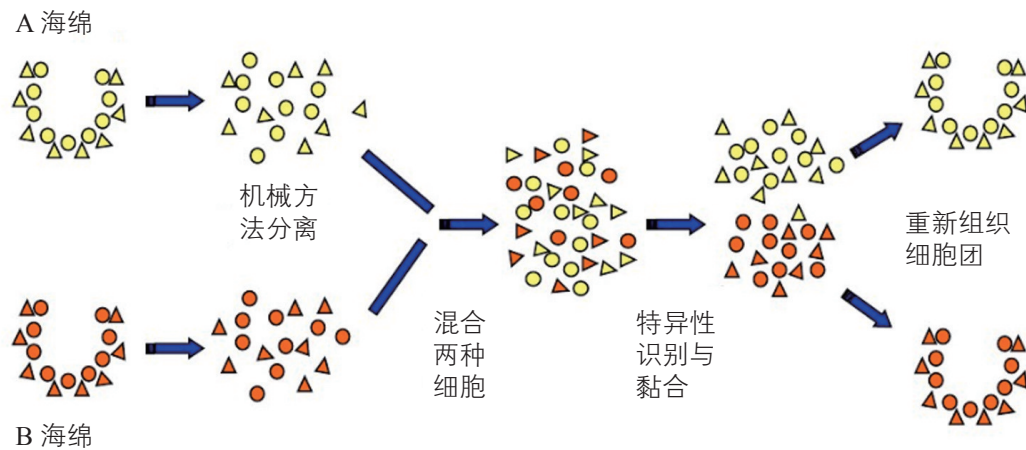


图4-1 威尔逊的海绵实验

免疫系统识别并清除“非己”成分

上述现象是细胞识别的结果，细胞膜表面具有相同糖蛋白的海绵细胞相互识别并聚集。免疫系统的功能建立在细胞识别的基础上。异体器官移植容易产生免疫排斥现象，就是因为免疫细胞具有识别功能。

所有被免疫细胞识别并排除的“非己”物质称为抗原。抗原多为相对分子质量大于10000的蛋白质，有时也可能是多糖或脂类。抗原分子可以是病毒、细菌表面的蛋白质，也可以是细菌分泌出的毒素。

人体所有细胞的细胞膜上都有一种称为主要组织相容性复合体（major histocompatibility complex, MHC）的分子标识。这是一种特异的糖蛋白分子。这种主要组织相容性复合体在胚胎发育中产生。除了同卵双胞胎以外，不同的人有不同的MHC，没有两个人有相同的MHC分子，这就如同人的指纹各不相同一样。这个标识是每一个人特有的身份标签。每一个人的免疫细胞都认识这些自身的身份标签，在正常情况下不会攻击带有这些标签的自身细胞。但是，外来器官细胞表面的MHC会成为免疫细胞攻击的抗原。实际上，抗原就是“非己”信号。人体通过免疫细胞识别“自己”和“非己”，对“非己”成分给予排斥，这是机体保护性反应，是免疫系统的功能表现。机体内部衰老、破损的细胞或癌变细胞也会被免疫系统监控并清除。

免疫系统由免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质组成

淋巴系统在对抗感染时起重要作用。淋巴系统包括分布广泛的各级淋巴管与淋巴器官（图4-2）。淋巴循环除了参与组织液回收、脂肪吸收和转运之外，还有一项重要功能就是执行免疫机能。

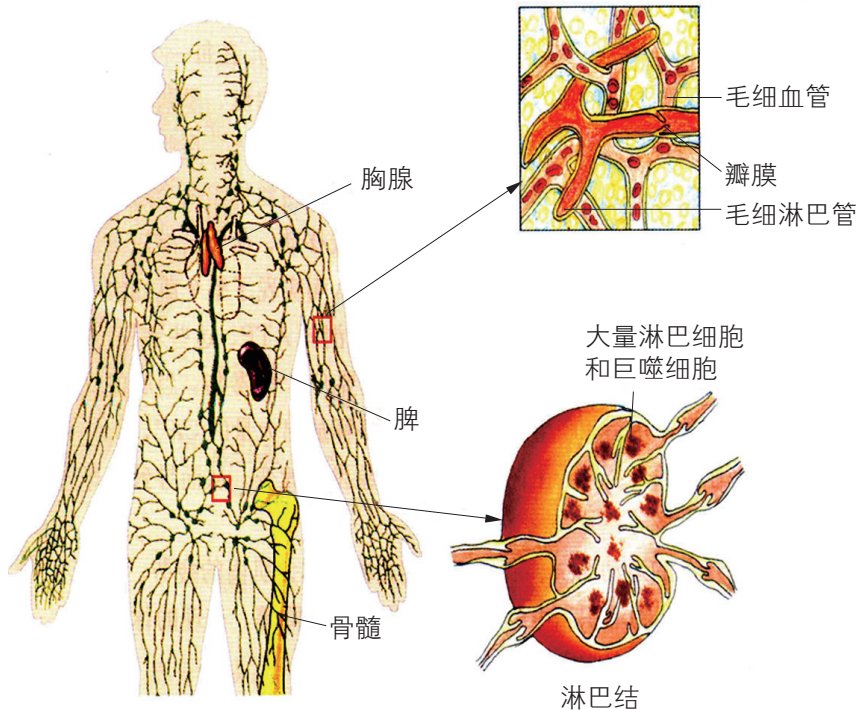


图4-2 淋巴系统组成

免疫器官主要是指淋巴器官，是免疫细胞生成、成熟或集中分布的场所。淋巴器官包括中枢淋巴器官（central lymphoid organ）和外周淋巴器官（peripheral lymphoid organ）。

中枢淋巴器官包括骨髓和胸腺，是生产免疫细胞的场所。骨髓中的造血干细胞分裂分化为各种血细胞，其中白细胞是机体的免疫细胞。白细胞中的淋巴细胞在机体第三道防线——特异性免疫应答中发挥重要作用。淋巴细胞从功能上可分为T淋巴细胞和B淋巴细胞。这两类淋巴细胞都起源于骨髓中的淋巴干细胞。一部分淋巴干细胞在发育过程中先进入胸腺，在此分化、增殖，发育成熟，这种淋巴细胞称为T淋巴细胞（T-lymphocyte），简称T细胞。另一部分淋巴干细胞在鸟类中是先在上腔静脉（bursa of fabricius）发育成熟，因此这类淋巴细胞称为B淋巴细胞（B-lymphocyte），简称B细胞。哺乳动物的B淋巴细胞发育和成熟的场所可能在骨髓。还有另一大类具有吞噬作用的免疫细胞，包括中性粒细胞、巨噬细胞等。

外周淋巴器官主要包括淋巴结和脾，它们是特异性免疫启动的部位，其中含有淋巴细胞和巨噬细胞。T淋巴细胞和B淋巴细胞成熟后被释放到血液中，它们连续不断地挤过毛细血管的细胞间隙进入组织液，再进入毛细淋巴管，通过淋巴循环返回到血液。淋巴细胞仿佛在血浆、组织液和淋巴间巡逻，途经各个淋巴结。当机体发生感染时，识别感染源的淋巴细胞会停留在感染组织附近的淋巴结中，在此增殖、分化为抗击感染的效应细胞。所以，淋巴结和脾是截获抗原，并启动特异性免疫应答的部位。

免疫活性物质包括溶菌酶、干扰素、淋巴因子、抗体等，由免疫细胞或其他细胞产生并发挥免疫作用。

人体有三道防线保护自身免受外来病原体的侵袭。第一道防线是体表的屏障，第二道防线是体内的非特异性保护作用，第三道防线是免疫系统的特异性免疫反应。前两道防线针对多种病原体起作用，属于非特异性免疫；第三道防线清除特定的病原体，属于特异性免疫。



课外读

白细胞

骨髓造血干细胞分化为多种血细胞（图4-3），其中除红细胞和血小板以外，其他种类均属于白细胞。血液中红细胞数量远多于白细胞，成年人每立方毫米血液中含红细胞400万~500万个，含白细胞4000~10000个。发挥免疫功能的主要角色是血液中的白细胞，成熟的白细胞迁移到外周组织，在血液和淋巴系统中循环，发挥免疫作用。

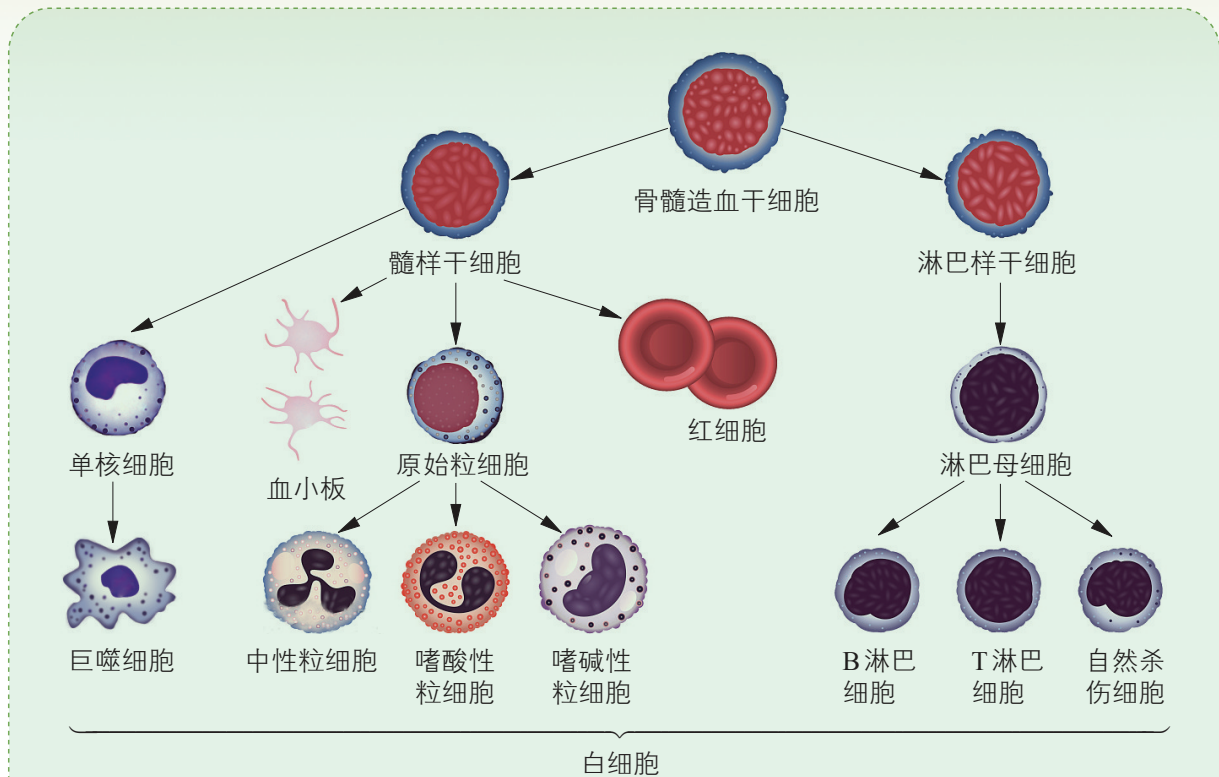


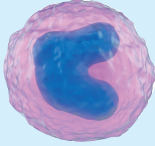
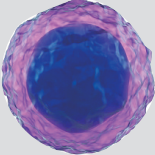
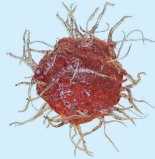
图4-3 骨髓造血干细胞分化为多种血细胞

按照细胞质中有无颗粒，可以将白细胞分为粒细胞和无粒细胞。粒细胞又可以根据其颗粒对染料反应，分为中性粒细胞、嗜酸性粒细胞、嗜碱性粒细胞。不同种类的白细胞具有不同的功能（表4-1）。各种白细胞数量的变化可以反映人体的健康状况，例如，细菌感染初期，中性粒细胞数目会超过正常范围。

表4-1 几种免疫细胞的功能

白细胞类型	图示	功能
中性粒细胞		占白细胞总数的50%~70%，具有很强的吞噬作用，寿命为2~3天，可以吞噬细菌、真菌以及其他异物，是非特异性免疫的重要成员
嗜酸性粒细胞		占白细胞总数的1%~4%，杀死抗体包被的寄生虫
嗜碱性粒细胞		占白细胞总数的1%，功能未知，被认为是对嗜酸性粒细胞和肥大细胞功能的补充

续表

白细胞类型	图示	功能
单核细胞		占白细胞总数的1%~7%。单核细胞发育为巨噬细胞。巨噬细胞是另一类吞噬细胞，吞噬能力强大，寿命长，参与非特异性免疫和特异性免疫抗原呈递（见本章第三节）
淋巴细胞		占白细胞总数的20%~40%，分为B淋巴细胞和T淋巴细胞，参与特异性免疫应答
树突细胞		吞噬细胞中的一类，在外周组织中摄取抗原，在淋巴结中呈递抗原，参与特异性免疫应答

思考与练习

一、选择题

- 多细胞生物的细胞结构中可能成为体现“自己”和“非己”的分子标识是（ ）
 - 细胞膜
 - 细胞核
 - 细胞膜表面的糖蛋白
 - 细胞的分泌蛋白
- 下列关于T淋巴细胞和B淋巴细胞的叙述，正确的是（ ）
 - T淋巴细胞起源于胸腺
 - T淋巴细胞在胸腺成熟
 - T淋巴细胞和B淋巴细胞均在骨髓成熟
 - B淋巴细胞在胸腺成熟

二、简答题

免疫系统的组成和主要功能是什么？

第二节 人体通过非特异性免疫对抗病原体

本·节·要·点

- 体表屏障
- 炎症反应
- 干扰素

一个正常的健康个体在其生命中的每一天都会接触大量的微生物，但偶尔才会出现有症状的疾病。大多数病原体在几分钟或几小时内就能被机体察觉并清除，这都依赖于一种不需要长时间诱导的防御机制——非特异性免疫。在感染初期，非特异性免疫的防御作用至关重要，是动物生存的重要保障。面对多种病原体，非特异性免疫为什么可以立即做出反应？非特异性免疫都包含哪些途径？为什么说非特异性免疫针对多种病原体发挥防御作用？

体表屏障是人体对抗病原体的第一道防线

人体对抗病原体的第一道防线包括身体表面的物理屏障和化学防御。通常病原体不能穿过皮肤和消化、呼吸、泌尿、生殖等管道的黏膜。皮肤的表面有一层死细胞（角质细胞），病原体不能在这种环境中生存，而且皮肤中的皮脂腺分泌的油脂使皮肤表面pH为3~5，足可抑制许多微生物的生长。

存在于食物中的微生物会遇到唾液中的溶菌酶和胃液中的胃酸，溶菌酶能消化细菌的细胞壁，胃酸会杀死大部分微生物。存在于吸入空气中的微生物会被呼吸道黏膜所分泌的黏液捕获，并通过呼吸道黏膜上纤毛的摆动，将黏液推向咽部，使潜在的入侵者离开肺部进入消化道。当感染源偶尔进入呼吸道和消化道时，身体会运用一些防御体系，像咳嗽、打喷嚏和呕吐等方式来抵御病原体。

体内的非特异性反应是人体对抗病原体的第二道防线

如果病原体突破体表屏障，机体会启动多种非特异性的细胞和分泌多种化学物质来保护自己。由于这种反应不是专门针对某种特定的病原体的，因此被称为非特异性反应，它是人体抵御病原体的第二道防线。

当人的皮肤破损后，往往会引起局部炎症反应，受损伤的部位出现疼痛、发红、肿胀、发热等现象。这是因为当皮肤破损时，毛细血管和细胞被破坏，损伤细胞会释放某种化学物质（如组织胺）作为报警信号，引发神经冲动，使人产生痛觉；还会使受损伤部位的微动脉和毛细血管舒张、扩大，皮肤变红；使毛细血管的通透性升高，蛋白质和液体逸出，形成局部肿胀，同时局部体温升高。这样，就可以增强白细胞吞噬侵入病原微生物的作用（图4-4）。

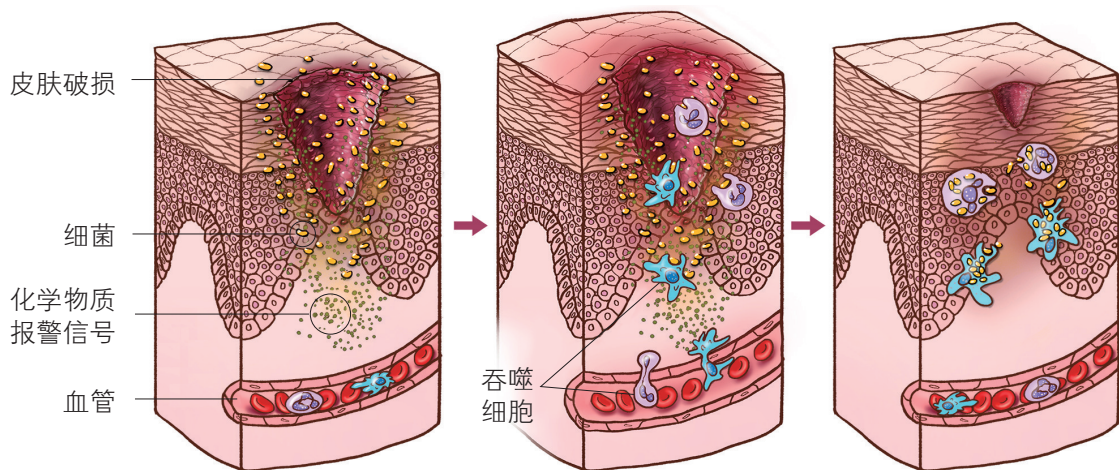
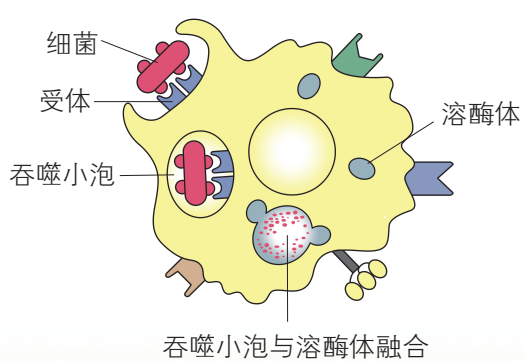
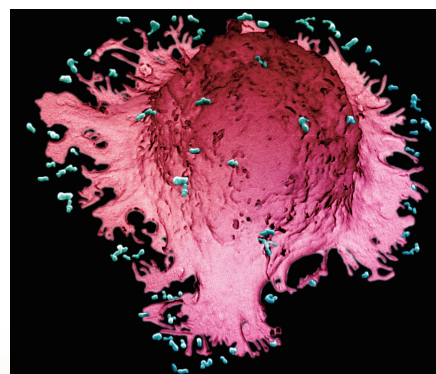


图4-4 炎症反应过程

皮肤的任何破损都可能使病原微生物进入体内，引起中性粒细胞和单核细胞从毛细血管中钻出，进入受损伤部位的组织间隙。一个中性粒细胞可吞噬几个细菌。单核细胞则分化成巨噬细胞，可以吞噬上百个细菌和病毒。中性粒细胞和巨噬细胞可以统称为吞噬细胞，它们吞噬微生物就像变形虫分辨并吞噬食物一样。吞噬细胞细胞膜表面的受体可以识别并结合许多病原体表面共同存在的组分。吞噬细胞中含有大量的溶酶体，可将吞噬的微生物消化（图4-5）。



A. 吞噬细胞吞噬细菌模式图



B. 巨噬细胞摄取微生物的扫描电镜图（3500×，经后期着色处理）

图4-5 吞噬细胞吞噬微生物图解

在对抗感染的过程中，一些白细胞死亡。这些白细胞及一些坏死组织、坏死细胞、死细菌和活的白细胞结合在一起形成一种黄色黏稠的液体，称为脓液。脓液出现，表示身体正在克服感染。



小资料

发热是一种非特异性防御机制

巨噬细胞遇到入侵的微生物时，会释放一种称为白细胞介素-1的调节分子，它们通过血液流向大脑。白细胞介素-1和其他致热原，如细菌产生的内毒素，能刺激下丘脑内的神经元，使体温升高，温度升高的结果就是发热。发热促进机体的吞噬作用，引起肝、脾储藏铁离子，以降低血液中的铁离子，而细菌生长时需要大量的铁离子。可见，发热可以增强机体的防御功能。但体温超过 $39.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 对人体就有害了，超过 $40.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 就有可能致命。

干扰素是在对抗病毒感染中发挥重要作用的蛋白质，分 α 、 β 、 γ 三种。 α 和 β 干扰素由被病毒感染的体细胞产生。干扰素并不直接杀死病毒，而是作为信号刺激周围细胞产生另一种能抑制病毒复制的蛋白质，从而抵抗感染。 γ 干扰素由白细胞产生，它可以对抗感染并抗击肿瘤。现在可以用基因工程的方法，利用酵母菌生产干扰素。

思考与练习

一、选择题

1. 人体皮肤大面积烧伤后容易发生感染，这是由于（ ）

A. 体液大量损失	B. 特异性免疫能力减弱
C. 营养物质不能及时补充	D. 非特异性免疫能力减弱
2. 下列不属于第一道防线的是（ ）

A. 胃酸能杀菌	B. 咳嗽、打喷嚏和呕吐
C. 发热不利于细菌在体内繁殖	D. 消化道黏膜的阻挡作用

二、简答题

1. 皮肤受伤后为什么会红肿发炎？
2. 如果有同学体温为 $37.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，要吃退烧药，你会给他怎样的建议？

第三节 人体通过特异性免疫对抗病原体

我们从小到大接种过许多种疫苗，表4-2呈现了我国部分疫苗计划免疫的时间表。卡介苗专门抵御结核杆菌，预防肺结核；乙肝疫苗专门抵御乙肝病毒的侵染。为什么一种疫苗专门针对一种病，而且要隔一段时间再接种一次？生活中我们观察到，大人们照顾生病的孩子，大人自己却不得病。为什么大人的抵抗力强？为什么患过水痘的人以后再也不会得这种病了？

本节要点

- 细胞免疫
- 体液免疫
- 主动免疫
- 被动免疫

表4-2 我国部分疫苗计划免疫时间

月(年)龄	卡介苗	乙肝疫苗	脊髓灰质炎活疫苗	百白破混合制剂	乙脑减毒活疫苗
出生	初种	第一次			
1月龄		第二次			
2月龄			第一次		
3月龄			第二次	第一次	
4月龄			第三次	第二次	
5月龄				第三次	
6月龄		第三次			
8月龄					初种
1.5~2岁				加强	加强
4岁			加强		
6岁				精白类加强	

以上是通过特异性免疫实现的。特异性免疫又称为免疫应答 (immune response)。免疫应答有两个特点：第一，针对特定的病原体发挥免疫作用；第二，有免疫记忆。特异性免疫是人体免疫的第三道防线。

淋巴细胞能够识别入侵者

病原体表面的蛋白对于人体来说是“非己”成分，也就是抗原。抗原作为“非己”信息进入机体会被淋巴细胞识别。淋巴细胞的细胞膜表面有专门识别抗原分子的受体。B淋巴细胞表面受体可以直接识别抗原分子的空间结构 (图4-6)。

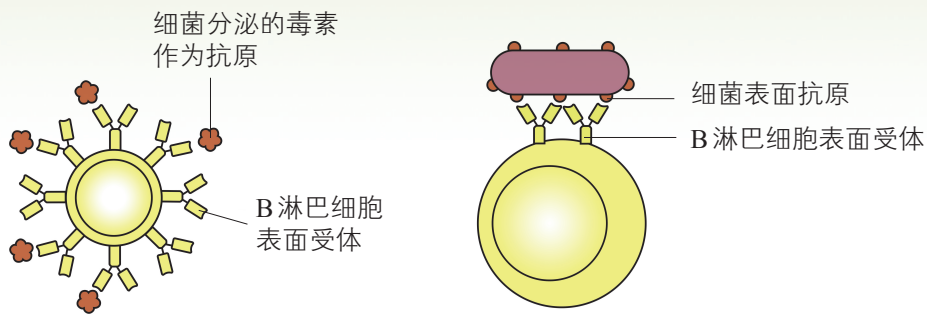


图4-6 B淋巴细胞表面受体识别抗原分子的空间结构

T淋巴细胞表面的受体只能识别抗原分子的一部分肽段，而且这部分肽段往往藏在抗原分子的内部。因此抗原蛋白必须经吞噬细胞吞噬消化后，吞噬细胞将消化处理后的肽段夹持在细胞表面的MHC分子上，形成抗原-MHC复合体，T淋巴细胞才能够识别（图4-7）。

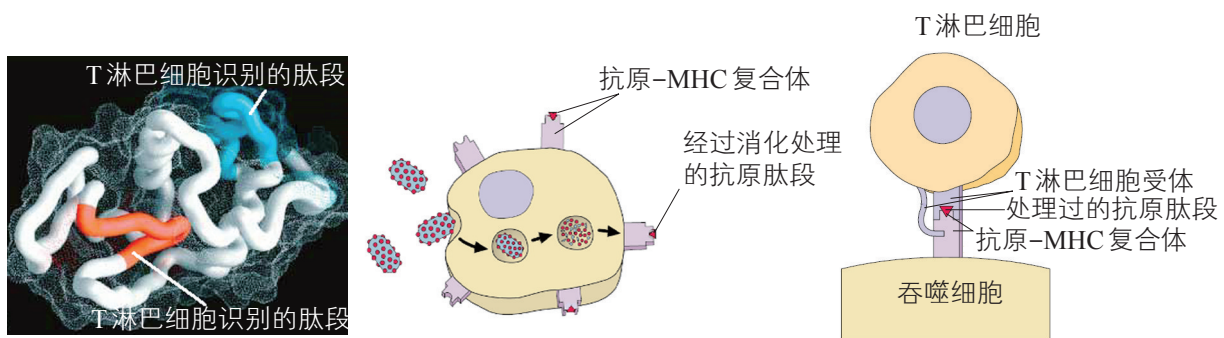


图4-7 T淋巴细胞识别抗原

淋巴细胞具有特异性。抗原具有特异性和多样性，不同种类的微生物带有不同的抗原分子。无论是B淋巴细胞还是T淋巴细胞，都会因细胞表面受体种类不同而有千千万万种。每一种淋巴细胞的受体对应一种特殊结构的抗原分子，这是免疫应答有针对性的结构基础。当一种特定的抗原侵入机体后，机体对应的淋巴细胞会被致敏，在特殊信息分子的刺激下不断分裂，形成大量的同种类型的淋巴细胞（细胞克隆），进一步参与免疫应答（图4-8）。特异性免疫包括细胞免疫和体液免疫。T淋巴细胞诱导细胞免疫，B淋巴细胞诱导体液免疫。

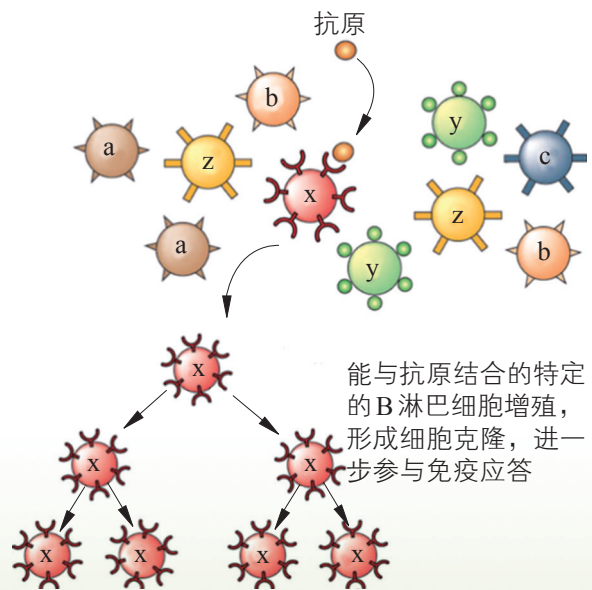


图4-8 B淋巴细胞具有特异性

细胞免疫直接杀死靶细胞

细胞免疫可以杀死被病毒侵染的体细胞、自身癌变细胞和异体细胞。参与细胞免疫的成熟 T 淋巴细胞分为不同的类群，其中包括辅助性 T 细胞（Th）和细胞毒性 T 细胞（Tc）。细胞免疫启动和发挥效应的过程可分为三个阶段：感应阶段、增殖分化阶段、效应阶段。

感应阶段 T 淋巴细胞在胸腺成熟后被释放到血液中，它们连续不断地从血液循环中挤过毛细血管壁的细胞间隙，经组织液进入毛细淋巴管，然后再通过淋巴管返回到血液，就像在巡逻。当外周发生感染时，吞噬细胞摄取、处理抗原，在细胞表面形成抗原-MHC 复合体。它移行到附近的淋巴结，拦截能识别这种特异性抗原的 T 淋巴细胞，将抗原呈递给辅助性 T 细胞和细胞毒性 T 细胞。

增殖分化阶段 辅助性 T 细胞的受体与某种吞噬细胞呈递在细胞表面的抗原-MHC 复合体结合，同时受到由吞噬细胞分泌的白细胞介素-1 的刺激，辅助性 T 细胞开始增殖和分化，并分泌出白细胞介素-2 等淋巴因子。这些淋巴因子在细胞免疫和体液免疫中发挥信号作用。

当细胞毒性 T 细胞的受体识别呈递在吞噬细胞表面的抗原-MHC 复合体上的抗原后，便同时又受到另一个信号——白细胞介素-2 的刺激，细胞毒性 T 细胞进入细胞周期开始增殖并形成细胞克隆，接着分化为效应细胞毒性 T 细胞群和记忆细胞毒性 T 细胞群。

效应阶段 效应细胞毒性 T 细胞一经形成便离开淋巴结，寻找靶细胞发挥作用。被病毒侵染的体细胞也会加工、处理抗原，将抗原呈递在细胞表面的 MHC 分子上。效应细胞毒性 T 细胞表面含有针对此抗原的受体，可以特异性地与之结合，并释放穿孔素等杀伤性物质，诱导靶细胞凋亡（图 4-9）。细胞凋亡能杀死宿主细胞，也能直接作用于细胞内的病原体。例如，在凋亡中活化的核酸酶能破坏细胞的 DNA，也能降解病毒的 DNA，这就防止了病毒的装配和释放。

当靶细胞被清除后，记忆 T 细胞仍存留于体内，形成免疫记忆。当同种抗原再次入侵时，记忆 T 细胞感受信号的刺激后，再次恢复增殖分化能力，清除靶细胞。

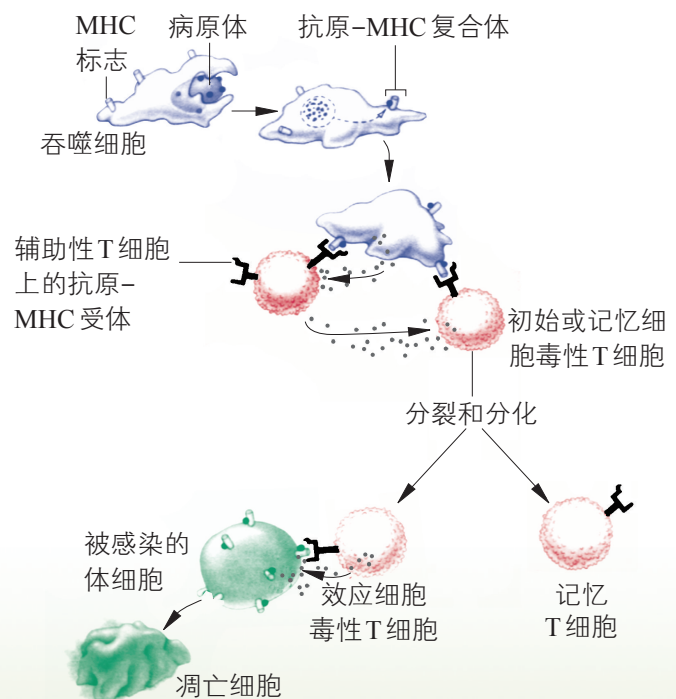


图 4-9 细胞免疫示意图

体液免疫依靠抗体发挥作用

抗体的化学本质是蛋白质，称为免疫球蛋白。抗体是“Y”字形分子，其两条臂形成两个相同的抗原结合位点，可以同时结合2个抗原分子。不同的抗体分子之间具有高度的特异性（图4-10）。

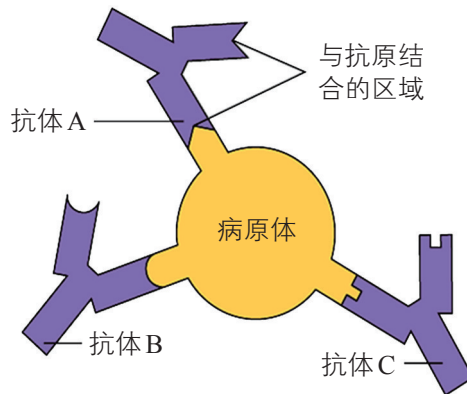


图4-10 抗体的特异性

抗体与抗原特异性结合发生在体液中，所以称这种特异性免疫为体液免疫（图4-11）。

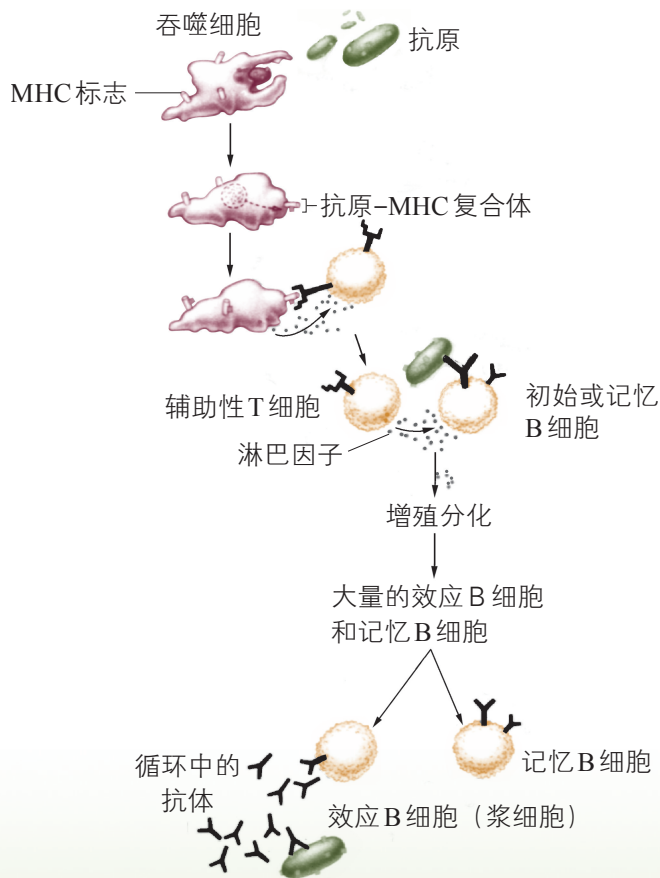


图4-11 体液免疫示意图

B淋巴细胞介导的体液免疫也分为三个阶段：感应阶段、增殖分化阶段和效应阶段。

感应阶段 B淋巴细胞在循环系统“巡逻”时，如果遇到相应的抗原，就会通过B淋巴细胞表面的受体特异性地与之结合，此时B淋巴细胞被致敏。致敏的B淋巴细胞还需要第二个信号的刺激才能增殖分化，这个信号来自一个已经被抗原-MHC复合体活化了的辅助性T细胞，辅助性T细胞分泌淋巴因子作用于致敏的B淋巴细胞，此时B淋巴细胞开始增殖分化。

增殖分化阶段 抗原和淋巴因子作为信号刺激B淋巴细胞，使B淋巴细胞恢复分裂能力，进入细胞周期，开始增殖并分化为效应B细胞群和记忆B细胞群。效应B细胞又称浆细胞，有发达的粗面内质网和高尔基体，可以大量合成和分泌特异性抗体（大约每秒合成2000个抗体分子）。效应B细胞寿命只有几天，大量产生抗体后便死去。

效应阶段 抗体分泌到体液中发挥作用。抗体与抗原的结合很像是给抗原贴上标签，然后招募吞噬细胞去吞噬清除它。抗体识别的主要目标是细胞外的病原体和毒素。当这些病原体和毒素在组织和体液中自由地循环流动时，抗体与这类细胞外的病原体或毒素结合，可以防止病原体对体细胞的黏附和侵染，使一些细菌产生的毒素被中和而失效。抗原抗体结合后形成沉淀或细胞集团，进而被吞噬细胞吞噬消化（图4-12）。记忆B细胞可以在抗原消失后很长时间内保持对这种抗原的记忆，当再接触这种抗原时，能迅速增殖分化，快速产生大量的抗体。

在一次免疫应答中产生的抗体不会全部用完，故各种各样的抗体在血液中循环流动。因此，检查血液中的某一种抗体便可确定一个人是否曾经受到某种特定的病原体的侵袭。例如，受肝炎或艾滋病的病毒侵袭后，机体产生对应的抗体。

特异性免疫的感应阶段和增殖分化阶段主要发生在淋巴结中，这可以解释为什么发炎时发炎部位附近的淋巴结会肿大。

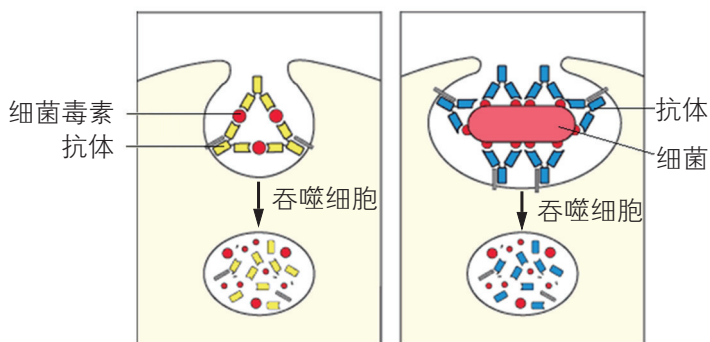


图4-12 抗体介导的吞噬作用

免疫接种可以战胜许多传染性疾病

免疫接种或预防接种是以诱发机体免疫应答为目的，预防某种传染性疾病的方法。在历史上，免疫接种最早可以追溯到我国古代发明的接种人痘预防天花。18世纪，爱德华·詹纳（Edward Jenner，1749—1823）用接种牛痘来预防天花。牛痘病毒

能在人体内诱发出抵抗天花病毒的免疫力。19世纪，路易·巴斯德（Louis Pasteur, 1822—1895）发明了灭活和减毒的疫苗。现有的疫苗有三种类型：①灭活的微生物；②减毒的微生物；③分离的微生物成分或其产物。这三类疫苗通过注射或口服进入体内，使体内产生初次免疫应答，再次接种则引发二次免疫应答。两次或更多次数的接种，可以使机体产生更多的效应细胞和记忆细胞，提供对相关疾病的长期保护。这种免疫方式称为主动免疫。

还有一种免疫方式是被动免疫，就是通过接种针对某种病原体的抗体（抗血清）而获得免疫力。例如，马多次接种破伤风梭菌后，其血清内产生大量的抗破伤风抗体，可以用来医治破伤风梭菌感染者。



建议活动

通过ABO血型鉴定观察抗原-抗体反应

ABO血型是指红细胞膜上特异性抗原的类型。红细胞表面只含A抗原的即A型血，只含B抗原的即B型血，既含A抗原又含B抗原的为AB型血，既不含A抗原也不含B抗原的为O型血。A型血的人血清内含有抗B的抗体，B型血的人血清内含有抗A的抗体，AB型血的人血清内既不含抗A的抗体也不含抗B的抗体，O型血的人血清中含上述两种抗体（表4-3）。

表4-3 ABO血型

血型	红细胞抗原	血清中的抗体
O型	无	抗A、抗B
A型	A	抗B
B型	B	抗A
AB型	A、B	无

如果将A型血的红细胞与B型血的血清混合，就会发生红细胞聚集成簇的现象，这种现象称为凝集。红细胞凝集的机制是抗原-抗体反应，即位于红细胞膜上的抗原与相应血清中的抗体发生免疫反应。在ABO血型系统中，血型鉴定就是将检测血液分别加入已知含有A或B抗体的标准血清中，观察凝集现象是否发生，用以判断待检血液红细胞上含何种抗原，由此确定待检血液的血型。通过血型鉴定实验，可以用肉眼直接观察抗原抗体结合后形成的凝集物。

目的要求

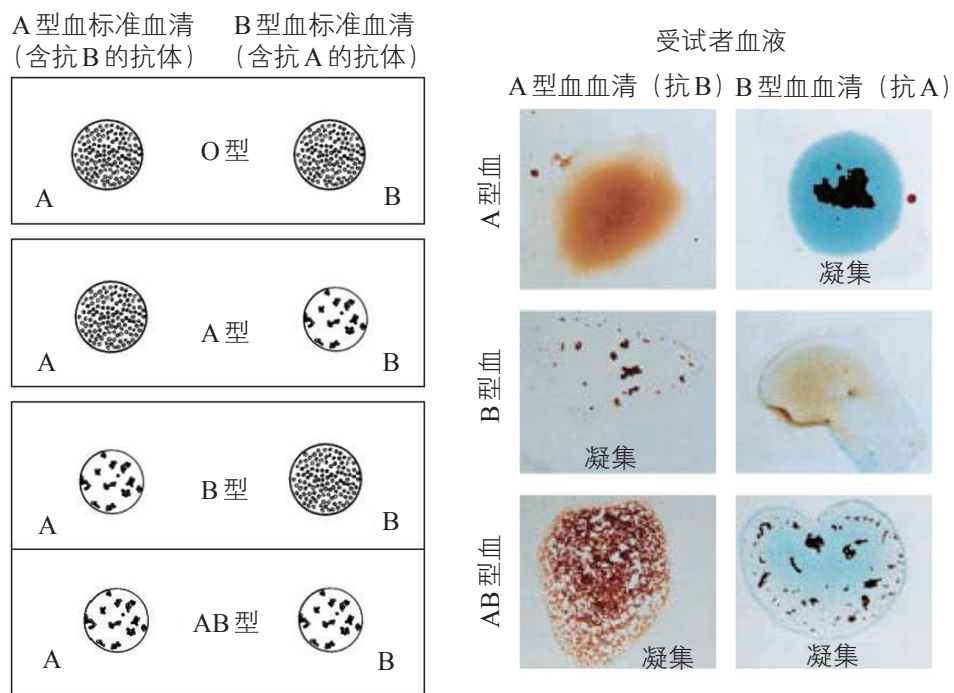
理解鉴定ABO血型的原理，观察抗原抗体结合后的凝集现象。

材料用具

标准A、B型血的血清，70%医用酒精，医用碘酒，消毒棉球，载玻片，记号笔，采血针，牙签等。

方法步骤

1. 用医用酒精消毒载玻片，待酒精挥发干，用记号笔在载玻片两端分别标上A、B，并各滴加一滴相应的已知标准血清。
2. 分别用医用碘酒和70%酒精棉球消毒无名指指端，用经过灭菌的采血针刺破无名指皮肤，轻轻挤压出血滴，分别滴于载玻片A、B型血的标准血清中。
3. 再次用医用碘酒消毒伤口，用消毒棉球按压止血。
4. 用牙签轻轻地将血滴与血清搅匀，2~5 min后观察有无凝集现象，20~30 min后再根据有无凝集现象判定血型（图4-13）。



A. ABO血型鉴定示意图

B. ABO血型鉴定真实照片

图4-13 ABO血型鉴定

讨论

1. 根据实验测定，你的血与哪种血清产生了凝集反应，以此判定你是什么血型。
2. 为什么AB型血与标准A型血的血清、标准B型血的血清都产生了凝集反应？
3. 血型测定实验中出现的凝集反应，其本质是什么？

课外读

抗体的结构、种类和分布

抗体由四条肽链构成，即两条轻链、两条重链，每条轻链和重链之间都通过一个二硫键相连，两条重链之间由两个二硫键相连（图4-14）。其中，可变区（V区）是与抗原结合的部位，这个部位的微小变化决定结合不同的抗原，而恒定区（C区）决定了抗体的分布。可变区相同而恒定区不同的抗体，能结合同种抗原，但在体内分布不同。

根据恒定区的不同可将抗体分成五类，即IgM、IgD、IgG、IgA、IgE。

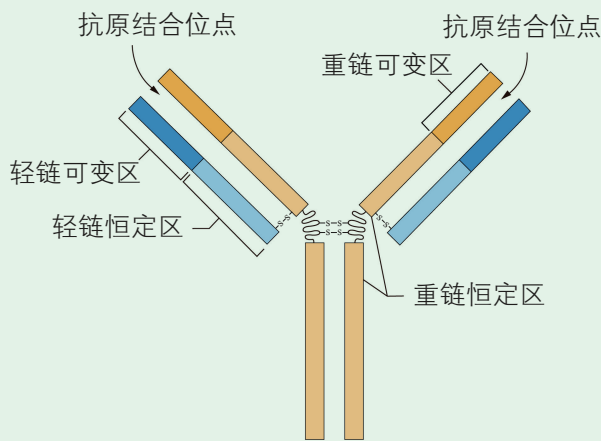


图4-14 抗体的结构

胞外病原体能够找到多个入侵人体的部位，所以抗体必须分布广泛以抗击病原体。病原体一般从呼吸道、消化道、生殖道黏膜进入，或通过昆虫叮咬等方式进入血液。身体黏膜和血液中都分布有抗体，可以避免感染。五类抗体可以分布在身体的不同部位发挥功能（图4-15），抗体的全方位分布像给人体穿上了无形的铠甲。例如，IgA（图中黄色部分）主要分布在肠道、呼吸道上皮、分泌乳汁的乳腺以及其他各种外分泌腺如唾液腺和泪腺，能够阻止病原体或毒素黏附于上皮细胞。IgA可以通过乳汁进入新生儿肠道，在婴儿自身合成保护性抗体之前，为其提供保护。这就是母乳喂养的孩子不易生病的原因。IgG（图中粉红色部分）分布在细胞外组

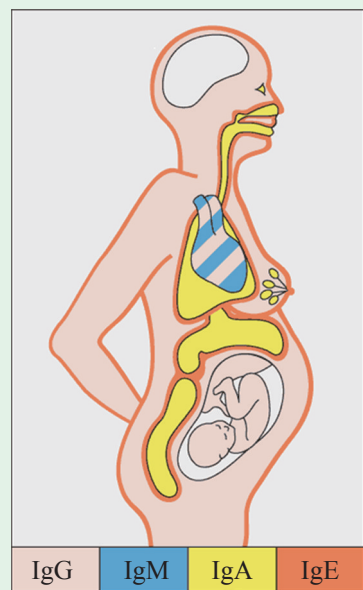


图4-15 抗体的分布

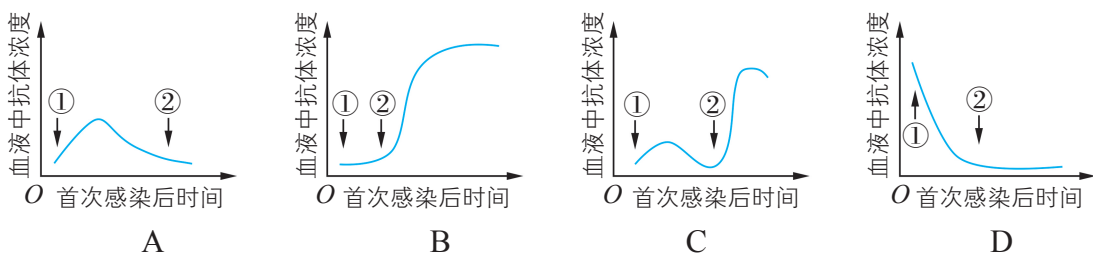
织处和血液中，它可能通过胎盘和初乳进入婴儿体内。

抗体实际上是B淋巴细胞受体的一种分泌形式。抗体与其分泌B淋巴细胞的抗原受体除了重链恒定区末端的一小部分不同外，几乎是一样的。对B淋巴细胞受体来说其末端是易于镶嵌在膜上的疏水性序列，而对抗体来说是有利于分泌的亲水性序列。

思考与练习

一、选择题

1. 下图①表示第一次感染，②表示第二次感染。能正确表示病毒或病菌侵入机体后，引起血液中抗体浓度变化的是（ ）



2. 人被犬咬伤后，为防止狂犬病发生，需要注射由灭活狂犬病毒制成的疫苗。疫苗在人体内可引起的免疫反应是（ ）

- A. 可促进效应B细胞释放淋巴因子 B. 刺激吞噬细胞产生抗狂犬病毒抗体
C. 刺激效应T细胞分化为记忆细胞 D. 产生与狂犬病毒特异性结合的抗体

二、简答题

某人患了流感，下表显示了该患者在生病期间体温和抗体水平的变化情况。

第×天	体温/°C	抗体水平
1	37	低
2	39.8	低
3	39	中
4	37	高
5	37	中
6	37	低

请回答下列问题：

(1) 请绘出体温随时间变化曲线图。感染的第2天、第3天体温升高，此时哪种免疫机制在发挥作用？

(2) 抗体是在哪一天升高的？感染痊愈后抗体浓度降低有什么适应意义？

(3) 请分析非特异性免疫和特异性免疫在抗感染时发挥的作用。

第四节 免疫功能异常引发疾病

本·节·要·点

- 过敏反应
- 自身免疫病
- 免疫缺乏病
- 艾滋病

人体免疫功能正常时，可以对“非己”抗原产生特异性免疫反应，对机体发挥免疫保护作用。当免疫功能异常时，会损害人体健康。我们听说过的皮肤过敏、过敏性鼻炎、类风湿性关节炎、艾滋病等都与免疫功能异常有关。免疫系统功能异常包含哪几类？产生的原因是什么？能预防吗？

免疫系统过度反应引发过敏和自身免疫疾病

如果机体免疫系统异常敏感、反应过度或“敌我不分”，将引起疾病。针对非致病性抗原产生的免疫应答称为过敏，针对自身抗原产生的免疫应答会引起自身免疫病。

过敏反应 过敏反应是指已经产生免疫的机体，在再次接受相同的抗原时所发生的组织损伤或功能紊乱。过敏反应是针对非致病性抗原产生强烈的免疫应答。非致病性抗原包括花粉、某些食物、某些药物、螨虫、蘑菇孢子、昆虫的毒液、灰尘、化妆品等，机体可能出现皮肤红肿、哮喘、流鼻涕、黏膜水肿等症状。能引发过敏反应的物质称为致敏原（allergen）。过敏反应分速发型与迟发型两类。其中，速发型过敏反应可在接触致敏原几分钟后开始，如青霉素、蜂毒等引起的过敏反应。这种反应强烈，如不及时治疗可以导致死亡。

自身免疫病 免疫系统具有区分“自己”和“非己”的能力。但在某些情况下，患者的抗体和T淋巴细胞攻击自身的组织，这便是自身免疫病。自身免疫病可分为两类：器官特异性自身免疫病和系统性自身免疫病。器官特异性自身免疫病的自身抗体只攻击某一器官，如胰岛素依赖性糖尿病中的胰岛细胞。系统性自身免疫病则波及全身，如系统性红斑狼疮，表现为原因不明的全身血管炎，面部有蝴蝶样红斑并因日照而加重，多见于年轻妇女（15~35岁）；又如类风湿性关节炎，表现为指关节、腕关节疼痛、红肿、僵直，还可波及踝、膝、肘关节，女性的发病率为男性的3倍。

免疫系统功能减退引起免疫缺乏病

先天的免疫缺乏病 先天的免疫缺乏病 (immune deficiency) 是与生俱来的。患儿缺乏B淋巴细胞或T淋巴细胞,对“非己”成分缺乏免疫应答能力,很容易因感染病原体而致病,甚至死亡。

后天获得的免疫缺乏病 艾滋病是由于感染人类免疫缺陷病毒 (human immunodeficiency virus, HIV) 而引起的严重的免疫缺乏病。艾滋病是英文 AIDS 的译名。AIDS 是获得性免疫缺陷综合征 (acquired immune deficiency syndrome) 一词的英文缩写。这是一种新发现的通过体液传播的疾病,1981 年才被确诊。艾滋病是一种削弱人体免疫系统功能的疾病。免疫功能受到削弱,使身体保卫自身免受许多致命感染和恶性疾病侵袭的能力下降,造成严重后果。艾滋病至今还无法治愈。感染 HIV 以后,一般要经过很长的潜伏期 (8~10 年) 才发病。HIV 是一种逆转录病毒 (图4-16)。

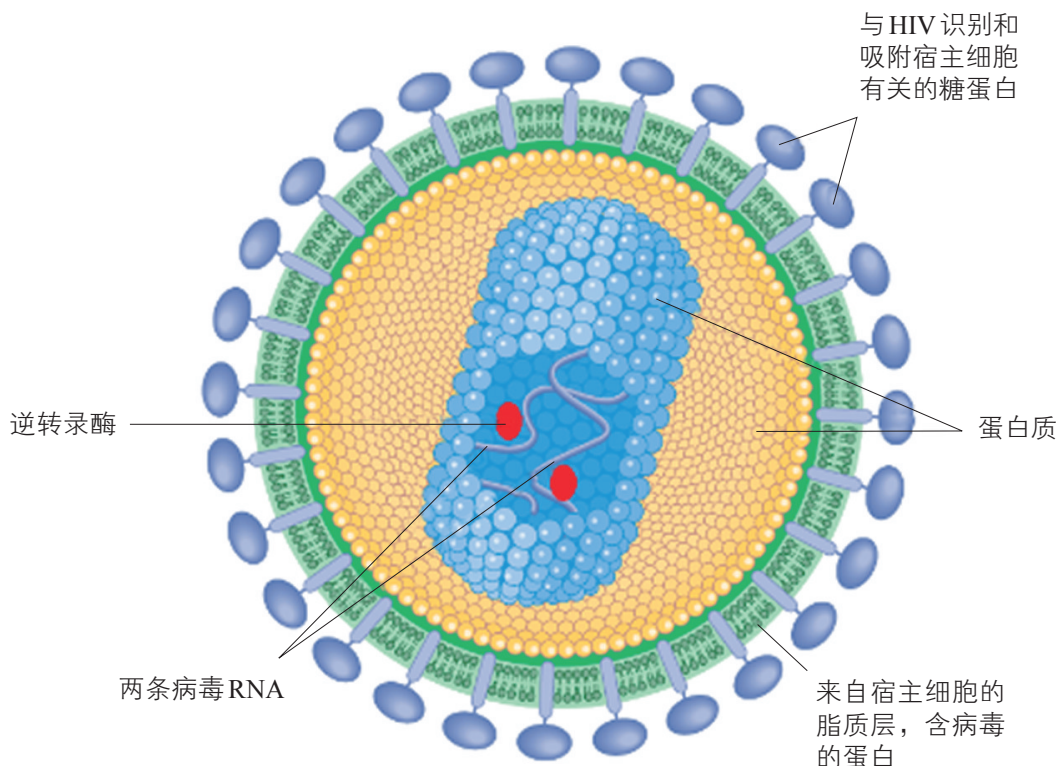
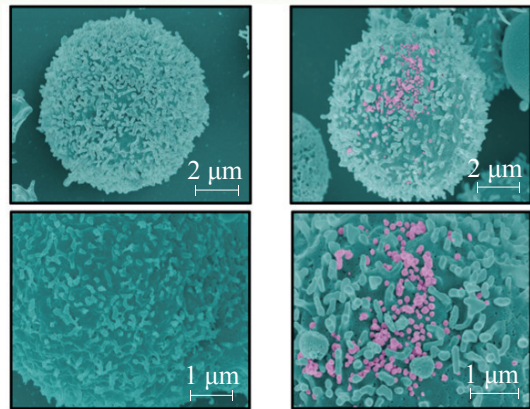


图4-16 HIV结构示意图

HIV侵入人体后能识别并结合辅助性T细胞表面的受体进入细胞（图4-17）。



A. 辅助性T细胞未被侵染 B. 辅助性T细胞被侵染（红色为HIV）

图4-17 HIV侵染辅助性T细胞

HIV的遗传物质是RNA，在辅助性T细胞中，通过逆转录酶的作用形成互补的DNA，并整合到辅助性T细胞的DNA中。经过长时间的潜伏后，辅助性T细胞被激活，前病毒复制出新的HIV，并破坏辅助性T细胞。如此循环往复，从而导致大量的辅助性T细胞被破坏（图4-18）。由于辅助性T细胞在免疫系统中起着调节作用，因此大量的辅助性T细胞被HIV破坏后便会严重削弱免疫功能。

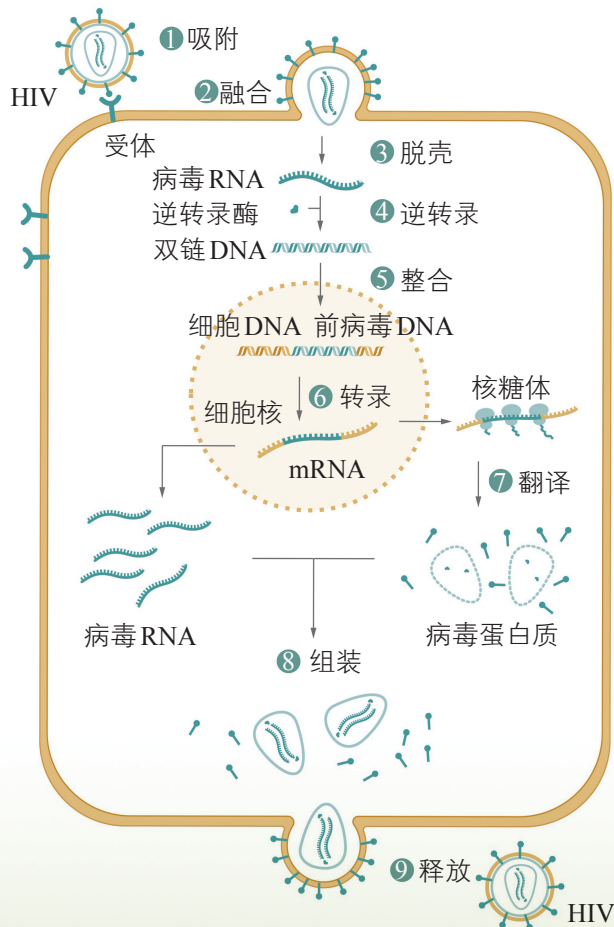


图4-18 HIV在辅助性T细胞内增殖

感染初期，人体的免疫系统可以摧毁大多数病毒，但由于HIV的破坏作用，艾滋病患者的免疫功能逐渐衰退（图4-19）。丧失免疫功能会招致一些感染，而这些感染不会对免疫功能正常的人造成损害。正常人可通过服用抗生素治愈许多感染，但是艾滋病患者却无法控制，以致产生致命的后果。艾滋病患者往往很消瘦，也可能出现痴呆。从症状出现时起，艾滋病患者的预期寿命只有1~3年。

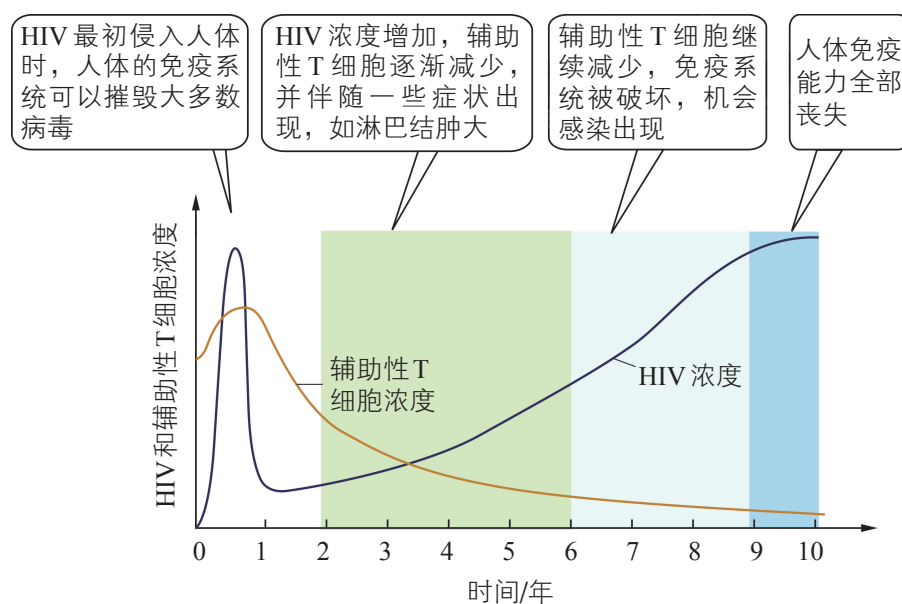


图4-19 HIV侵入与机体免疫应答

艾滋病的传播途径有三种：①性接触。HIV可通过性交在男女之间、同性恋者之间传播。②血液传播。HIV通过输血、血液制品或共用注射器针头而传播。③母婴传播。感染了HIV的妇女通过妊娠、分娩或哺乳将病毒传给婴儿。

HIV不会通过一般的身体接触或空气途径（如打喷嚏、咳嗽）传播。HIV不能经昆虫传播，也不会通过食物、握手传播。

艾滋病在全球范围内流行，形势严峻，必须引起高度重视，采取有力措施预防和控制。针对艾滋病感染的三个途径，预防艾滋病感染应注意洁身自爱，避免不正当的性关系，使用避孕套；输血要严格检查，严格消毒；远离毒品；对已感染HIV的孕妇应用药物控制，实施剖宫产，并对其婴儿采用人工哺乳。



课外读

治愈癌症成为现实

美国免疫学家詹姆斯·艾利森（James P. Allison, 1948— ）和日本免疫学家本庶佑（Tasuku Honjo, 1942— ）因为在肿瘤免疫领域做出的贡献，荣获

2018年诺贝尔生理学或医学奖。

艾利森是美国得克萨斯大学安德森 (M. D. Anderson) 癌症中心免疫学研究平台负责人、免疫学教授。艾利森被认为是分离出T淋巴细胞抗原 (T-cell antigen) 复合物蛋白的第一人。同时,他发现如果可以暂时抑制T淋巴细胞表面表达的CTLA-4这一免疫系统“分子刹车”的活性,就能提高免疫系统对肿瘤细胞的攻击性,从而缩小肿瘤的体积。他对T淋巴细胞发育和激活,以及免疫系统“刹车”的卓越研究,为癌症治疗开创了全新的免疫治疗思路——释放免疫系统自身的能力来攻击肿瘤。

本庶佑是美国国家科学院外籍院士,日本学士院会员,现任京都大学高等研究院特别教授。1992年,本庶佑首先鉴定PD-1为活化T淋巴细胞上的诱导型基因。这一发现为PD-1阻断建立癌症免疫治疗原理做出了重大贡献。PD-1蛋白是一种存在于许多T淋巴细胞表面的分子,是免疫调节中的另一种“分子刹车”。当PD-1蛋白与某些特定分子结合后,能迫使免疫细胞“自杀”,从而终止正在进行的免疫反应。一些肿瘤细胞的表面带有能与PD-1蛋白结合的分子,从而诱导T淋巴细胞过早地进入自我破坏程序。这样,T淋巴细胞在攻击肿瘤细胞时,反而会接收到“自杀”的信号。通过这种方式,肿瘤细胞可以逃避免疫系统的攻击。使用PD-1阻断药物,可以“解救”T淋巴细胞。临床试验结果显示,这些药物在30%以上的黑色素瘤患者中,都起到了长期性的缓解作用。在一类肺癌患者中,有20%以上的受试者体内的肿瘤得到了持续性的抑制。

研究显示,在患有结肠癌和黑色素瘤的实验动物身上联用CTLA-4和PD-1阻断剂,比单独使用其中任何一种都更有效。目前,科学家已经能将标准的抗肿瘤疗法(化疗、放疗等)与增强自身防御功能的免疫疗法联合起来。因此,我们可以相信,长期抑制甚至治愈肿瘤的梦想,已开始变为现实。

思考与练习

一、选择题

1. 某病原体第一次感染人体,人体不会产生相应的()
A. B淋巴细胞 B. 记忆淋巴细胞 C. 过敏反应 D. 免疫反应
2. 艾滋病的主要传播媒介是()
A. 血液和精液 B. 握手和拥抱
C. 衣物和卧具 D. 空气和食物
3. 下列关于艾滋病的叙述,错误的是()

- A. HIV 主要攻击辅助性T细胞，致使患者丧失免疫功能
- B. 从感染 HIV 到发展为艾滋病患者，一般经过8~10年的潜伏期
- C. 患者（或携带者）的血液、精液、唾液、乳汁等均可能有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

二、简答题

如果你在生活中遇到艾滋病病毒携带者，应该如何与他相处呢？

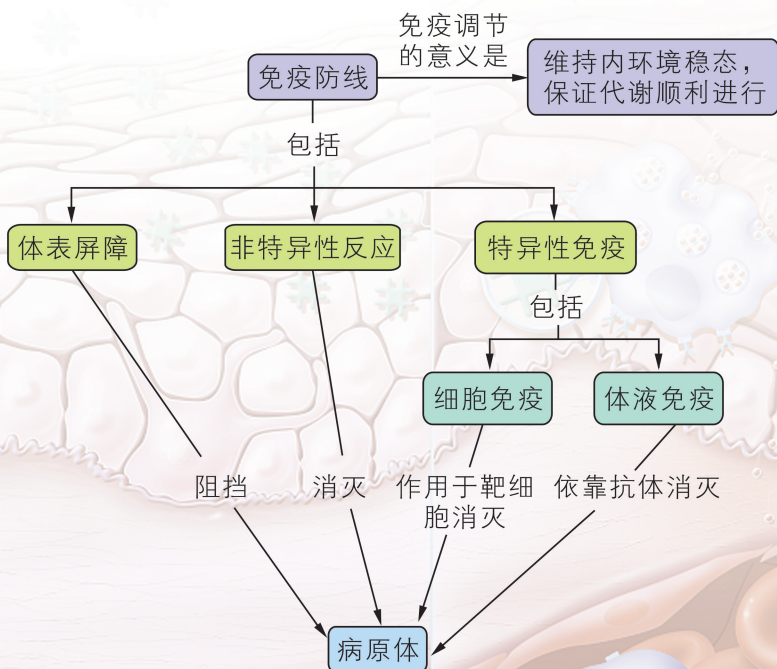
本章小结

免疫是身体对抗病原体引发疾病的能力。免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质是免疫调节的结构基础。体表屏障、非特异性反应和特异性免疫是人体保护自身免受外界病原体侵袭的三道防线。机体通过免疫调节进行免疫防卫、清除衰老细胞和异常细胞，维持内环境稳态，保证代谢顺利进行。本章内容主要渗透了稳态与平衡观。

非特异性免疫在感染初期发挥重要作用。特异性免疫是在非特异性免疫的基础上进化而来的。特异性免疫的特征是针对性和免疫记忆。特异性免疫包括细胞免疫和体液免疫两种方式。T淋巴细胞参与细胞免疫，直接对抗被病原体感染的细胞或癌细胞；B淋巴细胞参与体液免疫，通过合成、分泌能够与特定抗原结合的抗体，消灭体液中的病原体。无论细胞免疫还是体液免疫，其过程都包括三个事件：淋巴细胞对病原体的特异性识别；淋巴细胞经过增殖和分化，特化为效应细胞群和记忆细胞群；发挥免疫效应。

人类可以通过免疫接种获得对抗病原体的免疫力。学习免疫调节的知识，能够解释自身和家人、亲友面临的健康问题，有助于培养科学思维能力和社会责任意识。免疫系统反应过度或功能减退都会引发疾病。艾滋病是由于HIV侵入人体，破坏T淋巴细胞，使人体免疫功能严重衰退。艾滋病至今还没有有效的治愈方法，只能采取措施预防该病的感染。

本章知识结构图



第五章

植物生命活动的调节



器官脱落是植物自我调节的手段

植物器官脱落是一种常见的生物学现象。我国北方每年秋季，落叶树的叶片会全部脱落，只留下光秃秃的枝干以度过寒凉、干燥且日照时间明显缩短的冬天。干旱时，叶片也会大量脱落以减少水分的蒸腾损失。花、果数目过多时，部分花和幼果会脱落以保证存留果实的生长和发育。可见，器官脱落是植物对外界环境变化做出的适应性反应，有利于植物更好地生存和繁衍。这一过程是通过植物生命系统内部的自我调节来实现的，也是植物与环境长期相互作用、不断进化的结果。温度、水分、光照等环境因素作为信号对植物体各项生命活动都有很大的影响。那么，植物体如何感知外部环境信号的变化？植物体内部是如何完成信号的传递和转换，从而做出适应性反应的？此外，科学家又是如何逐步揭晓这些问题的答案的？



植物接受环境刺激后，在体内主要通过激素来传递信号。常见的植物激素有生长素、细胞分裂素、赤霉素、脱落酸和乙烯。各种植物激素共同参与植物对环境的反应，在植物体各项生命活动中发挥着重要的调节作用。

学习目标

1. 解释科学家发现生长素的相关实验，举例说明生长素作用的两重性。
2. 举例说明几种主要植物激素的作用。概述在激素的参与下，植物能对光、温度、重力等环境信号做出反应。
3. 简述植物激素及其类似物在生产上的应用价值，尝试辨析植物激素的应用可能引发的食品安全、环境保护等方面的问题。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 通过观察植物的向光性实验、分析向光性研究资料等，发展科学探究能力。
2. 通过探究2, 4-D对插枝生根的作用、乙烯利对水果的催熟作用等活动，学会用生物学知识解决生产生活中的问题。
3. 关注植物激素应用可能引发的食品安全、环境保护问题，做出理性解释和判断。

第一节 生长素的发现开启了人类对植物激素调节的探索

植物激素是在植物体内某些部位合成，然后被运送到其他部位，在很低浓度下即可对植物生命活动起到显著调节作用的小分子有机物。最早被人们发现的植物激素是生长素（auxin）。科学家是如何通过观察和实验逐步发现生长素的？生长素的主要功能是什么？生长素有什么作用特点？

本·节·要·点

- 生长素的发现
- 生长素促进生长
- 生长素作用的两重性



活动

观察植物的向光性

放在窗边的盆栽植物总是会向着光源方向弯曲生长（图5-1），这种现象称为植物的向光性，是植物体对光照刺激做出的一种反应。

植物的茎和枝条通常表现出最典型的正向光性，朝向光源方向生长。植物的根有时会表现出负向光性，背向光源方向生长。植物的叶片则表现出横向光性，生长方向与光源方向相垂直。



图5-1 窗边的盆栽植物向光弯曲生长

目的要求

观察植物幼苗的向光弯曲生长的反应。

材料用具

玉米、绿豆等植物种子，摄像机等。

方法步骤

1. 萌发绿豆种子得到植物幼苗，把幼苗放在向阳的窗台上，观察幼苗向光弯曲生长的现象。
2. 选择阳光充足的时候，把盛放幼苗的容器变换方向，使幼苗弯曲方向朝向室内，利用三脚架等固定好摄像机，并开始拍摄录像。
3. 1 h后观察幼苗的生长状态，结合录像观察其动态变化过程。

讨论

1. 植物的向光性有什么适应性意义？
2. 推测植物茎的向光弯曲生长在细胞水平上如何表现，并设法获取证据支持你的假设。

向光性的研究导致生长素的发现

早在1880年前后，英国著名生物学家达尔文（Charles Darwin，1809—1882）和他的儿子弗朗西斯（Francis Darwin，1848—1925）就已关注到植物的向光性，并展开最早的实验研究。他们通过实验（图5-2）观察到：多种草本植物幼苗如金丝雀藜草、燕麦、甘蓝、甜菜等都会向光弯曲；如果切去苗尖端或者用不透明的罩子将苗尖端罩住，幼苗就不会向光弯曲；如果用透明的罩子将苗尖端罩住或用不透明的薄膜将苗的基部包起来，幼苗照样向光弯曲。由此他们得出结论：苗尖端是感光部位。他们还观察到，发生弯曲的部位主要在苗尖端下部。因此他们提出，当幼苗暴露在单侧光下，苗尖端产生一种“影响”（influence）并向下传递，引起下部发生弯曲。达尔文父子所说的向下传递的“影响”，用我们现在的说法是某种信号。

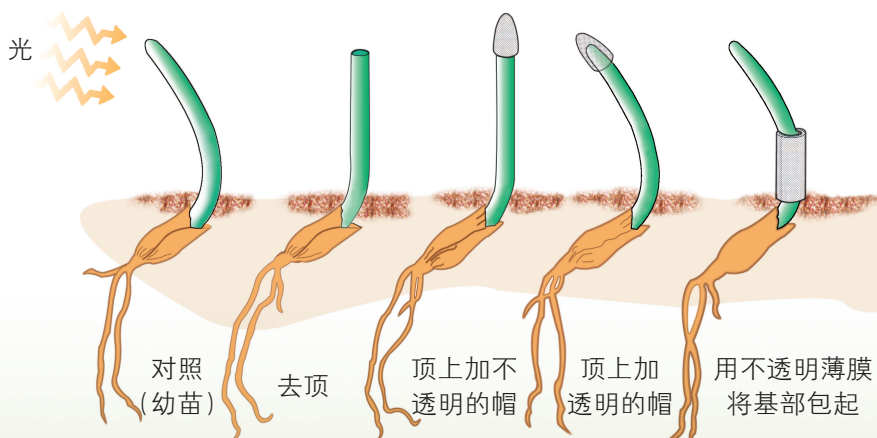


图5-2 达尔文父子的实验

1913年，丹麦植物学家波森·詹森（Peter Boysen-Jensen，1883—1959）通过进一步实验证明，从苗尖端向下传递的信号是一种可移动的化学物质。他的实验是用一块明胶把苗尖端与下部隔开，使得两部分不能直接接触，但是化学物质能够透透明胶块。结果发现，这样处理的幼苗依然能够向光弯曲生长。当他把明胶块换成化学物质无法透过的云母片时，幼苗则不发生弯曲生长（图5-3）。

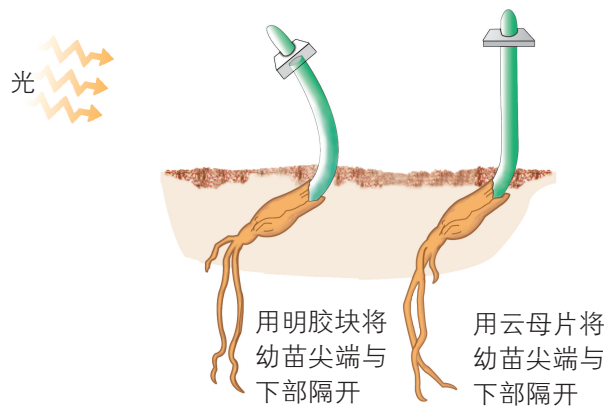


图5-3 波森·詹森的实验

1918年，匈牙利植物生理学家拜尔（Arpad Paal）改进了这一系列实验。他把苗尖端切下，然后放置在刚刚去顶的幼苗切面的侧边上，结果发现幼苗在黑暗环境中也发生了弯曲（图5-4）。由此，拜尔首次提出，苗尖端产生了一种促进生长的化学物质，向下运输；单侧光照导致这种化学物质的不对称运输，这种不对称运输导致的不均匀分布引起幼苗弯曲生长。在那个时代，人们已经发现了动物激素，拜尔的这一观点与当年动物学家对激素的理解是一致的。

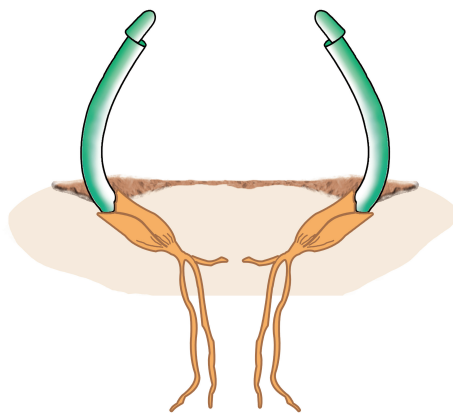


图5-4 拜尔的实验

此前，对植物体内存在促进生长的物质的认识仅仅停留在猜想阶段，拜尔的研究成果激起了科学家们直接通过实验证明它存在的热潮。其中，有科学家尝试用渗透了组织提取物的琼脂块代替切下的苗尖端展开研究。尽管实验没有成功，其方法却被后来的荷兰科学家温特（Frits Went，1903—1990）所采纳。

1926年，当时还是研究生的温特首先将燕麦幼苗尖端切下，放在琼脂薄片上，约1 h后，移去尖端，将琼脂切成小块。他推断尖端中的化学物质会扩散到琼脂中，那样就可以用这种琼脂块代替苗尖端。在黑暗中，他把这种琼脂块放在去顶的幼苗切面上，发现如果琼脂块放在切面正中，则幼苗竖直向上生长；如果琼脂块放在切面一侧，则幼苗向对侧弯曲生长；两个对照组包括不放琼脂块的和放纯琼脂块的幼苗都不生长。温特的实验（图5-5）证明，燕麦幼苗尖端确实产生了一种化学物质，向下运输，促进幼苗生长。他将这种物质命名为生长素。他还提出，幼苗之所以会向光弯曲生长，是因为背光侧的生长素浓度高于向光侧。

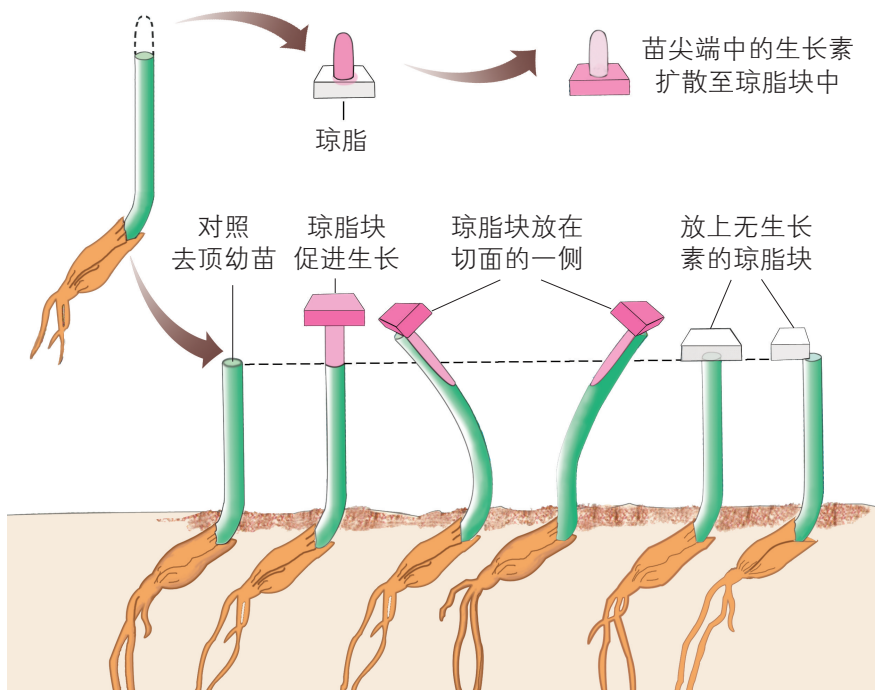


图5-5 温特的实验(红色表示含有生长素)

由于植物体内生长素含量极微小，受当时分析提纯技术的限制，到1934年，荷兰科学家郭葛（F. Kogl）才从玉米油、根霉、麦芽等材料中分离纯化了生长素，发现其化学本质是一种称为吲哚乙酸（IAA）（图5-6）的小分子有机物。直到1946年，人们才从植物中分离出了IAA。

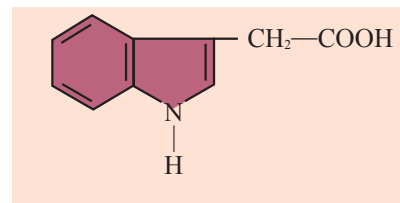


图5-6 IAA的分子结构式

此后，人们在植物中还陆续发现了其他一些也具有生长素效应的化合物，如吲哚丁酸（IBA）等。IAA在高等植物中广泛存在，是植物体内最主要的生长素。

对向光性的研究，引领着科学家们最终发现了生长素，而生长素的发现又开启了人类对植物激素调节的探索。



小资料

向光性的后续研究

关于植物的向光性，之后有一些实验证据支持温特的观点，但也有另外一些研究与温特的观点不一致。科学家用向日葵下胚轴、萝卜下胚轴、玉米胚芽鞘和黄化燕麦胚芽鞘等材料进行实验，发现它们都会向光弯曲，但其两侧的生长素浓度并没有显著差别。相反，科学家发现向光侧的生长抑制物多于背光侧。对植物向光性的探究，如今仍然还在继续。科学往往就是在类似这样的争议当中不断向前发展的。

生长素促进植物生长

从细胞水平看，生长素的主要生理功能是促进细胞伸长。在幼嫩的茎或枝条中，茎尖或枝条尖端合成的生长素向下运输，尖端下部的伸长区的细胞会对生长素产生非常迅速的反应，很快便开始显著伸长。此外，生长素也影响细胞的分裂和分化。

从器官水平看，生长素作用于各种广义的生长现象。生长素不仅能促进茎伸长，促进地上部分向上生长，还能促进不定根和侧根形成，促进叶片生长和维管束分化，促进果实生长，促进种子发芽，防止落叶落花落果等。

生长素在高等植物中分布很广，但含量甚微，1 g鲜重植物材料中一般含10~100 ng生长素。生长素大多集中在生长旺盛的部位，如胚芽鞘、芽和根尖端的分生组织、形成层、受精后的子房、幼嫩的种子等，而在趋向衰老的组织 and 器官中含量很少。

生长素在植物组织中的精细分布是它实现众多生理功能的基础，而这种精细分布取决于生长素的合成和运输。生长素的合成部位主要是顶芽、幼叶和胚。在植物体内，生长素主要是由色氨酸经过一系列反应转变而来的。

在高等植物体内，生长素的运输方式有两种。一种是同其他激素和营养物质一样，通过韧皮部和木质部（图5-7）运输，韧皮部运输属于自由扩散，木质部运输的动力来自蒸腾作用。另一种是生长素特有的极性运输，是指生长素只能从植物体的形态学上端向形态学下端运输（图5-8），而与重力

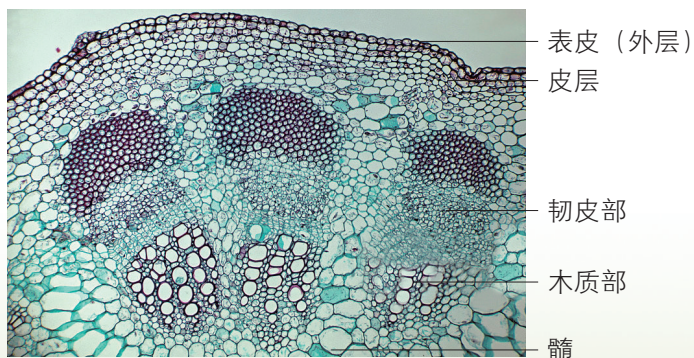


图5-7 双子叶植物向日葵幼茎横切面(25×)

无关。这是一种局限于胚芽鞘、幼茎、幼根的薄壁细胞之间的短距离单向运输，属于主动转运。

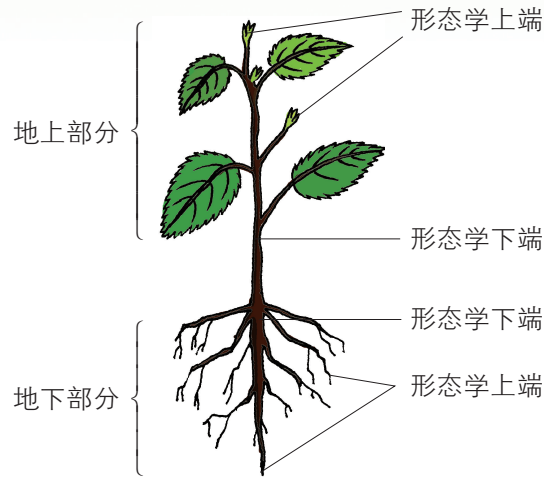


图5-8 植物体的形态学上端和形态学下端



活动

探究2, 4-D对插枝生根的作用

生长素可以促进植物生长，包括促进插枝生根等。不同浓度的生长素促进生根的效果不同。2, 4-D全称为2, 4-二氯苯氧乙酸，是一种人工合成的生长素类似物，在生产和实验中被广泛使用。

目的要求

1. 探究不同浓度的2, 4-D对插枝生根的作用。
2. 尝试自己设计实验，收集并处理实验数据，得出结论。

探究问题

不同浓度的2, 4-D对插枝生根分别起什么作用？

材料用具

生长旺盛、容易成活的枝条，2, 4-D溶液，烧杯，滴管，量筒，玻璃棒等。

活动提示

1. 对于探究实验，一般很难做到一次性创设出最合适的实验条件，往往需要通过多轮实验来逐步摸索条件。在实验前，可以先通过查阅相关的文献资料，确定初始实验设定什么样的浓度梯度；也可直接初设一组梯度差比较大的实验，然后根据其结果不断调整实验方案，慢慢摸索出合适的浓度范围和梯度。

2. 插枝的方法有水培法和土培法两种。用水培法时，可在培养液中滴加2, 4-D溶液配制成预设的浓度。培养液可以是在实验室里自行配制的植物完全培养液，也可以用购买的不含植物激素的营养液按一定比例配制，或者直接用

清水也可。若用土培法，则可在扦插前把枝条基部放进不同浓度的2, 4-D溶液中浸蘸数秒钟（约5 s）。

3. 设计实验应当严格遵循对照实验原则，尽可能控制好各种无关变量，使得各实验组及对照组的无关变量保持一致。

方法步骤

1. 根据实验方案进行实验，定期观察插条的生根情况，设计表格记录生根的数量。

2. 对实验数据进行处理。可用统计学方法进行组间差异的显著性检验，绘制生根数量随2, 4-D浓度变化而变化的趋势图。

讨论

1. 2, 4-D溶液对插条生根起促进作用的浓度范围是多少？如何确定最适浓度？2, 4-D溶液对插条生根起抑制作用的浓度范围是多少？

2. 使用相同浓度的2, 4-D溶液处理的数根插条之间，生根情况为何也会有差异，可能是什么原因造成的？

生长素调节植物生长时表现出两重性

生长素在调节植物生长时，其作用表现出两重性，即在低浓度时促进生长，浓度太高则会抑制生长，甚至导致植物死亡。

细胞年龄不同，对生长素的敏感程度不同。一般来说，幼嫩细胞对生长素反应非常敏感，老细胞则比较迟钝。不同器官对生长素的反应敏感程度也不一样，根最敏感，其最适浓度是 10^{-10} mol/L左右；茎最不敏感，最适浓度是 10^{-4} mol/L左右；芽居中，最适浓度在 10^{-8} mol/L左右（图5-9）。

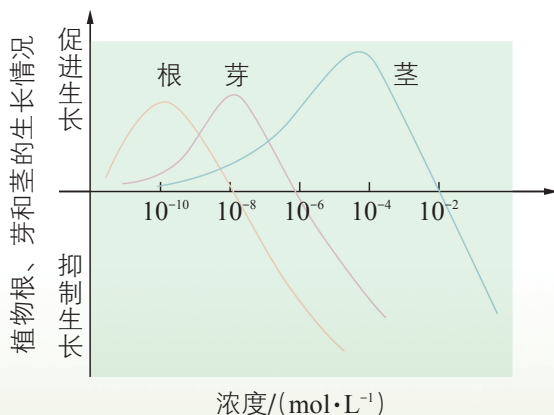


图5-9 生长素浓度对植物根、芽和茎生长的影响

生长素的极性运输，可能导致植物体某些部位生长素浓度过高，对该部位的生长发育产生抑制作用。例如，顶芽产生的生长素向下运输，使得侧芽附近的生长素浓度较高，而侧芽对生长素浓度比较敏感，于是生长受到抑制。这种顶芽优先生长，侧芽生长受抑制的现象，称为顶端优势。在树木中，特别是针叶树，如桧柏、杉树等，顶端优势很常见，顶芽生长得很快，侧枝从上到下生长速度不同，距离茎尖越近，生长受抑制越明显，整个植株呈宝塔形。如果去掉顶芽，则顶端优势被解除，侧芽生长加快；如果去顶后立即在切口处套上含生长素的胶囊，则继续保持顶端优势(图5-10)。

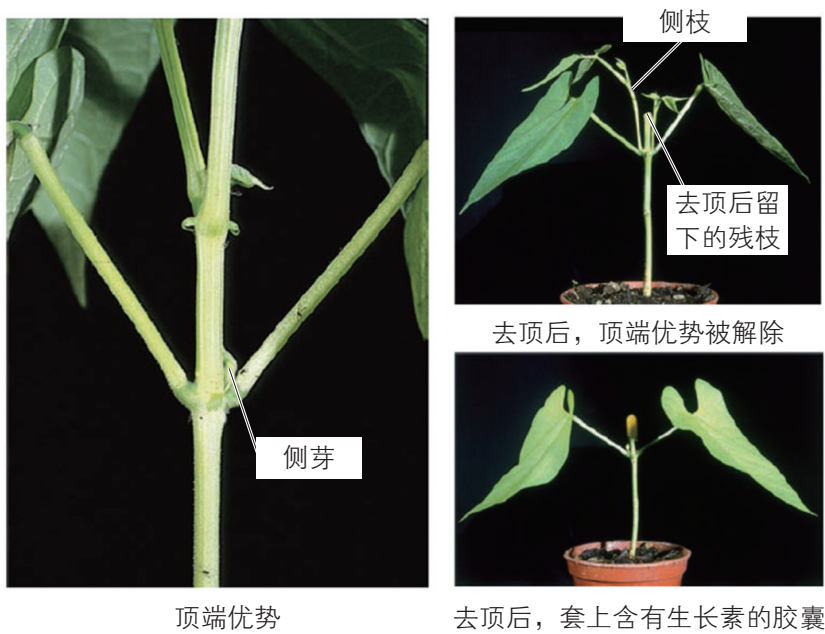


图5-10 顶端优势

课外读

生长素促进细胞伸长的作用机理

“酸生长假说”(图5-11)认为，生长素激活了伸长区细胞膜上的质子泵，质子泵在数分钟内将 H^+ 大量泵出到细胞膜外。质子外排，一方面使得细胞壁酸化，从而激活细胞壁中的一种酶，破坏纤维素分子间的氢键，使细胞壁结构变得松散；另一方面则导致膜电位升高，促进离子进入细胞，增大细胞渗透压，使细胞吸水膨胀。如此一来，细胞便迅速伸长了。这一假说已经被多种不同的实验方法所证实。

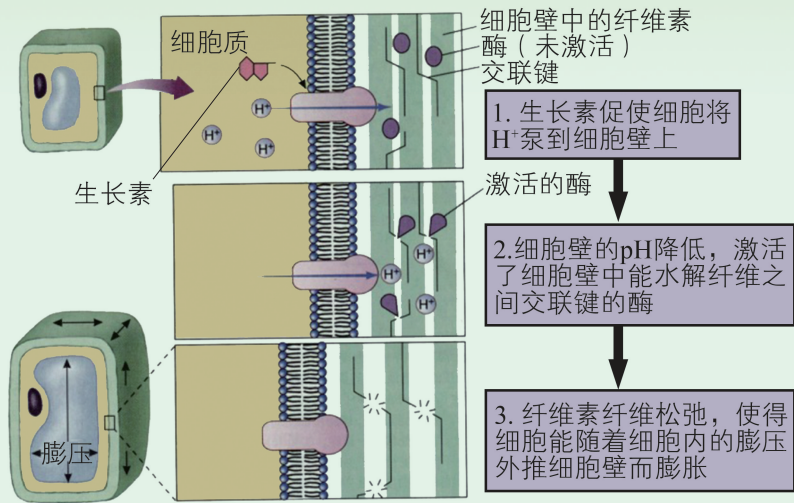


图5-11 酸生长假说

当然，细胞的生长还需要更多的细胞质和细胞壁成分。生长素也会迅速作用于细胞内的基因表达，使伸长区细胞在数分钟内合成新的蛋白质，这些蛋白质又能够调控其他基因的表达，从而促使细胞合成出生长所需的各种成分（图5-12）。

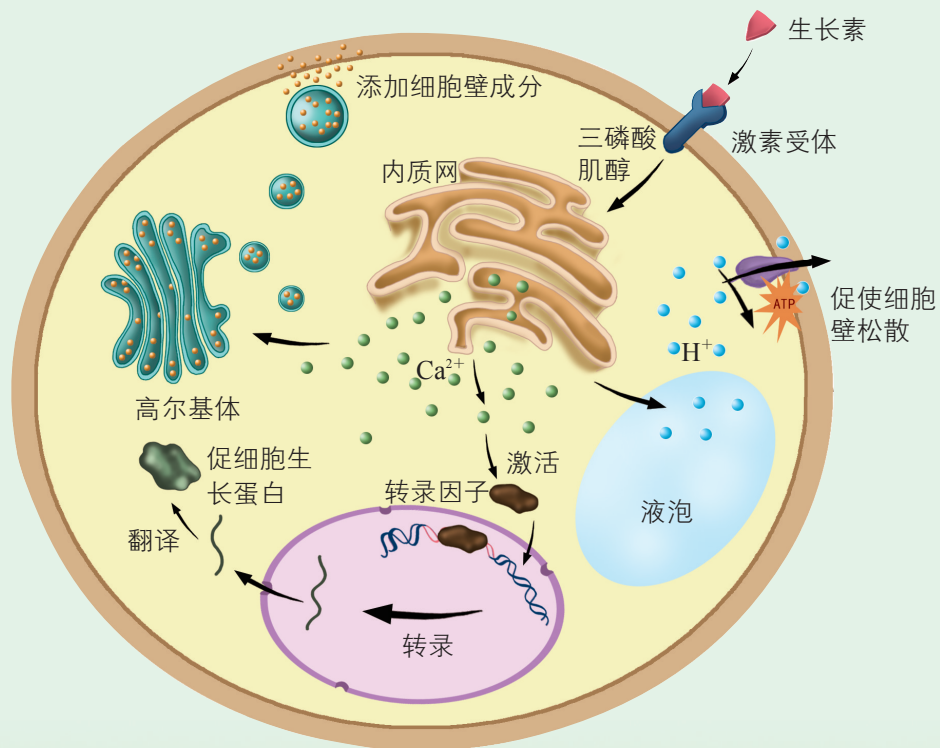
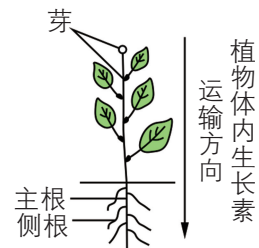
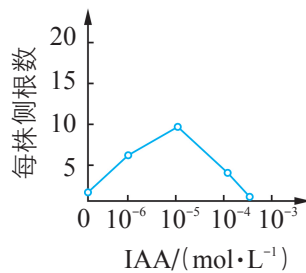
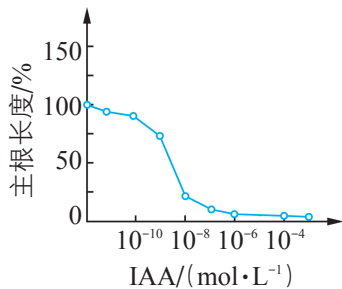


图5-12 生长素的作用机理

思考与练习

一、选择题

- 下列关于植物生长素的叙述，错误的是（ ）
 - 植物体内最主要的生长素是吲哚乙酸
 - 植物幼嫩叶片中的色氨酸可转变为生长素
 - 幼嫩细胞和成熟细胞对生长素的敏感程度相同
 - 促进茎伸长的生长素浓度可能对根的生长起抑制作用
- 下图表示施用 IAA 对某种植物主根长度及侧根数的影响。下列叙述错误的是（ ）



- 促进侧根数量增加的 IAA 溶液会抑制主根的伸长
- 施用 IAA 对诱导侧根的作用表现为低浓度促进、高浓度抑制
- 将未施用 IAA 的植株除去部分芽和幼叶，会导致侧根数量增加
- 与施用 10^{-4} mol/L 的 IAA 相比，未施用的植株主根长而侧根数量少

二、简答题

右图是患丛枝病的泡桐 (*Paulownia fortunei*)。丛枝病也称为“扫帚病”。图中泡桐明显的症状是顶端优势被抑制，侧芽过度发育形成了不正常的生长和分枝状况。请结合所学，并进一步查找资料，说明丛枝病的形成原因。



第二节 植物激素调节植物生命活动

继生长素之后，人们又逐渐发现了其他多种植物激素，不断探明植物激素在植物生命活动中的调节作用，并将它们广泛应用于农业生产和园艺栽培中。

植物激素的主要类型有生长素类、细胞分裂素类 (cytokinins, CK)、赤霉素类 (gibberellins, 赤霉素都是酸性的，一般缩写为 GA)、脱落酸 (abscisic acid, ABA) 和乙烯 (ethylene, 气体) 等。这五大类植物激素在植物生命活动中是如何发挥调节作用的？

本·节·要·点

- 植物激素的种类
- 不同激素的协同和拮抗
- 植物激素的应用

生长素、细胞分裂素和赤霉素起促进作用

除生长素外，细胞分裂素和赤霉素也在植物体生长和发育的某些方面起到特定的促进作用。



小资料

细胞分裂素的发现

1955年，科学家在培养烟草髓部组织时，偶然在培养基中加入放置已久的鲑鱼精子DNA，发现细胞分裂明显加快。如加入新鲜的DNA，则完全无效。可是，当把新鲜的DNA和培养基一起高压灭菌后，则又能促进细胞分裂。后来从高压灭菌过的DNA降解物中分离出一种能够促进细胞分裂和不定芽形成的小分子化合物，被命名为激动素 (kinetin)。最早发现并纯化的天然细胞分裂素是从未成熟玉米种子的胚乳中分离到的一种激动素类似物，被命名为玉米素 (zeatin)。随后，人们又相继发现了多种具有类似生理活性的化合物。这些物质都是腺嘌呤的衍生物，被后人统称为细胞分裂素。

细胞分裂素是一类能够促进细胞分裂的植物激素，它们能明显地促进有丝分裂所需的特定蛋白质合成和活化。在个体水平上，细胞分裂素能促进植物向上生长，促进

侧芽生长，促进果实生长，促进种子萌发，延缓叶片衰老等。

细胞分裂素主要分布在细胞分裂旺盛的部位，如根尖、茎尖、发育中的果实和萌发的种子等。在高等植物体内，细胞分裂素主要在根尖合成，经木质部运输到地上部分。发育中的果实也是合成细胞分裂素的重要部位。

小资料

赤霉素的发现

1926年，科学家在研究水稻“恶苗病”的致病原因时，发现感染赤霉菌的水稻植株会出现疯狂徒长现象。将赤霉菌培养基的滤液喷施到健康水稻幼苗上，发现幼苗虽然没有感染赤霉菌，但也会出现类似“恶苗病”的过度生长症状。可见，引起水稻植株徒长的原因，不是赤霉菌本身，而是赤霉菌分泌的某种物质。后来，从滤液中分离出这种物质，命名为赤霉素。1956年，科学家证明植物体内也普遍存在赤霉素类物质。已经发现的赤霉素种类有一百多种，不过其中只有部分种类具有调节植物生长的生理效应。

赤霉素是一类能促进植物增高的激素。与生长素相似，赤霉素能够促进细胞伸长。同时，赤霉素也能促进细胞分裂。因此，赤霉素能显著促进茎的伸长。此外，赤霉素还能促进叶片扩大，促进果实生长，促进种子萌发，解除休眠，抑制衰老等。例如，拟南芥植株的营养茎节间很短，植株非常矮小。当它开始生殖生长时，体内赤霉素含量明显升高，诱导生殖茎节间显著伸长，将顶端的花芽高高举起（图5-13）。图5-14是一种无籽葡萄的优良品种，可见果实生长过程中喷洒过赤霉素的葡萄串的葡萄颗粒比自然生长的对照组明显大了很多。

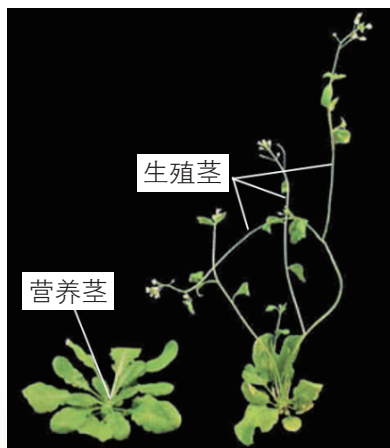


图5-13 赤霉素促进茎的伸长

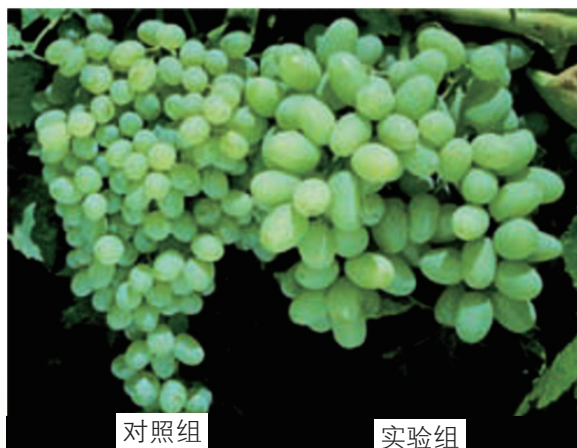


图5-14 赤霉素促进果实生长

脱落酸和乙烯帮助植物度过不良环境

脱落酸是植物体内最重要的生长抑制剂。抑制生长对于植物的重要意义是促进脱落，促进休眠。一般植物通常都会落叶，通过根、茎、芽或者种子等器官的休眠来度过寒冷、干旱等不适宜生长的季节，以保证物种在恶劣的环境中依然能够延续下来。

脱落酸主要在成熟的绿叶和果实中合成。脱落酸的主要作用是抑制生长，促进叶片和果实脱落，保持休眠，提高植物的抗逆性。当植物大量失水而枯萎时，叶片中的脱落酸浓度会升高，引起气孔迅速关闭，从而削弱蒸腾作用，减少水分进一步流失。因此，在干旱环境中，脱落酸对维持植物的生存是至关重要的。



小资料

脱落酸抑制种子萌发

研究表明，当种子成熟时，其体内的脱落酸含量会上升100多倍。高浓度的脱落酸能抑制种子的萌发，并且诱导合成一些特殊的蛋白质，帮助种子度过极端脱水的休眠状态。只有当种子中的脱落酸浓度降低或失活时，种子才会结束休眠。一些沙漠中植物的种子只有经历暴雨冲刷，体内的脱落酸浓度降低以后才能开始萌发。相反，一些体内脱落酸功能障碍的植物突变体，则会在果实还挂在枝头的时候，种子就提前发芽（图5-15）。



图5-15 玉米种子在玉米穗上提前发芽

乙烯(图5-16)是一种气体植物激素。高等植物各器官都能产生乙烯,其中萌发的种子、凋谢的花朵、成熟的果实,释放的乙烯较多。

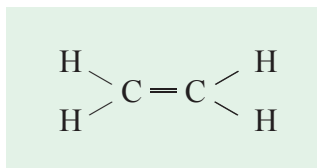


图5-16 乙烯的分子结构式

乙烯在果实的成熟过程中起重要作用。乙烯的催熟作用已被广泛应用于蔬菜瓜果保鲜,这使得乙烯具有重大的经济价值。



小资料

乙烯催熟果实的作用机理及市场应用

果实通过释放大量的乙烯来启动成熟的过程:细胞壁中层果胶质被降解成可溶性的果胶,令果实变软;淀粉类多糖水解成蔗糖、葡萄糖等可溶性的二糖或单糖,令果实变甜;果皮中的叶绿素被分解,叶绿体中的类胡萝卜素颜色逐渐显现出来,或者由于细胞液中花色素苷的形成,令果实变色。为了延长保存时间,许多水果都是在还没有完全成熟时就被果农采摘下来,而在运输途中,则采取充入二氧化碳、加强空气流通等措施来减少乙烯的释放和积聚。苹果通过这种方式可以一直保鲜至第二年夏天。科学家还通过基因工程技术获得乙烯合成缺陷的番茄品种。这样的番茄,不会自然启动成熟过程,而是在需要的时候人为用乙烯迅速催熟。

当植物体在面临严寒、旱涝、有害物质、机械压力、损伤或感染等各种不利的环境条件时,乙烯的释放量都会增加。增加的乙烯会加快受上述环境因素影响的叶片或者果实的脱落,从而增强植物体的抗逆性。



活动

探究乙烯利对水果的催熟作用

乙烯能够促进果实成熟,但由于在常温常压下乙烯是气体,应用起来不方便。在农业生产中,人们常用的是一种商品名称为乙烯利的替代物。乙烯利的化学本质是2-氯乙基磷酸,易溶于水、酒精、丙酮等多种溶剂,在pH高于

4.1 时分解。植物体内的 pH 一般高于 4.1，乙烯利进入细胞内便分解释放出乙烯。

目的要求

1. 探究乙烯利对水果的催熟作用。
2. 学习设计实验方案，记录并分析实验现象，得出结论。

探究问题

乙烯利溶液对未成熟的果实是否具有催熟作用？

材料用具

乙烯利溶液，未完全成熟的水果如香蕉、柑橘、苹果等，烧杯等。

方法步骤

1. 通过查阅相关资料，设计实验方案，设定本次实验将探究的乙烯利溶液的浓度梯度。
2. 将相同容积的大烧杯编号，分别盛放等量不同浓度的乙烯利溶液，并设置清水对照组。
3. 将成熟程度相近的同种水果编号，分别放入相应编号的乙烯利溶液中浸泡相同时长（1~2 min），然后分别静置。
4. 连续多日每天观察各组水果的变化，设计表格记录观察到的现象，如颜色、软硬程度、气味等。
5. 把你的实验结果与其他同学进行交流、讨论，得出你的结论。

讨 论

1. 果实成熟所发生的变化有哪些适应性意义？
2. 如果没有得到可用的乙烯利溶液，能否通过实验探究乙烯对水果的催熟作用？应该如何设计实验？
3. 2011 年，我国出现过一次“乙烯利事件”。一则关于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。几天之内，香蕉价格下跌 50% 以上，部分消费者也产生了恐慌心理。请利用所学的知识，就乙烯利的安全性展开讨论。

不同激素通过协同或拮抗等方式共同调节植物生命活动

植物体的各项生命活动都处在植物激素的调控当中。大多数情况下，不是一种激素在起作用，而是多种激素共同发挥作用，控制着植物的生长、发育和繁殖。

在果实发育及成熟过程中，生长素、细胞分裂素、赤霉素、脱落酸和乙烯五类植物激素，都有规律地参与其中（图5-17）。果实的发育及成熟过程就是通过各类激素协调作用来调节的。此外，研究发现，苹果果实成熟时，乙烯含量达到峰值，而柑橘、葡萄果实成熟时，则是脱落酸含量最高。可见，各类激素的含量及作用，在不同种类的植物中也会有所不同。

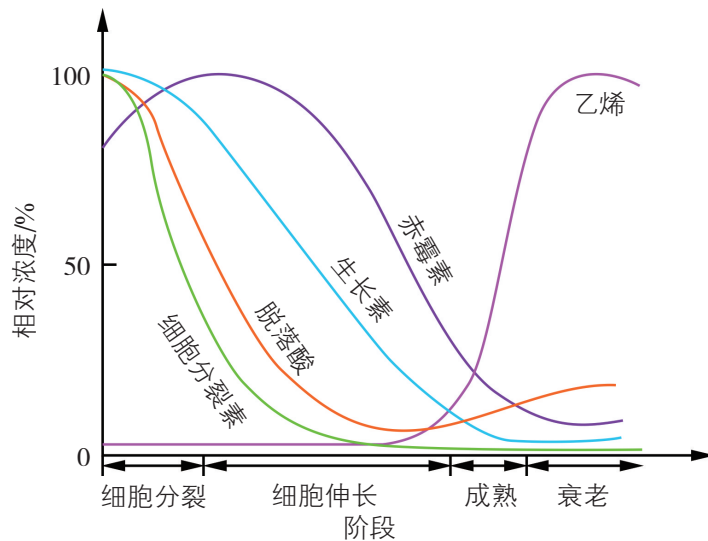


图5-17 苹果果实发育各阶段激素变化情况

细胞分裂素一般与生长素共同作用，促进植物细胞的分裂和分化。植物组织培养中，在培养基中加入生长素和细胞分裂素的比例，将决定愈伤组织的分化方向（图5-18）。如果细胞分裂素和生长素的比例合适，愈伤组织就会分化出根和茎叶。如果细胞

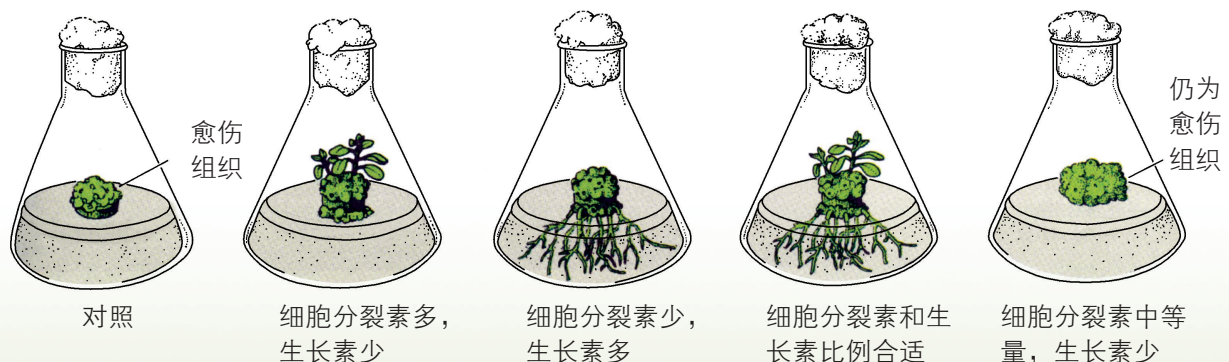


图5-18 生长素和细胞分裂素在植物组织培养中的相互作用

分裂素太多而生长素少，就会只长茎叶不长根。反之，如果生长素太多而细胞分裂素少，则只长根不长茎叶。而当生长素少，细胞分裂素也不多时，则愈伤组织继续生长，不发生分化。

当顶芽合成的生长素向下运输时，会引发侧芽周围的组织产生乙烯，而乙烯抑制侧芽的生长。乙烯还可能以同样的方式抑制根和茎的伸长生长。由此可见，高浓度的生长素抑制生长，很可能是通过乙烯起作用的。

生长素和赤霉素往往协同作用，共同促进茎的伸长；脱落酸和乙烯也常常协同作用，共同促进叶片脱落等；赤霉素和脱落酸则常常相互拮抗，如赤霉素促进种子萌发，而脱落酸抑制种子萌发（图5-19）。

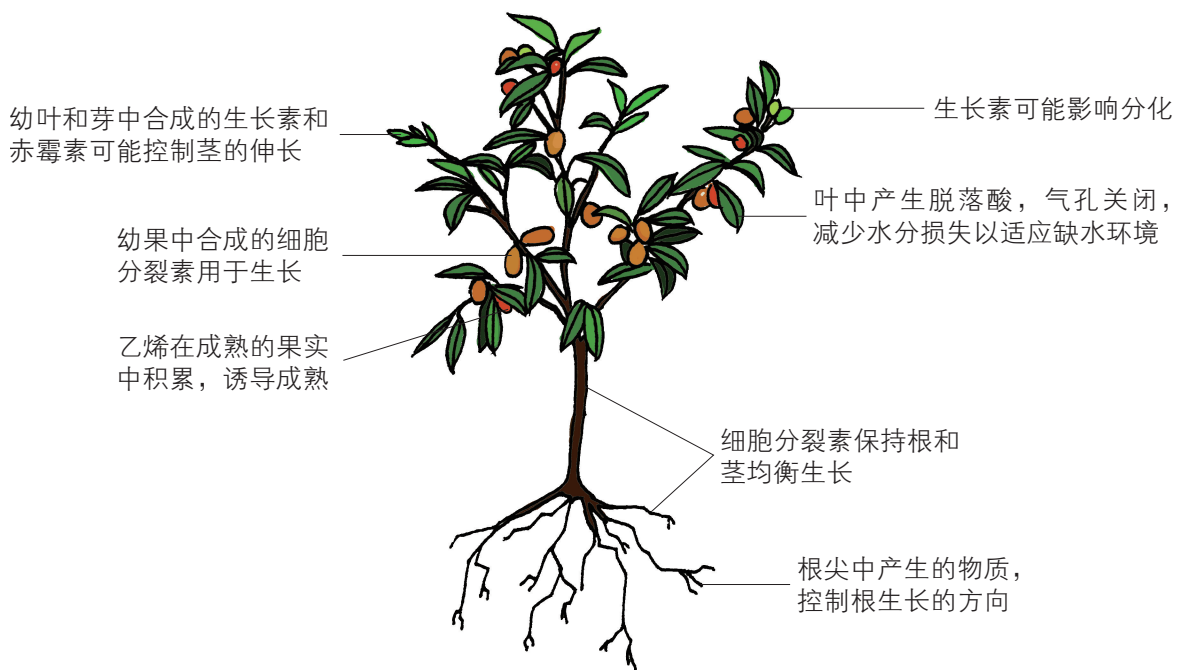


图5-19 激素在植物体各部分发挥调节作用

植物生长调节剂在农业生产中得到广泛应用

随着植物激素的生理作用不断被揭示，人们便致力于将它们应用到农业生产中，以提高农产品的品质和产量。由于植物体内源激素一般含量极微，而且到了体外常常性质不稳定，应用中面临难以提取、不易保存或者成本过高等问题。随着研究的深入，人们合成和筛选出许多化学结构和生理特性与植物激素相似的活性物质，这些活性物质统称为植物生长调节剂。

目前，在生产实践中广泛使用的商品化的植物生长调节剂已经有几十类、百余种。常用的生长素类植物生长调节剂有2,4-D、NAA（萘乙酸）、IBA等。例如，常用2,4-D防止番茄、甜椒等落花落果，促进马铃薯发芽并提高产量，诱导形成无籽番茄

等；NAA和IBA常被用作促进各类植物扦插枝条生根，防止落花落果，促进生长等。两者还常常被复合加工成为混合制剂，其生理活性更高，使用范围更广。高浓度的生长素类物质还可被用作除草剂，如2,4-D。双子叶植物如农田中的一些杂草通常对2,4-D特别敏感，而单子叶植物特别是禾本科植物如水稻、小麦、玉米等对2,4-D不敏感，故而使用高浓度的2,4-D可以除去农作物中的双子叶植物类杂草。

此外，其他常用的植物生长调节剂还有赤霉素、脱落酸、乙烯利、6-BA（细胞分裂素类）、矮壮素（赤霉素的拮抗剂）等。植物生长调节剂的应用范围包括生根、发芽、生长、矮壮、防倒、促蘖、开花、坐果、催熟、保鲜、着色、增糖、促芽或控芽、调节性别、抗逆等几十个方面。半个多世纪来，植物生长调节剂为世界农业的发展做出了不可磨灭的重要贡献。



小资料

2, 4, 5-T和二噁英

2, 4, 5-三氯苯氧基乙酸 (2, 4, 5-T) 与2, 4-D很相似，曾被广泛用作广谱除草剂。在越南战争中，美军为使藏身于密林之中的越南游击队完全暴露于美军的火力之下，曾用飞机向越南丛林中喷洒了大量的丛林落叶剂，使树木落叶。该药剂的主要成分就是2, 4, 5-T。2, 4, 5-T在生产过程中，无法避免地会产生少量的二噁英 (dioxins) 杂质。二噁英是一类剧毒的有机化合物，只要十亿分之几的剂量就能导致肝或肺的疾病、白血病、流产、生育缺陷等，甚至直接导致实验动物死亡。二噁英化学性质稳定，不容易被降解，并能通过食物链富集。越南战争后，越南人民及参战的美国老兵都深受其害。1979年美国已经基本禁止了2, 4, 5-T的使用。

除上述五大类植物激素之外，随着研究的不断深入，近年来科学家发现植物体内还存在其他天然的植物激素，如油菜素内酯、多胺、茉莉酸、水杨酸等，对植物的生长发育起促进或者抑制作用，尤其在提高植物的抗逆性或抗病能力方面发挥着重要作用。



课外读

其他植物激素

油菜素内酯 (brassinolide) 又称油菜素甾醇或油菜素类固醇，是一种甾醇内酯化合物，因为最早于20世纪70年代在油菜花粉中发现而得名。油菜素内酯与动物类固醇激素如性激素的结构非常相似。油菜素内酯在裸子植物和被子植

物中广泛存在，尤其在花粉中最多，此外在海藻中也已经发现。油菜素内酯具有广泛的生理作用，包括促进细胞伸长和分裂、促进维管组织发育、延缓衰老等，在玉米、小麦等植物的花期施用，可提高产量。环境信号能激活油菜素内酯的作用。油菜素内酯可提高作物的抗冷性、抗旱性和抗盐性。

多胺 (polyamine) 是一类脂肪族含氮碱。高等植物体内的多胺主要有 5 种，包括腐胺、尸胺、亚精胺、精胺和鲛精胺。不同器官的多胺含量不同，一般来说，细胞分裂旺盛的地方多胺含量较高。多胺的生理功能是促进生长、延缓衰老，还能帮助植物适应缺钾、缺镁、高渗等不利的环境。

茉莉酸 (jasmonic acid) 最早从真菌培养液中分离得到，而茉莉酸甲酯是茉莉花属香精油中的组分，两者普遍存在于高等植物中。茉莉酸是生长抑制剂，能提高植物的抗逆性，增强植物对病虫和机械伤害的防卫能力。

水杨酸 (salicylic acid) 是从柳树皮中分离出来的一种有机酸。乙酰水杨酸是常用药品阿司匹林及很多止痛药中的成分。一些抗病植物受到病原微生物侵染后，会诱发水杨酸的形成，以提高抗病能力。

思考与练习

一、选择题

- 下列关于植物激素及其类似物的应用，正确的是 ()
 - 用一定浓度的 IBA 溶液浸泡葡萄插条基部可诱导生根
 - 苹果树开花后，喷施适宜浓度的脱落酸可防止果实脱落
 - 用生长素类似物处理二倍体番茄幼苗，可得到多倍体番茄
 - 用赤霉素处理马铃薯块茎，可延长其休眠时间，以利于储存
- 不同处理对某植物性别分化的影响见下表，下列叙述正确的是 ()

处理	结果
完整植株	雌、雄株各占一半
去部分根	雄株占多数
去部分根+施用细胞分裂素	雌株占多数
去部分叶	雌株占多数
去部分叶+施用赤霉素	雄株占多数

- 根产生的赤霉素能促进雌株形成
- 叶产生的细胞分裂素能促进雌株形成
- 赤霉素和细胞分裂素对性别分化的作用相互协同
- 若对完整植株施用赤霉素合成抑制剂则雌株数量增多

3. 能够帮助植物应对干旱环境的植物激素是 ()

- A. 生长素 B. 脱落酸 C. 细胞分裂素 D. 赤霉素

二、简答题

利用网络、图书馆的图书文献资源，或者通过到附近的农村、农场、蔬菜水果种植基地、绿化区、公园、花卉市场等地访问那里的农民、工作人员、管理人员、花卉商等，获得植物激素在生产中的应用的相关资料，并在全班范围内进行交流。

第三节 植物对多种环境信号做出反应

生长在沙漠中的某些植物的种子中含有阻止萌发的化学物质。只有经过暴雨的冲刷，使得体内这种物质的浓度降低之后，种子才能萌发。若雨量不足，种子就不萌发。这些植物正是通过这样的方式巧妙地适应干旱的沙漠环境。你能猜猜这种化学物质可能是什么吗？植物体能对光照、温度、水分等多种环境信号做出反应，植物是如何感知这些环境信号的变化并做出反应的呢？

本·节·要·点

- 向性运动
- 光周期现象
- 春化作用

向性运动是植物对环境信号做出的生长反应

植物不能像动物一样通过自由移动整体的位置而主动避开不适宜的环境条件，但植物体也能针对某些环境信号做出改变局部生长方式的反应。

向性运动是植物受到光、重力等有方向性的环境刺激而引起的生长运动，是植物对环境信号的一种生长反应，生长的方向取决于外界刺激的方向。本章第一节提到的向光性就是一种常见的向性运动，另一种常见且重要的向性运动是向重力性。

向重力性就是植物在重力影响下，保持一定方向生长的特性。植物的茎总是背离重力方向而向上生长，具有负向重力性；相反，根总是顺着重力方向而向下生长，具有正向重力性。如果我们取任何一株幼苗，把它横放，一段时间后就可以看到它的茎向上弯曲，而根向下弯曲（图5-20）。

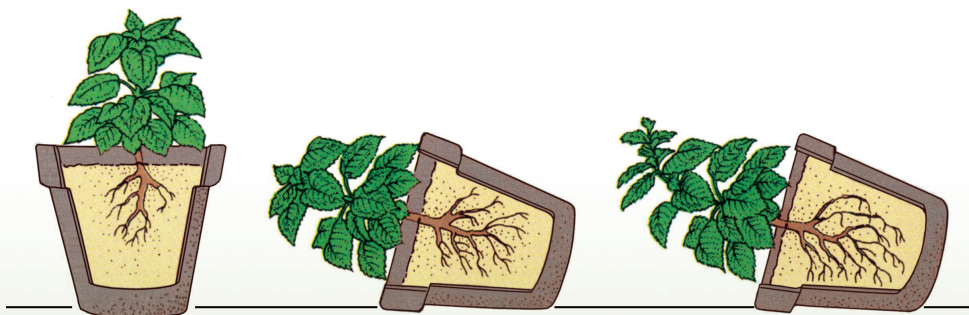


图5-20 植物茎的负向重力性和根的正向重力性

根中感受重力的细胞在根冠，而进行不对称生长使根向下弯曲的是伸长区的细胞。信号如何通过这段距离进行传递？一般认为，可能与生长素有关。

小资料

植物向重力性的研究

科学研究认为，植物细胞内可能存在感受重力的细胞器，即平衡石（statolith）。平衡石原指甲壳类动物器官中一种管理平衡的沙粒。植物的平衡石是指淀粉体——一种充满淀粉粒的质体。根部的平衡石在根冠中，茎部的平衡石分布在维管束周围的1~2层细胞中。在重力影响下，平衡石会下沉到细胞底部，刺激内质网释放出 Ca^{2+} 。如图5-21所示，玉米主根在横放数小时后向下弯曲，而其根冠细胞内的淀粉体则在横放后数分钟内便明显下沉。

为解释植物的向重力性，有人提出这样的假说：根横放时，平衡石沉降到细胞底部，刺激内质网释放 Ca^{2+} 到细胞质中， Ca^{2+} 和特定蛋白质相结合，激活细胞底部的钙泵和生长素泵。于是，横放的根的下侧生长素浓度高于上侧。而根对生长素浓度十分敏感，下侧高浓度的生长素反而抑制细胞生长，导致下侧生长速度比上侧慢，于是根向下弯曲。

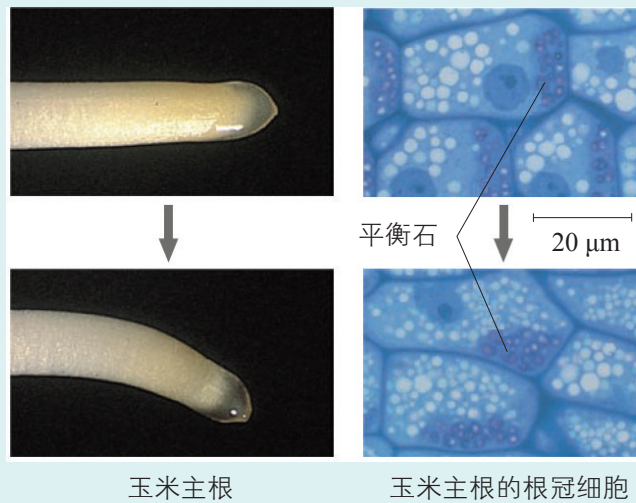


图5-21 玉米主根的向重力性

植物的生殖受到光周期及温度的调控

植物的花在何时、何处形成，是一个严格受控的过程。当植物的营养器官发育成熟，并从内部完成必要的转变，具备了生殖能力，接下来光、温度等环境信号将决定花将在何时产生。

很多植物的开花都与光周期的季节性变化有着极为显著的关系。所谓光周期 (photoperiod), 即一天 24 h 内昼夜的相对长度。生物体对光周期的生理反应, 称为光周期现象 (photoperiodism)。

有些植物只有当日长超过一定小时数时才能开花, 这样的植物称为长日植物, 如菠菜、萝卜、生菜、甘蓝、燕麦、鸢尾等。长日植物一般在春天或者初夏开花。有些植物则相反,

只有当日长短于一定小时数时才能开花, 这样的植物称为短日植物, 如烟草、菊花、大豆、苍耳、晚稻、甘蔗、棉花等 (图 5-22)。短日植物一般在夏末或者秋冬开花。当然也有一些植物如番茄、蒲公英等, 开花不受光周期影响, 当它们成熟后, 不管日照长短, 只要它们已经接受了正常生长发育所需的足够的光照就能开花, 被称为日中性植物。不过, 它们的开花可能受到温度等其他因素的影响。

科学研究表明, 控制植物开花及其他光周期现象的是夜长——暗期的长度, 而非日长。如图 5-23, 通过短时间暗室处理来打断短日植物如苍耳的光照期, 发现其开花不受影响, 但通过照光, 哪怕仅仅是几分钟的微弱光照射来打断它的暗期, 就能阻止它开花。对长日植物来说, 处于长夜条件下是不开花的, 如果通过照光几分钟来打断这个长夜的话, 它就会开花。可见, 植物的开花与日照长度无关, 而是需要一定时长的持续夜长。因此, 短日植物实际是长夜植物, 而长日植物实际是短夜植物。

植物体感受光周期变化的部位是叶片。叶片细胞中有一种色素称为光敏色素 (phytochrome), 能够感受夜长。一旦暗期被照光, 特别是被红光打断, 光敏色素就能捕获到这个信号, 从一种形式转变成另一种形式。这种转变起着开关的作用, 不仅控制着开花, 还控制着诸多植物体其他重大生理过程, 如种子萌发、分枝形成等。

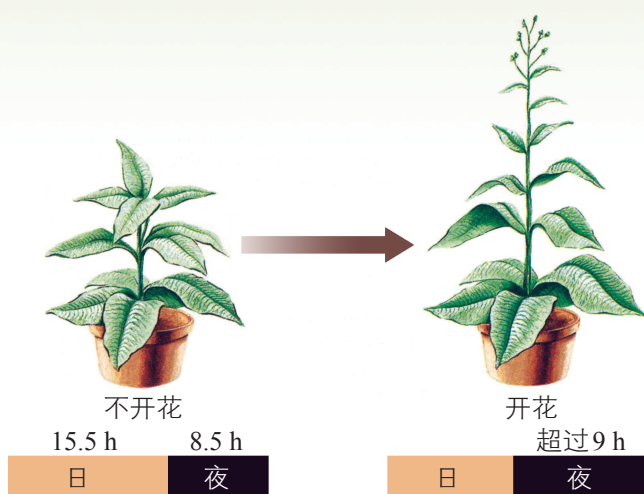


图 5-22 光周期影响短日植物烟草开花的实验

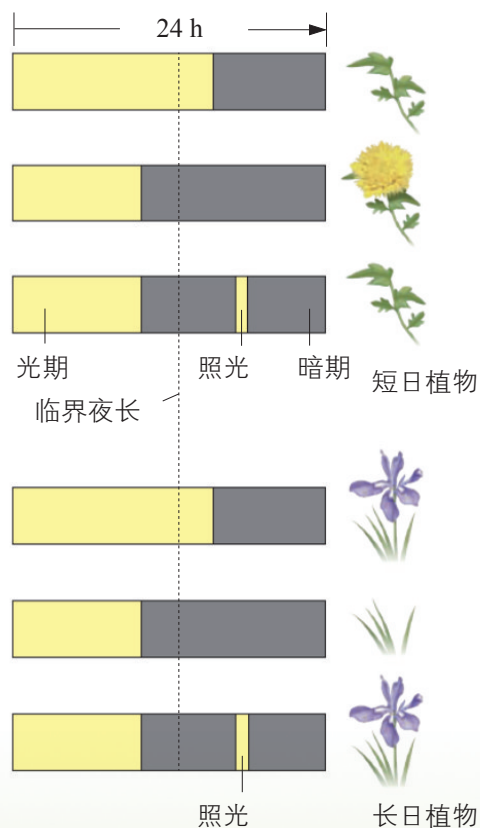


图 5-23 夜长被打断对短日植物和长日植物开花的影响

叶片感受到光周期刺激后，如何把信息传递到开花部位——茎尖或叶腋处？科学家推测是有一种激素在起作用，将它命名为成花素（florigen），但至今未能鉴定出其化学本质。此外，还可能存在一些大分子有机物，如mRNA和一些蛋白质，也参与这个过程的信息传递。

光周期作为信号控制很多植物的开花，这是长期进化的结果。这样各种植物都能在非生物环境条件最佳，有传粉媒介可供利用，并且与其他植物的资源竞争较少时，完成生殖过程，实现物种的延续。例如，有些早春开花的、花期短的植物在树冠上的叶子长出之前就开花了，这就占得了先机，大大降低了对传粉昆虫需求的竞争压力。

利用光周期的知识，通过人为地控制光照条件来控制植物的花期，可以满足更广泛的需求，创造出更大的经济价值。

另外，还有一些植物的开花主要受温度影响，如冬小麦。在自然条件下，冬小麦等是在头一年秋季萌发，以营养体过冬，到第二年夏初才开花和结实。对这类植物来说，秋冬季的低温是开花所必需的条件。这种低温诱导植物开花的过程，称为春化作用（vernalization）。

低温对开花的影响，一般可在种子萌发或在植株生长的任何时期实现，如冬小麦的种子经低温处理后，即使在春天播种，也能在夏初抽穗开花。

感受低温刺激的部位一般在茎尖。茎尖感受刺激以后，如何把信息传递到开花部位？许多实验证明，在春化过程中形成一种春化素（vernalin），不过这种物质至今还没被分离出来。春化作用也可能与赤霉素有关。研究表明，小麦、油菜、燕麦等多种作物的种子经过低温处理后，体内赤霉素含量升高。实验证明，一些需要春化的植物未经低温处理而施用赤霉素，也能开花。

低温作为信号，影响这些植物的开花，也是进化的结果。经过长期的进化过程，这样一些能够度过寒冷冬季的物种得以延续下来。

总而言之，植物体是一个复杂的生命系统，能通过自我调节来保证自身的生长发育和繁殖，从而适应不断变化的环境。



课外读

光敏色素

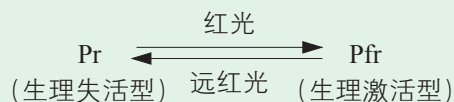
1952年，美国农业部的科学家用单色光处理莒苣种子发现（图5-24），红光（波长在660 nm左右）促进种子萌发，而远红光（波长在730 nm左右）抑制种子萌发；如果用红光和远红光交替处理，则两种波长的光对种子萌发的影响可以相互逆转，种子萌发率高低取决于最后一次曝光波长。



图5-24 1952年美国科学家用红光和远红光交替处理莴苣种子的实验

上述结果说明，吸收红光和远红光的光受体可能是具有两种存在形式的单一色素。后来，人们成功地分离出这种色素，称之为光敏色素。

光敏色素是一种易溶于水的具有独特吸光特性的蛋白质。光敏色素有两种类型：红光吸收型（Pr）和远红光吸收型（Pfr）。Pr的吸收高峰在660 nm，Pfr的吸收高峰在730 nm。Pr吸收660 nm红光后，转变为Pfr，而Pfr吸收730 nm远红光后，逆转为Pr。Pr是生理失活型，而Pfr是生理激活型，能够促进种子萌发，抑制茎的垂直生长，促进分枝，调节生物节律，控制花期等。总之，光敏色素影响植物一生中各个阶段的光控制的形态建成。



植物体合成的光敏色素是Pr。Pr比较稳定，Pfr不稳定。在黑暗条件下，Pfr会逆转为Pr，降低Pfr浓度。Pfr也会被蛋白酶降解。Pfr的半衰期为20 min到4 h，所以在黑暗条件下，植物体内的光敏色素主要以Pr形式存在。阳光中红光和远红光都有，但Pr吸收红光，转变成Pfr的速度比Pfr转变成Pr的速度快。因此，在自然条件下，像莴苣这样的可被光诱导萌发的种子一旦暴露在充足的阳光下，Pfr浓度就会升高。当Pfr浓度累积到一定量时，便启动萌发过程。

光敏色素还作为环境中红光和远红光比例的感受器，传递不同光质、不同照光时间的信息，调节植物的发育。因为植物叶片中的叶绿素吸收红光，透过或反射远红光，所以，当植物受到周围植物的遮阴时，体内Pr比例会升高。阳生植物在这样的条件下，茎垂直生长速度加快，以获取更多的阳光。而一旦得到阳光直射，Pfr比例便升高，抑制茎的垂直生长，促进分枝。这样的现象被称为“避阴反应”(shade avoidance response)。

思考与练习

一、选择题

某种长日植物开花的临界夜长是9 h，在下列光周期中，此长日植物不能正常开花的是（ ）

- A. 16 h光照/8 h黑暗
- B. 14 h光照/10 h黑暗
- C. 8 h光照/8 h黑暗/闪光/8 h黑暗
- D. 4 h光照/8 h黑暗/4 h光照/8 h黑暗

二、简答题

对植物激素的作用机理及植物对环境信号做出反应的机理的研究，很多认识目前还都停留在科学假说阶段。请说说我们应该怎样看待这些科学假说。

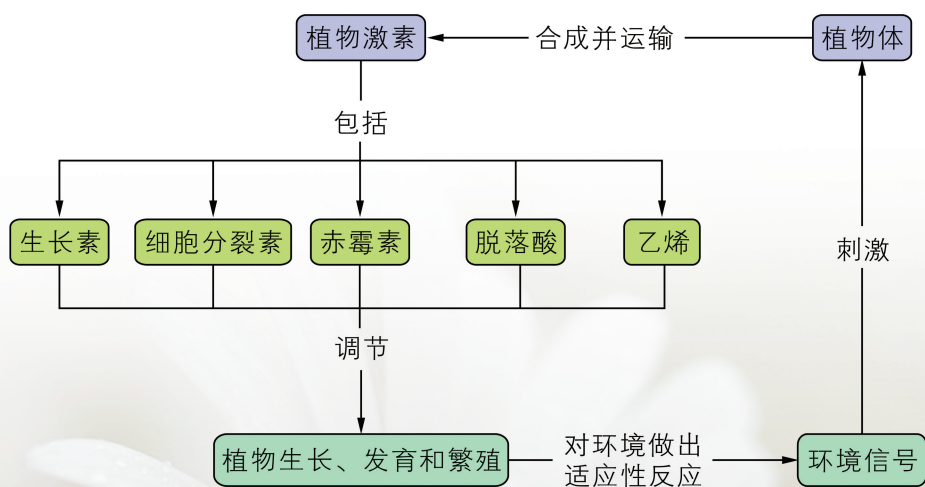
本章小结

植物激素是在植物体内对生命活动起调节作用的化学信号分子。最早被人们发现的植物激素是生长素。科学家逐步发现生长素的过程，是一个运用观察、质疑、求证、推理等科学方法，并设计实验进行科学探究的典型范例。

已知的植物激素主要有生长素、细胞分裂素、赤霉素、脱落酸和乙烯。其中，生长素、细胞分裂素和赤霉素起促进作用，脱落酸和乙烯帮助植物度过不良环境。生长素在调节植物生长时表现出两重性，既能促进生长，也能抑制生长。不同激素通过协同、拮抗等方式，相互作用、共同调节植物的生长、发育和繁殖。植物体接受环境信号的刺激后，在体内主要通过植物激素来传递信号，从而产生相应的生理反应，进而适应复杂多变的环境。植物生命活动调节的内容主要渗透了稳态与平衡、进化与适应的生命观念。

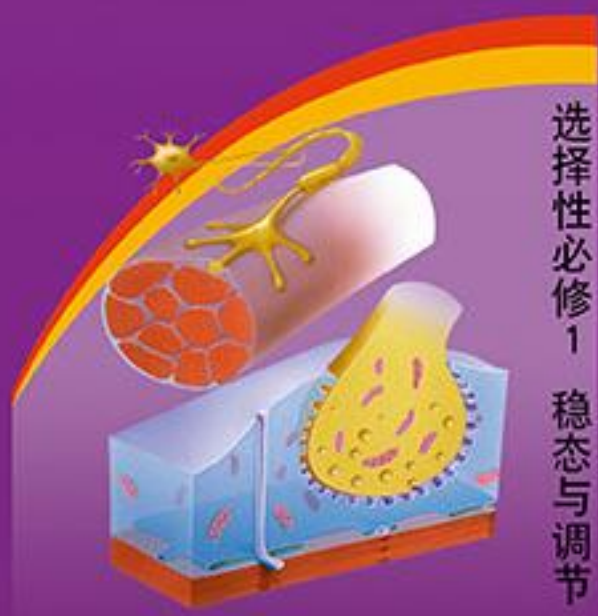
半个多世纪以来，各类人工合成的植物激素或其类似物为主要成分的植物生长调节剂被广泛应用到农业生产中，由此而引发的食品安全、环境保护等方面的问题也日益受到人们的关注和探讨。

本章知识结构图



生物学

选择性必修1 稳态与调节



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

ISBN 978-7-5341-8680-6



9 787534 186806 >

定价：10.12元