



# 普通高等学校“十四五”规划生命科学类创新型特色教材

## 编委会



### 主任委员

陈向东 武汉大学教授,2018—2022年教育部高等学校大学生物学课程教学指导委员会秘书长,中国微生物学会教学工作委员会主任

### 副主任委员(排名不分先后)

胡永红 南京工业大学教授,食品与轻工学院院长

李钰 哈尔滨工业大学教授,生命科学与技术学院院长

卢群伟 华中科技大学教授,生命科学与技术学院副院长

王宜磊 菏泽学院教授,牡丹研究院执行院长

### 委员(排名不分先后)

陈大清	郭晓农	李 宁	陆 胤	宋运贤	王元秀	张 明
陈其新	何玉池	李先文	罗 充	孙志宏	王 云	张 成
陈姿暄	胡仁火	李晓莉	马三梅	涂俊铭	卫亚红	张向前
程水明	胡位荣	李忠芳	马 尧	王端好	吴春红	张兴桃
仇雪梅	金松恒	梁士楚	聂呈荣	王锋尖	肖厚荣	郑永良
崔韶晖	金文闻	刘秉儒	聂 桓	王金亭	谢永芳	周 浓
段永红	雷 忻	刘 虹	彭明春	王 晶	熊 强	朱宝长
范永山	李朝霞	刘建福	屈长青	王文强	徐建伟	朱德艳
方 俊	李充璧	刘 杰	权春善	王文彬	闫春财	朱长俊
方尚玲	李 峰	刘良国	邵 晨	王秀康	曾绍校	宗宪春
冯自立	李桂萍	刘长海	施树良	王秀利	张 峰	
耿丽晶	李 华	刘忠虎	施文正	王永飞	张建新	
郭立忠	李 梅	刘宗柱	舒坤贤	王有武	张 龙	



# 普通高等学校“十四五”规划生命科学类创新型特色教材

## 作者所在院校

(排名不分先后)

- |           |          |            |          |
|-----------|----------|------------|----------|
| 北京理工大学    | 华中科技大学   | 云南大学       | 辽宁大学     |
| 广西大学      | 南京工业大学   | 西北农林科技大学   | 燕山大学     |
| 广州大学      | 暨南大学     | 中央民族大学     | 临沂大学     |
| 哈尔滨工业大学   | 首都师范大学   | 郑州大学       | 山西医科大学   |
| 华东师范大学    | 湖北大学     | 新疆大学       | 宁夏大学     |
| 重庆邮电大学    | 湖北工业大学   | 青岛科技大学     | 重庆第二师范学院 |
| 滨州学院      | 湖北第二师范学院 | 青岛农业大学     | 齐鲁理工学院   |
| 河南师范大学    | 湖北工程学院   | 青岛农业大学海都学院 | 六盘水师范学院  |
| 嘉兴学院      | 湖北科技学院   | 山西农业大学     | 河西学院     |
| 武汉轻工大学    | 湖北师范大学   | 陕西科技大学     | 广西贵港工业学院 |
| 长春工业大学    | 汉江师范学院   | 陕西理工大学     |          |
| 长治学院      | 湖南农业大学   | 上海海洋大学     |          |
| 常熟理工学院    | 湖南文理学院   | 塔里木大学      |          |
| 大连大学      | 华侨大学     | 唐山师范学院     |          |
| 大连工业大学    | 武昌首义学院   | 天津师范大学     |          |
| 大连海洋大学    | 淮北师范大学   | 天津医科大学     |          |
| 大连民族大学    | 淮阴工学院    | 西北民族大学     |          |
| 大庆师范学院    | 黄冈师范学院   | 北方民族大学     |          |
| 佛山科学技术学院  | 惠州学院     | 西南交通大学     |          |
| 阜阳师范大学    | 吉林农业科技学院 | 新乡医学院      |          |
| 广东第二师范学院  | 集美大学     | 信阳师范学院     |          |
| 广东石油化工学院  | 济南大学     | 延安大学       |          |
| 广西师范大学    | 佳木斯大学    | 盐城工学院      |          |
| 贵州师范大学    | 江汉大学     | 云南农业大学     |          |
| 哈尔滨师范大学   | 江苏大学     | 肇庆学院       |          |
| 合肥学院      | 江西科技师范大学 | 福建农林大学     |          |
| 河北大学      | 荆楚理工学院   | 浙江农林大学     |          |
| 河北经贸大学    | 南京晓庄学院   | 浙江师范大学     |          |
| 河北科技大学    | 辽东学院     | 浙江树人学院     |          |
| 河南科技大学    | 锦州医科大学   | 浙江中医药大学    |          |
| 河南科技学院    | 聊城大学     | 郑州轻工业大学    |          |
| 河南农业大学    | 聊城大学东昌学院 | 中国海洋大学     |          |
| 石河子大学     | 牡丹江师范学院  | 中南民族大学     |          |
| 菏泽学院      | 内蒙古民族大学  | 重庆工商大学     |          |
| 贺州学院      | 仲恺农业工程学院 | 重庆三峡学院     |          |
| 黑龙江八一农垦大学 | 宿州学院     | 重庆文理学院     |          |

# 网络增值服务使用说明

## 1. 教师使用流程

(1) 登录网址：<http://yixue.hustp.com>（注册时请选择教师用户）



(2) 审核通过后，您可以在网站使用以下功能：



## 2. 学员使用流程

建议学员在PC端完成注册、登录、完善个人信息的操作。

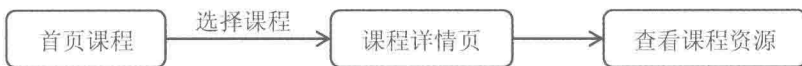
(1) PC端学员操作步骤

① 登录网址：<http://yixue.hustp.com>（注册时请选择普通用户）

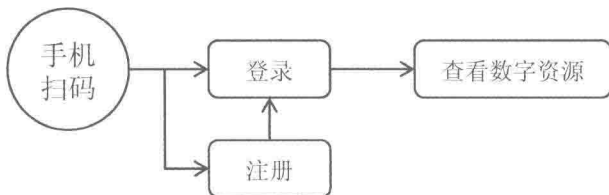


② 查看课程资源

如有学习码，请在个人中心-学习码验证中先验证，再进行操作。



(2) 手机端扫码操作步骤



# 第二版前言

---

《动物生理学》第一版于2015年发行,经数次重印,教学效果良好,受到广大师生的欢迎。为适应新形势下教学改革的需要,进行了修订。

在内容编排和体例上,第二版延续了第一版的主要特色。对第10章(免疫系统),补充了“微生物-肠-脑轴”的最新进展有关内容。

依托华中科技大学出版社提供的教材数字化平台,对各章节的文字进行了较大幅度的删改,对于部分比较深入的内容和新增的热点问题,以“知识卡片”的方式做了二维码链接,供感兴趣的教师和学生作为延伸阅读材料。每章之后的主要知识点思维路线图,统一变更为二维码链接的动画,便于学生扫码学习参考。

课程思政是近年来教学改革的一个重要内容。如何实现专业基础课与德育通识课的双向并行的教书育人目标,很多老师都做了有益的探索。我们结合专业内容,编撰了一批融入思政元素的教学案例,以二维码链接的方式插入教材的适当位置。期望这些繁简不一的教学案例在老师授课过程中起到抛砖引玉的作用,引导学生在掌握专业知识的同时,树立正确的世界观、人生观和价值观。

线上线下混合式教学是课堂教学模式改革的主导方向。为此,我们以二维码链接了部分教学视频,供老师和学生参考。学生可以扫码学习相关内容,线下课堂时教师可以组织、引导学生们探讨更深层次的问题。

参与本次修订的都是从事动物生理学教学的一线骨干教师,熟悉国内外动物生理学的教学和相关科研工作。具体分工如下:李兰负责第1章(绪论)的修订;王莉负责第2章(细胞的基本生理)的修订;韩立强负责第3章(神经系统)的修订;肖琳负责第4章(血液循环)的修订;宁红梅、堵守杨负责第5章(呼吸生理)的修订;张建营负责第6章(消化与吸收)的修订;陈玥负责第7章(能量代谢与体温调节)的修订;于雷、李有为负责第8章(排泄系统)的修订;张成负责第9章(内分泌系统)的修订;王慧敏负责第10章(免疫系统)的修订;尹坤负责第11章(生殖与泌乳)的修订;刘宗柱负责第12章(禽类生理特点)的修订。全书由刘宗柱和李兰进行最后的统稿,思维导图的动画转化由李兰完成。

本书修订过程中,各位老师付出了很大的努力,但定稿之后仍感觉距离当初的愿望有一定的差距。动物生理学是一门发展很快的学科,限于编者对问题的认识深度,书中难免存在不当之处,恳请广大读者不吝批评并提出改进意见。

《动物生理学(第二版)》编委会

2022年4月

# 第一版前言

---

《动物生理学》教材目前已有十几个版本,这些教材各具特色,在动物生理学的教学中发挥了重要作用。

随着我国畜牧业由规模扩张向优质高效的转型,绿色、生态畜牧业的理念也日渐深入人心。如何保障规模化养殖动物、宠物以及珍稀保护动物的健康,建立人类-动物-环境和谐共存的生态关系已成为动物医学面临的重大挑战。尤其是在集约化养殖条件下,动物机体内环境稳态的维持所面临的最大挑战,来源于外环境应激、感染源对动物机体的威胁。尽管很多教材编撰了神经内分泌免疫调节的内容,但许多方面尚待进一步展开。近年来国外动物生理学教材的发展和更新也很迅速,涌现了一大批图文并茂的优秀教材,为动物生理学教材的编撰提供了比较全面的参考。为此,本教材的编撰在继承国内优秀教材的基础上,力求从以下几方面有所突破。

首先,在编撰内容上增加“免疫防御系统”一章,主要介绍动物机体免疫防御系统的构成及其生理机能的实现,并尝试从免疫体系的进化起源和生态免疫学的角度解释动物有机体免疫机能与神经内分泌体系的内在联系,以及它们在维持动物机体内环境稳态中的机能整合。

其次,鉴于纸质版教材的有限信息容量,尝试通过二维码链接动物生理学精品建设网站的相关资源。扫描二维码,可以打开本书相关的彩图、动画以及简短视频等素材。我们相信,随着4G以及更高通讯技术的普及,这样的尝试可以更有效丰富纸质版教材的信息内容。

最后,教材编排采用总目录与分目录相结合的形式。每章之前设置本章的分目录,便于学生找寻感兴趣的内容,也相当于本章概要;每章最后除了复习思考题之外,增加反映本章主要知识点的思维导图,便于学生学习后理清思路,掌握重点。

参加本书编撰的教师都是长期从事一线教学的骨干教师,大部分具有博士学位和与国外交流的经历,熟悉国内外生理学教学情况。本书共12章,其中董晓负责编写第1章绪论,并对部分章节审阅定稿;王莉编写了第2章;韩立强编写了第3章;肖琳编写了第4章;宁红梅编写了第5章;王林枫编写了第6、7章;董方圆编写了第8章;张成编写了第9章;刘文华编写了第10章;朱宝长编写了第11章;刘宗柱编写了第12章。书稿由刘宗柱统稿修订,并组织全部图片的修订改绘工作。

本书的编撰,得到了青岛农业大学教材建设以及动物生理学精品课程建设项目的支持。青岛农业大学组织专家对本书的编撰提出了很多宝贵的意见和建议,在此一并表示感谢。

在本书的编撰中,各位老师付出了很大的努力。但在成书之后,仍感觉距离当初的设计和愿望有很大差距。动物生理学本身是发展很迅速的学科,限于编者对问题的认识水平以及精力,书中难免存在不当之处,恳请广大师生提出批评及改进意见。

# 总目录

---

## 第1章 绪论 /1

动物生理学通过研究健康动物体的各种功能,来回答生命活动是如何进行的这一核心科学问题。动物机体内环境的稳态是其生命活动正常进行的基础,是动物生理学的核心理念。通过神经、体液以及免疫体系的调节,动物机体各细胞、组织、器官、系统分工协作整合形成一个和谐的有机体。

## 第2章 细胞的基本生理 /9

约38亿年前,地球上出现了原始的细胞,生命的演化完成了漫长的化学进化阶段。之后,原始细胞形成复杂的代谢系统,并逐步形成多细胞生物,直至高度复杂的生命体。作为生物体的基本结构和功能单元,细胞所表现出的生理机能是生物体整体功能的基础。本章从细胞膜的结构与功能出发,着重描述了神经细胞的生物电现象以及骨骼肌、心肌和平滑肌的收缩等基本功能。

## 第3章 神经系统 /47

多细胞生物体内各个细胞间最基本的通讯方式是借助化学信号分子。较晚演化出的神经系统,在细胞内借膜电位变化沿胞轴传递信息,这种电信号的传导大大加快了信息传送的效率,但在细胞间仍依赖于化学信号分子(神经递质)的中介作用。神经系统通过神经细胞之间的巧妙组合,可以对信息进行复杂加工,完成过滤、放大、分析、综合等工作。中枢神经系统的学习与记忆等高级功能,使动物获得了适应环境变化的卓越能力。

## 第4章 血液循环 /93

随着动物体多细胞、大型化的演化,出现了循环系统,负责在不同组织细胞间转运和输送呼吸气体、营养物质以及代谢废物。在动物机体内环境稳态的维持上,通过血液的流动和与组织液的交流,分配组织细胞新陈代谢所需要的营养物质和 $O_2$ ,并及时将组织细胞的代谢产物转运至排泄器官排出体外,是血液循环最重要的作用。动物机体内化学信号的传递、热量的均衡输布等机能,也依赖于血液循环。

## 第5章 呼吸生理 /128

通过有氧代谢为细胞的生命活动提供能量对于绝大多数动物的生存是必需的。因而,动物在新陈代谢过程中需要不断消耗 $O_2$ ,产生 $CO_2$ 。地球演化至600万年之前,大气中 $O_2$ 积累到一定浓度,为动物体的有氧代谢提供了便利条件,动物的体型得以向大型化发展。随之而来的,则是与外环境进行气体交换的呼吸功能的进化。这一进化对于动物由低等到高等,由水生到陆地生活的进化过程有重要的作用。生存环境不同,动物体进化出的呼吸器官和呼吸方式各异,但都具备与外环境进行高效气体交换的能力,从而确保内环境的稳态。

## 第6章 消化与吸收 /153

消化道是动物体最大的外管腔,其出入口受意识控制。消化道内浓集着各种胞外酶,对食物进行逐步降解。消化道内每日有大量液体周转,但除饮水外,大部分是消化道的分泌液,自前面泌出,到后面又吸收回血液。庞大的液体量起缓冲作用,使得进食不会引起腔道内环境成分的剧烈动荡。消化系统是单向通道,食物在其中逐步经受消化。先是破碎为尽可能小的颗粒(物理消化),消化液中的水解酶再将颗粒内容分解为小分子以利吸收(化学消化)。小肠利用巨大的表面积,将消化产物通过肠黏膜转运进入内环境。

## 第7章 能量代谢与体温调节 /190

细胞的各种活动需要能量的供给,因而,能量的持续输入是动物体结构保持有序状态并推动各生理机能进行的基础。动物体通过消化系统获取的食物营养,除了供应合成代谢所需的原材料,大部分在体内分解转化为各种能量。在转化的过程中,一部分能量不可避免地以热能的形式释放。释放的热能被动物体用以维持恒定的体温,以确保各种生化反应的顺利进行。鸟类和哺乳类进化出调节体温恒定的机制,从而获得了适应复杂多变的外环境的能力。

## 第8章 排泄系统 /208

为了维持内环境理化因子的稳态,动物机体不断地将代谢终产物、机体不需要的物质以及过剩的物质经血液循环运送到排泄器官,并排出体外。肾脏作为哺乳动物最主要的排泄器官,通过泌尿的方式执行排泄机能,是机体最主要的排泄途径。排泄系统在泌尿排泄废物的同时,还具有调节体内水、盐代谢和酸碱平衡等功能。

## 第9章 内分泌系统 /231

多细胞生物体内各个细胞间必须互通信息才能协调活动。细胞间最基本的通

讯方式是借助化学信号分子,通过体液运输传递调节信号。动物机体的内分泌腺体以及散在的内分泌细胞构成内分泌系统,与神经系统以及免疫防御系统形成复杂的调节网络,共同维持机体内环境的稳态,并对外环境的变化作出适应性调节。

## 第 10 章 免疫系统 /262

自然环境下,与动物体密切接触的微生物数量远超过构成动物自身体细胞的数量,对动物机体内环境稳态的维持构成巨大威胁。屏障结构、固有免疫分子、获得性免疫是动物机体抵御外环境有害因子侵袭的三道防线,构成完善的免疫防御系统,并且与动物机体的神经-内分泌机能密切关联,形成神经-内分泌-免疫网络。

## 第 11 章 生殖与泌乳 /286

生物体生长发育到一定阶段后,通过生殖活动产生与自己相似的子代个体,这是物种绵延最基本的生命活动。它既是生物群体延续种族的重要生命活动,也是遗传物质分离、重组、传递和结合的循环过程。哺乳动物营有性生殖,包括生殖细胞的形成、交配和受精以及胚胎的发育等重要环节。胎儿发育成熟后通过某种途径与母体交换信号,从而发动分娩,这一过程同时也触发了母体的泌乳机能。通过泌乳,母体为新生动物提供体外生活的基本营养物质,并传递被动免疫以提供必要的保护。

## 第 12 章 禽类生理特点 /311

禽类属于鸟纲,是由恐龙演化出来的分支。其祖先虽然与哺乳类共同起源于早期爬行类,但两者分离进化已历 300 多万年。令人惊奇的是,两者都采用了类似的机制完成相同的生理功能。当然,禽类也保留了区别于哺乳类独特的生理特点。了解禽类的生理特征,对于正确认识家禽生理机能的异常(疾病),理解自然进化在动物生理机能塑造上的鬼斧神工似的作用有重要意义。

## 参考文献 /339

- 1.1 动物生理学是研究动物体各种机能的学科/1
  - 1.1.1 动物生理学的研究内容/1
  - 1.1.2 动物实验是动物生理学的基本研究方法/1
- 1.2 新陈代谢、兴奋性、生殖和适应性是生命活动的基本特征/3
  - 1.2.1 新陈代谢/3
  - 1.2.2 兴奋性/4
  - 1.2.3 生殖/4
  - 1.2.4 适应性/4
- 1.3 内环境稳态是动物体生命活动的必要条件/4
  - 1.3.1 体液与内环境/4
  - 1.3.2 内环境稳态/5
- 1.4 动物体通过多种方式调节内环境保持稳态/6
  - 1.4.1 调节方式/6
  - 1.4.2 动物机体机能的调节控制模式/6

## 1.1 动物生理学是研究动物体各种机能的学科

### 1.1.1 动物生理学的研究内容

生理学(physiology)是生命科学的一个重要分支,是研究有机体正常生命活动及其规律的科学。通过生理学的研究,来回答生命活动是如何进行的这一核心科学问题。根据研究对象的不同,生理学又可分为人体生理学、植物生理学、动物生理学、微生物生理学以及运动生理学、航空航天生理学等重要分支。

动物生理学(animal physiology)是生理学的重要分支,是以哺乳动物为主要研究对象,研究动物体各系统、器官和细胞的正常活动和规律。动物体的正常生命活动,首先建立在动物体各大系统的结构与功能统一的基础上,如循环系统的运输功能、呼吸系统的交换功能、神经系统的调节整合功能等。其次,动物体与环境之间也保持着密切的联系和相互作用。因而,动物生理学的任务,就是要揭示动物体各系统、器官和细胞功能表现的内在机制,探索不同系统、器官和细胞之间的相互联系和相互作用,并阐明动物体如何协调各部分的功能,使动物体作为一个整体适应复杂多变的生存环境,从而维持生命个体的生存和种群的繁衍。

### 1.1.2 动物实验是动物生理学的基本研究方法

动物生理学是一门实验性科学,其知识体系主要是通过观察(observation)和实验(experimentation),并对观察到的生命活动现象和获得的实验结果进行科学分析、归纳所建立的。观察是指对动物生命现象的如实描述和记录;而实验是记录并分析在人为控制或改变某

些条件时生命现象的变化,以探究某一生命活动发生的因果关系。

### 1.1.2.1 两类动物实验

动物实验是动物生理学最基本的研究方法,根据其特点,分为急性实验(acute experiment)和慢性实验(chronic experiment)两大类。

#### (1)急性实验

急性实验分为在体实验(*in vivo*)和离体实验(*in vitro*)两种。

在体实验也称为活体解剖法,是将动物麻醉或破坏大脑,解剖暴露某器官,观察该器官在体内与其他器官处于自然联系状态下的活动规律,以及各种因素对其活动的影响。

离体实验是将动物的器官、组织或细胞分离取出后,在模拟机体生理条件下对其进行实验观察,分析其活动规律和影响因素等。

上述两种实验方法通常都不能维持很长的时间,所以统称为急性实验。此类方法的优点是实验条件比较简单,可以尽量消除与研究因素无关变量,便于分析单个影响因素的作用。缺点在于急性动物实验的结果可能与其在整体内的功能活动有所不同。

#### (2)慢性实验

慢性实验是在无菌条件下通过外科手术暴露、摘除、损毁或移植某些器官,或者安装特定的瘘管及电极,待手术恢复后,对动物在接近正常状态下的某些生理功能活动及其变化等进行较长时间的实验观察。

慢性实验最大的优点在于所得到的实验结果最接近动物体的常态,而且实验可以反复多次观测。缺点是整体条件复杂,干扰因素比较多,实验条件较难控制。

上述各种研究方法各有利弊。在实际研究工作中,必须根据需要将各种研究技术和方法结合起来应用,才能更全面地认识动物生命活动的客观规律。

### 1.1.2.2 三个水平的研究

动物机体是由各器官系统相互联系、相互作用而构成的复杂整体,器官又是由结构与功能类似的细胞群体构成。细胞是动物机体结构与功能的基本单位,构成细胞的生物大分子决定着细胞的基本功能特点。动物生理学的研究是通过三个不同的层次或水平进行的(图 1-1)。

#### (1)整体、群体水平的研究

动物机体以整体形式存在,并与所生存的环境适应。体内各器官、系统除了完成各自的功能,更重要的是相互影响、相互联系,才能完成机体正常的生命活动,并对环境的变化作出适应性调整。例如,进食后食物在消化道消化吸收时,消化系统的血流量增加,其他器官系统的血流量则相对减少;而剧烈运动时,骨骼肌的活动增强,大量的血液被动员到运动系统,同时消化系统、排泄系统的血流量减少,功能减弱。

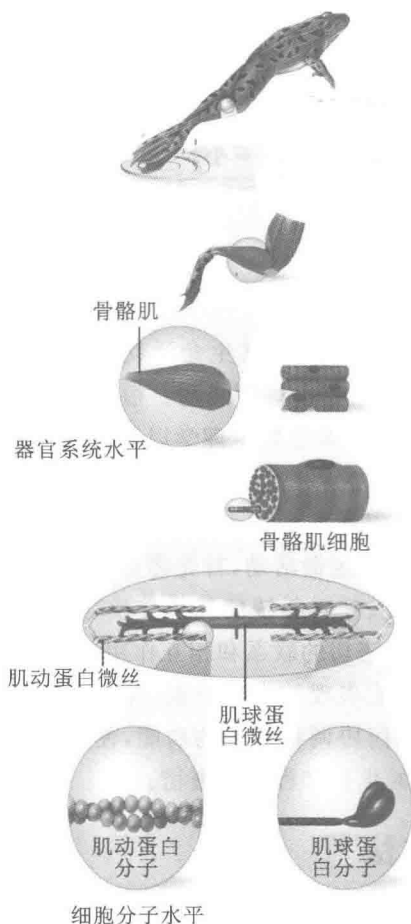


图 1-1 动物生理学三个水平的研究

动物个体正常的行为表现,以及外界环境变化时其行为模式的改变与内在机制,也属于整体水平的研究。野生状态下,许多动物是群居的;现代化畜牧生产中很多动物也采用集约化群养。动物在群体中的行为表现、生理机能的变化,与动物个体的健康和群体的生产性能密切相关。同时,动物个体或群体对不同的自然生存环境和人工养殖环境的适应及其内在生理机制,也是动物生理学整体水平研究的重要范畴。行为生理学(behavioral physiology)、环境生理学(environmental physiology)和生态生理学(ecological physiology)等都属于着重整体和群体水平研究的动物生理学分支。动物福利(animal welfare)的研究也主要在整体和群体水平进行。

### (2) 器官系统水平的研究

要了解某个器官或某个系统的功能、活动规律,以及在动物机体整体中的作用,就需要对某个器官或功能系统进行观察分析。在器官和系统水平上进行的研究称为器官生理学(organ physiology),或者以研究的器官和系统功能命名,如肾生理学(kidney physiology)、消化生理学(digestive physiology)、生殖生理学(reproductive physiology)、内分泌生理学(endocrine physiology)等。

### (3) 细胞分子水平的研究

组成不同器官的细胞各有其形态结构和功能特点,而细胞的活动主要取决于组成细胞的各种分子,特别是生物大分子的特性。细胞和分子水平的研究,主要揭示生命活动过程的细胞、分子层次的生物学机制。例如,细胞基因表达谱的改变会导致蛋白质表达谱的变化,从而引起细胞功能的改变。因而,动物生理学的研究必须深入细胞和分子水平,这样才能够对动物的生理机能更深入、细致的认识和理解。

动物体是一个高度组织起来的复杂有机体,组成动物体的各类物质既遵循一般物质运动的基本规律,又表现出生命现象独特的运动规律。应当指出的是,不同水平上的研究,往往因出发点以及研究方法与技术手段的不同,其思维方法和所要回答的问题与所得到的结果也不相同。只有将在不同水平上的研究结果综合起来进行分析,才能对动物机体的功能有全面和完整的认识。



码 1-1 《心血运动论》



码 1-2 整合生理学



码 1-3 林可胜与中国近代生理学

## 1.2 新陈代谢、兴奋性、生殖和适应性是生命活动的基本特征

任何生命体,从简单的单细胞生物到复杂的高等动物,尽管形态结构各异,功能表现各有特点,但均具有以下生命活动的基本特征,即新陈代谢、兴奋性、生殖和适应性。

### 1.2.1 新陈代谢

新陈代谢(metabolism)是指生物体与环境之间进行物质和能量交换,以实现自我更新的过程。它包括物质代谢和能量代谢两个方面,物质代谢又包括同化作用(anabolism)和异化作用(catabolism)。同化作用是指机体不断从环境中摄取营养物质以合成体内新的物质并储存能量的过程;异化作用是指机体不断分解自身原有物质,释放能量以供给各种生命活动的需要,并将分解终产物排至体外的过程。

生物体内伴随物质代谢而发生的能量的释放、储存、转移和利用的过程,称为**能量代谢**(energy metabolism)。

新陈代谢是机体与外界环境最基本的联系,也是生命现象的最基本特征。新陈代谢是一切生命活动的基础,一旦新陈代谢停止,生命也就终止了。

## 1.2.2 兴奋性

**兴奋性**(excitability)是动物机体对内、外环境的变化作出反应的特性。能被机体、组织、细胞所感受的各种内、外环境因素的变化都称为**刺激**(stimulus),如温度、压力、化学刺激、电刺激等。由刺激引起的机体活动状态的改变称为**反应**(reaction)。动物机体的反应有两种表现形式:一种是由静止状态转变为活动状态,或活动由弱变强,称为**兴奋**(excitation);另一种是由活动状态转变为静止状态或活动减弱,称为**抑制**(inhibition)。不同类型的细胞或组织,其兴奋性的表现形式多种多样,如腺体细胞的分泌、肌细胞的收缩等。随着电生理学技术的发展,发现不同的细胞受到刺激后虽然有不同的外部表现形式,但在受到刺激处的细胞膜最先都会出现一次电位变化,其他的外部反应都是由该电位变化引起或触发的。因而,现代生理学中将**兴奋**更准确地定义为细胞受到刺激后发生的**生物电**(bioelectricity)的变化,**兴奋性**则是组织或细胞受到刺激后产生生物电变化的能力或特性(详见第2章2.4.3)。

## 1.2.3 生殖

**生殖**(reproduction)是指动物个体生长发育到一定阶段时,产生与自己相似的子代个体的过程。生殖活动是生命延续的方式。如果丧失生殖功能,种系不能延续,则该物种将不复存在,所以生殖也是生命活动的特征之一。

通过生殖活动产生与自己相似的后代的现象称为**遗传**;子代与亲代之间,以及子代个体间存在差异,称为**变异**。遗传使物种得以延续,变异则使物种不断进化。

## 1.2.4 适应性

**适应性**(adaptation)是指动物机体、器官、组织和细胞可根据内外环境的改变调整自身生理功能,使其与环境协调的能力。生活在不同环境中的动物,其生理功能的表现各有不同。例如,生活在沙漠中的沙鼠,为保持来之不易的水分,其肾脏具有强大的浓缩尿液的能力,可以将尿液浓缩20倍以上;而生活在淡水中的鱼类,其肾脏的一个主要功能是排出进入体内的多余水分,则不具备浓缩尿液的能力。

# 1.3 内环境稳态是动物体生命活动的必要条件

## 1.3.1 体液与内环境

**体液**(body fluid)是动物机体内液体的总称,约占体重的60%(图1-2)。体液的2/3分布在细胞内,称为**细胞内液**(intracellular fluid);另外1/3分布在细胞外,称为**细胞外液**(extracellular fluid)。细胞外液可分为:分布于心血管系统内的**血浆**(plasma);分布于组织细

细胞间隙的**细胞间液**(interstitial fluid)或称**组织液**(tissue fluid);淋巴管内的**淋巴液**(lymph fluid)或称**淋巴**。

动物机体的大多数细胞不与外界环境直接接触,而是被细胞外液包围。因此,细胞外液是机体细胞发挥生理机能所处的体内环境,称为**内环境**(internal environment)。内环境的概念是由法国生理学家伯尔纳(Claude Bernard,1813—1878)于19世纪中叶提出来的,以区别于动物机体所处的**外环境**(external environment)。相对于多变的外环境,内环境的理化性质是保持相对稳定的,而内环境的相对稳定是动物机体维持正常生命活动的必要条件。

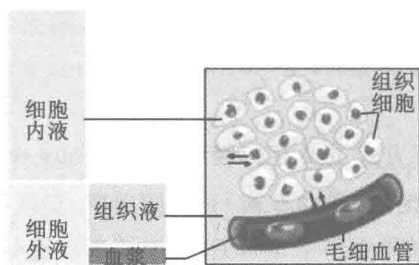


图 1-2 体液组成及物质交换示意图

### 1.3.2 内环境稳态

20世纪40年代,美国生理学家坎农(W. B. Cannon,1911—1945)继承和发展了伯尔纳的研究,将内环境的理化因素只在很小的范围内波动的生理学现象称为**稳态**(homeostasis)。内环境稳态,并不是说内环境的理化性质是固定不变的。在新陈代谢的过程中,细胞与内环境之间不断进行物质交换,外环境的变化也会影响内环境。因此,机体的各器官系统必须不断通过多种调节途径,使内环境的各项指标,包括成分、相互比例、酸碱度等,都维持在一个正常的生理范围内(生理正常值)。内环境稳态是机体各功能系统相互协调、相互配合而实现的一种动态平衡,也是各种器官、细胞正常生理活动的必要条件(图1-3)。内环境稳态的破坏或失衡会引起机体功能的紊乱而表现为疾病。从某种意义上讲,临床治疗就是通过物理、化学及生物等手段将失衡的内环境调整至正常水平,以恢复内环境稳态。

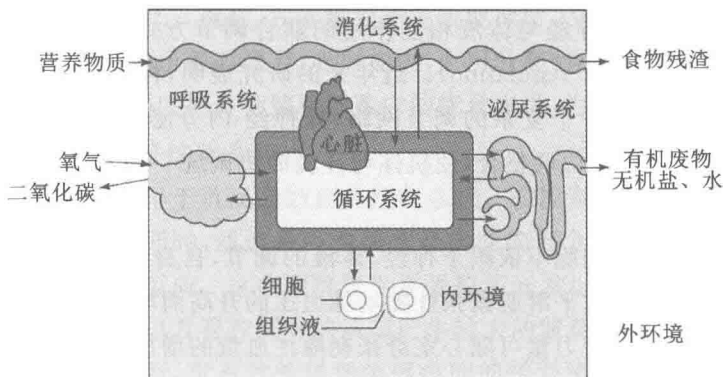


图 1-3 内环境稳态的维持

(仿 Widmaier 等,2007)



码 1-4 内环境与稳态

稳态是生理学的核心概念。现代生理学研究中,稳态的概念已不仅仅局限于内环境稳态,还包括机体内各器官、各功能系统生理活动的相对稳定和协调的状态。如交感神经系统与副交感神经系统活动的平衡、体内产热与散热的平衡、心脏与血管活动的协调平衡等。动物机体的稳态调节是一个极为复杂的过程,是通过动物机体复杂的调节和控制系统来实现的。

## 1.4 动物体通过多种方式调节内环境保持稳态

### 1.4.1 调节方式

动物机体生理机能的调节方式主要有神经调节(nervous regulation)、体液调节(humoral regulation)和自身调节(autoregulation)。

#### 1.4.1.1 神经调节

神经调节是指通过神经系统的活动对动物机体各组织、器官和系统的生理功能所发挥的调节作用。神经调节的基本过程是反射(reflex),其结构基础是反射弧(reflex arc),包括感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器5个基本环节。感受器将内外环境的变化转变为神经冲动信号,通过传入神经传至相应的神经中枢,神经中枢对传入的信号进行整合分析,并发出指令(神经冲动),通过传出神经传至相应的效应器,改变效应器的活动,发挥调节作用。神经调节具有高度的整合能力,具有快速、精确等特点,但作用部位局限,作用时间短。

#### 1.4.1.2 体液调节

体液调节是指由体内某些细胞分泌产生的化学信号物质,经过体液的转运到达特定的细胞、组织或器官,改变其活动的调节方式。因为所分泌的化学信号分子直接进入机体内环境,所以也称为内分泌调节(endocrine regulation),分泌产生化学信号的细胞称为内分泌细胞。根据分泌产生化学信号分子的细胞特点、化学信号转运的途径等又分为若干类型(详见第9章)。体液调节的特点是信号转导较慢,但作用广泛而持久。

由于体内的内分泌细胞也直接或间接地受到神经系统的支配,许多情况下体液调节构成神经调节传出途径的一个环节,这种神经与体液相互作用的联合调节方式称为神经-体液调节,或神经内分泌调节(neuroendocrine regulation)。近年来的研究表明,神经、内分泌和免疫系统之间存在密切的联系,三者构成一个复杂的调节网络,即神经-内分泌-免疫网络(详见第10章),对动物机体各种生理机能进行协调整合,使机体与环境的协调统一更加完善。

#### 1.4.1.3 自身调节

自身调节是指某些器官、组织和细胞不依赖于神经、体液的调节,自身对环境的改变产生的适应性反应。例如,肾脏入球小动脉平滑肌紧张性随动脉血压的升高而增加,从而在一定范围内维持肾脏血流量稳定;心室肌收缩力量可随心室舒张期灌注血量的增加而提高,从而精确调整两侧心室输出血量的平衡。自身调节的幅度、范围都不会太大,是机体机能调节的辅助方式。

## 1.4.2 动物机体机能的调节控制模式

美国数学家维纳(Nobert Wiener, 1894—1964)于1948年出版了《控制论》(cybernetics)。用此原理分析,发现动物机体功能活动的调节原理与机器、通讯系统的运作相似,也属于自动控制系统,控制部分与受控部分存在着密切联系。由控制部分发出的信息为控制信息,由受控部分返回控制部分的,调节控制部分活动的信息成为反馈信息。反馈是稳态调节的基础,是机体最基本的生理功能。

根据控制论的基本原理,控制系统主要可分为三类:反馈控制系统(feedback control system)、非自动控制系统(non-automatic control system)和前馈控制系统(feed forward control system)。

### 1.4.2.1 反馈控制系统

反馈控制系统是一个闭环系统,即控制部分(调节中枢)发出信号指示受控部分(效应器)活动,受控部分则发出反馈信号返回控制部分,使调节中枢能根据反馈信号来调整对效应器的调节,从而实现自动控制(automatic control)。

在反馈控制系统中,受控部分发出的反馈信号对控制部分的活动可产生不同的影响。正常动物体内,大多数情况下反馈信号能降低控制部分的活动,即负反馈(negative feedback)。在少数情况下,反馈信号能加强控制部分的活动,即正反馈(positive feedback)。负反馈是维持动物机体内环境稳态的重要调节模式。例如,当动脉血压高于正常水平时,位于血管壁的感受器向神经中枢传送反馈信号,心血管中枢发出神经冲动,抑制心脏的收缩减少输出血量,降低血管的阻力,从而使血压恢复到正常水平(详见第4章4.5.1);反之,发生相反的调节。

与负反馈相反,正反馈是一个不可逆的、不断增强的过程。其作用不在于维持系统的稳态或平衡,而是破坏原来的平衡状态。正常生理状态下,动物机体内的正反馈控制系统较为少见。排便反射、排尿反射、射精反射、分娩等生理过程属于较为典型的正反馈控制。

### 1.4.2.2 非自动控制系统

非自动控制系统是一个开环系统,受控部分的活动不会反过来影响控制部分,是单向进行的。在正常的生理功能调节中,非自动控制系统的调控模式并不多见,仅在体内的反馈机制受到抑制时才表现出来。例如,在动物处于危险境地时,交感神经系统活动增强,肾上腺素分泌增加,突破原有的血压稳态调节,心率加快,血压升高;同时,骨骼肌细胞也突破原有的能量水平的平衡调节,大幅度提升骨骼肌细胞内的能量水平,为动物的战斗或逃跑做好准备。

### 1.4.2.3 前馈控制系统

前馈控制是指早于负反馈的自动控制系统。在控制部分发出信号,指令受控部分活动的同时,通过另一快捷途径向受控部分发出前馈信号,使受控部分提前发生反应。这些调整发生在受控部分发出反馈信号之前,避免反馈控制的滞后以及受控部分的活动产生较大的波动,从而使得相关生理机能更平稳地进行,更有效地维持生理机能的相对稳定。例如,动物正式开始采食之前,即可有许多视、听、嗅觉信号传入神经中枢,神经中枢发出指令,使消化系统消化液的分泌提前启动,为消化活动做好准备。



码 1-5 “有备无患”的前馈控制

## 复习思考题

1. 动物生理学的研究方法一般包括哪些? 各有什么特点?
2. 何为稳态? 为什么说内环境稳态是生理学的核心概念?
3. 机体机能活动的调节方式与机能控制模式有哪些? 各有何特点?



码 1-6 第 1 章主要知识点思维路线图

- 2.1 细胞膜是镶嵌蛋白质的可流动性脂质双分子层/9
  - 2.1.1 磷脂双分子层构成细胞膜基本屏障/9
  - 2.1.2 蛋白质担负细胞膜多方面的功能/11
- 2.2 细胞的跨膜物质转运有多种方式/11
  - 2.2.1 顺电化学梯度的被动转运/12
  - 2.2.2 逆电化学梯度的主动转运/15
  - 2.2.3 胞吞和胞吐/16
- 2.3 细胞的跨膜信号转导/17
  - 2.3.1 由离子通道受体介导的跨膜信号转导/17
  - 2.3.2 由G蛋白偶联受体介导的跨膜信号转导/18
  - 2.3.3 由酶偶联受体介导的跨膜信号转导/19
- 2.4 跨膜的离子运动形成细胞的生物电现象/19
  - 2.4.1 静息电位是细胞处于静息状态下膜两侧所存在的电位差/19
  - 2.4.2 动作电位是细胞膜受到有效刺激后发生的电位波动/20
    - 2.4.3 动作电位的引起和兴奋性的变化/22
    - 2.4.4 动作电位的传播/24
  - 2.5 骨骼肌接受神经纤维传递的兴奋发生收缩/27
    - 2.5.1 肌微丝是骨骼肌收缩的结构基础/27
    - 2.5.2 骨骼肌的兴奋与收缩/29
    - 2.5.3 骨骼肌收缩的变化/32
  - 2.6 心脏具有自主兴奋和收缩的能力/34
    - 2.6.1 心肌细胞的结构特点/34
    - 2.6.2 心肌细胞的生物电特点/35
    - 2.6.3 心肌的收缩/37
    - 2.6.4 心肌生理特性/38
    - 2.6.5 心电图/40
  - 2.7 平滑肌/41
    - 2.7.1 平滑肌的结构与收缩机制/41
    - 2.7.2 消化道平滑肌的生物电特点/43
    - 2.7.3 消化道平滑肌的一般特性/44

细胞是生物体的基本结构与功能单元。构成动物体不同类型的细胞,在形态、结构和功能上千差万别,但也存在一些共同的特点。

## 2.1 细胞膜是镶嵌蛋白质的可流动性脂质双分子层

所有的细胞都被一层质膜包围,该膜将细胞的内部结构和外界隔离。

1972年 Singer 和 Nicholson 提出了**液态镶嵌模型**(fluid mosaic model),认为细胞膜是以液态的脂质双分子层为基架,其中镶嵌着不同分子结构和不同生理功能的蛋白质。脂质双分子厚度约为 5 nm(约 50 个原子的尺寸),由紧密排列的两层结构组成,作为大多数水溶性分子的非通透性屏障;蛋白质分子则介导了细胞膜的许多其他功能。

### 2.1.1 磷脂双分子层构成细胞膜基本屏障

大多数细胞膜的脂质都含有磷酸基团,因此称为磷脂。磷脂一般以甘油为骨架,一分子甘油中的两个羟基与两分子脂肪酸结合形成较长的非极性疏水烃链,为磷脂的尾部;第三个羟基