

生物科学
生物技术
系 列

ANIMAL BIOLOGY

普通高等教育“十一五”规划教材
精品课程教材

动物生物学

胡泗才 王立屏 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”规划教材
精品课程教材

动物生物学

胡泗才 王立屏 主编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

动物生物学/胡泗才, 王立屏主编. —北京: 化学工业出版社, 2010.7

普通高等教育“十一五”规划教材·精品课程教材
ISBN 978-7-122-08521-4

I. 动… II. ①胡…②王… III. 动物学: 生物学-高等学校-教材 IV. Q95

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 092426 号

责任编辑: 刘 畅 赵玉清 洪 强
责任校对: 宋 夏

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 21 字数 609 千字 2010 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

2009年5月化学工业出版社在武汉召开“全国高校应用型本科生物类专业教学研讨与教材建设会”。会议认为：我国经济社会的快速发展，迫切需要大批具有创新能力、创业能力和实践能力的高层次专门人才。编写适应于应用型本科教育的教材势在必行。会议并认为：应用型本科教材既要保证基础，更要注重应用，将科学性、实用性、前瞻性统一起来，克服以往教材重基础、轻实践的缺点。

动物生物学是生命科学的重要分支，它是生物科学、生物技术、生物工程、农学、林学、植物保护、动物生产、动物医学等专业的重要专业基础课。本书和其他“普通动物学”或“动物生物学”最大的不同是加强了应用知识的介绍，将“有益动物的利用”和“有害动物的控制”单列为两章，以全书四分之一的篇幅详细地介绍相关知识。这对于没有相关后续课程的生物工程、生物技术、生物科学等专业的学生来说，可以拓宽知识面、增强实践能力，为日后从事生产技术工作打下一定的基础。

对于动物形态、分类知识，本书采用从具体到抽象的方法，重点介绍代表动物，从而使读者更好地理解门、纲的特征。对于动物体的生命活动，集中在一章中作简要介绍。我们认为，这种安排对于缺乏动物形态、分类学知识的初学者来说，更容易理解和接受。有些动物，如疟原虫、血吸虫、蛔虫、蝗虫等，在“无脊椎动物类群”和“有害动物的控制”两章中只做一次详细介绍，避免不必要的重复。

在编写过程中，我们努力做到将教材的科学性、实用性、趣味性和前瞻性统一起来，激发学生学习动物生物学的兴趣，以期取得较好的教学效果。每节末尾附有小结和思考题，多数节后附有延伸阅读，这样既可方便学生预习、复习，又可拓展学生的知识面。

本书是集体劳动的结果，参加编写工作的有（排名不分先后）：南昌大学科学技术学院胡泗才、周春花，吉林农业大学发展学院王立屏、刘春杰、高瑞峰，东北农业大学成栋学院李淑玲，九江学院张小谷，宜春学院徐智亮，武汉生物工程学院孙健红，新余学院杨丽英，仲恺农业工程学院古飞霞，武汉科技大学中南分校杨艺华，滨州学院王彦美，吉林农业科技学院沙万里。吉林农业大学王贵教授，南昌大学生命科学和食品工程学院胡起宇教授、辜清教授、夏斌教授，南昌大学医学院严涛教授审阅了本书书稿，深表谢意。

由于编者水平有限，书中定有不足之处，敬请读者批评指正。

编 者
2010年5月

普通高等教育应用型本科规划教材 建设委员会名单

(按姓氏汉语拼音排序)

陈可夫 陈宏伟 陈正平 干 信 郭生金 雷引林 李良学
李玉萍 罗建成 梅乐和 屈慧鸽 谭新国 陶兴无 王洪凯
王立屏 王元秀 谢振文 姚志刚 叶林柏 尹春光 张 洁

《动物生物学》编写人员名单

主 编 胡泗才 王立屏

副主编 李淑玲 张小谷 刘春杰

编 者 (按姓氏汉语拼音排序)

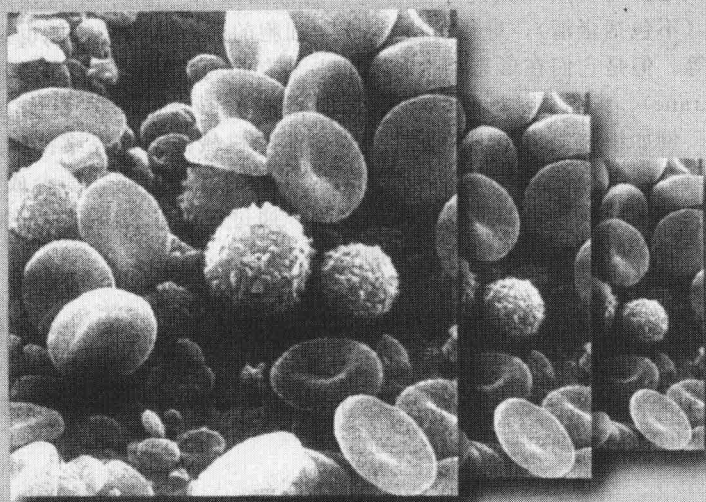
高瑞峰 古飞霞 胡泗才 李淑玲 刘春杰 沙万里
孙健红 王立屏 王彦美 徐智亮 杨丽英 杨艺华
张小谷 周春花

目 录

第一章	动物的基本构造与发育	1
	第一节 动物的基本构造.....	2
	第二节 动物的发育.....	15
第二章	无脊椎动物的类群及其多样性	23
	第一节 动物的分类和动物体的结构类型.....	25
	第二节 原生动物门 (Protozoa).....	30
	第三节 海绵动物门 (Spongia).....	40
	第四节 腔肠动物门 (Coelenterata).....	47
	第五节 扁形动物门 (Platyhelminthes).....	54
	第六节 原体腔动物.....	62
	第七节 环节动物门 (Annelida).....	72
	第八节 软体动物门 (Mollusca).....	79
	第九节 节肢动物门 (Arthropoda).....	87
	第十节 真体腔后口无脊椎动物.....	96
第三章	脊索动物的类群及其多样性	105
	第一节 脊索动物门的主要特征和分类概述.....	107
	第二节 圆口纲 (Cyclostomata).....	112
	第三节 鱼纲 (Pisces).....	115
	第四节 两栖纲 (Amphibia).....	132
	第五节 爬行纲 (Reptilia).....	142
	第六节 鸟纲 (Aves).....	154
	第七节 哺乳纲 (Mammalia).....	170
第四章	动物的生命活动	193
	第一节 保护、支持与运动.....	194
	第二节 循环、呼吸和免疫.....	197
	第三节 消化与吸收.....	205
	第四节 排泄与盐水平衡调节.....	210
	第五节 生命活动的神经调节.....	214
	第六节 动物激素及其作用.....	220
	第七节 生殖.....	225
第五章	动物与环境	231
	第一节 动物的地理分布.....	232
	第二节 动物的多样性.....	237
第六章	有益动物的利用	241
	第一节 动物饲养.....	243
	第二节 动物遗传育种基础.....	247

第三节	动物繁殖技术·····	251
第四节	哺乳动物·····	254
第五节	禽和鸟·····	262
第六节	爬行动物·····	271
第七节	两栖动物·····	275
第八节	水栖动物·····	277
第九节	有益昆虫·····	284
第七章	有害动物的控制·····	289
第一节	寄生虫及寄生虫病·····	290
第二节	农业害虫及其防治·····	302
参考文献	·····	324
中文索引	·····	325

第一章 动物的基本构造与发育



【扫描电镜下血细胞】

第一节 动物的基本构造

一、细胞

- (一) 细胞的一般特征
- (二) 细胞的化学组成
- (三) 细胞的基本结构
- (四) 细胞周期
- (五) 细胞分裂

二、组织、器官和系统

- (一) 组织
- (二) 器官和系统

第二节 动物的发育

一、生殖细胞

- (一) 精子的发生和形态结构
- (二) 卵子的发生和形态结构

二、受精

- (一) 受精的基本过程
- (二) 受精发育的基本类型
- (三) 精卵结合的条件

三、动物的胚胎发育

- (一) 囊胚形成
- (二) 原肠形成
- (三) 中胚层和体腔的形成

四、动物的胚后发育

- (一) 胚后发育的类型
- (二) 性成熟与体成熟
- (三) 衰老

第一节 动物的基本构造

一、细胞

动物 (animal) 是多细胞真核生命体中的一大类群, 一般不能将无机物合成有机物, 只能以有机物 (植物、动物或微生物) 为食, 因此具有与植物不同的形态结构和生理功能, 可以进行消化、感觉、运动和繁殖等生命活动。动物的种类很多, 体形结构千变万化, 但是它们身体结构的基本单位却是一样, 都是由**细胞** (cell) 构成的。细胞是生物体结构与机能的基本单位。

(一) 细胞的一般特征

细胞一般比较微小, 需要用显微镜才能看见, 通常以微米 (μm) 计算其大小。但也有少数例外, 如一些鸟卵 (不包括蛋清), 直径可达 10cm。细胞的形态结构与机能也是多种多样的, 有圆形、方形、柱形等。但是它们在形态结构和功能上又有共同的特征。形态结构上, 一般都具有**细胞膜** (cell membrane)、**细胞质** (cytoplasm) 和**细胞核** (nucleus)。在机能方面, 细胞能够利用能量和转变能量。例如细胞能将化学键能转变为热能和机械能等, 以维持细胞各种生命活动; 具有生物合成的能力, 能把小分子的简单物质合成大分子的复杂物质, 如合成蛋白质、核酸等; 具有自我复制和分裂繁殖的能力, 如遗传物质的复制, 通过细胞分裂将细胞的特性遗传给下一代细胞。此外, 还具有协调机体整体生命活动的能力等。

(二) 细胞的化学组成

细胞的化学成分可以分为无机成分和有机成分。前者主要是水和各种无机离子, 如 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 等。后者主要是**蛋白质** (protein)、**糖类** (carbohydrate)、**核酸** (nucleic acid) 和**脂类** (lipid) 等。它们在细胞内不断地进行新陈代谢, 行使各种各样的功能, 是构成细胞结构的物质基础, 也是生命活动的物质基础。

1. 水

水是细胞内含量最多的一种成分, 是最好的溶剂, 细胞内许多物质都能不同程度地溶解于水。不管是水生动物还是陆生动物, 其新陈代谢都是在液相环境下进行的。离开了水, 各种生命活动都将无法进行, 如物质的消化吸收、呼吸、体温调节等。水约占成人体重的 60%。

2. 无机盐

无机盐即无机化合物的盐类, 也称矿物质。由于新陈代谢, 每天都有一定数量的无机盐从各种途径排出体外, 因而必须通过食物予以补充。无机盐对组织和细胞的结构很重要, 硬组织如骨骼和牙齿, 大部分由钙、磷和镁组成, 而软组织含钾较多。体液中的无机盐离子调节细胞膜的通透性, 控制水分, 维持正常渗透压和酸碱平衡, 参与神经活动和肌肉收缩等。有些无机或有机化合物为构成酶的辅基、激素、维生素、蛋白质和核酸的成分, 或作为多种酶系统的激活剂, 参与许多重要的生理活动。例如, 维持心脏和大脑的活动, 帮助抗体形成, 对机体发挥有益的作用。

3. 蛋白质

蛋白质由碳、氢、氧、氮 4 种主要元素组成, 有的蛋白质还含有硫、磷等其他元素。如血红蛋白含有铁、甲状腺球蛋白含有碘等。蛋白质的基本结构单位是氨基酸。蛋白质是由氨基酸借肽键连接起来形成的多肽链, 然后由一条或几条多肽链连接起来形成的一定空间结构。

蛋白质是一切生命的物质基础, 没有蛋白质就没有生命, 其生理功能主要有: ①构成组织和细胞的重要成分。②用于更新和修补组织细胞。③参与物质代谢及生理功能的调控。④氧化供能 (1g 蛋白质在体内氧化供能约 $1.67 \times 10^4 \text{J}$)。

4. 核酸

核酸是由许多核苷酸通过 3', 5'-磷酸二酯键连接而成的多核苷酸链相互作用而形成的生物大分子化合物, 为生命的最基本物质之一。根据化学组成中糖组分的不同, 核酸可分为核糖核酸

(简称 RNA) 和脱氧核糖核酸 (简称 DNA)。DNA 是储存、复制和传递遗传信息的主要物质基础。RNA 在蛋白质合成过程中起着重要作用, 其中转移核糖核酸, 简称 tRNA, 起着携带和转移活化氨基酸的作用; 信使核糖核酸, 简称 mRNA, 是合成蛋白质的模板; 核糖体的核糖核酸, 简称 rRNA, 是细胞合成蛋白质的主要场所。

5. 糖类

糖类是一类多元醇的醛衍生物或酮衍生物, 或者称为多羟醛或多羟酮的聚合物。由碳、氢、氧 3 种元素组成, 通式为 $C_n(H_2O)_n$, 故习惯上又称为碳水化合物。糖是地球上最丰富的生物大分子, 是生物体的构成成分和主要的能源物质, 并与其他物质构成结合糖类, 在多种生理功能中起着重要作用。

6. 脂类

由脂肪酸与醇作用而生成的酯及其衍生物统称为脂质或脂类, 是机体内的一类有机大分子物质。它包括的范围广泛, 化学结构有很大差异, 生理功能各不相同, 故分类方法亦有多种。通常根据脂质的主要组成成分分为: 简单脂质、复合脂质、衍生脂质、非皂化脂质。

脂类的功能: ①脂类是动物体内重要的能源物质。②脂肪是动物体内主要的能量贮备形式。动物摄入的能量超过需要量时, 多余的能量则主要以脂肪的形式贮存在体内。③除简单脂类参与机体组织构成外, 大多数脂类, 特别是磷脂和糖脂是细胞膜的重要组成成分。糖脂可能在细胞膜传递信息的活动中起着载体和受体作用。脂类也参与细胞内某些代谢调节物质的合成。④在动物营养生理中的其他作用。例如: 作为脂溶性营养素的溶剂; 抵抗微生物侵袭, 保护机体; 对羽毛的抗湿作用等。

(三) 细胞的基本结构

从显微镜下观察细胞结构, 可分为细胞膜、细胞质和细胞核 3 个部分。下面对其各重要结构进行简要介绍 (图 1-1)。

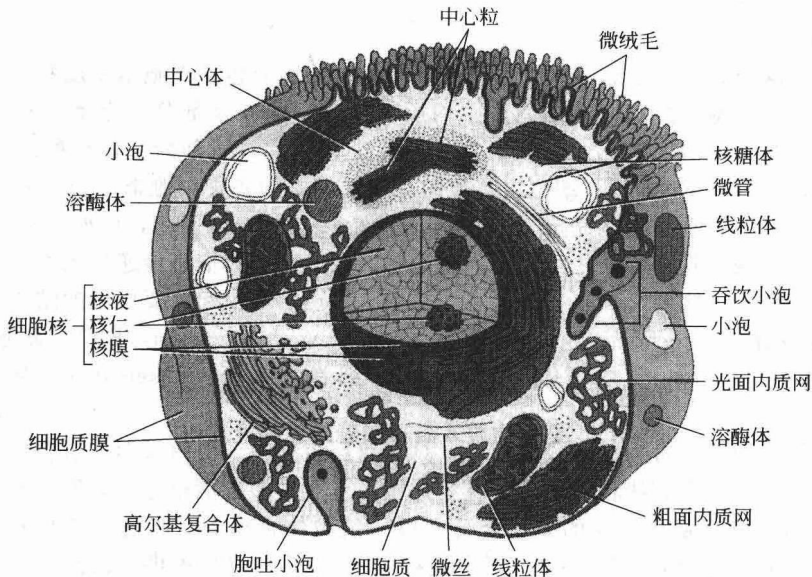


图 1-1 动物细胞模式图

1. 细胞膜

细胞膜又称**细胞质膜** (plasma membrane), 是指围绕在细胞最外层, 由脂质和蛋白质组成的膜, 厚约 7~8nm。细胞膜是细胞结构上的边界, 将细胞与外界环境隔开, 以保障细胞内部环境的相对稳定; 同时也控制着细胞与环境之间物质的进出、能量的交换及信息的传递。

真核细胞内部还存在着由膜围绕构建的各种细胞器。细胞质内的膜系统与细胞膜统称为生物膜 (biomembrane)，它们具有共同的结构特征 (图 1-2)。即具有疏水性尾部相对，极性头部朝向水相的磷脂双分子层。蛋白分子以不同的方式镶嵌在脂双层分子中或结合在其表面，蛋白的类型、蛋白分布的不对称性及其与脂分子的协同作用赋予生物膜具有各自的特性与功能。生物膜可看成是在双层脂分子中嵌有蛋白质的二维结构。细胞质膜常常与膜下结构 (主要是细胞骨架系统) 相互联系，协同作用，并形成细胞表面的某些特化结构以完成特定的功能。这些特化的结构包括膜骨架、鞭毛、纤毛、微绒毛及细胞的变形足等，分别与细胞形态的维持、细胞运动、细胞的物质交换等功能有关。

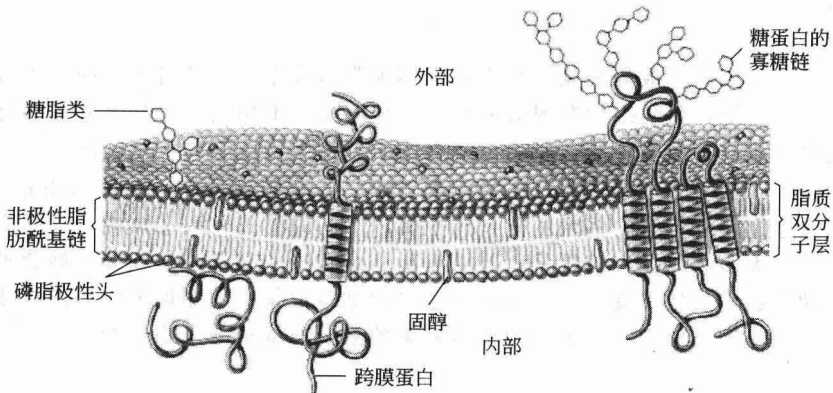


图 1-2 生物膜结构示意图

细胞外被 (cell coat)，是指与细胞表面质膜的膜脂或膜蛋白共价结合的糖链形成的包被，起保护细胞和细胞识别的作用。

2. 细胞质

细胞质是细胞质膜包围的除核区外的物质的总称。细胞质包括细胞质基质和细胞器。

细胞质基质又称胞质溶胶，是细胞质中均质而半透明的胶体部分，充填于其他有形结构之间，是细胞质的基本成分，包括水、无机离子、脂类、糖类、氨基酸、核苷酸及其衍生物、多糖、蛋白质、脂蛋白和 RNA 等。细胞质基质的主要功能是为各种细胞器维持其正常结构提供所需要的离子环境，为各类细胞器完成其功能活动供给所需的一切底物，同时也是细胞与外界环境、细胞质与细胞核以及细胞器之间进行物质运输、能量交换和信息传递的场所。

细胞器是分布于细胞内、具有一定形态、在细胞生理活动中起重要作用的结构。细胞质内细胞器包括：**线粒体 (mitochondrion)**、**内质网 (endoplasmic reticulum, ER)**、**高尔基体 (Golgi body)**、**溶酶体 (lysosome)**、**核糖体 (ribosome)**、**细胞骨架 (cytoskeleton)**、**中心体 (centrosome)** 等。

(1) **线粒体** 线粒体常为杆状或椭圆形，具有双层生物膜。由内膜向内折叠形成嵴，嵴之间为嵴间腔，或称内腔，充满线粒体基质。线粒体嵴膜上有许多有柄小球体，即基粒。基粒中含有 ATP 合成酶，能利用呼吸链产生的能量合成 ATP。线粒体是糖类、脂肪、氨基酸最终氧化放能的场所。细胞生命活动所需能量的约 95% 由线粒体以 ATP 的方式提供，因此，线粒体是细胞的“能量加工厂”。

(2) **内质网** 内质网是扁平囊状或管泡状膜性结构，它们以分支互相吻合成为网络，其表面有附着核糖核蛋白体者称为**粗面内质网 (rough endoplasmic reticulum, RER)**，膜表面不附着核糖核蛋白体者称为**光面内质网 (smooth endoplasmic reticulum, SER)**，两者连通。

附着在粗面内质网上的核糖核蛋白体，其主要功能是合成分泌蛋白质，但也制造某些结构蛋白质。光面内质网多是管泡状，仅在某些细胞中很丰富，并因含有不同的酶类而功能各异，如合

成类固醇激素、参与脂类代谢、解毒等作用。

(3) 高尔基体 高尔基体又称高尔基器或高尔基复合体,由扁平囊、小泡和大泡3部分生物膜性结构组成,它在细胞中的分布和数量依细胞的类型不同而异。扁平囊有3~10层,平行紧密排列构成高尔基复合体的主体,且其靠近细胞核的一面常成凸面又称生成面,面向胞膜的一面凹陷,称成熟面。生成面附近有一些小泡,直径为40~80nm,是由附近粗面内质网芽生而来,将粗面内质网中合成的蛋白质转运到扁平囊。大泡位于成熟面,包括溶酶体、分泌泡等。高尔基复合体对来自粗面内质网的蛋白质进行加工、修饰、糖化与浓缩,使之变为成熟的蛋白质。

(4) 溶酶体 溶酶体为有生物膜包裹的小体,内含多种酸性水解酶,如酸性磷酸酶、组织蛋白酶、胶原蛋白酶等,能分解各种内源性或外源性物质,维持细胞的正常代谢活动及防御微生物的侵染。不同溶酶体的形态大小、所含水解酶种类不尽相同,但均含酸性磷酸酶,故该酶为溶酶体的标志酶。

(5) 核糖体 核糖体是由核糖体RNA(rRNA)和蛋白质组成的椭圆形致密颗粒,并非膜性结构,由1个大亚基与1个小亚基构成。细胞质基质中的游离核糖体合成细胞自身的结构蛋白,如细胞骨架蛋白、细胞基质中的酶类等,供细胞代谢、增殖和生长需要。

(6) 细胞骨架 细胞的特定形状以及运动等,均有赖于细胞质内蛋白质丝织成的网状结构——细胞骨架(cytoskeleton)。细胞骨架是由微管、微丝、中间丝和微梁网组成。微管是细而长的中空圆柱状结构。管径约15nm,长短不等,常数根平行排列。微管由微管蛋白聚合而成。微管具有多种功能,如作为支架保持细胞形状、参与细胞的运动等。微丝分细丝和粗丝两种。细丝主要由肌动蛋白组成,故又称肌动蛋白丝,通常所说的微丝指此而言。粗丝主要由肌球蛋白组成,故又称肌球蛋白丝。微丝除具有支持作用外,还参与细胞的收缩、变形运动、细胞质流动、细胞质分裂以及胞吞、胞吐过程。中间丝直径约为8~11nm,介于细丝与粗丝之间,因而得名。微梁网是直径3~6nm的纤维交织形成的立体网架。

(7) 中心体 中心体多位于细胞核周围,由一对互相垂直的中心粒构成。中心粒呈短圆筒状,长0.5 μ m,直径0.2 μ m,由9组三联微管与少量电子致密的均质状物构成其壁。相邻的三联微管相互斜向排列,状如风车旋翼。在壁外侧有时可见9个球形的中心粒卫星。大小约70nm。在细胞分裂时,以中心粒卫星为起点形成纺锤体,参与染色体的分离。有纤毛或鞭毛的细胞,中心粒形成基体,参与微管组的形成。

3. 细胞核

细胞核是细胞中最大、最重要的细胞器,它是细胞的控制中心,在细胞的代谢、生长、分化中起着重要作用,是遗传物质的主要存在部位。尽管细胞核的形状有多种多样,但是它的基本结构却大致相同,即主要是由核被膜(nuclear envelope)、染色质(chromatin)、核仁(nucleolus)和核基质(nuclear matrix)构成。

(1) 核被膜 核被膜包裹在核表面,由基本平行的两层膜构成。两层膜的间隙宽10~15nm,称为核周隙。核被膜上有核孔贯通,占膜面积的8%以上。外核膜表面有核糖体附着,并与粗面内质网相接;核周隙亦与内质网腔相通,因此,核被膜也参与蛋白质合成。内核膜的核质面有厚20~80nm的核纤层,是1层由细丝交织形成的致密网状结构。成分为中间纤维蛋白。核纤层与细胞质骨架、核骨架连成1个整体,一般认为核纤层为核被膜和染色质提供了结构支架。核纤层不仅对核膜有支持、稳定作用,也是染色质两端的附着部位。

(2) 染色质 染色质是指间期细胞核内由DNA、组蛋白、非组蛋白及少量RNA组成的线性复合结构,是间期细胞遗传物质存在的形式。间期染色质按其形态结构、活性状态和染色性能区分为两种类型:常染色质和异染色质。细胞在有丝分裂或减数分裂的特定阶段,染色质聚缩成棒状结构的染色体。现已证明,由DNA与组蛋白组装成核小体,核小体彼此连接形成直径约10nm的核小体串珠结构。在真核细胞的细胞周期中,大部分时间是以染色质的形态存在的。

(3) 核仁 大多数细胞可具有1~4个核仁。核仁经常出现在间期细胞核中,它是颗粒和纤

维状的球体，其形状、大小、数目依生物种类、细胞形成和生理状态而异。核仁是形成核糖体前身的部位。核仁的主要功能是进行核糖体 RNA 的合成。

(4) 核基质 核基质是核中除染色质与核仁以外的成分，包括核液与核骨架两部分。核液含水、离子等无机成分；核骨架是由多种蛋白质形成的三维纤维网架，并与核被膜核纤层相连，对核的结构具有支持作用。

(四) 细胞周期

细胞增殖是细胞生命活动的重要特征，是生长发育的基础。多细胞生物体往往是由 1 个单细胞即受精卵分裂发育而来，形成成体后仍需要细胞增殖。机体创伤愈合、组织再生、病理组织修复等，也依赖于细胞增殖。

细胞周期 (cell cycle)，细胞由一次分裂结束到下一次分裂结束为止，都要经历相同的变化阶段（即 $G_1 \rightarrow S \rightarrow G_2 \rightarrow M$ ），周而复始地进行。细胞的这种物质积累及细胞分裂的循环过程即称为细胞周期。1 个细胞周期包括有丝分裂期（M）和分裂间期（ G_1 、S、 G_2 ）（图 1-3）。有些细胞会暂时离开细胞周期，停止细胞分裂，去执行一定的生物学功能。这些细胞称为**静止期细胞**（quiescent cell），或 G_0 期细胞（图 1-3）。周期中细胞转化为 G_0 期细胞多发生在 G_1 期。 G_0 期细胞一旦接受到某些信号，又会重新回归细胞周期。如结缔组织中的成纤维细胞，平时并不分裂，一旦所在组织部位受到伤害，它们会马上返回细胞周期，分裂产生大量成纤维细胞，促使伤口愈合。在机体内还有另一些细胞，由于分化程度很高，一旦生成后，则终生不再分裂，这些细胞称为**终末分化细胞**。如横纹肌细胞、血液中多型核白细胞。

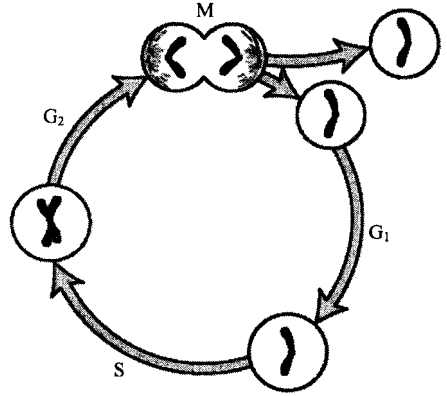


图 1-3 细胞周期示意图

(1) G_1 期 G_1 期是一个细胞周期的开始。在上一细胞分裂结束，子代细胞生成就标志着 G_1 期的开始。新生成的子代细胞开始合生长所需的各种蛋白质、糖类、脂质等，同时染色质去凝集，但不合成 DNA。在 G_1 晚期存在 1 个检验点，如能渡过则进入 S 期合成 DNA。 G_1 晚期的检验点要检查外界营养供给是否充分和相关激素是否存在，细胞内部与分裂相关的蛋白是否合成。

(2) S 期 S 期即 DNA 合成期，是细胞周期的关键时刻，DNA 经过复制而含量增加一倍，使体细胞成为 4 倍体，每条染色体都转变为由着丝点相连接的两条姐妹染色单体。与此同时，还合成组蛋白，进行中心粒复制。

(3) G_2 期 为分裂期做最后准备。中心粒已复制完毕，形成两个中心体，还合成 RNA 和微管蛋白等。但细胞能否顺利地进入 M 期，要受到 G_2 检验点的控制。 G_2 检验点要检查 DNA 是否完成复制，细胞是否已生长到合适大小，环境因素是否有利于分裂等。只有当所有有利于细胞分裂的因素得到满足后，细胞才能实现从 G_2 期到 M 期的转化。

(4) M 期 M 期即细胞分裂期。真核细胞的细胞分裂主要包括两种方式，即**有丝分裂** (mitosis) 和**减数分裂** (meiosis)。体细胞一般进行有丝分裂；成熟过程中的生殖细胞进行减数分裂。

(五) 细胞分裂

1. 有丝分裂

有丝分裂，又称为间接分裂。特点是有纺锤体、染色体出现，子染色体被平均分配到子细胞，是真核细胞分裂产生体细胞的过程。有丝分裂是一个连续的过程，为了描述方便起见，人为地将有丝分裂过程划分为前期、前中期、中期、后期、末期和胞质分裂 (cytokinesis) 等阶段（图 1-4）。

(1) 前期 染色质开始浓缩，逐渐形成染色体。两个中心体向相反方向移动，在细胞中形成

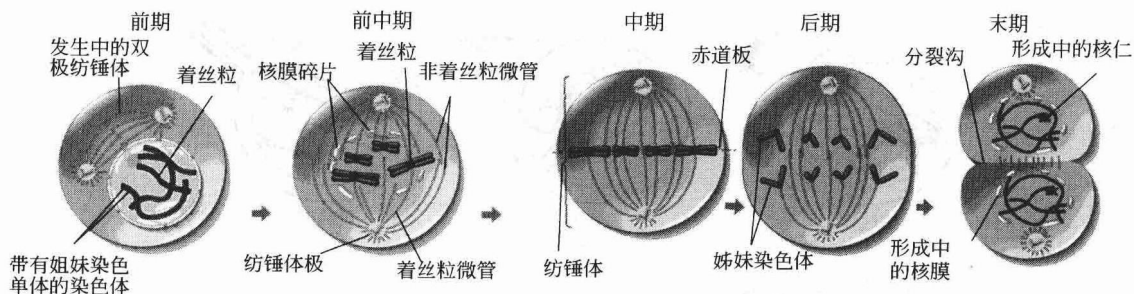


图 1-4 有丝分裂示意图

两极；细胞骨架解聚，以中心粒为起始点开始合成微管，形成纺锤体；在染色体着丝粒处装配动粒；核仁逐渐消失。

(2) 前中期 自核膜破裂起到染色体排列在赤道面上为止。核膜破裂成小的膜泡留于细胞质中；纺锤体微管与染色体动粒结合，捕捉染色体，并使染色体向赤道板移动。

(3) 中期 从染色体排列到赤道面上，到它们的染色单体开始分向两极之前，这段时间称为中期。有时把前中期也包括在中期之内。中期染色体在赤道面形成所谓赤道板。从一端观察可见这些染色体在赤道面呈放射状排列，这时它们不是静止不动的，而是处于不断摆动的状态。中期染色体浓缩变粗，显示出该物种所特有的数目和形态。因此有丝分裂中期适于做染色体的形态、结构和数目的研究，适于核型分析。

(4) 后期 每条染色体的两条姊妹染色单体分开并移向两极的时期。分开的染色体称为子染色体。子染色体到达两极时后期结束。子染色体向两极的移动是靠纺锤体的活动实现的。

(5) 末期 从子染色体到达两极开始至形成 2 个子细胞为止称为末期。此期的主要过程是子核的形成和细胞体的分裂。子核的形成大体上是经历 1 个与前期相反的过程。到达两极的子染色体首先解螺旋而轮廓消失，全部子染色体构成 1 个大染色质块，在其周围集合核膜成分，融合而形成子核的核膜，随着子细胞核的重新组成，核内出现核仁。

(6) 胞质分裂 在后期或末期，细胞质分裂。动物的胞质分裂是以缢缩起沟的方式完成的。微丝的紧缩使细胞在此区域产生分裂沟，分裂沟逐渐加深使细胞最后一分为二。

有丝分裂的重要意义，是将亲代细胞的染色体经过复制以后，精确地平均分配到 2 个子细胞中去。由于染色体上有遗传物质 DNA，因而在生物的亲代和子代之间保持了遗传性状的安全性。可见，细胞的有丝分裂对于生物的遗传有重要意义。

2. 减数分裂

减数分裂是指有性生殖的个体在形成生殖细胞过程中发生的 1 种特殊分裂方式。减数分裂最终生成的生殖细胞中染色体数目减半，即在减数分裂过程中，染色体只复制一次，而细胞分裂两次，形成单倍体的精子 (sperm) 或卵子 (oocyte) 与极体 (polar body)。

减数分裂由紧密连接的两次分裂构成。通常减数分裂 I 分离的是同源染色体，所以称为**异型分裂** (heterotypic division) 或减数分裂。减数分裂 II 分离的是姊妹染色体，类似于有丝分裂，所以称为**同型分裂** (homotypic division) 或**均等分裂** (equational division)。和有丝分裂一样为了描述方便将减数分裂过程分为几个期和亚期 (图 1-5)。

(1) 减数分裂期 I

① 前期 I 根据染色体的形态，可分为 5 个阶段：

- **细线期** 细胞核内出现细长、线状染色体，细胞核和核仁体积增大。每条染色体含有两条姊妹染色单体。

- **偶线期** 又称配对期。细胞内的同源染色体两两侧面紧密结合进行配对，这一现象称作联会。由于配对的一对同源染色体中有 4 条染色单体，称四分体。

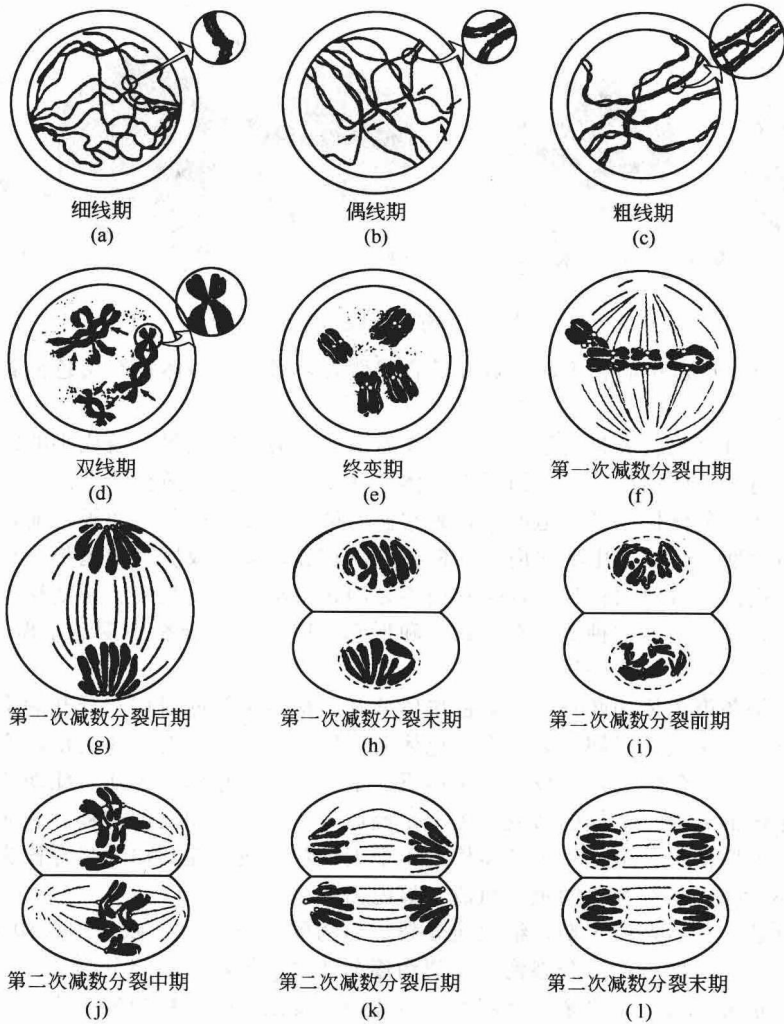


图 1-5 减数分裂过程图解 (自翟中和)

- 粗线期 染色体继续浓缩，同时四分体中的非姐妹染色单体之间发生了 DNA 的片断交换，产生了基因重组。

- 双线期 同源染色体部分分离，使四分体结构清晰；染色体去凝集成灯刷染色体。

- 终变期 染色体重新凝集；核仁消失。

② 中期 I 核膜破裂标志着中期 I 开始。纺锤体装配，四分体向赤道板移动，最终排列在赤道板上。

③ 后期 I 由纺锤丝的牵引，使成对同源染色体各自发生分离，并分别移向两极。

④ 末期 I 到达两极的同源染色体去凝集，重现核膜、核仁，然后细胞分裂为 2 个子细胞。这 2 个子细胞的染色体数目，只有原来的一半。

(2) 减数分裂期 II

减数第 2 次分裂与减数第 1 次分裂紧接，也可能出现短暂停顿。染色体不再复制。每条染色体的着丝点分裂，姐妹染色单体分开，分别移向细胞的两极，有时还伴随细胞的变形。

① 前期 II 染色体首先是散乱地分布于细胞之中。而后再次聚集，核膜、核仁再次消失，再次形成纺锤体。

② 中期Ⅱ 染色体的着丝点排列到细胞中央赤道板上。

③ 后期Ⅱ 每条染色体的着丝点分离，两条姊妹染色单体也随之分开，在纺锤丝的牵引下，分别移向细胞的两极。

④ 末期Ⅱ 到达两极的染色体，分别进入2个子细胞，重现核膜、核仁。至此，第2次分裂结束。

减数分裂导致了性细胞（配子）的染色体数目减半，即由体细胞的 $2n$ 条染色体变为 n 条染色体的雌雄配子，再经过两性配子结合，合子的染色体数目又重新恢复到亲本的 $2n$ 水平，使有性生殖的后代始终保持亲本固有的染色体数目，保证了遗传物质的相对稳定。在减数分裂过程中，通过非姐妹染色单体片段的交换，各对非同源染色体之间以自由组合进入配子，形成的配子可产生多种多样的遗传组合，雌雄配子结合后就可出现多种多样的变异个体，使物种得以繁衍和进化，为人工选择提供丰富的材料。

二、组织、器官和系统

（一）组织

动物组织（animal tissue）是由形态功能相似的细胞和细胞间质组成的，是多细胞动物的基本结构。动物组织是在胚胎期由原始的内、中、外3个胚层分化而来的。动物组织可根据其起源、形态结构和功能上的共同特性，分为**上皮组织**（epithelial tissue）、**结缔组织**（connective tissue）、**肌肉组织**（muscular tissue）和**神经组织**（nervous tissue）4大类。它们以不同的比例互相关联、相互依存，形成动物的各种器官和系统，以完成各种生理活动。

1. 上皮组织

是由许多紧密排列的上皮细胞和少量的细胞间质所组成的结构。根据其形态和机能可以分为**被覆上皮**、**腺上皮**和**特殊上皮**3种类型。

（1）**被覆上皮** 分布在身体表面和体内各种管腔壁的表面。又分成**单层上皮**和**复层上皮**。前者包括**单层扁平**（鳞状）**上皮**、**单层立方上皮**、**单层柱状上皮**（有的有纤毛）、**假复层纤毛柱状上皮**（有的有纤毛）、**变移上皮**；后者包括**复层扁平**（鳞状）**上皮**、**复层柱状上皮**。

① **单层扁平上皮** 又称**单层鳞状上皮**，仅由一层扁平细胞组成，从表面看，细胞是不规则形，细胞边缘互相嵌合，从上皮的垂直切面看，胞质很薄（图1-6）。

② **单层立方上皮** 由一层形似立方状的上皮细胞组成（图1-7）。如分布于甲状腺、肾小管的上皮等。

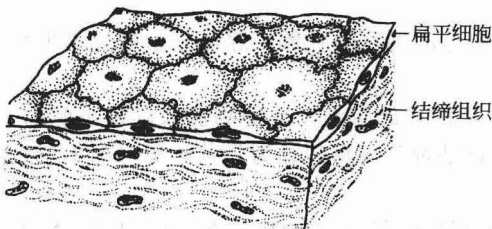


图 1-6 单层扁平上皮模式图

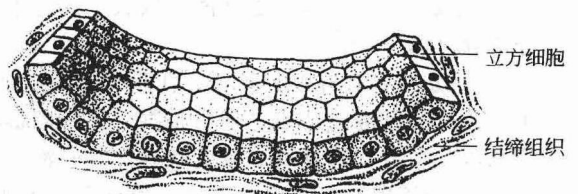


图 1-7 单层立方上皮模式图

③ **单层柱状上皮** 由一层形似柱状的上皮细胞组成（图1-8），如衬贴于胃肠道、子宫腔面的上皮，具有分泌、吸收等功能。

④ **假复层纤毛柱状上皮** 这种上皮的细胞高矮不等，在垂直切面上细胞核的位置也呈现高低不同，好像是复层，但每一个细胞的基部均位于基膜上，因而，实际是单层（图1-9）。

这种上皮主要分布于呼吸道的腔面，具有保护和分泌功能。

⑤ **变移上皮** 又名**移行上皮**，衬贴在泌尿管道的腔面。由于泌尿管道的容积常有变化，上皮细胞的形状也相应改变，从而使上皮的面积扩大和缩小，如膀胱。这种上皮传统认为是1种复层上皮，但实际上是假复层上皮，各个细胞都伸出脚状突起附着在基膜上（图1-10）。

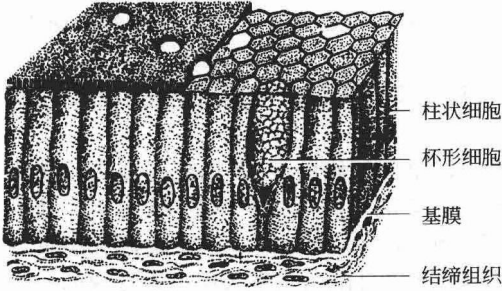


图 1-8 单层柱状上皮模式图

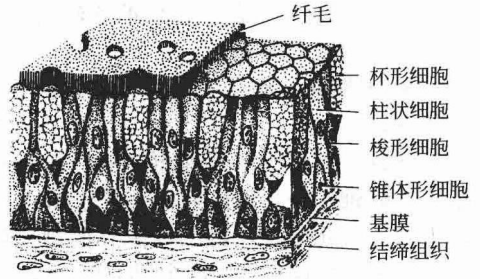


图 1-9 假复层纤毛柱状上皮模式图

⑥ 复层扁平上皮 又称复层鳞状上皮，由十余层或数十层细胞组成（图 1-11）。仅靠近表面几层细胞为扁平状，基底层细胞能不断分裂增生，以补充表层衰老或损伤脱落的细胞。这种上皮分布于皮肤表面、口腔、食管、阴道等器官的腔面，具有耐摩擦和防止异物侵入等保护作用，受损伤后，上皮有很强的修复能力。

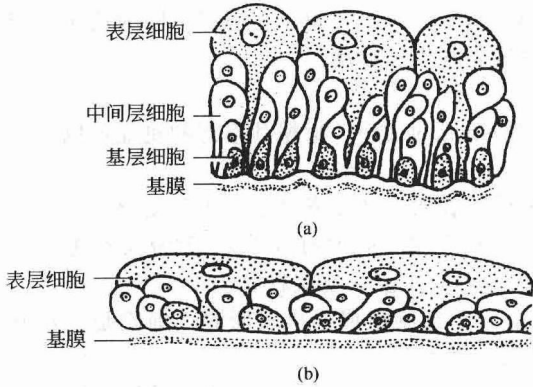


图 1-10 变移上皮模式图
(a) 收缩状态；(b) 膨胀状态

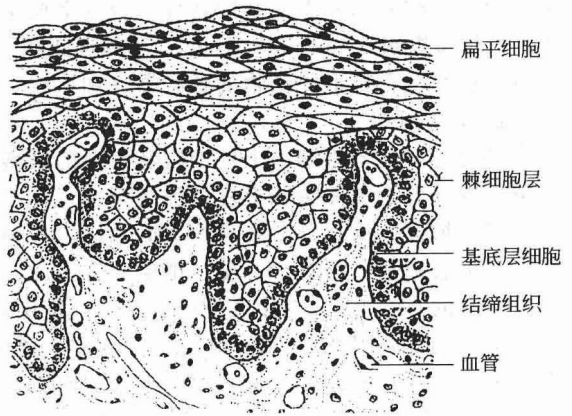


图 1-11 复层扁平上皮模式图

(2) 腺上皮 具有分泌功能。以腺上皮为主要组成成分的器官为腺体。腺体分为外分泌腺和内分泌腺（图 1-12）。

① 外分泌腺有胃腺、肠腺、汗腺等。它们是由腺上皮围成的腺泡，分泌物流入其中央腔内，再由导管排到管腔或体表。通常根据分泌部的形状和导管是否分支将其分为几种类型（图 1-13）：单管状腺、单分支管状腺、复管状腺和复管泡状腺等。

② 内分泌腺有肾上腺、垂体、甲状腺、性腺等。腺细胞常排列成团状、索状或泡状，没有导管，激素分泌后立即渗入毛细血管和淋巴管。

(3) 特殊上皮 是具有特殊功能的上皮，包括感受特定刺激的感觉上皮，如味觉、嗅觉、听觉及视觉等有关的上皮细胞；产生生殖细胞的生殖上皮（如曲精小管上皮）。

2. 结缔组织

由细胞和大量的细胞间质构成。结缔组织含有多种类型的细胞，分散在大量细胞间质中。细胞间质包括基质和纤维。基质呈均质状，为液体、胶体或固体。纤维为细丝状，包埋于基质中。由中胚层产生的结缔组织是动物组织中分布最广、种类最多的一类组织，包括疏松结缔组织 (loose connective tissue)、致密结缔组织 (dense connective tissue)、网状结缔组织 (reticular connective tissue)、软骨组织 (cartilage tissue)、骨组织 (osseous tissue)、脂肪组织 (adipose