

厦门大学新世纪教材大系

动物生物学

陈品健 主编

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书以生物学基本理论和基础知识为主线系统介绍了动物生物学发展的前沿动态。全书共分7部分,包括:动物的基本结构、功能及其调控,动物类群,发育与分化,动物与环境,动物的行为,遗传与进化等,着重反映各部分的最新研究成果。各章之后设计有内容提要、复习思考题、参考读物等内容,以资复习巩固之用。

全书脉络清晰、编排合理,可供从事动物学、医学、农学、养殖、海洋学等学科研究和教学的研究人员、院校师生和生产实践人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

动物生物学/陈品健主编. -北京:科学出版社,2001.6
(厦门大学新世纪教材大系)

ISBN 7-03-009300-3

I. 动… II. 陈… III. 动物学-高等学校-教材 IV. Q95

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第16089号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001年6月第一版 开本:710×1000 1/16

2001年6月第一次印刷 印张:40 1/4

印数:1-2 000 字数:777 000

定价:50.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

厦门大学于 1922 年设立动物学系，由此开始动物学的教学和科研工作。在近一个世纪的发展过程中，厦门大学动物学系不仅为国家培养了大量的动物学人才，而且也先后获首批硕士和博士学位授权点、首批国家级重点学科，成为我校生物学一级博士点、“211 工程”国家重点建设学科的主要内容，以及生物学博士后流动站的主要支撑力量。

1993 年，厦门大学被批准建立“国家生物学基础科学研究和教学人才培养基地”。在“基地”建设过程中，我们深刻认识到，进一步遵循教育规律，积极进行教学改革与建设，才能实现培养素质高、基础厚、知识宽、能力强、面向 21 世纪开拓创新的生物学优秀基础性人才的目标。将基础课和主干课“动物学”改为“动物生物学”就是其中的改革项目之一。“动物生物学”改变了原“动物学”的形态、结构、分类为主的课程内容体系，以生物学系统知识为主线，包括动物形态学、分类学、比较解剖学、细胞学、组织学、生物化学、生理学、生态学、动物地理学、生物多样性、行为学、遗传学和进化论等基本理论、基本知识，注重学科发展前沿动态、注重理论联系实际、注重学生能力的培养。

本教材是在陈品健、陈小麟编著的《动物生物学》（1996）的基础上，经过几年的实践和改革，征求许多同行专家的意见，进行了较大篇幅的修改和充实。书中每章之前有“学习目的”，每章之后附有“本章提要”、“概念与术语”、“复习题”、“思考题”以及“参考读物”等，便于教师组织教学，也有利于学生复习、自学。尽管如此，错漏仍难避免，恳请同行专家不吝赐教。

本书共七章。第一章和第三章由陈品健同志完成；第二章由王重刚同志完成；第四章和第七章由陈奕欣同志完成；第五章由陈小麟同志完成；第六章由赵扬同志完成。编写修订过程得到厦门大学教务处、生命科学学院的领导、同仁的热情支持和帮助，特此致以衷心感谢。

编者

2000 年 11 月于厦门大学

第一章 绪 论

一、动物生物学的定义、性质和任务

动物生物学 (animal biology) 是研究动物生命规律的科学, 是生物学 (biology) 的一个分支学科, 是自然科学的基础科学之一。它研究动物生命活动的各个领域, 包括动物机体的物质构成; 动物细胞、组织、器官、系统; 动物机体的基本结构、功能及调控; 动物界的类群; 动物内、外在的矛盾统一; 种群、群落、生态系生态学; 动物的行为; 动物生命的起源与进化。研究动物, 不仅在于揭示动物生命的奥秘, 更重要的是在于突破自然束缚, 开发动物生命的潜力, 更好地利用动物资源, 为人类造福。

动物生物学作为生命科学的一个分支, 随着科学技术的发展, 各分支科学也向纵深发展; 另一方面, 各分支科学也不断地互相融合、互相渗透、互相促进。因此, 动物生物学必需借助细胞生物学、分子生物学、生物化学、动物生理学、生态学、分类学、形态解剖学、遗传学以及生物技术学等学科的研究成果, 不断地充实和丰富自己。

科学家预言, 生命科学与工程将是 21 世纪支柱科学之一。研究探讨动物界演变规律、动物生命本质、动物生命活动规律、人类的健康和长寿, 对于世界的物质文明和精神文明建设是密切相关的。人类为生存而斗争, 必须发展生产, 以解决人口增长、食物短缺等面临的重大问题, 满足人们生活水平日益提高的各种需要, 同时还要改善人类自身和改善人类的生活环境。动物生物学是征服自然、改造自然的有力武器之一。

动物生物学的研究与农业、牧业、渔业、医药、工业等生产部门有着密切关系, 是这些部门的科学基础。农业、林业的除害、禽畜的饲养、鱼虾贝蟹的养殖、各种动物资源的合理开发利用、新品种移植改良等等, 都离不开动物生物学的基本知识。人是由动物进化而来, 同样也符合动物活动的基本规律。人的生活环境、营养需求、疾病防治、健康长寿也都离不开动物生物学的基本知识。近二十多年来, 生物科学在分子生物学、分子遗传学、生物化学、生物技术学等领域取得了新进展、新成就, 为农牧、渔业、医药、工

业等部门的技术革新、新产品的开发和产业结构调整开拓了新领域和新途径，对国民经济的发展和人民生活质量的提高的影响越来越深刻、越来越广泛。生产斗争要依靠自然科学，生产斗争和科学研究也必将充实和丰富自然科学。这就是我们研究、学习动物生物学的目的和任务。

二、动物生物学研究发展动态

动物生物学和其他自然科学一样，有它自身的发生和发展的历史。它一方面反映了人类同自然斗争的进程，另一方面也反映了人类进步和变迁的历史。它的全部发展史都是与人类社会生产力的发展紧紧相关的。

综观动物科学研究发展的历史，大体上可以划分为四个阶段：

第一阶段：描述性动物学阶段

自古希腊亚里士多德（Aristotle，公元前 384～前 322 年）的《动物历史》（L' Histoire des Animaux）一书问世，该书记述了 400 多种动物，并分为无血和有血动物两大类。随后，欧洲进入封建社会，宗教神权统治经历了漫长时期，严重地阻碍了自然科学的发展。直到 15 世纪文艺复兴后期，随着资本主义的兴起和发展，欧洲各国重视搜集世界各地的生物资源以满足资本主义生产的发展。16～18 世纪兴起博物学，主要是进行动植物的形态分类研究。比较主要的有瑞典的林奈（Linnaeus，1707～1778）的《自然系统》（Natural System）一书，创立了纲、目、属、种、变种五个分类阶元和“双名法”，将动物界分为哺乳纲、鸟纲、两栖纲、鱼纲、昆虫纲和蠕虫纲。1665 年英国人胡克（R. Hooke，1635～1703）自制了世界上第一台显微镜，观察到软木薄片上紧密排列的蜂窝状小室，称之为“细胞”（cell）；荷兰人列文虎克（Antoni van Leeuwenhoek，1632～1723）也以自制的显微镜首次观察到细菌和污水中原生动物；从此生物研究进入微观世界。1838～1839 年，两位德国学者施莱登（M. Schleiden，1804～1881）和施旺（T. Schwann，1810～1882）创立了细胞学说，其主要内容是：“生物体尽管各不相同，其主要部分的发育则遵循着一个统一的原则，这一原则就是细胞的生成。”1859 年英国的达尔文（C. Darwin，1809～1882）出版了《物种起源》（The Origin of Species）一书创立了影响深远的达尔文进化论学说。恩格斯把达尔文的进化论和细胞学说、能量守恒定律誉为 19 世纪自然科学的三大发现。

第二阶段：实验生物学阶段

19 世纪中后期，资本主义生产有了巨大发展，在物理学等的带动下，各种实验技术被引入到生物学研究领域，促进了生物科学出现较大发展，其

中比较主要的有奥地利的孟德尔 (G. Mendel, 1822~1884) 以豌豆的杂交试验发现其后代相对性状遵循一定比例, 即遗传学的两个基本规律——分离律和自由组合律; 美国的摩尔根 (T.H.Morgan, 1866~1945) 等人以果蝇为材料, 研究发现了连锁、互换和伴性遗传规律, 并把遗传学和细胞学结合起来, 确立和发展了染色体遗传学说。摩尔根等人把遗传因子命名为“基因”(gene), 因此染色体遗传学说又称基因学说。

第三阶段: 分子生物学阶段

20 世纪 30 年代以来, 物理学和化学的进一步渗透, 实验生物学和遗传学的进步, 生物化学的研究有了较大的进展, 研究集中于生命本质密切相关的生物大分子, 即蛋白质、核酸和酶等。50 年代后美国的华特生 (James Watson) 到剑桥大学与英国的克立克 (Francis Crick) 合作, 特别是他们分析了伦敦大学的富兰克林 (Rosalind Franklin) 所作的 DNA 分子的 X 射线衍射图, 认为 DNA 分子是螺旋形的, 并确定其上重复排列的碱基对 (base pairing) 之间的距离为 0.34 nm。最终于 1953 年阐明了 DNA 分子双螺旋结构, 华特生和克立克也因此获得诺贝尔奖, 生物科学进入分子生物学研究阶段。

第四阶段: 生物技术革命和揭开生命奥秘阶段

20 世纪 70 年代以来, 生命科学各个领域取得了巨大进展, 尤其是分子生物学的突破性成就和引入物理学、化学、计算机科学的概念、方法和技术, 生命科学在自然科学中的地位发生了革命性变化。以分子生物学为核心的研究生物固氮工程、光合作用机理、蛋白质工程、基因治疗等有了许多重大突破。利用生物技术优化牛、羊、猪及家禽的育种, 提高动物的生长速度, 增强动物的抗病抗逆能力, 改进肉质及其风味; 利用新的人工授精和繁殖技术加快动物的繁殖速度, 如超声波采卵、人工体外受精、胚胎移植、精子和卵子的低温保存等等; 生物工程和单性系统抗体技术在医药制造和施药方式上获得广泛应用; 人体基因研究获得了巨大进展, 美国和法国等基因组人员已成功地绘制出男性 T 染色体图和带有造成神经系统疾病的基因 21 号染色体的构图, 在未来五年内有可能绘制出人类所有染色体的结构图, 并由此为人类通过使用人工培植的正常基因取代人体活细胞中的缺陷基因, 为根治基因性疾病开辟了全新的途径。人类已跨入了揭示生命本质奥秘的门槛, 不仅克隆了牛、羊等多种动物, 而且可能在容器里培育人体器官, 在实验室里制造生命。

生态学 (ecology) 是研究生物与生物之间、生物与环境之间相互关系的科学, 故又称环境生物学 (environmental biology)。随着现代人的诞生, 由

于生活需要，必然要积累生态学知识。四五千年前我国的神农氏曾尝百草以鉴别各种植物，但作为专门的科学研究，生态学是在17~18世纪由自然史或博物学研究中独立出来。现代生态学的基础是在19世纪后期奠定的，20世纪50~60年代才得到较大的发展。其一是从个体的观察转向群体的研究，即从个体生态学 (autecology) 转向群体生态学 (synecology)；研究方法也由定性到定量，由静态到动态，由局部到整体，由观察到实验，出现了物种丰度 (richness)、频度 (frequency)、优势度 (dominance)、恒定度 (constancy)、多样性 (diversity)、演替 (succession) 等的概念和诞生了研究种群遗传结构的遗传生态学 (hereditary ecology)。其二在群落研究的基础上，进一步开展生态系统 (ecosystem) 研究，强调食物链 (food chain)，即生态学的营养动态；此后热力学和经济学概念渗入生态学，50年代以后信息论、控制论和系统论也运用到生态学研究，形成了自动调节原理和系统分析的方法，从而揭示生态系统中物质、能量、信息之间的关系。60~70年代生态系统理论已应用到地学、农学和环境科学中。生态系统研究涉及到整个生物圈 (biosphere)，因此生态学一方面与地理学、地球化学等学科交叉，另一方面又与社会科学相互渗透，出现了高度综合的研究方面，显示了越来越大的应用价值。

生命是进化的产物。现代生物是在长期进化过程中发展起来的。自1859年达尔文的《物种起源》一书问世的一个多世纪以来，达尔文的进化理论被人们广泛接受。达尔文学说 (Darwin theory) 认为，生物进化的主导力量是自然选择，自然选择通过遗传、变异，推动生命形式由简单到复杂，由低级到高级的发展。长期以来，古生物学家一直在寻找达尔文所预言的渐进式史实，但都未能如愿。1909年在加拿大的布尔吉斯，1947年在澳大利亚的埃迪卡拉，1984年在我国云南澄江帽天山等地考古发现了“寒武纪生物大爆发”的化石群。寒武纪 (Cambrian) 是距今6亿~5亿年前的一个地球年代。中国科学院南京地质古生物研究所在云南澄江帽天山发现的化石群，距今约5.3亿年，包括腔肠动物门、多种蠕虫、帚虫、节肢动物、脊索动物门等几乎所有现有的动物门，其中最为难得的是在寒武纪短短的100~200万年时间内形成的。澄江化石群的发现是“生命大爆炸”最完整的化石记录，是“生命大爆炸”理论最重要的史实。它揭示了进化的突发性和自发性，其进化速度和形态离散性是达尔文自然选择理论所无法解释的。这些古生物研究的新发现，无疑对达尔文学说是一重大挑战。

生命科学的发展趋势 在将近半个世纪以来，生命科学的发展由于数、理、化、计算机等各学科与生命科学之间的相互渗透，相互结合，如生

物学与化学相结合创立和发展了生物化学，生物学和工程科学相结合创立和发展了仿生学、生物工程学，生物学与物理学相结合创立和发展了生物物理学等等，综合现代各学科的成就，应用各学科的技术，是发展生命科学的主要趋势。

生命科学的发展有两个方面引人注目：一是宏观方面，生态学研究的各种生物生产力，特别是生态系统的物质和能量流动；环境污染不仅严重影响生物生产力和物种多样性，也严重威胁着人类的健康和生存，这些问题都需要借助生态学的理论和知识。发展生态学将为人类改善环境、提高生产水平和提高生活质量做出贡献。另一是微观方面，从细胞、分子、基因方面深入，人们将之归为基因工程 (gene engineering)、细胞工程 (cell engineering)、酶工程 (enzyme engineering)、发酵工程 (fermentation engineering)、蛋白质工程 (protein engineering) 等，这些新技术将成为解决全球经济问题的关键，在迎接人口、资源、能源、食物和环境危机的挑战中必将大显身手。生物技术广泛应用于医药卫生、农林牧渔、轻工、食品、化工和能源等领域，促进传统产业的技术改造和新兴产业的形成，对人类社会各个方面将产生深远的革命性影响。

三、生物的分界和动物在生物界的地位

生物界的发展已有 30 亿年的历史，生物形形色色、多种多样。据生物学家估计，地球上的生物有 500 万~5000 万种之多，已被人类描述的生物不下 170 万种。

关于生物的分界可以划分为几个阶段，随着人们对生物认识的深化而发展。最早生物划分，可以追溯到夏商代（公元前 21~前 11 世纪）的甲骨文，把生物分为植物和动物两界，古希腊的亚里士多德也将生物分为植物和动物两界。这种简单的分界法是将能活动的生物分为动物界，将不会活动的分入植物界，那些不食不动的细菌、霉菌也归入植物界。显然，这种分界法不能反映生物界的内在联系，但反映了当时的认识水平，并沿用了很长时间。

19 世纪德国的海克尔 (E. Haeckel, 1834~1919) 从进化的观点将动物分为原生动物 (protozoa) 和后生动物 (metazoa) 两界。这样在动、植物界之外创立了原生生物界 (protista)，它包括了动植物中间类型的低等单细胞生物，即三界法。

本世纪以来，随着电镜技术的发展，细胞学的研究表明：细菌、蓝藻与其他生物大不相同，在它们的细胞中，染色质是分散于细胞质中，不具成形

的细胞核。在分裂方式及遗传上也有许多与其他生物不同之处，于是将它们归入植物界是不合适的。确定为原核生物 (procaryote)，其他生物则为真核生物 (eucaryote)。此外，真菌在结构上既像植物又不同于植物，它不能像植物那样利用叶绿素进行光合作用，又不像动物那样掠食其他生物，因而另立真菌界。1969年魏泰克 (Whittaker) 综合和总结了前人的研究，将生物分为原核生物界 (procaryote)、原生生物界 (protista)、真菌界 (fungi)、植物界 (planta) 和动物界 (animalia) 五界 (图 1.1)。

此外，由于原生生物中还有不少问题尚未弄清，李代尔 (Leedale, 1974) 提出四界说，即原核生物、植物、真菌、动物四界，将原生生物分别归入植物界、真菌界和动物界。鉴于病毒 (virus) 是非细胞结构，另立病毒界，而成为六界。我国学者陈世骧 (1979) 划分为三总界，六界，即非细胞

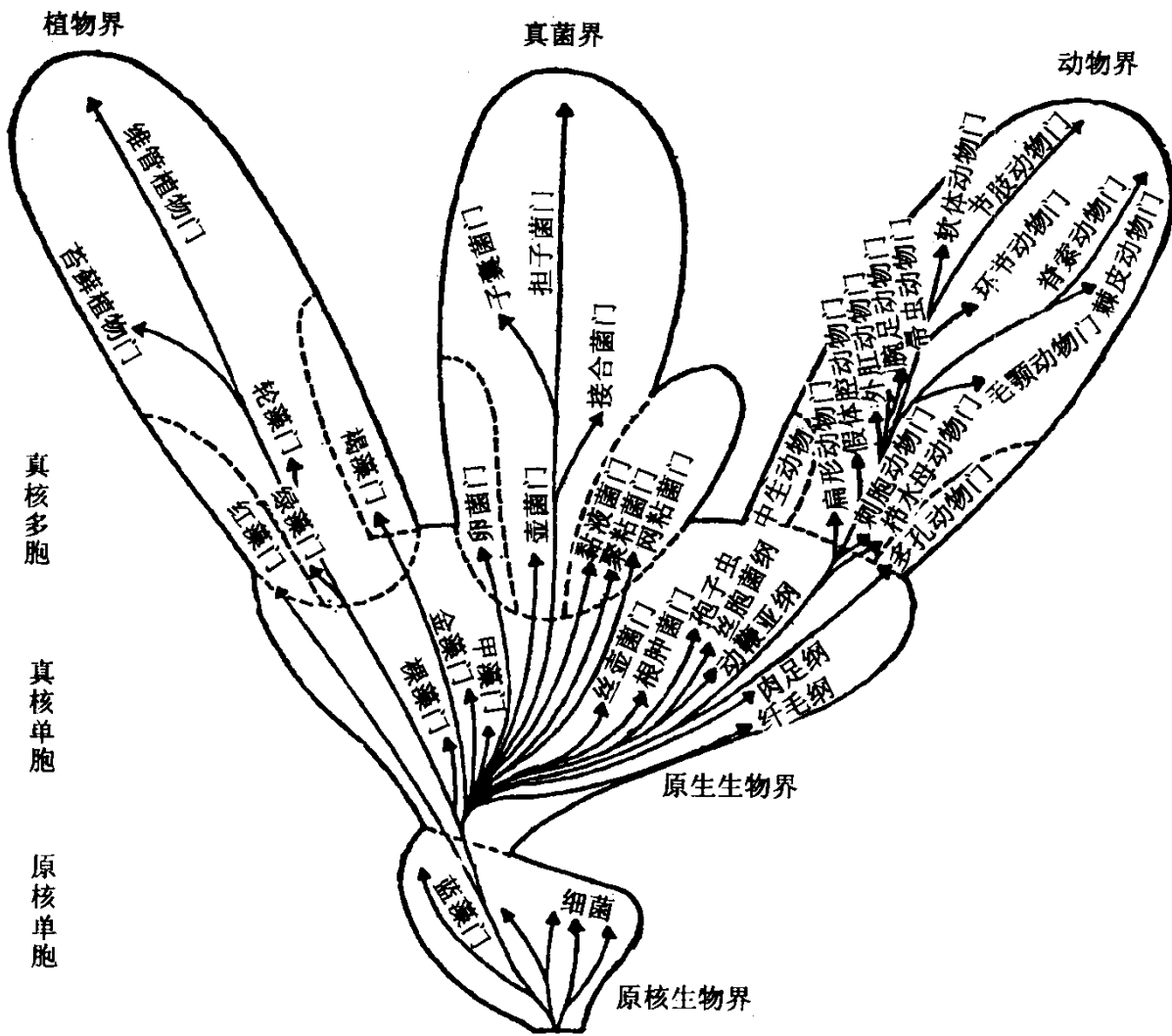


图 1.1 五个界分类体系，示推测性的进化关系 (Whittaker, 1969)

总界，即病毒界；原核总界，包括细菌界、蓝藻界；真核总界，包括植物界、真菌界和动物界。但是，五界系统被比较多的学者所接受。

类病毒是一种非细胞形态的生命物质，能侵染其他植物，在宿主细胞内能自我复制，即繁殖，它们不含蛋白质和酶，是纯的核糖核酸 (RNA)，不能独立进行代谢，而与宿主细胞的核结合，利用宿主细胞代谢装置来繁殖。已经发现的 7 种类病毒都是植物的致病因子，如马铃薯纺锤体块茎类病毒、柑橘剥皮症类病毒、黄瓜苍白症类病毒等等，对宿主有专一性，即一种类病毒只寄生于一种植物内。专一性的寄生表明类病毒有遗传性。

病毒也是一种非细胞结构，但有遗传、复制等生命特征，由核酸和蛋白质构成的微生物，一般能通过细菌滤器，故过去称之为“滤过性病毒”，需要电镜才能看清其结构。各种病毒具有不同的大小、结构和形态，但无独自の代谢系统，而是在病毒基因组作用下由宿主细胞进行合成核酸和蛋白质，并在细胞内装配成新的病毒粒子。已知的病毒种类很多，各种动物病毒专一地感染一种动物的某种细胞，使动物发生特定的病，如天花、麻疹、腮腺炎、流行性感冒、某种肝炎、以及鸡瘟、猪瘟、口蹄疫等。

原核生物界是细胞型生物，但不存在明显的细胞核膜，其染色体单由核酸组成。通常原核生物包括细菌、蓝藻、原绿藻和放线菌。其中光能自养型的蓝藻和化能异养型的细菌占优势。也有人将病毒、立克次体、螺旋体、支原体等也归入原核生物。

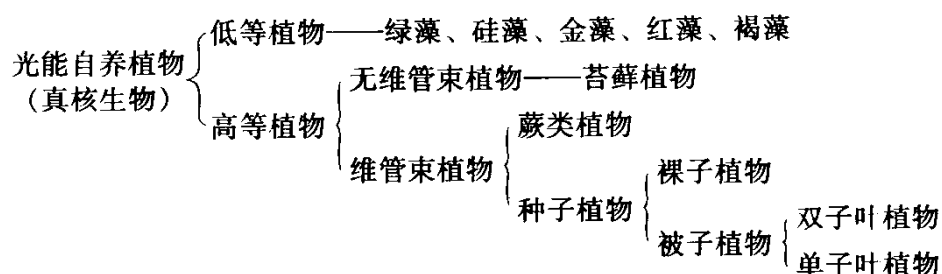
真核生物，具明显的核膜，细胞分裂出现染色体，染色体由脱氧核糖核酸、组蛋白及非组蛋白等成分构成。真核生物包括单细胞和多细胞的各种生物。

原生生物包括所有单细胞有机体，有二种代表型：一是含叶绿素的真核单细胞鞭毛藻，称为原生藻类，如衣藻；二是不含叶绿素的真核细胞异养生物，有的称之为原生动物，如变形虫、纤毛虫等。此外，如眼虫类 (Euglenaceae) 亦称裸藻类和双鞭甲藻类 (Dinophyceae)，是介于动物和植物之间的生物。它们不是原核生物，但又非典型的真核生物，具核膜，属真核细胞，但其染色质成环形，由 DNA 与非组蛋白构成，性质接近原核细胞，为原始或接近原始的真核生物，是原核生物向真核生物进化的中介生物的后代。从营养方式看，基本上兼具自养和异养特性，不过有的偏于自养型，有的偏于异养型。绿眼虫在光照下培养，发展了自养性，若在暗光下培养则发展了异养性，属于不固定的自养型和异养型，为变养型 (varitroph)。

真菌界包括真菌 (Eumycota) 和黏菌 (Myxomycota) 及一些小类，以真菌数量占优势。真菌的菌体为单细胞或菌丝组成，菌丝为单细胞或多细胞

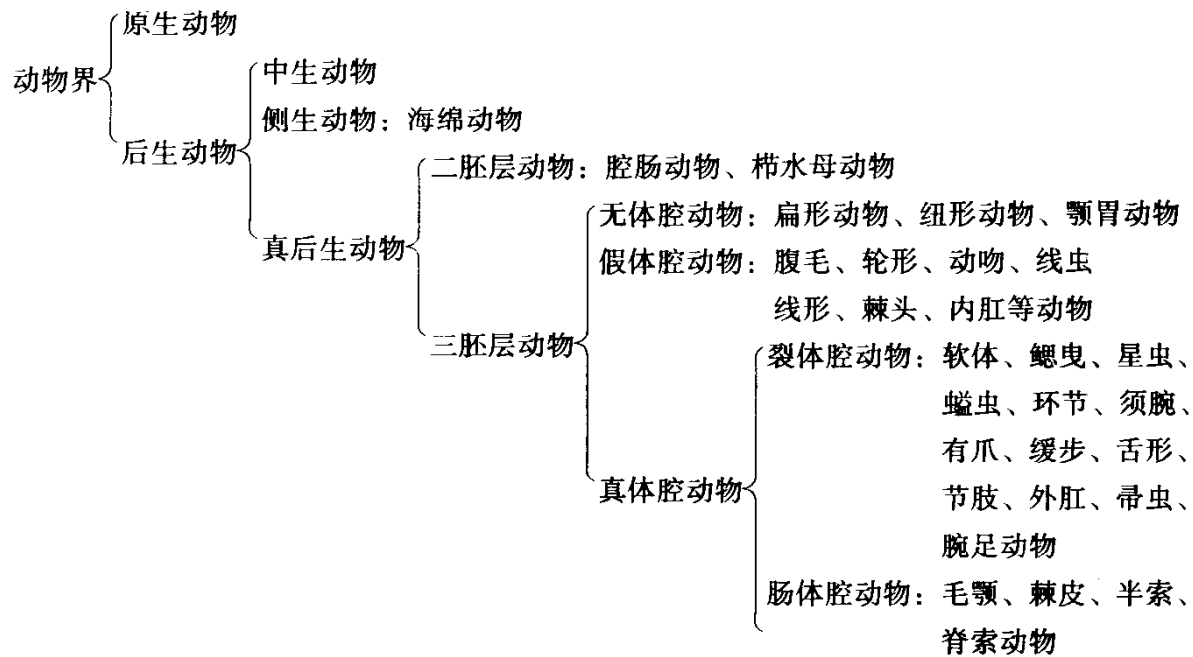
分枝的丝状体，都不具有叶绿素，为专性异养真核生物，常见的有酵母、霉菌、菇蕈，还有与单胞藻共生形成地衣。黏菌较低级，由多细胞聚合为团块，胞间分化很低，亦不具叶绿素，具植物和动物的特性。真菌界全部异养，多数是腐生的，以分解动植物尸体或坏死的组织获得营养，也有些营寄生生活。

植物界广义地说包括光能自养真核生物的所有类型：



自养生物是地球上有机物的创造者。大约9亿年前多细胞大型的古藻类开始繁盛，制造的有机物和氧气为生物圈的加速演进和繁荣提供了条件。约4亿~5亿年前，水陆交界阴湿地生活的植物出现。维管束植物是植物界的后起之秀，约三亿多年前的古生代中期蕨类（Fern）曾繁盛一时，到了二叠纪蕨类渐衰，被子植物兴起。被子植物是植物界的高级类型，现代植物的优胜者。据不完全统计，植物界约30万种，其中被子植物约有25万种，我们常见的果蔬、瓜豆、花卉、稻麦、蔗竹以及人们衣、食、住、行所用的植物材料多属于此。植物的细胞具有色素体（内含叶绿素、或胡萝卜素、或叶黄素、或藻红素、或藻蓝素等），细胞壁含丰富的纤维素，种子植物的生活史中有种子的形成。

动物是生物界中类型最多、演变历史最曲折、机体结构和功能差异最大的一个类群，约130万种。从机体的细胞构成看，动物界分为原生动物（Protozoa）和后生动物（Metazoa）两个类型。原生动物身体由1个细胞构成，独立完成各项生命功能，在元古代就已经出现。后生动物是多细胞动物，机体的细胞之间出现形态结构和生理功能上的分化，因而生活本领显著提高。动物界是典型的异养型，需要从外界获取营养物质和能量；外界刺激使其产生活动或行为，即具有活动性（activity）。后生动物根据机体细胞的构成、胚层分化、体制、体腔、身体分节、附肢性状、脊索和脊椎构造等又分为30多个门。



生物间的关系是错综复杂的，但它们对生存的基本要求都需要摄取食物获得营养物质和能量，占据一定的空间和繁殖后代。生物解决这些问题的途径是多种多样的。就获得营养而言，凡能利用二氧化碳、无机盐、水和能量（光能或化学能）合成有机物满足自身营养需要的叫做自养生物（autotrophic organism）。绿色植物、紫色细菌等是自养生物，可见植物是食物的生产者，是整个生物界营养环节的基础。动物必须从自养生物获取营养，植物被动物所食，而肉食性动物又从植食性动物获取营养。所以，动物以植物或其他动物为食，属异养生物（heterotrophic organism），是消费者。真菌等属于分解吸收营养型，为分解者（decomposer），把动植物尸体分解，返回自然。这三者使物质、能量在自然界转化、循环，显示它们在生物进化发展中的营养方面的相互联系的整体性和系统性，以及在物质、能量循环转化中各自所起的作用和地位。

第二章 动物的基本结构、功能及其调控

[学习目的]

通过本章的学习，理解生命的本质和基本特征；了解动物体的物质组成；掌握动物细胞的基本结构、特点及其增殖过程；掌握组织、器官和系统的概念；掌握各种组织的形态结构特点、分布及其功能；掌握动物体的体制、分节、胚层、体腔的概念、形成演化及其在动物进化中的重要作用和意义；掌握动物的皮肤、骨骼、肌肉、消化、循环、呼吸、排泄、神经、感官、内分泌和生殖系统的组成、结构和功能；理解各系统执行生理功能的机制；比较上述各系统在从低等到高等的各动物门类中演化过程，总结出其进化发展的特点和适应生活环境的特点；树立生物体形态结构与功能相适应的观点，形态、结构、功能与环境相适应的观点以及进化的观点。

第一节 生命的物质基础

一、生命的基本特征

五彩缤纷的生物界是多样的，但又是统一的。多种多样的生物包含有共性——都具有生命，服从生命运动的规律。

生命是什么？“生命是蛋白体的存在方式”，“蛋白体是生命的惟一的独立的承担者”（恩格斯）。现代生物科学证明了恩格斯这一著名论断的正确性，并加以发展。现在人们已共同认识到，承担生命的“蛋白体”，主要是核酸（nucleic acid）同蛋白质（protein）的整合体系。生命与核酸、蛋白质按规律整合的体系不可分离。以这种整合体系为主体的生物，具有某些共同的属性。这些属性即生命的特征。

生命的主要特征，即生物与非生物的区别，主要有四大方面：

1. 新陈代谢 (metabolism)

新陈代谢 (简称代谢) 是生命最根本的特征, 是维持生物体的生长、繁殖、运动等生命活动过程化学变化的总称。通过代谢, 生物体与环境之间不断地进行物质和能量交换。可见, 生物体乃是一个以蛋白质为主体, 具有代谢功能的体系。任何生物都因新陈代谢而具生命活性, 代谢停止, 生命终止, 个体也随之死亡。

代谢又分为组成代谢 (或称同化作用, assimilation) 和分解代谢 (或叫异化作用, dissimilation)。在新陈代谢过程中, 生物体将从食物中摄取的养料转换成自身的组成物质, 并储存能量的过程, 称为同化作用。反之, 生物体将自身和组成物质分解以释放能量或排出体外的过程, 称为异化作用。新陈代谢的结果, 生物体不断的自我更新。代谢是酶所催化的, 具有复杂的中间过程。例如葡萄糖在生物体内氧化成为水和二氧化碳要经过许多化学变化, 这些过程总称为“中间代谢” (intermediary metabolism)。

2. 生长 (growth) 和繁殖 (reproduction)

生长指生物体或细胞由小到大由简单到复杂的过程。当同化作用时, 生物体积和干重逐渐增加。这由于细胞经分裂而数目增多, 同时由于细胞合成大量原生质而容量加大。生长通常伴随着发育过程的细胞分化和形态建成。发育 (development) 指生物体在生命周期中, 结构和功能从简单到复杂的变化过程。生长常分阶段进行, 有一定的期限, 一定的大小和形态, 这些都是生物内在因素所决定, 一些外在因素对生物的生长也会产生影响。

每一种生物都有生有死, 使其种族延续不断, 这就要靠生物的繁殖。生物孳生后代的现象是生命的基本特征之一。通过生殖, 生物繁衍了与其相似的子代, 从而保证了种族的绵延不息, 繁荣多样。

3. 遗传 (heredity)、变异 (variation) 和进化 (evolution)

“种瓜得瓜, 种豆得豆”, 物生其类, 这是生物具有遗传性的表现。遗传通常指亲代的性状又在下一代表现的现象。遗传是生物繁殖过程中表现的延续性和保守性, 这种保守性使物种世代相继仍能保持稳定。然而生物的保守性不是绝对的, 同一起源的生物个体间的性状有差异, 遗传性也是可变的。环境相同而遗传不同时, 会出现变异; 遗传相同而环境不同时会产生变异, 即遗传变异和环境变异。变异使后代异于亲体, 就是生物界发展的源泉。

遗传和变异是相互对立、又相互渗透的, 二者统一生物才能进化。生物

的这种逐渐演变，由低等到高等，由简单到复杂，种类由少变多的发展过程，就是进化。进化是生物界多样性的来源。现今世界上有着 200 多万种生物。

4. 应激性 (irritability) 和活动性 (activity)

生物接受外来刺激，通过内在的兴奋和调节，发生相应反应的特性，即应激性，这是生物体的基本特性之一。生物对外来刺激的应答反应就出现活动或行为，生物的活动和行为是应激性的高级表现形式。如绿眼虫对弱光表现正趋光性，而对强光表现了负趋光性；季节的温度、食物等变化，引起候鸟的迁飞等等。

生命的特征和规律极其复杂，生命的本质深奥无穷。这是生命科学探讨的主要课题，需要不断艰苦努力，才能逐步揭示生命的奥秘。

二、生命的物质基础

自然界是物质世界，一切生物都是由各种元素组成。生物体中的组成元素约 30 种，其中重要元素有 24 种。碳 (C)、氢 (H)、氧 (O)、氮 (N)、磷 (P)、硫 (S)，大部分有机分子是由这 6 种元素构成的，称构成元素；钙 (Ca)、钾 (K)、钠 (Na)、氯 (Cl)、镁 (Mg)、铁 (Fe) 6 种元素含量虽少但是必需的，称必需元素；其他如锰 (Mn)、碘 (I)、钼 (Mo) 钴 (Co)、锌 (Zn)、硒 (Se)、铜 (Cu)、铬 (Cr)、锡 (Sn)、钒 (V)、硅 (Si)、氟 (F) 等 12 种为微量元素。

C、H、O、N、P、S 是基本元素，生物大分子和有机物主要由这 6 种元素构成，如 C、H、O、N、S 是蛋白质的组成成分；C、H、O、N、P 是核酸的组成成分。Fe、Cu、Mo、Co、Zn、Mn、V、I 等常与蛋白质结合，如血红蛋白含 Fe，血蓝蛋白含 Cu 等等。Cr、Se、Ni、Sn 和离子态的 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 H^+ 、 OH^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 HPO_4^{2-} 等为调节元素，或称微量元素。它们的含量虽少，但在有机分子中处于关键地位，如 Mo、Fe 在固氮酶分子、Mg 在叶绿素分子、Fe 在血红蛋白分子、Zn 在胰岛素分子、Co 在维生素 B_{12} 分子、I 在甲状腺素分子等等，这些元素对有关分子的生物学功能是不可缺少的，也是不可取代的。如缺 Mo 固氮酶不能产生，缺 Fe 血红蛋白不能合成。

生物由必需的元素组成，这是指构成成分而言。各种必要的元素即使按精确的比例混合在一起也并不能组成一个生物体。它必须组成化合物才有生物学意义。

生物体内的化合物分为无机物和有机物两大类。据分析，动物体约含有75%~85%的水、10%~20%的蛋白质、2%~3%的脂类、1%的核酸、1%糖类和1%的无机盐。水和无机盐属于无机物，在动物细胞内呈游离状态，或是与有机物结合，而大部分无机物是呈离子状态。蛋白质、核酸、脂类、糖类属于有机物，在细胞内常常彼此结合，组成复杂的大分子，其中蛋白质、核酸占有突出的重要地位。

(一) 水

水是生物构成物质中最多种的一种，也是生命活动的最重要介质。腔肠动物水母体内含水量达98%，初生的蝌蚪含水达95%，动物幼体含水在80%左右，动物活组织含水在60%~70%以上。动物体代谢旺盛时，含水量都比较高，不活动或休眠时含水量较低。

生物体内的水分大致可分为两种状态：一种是吸附和结合在有机固体物质（主要是蛋白质）上的水分，称束缚水（bound water）。这部分水是生物体的构成物，它不蒸发、不流动、也不析离；另一种是填充在有机固体物质颗粒之间的间隙里，为自由水（free water），它可沿毛细管流动，易蒸发，加压可析离。自由水是生物体代谢的介质。

生物体内的自由水和束缚水可以相互转化。自由水向束缚水转化较多时，机体代谢强度下降，但抗寒、抗热、热干旱的能力提高。当自由水比例上升时，机体代谢活跃，生长迅速。由此可见，生物体内水分的存在状态对生命活动有重要的调控作用。

许多动物都以水为生活介质，水生动物自不待言，即使陆生动物，也发展了各种机制防止体内水分蒸发和散失。机体和环境之间不断地进行着水的交换，机体一方面从外界吸收水分，进入体内后水分不断地流动，以完成各种生命活动，如消化、吸收、呼吸、物质输送等等；另一方面机体在生活过程中也不断地向外界散发水分，以完成排泄、体温调节等。这就是水分的转换。

生物体内所含的自由水在低温下能冻结，成为冰晶释出。一旦成冰，细胞内部结构会因冰凌的切割而遭破坏。这就是受冻造成破坏的原因。生物体是水液反应体系，在常温下生物借体内液体水进行代谢，同时有一部分液态水汽化挥发。当液态水汽化时吸收大量的热，于是生物体不致因受热而遭受破坏。这就是生物有一定抗热性的原因。

从化学结构看，水分子是由 H^+ 和 OH^- 结合而成，具有极性。因此水是很好的溶剂，生物体内许多物质能溶解于水。动物体内经过水分的调节，保

持盐水平衡，从而维持内环境的稳定。当人体暴露于强日光下，由于大量出汗，当失水量达 12% 时，即进入热死 (explosive heat death) 状态。

水在生物的生存、代谢活动中都有着巨大的作用。

(二) 无机盐

生物体内的无机盐多溶解于水中成为离子状态，因此，无机盐和水二者不可分离，共同组成生物内环境的调控系统。

众所周知，生命发生于海洋，原始生命的细胞浸溶于远古海洋的海水中，它们与周围的海水处于一种盐水平衡的状态中才能维持生存。这种平衡并非浓度完全相等，也不是一成不变的，而是处于动态的平衡中，它是通过半透性的细胞膜来实现的。这就是生物体必须含有一定浓度的无机盐的原因。至今许多海产无脊椎动物体液的无机盐浓度与周围海水相接近 (表 2.1)。

表 2.1 生物体液与海水无机成分的比较 (以 Na^+ 为 100% 的比较) (黄厚哲, 1984)

生物名称	Na^+ 100%	K^+ %	Ca^{2+} %	Mg^{2+} %	Cl^- %	SO_4^{2-} %
腔肠动物门 蕈枝螅	429	2.90	2.15	10.18	113.05	5.15
软体动物门 贻贝	502	2.43	2.50	11.16	117.3	6.14
甲壳纲 梭子蟹	513	2.32	2.51	3.70	105.2	3.9
棘皮动物门 海胆	530	2.3	2.28	11.21	116.1	5.71
圆口纲 七鳃鳗	558	1.72	2.24	6.95	106.1	10.95
现代海水	440	2.16	2.27	11.36	118.2	6.8
两栖纲 蛙	103.8	2.40	1.92	1.15	71.4	—
哺乳纲 人	145.0	3.99	1.78	0.66	83.97	1.73
环节动物门 蚯蚓	41.3	45.5	10.3	6.97	34.6	0.008

动物体内的血液、组织液、淋巴液和脑脊液等细胞外液总称内环境 (internal medium)。内环境浸浴着机体内部组织，担负着维持体内平衡 (homeostasis) 的功能。

体内平衡指机体对某些物质的吸收和排出的动态平衡，收支相抵；也指机体内部保持了某些关键成分的含量和水平的相对稳定。体内平衡是机体细胞有稳定的结构与功能，维持生物正常的代谢和生理活动的必要条件。一旦这种平衡破坏，生物就出现病变，甚至死亡。

体内平衡是复杂多样的，其中有三个主要方面与无机盐含量的稳定密切相关。