

21世纪高等院校教材

生命科学导论

周春江 刘敬泽 主编



科学出版社

21 世纪高等院校教材

生命科学导论

周春江 刘敬泽 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以生命科学的基本内容为主线,结合学科重点和发展,概述了生命科学各主要分支学科的基础知识和发展动态,向读者展示了生命科学的全景。全书共十二章,包括绪论、生命的物质与能量基础、生命的细胞学基础、生命的遗传学基础、生物信息传递、生物防御系统、微生物的多样性、植物的多样性、动物的多样性、生物与环境、生命的起源与进化和现代生物技术。

本书内容新颖、文字简练、篇幅适中,既可作为各高等学校非生命科学专业和生物学科相关专业的本科生教材,也可供其他专业的教师和学生参考,还可供广大在职中小学教师使用。

图书在版编目(CIP)数据

生命科学导论/周春江,刘敬泽主编. —北京:科学出版社,2011.9

21世纪高等院校教材

ISBN 978-7-03-032388-0

I. ①生… II. ①周…②刘… III. ①生命-科学-高等学校-教材
IV. ①Q1-0

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第191835号

责任编辑:丁里 贺睿青/责任校对:包志虹

责任印制:张克忠/封面设计:华路天然工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年9月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2011年9月第一次印刷 印张:21 1/2

印数:1—4 000 字数:465 000

定价:39.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《生命科学导论》编写委员会

主 编 周春江 刘敬泽

编 委 (以姓氏拼音为序)

安瑞永 葛荣朝 管振龙 郭 毅 李 敏

刘敬泽 石振华 万五星 杨振才 赵宝华

赵建成 周春江 朱正歌

前 言

近 20 年是生命科学迅猛发展的时期，生命科学也因此成为推动 21 世纪自然科学发展和社会进步的重要学科。为了适应高等教育对人才培养的要求，贯彻厚基础、重实践、强技能的原则，国内外高等学校普遍开设了面向非生物类专业学生的生物学基础课，有些学校已经将生物学课程列为全校性的必修课。

近几年来，国内各高校纷纷推进通识教育，实行大类招生。面向大学一年级学生开设各学科的导论课，便于学生快速了解有关学科的内容，激发学生的学习兴趣，从而在专业分流时有利于学生选择最适合的专业。

由此，根据现代生命科学研究的重点和热点问题，我们组织了十余位具有丰富教学经验的教师，结合各自教学科研工作的专长，编写了“生命科学导论”教学讲义。各位参编教师经过一年的教学实践，在充分调研学生学习情况的基础上，通过反复讨论、多次修改，最终定稿并正式出版。编写本书的指导思想是力求内容新颖、通俗易懂，反映现代生命科学各领域的最新研究成果与最新进展。全书共十二章，包括绪论、生命的物质与能量基础、生命的细胞学基础、生命的遗传学基础、生物信息传递、生物防御系统、微生物的多样性、植物的多样性、动物的多样性、生物与环境、生命的起源与进化和现代生物技术。各章内容相对独立，具体讲授课时和内容可根据学时与需要确定。每章都列有思考题，可以启发学生进一步思考问题，开拓思路。

本书为河北师范大学汇华学院 2009 年精品教材项目研究成果。

现代生命科学所涉及的知识广泛，而各学科的发展又十分迅速，同时限于编者的知识水平和写作能力，书中疏漏和不妥之处在所难免，恳请各位同仁、有关老师和学生提出宝贵意见，以便再版时修改完善。

编 者

2011 年 7 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 生命与生命科学.....	1
第二节 生命科学的发展.....	4
第三节 生命科学研究方法.....	9
第四节 现代生命科学发展的特征与趋势	11
思考题	15
主要参考文献	16
第二章 生命的物质与能量基础	17
第一节 生命的物质基础	17
第二节 生命的新陈代谢	35
思考题	45
主要参考文献	45
第三章 生命的细胞学基础	46
第一节 细胞与细胞学说的建立	46
第二节 细胞的分类	48
第三节 细胞的结构与功能	49
第四节 细胞的增殖、分化、衰老与死亡	64
思考题	72
主要参考文献	72
第四章 生命的遗传学基础	73
第一节 DNA 储存遗传信息的证据.....	73
第二节 基因与基因组	76
第三节 遗传的基本规律	85
第四节 DNA 的复制和基因的表达与调控.....	89
思考题	97
主要参考文献	97
第五章 生物信息传递	98
第一节 生物信息概述	98
第二节 遗传信息的传递	99
第三节 生物信息的化学信号传递.....	102
第四节 生物信息的电信号传递.....	115

思考题.....	122
主要参考文献.....	122
第六章 生物防御系统.....	123
第一节 抗原.....	123
第二节 抗体.....	127
第三节 免疫系统.....	131
第四节 免疫应答.....	135
第五节 免疫性疾病.....	139
思考题.....	143
主要参考文献.....	143
第七章 微生物的多样性.....	144
第一节 微生物的特点和种类.....	144
第二节 原核微生物.....	147
第三节 真核微生物.....	155
第四节 病毒.....	160
第五节 微生物与人类健康.....	168
思考题.....	170
主要参考文献.....	170
第八章 植物的多样性.....	171
第一节 植物的形态结构.....	171
第二节 植物的分类.....	183
第三节 植物的发育和形态建成.....	200
第四节 植物在自然界中的作用.....	207
思考题.....	208
主要参考文献.....	209
第九章 动物的多样性.....	210
第一节 动物的组织、器官和系统.....	210
第二节 多细胞动物的发育.....	213
第三节 动物的分类方法和物种的命名.....	216
第四节 主要动物门类的特征和分类.....	217
思考题.....	261
主要参考文献.....	261
第十章 生物与环境.....	262
第一节 个体生态.....	262
第二节 种群生态.....	264
第三节 群落生态.....	267
第四节 生态系统生态.....	269

第五节 应用生态	275
思考题	281
主要参考文献	282
第十一章 生命的起源与进化	283
第一节 生物进化论的创立与发展	283
第二节 地球生命的起源	288
第三节 生物进化的历程	292
第四节 不同层次的生物进化	305
思考题	311
主要参考文献	311
第十二章 现代生物技术	312
第一节 现代生物技术概述	312
第二节 基因工程	315
第三节 细胞工程	322
第四节 发酵工程	325
第五节 蛋白质工程	327
第六节 生物技术的应用与挑战	328
思考题	333
主要参考文献	333

第一章 绪 论

第一节 生命与生命科学

什么是生命？生命体和非生命体的本质区别是什么？日常生活中，人们可以很容易地区分生物与非生物，如花、鸟、鱼、虫等都是**有生命的**，而空气、水、土壤等都是**没有生命的**。但是从科学的角度，什么是生命确实是一个很难全面而准确回答的问题，可以说至今还没有一个为多数科学家所接受的定义。

一、生命

（一）生命的定义

长期以来人们很难用简单的概括来定义复杂而又丰富多彩的生命现象，人们对生命现象（包括一些生命的基本问题）还有许多不清楚的地方，也就自然难于对其本质进行恰当的科学归纳。

不同学科从不同角度分别定义了生命。物理学把生命定义为“负熵”，任何自发过程都是朝着体系越来越混乱、越来越无序的方向发展，即朝着熵增加的方向变化；生命的演化过程总是朝着熵减少的方向进行，一旦负熵的增加趋近于零，生命将趋向终结，走向死亡。生理学往往把能够完成诸如消化、新陈代谢、排泄、呼吸、运动、生长、发育和对外界刺激做出反应的功能的系统定义为生命系统。生物化学和分子生物学又往往把生命有机体看做是可传递编码在 DNA 和 RNA 中的遗传信息的系统，这些信息可以控制蛋白质的合成，而蛋白质决定着生物的主要性状。进化生物学往往把一个能够通过自然选择进化的系统看做生命系统。现代生物学给生命下的定义是：生命是生物体所表现出来的自身繁殖、生长发育、新陈代谢、遗传变异及对刺激产生反应等的复合现象，这个定义把生命表述为生物的生命特征。

（二）生命的基本特征

虽然很难对生命下一个明确的定义，但大多数生物学家都认为生命体具有许多共同的特征。如果某个物体符合如下特征，它将被视为有生命。

具有有机结构：生命体由原子和分子组成，原子和分子又构成了细胞。细胞是一种有机体；有的具有一致的特性；有的则已分化，以实现各种不同的功能（图 1-1）。细胞可以进一步构成组织、器官和系统。地球上的生命体在结构和复杂性方面差别很大。

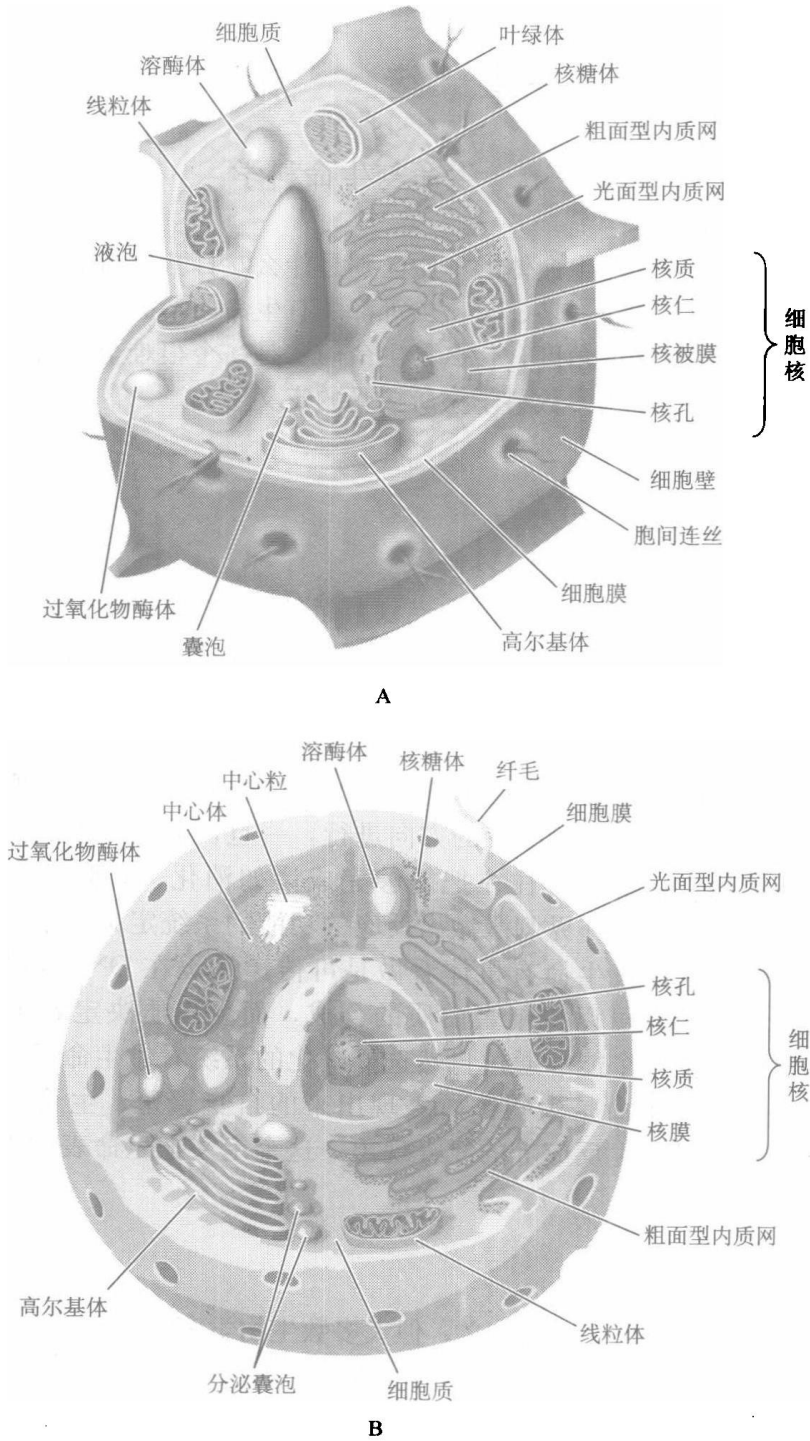


图 1-1 植物细胞 (A) 和动物细胞 (B) 模式图

内稳态性：生命体执行的一些机能使它们能够保持一种持续不变、相对稳定的状态，这种状态称为内稳态性。例如，人的身体有一套使体温保持稳定的系统，觉得冷时，身体会打战；觉得热时，则会出汗。

繁殖：生命体会繁衍出自己的同类生物，也就是说，通过无性繁殖进行的精确复制（克隆），或通过有性繁殖繁衍出与自身类似的后代。

生长与发育：生命体可以从较小、较简单的形态开始生长发育。例如，人的生命从受精卵开始，逐渐发育为胚胎、胎儿和婴儿，婴儿随后会慢慢成长为儿童、少年和成人。

从环境中摄取能量：保持相对恒定而有组织的状态有悖于热力学第二定律。根据该定律，所有物体的无序度（熵）都在增加。一个生命有机体要维持其结构，必须摄入、转化和消耗能量。为此，人类和其他动物会通过食用食物来摄取能量。

应激能力：生命体会对环境的变化做出反应。例如，在光照条件良好的窗口附近栽种一株植物，它的枝条或幼芽会向着有光的方向生长（趋光性）；为了保护自身，某些动物会改变自己的体色，与环境融为一体（伪装）。

环境适应性：生命体的特性倾向于与它的栖息环境相适应。例如，海豚的鳍是平的，适于游泳；而蝙蝠翅膀的骨架基本结构与海豚的鳍相同，但有一层薄膜，这使它具有飞翔能力。

进化：地球上的生命诞生于约 35 亿年前，从原始的单细胞生物开始，经过漫长的生物进化才形成现在庞大的生物体系，因此生命表现出的是一种不可逆转的物质运动现象（图 1-2）。

二、生命科学

生命科学（life science）是自然科学的一个重要分支，是研究生命物质的结构和功能、生命活动现象以及生物之间和生物与环境之间的关系科学。它是由多个基础学科、应用学科及交叉学科协同发展构成的前沿学科群。

生命科学是从分子、基因、细胞、个体、群体乃至生态系统水平各个层次上研究人和生物的物质构成、结构、功能、生物多样性、各种生命现象和生命活动规律，以及人类与自然界、生物与环境关系的科学。生命活动是物质运动的最高形式，无论是结构、功能、代谢、繁殖、遗传、发育、进化，还是有利于个体和种族生存的反应和活动，都是生命物质运动的具体表现。

生命科学的基础是从分子、细胞、个体、种群、群落等不同层次研究生命现象的一些学科，如分子生物学、分子遗传学、细胞生物学、神经生物学、发育生物学、生态学等，并包括遗传工程、生态工程学、资源生物学和生物医学工程学等重要技术科学学科。

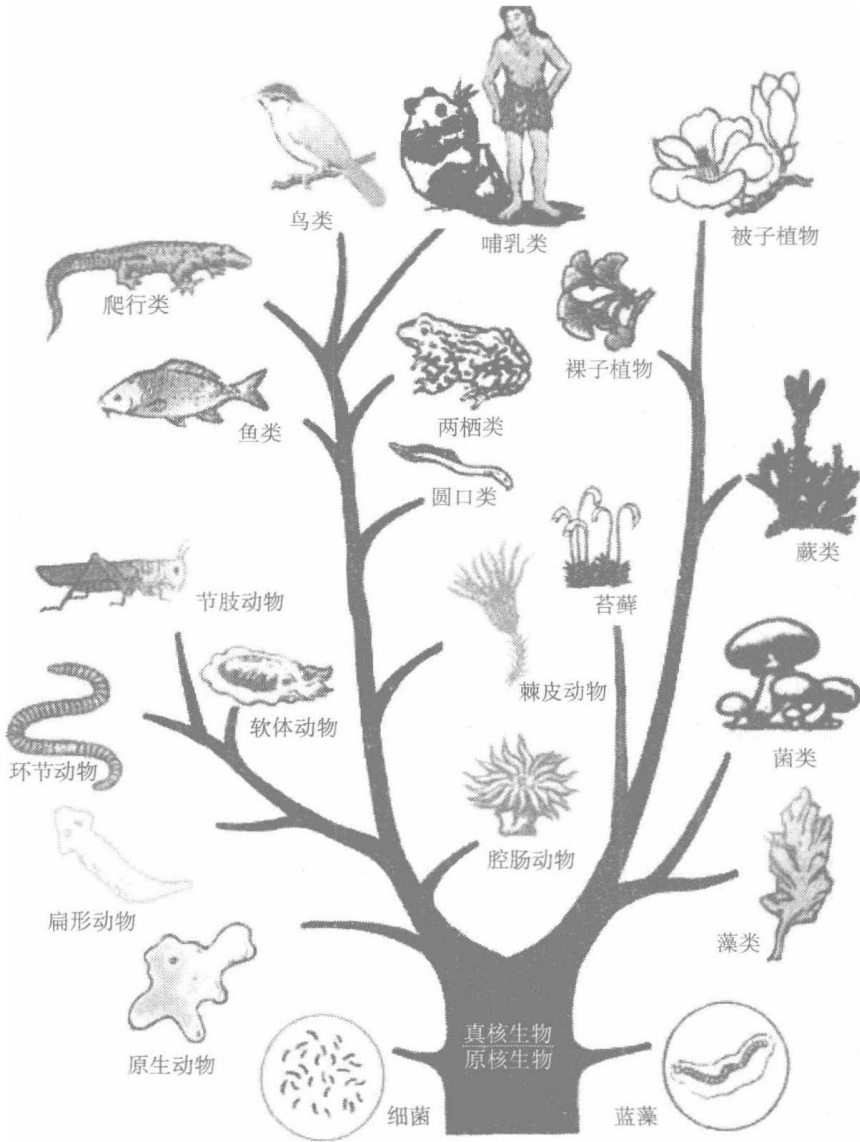


图 1-2 生物进化谱系树

第二节 生命科学的发展

自从有了人类的文明史，就有了人们对生命现象的描述和记录，就开始了人们对奇妙的生命现象的观察和思考。今天的生命科学是经过漫长的历史发展过程而逐步形成的。作为一门重要的自然科学学科，生命科学的发展大致经历了三个主要的阶段：从古代到 18 世纪左右，对生物的研究不是十分专业，称为博物学（natural history）阶段；18~20 世纪中叶是生物学（biology）阶段；20 世纪中叶以后，随着生物学领域各学科纵横交错发展的大趋势，出现了不同分支学科和跨学科的大交汇、大渗透、大综合的局面，由此进入生命科学（life science）阶段。

一、博物学阶段

有关生物知识的积累,经历了漫长的时代。应该说自人类诞生以来,人类基于自身生存的需要和求知欲望的潜能,便开始对周围动物、植物进行观察与描述,但作为学科性质的系统知识,一般认为是从古希腊哲学家亚里士多德(公元前384至公元前322年)开始的(图1-3)。亚里士多德是对生物知识分门别类的第一人,他对生物知识的贡献主要在于物种的分门别类。他的学生亚历山大在远征途中经常给他捎回各种动植物标本,利用这些材料,他一生中将500多种动植物进行了分类。由此为起点,到18世纪,动物分类和植物分类已得到长足的发展,相继编辑出版了不少分类方面的著作,这一时期的代表学者是瑞典植物学家林奈(C. Linnaeus, 1707—1778)。林奈系统总结了前人的工作,摒弃了人为分类方法,选择了自然分类法,创造性地提出“双名法”,1735~1768年先后出版了《自然系统》、《植物种志》和《瑞典动物志》等著作,创立了精确、严谨、方便、实用的动植物分类系统。因此林奈被称为18世纪最杰出的科学家之一。但是,从亚里士多德时代到林奈时代的2000多年间,众多博物学家的一个基本观点就是认为各种生物是上帝(神)创造出来的,而不是自然形成的产物。虽然他们的思想受到神创论、物种不变论的束缚,但他们对生物学的发展起到了基石作用。经过他们的努力,建立了以门、纲、目、科、属、种为骨架的生物分类阶元层次系统,这是一个开放的信息存取系统,它的建立为进化论打下了坚实的类群基础,促进了向生物学阶段的过渡步伐。



图1-3 亚里士多德

值得一提的是,到目前为止,该阶段的工作还远没有结束,还有大量的物种没有被发现和记录,特别是昆虫类。另外,生物领域中一个最基本、最重要的分类阶元“种”到现在为止,还没有一个贴切的、能够适用于所有生物类群的概念。例如,古生物的种、单细胞生物的种与高等植物的种和高等动物的种等,虽然都名曰“种”,但其定义、内涵、实质和研究方式等都存在着非常大的差异,这似乎意味着“种”下还应有一个重要的阶元层次,这个层次应该概念明晰、内涵一致,并能适用于各类生物。在“界”的层次上,有两界、三界、五界以及多界系统,那么界以上的层次是什么?到目前为止还没有人深入地探讨过。

概括起来,博物学阶段的哲学指导思想为神创论和物种不变论,带头的学科为分类学(包括植物、动物、微生物分类学),博物学家以大量的野外采集和室内标本整

理定名为主要工作，研究者大部分时间直接与自然界接触，最大的贡献是建立了以门、纲、目、科、属、种为骨架的生物分类阶元层次系统。

二、生物学阶段

分类阶元层次系统的建立为进化论的形成打下了坚实的类群基础。英国科学家达

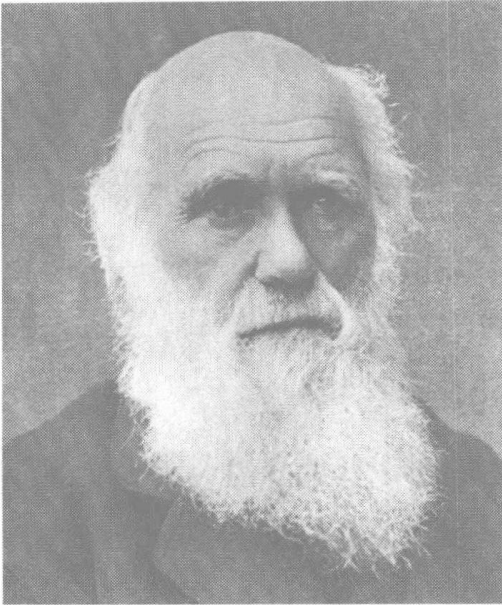


图 1-4 达尔文

尔文 (C. R. Darwin, 1809—1882) 根据前人和自己长期对自然界考察、对家养动物的观察以及大量的古生物学方面的资料，进行了多年综合和分析思考，1859 年出版了《物种起源》，提出了以自然选择为中心的生物进化理论 (图 1-4)。这一理论的确立，使自然界各种生物不但在分类中，也在演化中找到了自己的位置，也就从根基上否定了物种是上帝创造的论点。受“进化论”的指引，物种的形成过程、分类群的排序，以及生物类群之间的演化关系等一系列重要的生物学理论问题受到重视，分类群之间在器官形态、胚胎发育、细胞结构及代谢产物等不同层次水平的比较研究也随之展开，开创了生物学研究的新纪元。

在达尔文发表《物种起源》的同时，奥地利天主教修士孟德尔 (G. Mendel, 1822—1884) 也在进行着他的豌豆杂交实验，他先后处理过 3 万株豌豆，反复进行了统计分析、假设和推理，继《物种起源》出版 7 年之后，他发表了《植物杂交实验》的论文，提出了遗传因子的分离定律和自由组合定律，为遗传学发展奠定了基石。进入 20 世纪，生物学的发展十分迅猛。以美国胚胎学家、遗传学家摩尔根 (T. H. Morgan, 1866—1945) 为代表的一批科学家，用果蝇为材料，进行了大量研究，发现基因是控制性状表达的、位于染色体上的物质，在生殖细胞中复制规律符合孟德尔定律，同时还发现在染色体上，基因有连锁与互换现象发生，由于自然或人为因素，基因可以发生突变，而且突变影响遗传。于是，他们创立了染色体的连锁与互换理论，丰富和发展了孟德尔定律。摩尔根等的研究成果得到很多生物学家、化学家乃至物理学家的高度评价。至此，基因到底是什么物质这一科学问题引起物理学家、生物学家的极大兴趣。摩尔根认为，根据基因的大小和稳定性，很可能是大的有机分子。也有遗传学家推测，这个大分子很可能是蛋白质或是核蛋白分子。从 20 世纪 30 年代末到 40 年代，遗传学与生物化学和微生物学相结合，为探究基因是什么开辟了新的局面。美国遗传学家比德尔 (G. W. Beadle, 1903—1989) 发现基因决定着代谢途径中酶的生成，于 1941 年提出了一个基因一个酶的假说。1946 年和 1947 年，德国物理学家德尔布吕克 (M. Delbrück, 1906—

1981) 和美国细菌学家莱德伯格 (J. Lederberg) 分别发现噬菌体和大肠杆菌在繁殖中都有进行基因交换的现象, 相当于高等动物的有性繁殖, 由此开辟了微生物遗传研究的路径。1944 年美国细菌学家艾弗里 (O. T. Avery, 1877—1955) 发现 DNA 是不同性状的肺炎双球菌之间互变的转化因子, 证明了 DNA 是传递遗传信息的物质, 冲破了过去认为蛋白质是遗传物质的推论, 从而掀起了重新研究 DNA 的分子结构的浪潮; 美籍奥地利生物化学家查哥夫 (E. Chargaf) 于 1952 年发表了两种嘌呤 (A、U) 与两种嘧啶 (C、T) 的分子总数相等的重要发现, 其中 A 同 T、U 同 C 相等。这一结果为 DNA 双螺旋结构中碱基配对的重要原则奠定了基础。1953 年克里克 (F. Crick, 1916—2004) 和沃森 (J. D. Watson, 1928—) 在 *Nature* 杂志上发表了 DNA 双螺旋结构这一划时代的成果, 标志着分子生物学的诞生 (图 1-5)。

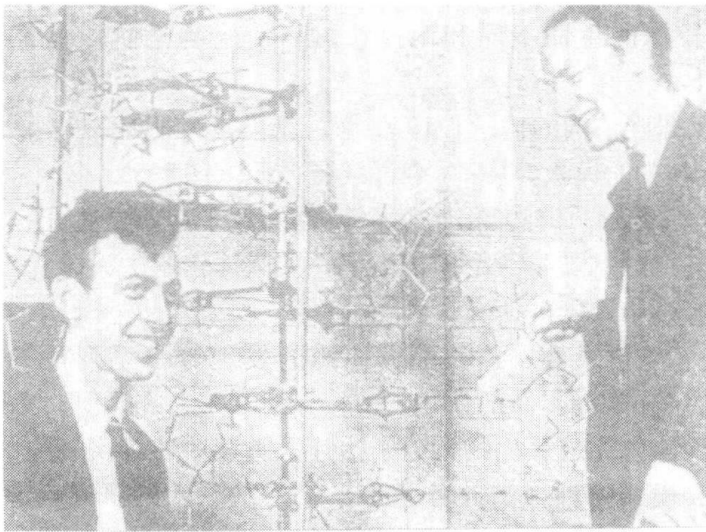


图 1-5 沃森 (左)、克里克 (右) 与 DNA 双螺旋模型

从达尔文发表进化论到克里克和沃森发表 DNA 双螺旋结构分子理论的这段时间, 即为生物学阶段。“进化论”和“本质论”思想所带来的“比较的方法”和“分析还原的方法”深入到各分支学科的科研领域, 加快了生物学分别向纵深和宏观两个方面拓宽, 学科划分细化 (如分类学、形态解剖学、生理学、生物化学、生态学、胚胎学、遗传学、细胞生物学等分支学科)、实验室专业化, 各自独立的实验室建制, 以至到单位体制、科室的建立、研究刊物的分门别类 (如植物分类学报、动物分类学报、昆虫分类学报、植物生理学报、动物生理学报、生物化学学报、植物生态学报、动物生态学报、胚胎学学报、遗传学学报和细胞生物学杂志) 等。与此同时, 一门新的分支学科——生态学也迅速发展起来, 其基本理论框架结构逐步得到确定, 包括个体、居群、群落、生态系统生态学的概念也基本明晰。

概括起来，生物学阶段的哲学指导思想为“进化论”和“本质论”，带头的学科是遗传学和生态学，研究者更多的是禁锢在各自的实验中研究分支学科的科学问题，最大的成就是明晰了生物存在的结构层次系统，即生物是由分子、细胞、组织、器官、个体、居群及物种等结构层次组成，并且以群落、生态系统和生物圈等形式存在。

三、生命科学阶段

生物结构层次的明晰为转入生命科学阶段打下了基础，分子层次特别是遗传基础物质 DNA 双螺旋结构的发现，为揭开生物遗传变异的秘密打开了大门；摩尔根基因学说的创立，加快了人类认识生命本质的速度，使研究工作从静态的描述阶段发展到动态的、以实验为基础的定量水平，进而向不同阶元、不同层次综合研究发展并且直接进入探索埋藏较深的生命本质和调控机理，使生物学阶段悄然地跃入生命科学阶段。

随着 DNA 双螺旋结构的揭示，1954 年，克里克大胆地提出了“中心法则”，认为 DNA 是合成 RNA 的模板，RNA 翻译成蛋白质（图 1-6）。同年，美国物理学家伽莫夫（G. Gamov, 1904—1968）作了一个简单的数学运算，提出三个碱基编码一个氨基酸的假设，三个碱基就是一个遗传密码，三联体密码的设想为破译生命密码指明了方向。科学家经过十余年的研究，到 1967 年，64 个遗传密码子全部得到破译。限制性内切核酸酶、逆转录酶、连接酶、核酶的发现等一系列重大成果，加深了对 DNA 的复制、转录和翻译本质的认识。克隆羊“多利”的降生（图 1-7）、人类基因组测序和框架图构建的完成、生物大分子治疗人类某些遗传疾病药剂的上市、转基因生物培育的成功、模式物种拟南芥分子水平上系统深入的研究、许多重要经济物种基因组测序和框架图构建的顺利完成，以及干细胞应用于临床等，激发了一大批不

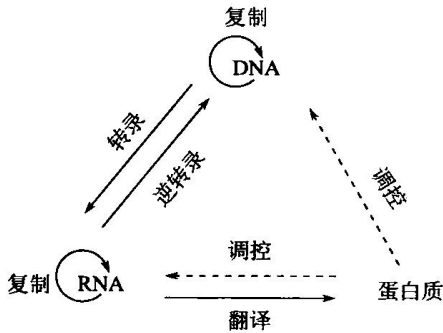


图 1-6 “中心法则”

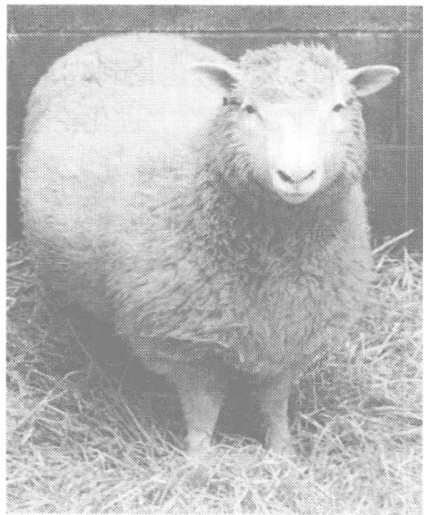


图 1-7 克隆羊“多利”

同学科的科学家参与对生命本质和调控机理的探索研究。生物技术、生物制药和生物能源等领域的研究工作和产品制造正在蓬勃发展，上述领域的理论研究和产品开发也得到了生物界、医疗界以至政府和经济界的大力支持和期盼。现代生物技术、生物制药和生物能源开发利用已经成为国家要优先发展的领域。生物结构层次（生物圈、生态系统、群落、物种、居群、个体、器官、组织、细胞和分子等）和阶元层次（门、纲、目、科、属和种等）在DNA分子水平上实现了连接。生物学阶段的各分支学科，如分类学（包括植物分类或植物系统与演化、动物分类和微生物分类等）、遗传学（包括人类遗传学等）、生理学（包括植物生理学、动物及人体生理学、微生物生理学等）、生态学（包括植物生态学、环境生态学等）、生物化学和生物物理学等，都在DNA分子水平上实现了连接和交错，产生了有明显时代特征的、新的分支学科，如分子系统学、分子遗传学和分子生态学等。多学科、多部门、多领域以至多个国家的科学家进行联合攻关成为了一种必然。基于此，不仅传统专业和学科得到了改造重组，实验室大型化和公用化，实验仪器设备现代化和数字化等成为现实；而且生物技术、生物制药和生物能源等领域的大力发展将会导致经济领域的重大变革和社会发展的速度加快。可以预料，一个包括基因在内的生物生长发育的调控层次系统将被逐步阐明。

在生命科学阶段，有关生物生长发育调控机理的研究已经取得了可喜的成果，但距离对包括基因在内的生物生长发育调控层次系统的阐明还有大量的工作要做。归纳起来，生命科学阶段的哲学指导思想为“系统论”、“控制论”和“中心论”，带头的分支学科是分子生物学和发育生物学，研究工作从静态的描述阶段发展到动态的、以实验为基础的定量水平，进而向不同阶元、不同层次综合研究发展，并且直接进入探索埋藏很深的生命本质和调控机理，动态的调控研究是该阶段研究工作的重中之重。

第三节 生命科学研究方法

生命科学是自然科学的一个学科，自然科学的一般研究方法也适用于生命科学。例如，通过观察、实验等手段研究现象及其因果关系，获得科学事实；通过归纳、演绎等推理方式对事实进行分析思考，形成理性认识；理论必须接受事实检验等。但生命科学研究又有其特殊性，主要表现为：①非生命科学研究的对象（如光、电、声）一般是固定不变的，主要研究某类对象的共性，而生命科学研究的对象（如细胞、组织、生物个体）是活动的、变化的，既要研究共性，又要研究个性；②生物体高度的复杂性和组织性，是非生命系统难以比拟的，因此把握生命系统中某一现象发生的全部条件和原因极其困难；③生物学研究通常难以定量，生物学定律一般只是定性描述；④依据生物学定律作出的预测，一般是概率性的，而不是严格确定的。

就广泛意义的科学方法而言，生命科学研究方法大致可以分为三大类型：对生命现象、生物体的结构和生命过程等进行直接的观察与描述；在实验室人为地对条件进