



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

曹凯鸣 主编

An Introduction
to Biological
Sciences

现 代 生 物 科 学 导 论



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Shengwu
Kexue Daolun

现代生物科学导论

曹凯鸣 主编

参编人员（以姓氏笔画排序）

乔守怡 任文伟 杨 继
杨金水 吴纪华 吴超群
沈中建 明 凤 南 蓬
姚纪花 曹凯鸣

内容提要

本书系编者结合多年教学实践编写而成。全书共 16 章,全面系统地从微观到宏观介绍了生物学各基础学科的基本理论和基础知识,同时关注生物学科的新发展。主要包括:生命的化学基础,细胞的结构与功能,能量与代谢,细胞分裂与繁殖,遗传与基因,生物的多样性,植物和动物的结构与功能,生命的起源与进化,生态与环境等。全书配有大量插图,有利于读者对内容的理解,也可激发阅读兴趣。

本书适于作为高等院校本科生物学公共基础课教材,也可供对生物学感兴趣的读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代生物科学导论/曹凯鸣主编. —北京:高等教育出版社,2011.1

ISBN 978-7-04-029677-8

I. ①现… II. ①曹… III. ①生物学-高等学校-教材
IV. ①Q

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 215396 号

策划编辑	王 莉	责任编辑	张晓晶	特约编辑	杨霁霜	封面设计	张志奇
责任绘图	尹 莉	版式设计	王艳红	责任校对	殷 然	责任印制	张福涛

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 北京市鑫霸印务有限公司

开 本 889×1194 1/16

印 张 32.25

字 数 1 040 000

购书热线 010—58581118

咨询电话 400—810—0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2011 年 1 月第 1 版

印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷

定 价 55.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29677—00

前 言

当本教材的书稿交付以后,全体编写人员都如释重负,我们终于完成了我校谈家桢教授多年前布置的一个任务。早在10年前,谈先生就提出应该将现代生物学导论作为大学本科教育的必修课程,期望新一代的大学生能够知悉、理解、掌握生物学基本知识。未来的生物科学将是科学发展的重要组成部分,生物学的发展需要化学、物理、数学、计算机等多学科的交叉促进,而非生物类的理科也将会出现越来越多与生物学相关的研究新领域。即使是在文科类的教育中,也需要有对生物学的初步了解,才能更深刻认识和珍惜生命与环境的和谐关系。鉴于此,我们编写了这本适用于非生物类本科生的生物学基础教材。本教材集合了生物学的整体内容,从生命的基本形式和组成生命的基本物质开始,逐渐引入到生命的基本单位、生物的类型与环境关系、生命活动的生化特征、遗传物质的结构与功能等不同层面的生物学重要领域,同时提出了生物进化的问题。这是一个认识生命、探究奥秘、诠释密码、解读生物的渐进过程。期望本书能够协助学生实现这样的学习目标。

本书对生物学的整体知识内容搭建了一个基本框架,注意了生物学的科学性、系统性、普及性和前沿性的结合,适用于大学本科低年级学生的生物学基础教育。为了更好地帮助读者了解和掌握每一章节知识的基本内容,本书在每章的前面都附有一段本章节内容的历史沿革,同时也在章节结束时,提供了一个知识小结。《现代生物科学导论》一书涉及的生物学知识丰硕广泛,内容几乎涵盖所有生物学研究领域,鉴于编者学术范畴的局限性,难免会出现一些差错,本书的出版给了我们一个征求意见的机会,故呈献读者以供指正。

编 者

2010年7月于复旦

目 录

第一章 生命科学	1	二、水的电离	20
第一节 生物学是研究生命的科学	1	第四节 碳骨架和生物分子多样性	20
一、什么是生命	1	一、碳构成生物大分子的基本骨架	20
二、结构层次	2	二、官能团决定了有机化合物的性质	21
第二节 科学研究的方法	3	第五节 生物大分子的结构与功能	22
一、生物学是一门重要的科学	3	一、生物大分子	22
二、归纳	3	二、蛋白质对生命的构成和活性是必需的	23
三、演绎	3	三、核酸贮藏和传递遗传信息	28
第三节 如何从事科学研究	3	四、糖类储存能量和提供分子构建材料	32
一、检验假说	4	五、脂质是形形色色的疏水分子	35
二、设立对照	4	六、研究大分子结构的方法	36
三、结果预测	4		
四、发展理论	4	第三章 地球上生命的起源	40
五、科学研究的内容与方法	5	第一节 关于生命起源的不同观点	40
第四节 达尔文的进化论是科学研究的典范	5	一、上帝创造说——神创论	40
一、查理士·达尔文	5	二、外星球起源说	40
二、达尔文的证据	7	三、自然起源学说	40
三、自然选择假说	7	第二节 地球上的生命源自非生命物质	41
四、达尔文之后的进化论:更多的证据	8	一、宇宙大爆炸和地球的起源	41
第五节 生命科学的四大主题	10	二、化学进化产生原始生命	42
一、细胞理论	10	三、地球上的生命在哪里起源	44
二、遗传学	10	四、繁殖和遗传物质的起源——RNA 世界	45
三、生物多样性	11	第三节 细胞的进化	46
四、生物统一性	11	一、原核细胞	47
		二、真核细胞	48
第二章 生命的化学基础	13	第四章 细胞的结构	50
第一节 25 种元素构成了生物体	13	第一节 生物体由细胞组成	50
第二节 原子和分子	14	一、一切生物体都由细胞构成	50
一、原子由亚原子粒子组成	14	二、细胞是生命活动的基本单位	50
二、原子的化学性质是由电子决定的	14	三、细胞的起源与进化	52
三、分子因化学键而维系在一起	14	四、细胞理论	53
四、弱化学键在生命化学中起重要作用	16	五、观察细胞	54
五、化学反应中有化学键的断裂和形成	17	第二节 细胞的共同特点	56
第三节 水是生命的源泉	18	一、具有相同的遗传物质 DNA	56
一、水的极性赋予水独特的性质	18		

二、具有相似的质膜	57	第六章 细胞通讯	108
三、都具有细胞质	57	第一节 细胞的通讯方式	108
四、具有共同的能量代谢途径	57	一、细胞通讯的种类	108
第三节 原核细胞的特点	58	二、细胞通讯与信号转导的进化	110
一、原核细胞的特点	58	第二节 细胞信号转导	111
二、原核细胞的种类	59	一、细胞信号转导的步骤	111
第四节 真核细胞的特点	60	二、信号分子	112
一、细胞膜	61	三、受体	113
二、细胞核	63	四、第二信使	117
三、内膜系统	66	五、磷酸化级联反应	119
四、线粒体与叶绿体	68	六、终效应分子	120
五、非膜结构的细胞器	69	七、细胞信号转导途径网络	120
六、细胞连接	75	第三节 细胞接触通讯	120
第五节 真核细胞的蛋白质分选	76	一、细胞连接依赖的细胞通讯	121
一、蛋白质分选信号	76	二、黏附分子介导的细胞通讯	121
二、细胞中蛋白质的运输方式和途径	77	三、突触	124
三、各类细胞器的蛋白质分选	78	四、细胞与外基质的连接与通讯	124
四、蛋白质分泌途径	79	第四节 植物细胞间通讯	125
第六节 原核细胞的蛋白质转运	79	一、植物细胞间通讯的特点	125
一、信号识别颗粒途径	80	二、植物激素介导的细胞间通讯	125
二、分泌途径依赖的蛋白质转运途径	80	三、胞间连丝介导的通讯	126
三、双精氨酸转运途径	80	第七章 能量与代谢	128
第五章 细胞膜	82	第一节 生命与能量	128
第一节 细胞膜的起源与进化	82	第二节 两个定律控制能量变化	129
一、原始细胞的起源	82	一、热力学第一定律	129
二、细胞膜的起源	83	二、热力学第二定律	129
三、细胞膜的进化	84	第三节 自由能的变化决定化学反应的方向	130
第二节 细胞膜的化学组成	85	第四节 ATP 是能量的流通货币	131
一、细胞膜由双层脂质膜组成	85	第五节 酶是生物催化剂	133
二、细胞膜的蛋白质	87	一、活化能和反应速率	133
三、细胞膜的糖类	89	二、酶是生物催化剂	133
第三节 细胞膜的结构	89	第六节 代谢及其调控	138
一、一个世纪的探索	89	第七节 生物化学途径的进化	139
二、生物膜的不对称性	92	第八章 细胞呼吸捕获化学能	141
三、生物膜的流动性	94	第一节 细胞捕获化学键中的能量	141
第四节 细胞膜的物质转运	96	一、细胞呼吸“燃烧”葡萄糖获得能量	141
一、细胞膜的被动运输	96	二、细胞呼吸中电子从葡萄糖(有机燃料)	
二、细胞膜的主动运输	99	传递到氧气	142
三、胞吞	101	三、电子传递过程中的氧化还原反应释放	
四、胞吐	103	能量并贮藏于 ATP	142
五、原核分泌系统	105		

四、氢载体 NAD^+ 在氧化还原反应中使 电子来回穿梭	142	一、细胞分裂	167
五、氢载体把电子传递到 O_2 逐步释放能量	143	二、有丝分裂过程	168
六、细胞生成 ATP 的两种机制	143	第三节 有性生殖的减数分裂	169
第二节 细胞呼吸的过程	144	一、减数分裂	169
一、糖酵解通过氧化葡萄糖生成丙酮酸 获取化学能	144	二、第一次减数分裂	170
二、丙酮酸氧化脱羧生成乙酰辅酶 A	145	三、第二次减数分裂	171
三、Krebs 循环	146	第四节 动植物有性生殖的配子形成	171
四、电子传递链和氧化磷酸化	147	一、动物的配子形成	171
五、有氧呼吸的产率	148	二、植物的配子形成	172
六、细胞呼吸的调控	149	第五节 细胞分裂周期	172
第三节 发酵使细胞在无氧条件下产生 ATP	150	一、细胞周期	173
一、乙醇发酵	150	二、细胞周期调控	173
二、乳酸发酵	151	三、细胞周期与肿瘤	176
第四节 其他分子的代谢也提供能量	151	第六节 细胞的分化	178
第九章 光合作用	154	一、细胞的分化潜能	178
第一节 对光合作用的认知是科学研究的 范例	154	二、细胞分化的机制	179
第二节 光合作用在叶绿体内进行	155	三、干细胞	180
一、叶绿体的结构	155	第七节 细胞凋亡	182
二、光合色素捕获太阳光中的能量	156	一、细胞凋亡的主要特点	182
三、光合系统	157	二、凋亡的分子机制	184
第三节 光反应将光能转化为化学能	158	第十一章 遗传与基因	187
一、线性非循环电子传递链	158	第一节 遗传	187
二、光反应中 ATP 的化学渗透生成	158	一、孟德尔遗传方式	187
三、循环电子传递链	159	二、单基因遗传和复等位基因	190
第四节 碳反应利用 ATP 和 NADPH 把 CO_2 转化成糖	160	三、基因的连锁与交换	192
一、卡尔文循环	160	四、遗传标记与基因诊断	194
二、光合作用的产物是甘油醛-3-磷酸	161	五、性别决定	195
三、光呼吸消耗 O_2 并释放 CO_2	161	六、伴性遗传	197
四、热带植物用 C_4 途径固定 CO_2	162	第二节 遗传的分子基础——DNA	199
第五节 光合作用的意义	163	一、什么是遗传物质	199
第十章 细胞分裂与繁殖	165	二、DNA 的结构	202
第一节 染色体结构与数量	165	三、DNA 如何复制	206
一、染色体结构	165	四、什么是基因	210
二、染色体数量	167	第三节 基因的结构与信息流	213
第二节 有丝分裂	167	一、中心法则与信息流	213
		二、遗传密码	213
		三、信息流:转录,随后翻译	217
		四、真核生物转录物的剪接加工	221
		五、原核生物和真核生物基因表达的差异	224
		第四节 基因技术	224
		一、DNA 操作与基因克隆	224

二、基因工程的流程	228	第六节 动物界	314
三、生物技术正在掀起一场科技革命	233	一、无体腔的无脊椎动物	314
第五节 基因组	238	二、具有假体腔的无脊椎动物	317
一、遗传图和物理图	238	三、具真体腔的无脊椎动物	318
二、基因组测序	240	四、具脊索的动物	323
三、基因组测序计划	242	第十三章 植物的结构与功能	332
四、基因组学的研究与应用	244	第一节 植物的组织	332
第六节 基因的表达与调控	247	第二节 植物的营养器官	336
一、基因的转录调控	247	一、根的结构与功能	336
二、转录因子如何识别基因表达调控元件	248	二、茎的结构与功能	341
三、原核生物基因转录起始调控	250	三、叶的结构与功能	345
四、真核生物远距离转录调控	252	第三节 植物的生殖器官	347
第七节 发育的细胞机制	257	一、花的形态与结构	347
一、发育是一个有序调控的过程	257	二、种子的结构	349
二、发育模式的决定	261	三、被子植物果实的形态与结构	350
三、同源异形基因与发育模式的调控	263	第十四章 动物的结构与功能	352
四、干细胞与体细胞克隆	265	第一节 动物体的结构与功能相适应	352
第十二章 生物的多样性	269	一、结构与功能相适应是动物体中的普遍现象	352
第一节 病毒	269	二、动物体结构有层次之分	353
一、病毒的特性	269	第二节 消化系统	359
二、亚病毒	275	一、消化系统的类型与适应性	359
三、病毒与人类疾病	277	二、脊椎动物的消化系统	360
第二节 原核生物界	284	第三节 排泄系统	364
一、原核生物细胞的基本特征	284	一、渗透调节	364
二、原核生物的主要类群	287	二、排泄系统的组成与功能	366
三、原核生物与人类生活密切相关	290	第四节 呼吸系统	368
第三节 原生生物界	293	一、气体交换	368
一、变形虫	293	二、呼吸机制与呼吸调控	372
二、草履虫	294	第五节 循环系统	375
三、眼虫	294	一、循环系统与其他组织的密切联系	375
四、衣藻	294	二、人类的心脏和心血管系统	376
五、海带	295	三、循环系统的类型与进化	381
第四节 真菌界	296	第六节 繁殖、生殖系统和胚胎发育	384
一、真菌的基本特性	297	一、动物的无性繁殖和有性生殖	384
二、真菌各类群的主要特征	299	二、人类生殖系统	388
三、真菌与其他生物的共生关系	302	三、受精和胚胎发育	393
第五节 植物界	304	四、辅助生殖技术	396
一、苔藓植物	304	第七节 神经系统	397
二、蕨类植物	306	一、神经系统的结构	398
三、裸子植物	311	二、突触的结构	399
四、被子植物	313		

三、神经冲动	401	一、居群的隔离与分化	428
四、感觉器官	402	二、物种与物种形成	429
第八节 运动系统	405		
一、动物的运动系统	405	第十六章 生态与环境	434
二、骨的结构	406	第一节 生境与生态因子分类	434
三、肌肉的收缩机制	406	一、生境的概念	434
四、神经调控肌肉收缩	410	二、生态因子分类	434
第九节 内分泌系统与动物激素作用	411	三、生物的能量环境和物质环境	435
一、内分泌系统	411	四、生态因子及其效应	436
二、内分泌腺、激素及其主要生理作用	411	五、生态因子作用的一般特征	445
三、激素的作用机制	416	第二节 种群生态学	446
四、内分泌系统的功能调节	418	一、种群生态学的基本特征	446
		二、种群的数量变动与调节	452
第十五章 生物进化	421	三、人类种群的增长现状与发展趋势	453
第一节 生物进化思想的产生和发展	421	第三节 生物群落与生物多样性	458
第二节 生物的遗传与变异	423	一、生物群落的基本概念	458
一、表型可塑性	423	二、生物多样性的保护	465
二、遗传重组	424	第四节 生态系统	474
三、突变	424	一、生态学系统	474
第三节 生物居群的遗传结构与自然选择	425	二、生态系统的概念	475
一、居群的遗传结构	425	三、生态系统的结构和功能	476
二、自然选择及其在生物进化中的作用	426	四、生物地球化学循环	480
第四节 居群分化与物种形成	428	五、保护生态平衡	486
索引	490		

第一章 生命科学

1831年,一位年轻的自然科学家查理士·达尔文登上了英国皇家海军的“贝格尔”号(Beagle)舰船,开始了为期5年创立自然选择进化理论的航程。自然选择的进化理论是生命科学的基石,是贯穿生命科学所有领域的核心内容。不论在何种生命结构层次,所有生命活动相关机制的形成都与进化有关,只有追踪进化的轨迹才能寻找和揭示生命现象的原因,探讨和解释生命活动的普遍规律。了解达尔文创建生命进化理论的历史是我们探索生命科学的最佳起点。在我们开始接触生物学的具体内容之前,首先让我们花点时间思考什么是生物学以及它的重要性。



第一节 生物学是研究生命的科学

从广义的角度来说,生物学是研究生命规律的科学。生命具有令人惊讶的多姿多彩的形态和表型,而生物学家研究生命的方法也是五花八门:他们或者分析猫头鹰听觉器官的结构及其与猎物定位的关系,或者收集不同地质年代的化石从中寻找生命进化的足迹,或者研究花器官的结构特征与虫媒传粉的联系;他们阅读编码在长链遗传分子中的信息,比较不同个体遗传差异与疾病敏感性的关联,或者比较内啡肽与吗啡的分子构型,解释鸦片成瘾的分子生物学基础。

一、什么是生命

生命会运动,但运动不是生命的主要特征,飞机和汽车也可以运动,但飞机和汽车不能称为生命。生命都会生长,但能生长的物质并不能称为生命,化合物的结晶也可以“生长”,但化合物结晶不是生命。生命有其特定的含义,都具有一些相似的基本的特征:

1. 细胞结构

所有独立生存的生物都由一个或许多个细胞组成。细胞虽然用肉眼很难看见,但都具有基本的生命活性。每个细胞都有一层膜包围,将细胞与外界隔开。细胞是生物最基本的结构单元与功能单位。

2. 有序组成

所有生物都具有高度有序的结构,这些有序的结构与生物活性息息相关。每个人的身体都含有许多不同的细胞,不同的细胞有机地组合在一起,形成可以执行复杂功能的器官。

3. 感应

所有生物都能对外界的或内部的刺激做出相应的反应,植物总是朝着太阳生长,动物饿了就会去寻找食物,宠物见到主人常常摆出友好的姿态。

4. 生长、发育和生殖

所有生物都能生长与繁殖,它们都具有遗传物质可以传递给子代,使后代与亲代保持相同的特征。

5. 利用能量

所有生物都能吸取和利用能量来执行各种生命活动,从食物中获得了能量,鸟儿才能展翅飞翔。

6. 进化适应

所有生物都和其他生物以及环境互动,这些互动的方式影响到生物自身的生存,因而每种生物都会进化以适应

它们生存的环境。

7. 体内稳态

所有生物都必须维持不同于外部环境的相对稳定的内部环境,以便生理生化反应正常进行。生物体内相对稳定的内部环境称为**体内稳态**(homeostasis)。

二、结构层次

生物世界的组成具有连续的层次结构,高一级的层次建立在低一级的层次之上(图 1-1)。如果从最基本的结构出发来观测生命,生命活动的层次主要分为:分子,亚细胞,细胞,组织,器官,器官系统,个体,物种,群落和生态系统,但具有生命特征的层次应从细胞起始。

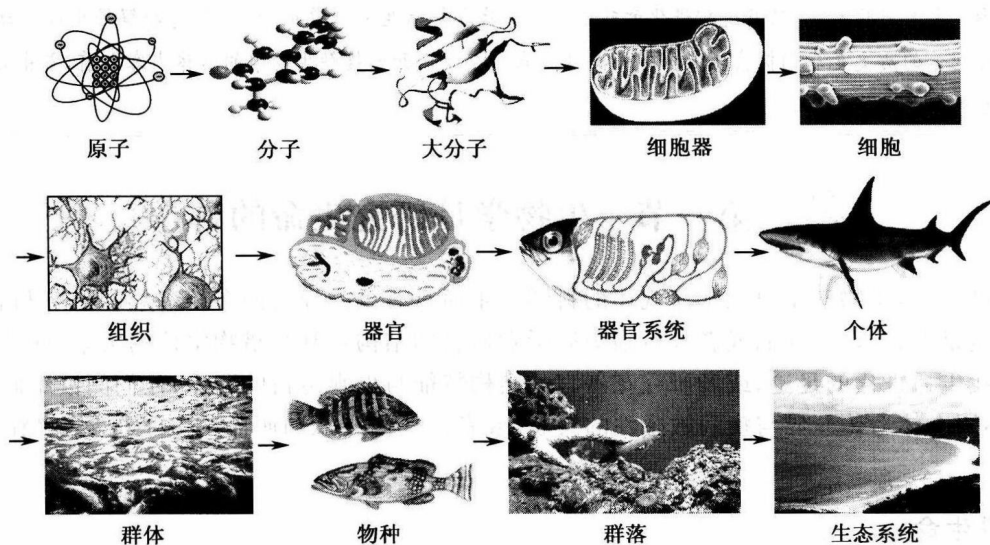


图 1-1 生命活动的结构层次 生命具有高度有序的结构层次——从简单小分子到复杂大分子,从单个细胞到多细胞组织器官,从个体及群落到生态系统。生命的每一结构层次都有其代表性特征,在生物学功能的不同层面具有特定意义

1. 细胞水平

凡是独立生长与发育的生命都具有细胞结构,这是生命最显著的特征之一。所有细菌都是单细胞生物,但它们缺少**细胞核**(nucleus),因而称为原核生物。绝大多数动物和植物都是多细胞生物,它们不仅含有细胞核,而且细胞内还有许多执行特定功能的结构——**细胞器**(organelle),因而称为真核生物。病毒虽然具有某些典型的生命特征,但它们不能独立生存,必须寄生于宿主细胞才能生长与繁殖。因此细胞是独立生命最基本的结构单元和功能单位。

2. 器官水平

在多细胞生物中以细胞为基础逐级组成 3 个不同层次的结构。最基本层次的结构为组织,这是由相似的细胞群体构成的功能单位。在组织的基础上再聚集形成**器官**(organ),是生物个体的结构成分。器官一般由几种不同的组织形成,是生物体内部在结构与功能上具有一致性的单元,例如人的大脑由神经组织、结缔组织和血管组成,结缔组织和血管可为大脑提供保护层以及供给血液。第三层次结构是**器官系统**(organ system),由不同的器官组成,如神经系统由感应器官、大脑、脊髓和神经元等组成。

3. 群体水平

在生物界以个体为基础形成了几种不同层次的结构。最基本层次的结构为**群体**(population),这是生活在同一地域属于同一**物种**(species)的一群个体,它们中的成员外表相似,可以彼此交配繁殖。生物世界中更加高级层次的结构为**生物群落**(biological community),由生活在同一地域不同物种的所有群体组成。生物世界的最高层次的结构称为**生态系统**(ecosystem),由生物群落和它们所居住的栖息地构成,例如一个山地的土壤和水源与山地草场

上栖息的生物群落之间会以多种重要的方式彼此互动。

4. 涌现特征

生命世界中每出现一个较高层次的结构都会产生一些新的特征,这些特征产生于低一个层次组成元素之间的互动,称为**涌现(emergence)**。涌现特征主要表现为整体不等于部分相加,即不能通过简单的部分相加的办法来预测整体的结构特征和活动规律。例如高等动物细胞和低等动物细胞在形态上基本相同,但仅观测细胞的形态无法预测蜜蜂和狮子行为上的差别。在不同的生长发育时期,细胞的命运随着细胞成分的改变而发生结构与功能的分化,这是一种动态的涌现特征。在生命世界中,涌现特征无处不在,是生命领域最为精彩也最令人感到困惑的现象。



第二节 科学研究的方法

一、生物学是一门重要的科学

科学是一种系统性的知识,是对事物进行研究和验证后所确定的普遍性原理和规律。生物学是自然科学中最成功的科学之一,生物学极大地改变了我们每天的生活,也将改变我们未来的生活。生物学是一门极具魅力而又十分重要的科学,生物学家正在研究对人类的生活具有重大影响的生物学问题,如世界人口的迅速增长,影响人类健康的癌症和艾滋病等。生物学家所获取的知识提供了解决上述各种问题的基础,使人类能够更有效而合理地管理世界有限的生物资源,预防和治疗各种疾病,提高人类的生活质量。

科学家从事科学研究最常用的思维方式有两种:**归纳(inductive reasoning)**与**演绎(deductive reasoning)**。

二、归纳

归纳的思维特点是从特殊到一般,即根据某些个例所具有的特征推导某类事物具有的一般性原理。例如,猫有体毛,狗也有体毛,因为猫和狗都是哺乳动物,由此可以推测所有哺乳动物都有体毛。这一结论是否正确,可以通过其他的观测进一步检验。

科学家所从事的工作就是认真检测个别的现象和事例,从中发现一般性原理,并进一步通过其他事例的研究确定一般性原理的普遍性。归纳法对欧洲自然科学的发展起了重要作用,牛顿从苹果落地意识到一个普遍规律:所有物体落地时的方向都是朝着地球中心;门捷列夫从元素的周期性排列预测出不同元素的化学性质。

三、演绎

演绎是由一般到特殊的认知过程,在逻辑上与归纳正相反。演绎是根据某类事物或事件一般性原理推测某个具体事物或事件的性质或结局,是人类认识世界的主要方法之一,是检验一般性原理不可或缺的步骤。大约 2 200 年前,希腊学者 Eratosthenes 即采用欧几里得几何学原理推导并精确计算出地球的圆周长,这是科学研究中根据一般性原理分析某一特殊案例获得准确结果的成功事例。这一方法已在自然科学和社会科学的研究中普遍采用,生物分类学家可以根据物种分类的标准从采集的生物样品所具有的特征来确定此样品的类别。



第三节 如何从事科学研究

科学家在确定哪些原理假说具有真实性之前往往有多种可能的选择,他们是如何从事这一工作的呢?在对某一特定科学领域的事例进行仔细地观测和调查之后,科学家即可提出某种假说,它是对所观测事物现象的可能解释。假说仅仅是一种不成熟的看法,还没有获得进一步实验结果的支持,由于这些假说适合所观测的现象,因而是有价值的。通常科学家必须对不同的假说进行系统检验,如果这些假说与实验观测的结果是不相符的,那么它们就会被否定。

一、检验假说

实验是检验假说正确与否的主要方法,假定你现在正在一间黑暗的屋子里,为了说明房间为什么是黑暗的,你可以提出几种解释:第一种解释是因为房间的电灯关闭了;第二种解释是因为灯泡烧坏了。为了判断这两种假设哪一种是正确的,你可以设计专门的实验进行检测,例如,你可以将电灯的开关换一个位置,如果灯光还是不行,那就说明第一个假设是错误的,一定是其他原因造成了房间的黑暗。请注意,像上述这样的实验并非确定哪个假设是对的,它只是表明其中某个假设是错误的。成功的实验必须提出确切的证据表明某个或某些假设正确与否。

自然界中有些生物在形态、行为等特征上会模拟另一种生物,这一现象称为拟态(mimicry)。生物学家猜测拟态的作用是为了迷惑天敌,是一种生态适应。如雪蝶的翅膀从背后看很像它的天敌跳蛛腿的形态,这种模仿可能有利于雪蝶逃避跳蛛的伤害。这一假说可以通过实验进行检测:将雪蝶的翅膀涂上黑色消除其伪装的花纹,结果雪蝶被捕食的概率大大增加(图 1-2),证明拟态生物学功能的假说是正确的。

在本书中你将会发现许多已经经历过反复的实验验证的假说,也会见到许多仍在经历实验验证的假说。许多假说在被一些实验确证之后,又被新的实验结果推翻并进一步修正。生物学和其他科学一样,始终处在不断的更新过程中,新的想法不断涌现,旧的观点不断被取代或修正。

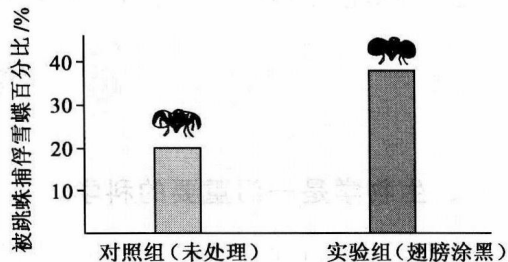


图 1-2 雪蝶拟态假说的验证 将雪蝶和它的天敌放在同一个容器内,自然状态的雪蝶较之被黑色涂抹而消除翅膀花纹的雪蝶更不易被跳蛛识别,前者被捕食的概率远低于后者

二、设立对照

在科学研究中研究人员的兴趣往往在于发现哪些因素或条件会对事物产生影响,这些因素或条件又常常是可变的。为了评价某个因素与不同假说的关系,通常必须使其他有关因素保持不变。因此在从事某一假说的验证实验时,必须同时进行两项平行实验:在第一项实验中改变某个因素的状态,其他的因素保持不变;在第二项实验中,所有的相关因素都保持不变。上述两项实验的差别只涉及一个因素的改变,因此两项实验结果如有差别只与该因素的变动有关。实验科学所面临的大量挑战主要在于设计合理的对照实验,它可将某个因素与其他因素分开,确定单个因素与结果之间的因果关系。

三、结果预测

一个成功的科学假说既有合理的一面,又有实用的一面,它可以告诉你想知道的某些内容,同时也能据此找到一些方法检测假说是否正确并对实验结果进行预测。如果实验结果与假说不一致,那么所提出的假说就必须抛弃;如果实验结果与假说一致,那么这个假说就获得了证据支持。根据假说做出的预测得到的实验支持越多,说明假说的可靠性越高。例如爱因斯坦的相对论开始时只是勉强被接受,因为当时还没有任何人能设计一个实验证明该假说是否正确。根据爱因斯坦的相对论可以预测:当光线从太阳周围穿越时将会发生弯曲。在发生日全食时对这一预测进行了检测,证实当太阳背后的恒星发出的光线穿越太阳时果然发生了弯曲。“光线弯曲”的实验结果为相对论假说提供了强有力的支持,使人们相信该假说的可靠性。

四、发展理论

科学上的理论有两种含义:一种是将理论视为根据一些普遍规律对某些自然现象提出的解释,例如我们可将牛顿提出的有关引力的规律称为“引力理论”。这类理论通常是将一些原来认为无关的概念联系在一起,并对不同的现象进行统一的解释,牛顿的引力理论对物体落地和地球围绕太阳运行给出了相同的解释。另一种理论的含义是指一些相互关联概念的主体部分,它已获得科学推理和实验检测的支持,可以解释某些研究领域所观

测到的事实。这种理论为构建知识主体提供了不可或缺的框架,如物理学中涉及基本粒子的夸克理论,是将有关宇宙本质的许多假说整合在一起,对实验结果进行解释。这类理论可以作为研究指南,用于进一步提出问题和设计实验。

理论是科学的坚实基础,是我们最可确信的依据。一般文献中所涉及的“理论”则不同,这类“理论”是有缺陷的知识,或者只是一些猜测。在本书中所提到的理论都是指在严格科学意义上被广泛接受的一般性原理,是知识的主体。

有些评论家将进化论视为“只是一种理论”,这是一种误导。现有的进化假说是由许多综合性的证据所支持的科学的事实,现代进化论是一个复杂的知识体系,它的重要性远远超出进化事实本身。进化理论的众多分支已渗透到生物学的所有领域,它提供了一个概念性的框架,从而使生物学成为一门统一的科学。

五、科学研究的内容与方法

科学的研究方法是由许多有序的并具有内在逻辑关系的步骤所组成,每前进一步都是在两种相互排斥的可能性中做出选择,这是一个试错(trial-and-error)的检验过程,最终使科学家能穿越迷宫,到达目的地。成功的科学家总是能充分利用已有的知识,提出合理的设想,设计科学的实验,获得可信的结果。

基础研究和应用研究 根据科学研究的目的一般可将科学活动划分为两大范畴:基础研究和应用研究。基础研究往往着重于事物运动的基本规律,由基础研究所获得的大量信息可增加已有科学知识的容量和内涵。如基础生物学家会关注一个细胞中含有哪些有机分子以及它们的组成比例,而动物解剖学家则会测量不同种类老虎的牙齿大小的差别。基础理论研究可为应用研究提供科学依据,为技术的创新指明方向和途径,例如根据人体生理生化的代谢规律,可设计特别的药物分子治疗某些疾病。

撰写论文 在科学研究过程中有一个不可或缺的步骤,即将实验结果进行总结和撰写论文。完整的科学论文应该包括实验目的,实验方法和材料,实验结果及分析。撰写的科学论文投递到科学刊物后,必须经过同行专家严格的评阅,论文的评阅过程称为审稿,这是现代科学得以迅速而健康发展的重要的助推器,可以促使研究人员谨慎地工作,仔细地观测,深入地分析,准确地判断。当某篇论文宣称有重大发现时,其他科学家就会重复这一实验,以求得到相同的结果;如果论文公布的实验结果无法重复,那么这一发现就会被否定。

自20世纪50年代以来,重大的科学发现如雨后春笋般出现,大量的科学期刊像潮水般涌现。除了像 Science 和 Nature 这样涵盖各门学科分支的顶级刊物继续引领当代科学潮流之外,一些专业期刊如 Mutation Research, Genome Research, Biotechnology, Synapse, Plant Cell 和 Glycoconjugate Journal 等也不断出现在读者的面前。



第四节 达尔文的进化论是科学研究的典范

达尔文的进化论解释了地球上现存的和曾经出现过的生物是如何变异从而产生出纷繁异样、千姿百态的类型。达尔文的科学生涯生动地表明,一位成功的科学家应该如何从实际出发,通过调查研究,收集和分析原始资料并进行深入的思考,然后提出能被人们广泛接受的假说,他为后世的科学家树立了一个杰出的榜样。

一、查理士·达尔文

查理士·达尔文(Charles Robert Darwin)(1809—1882)(图1-3),出生于英国一个世代为医的家庭。1831年,达尔文从剑桥大学毕业,同年12月,英国政府组织了“贝格尔”号军舰环球考察,达尔文以“博物学家”身份自费搭船从事考察活动。“贝格尔”号军舰穿越大西洋和太平洋,途经澳大利亚,越过印度洋,绕过好望角,前后历时5年(图1-4,图1-5)。1836年10月达尔文随船返回英国,1842年,达尔文写下了《物种起源》的简要提纲。1859年11月达尔文终于完成科学巨著《物种起源》。达尔文的进化论不仅在学术界产生了深远的影响,而且极大地促进了社会科学的发展。

在达尔文时代,大多数人相信地球上所有的生命都是按照上帝的旨意创造的,每个物种都是特别安排的,从开

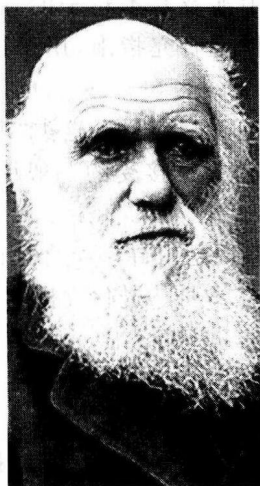


图 1-3 查理士·达尔文 这是一张近期发现的拍摄于 1881 年的照片,即达尔文去世前一年,因此这是这位伟大的生物学家生前所拍摄的最后一张照片

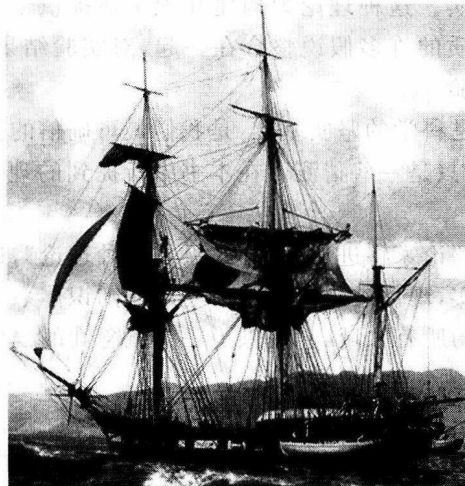


图 1-4 从南美洲南海岸出发的“贝格尔”号 (复制品) 1831 年,22 岁的英国著名自然科学家查理士·达尔文搭乘“贝格尔”号远航



图 1-5 达尔文的“贝格尔”号环球航程 达尔文 5 年的航程中大多数时间都用于考察生长在南美海岸及附近岛屿上的各种生物。达尔文对加拉帕戈斯群岛上动物的研究对其自然选择的进化论思想的产生起了关键作用

始出现就一直没有改变。与这种“特创论”不同的是,许多早期的哲学家认为地球上的生命在历史的长河中已经出现了很多变异。达尔文提出的进化论以雄辩的事实证明,生命在不断地变异并产生新的物种,进化的动力在于自然选择。

在 5 年的环球考察中,达尔文有机会接触和观测到大量生长在大陆、岛屿和海洋中的动植物。在南美洲的南端,达尔文发现了已经灭绝的大型哺乳动物的化石;在南美洲西海岸,达尔文观测到许多在形态上各不相同但又彼此相似的生物类群。这些事实和生物样品对达尔文关于地球上生命本质的认识产生了深刻的影响。

27 岁的达尔文完成环球考察回到英国之后,开始了长期的研究与思考。在接下来的 10 年中,达尔文发表了许多论著,其中包括南美洲的地理学和珊瑚礁的形成。随后达尔文又花了 8 年时间研究一种称为藤壶(barnacle)的小型甲壳动物并出版了 4 本著作来描绘藤壶的分类和自然史。1842 年达尔文和他的家人从伦敦搬到他的家乡肯特,在这个幽静美丽的小城,达尔文继续从事研究和写作,度过了他的后 40 年。

二、达尔文的证据

在达尔文生活的时代,人们普遍相信地球存在的历史只有数千年,这种观念阻碍了任何进化理论的诞生与发展。1830 年,Charles Lyell 在其撰写的巨著《地质学原理》(Principles of Geology)一书中,首次讲述了地球上古老动植物的历史变迁。在“贝格尔”号军舰上的达尔文如饥似渴地阅读这部巨著,书中所描述的世界正是达尔文将在“贝格尔”号航程上所见到的那个真实的世界。

在“贝格尔”号军舰环球航行的初期,达尔文仍然相信“物种不变”的观点。两年后,达尔文开始认真地思考物种是否真地一成不变,因为他发现了许多与“物种不变”观点相矛盾的现象:在南美洲的南部达尔文找到了一种化石,它与当时生活在同一地区的犰狳(armadillo)极其相似,如果现存的犰狳不是来自其已经灭绝的祖先,这种现象是无法理解的。

在环球考察中,达尔文多次发现相似的物种因生长的地区不同而略有差异的现象,这种地理分布的特点使他认识到:生物可能随着迁徙地环境的改变而逐渐产生变异。在南美洲加拉帕戈斯群岛不同的岛屿上生活着多达 14 种形态各异但彼此相似的鸣雀,特别是它们喙的结构及取食习性方面的差异引起了达尔文的极大兴趣。达尔文认为,这些鸣雀只能来自一个共同的祖先,它们可能是几百万年前被风暴从大陆刮到不同岛屿上的同一鸣雀的后裔,为了适应新的生态环境,它们分别进化出不同的取食习性和特别的喙结构(图 1-6)。

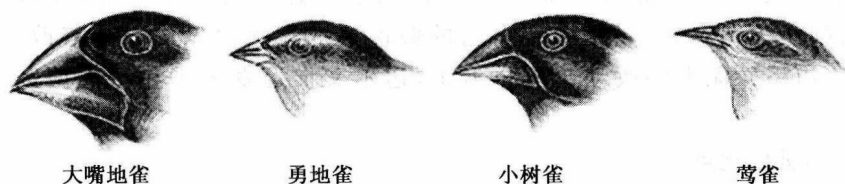


图 1-6 加拉帕戈斯群岛上的 4 种鸣雀 在加拉帕戈斯群岛上达尔文发现了 4 种不同的鸣雀,它们的主要差别在于喙形和取食习惯。这 4 种鸣雀的食物完全不同,由此达尔文推测不同喙形的产生是这 4 种鸣雀对其栖息地所提供食物的适应性进化

特别使达尔文感到惊讶的是,在南美洲一些年青的火山岛上生长的动植物与近邻海岸上生长的动植物非常相似,但在具有相似气候的非洲海岸却找不到类似的生物,显然生长在这些海岛上的动植物与邻近南美洲海岸生长的同类物种有传承的亲缘关系。

三、自然选择假说

观测到进化的结果是一回事,得出进化的结论是另一回事,达尔文的伟大贡献在于他根据观测到的进化事实提出了进化假说。

1. 达尔文与马尔萨斯

促使达尔文产生进化思想的一个关键因素是马尔萨斯(Thomas Malthus)的《人口原理》(An Essay on the Principle of Population)一书。在这本书中,马尔萨斯提出了人口数量以几何级数增长,食物总量以算术级数增长的观点。几何级数是指按指数方式增加的数字,如 2,4,8,16,32,...中,后一个数是前一个数的两倍;算术级数是逐个添加,如 1,3,5,7,9,...中,后一个数是在前一个数的基础上增加 2。

动植物个体的增加也是按几何级数倍增的,如果没有限制因素,在很短的时间内,动植物个体的数量就会覆盖整个地球表面。但实际上某一物种个体的数量在上下代之间总是在一个相对稳定的范围内波动,原因就是死亡会

淘汰大量的个体。马尔萨斯人口论为达尔文创立以自然选择为核心的进化论提供了至关重要的启示。

按照马尔萨斯提出的观点,达尔文想到了种群繁殖的现象。虽然每个物种都有产生大量子代个体的趋势,但实际上只有很少的子代个体能存活,这些存活的个体随后再进一步繁殖后代。根据在“贝格尔”号军舰环球考察中观测到的现象以及在家养动物驯化中所做的试验,达尔文发现了其中的重要联系:那些在体质上、行为上或者其他方面具有明显优点的个体将会在子代群体中保留下来,有更多的机会将它们所具有的优良特性传给下一代;这些有明显优势的个体将在种群中逐步增加它们的比例,从而使整个群体的结构发生改变。达尔文将这一过程称为选择,促使选择的驱动力就是**适者生存**(survival of the fittest)。

2. 自然选择

达尔文在《物种起源》一书中详细讨论了家养动物在**人工选择**(artificial selection)下的性状变异,他发现动物育种家选育的品系之间的差异远比野生种群之间的差异大,例如,家鸽的品种远大于世界上所有已发现的野生鸽的种群数。达尔文由此推测,类似人工选择的事件一定也在野生鸽种群中发生过,并将这种事件称为**自然选择**(natural selection)。

达尔文的理论综合了生物进化的假说、自然选择的过程以及大量有关进化和自然选择的证据,对生物多样性和不同地区种群之间的差异给出了一个简洁明了的解释。由于所处生存条件的差异,位于不同生态环境的物种在自然选择的作用下演变出许多在生理、形态和行为上彼此各不相同的特征。

3. 达尔文推迟发表进化论的原因

1842年达尔文草拟的文稿已经整体上表述了有关通过自然选择促使物种进化的观点,令人费解的是达尔文将他在1842年写成的文稿仅仅给过几位最亲近的科学家看过,此后就将它关在抽屉里,一放就是18年,然后开始转向其他课题的研究。尽管这篇文稿论述周密详尽,无人知晓为何达尔文当初不公开发表他的文稿。有些历史学家认为,达尔文可能担心他的进化论观点会遭到公开地批评,并可能引发一场激烈的争论;其他一些历史学家则认为,达尔文只是希望自己的假说更加完美而做进一步修改。不过实际上,公开发表的文稿相对于原来的初稿并无大的改动。迄今为止,达尔文推迟发表进化论的原因仍然是科学界未能明了的谜团。

4. 华莱士具有相同的进化观点

1858年达尔文收到一篇论文,撰写这篇论文的是英国一位年青的博物学家华莱士(Alfred Russel Wallace)(1823—1913)。这篇论文促使达尔文下决心将自己的假说公之于众。在华莱士这篇论文中,他独立地提出了与达尔文相同的进化假说。无独有偶,华莱士也同样受到马尔萨斯发表的一篇论文的影响。华莱士的朋友知道达尔文的研究工作,因而鼓励华莱士与达尔文联系。达尔文收到华莱士的论文后立即告诉了他的好朋友地质学家赖尔,在赖尔和胡克的安排下于1858年7月1日在伦敦召开的林奈学会特别会议上由大会秘书宣读了达尔文和华莱士的进化论学说,但达尔文和华莱士均未出席本次会议。随后达尔文将他在1842年撰写的文稿进一步扩充,最终完成了《物种起源》这部巨著。

5. 达尔文的进化论

达尔文的《物种起源》一书于1860年正式出版,出版后立即引起了轰动。达尔文的进化论很容易让人联想到人类和灵长类应该来自同一个祖先,对此人们感到震惊与困惑。虽然达尔文在书中并未讨论人类的进化问题,但书中的观点可以直接引申出这一结论。在后来发表的另一部著作《人类的起源》(Descent of Man)中,达尔文明确提出人类和现存的灵长类具有共同的祖先。虽然人们早已知道在许多特征上人类与灵长类非常相似,但对许多人来说仍然难以接受人类与灵长类之间存在直接亲缘关系的结论。由于达尔文关于自然选择的进化论具有很强的说服力,因此在18世纪60年代英国的绝大多数知识阶层都接受了达尔文的进化论。

四、达尔文之后的进化论:更多的证据

自1882年达尔文逝世之后,支持达尔文进化论的证据日益增多,有关生命如何进化的机制取得了一系列的重大进展,但达尔文进化论的框架并无重大改变。