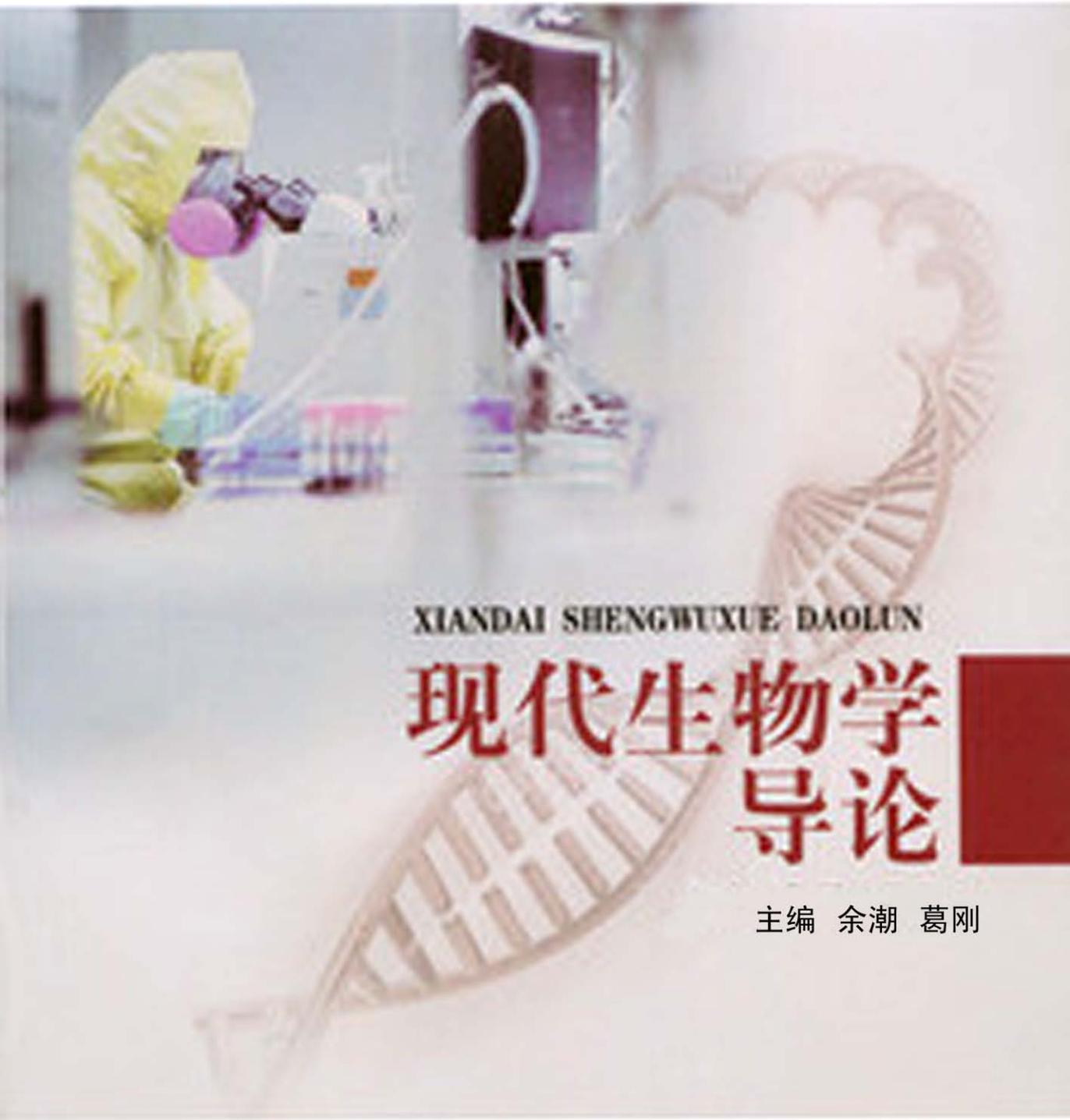




二十一世纪普通高等教育规划教材



XIANDAI SHENGWUXUE DAOLUN

# 现代生物学 导论

主编 余潮 葛刚

 江西高校出版社

# 现代生物学导论

主 编 余 潮 葛 刚

江西高校出版社

## 图书在版编目(C I P)数据

现代生物学导论/余潮,葛刚主编. —南昌:江西高校出版社,2012

ISBN 978 - 7 - 5493 - 0584 - 1

I. ①现... II. ①余... ②葛... III. ①生物学 - 高等教育 - 自学考试 - 自学参考资料 IV. ①Q

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 013142 号

出版发行	江西高校出版社
社 址	江西省南昌市洪都北大道 96 号
邮 政 编 码	330046
总编室电话	(0791) 88504319
销 售 电 话	(0791) 88511423
网 址	www. juacp. com
印 刷	江西教育印务实业有限公司
照 排	江西太元科技有限公司照排部
经 销	各地新华书店
开 本	787mm × 1092mm 1/16
印 张	14.75
字 数	360 千字
版 次	2012 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
印 数	1 ~ 2000 册
书 号	ISBN 978 - 7 - 5493 - 0584 - 1
定 价	29.80 元

赣版权登字 - 07 - 2012 - 50

版权所有 侵权必究

# 前 言

生命科学是研究生命现象的本质并探索其规律的科学。20 世纪后半叶,生命科学迅猛发展,其理论成就为自然科学和社会发展作出了巨大的贡献。现代生物学不仅在生长、发育、遗传、进化等基本生命现象的研究上已深入到分子水平,取得举世瞩目的成就,而且在对脑功能、感觉和认知等高级复杂系统的活动与功能的研究方面也取得了重大进展。生物科学与生物技术的发展还将直接关系到人类所面临的粮食、医药、人口、能源和环境等重大问题的解决。基因工程、蛋白质工程、微生物工程、细胞工程、酶工程等高新生物技术已成为推动世界新技术革命的重要力量。基因药物、基因治疗、转基因作物等一大批高科技含量的商品开始在市场显露头角,并产生了巨大的社会效益和商业价值,生物技术产业已逐步成为社会经济发展中的支柱产业。

正是由于基因组计划的进展、克隆技术的突破,基因工程创造的生物学成果不断涌现,加之数学、物理、化学、工程学等学科与生物学相交叉并引发了科学研究新的生长点。同时,也由于地球上物种的急速消亡,人类生存环境的逐步恶化,人类可用资源的日渐衰竭,人类健康日益面临挑战,使人类逐渐认识到生物科学不可估量的发展前景和忽视生物科学引发的潜在危机,促使社会逐渐聚焦到生物科学领域中来,广泛而深入地开展生物学教育成为教育界的普遍共识。《现代生物学导论》已成为高等教育中重要的基础性通识教育课程。

作为生物科学公共课教材,我们在编写过程中,力求简明扼要,通俗易懂,突出重点,便于学生自主学习,并引用了大量的实例和插图,希望能帮助学生更好地理解生物学概念,激发学生的学习兴趣。在内容的选择上,充分体现基础与前沿并重、宏观与微观协调、生物科学与生物技术相结合。学生在学习的过程中,要注意掌握生物学的基本概念,了解现代生物学的发展特点和动态,理解生物学的基本思想,综合所学内容促进知识迁移。

参加本教材编写的都是南昌大学长期担任“现代生物学导论”课教学的青年教师,第一章编写者余潮,第二章编写者汪艳潞,第三章编写者邓为科,第四章编写者黎玉,第五章编写者蔡奇英、胡宝庆,第六章编写者余潮、李文卓,第七章编写者刘以珍,第八章编写者万益琴、廖鹏飞,第九章编写者胡蓓娟,第十章编写者龚熹等,全书由余潮、葛刚统稿。在编写出版过程中,得到夏斌教授、邓泽元教授和江西高校出版社的大力支持与悉心指导,还要特别感谢南昌大学教务处的帮助。我们在编写过程中参考了大量相关文献资料,在书后“主要参考文献”中列出,在此对文献作者表示衷心感谢。

由于编者水平和时间有限,书中缺点和错误在所难免,恳请各位同仁和使用本教材的教师与学生提出珍贵的批评、建议与具体修改意见,以利修改完善。

编者

2012 年 1 月于南昌

# 目 录

第一章 生命与生命科学	1
第一节 什么是生命	1
第二节 生命科学发展简史	3
第二章 生命的物质基础	6
第一节 组成生命的元素和化学键	6
第二节 水和无机盐	10
第三节 生物大分子	11
第三章 细胞	28
第一节 细胞的基本概念	28
第二节 细胞的基本结构	31
第三节 生物膜的结构及功能	37
第四节 细胞的生命历程	42
第四章 代谢与能量	52
第一节 新陈代谢概述	52
第二节 生物催化剂——酶	54
第三节 细胞呼吸	60
第四节 光合作用	65
第五章 发育	72
第一节 植物发育	72
第二节 动物发育	88
第三节 干细胞	106
第六章 遗传及其分子基础	112
第一节 遗传基本规律	112
第二节 中心法则	117
第三节 基因表达调控	127
第七章 生命的起源与进化	132
第一节 生命的起源	132
第二节 生命的进化	141
第三节 人类的起源和进化	149

---

第八章 生物与环境	153
第一节 生态学的层次和生态因子	153
第二节 生物多样性	160
第三节 环境保护与可持续发展	170
第九章 重大人类疾病	178
第一节 肿 瘤	178
第二节 高血压	185
第三节 免疫性疾病	187
第四节 代谢类疾病	192
第五节 心理健康与疾病	195
第十章 现代生物技术与人类未来	198
第一节 现代生物技术的含义	198
第二节 基因工程	202
第三节 细胞工程	206
第四节 酶工程	216
第五节 发酵工程和蛋白质工程	218
第六节 生物技术的应用	220
主要参考文献	228

# 第一章 生命与生命科学

## 第一节 什么是生命

什么是生命?日常生活中,人们可以很容易地区分生物与非生物。但是从科学的角度看,这是一个很难准确回答的问题。神创论认为生命是神、上帝创造的。哲学家也一直试图回答这个问题,提出过各种假说与理论,如:机械论,力图用力学规律解释生命的本质;活力论,认为生物体中存在一种激活生命的因素,这种因素被称为活力、生命力;整体论,认为生命与非生命的本质区别在于生命的整体性;还原论,主张生命系统在本质上都可以还原为物理—化学的规律,否认生命运动形式有自己的本质特点。19世纪70年代恩格斯指出“生命是蛋白体的存在方式,这种存在方式本质上就在于这些蛋白体的化学组成部分的不断的自我更新。”这一解释反映了当时自然科学的状况。而一些现代生物学家认为生命是由核酸和蛋白质等物质组成的多分子体系,它具有不断自我更新、繁殖后代以及对外界产生反应的能力。然而,至今还没有一个能为多数科学家所接受的生命的定义。

要区别生命与非生命,首先应该了解生命的基本特征。

### 一、生命的基本单位是细胞

除病毒外,所有生物体都是由细胞组成的。生物有单细胞生物和多细胞生物之分。一般来说,细菌等绝大部分微生物以及原生动植物由一个细胞组成,即单细胞生物,很多单细胞生物经常会聚集成为细胞集落。单细胞生物个体微小,全部生命活动在一个细胞内完成。第一个单细胞生物大约出现在35亿年前。高等植物与高等动物则是多细胞生物。多细胞生物是由多个、分化的细胞组成的生物体,是由一个细胞—通常是受精卵,经过细胞分裂和分化,最后发育成成熟个体。其分化的细胞各有不同的、专门的功能,形成多种多样的组织和器官。在很多分化细胞的相互密切配合下,生物体能完成一系列复杂的生命活动,如免疫等。

细胞可分为两类:原核细胞、真核细胞。原核细胞没有以核膜为界的细胞核,同时也没有核膜和核仁,只有拟核。细胞中央含有核物质(通常是环状DNA分子),呈颗粒状或网状,具有核的功能。原核细胞不进行有丝分裂、减数分裂,细胞结构简单,体积较小,是地球上最早出现的细胞,细菌和蓝藻就是原核细胞。真核细胞具有被核膜包被的真核,可看到核仁。细胞核中具有结构严谨的染色质(细胞分裂过程中浓缩成染色体),能进行有丝分裂。细胞质内膜系统很发达,存在着内质网、高尔基体、线粒体、质体和溶酶体等细胞器,分别行使特异的功能。其原生质也处于流动的状态。

病毒是由核酸分子(DNA或RNA)与蛋白质构成的非细胞形态的营寄生生活的生命体,在自然界分布广泛,可感染细菌、真菌、植物、动物和人,常引起宿主发病。病毒没有核糖体、线粒体等细胞器,完全依赖寄主细胞作为其蛋白质合成、能量产生的机构。因此,病毒在进入寄主细胞前基本不表现出生命特征,只有当其进入寄主细胞后,才能进行一系列生命活动。

## 二、新陈代谢和生长发育

生物体与外界环境之间的物质和能量交换以及生物体内物质和能量的转变过程叫做新陈代谢。它是生物体内全部有序化学变化的总称,这些变化一般都是在酶的催化作用下进行的。

生物体能进行新陈代谢。在新陈代谢的基础上,生物体经历生长发育、衰老死亡的过程。

同化作用,又叫做合成代谢,是指生物体把从外界环境中获取的营养物质转变成自身的组成物质,并且储存能量的过程。根据生物体在同化作用过程中能不能利用无机物制造有机物,新陈代谢可以分为自养型、异养型和兼性营养型三种。自养型生物能直接从外界环境摄取无机物,通过光合作用或化能合成作用,将无机物制造成复杂的有机物,并且储存能量,来维持自身生命活动。植物、藻类、少数细菌属于自养型生物。异养型生物依靠摄取外界环境中现成的有机物来维持自身的生命活动。动物、营腐生或寄生生活的真菌、大多数种类的细菌属于异养型生物。兼性营养型生物在没有有机物的条件下能够利用光能固定二氧化碳并以此合成有机物,满足自己的生长发育需要,在有现成的有机物的时候,这些生物就会利用现成的有机物来满足自己的生长发育的需要,如红螺菌等。

异化作用,又叫做分解代谢,是指生物体把自身的一部分组成物质加以分解,释放出其中的能量,并将分解的终产物排出体外的过程。根据生物体在异化作用过程中对氧的需求情况,新陈代谢的基本类型可以分为需氧型、厌氧型和兼性厌氧型三种。需氧型(有氧呼吸型)生物在异化作用的过程中,必须不断地从外界环境中摄取氧来氧化分解体内的有机物,释放出其中的能量,维持自身各项生命活动的进行。绝大多数动物和植物属于需氧型生物。厌氧型(无氧呼吸型)生物在缺氧的条件下,仍能够将体内的有机物氧化,从中获得维持自身生命活动所需要的能量,如乳酸菌和寄生在动物体内的寄生虫等。兼性厌氧型生物在氧气充足的条件下进行有氧呼吸,把有机物彻底地分解为二氧化碳和水,在缺氧的条件下把有机物不彻底地分解为乳酸或酒精和水,如酵母菌等。

在整个生命历程中,生物体可通过细胞分裂增加细胞数目或增加细胞体积实现生长,再经过性成熟、繁殖后代、衰老直至最终死亡完成发育过程。在生长发育过程中,同化作用和异化作用扮演着重要的作用:在生物体生长发育的早期,同化作用明显强于异化作用,生物体的体型逐渐增大;在生物体生长发育的中期,同化作用与异化作用大体平衡,生物体处于基本稳定的状态;而在生物体生长发育过程的晚期,同化作用小于异化作用,生物体逐渐衰老、死亡。

## 三、繁殖、遗传和变异

繁殖是生物为延续种族所进行的产生后代的生理过程,即生物产生新的个体的过程。生物繁殖包括无性繁殖、有性繁殖等形式。有性繁殖是由雌雄两性生殖细胞结合成受精卵而发育成新个体的生殖方式。无性繁殖是由一个个体不通过两性细胞的结合而产生后代个体的生殖方式。

在繁殖的过程中,生物体世代间相似的现象称为遗传,而子代和亲代以及子代不同个体间存在一定程度差异的现象称为变异。遗传和变异是生物进化的基础:变异是进化的素材,如果没有变异,物种将一成不变,根本谈不上进化;而遗传是进化必要条件,如果没有遗传,物种将无法延续,变异所改变的一些性状也无法保存下去。现代生物学对遗传和变异现象进行了深入的研究,对其探讨已进入分子水平。分子生物学与基因工程的诞生及其发展,使人类拥有了改造物种的能力,我们将在随后的章节中予以阐述。

## 四、应激性和适应性

应激性是指生物对外界各种刺激(如光、温度、声音、食物、化学物质、机械运动、地心引力等)有作出反应的能力。例如,飞蛾看到亮光就会自动朝它飞去,这是飞蛾的趋光性。还有人的膝跳反射,昆虫的趋化性,植物的向重力生长等,都属于应激性的范畴。应激性对调节生物的生命活动、生理行为及适应环境的变化具有重要的意义。

适应性是生物在长期的进化过程中通过自然选择形成的与环境相适合的现象,包括体色、形态、结构、生理功能和行为等各个方面,如保护色、警戒色、拟态等。一些生物体适应环境的行为也属于适应性,如植物的向水性、向肥性、向光性,蒸腾作用过强时的萎蔫现象,动物的各种趋利避害的行为等。

应激性和适应性都是维持生物个体生存所必需的基本特征。应激性主要表现在生物的生命过程和功能上,适应性表现在生物与环境之间的相互关系上。应激性是生物对刺激作出一定反应的特性,适应性是指生物与环境相互适应的现象,两者密不可分。

传统生物学认为,符合以上生命基本特征的就可以被称为生命。然而,随着对生命本质探讨的不断深入,“生命”这一名词被赋予了更多的内涵。人们在思考:人工智能是否是生命?地球是否是个生命?甚至,宇宙是否是个生命?相信生命的定义将伴随着科学的进步和人类对大自然认识的深入而不断发展、变化。

## 第二节 生命科学发展简史

生命科学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。

人类很早就开始认识和研究自然,其中包括对生命现象的研究。在远古时代,人们对生命现象的认识常常是和与疾病斗争、农业牧业生产以及宗教迷信等活动联系在一起。通过这些活动,人们积累着动物、植物和人类自身的解剖、生长、发育和繁殖方面的知识。早在石器时代,原始人就开始栽培植物、驯养动物,并逐渐产生了原始医术。之后,随着生产力的不断发展,人类对生命现象的认识开始逐渐深入。

亚里士多德(公元前384~前322年)是最早开始对生命现象进行专题性研究的科学家之一。他对动物解剖结构、生理习性、胚胎发育和生物类群进行了观察,对几百种动物进行了分类。他将动物分成有血动物和无血动物,又将前者细分成有毛胎生四足类、鸟类、鲸类、鱼类、蛇类、卵生四足类,后者细分成软体类、甲壳类、有壳类、昆虫类,并对一部分动物作了解剖和胚胎发育的观察。他所写的《动物志》等一系列著作,是最早的一批动物学研究成果。狄奥弗拉斯图(公元前372~前287年)是亚里士多德的弟子,他所著的《植物史》与《植物原理》两书奠定了植物学的发展基础。狄奥弗拉斯图认定果实由子房发育而成,并将植物分为木本与草本,而草本又可分为一年生、两年生与多年生,肯定了根是吸收养料的器官,大体解释了年轮形成的原因,讲述了双子叶和单子叶植物在茎、叶和种子方面的区别,记载了几百种植物。他还观察了植物和环境的关系,为现代植物生态学的发展奠定了基础。古罗马医生盖仑(公元129~200年)发展了机体的解剖结构和器官生理学的概念,认为研究和治疗疾病应以解剖学和生理学知识为基础,创立了人体生理解剖学。盖仑去世后,西方进入了漫长的中世纪年代,科学的

发展受到极大的压抑。

中国自古就有神农尝百草的传说。中国古医书《黄帝内经》对人体内脏的部位、大小、长短及功能已有一定认识,指出人体的生理功能与生活条件及精神状态有密切关系。对男女的生长发育过程及生理特征也有描述。北魏时期,农学家贾思勰著《齐民要术》(公元 533 ~ 544 年),系统地总结了 6 世纪以前黄河中下游地区农牧业生产经验、食品的加工与贮藏、野生植物的利用等,包含有丰富的生物学知识。公元 1596 年,李时珍《本草纲目》52 卷刻印出版。它记述了丰富的动植物知识,明确规定部、类、种三级分类程序。分植物为草、谷、菜、果、木五部,分动物为虫、鳞、介、禽、兽、人六部。每部(除人之外)之下又各分若干类,类之下分种。对生物的形态、结构做了详细描述并进行了较准确的分类。但这些研究并没有形成明确的科学体系。

从 15 世纪下半叶到 18 世纪末期是近代生物学发展的第一阶段。1543 年比利时医生维萨里(公元 1514 ~ 1564 年)发表《人体的结构》一书,标志着人体解剖学的建立,并直接推动了以血液循环研究为先导的生理分支学科的形成。1628 年,英国医生哈维(公元 1578 ~ 1657 年)发表了他的名著《心血循环论》,建立了血液循环理论。1665 年,英国物理学家胡克(公元 1635 ~ 1703 年)发现细胞,在他的《显微图谱》中第一次使用“细胞”(Cell)一词。1735 年,瑞典植物学家林奈(公元 1707 ~ 1778 年)出版《自然系统》一书,把自然界的植物、动物、矿物分成纲、目、属、种,首先实现了植物与动物分类范畴的统一,其后又使用了国际化的双名制。1796 年,英国医生琴纳(公元 1749 ~ 1823 年)最先在欧洲采用牛痘接种法防天花,实现了人体的主动免疫,被誉为免疫学之父。1802 年,法国博物学家拉马克(公元 1744 ~ 1829 年)第一次采用“生物学”(Biology)这个术语,并于 1809 年出版《动物哲学》一书,系统地论述了进化思想,认为用进废退和获得性遗传是物种进化的机制。这些都是近代生物学发展第一阶段的代表性人物和成果。

19 世纪的生命科学进入了全面繁荣的时代,近代生物学的主要领域在 19 世纪后都获得了重大进展。1838 ~ 1839 年间德国的植物学家施莱登(公元 1804 ~ 1881 年)和动物学家施旺(公元 1810 ~ 1882 年)提出细胞学说。1857 年,法国微生物学家巴斯德(公元 1822 ~ 1895 年)证实乳酸发酵是由有生命的微生物引起的,他对微生物的类型、习性、营养、繁殖、作用进行了广泛研究,奠定了工业微生物学和医学微生物学的基础,并开创了微生物生理学。1859 年,英国生物学家达尔文(公元 1809 ~ 1882 年)出版《物种起源》这一划时代的著作,提出了生物进化论学说。1865 年,奥地利修道士孟德尔(公元 1822 ~ 1884 年)宣读并于次年发表《植物杂交的试验》论文,报道他通过豌豆杂交试验所发现的两个遗传规律,后被称为遗传学的“孟德尔定律”,这两个定律在 1900 年被再发现。17 世纪建立起来的动物(人体)生理学在俄国生理学家巴甫洛夫(公元 1849 ~ 1936 年)等人的努力下得到飞速发展。

20 世纪的生物学属于现代生物学范畴,始于 1900 年孟德尔定律的再发现过程。生命科学的各个分支学科均取得了突飞猛进的发展,生物学逐步发展为拥有植物学、动物学、生理学、水生生物学、微生物学、神经生物学、遗传学、发育生物学、细胞生物学、生化与分子生物学、生物物理学、生态学等分支学科的大科学。20 世纪生物学发展历史上有许多大事,最有标志性的包括:1953 年,美国遗传学家沃森、英国物理学家克里克(公元 1916 ~ 2004 年)提出 DNA 的双螺旋结构,开创了分子生物学;1972 年,美国生物学家伯格率先完成了世界上第一次成功的 DNA 体外重组实验,开创了基因工程;1990 年,美国国立卫生研究院启动人类基因组计划,2001 年公布了人类基因组图谱及初步分析结果;1996 年,英国生物学家维尔穆特研制出通过无性繁殖产生的新一代克隆羊多莉等。

20 世纪中叶以后,生命科学随着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间的大交汇、大渗透、大综合的局面,由此进入“大科学”发展的历史阶段。在学科交叉融合的过程中,新的分支不断涌现,生物信息学、基因组学、蛋白质组学、RNA 组学等新兴学科兴起和高速发展,使生命科学研究的广度和深度得到了前所未有的拓展。

21 世纪的生命科学将继续在宏观领域和微观领域同时大踏步前行。在宏观领域,生物学家重点关注大陆、海洋、湖泊等大型生态系统乃至整个生物圈范围内物质与能量的流动和循环,注重物种与物种、生物与环境的相互关系,尤其是人类与其他物种、人类与环境的相互关系,保护生物多样性,实现可持续发展。在微观领域,更加深入地探讨核酸、蛋白质等生物大分子发挥作用的分子机理及其相互作用,揭示生物体代谢与调控机制,在此基础上,运用现代生物技术手段,改造生物大分子,使其功能更强大、效率更高,更好地为人类服务。21 世纪的生物学必将取得更辉煌的成就!

#### 思考题:

1. 什么是生命?
2. 生命有哪些基本特征?
3. 什么是生命科学?
4. 生命科学的发展经历了哪几个主要阶段?
5. 你认为 21 世纪的生物学将会怎样发展?

## 第二章 生命的物质基础

### 第一节 组成生命的元素和化学键

地球上的生物种类繁多,大小和形态结构各异,但在化学组成上基本相同,即生命活动有共同的物质基础,而生命现象的表现则是建立在这些物质的化学现象基础上的。

#### 一、组成生命的元素(element)

生物体中分析得到的各种元素,没有一种是无机自然界所没有的,因此可以说生物界与非生物界在物质组成上具有同一性,也就是说生命物质不存在例外于非生命物质的特殊元素。组成细胞及生物体的主要元素有碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、硫(S)、钙(Ca)等,以上7种元素约占细胞总重的99.35%,其中碳、氢、氧、氮这4种元素约占96%。构成人体的主要元素中氧含量最高,约为65%,存在于绝大部分有机化合物中,参与细胞呼吸,也是水的组成元素;碳含量其次,约为18%,通常能与四个其他原子结合,形成有机分子的骨架;再次是氢,含量约为10%,与氧一样存在于绝大部分有机物中,也是水的组成元素,除此之外,氢离子还与电子及能量的转移密切相关。最后是氮,含量约为3%,是蛋白质及核酸的组成元素。其他元素及功能见表2-1。

表2-1 人体中含量较少的元素及其功能

元素名称	化学符号	占人体质量(%)	基本功能
钙	Ca	1.5	骨骼的结构组分;参与肌肉收缩、细胞信号传导、血液凝固及神经冲动过程。
磷	P	1.0	核酸、生物膜的组分;骨骼的结构成分;能量转换过程中的重要物质。
钾	K	0.4	细胞内主要的阳离子,维持离子平衡;在神经冲动传导中起重要作用;影响肌肉收缩。
硫	S	0.3	大部分蛋白质的组分。
钠	Na	0.2	组织液中主要的阳离子,维持离子平衡;在神经冲动传导过程中起重要作用。
镁	Mg	0.1	血液和组织中的必要成分;许多重要酶的激活剂。
氯	Cl	0.1	细胞质与组织液中主要的阴离子;在体液离子平衡中起重要作用。

除了表 2-1 所列出的主要元素外,人体内还含有许多含量低于人体质量 0.01% 的元素,称为微量元素(trace element),如铁(Fe)、碘(I)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、钴(Co)、氟(F)、硼(B)、铬(Cr)、硅(Si)、钒(V)、钼(Mo)、硒(Se)等。组成生物体的元素具有一定的浓度范围,若浓度低于或高于其范围,生命活动便不能正常进行甚至造成中毒或死亡。

## 二、原子的结构

原子是物质的基本单位,原子由原子核(atomic nucleus)及核外电子(electron)组成,原子核又由中子(neutron)和质子(proton)组成。原子核位于原子中心,核外电子在不同的能级及轨道上绕核运行,距核越远速度越快,能量越高。原子核由质子和中子构成,带正电荷,与核外电子所带负电荷总量相等,所以原子是电中性的。质子带正电荷而中子不带电荷。核电荷数等于质子数又等于核外电子数。具有相同核电荷数的同一类原子称为元素。每一种元素的原子核中带有的质子数称作原子序数(atomic number),写在元素符号的左下角,原子序数决定元素的性质。原子核中质子数与中子数之和称为原子质量数(atomic mass number),写在元素符号的左上角。原子序数相同而质量数即中子数不同的原子互为同位素(isotope)。如 ${}^{14}_6\text{C}$ 表示碳原子的原子序数是 6,原子核内有 6 个质子和 8 个中子,与 ${}^{12}_6\text{C}$ (图 2-1)互为同位素。

原子的化学性质很大程度上取决于核外电子的分布和运动状态。科学家通过统计电子在核外空间某单位体积中出现的概率密度,发现它们就好像一团带负电荷的云雾笼罩在原子核的周围,称为电子云(electron cloud)。电子在核外空间运动时 90% 的时间内所存在的特征区域称为原子轨道(atomic orbital)。每一个轨道可最多容纳 2 个电子。电子的能量大小取决于它们所占据的轨道。例如球形 1s 轨道离原子核最近,为原子的第一能级,其上电子所带的能量也最低。如氢原子的单一电子或氢分子的两个电子都在 1s 轨道上。原子的第二能级包括 2s 轨道和 3 个 2p 轨道。4 个轨道能级相同,其中 2s 轨道是直径大于 1s 的球形轨道,3 个 2p 轨道都是呈哑铃形的。每一个 2p 轨道的轴垂直于其他 2 个 2p 轨道的轴,它们分别用  $2p_x$ 、 $2p_y$  和  $2p_z$  来表示(图 2-2)。这里  $x$ 、 $y$ 、 $z$  代表相应的轴。第一能级的 1s 轨道最多可容纳 2 个电子,第二能级的 2s 和 2p 轨道最多容纳 8 个电子。在平面上通常用圆环表示不同能级轨道,第二能级圆环在 1s 轨道外圈,表示其能级高于 1s(图 2-3)。最外层能级轨道上的电子数目对原子的化学性质影响最大。

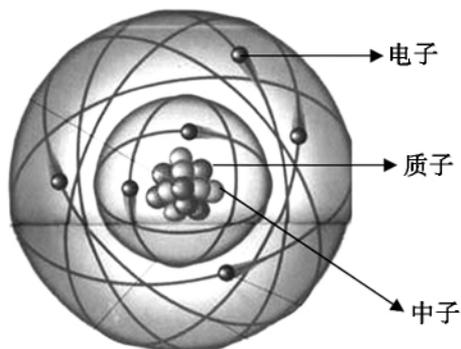


图 2-1  ${}^{12}_6\text{C}$  原子结构

原子核位于原子中心,中央小球代表质子和中子,核外小球代表电子,它们在核外特定轨道上绕核高速运动。

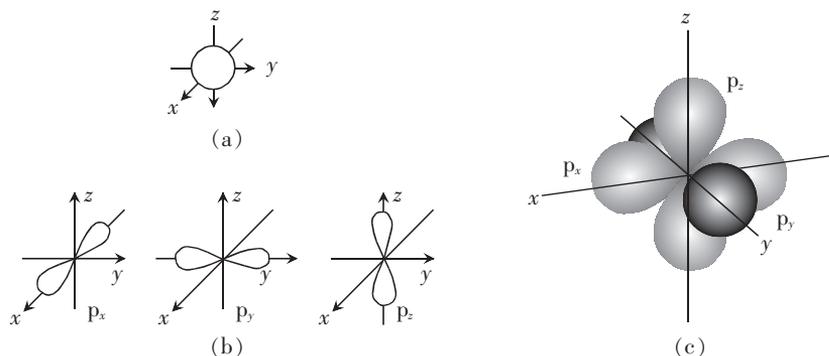


图 2-2 原子轨道

(a) 第一能级水平包括球形的 1s 轨道,最多容纳 2 个电子。(b) 第二能级水平包括 1 个球形的 2s 轨道,3 个哑铃形的 2p 轨道,每个轨道最多可容纳 2 个电子,因此最多能容纳 8 个电子,3 个 2p 轨道轴相互垂直。(c) 2p 轨道的立体图。

电子按照“能级越低越稳定”的原则优先占据能量较低的原子轨道,整个原子能量最低的状态是原子的基态。如果克服核的吸引力将电子向离核更远的能级轨道上移动,将增加电子的势能,离开基态的电子成为高能电子。同理,电子移向低能级的轨道,降低了其势能,以热的形式释放能量或者释放的能量用来做功。例如在光合作用中,阳光使叶绿素分子中的某些电子激发成高能电子,当跃迁的电子返回原能级时所释放的能量可用于光合作用反应中。在细胞内的生化反应过程中,高能电子可以从一个原子或化合物向另一个原子或化合物转移,失去电子被称为氧化(oxidation),得到电子被称为还原(reduction)。

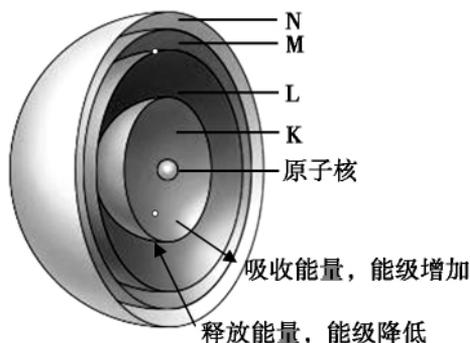


图 2-3 电子的能级

K、L、M、N 由低到高代表电子的能级水平,其中 K 代表第一能级,L 代表第二能级。离核越近,能级水平越低;离核越远,能级水平越高。电子从低能级向高能级移动需吸收能量,从高能级向低能级移动会释放能量。

### 三、原子间的相互作用

原子按照一定的顺序排列,相互影响相互作用而结合在一起形成一个整体,称为分子。使原子结合在一起的吸引力叫化学键(chemical bond),是由原子最外层电子相互作用而成的,原子之间通过化学键形成分子。原子的这种排列顺序和相互关系称为分子结构。分子结构是决定分子性质的重要因素之一。

### 1. 共价键

通过原子之间共用电子形成的吸引作用称为共价键(covalent bond)。共价键是有机化合物分子中最主要的、典型的化学键。1916年, Lewis G. N 指出, 氢原子形成氢分子时, 两个氢原子各提供一个电子, 通过共用一对外层电子, 而结合成共价键。这样在氢分子中两个氢原子都达到电子饱和状态, 具有稳定的电子构型。甲烷分子中的碳原子与四个氢原子形成四个共价键而形成稳定的八电子构型。共用一对电子形成的键称为单键。若共用两对或三对电子则分别构成双键和三键。例如形成氧气的两个氧原子共用两对外层电子, 形成双键。不同原子对形成共价键的电子所产生的吸引力不同, 共用电子更偏向于吸引力大的那一方, 这样的原子之间形成的共价键称为极性共价键(polar covalent bond), 例如 C-H 键。而相同的原子对形成共价键的电子所产生的吸引力相同, 整个分子的正电荷中心和负电荷中心重合, 这样的原子之间形成的共价键为非极性共价键(nonpolar covalent bond), 如 H<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 中的共价键。但含有极性共价键的分子不一定是极性分子, 如甲烷(CH<sub>4</sub>) 分子。因为 C 以正四面体方向与 4 个 H 形成共价键, 4 个 C-H 键极性相互抵消, 整个分子没有了极性, 成为了非极性分子。

### 2. 离子键

原子之间由于正负电荷强烈的静电作用而形成稳定的分子结构, 这种原子间的作用力称为离子键(ionic bond)。而这种正负电荷的形成是由于原子获得或失去外层电子后变成带电荷的粒子, 称为离子(ion)。外层具有 5、6、7 个电子的原子, 有从其他原子获得电子的倾向, 获取电子后, 这些原子的核外电子数大于核内质子数, 即核外负电荷大于核内正电荷, 所以这些原子带负电荷, 为负离子。外层具有 1、2、3 个电子的原子, 倾向于失去电子。失去电子后, 这些原子带正电荷, 为正离子。如 NaCl 分子中 Na<sup>+</sup> 与 Cl<sup>-</sup> 之间形成的离子键就是由于 Na 原子失去一个电子, Cl 原子夺取一个电子, 两离子之间由于正、负电荷的吸引而形成离子键。

## 四、分子间相互作用

除上述共价键和离子键等原子间的相互作用之外, 在分子之间还存在着氢键(hydrogen bond)、范德华力(van der Waals' forces) 和疏水作用(hydrophobic interaction) 等。氢键产生的原因是当氢原子与氧原子或氮原子等电负性很强的原子以共价键结合时, 电子云会偏向电负性较大的原子, 使氢原子介于原子和氢正离子之间, 呈部分正电性状态。这种氢原子往往与其他负电性强的原子间发生静电吸引而形成氢键。氢键可形成于不同分子之间, 例如, 水分子与氨分子之间形成的氢键。也可形成于同一分子之内, 例如构成蛋白质的氨基酸之间羰基和氨基间形成的氢键。氢键与共价键和离子键相比属于一种弱键, 易于形成也易于断开, 并有特定的键长与键角, 在决定大分子的三维结构上起着重要作用。例如维持蛋白质和核酸等的立体结构, 是生命系统中十分重要的化学键。范德华力是分子十分接近(相距 0.3 ~ 0.4nm) 时彼此之间由于电子云的相互作用而产生的吸引力。疏水作用是一些不溶于水的非极性分子基团之间的相互作用。是由于水分子之间形成极多的氢键, 而将非极性分子驱赶到一起, 使不溶于水的非极性分子基团在水中趋向于聚集。所以范德华力和疏水作用都较弱。这种分子之间的相互作用可以是短暂的, 如甲烷分子之间只通过范德华力结合在一起, 因此它的沸点很低, 只有 -161.5℃, 在室温时是气体。范德华力及疏水作用在生命过程中有时也起着重要作用。例如范德华力在非极性分子之间起重要作用; 疏水作用是大分子折叠的主要驱动力, 也是酶与底物结合及其他生命系统分子之间相互关系的重要驱动力。

## 第二节 水和无机盐

### 一、水及其特征

生命起源于水,水是生命不可缺少的物质。水在生物体内含量丰富,例如人体内水分约占人体体重的60%,腔肠动物体内水分高达90%。一般来说,水生生物和幼年的动、植物含水量较多,柔软的组织 and 器官含水量远远高于其他部分。例如人体大脑中水分占70%,眼球玻璃体的含水量达99%,坚硬的骨骼只含水20%~25%。

#### 1. 水分子结构特征

常温常压下水是无色、无味、无臭的透明液体,水分子由一个氧原子和两个氢原子以共价键形成“V”形结构。氧原子有6个最外层电子,其中两个电子分别与两个氢原子的外层电子配对形成两个共价键,此共价键为极性键,因此水分子电荷呈非对称分布,是极性分子。除了同一水分子中的氢、氧原子间能形成共价键外,不同水分子之间的氢、氧原子间还能形成氢键。每一个水分子都能与其他四个水分子通过氢键连接成正四面体的排列形式(图2-4),因此整个水体的分子排列是比较规则的。

#### 2. 水的特性

水的特性是由水分子的极性以及易形成氢键的特点所决定的。由于极性和氢键作用,水分子聚集并规则地排列在一起,使得水在汽化时所需的热量很高,破坏氢键所消耗的能量也很高。所以,水的比热、汽化热和沸点都很高。比热是指使1g物质温度提高1℃所需要的热量。水的比热比任何液体和固体都大,因此水的温度不会因为吸收大量的热而发生明显波动。这对恒温动物体温的维持有重大意义。汽化热是指1g物质由液体转变为气体所需要的热量。水在汽化时可以带走大量的热,例如植物叶片的蒸腾作用及动物出汗,都可使有机体降温。水是良好的溶剂。由于水的极性,使水能很容易地溶解其他极性分子,例如生物体体液、血液中溶解的蛋白质、葡萄糖等。电解质类物质也很容易溶于水中。例如氯化钠结晶在水中,其表面的钠离子和氯离子与水接触,与水分子产生电亲和性,水分子中的氧原子带有负电荷与钠离子粘着,氢原子带有正电荷,与氯离子粘着,水分子将钠离子与氯离子分开,而使氯化钠溶于水中。水不仅是溶剂,本身也是生命过程中某些化学反应的反应物或产物。由于氢键的存在,使水在常温和体温下远未达到沸点,由此保证了生物体中的化学反应能正常进行。氢键使水分子之间形成的强内聚力使水体表面的张力增强。例如加满水的杯子,液面高于杯口却能长时间保持不溢出;一些水生生物可以停留在水面上或在水面上行走等。水的极性使水分子与其他分子表面带电荷的物质之间具有较强的吸附力。内聚力和吸附力形成水的毛细作用。温度降低,水分子运动减慢,有利于分子间氢键的形成。在4℃时,水

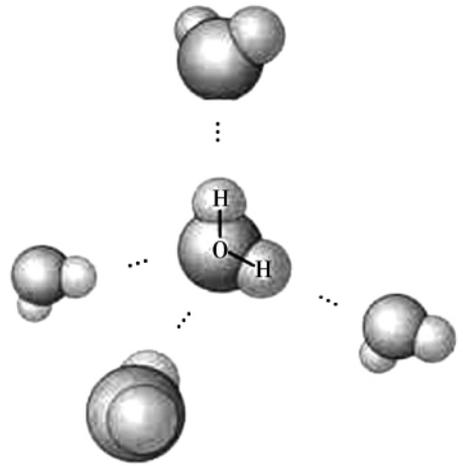


图2-4 水分子间形成的氢键

大球为O原子,小球为H原子,两者之间形成极性共价键。每个水分子可以和4个相邻的水分子形成氢键,用虚线表示,呈正四面体排列。

的比重最大,沉在下面。低于 $4^{\circ}\text{C}$ 以后,水分子逐渐形成很开放的晶体结构,即每个水分子都以氢键与另外四个水分子相结合(图2-5),体积增大,密度降低,漂在水面。所以结冰总是从水面开始,冰层以下还是液体状态,温度也会高于表面,这为水生动物过冬提供了很好的条件。

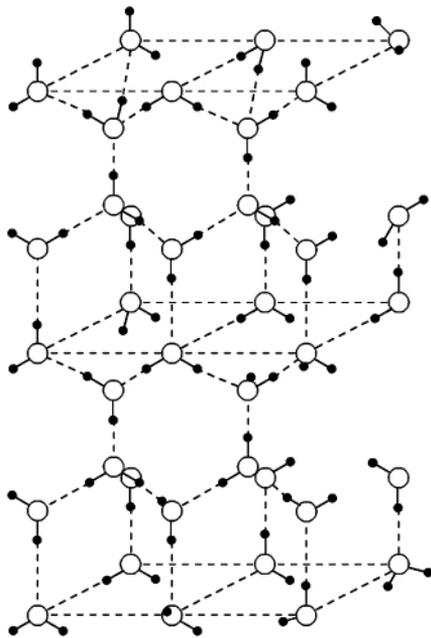


图2-5

水形成冰后,氢键将水分子固定成固态。由虚线构成的平行四边形代表一个平面。

## 二、无机盐

生物体的体液中含有多种无机盐,原生质中无机盐的含量约为其干重的 $2\% \sim 5\%$ 。无机盐一般是以离子状态存在的,如 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 是常见的阳离子, $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ 等是主要的阴离子。这些离子中有些是生物大分子的组成部分,如与血红蛋白结合的 $\text{Fe}^{3+}$ 、合成核苷酸的 $\text{PO}_4^{3-}$ 等;有些离子是酶的活化因子和调节因子,如 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 等。而大部分离子对细胞的渗透压和pH起着重要的调节作用。细胞和体液中盐类的成分与含量须保持恒定,否则细胞将不能正常代谢而死亡。

## 第三节 生物大分子

C是组成生物体的主要成分之一,它的最外层的4个电子能与其他4个原子形成共价键,这些原子主要是C、H、O、N、S等。其中,碳氢化合物是碳化合物的最基本形式。不同数量的C原子能构成不同长度的碳氢化合物,有些是直链的,有些是分支的,也可以结合成环状。C与C之间可形成单键、双键和三键,这些结构称为有机化合物的碳骨架。碳氢化合物中的H原子若被其他基团代替则形成多种多样的碳化合物,这是生物多样性的物质基础。而这些基团常以一定的结构出现,赋予化合物一定的性质,称为功能基团(functional group)(或官能团)。生物体中的有机化合物含有的功能基团主要有羟基、羰基、羧基、氨基等(如图2-6)。